เทคโนโลยีน้ำเสีย



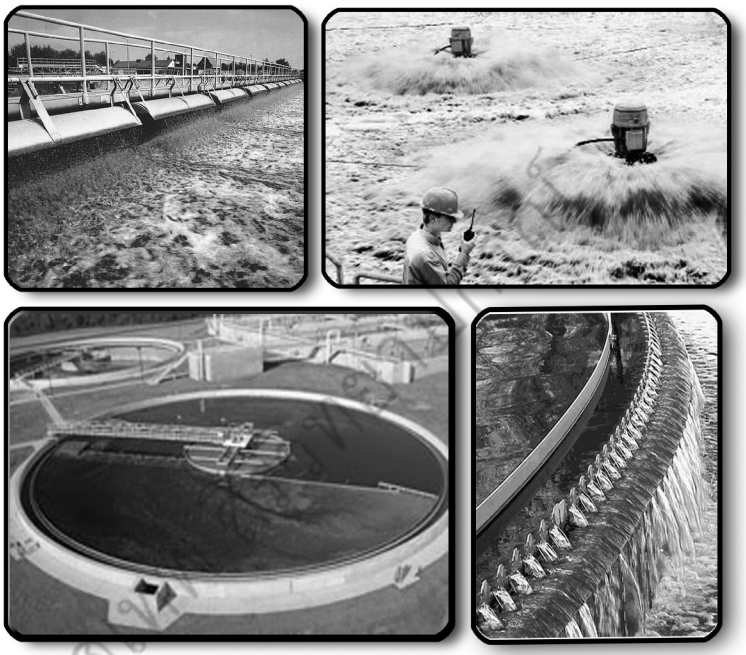
รศ.สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

350. –

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

เทคโนโลยีน้ำเสีย



รศ.สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

350. –

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์

เทคโนโลยีน้ำเสีย

เลขมาตรฐานสากลประจำหนังสือ 974-537-974-3

ลิขสิทธิ์ของ รศ. สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์ © พ.ศ. 2549 2551
เรียบเรียงครั้งที่ 2 พ.ศ. 2551 พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2552
การผลิตและลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้นต้องได้รับ
อนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก รศ. สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

ข้อมูลทางบรรณานุกรม
เทคโนโลยีน้ำเสีย
สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์
กรุงเทพ : ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551.

1. น้ำเสีย – การบำบัด. 2. น้ำเสีย – การบำบัด – วิธีทางชีวภาพ.
3. มลพิษทางน้ำ.

ISBN 974-537-974-3

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
โทร 0-2579-0730, 08-1494-1566

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

แด่ผู้อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ดีไว้ให้อนุชนรุ่นหลัง

สุเทพ สีรีวิทย์ปกรณ์

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

คำนำ

หนังสือเล่มนี้ ได้เขียนขึ้นโดยอาศัยตำราของต่างประเทศจนถึงปี ค.ศ. 2007 และข้อมูลในวารสารและรายงานต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศ ผนวกกับประสบการณ์ของผู้เขียนเป็นเวลา 30 ปี ในหนังสือเล่มนี้เป็นการเรียบเรียงความรู้ หลักการ ที่มีสาระสำคัญเกี่ยวข้องกันเทคโนโลยีน้ำเสีย (Wastewater Technology) ได้แก่ วิชาเคมี ชีววิทยา จุลชีววิทยา วิศวกรรมชลศาสตร์ และวิศวกรรมเคมี มาประยุกต์ในการบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งเกณฑ์การออกแบบ และพารามิเตอร์ (Parameters) ที่ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย ตลอกจนปัจจัยต่างๆ ในการพิจารณาเลือกหน่วยบำบัดต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสีย

เพื่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้น เรียบเรียงครั้งที่ 2 ได้เพิ่มรายละเอียดเกณฑ์การออกแบบ Parameter ที่ได้ใช้งานได้ในประเทศไทย เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีมีค่าประมาณ 30 องศาเซลเซียส มีผลต่อการออกแบบของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้ผลลัพธ์ความสามารถของระบบ (Performance) ใกล้เคียง ดีกว่าใช้ตามเอกสารต่างประเทศ ซึ่งจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า ก่อให้เกิดขนาดของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีขนาดเล็กกว่า และประหยัดงบประมาณกว่า

ได้เพิ่มเนื้อหาการบำบัดน้ำเสียมีผลกระทบต่อก๊าซเรือนกระจก ซึ่งจะมีผลต่อสภาวะโลกร้อน (Climate Change) การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland Treatment) การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย

ผู้เขียนตั้งใจที่จะให้หนังสือเล่มนี้เป็นประโยชน์ต่อวิศวกร นักวิทยาศาสตร์ และนักศึกษา ที่มีความสนใจในปัญหาการแก้ไขปัญหาน้ำเสีย ให้มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ดียิ่งขึ้น สามารถนำไปออกแบบ ปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียได้ดี

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

กิติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณครู อาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ หน่วยงานที่ได้ทำงานด้วย ขอขอบคุณ ดร. เสริมพล รัตสุข ที่เป็นอาจารย์ให้แนวความรู้ แนวความคิด มาตลอดกว่า 30 ปี ทำให้เกิดประสบการณ์ในการนำความรู้ไปใช้งานให้เป็นประโยชน์ต่อสังคม รวมถึงนิสิต นักศึกษา ที่เรียนกับผู้เขียน เป็นสิ่งที่ทำให้ผู้เขียนต้องค้นคว้าความรู้เทคโนโลยีใหม่ตลอดเวลา

ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนทำให้หนังสือเล่มนี้ได้เสร็จสมบูรณ์ โดยเฉพาะ ผศ. ดร. สัญญา สิริวิทยาปกรณ์ และ คุณอนวัช ฉวีสุข ที่จัดเตรียมและตรวจทานต้นฉบับ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ชาย พี่สาว หลานทุกคน และครอบครัวที่เป็นกำลังใจให้มาตลอด

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

รางวัลการประกวดการเรียบเรียงตำราดีเด่นทางด้านวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

บทที่ 1 ความเป็นมา 1

1.1 ภาพรวมของปัญหาและความพยายามในการแก้ไขสิ่งแวดล้อม 1

1.2 ความเป็นมาของงานด้านน้ำเสีย 2

1.2.1 ความเป็นมาของงานน้ำเสียในประเทศไทย 2

1.2.2 ความเป็นมาของงานบำบัดน้ำเสียในยุคต้นและในประเทศสหรัฐอเมริกา 3

1.3 ระบบบำบัดน้ำเสียกับก๊าซเรือนกระจก 6

1.3.1 กลไกการควบคุมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพิธีสารเกียวโต 6

1.3.2 ก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสีย 7

คำถามท้ายบท 10

บทที่ 2 เคมีพื้นฐานของน้ำและน้ำเสีย 11

2.1 ความรู้พื้นฐานเคมีเรื่อง ธาตุ ไอออน อนุมูลอิสระ และสารประกอบ 11

2.2 ลักษณะสมบัติของน้ำ 15

2.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำ 15

2.4 สมดุลเคมี พีเอช และปฏิกิริยาเคมี 17

2.4.1 สมดุลเคมี 17

2.4.2 พีเอช 17

2.4.3 ปฏิกิริยากรด-เบส 18

2.4.4 การตกตะกอนผลึก 19

2.4.5 การเลื่อนสมดุลเคมี 20

2.4.6 ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน 20

2.5 จลนศาสตร์เคมี 21

2.5.1 ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero-order Reaction) 21

2.5.2 ปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (First-order Reaction) 22

2.5.3 ปฏิกิริยาอันดับที่สอง (Second-order Reaction) 23

2.5.4 ปฏิกิริยาแบบอิ่มตัว (Saturation-type Reaction) 24

2.5.5 ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา 25

2.6 ความสามารถในการละลายน้ำของก๊าซ 25

2.7 การไทเทรท บัฟเฟอร์ สภาพด่างและสภาพกรด 28

2.8 คอลลอยด์และโคแอกกูเลชัน 32

2.9 สารประกอบอินทรีย์ 34

2.9.1 ไฮโดรคาร์บอน 35

2.9.2 แอลกอฮอล์ 36

2.9.3 อัลดีไฮด์และคีโตน 38

สุเทพ สถิรวิทยาปกรณ์

2.9.4 กรดคาร์บอกซิลิก 38
2.9.5 สารอินทรีย์ในน้ำเสีย 39
2.10 การตรวจวัดปริมาณสารประกอบอินทรีย์ในน้ำ 42
2.10.1 BOD (Biochemical Oxygen Demand) 42
2.10.2 COD (Chemical Oxygen Demand) 45
2.10.3 TOC (Total Organic Carbon) 47
2.11 สารประกอบไนโตรเจนในน้ำ 47
2.12 สารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำ 48
คำถามท้ายบท 49

บทที่ 3 จุลชีววิทยาพื้นฐานของน้ำและน้ำเสีย 51
3.1 แบคทีเรีย 51
3.2 เชื้อรา 55
3.3 ไวรัส 55
3.4 สาหร่าย 56
3.5 โปรโตซัวและสัตว์หลายเซลล์ขนาดเล็ก 56
3.6 ผลกระทบของยูโทรฟิเคชันต่อห่วงโซ่อาหารในน้ำ 57
3.7 การเจริญเติบโตของจุลชีพ 59
3.7.1 การเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากร 60
3.8 ชนิดของถังปฏิกิริยา และลักษณะการไหล 61
3.9 จลนศาสตร์ของจุลชีววิทยาในถังปฏิกิริยาแบบแบตช์ 62
3.10 จลนศาสตร์ของจุลชีววิทยาในถังปฏิกิริยาไหลต่อเนื่องกวนสมบูรณ์ที่ไม่มีการหมุนเวียนของแบคทีเรีย 65
คำถามท้ายบท 68

บทที่ 4 ชลศาสตร์และอุทกศาสตร์ 69
4.1 ความดันน้ำ 69
4.2 ความสัมพันธ์ของ ความดัน อัตราการไหล และความดันในหน่วยความสูงของน้ำ 71
4.3 การไหลในท่อภายใต้ความดัน 76
4.4 ความดันที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสูบน้ำ 79
4.5 การไหลในท่อกลมภายใต้แรงโน้มถ่วง 83
4.6 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำในรางเปิด 86
4.7 ปริมาณน้ำฝนไหลนอง 88
4.8 แนวความคิดในการรวบรวมน้ำเสีย 91
4.9 รูปแบบของระบบรวบรวมน้ำเสีย 95

สมาคมวิทยาปกรณ์

4.10 ขั้นตอนการออกแบบระบบระบายน้ำ 98
4.10.1 การสำรวจข้อมูลเพิ่มเติม 98
4.10.2 การทำแผนที่สภาพภูมิประเทศและการใช้ประโยชน์ที่ดิน 98
4.10.3 การวางโครงข่ายท่อระบายน้ำ 98
4.10.4 การแบ่งเขตพื้นที่ระบายน้ำ 99
4.10.5 การคำนวณปริมาณน้ำเข้าท่อระบายน้ำ 99
4.10.6 การออกแบบด้านชลศาสตร์ 99
คำถามท้ายบท 100

บทที่ 5 มลพิษทางน้ำ และน้ำเสีย 101
5.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับน้ำเสีย 101
5.2 อัตราการไหล และปริมาณน้ำเสีย 102
5.3 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย 105
5.4 มาตรฐานน้ำทิ้ง 108
คำถามท้ายบท 113

บทที่ 6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย 114
6.1 ปัจจัยต่างๆ ในการพิจารณาเพื่อเลือกหน่วยบำบัดต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสีย 114
6.2 ทฤษฎีพื้นฐานการบำบัดน้ำเสีย 116
6.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย 117
6.4 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย 118
6.5 การออกแบบระบบบำบัดเสียเบื้องต้น 126
6.6 การนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์ (Wastewater Reclamation and Reuse) 129
คำถามท้ายบท 129

บทที่ 7 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางกายภาพ 131
7.1 ตะแกรงหยาบ 131
7.2 การตกตะกอน 132
7.2.1 การตกตะกอนแบบอิสระ (Discrete Particle Settling or Type I) 133
7.2.2 การตกตะกอนแบบฟล็อก หรือแบบที่ 2 (Flocculation Settling or Type II) 137
7.2.3 การตกตะกอบแบบมีอุปสรรคหรือแบบเป็นชั้น หรือแบบที่ 3 (Hindered or Zone Settling or Type III) 139
7.2.4 การตกตะกอนแบบอัด หรือแบบที่ 4 (Compression Settling or Type IV) 142
7.3 การทำให้ลอย 142
7.4 การตัดย่อย 143
คำถามท้ายบท 143

สุพพ สิริวัฒนาภรณ์

บทที่ 8 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการหน่วยทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน **145**

8.1 ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์หรือเอเอส 145

8.1.1 หลักการทำงานของเอเอส 145

8.1.2 ระบบเอเอสแบบต่างๆ 147

ระบบเอเอสแบบธรรมดาในถังไหลตามกัน 147

ระบบเอเอสแบบธรรมดาในถังกวนสมบูรณ์ 148

ระบบยืดเวลาในถังเติมอากาศ 149

ระบบคลองวนเวียน 149

ระบบเติมน้ำเสียเป็นขั้นในถังเติมอากาศ 150

ระบบเติมอากาศแบบลดหลั่น 152

ระบบปรับเสถียรสัมผัส 152

ระบบ Deep Shaft Reactor 154

ระบบไนตริฟิเคชันในขั้นตอนเดียว 154

ระบบไนตริฟิเคชันแยกขั้นตอน 154

8.1.3 การเติมออกซิเจน 156

8.1.4 ถังตกตะกอนขั้นสอง 160

8.1.5 การคำนวณสำหรับระบบเอเอส 162

ระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ 162

ระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน 167

ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในระบบเอเอส 169

8.2 ระบบบ่อผึ่ง 172

8.2.1 ข้อดีและข้อเสียของบ่อผึ่ง 175

8.2.2 กลไกในการทำงานของบ่อผึ่ง 175

8.3 ระบบสระเติมอากาศ 179

8.4 ระบบปฏิกิริยาสลับเป็นกะ 181

8.4.1 หลักการทำงานของระบบเอสบีอาร์ 182

8.5 ระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ 184

8.5.1 องค์ประกอบของระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ 185

8.5.2 หลักการทำงาน 185

8.5.3 ประเภทของระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ 187

8.6 ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ 191

8.7 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบแอน็อกซิก 194

8.8 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพที่ใช้ออกซิเจนแบบผสม 198

คำถามท้ายบท 200

สุพพ สิริวัฒนาปกรณ์

บทที่ 9 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการหน่วยทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน **201**

9.1 ชีววิทยาและปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 202

9.2 ระบบบำบัดแอนแอโรบิกแบบเติบโตแขวนลอย 204

9.3 ระบบบำบัดแอนแอโรบิกแบบมีตัวกลางยึดเกาะ 210

9.4 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 211

คำถามท้ายบท 212

บทที่ 10 การบำบัดน้ำเสียด้วยบึงประดิษฐ์ **213**

10.1 กลไกการบำบัด 215

10.1.1 กลไกการบำบัดไนโตรเจนในบึงประดิษฐ์ 216

10.1.2 กลไกการบำบัดฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์ 218

10.1.3 กลไกการบำบัดโลหะหนักในบึงประดิษฐ์ 220

10.2 ประเภทและการทำงานของบึงประดิษฐ์ 221

10.2.1 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท□วมผิวชั้นกรอง

222

10.2.2 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรอง 223

10.3 เกณฑ์การออกแบบบึงประดิษฐ์ 223

10.3.1 การคำนวณทางชลศาสตร์สำหรับบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท□วมผิวชั้นกรอง 229

10.3.2 การคำนวณทางชลศาสตร์สำหรับบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรอง 234

10.3.3 การคำนวณประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ 243

10.4 บึงประดิษฐ์และสภาวะโลกร้อน 246

คำถามท้ายบท 247

บทที่ 11 การควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย **249**

11.1 วัตถุประสงค์ 249

11.2 การควบคุมกระบวนการของระบบบำบัดน้ำเสีย 249

11.2.1 ตะแกรงดักขยะชนิดหยาบและเครื่องกวาดอัตโนมัติ 249

11.2.2 ตะแกรงดักขยะชนิดละเอียดและเครื่องกวาดอัตโนมัติ 249

11.2.3 สถานีสูบน้ำ 249

11.2.4 ถังแยกกรวดทรายแบบเติมอากาศ 250

11.2.5 ถังกระจายการไหล หมายเลข 1 250

11.2.6 ถังตกตะกอนขั้นแรก 250

11.2.7 ถังผันน้ำทิ้ง 250

11.2.8 ถังกระจายการไหล หมายเลข 2 250

11.2.9 การวัดการไหลของน้ำ 250

สุเทศ ศรีวิทยาปกรณ์

11.2.10 ถังเติมอากาศ 251
11.2.11 ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย 251
11.2.12 การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน 251
11.2.13 การจัดการสลัดจ์ 251
11.2.14 ระบบควบคุม 252
11.3 ระบบควบคุมกระบวนการบำบัดน้ำเสีย 252
11.3.1 สถานีสูบน้ำ 252
11.3.2 ถังแยกทรายแบบเติมอากาศ 253
11.3.3 ถังตกตะกอนขั้นแรก 256
11.3.4 ถังเติมอากาศ 257
11.3.5 ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย 257
11.3.6 ถังฆ่าเชื้อโรค 258
11.3.7 ถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน 258
11.3.8 ถังย่อยสลายตะกอน 258
11.3.9 เครื่องรีดและเพิ่มความเข้มข้นของตะกอน 259
11.4 การบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย 260
11.5 การบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า 261
11.6 การบันทึกข้อมูลของเครื่องจักรอุปกรณ์ 262
11.7 รายงานประจำเดือน 262
11.8 รายงานประจำปี 265
11.9 การบำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำเสีย 265
11.10 มาตรการป้องกันมิให้เครื่องสูบน้ำเสียเกิดการเสียหาย 266
11.11 การตรวจผลการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย 266
11.12 การตรวจสอบที่สัมผัสได้ 268
11.13 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย 269
11.14 การบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์โรงบำบัดน้ำเสีย 270
คำถามท้ายบท 275

บรรณานุกรม 277

ภาคผนวก ก มาตรฐานน้ำทิ้งต่างๆ เพิ่มเติม ก1 – ก7

ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณเพิ่มเติม ข1 – ข54
ตัวอย่างที่ 1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ ข2 – ข12
ตัวอย่างที่ 2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบบ่อผึ่ง (บ่อแฟคัลเททีฟ และ บ่อบ่ม ต่ออนุกรมกัน) ข13–ข17
ตัวอย่างที่ 3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบบ่อผึ่ง (บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ 2 บ่อ และ

สุเทพ สริวิทยาปกรณ์

บ่อบ่ม 1 บ่อ ต่ออนุกรมกันคำนึงถึงความลาดเอียงของขอบบ่อ) ข18–ข25
ตัวอย่างที่ 4 กระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบบ่อผึ่ง (บ่อหมัก บ่อแอโรบิกอัตราต่ำ และบ่อบ่ม อย่างละ 1 บ่อ ต่ออนุกรมกัน คำนึงถึงความลาดเอียงของขอบบ่อ) ข26–ข34
ตัวอย่างที่ 5 กระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบบ่อผึ่ง (บ่อหมัก สระเติมอากาศ และบ่อบ่ม อย่างละ 1 บ่อ ต่ออนุกรมกัน คำนึงถึงความลาดเอียงของขอบบ่อ) ข35–ข43
ตัวอย่างที่ 6 กระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบสระเติมอากาศ ข44–ข50
ตัวอย่างที่ 7 กระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบอาร์บีซี ข51–ข54

ภาคผนวก ค การเปลี่ยนหน่วย ค1 – ค2

ภาคผนวก ง สูตรการคำนวณปริมาตรของบ่อรูปทรงต่างๆ ง1

ดัชนี

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

สารบัญตาราง

ตาราง 2-1	ตัวอย่างของธาตุที่พบบ่อยในงานเคมีของน้ำและน้ำเสีย และข้อมูลพื้นฐาน	12
ตาราง 2-2	ตัวอย่างของไอออนที่พบทั่วไปในการศึกษาเรื่องเคมีของน้ำและน้ำเสีย	13
ตาราง 2-3	ตัวอย่างของสารประกอบอนินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำและน้ำเสีย	14
ตาราง 2-4	ค่าการละลายอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำที่สภาวะสมดุลกับปริมาณออกซิเจนที่มีในบรรยากาศ สำหรับค่าอุณหภูมิและความเค็มต่างๆ ที่ความดันบรรยากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท	26
ตาราง 2-5	ชื่อและสูตรของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอน 1 ถึง 4 อะตอม	36
ตาราง 2-6	ชื่อและสูตรของแอลกอฮอล์ที่มีจำนวนคาร์บอน 1 ถึง 3 อะตอม	37
ตาราง 2-7	ชื่อ สูตร และค่า pK_A ของการแตกตัวในน้ำที่ 25°C ของกรดอินทรีย์พื้นฐาน	39
ตาราง 2-8	การสรุปเปรียบเทียบระหว่างค่า BOD COD และ TOC	47
ตาราง 3-1	ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียกลุ่มต่างๆ	59
ตาราง 4-1	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันย่อย	75
ตาราง 4-2	ค่าสัมประสิทธิ์การไหล (C) ในสมการ Hazen Williams	77
ตาราง 4-3	สัมประสิทธิ์ตัวคูณความดันสูญเสียสำหรับค่า C ต่างๆ	77
ตาราง 4-4	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองตามประเภทผิวปกคลุมพื้นที่	89
ตาราง 4-5	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองตามลักษณะใช้สอยของพื้นที่	89
ตาราง 5-1	ข้อมูลอัตราการไหลที่ควรจะมีการบันทึกไว้	103
ตาราง 5-2	การแปรผันของอัตราการไหลของน้ำเสียชุมชน	104
ตาราง 5-3	อัตราการเกิดน้ำเสียชุมชนที่ประมาณจากจำนวนประชากร	105
ตาราง 5-4	อัตราการเกิดน้ำเสียชุมชนที่ประมาณจากอาคารประเภทต่างๆ	105
ตาราง 5–5	มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำจากอาคารบางประเภทและบางขนาด	109
ตาราง 5–6	ประเภทอาคารที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม	110
ตาราง 5–7	มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	111
ตาราง 6-1	ปัจจัยหลักในการออกแบบและผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีต่อขีดความสามารถของหน่วยบำบัดต่างๆ	127
ตาราง 6-2	ค่าการสูญเสียพลังงานผ่านหน่วยบำบัดต่างๆ	128
ตาราง 7-1	ปฏิบัติการหน่วยที่พบได้ทั่วไปในระบบบำบัดน้ำเสีย และหน้าที่หลัก	131

สุทัศน์ สุวรรณาปกรณ์

ตาราง 7-2	ความลึกของถังตกตะกอนเมื่อเทียบกับขนาดของถังตกตะกอน	136
ตาราง 7-3	ข้อเปรียบเทียบบางประการ ระหว่างหน่วยกำจัดอนุภาคแบบตกตะกอนและแบบทำให้ลอยด้วยวิธี Dissolved-Air Flotation (DAF)	143
ตาราง 8–1	แสดงข้อมูลของของระบบเอเอสแบบต่างๆ	155
ตาราง 8–2	แสดงข้อมูลประสิทธิภาพการส่งผ่านออกซิเจนของอุปกรณ์เป่าให้อากาศชนิดต่างๆ	158
ตาราง 8–3	แสดงข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องกลเติมอากาศ	159
ตาราง 8–4	ขนาดของถังเติมอากาศสำหรับเครื่องกลเติมอากาศ	159
ตาราง 8–5	ข้อมูลการออกแบบถังตกตะกอนขั้นสองสำหรับระบบบำบัดทางชีวภาพ สำหรับถังกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 – 60 เมตร	161
ตาราง 8–6	ข้อมูลสัมประสิทธิ์จลนศาสตร์สำหรับจุลชีพในระบบเอเอส	169
ตาราง 8–7	ข้อมูลของระบบบำบัดแบบบ่อชนิดต่างๆ	174
ตาราง 8–8	ข้อมูลของของระบบเอสบีอาร์	183
ตาราง 8–9	เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของตัวกลางชนิดต่างๆ	186
ตาราง 8-10	ข้อมูลของระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ประเภทต่างๆ	188
ตาราง 8–11	ข้อมูลของระบบอาร์บีซี	194
ตาราง 8–12	ข้อมูลของระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนแบบผสม	198
ตาราง 9–1	ค่าตัวแปรสำหรับใช้ในการคำนวณกระบวนการย่อยแอนแอโรบิกแบบอัตราปกติและแบบอัตราสูง	205
ตาราง 9–2	ระยะเวลากักเก็บสำหรับระบบชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้นขนาดสูง 4 เมตร ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน	208
ตาราง 9–3	ค่าภาระซีโอดี (Volumetric COD Loading) ที่แนะนำ สำหรับระบบชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้นที่อุณหภูมิ 30 oC เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัด 85 – 95 เปอร์เซ็นต์	209
ตาราง 9–4	สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบระบบแยกก๊าซจากของแข็ง (Gas Solids Separator) สำหรับระบบชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้น	209
ตาราง 9–5	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกแบบต่างๆ	211
ตาราง 10-1	ข้อดีและข้อจำกัดของระบบบึงประดิษฐ์บางประการเมื่อเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป	214
ตาราง 10-2	เกณฑ์เบื้องต้นที่ใช้สำหรับการพิจารณาออกแบบระบบบึงประดิษฐ์	226
ตาราง 10-3	ขนาดของตัวกลางที่ใช้สำหรับระบบน้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรอง	226
ตาราง 10-4	สภาพสิ่งแวดล้อมสำหรับกลุ่มพืชที่โผล่พ้นน้ำบางชนิดที่นิยมปลูกในบึงประดิษฐ์	228
ตาราง 10-5	ค่าคงที่ของ Manning (n) สำหรับการไหลในรางเปิดที่ประยุกต์ใช้กับบึงประดิษฐ์	232
ตาราง 10-6	ค่าความนำน้ำในหน่วย SI และคำอธิบายแสดงความเร็วในการไหล	238

สุภาพ สริวัฒกาปกรณ์

ตาราง 10-7 ค่าความนำน้ำของวัสดุตัวกลางบางชนิด 239
ตาราง 10-8 ค่าความนำน้ำของดินชนิดต่างๆ จำแนกตามขนาดของวัสดุตัวกลาง 240
ตาราง 10-9 ตัวอย่างค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาในบึงประดิษฐ์ 246

ตาราง 11-1 ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Point Schedule) 254
ตาราง 11-2 บันทึกประจำวันการปฏิบัติงานบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียและเครื่องจักรอุปกรณ์ 263
ตาราง 11-3 บันทึกประจำเดือนการปฏิบัติงานบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียและเครื่องจักรอุปกรณ์ 264
ตาราง 11-4 บันทึกประจำวันการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำเสีย 267
ตาราง 11-5 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ 269

สารบัญรูป

รูปที่ 1-1 ผังบริเวณระบบบำบัดน้ำทิ้งรวม ขนาด 36,000 ลบ.เมตรต่อวัน เทศบาลเมืองภูเก็ต 5
รูปที่ 1-2 ก๊าซมีเทนจากกิจกรรมต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกา 8
รูปที่ 1-3 ปริมาณก๊าซมีเธนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่ปล่อยจากระบบบำบัดน้ำเสียในประเทศ 8
รูปที่ 1-4 สัดส่วนการใช้พลังงานในขั้นตอนต่างๆ ของระบบตะกอนเร่ง 9

รูปที่ 2-1 โมเลกุลของน้ำ ไฮดรอกไซด์ไอออน และอนุมูลไฮดรอกซิล 13
รูปที่ 2-2 โมเลกุลของน้ำและพันธะไฮโดรเจน 15
รูปที่ 2-3 กราฟของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ 22
รูปที่ 2-4 กราฟเส้นตรงของปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง 23
รูปที่ 2-5 กราฟเส้นตรงของปฏิกิริยาอันดับที่สอง 24
รูปที่ 2-6 กราฟเส้นตรงของปฏิกิริยาแบบอิ่มตัว 25
รูปที่ 2-7 การเกิด Crown Corrosion ในท่อน้ำเสีย และปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง 27
รูปที่ 2-8 สัดส่วนของความเข้มข้นของ H_2CO_3 HCO^{3-} และ CO_3^{2-} ที่ pH ต่างๆ คำนวณจากสมดุลมวล และสมดุลเคมีที่แสดงในสมการ (2-36) และ (2-37) 28
รูปที่ 2-9 Titration Curve ของ (1) น้ำบริสุทธิ์ถูกไทเทรทด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ (2) น้ำที่มีไอออนกลุ่มคาร์บอเนตถูกไทเทรทด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 29
รูปที่ 2-10 Titration Curve ของ (1) น้ำที่มีกรดคาร์บอนิกถูกไทเทรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ (2) น้ำใต้ดินและน้ำบ่อที่มีความกระด้าง ถูกไทเทรทด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30
รูปที่ 2-11 นิยามและความสัมพันธ์ระหว่างสภาพกรดและสภาพด่าง แสดงโดย Titration Curve ของน้ำที่มีสารกลุ่มคาร์บอเนตเป็นหลัก ด้านล่างจากซ้ายไปขวาเป็นการไทเทรทน้ำด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเพื่อวิเคราะห์สภาพด่าง (Alkalinity)

	ด้านบนจากขวาไปซ้ายเป็นการไทเทรทน้ำด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อวิเคราะห์สภาพกรด (Acidity)	31
รูปที่ 2-12	ภาพจำลองการเกิดกระบวนการ Coagulation และ Flocculation (1) แรงดึงดูดและแรงผลักเมื่อคอลลอยด์แขวลอยในน้ำในสภาวะที่เสถียร (2) การลดความหนาของชั้น Double Layer ในกระบวนการ Coagulation โดย Coagulant ที่เป็นไอออนของโลหะ (3) สารโพลิเมอร์อินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ที่ไม่เสถียรเข้าด้วยกันโดยเข้าจับกับพื้นผิวคอลลอยด์สร้างเป็นฟล็อกที่มีมวลมากขึ้น ในกระบวนการ Flocculation	33
รูปที่ 2-13	ตัวอย่างสารอินทรีย์ 2 ชนิดที่มีสูตรทั่วไป C_2H_6O เหมือนกัน (1) เอธิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) และ (2) ไดเมธิลอีเธอร์ (Di-Methyl Ether)	35
รูปที่ 2-14	(1) อีธีนหรือเอธิลีน (Ethene หรือ Ethylene) และ (2) อะเซธิลีน (Acethylene)	36
รูปที่ 2-15	(ก) การเขียนสูตรโครงสร้างเบนซีนในรูปแบบต่าง ๆ (ข) โครงสร้างของฟีนอลและการแตกตัวในน้ำ	37
รูปที่ 2-16	หมู่คาร์บอนีล และสารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตน	38
รูปที่ 2-17	หมู่คาร์บอกซีลิก	38
รูปที่ 2-18	ปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์จากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจนเป็น CO_2 และ H_2O	38
รูปที่ 2-19	สารประกอบโซเดียมอะซีเตท สบู่ (Sodium palmitate) เอธิลอะซีเตต และ ยูเรีย	39
รูปที่ 2-20	ตัวอย่างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่างๆ	40
รูปที่ 2-21	ตัวอย่างกรดอะมิโน ชนิดต่างๆ	40
รูปที่ 2-22	ตัวอย่างไขมันชนิดหนึ่งที่พบในเนย	40
รูปที่ 2-23	โครงสร้างของ DDT และ Parathion	41
รูปที่ 2-24	ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า BOD ที่เกิดขึ้นในระยะเวลาใดๆ (BOD_t) กับค่า BOD ที่เหลืออยู่ที่เวลาหนึ่งๆ (BOD_r) ในอุดมคติ	43
รูปที่ 2-25	การเกิด CBOD และ NBOD ในตัวอย่างน้ำเสีย	45
รูปที่ 2-26	แผนภาพส่วนย่อยต่างๆ ของ COD ในน้ำเสีย	46
รูปที่ 2-27	แผนภาพแสดงองค์ประกอบของไนโตรเจนในน้ำ	48
รูปที่ 2-28	แผนภาพแสดงสารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำ	48
รูปที่ 3-1	ตัวอย่างกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) ก) Aerobic Heterotrophic ข) Aerobic Autotrophic ค) Anaerobic Heterotrophic	52
รูปที่ 3–2	ตัวอย่างของห่วงโซ่อาหารในน้ำ	58
รูปที่ 3–3	ตัวอย่างถังปฏิกิริยา (ก) แบบที่ละเท (ข) แบบไหลต่อเนื่องตามกัน (ค) แบบไหลต่อเนื่องกวนสมบูรณ์	61
รูปที่ 3–4	อัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์กับเวลาและปริมาณสารอาหารชนิดที่เป็นตัวจำกัด	

สถาพสรรพยากรณ์

	การเติบโตในรูปของมวลชีวภาพและจำนวนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาแบบ Batch (โดย X_0 และ X_m คือความเข้มข้นของมวลชีวภาพเริ่มต้น และความเข้มข้นของมวลชีวภาพที่มากที่สุดตามลำดับ ส่วน S_0 และ S_m คือปริมาณสารอาหารชนิดที่เป็นตัวจำกัดการเติบโต (Limiting Substrate) ณ เวลาเริ่มต้น และ ณ เวลาที่ปริมาณมวลชีวภาพในระบบสูงสุด ตามลำดับ)	62
รูปที่ 3–5	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์อัตราการเติบโตจำเพาะและความเข้มข้นของสารอาหารที่จำกัดการเติบโตของจุลินทรีย์ ที่อธิบายโดย Monod Equation	64
รูปที่ 3–6	ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องกวนสมบูรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงจุลชีพ	65
รูปที่ 3–7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำออก และประสิทธิภาพของระบบ กับระยะเวลาเฉลี่ยของจุลชีพในระบบ	67
รูปที่ 4-1	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำในหน่วย กิโลนิวตัน/ตร.ม. (หรือกิโลปาสคาล, kPa) กับหน่วยความสูงน้ำ (เมตร)	69
รูปที่ 4-2	เครื่องมือวัดความดันแบบต่างๆ	71
รูปที่ 4-3	สมการต่อเนื่องของอัตราการไหลของเหลวภายในท่อ	71
รูปที่ 4-4	ความสัมพันธ์ของพลังงานความดันของน้ำที่ไหลในท่อความดันในรูปต่างๆ	72
รูปที่ 4-5	ความสัมพันธ์ของความขรุขระของท่อชนิดต่าง ๆ กับสัมประสิทธิ์ความฝืดของท่อในการไหลแบบปั่นป่วน	74
รูปที่ 4-6	Nomograph แทนสมการ Hazen Williams สำหรับ ค่า C = 100	78
รูปที่ 4-7	ระบบท่อเมื่อผิวแหล่งน้ำต่ำกว่าเครื่องสูบน้ำ	80
รูปที่ 4-8	ระบบท่อเมื่อผิวแหล่งน้ำสูงกว่าเครื่องสูบน้ำ	80
รูปที่ 4-9	ระบบจ่ายน้ำ	82
รูปที่ 4-10	Nomograph จากสมการของ Manning ใช้กับท่อกลมที่ไหลแบบเต็มท่อ n = 0.013	84
รูปที่ 4-11	สัดส่วนของอัตราการไหล ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดของการไหลของน้ำในท่อปิดระหว่างการไหลแบบเต็มท่อและไม่เต็มท่อที่ความลึกต่างๆ	85
รูปที่ 4-12	องค์ประกอบของรางวัดอัตราการไหล	87
รูปที่ 4-13	องค์ประกอบของฝายวัดอัตราการไหลติดตั้งในรางเปิด	88
รูปที่ 4-14	กราฟความสัมพันธ์ความเข้มฝนและช่วงเวลาที่นับว่าฝนตกโดย U.S. Weather Bureau	90
รูปที่ 4-15	การหาเวลาในการไหลบนผิวดิน	92
รูปที่ 4-16	กราฟความสัมพันธ์ของความเข้มฝนและช่วงเวลาที่นับว่าฝนตกจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ท่าอากาศยานนานาชาติ จ.ภูเก็ต	93
รูปที่ 4-17	รูปแบบของท่อดักน้ำเสีย	94
รูปที่ 4-18	รูปแบบของอาคารดักน้ำเสีย	96
รูปที่ 4-19	การใช้สถานียกระดับน้ำเสีย	97
รูปที่ 4-20	การใช้สถานีสูบส่งน้ำเสีย	97

สนพ.สิรินทร์ยกปการณ์

รูปที่ 5-1	อัตราการไหลของน้ำเสียชุมชนที่ผันแปรไปตามการใช้น้ำในวันหนึ่งๆ	103
รูปที่ 5–2	ความสัมพันธ์ระหว่างของแข็งต่างๆ ที่พบในน้ำและน้ำเสีย	107
รูปที่ 6-1	ขั้นตอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียและวัตถุประสงค์หลักของแต่ละกระบวนการ	119
รูปที่ 6-2	รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป	120
รูปที่ 7-1	องค์ประกอบของความเร็วในแนวราบและแนวดิ่งในการจมตัวของอนุภาคในถังตกตะกอนสี่เหลี่ยมสมมุติ	134
รูปที่ 7-2	กระบอกตกตะกอนและกราฟการจมตัวของฟล็อกในกระบอก	138
รูปที่ 7-3	กราฟวิเคราะห์การตกตะกอนแบบที่ 3 จากการสังเกตการณ์ตกตะกอนในกระบอก	139
รูปที่ 8-1	กระบวนการทางชีวภาพในระบบเอเอส	146
รูปที่ 8-2	ระบบเอเอสแบบธรรมดาในถังไหลตามกัน (ก) ตัวอย่างผังของระบบ (ข) การปลี่ยนแปลงความต้องการออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เติมในถังปฏิกิริยา	147
รูปที่ 8-3	ระบบเอเอสแบบธรรมดาในถังกวนสมบูรณ์และการปลี่ยนแปลงความต้องการออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เติมในถังปฏิกิริยา	148
รูปที่ 8-4	ระบบยืดเวลาในถังเติมอากาศและการปลี่ยนแปลงความต้องการออกซิเจน และปริมาณออกซิเจนที่เติมในถังปฏิกิริยา	149
รูปที่ 8-5	(ก) ระบบคลองวนเวียน (ข) ลักษณะของ Brush Aerator และ (ค) การปลี่ยนแปลงความต้องการออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เติมในถังปฏิกิริยา	150
รูปที่ 8-6	ระบบเอเอสแบบเติมน้ำเสียเป็นขั้นในถังเติมอากาศ (ก) ตัวอย่างผังของระบบ และ (ข) การปลี่ยนแปลงความต้องการออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เติมในถังปฏิกิริยา	151
รูปที่ 8-7	ระบบเอเอสแบบเติมอากาศแบบลดหลั่นในถังเติมอากาศ และการปลี่ยนแปลงความต้องการออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เติมในถังปฏิกิริยา	152
รูปที่ 8-8	ระบบปรับเสถียรสัมผัส (ก) ตัวอย่างผังของระบบ และ (ข) การปลี่ยนแปลงความต้องการออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เติมในถังปฏิกิริยา	153
รูปที่ 8-9	ระบบ Deep Shaft Reactor	154
รูปที่ 8-10	ผังระบบเอเอสและการวางเครื่องกลเติมอากาศในระบบที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์	156
รูปที่ 8-11	ตัวอย่างถังเติมอากาศแบบใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์สูง	157
รูปที่ 8-12	ตัวอย่างอุปกรณ์เป่าให้อากาศชนิดต่างๆ	157
รูปที่ 8-13	ตัวอย่างการติดตั้งหัวจ่ายแบบจานในระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน	158
รูปที่ 8-14	(ก) ชุดอุปกรณ์ Tube Settler (ข) ตัวอย่างการติดตั้ง Tube Settler ในถังตกตะกอนขั้นสองแบบเหลี่ยม	160
รูปที่ 8-15	ลักษณะการตกตะกอนในถังตกตะกอน (ก) ไม่มีการติดตั้ง Tube Settler (ข) มีการติดตั้ง Tube Settler	160

รูปที่ 8-16	การกระจายการไหล (ก) แบบสมมาตร (ข) ระบบที่มีการวัดก่อนปรับอัตราการไหล (ค) ระบบแยกด้วยเวียร์ (ง) ควบคุมด้วยประตูน้ำ	161
รูปที่ 8-17	ระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ ที่สถานะคงตัว (Steady State)	162
รูปที่ 8-18	ระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน ที่สถานะคงตัว (Steady State)	168
รูปที่ 8-19	(ก) ปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้นในบ่อผึ่ง และ (ข) การทำงานของระบบ	176
รูปที่ 8-20	ระบบบ่อเติมอากาศ	179
รูปที่ 8–21	ขั้นตอนของระบบเอสบีอาร์ทั่วไป	182
รูปที่ 8–22	วงจรของระบบเอสบีอาร์ที่มีการดัดแปลงในขั้นปฏิกิริยา	184
รูปที่ 8–23	ตัวอย่างระบบเอสบีอาร์ที่มีการดัดแปลงในขั้นปฏิกิริยาเพื่อกำจัด ซีโอดี ไนโตรเจนรวม และตะกอนแขวนลอย	184
รูปที่ 8–24	ตัวอย่างวัสดุตัวกลางธรรมชาติและวัสดุสังเคราะห์ที่ใช้ในระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ (ก) หินแม่น้ำ (ข) Jaeger Tri-Packs® (ค) Plastic-Cross Flow (ง) Plastic–Vertical Flow	185
รูปที่ 8-25	รูปแสดงกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบทริคคลิงฟิลเตอร์	186
รูปที่ 8-26	ตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสียที่มีทริคคลิงฟิลเตอร์แบบขั้นเดียว (ก) และ (ข) และแบบสองขั้น (ค) และ (ง)	189
รูปที่ 8-27	ตัวอย่างระบบอาร์บีซี (ก) ระบบอาร์บีซีทั่วไปที่มีหัวเป่าให้อากาศเป็นระบบเสริม (ข) อาร์บีซีแบบจมใต้น้ำที่ติดตั้งกระเปาะดักอากาศ ที่มีหัวเป่าให้อากาศเพื่อให้อากาศและเพื่อหมุนชุดตัวกลาง (ค) รูปแบบตัวกลางของระบบอาร์บีซี และ (ง) แสดงระบบอาร์บีซีในโรงปิด	192
รูปที่ 8-28	ตัวอย่างระบบอาร์บีซี (ก) แบบไหลขนานกับเพลา (ข) แบบไหลตั้งฉากกับเพลาและ (ค)ระบบไหลเติมน้ำเสียแบบ Step Feed	193
รูปที่ 8-29	ฟล็อกของแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ในน้ำเสียที่ประกอบด้วยบริเวณ แอโรบิกและแอน็อกซิก และปฏิกิริยา Nitrification/Denitrification ที่เกิดในฟล็อก	195
รูปที่ 8-30	ตัวอย่างระบบบำบัดทางชีวภาพสำหรับกำจัดธาตุอาหารที่มีกระบวนการ Denitrifi – cation (ก) ระบบเอเอส ที่มีกระบวนการ Nitrification/Denitrification ที่ใช้เมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ (ข) ระบบบำบัดทางชีวภาพสำหรับกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนตามด้วยระบบกรองและระบบฆ่าเชื้อโรค	196
รูปที่ 8-31	การทำงานของระบบ Nitrox™ แบบคูวนเวียนที่มีการเติมอากาศเป็นช่วง (ก) แอโรบิก (ข) แอน็อกซิก (ค) การเปลี่ยนแปลงออกซิเจนละลาย ORP ไนเตรทและแอมโมเนีย	197
รูปที่ 8-32	ระบบเอเอสที่มีหน่วยเลือกแอน็อกซิกแบคทีเรียอยู่ก่อนหน้าถังปฏิกิริยา	198
รูปที่ 8-33	ตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ออกซิเจนแบบผสม (ก) Activated Biofiloter (ข) Trickling Filter/Solids – contact และ Roughing Filter/Activated Sludge (ค) Biofilter/Activated Sludge และ (ง) Trickling Filter/ Activated Sludge ต่ออนุกรมกัน	199
รูปที่ 9-1	ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิก	202
รูปที่ 9-2	ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบแอนแอโรบิกและการไหลของพลังงาน	203

รูปที่ 9-3	แผนผังถังปฏิกิริยาของกระบวนการย่อยแอนแอโรบิกแบบอัตราปกติ	204
รูปที่ 9-4	แผนผังของกระบวนการย่อยแอนแอโรบิกแบบสองขั้นตอน	205
รูปที่ 9-5	แผนผังของกระบวนการแอนแอโรบิกสัมผัส	207
รูปที่ 9-6	แผนผังของระบบชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้น	208
รูปที่ 9-7	แผนผังของระบบถังกรองไร้อากาศ	210
รูปที่ 9-8	แผนผังของระบบชั้นขยายตัว	211
รูปที่ 10-1	เปรียบเทียบการทำงานของระบบบึงประดิษฐ์กับระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป	214
รูปที่ 10-2	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนตามความลึกในบึงประดิษฐ์และในบริเวณราก พืช (Rhizosphere)	216
รูปที่ 10-3	กระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจน	217
รูปที่ 10-4	กระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟอสฟอรัส	219
รูปที่ 10-5	บึงประดิษฐ์ (ก) แบบน้ำไหลท□วมผิวชั้นกรอง (ข) แบบที่น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรองในแนวดิ่งหรือแนวนอน	221
รูปที่ 10-6	ตัวอย่างองค์ประกอบของบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท□วมผิวชั้นกรอง	224
รูปที่ 10-7	การออกแบบทางชลศาสตร์เพื่อรองรับอัตราการไหลเฉลี่ยที่เกิดในช่วง 3 เดือน (3-month Average Recurrence Interval, 3 month ARI)	225
รูปที่ 10-8	ตัวอย่างโครงสร้างรับน้ำเพื่อควบคุมระดับน้ำ	227
รูปที่ 10-9	ตัวอย่างโครงสร้างที่ทางน้ำออกเพื่อควบคุมระดับน้ำในบึงประดิษฐ์	227
รูปที่ 10-10	นิยามพารามิเตอร์ที่ใช้ในสมการสมดุลมวลสารและอธิบายแสดงการไหลในบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท□วมผิวชั้นกรอง	230
รูปที่ 10-11	ความสัมพันธ์ระหว่างภาระ (M_L) กับอัตราส่วนระหว่างความลึกของน้ำเข้าและออกจากบึงประดิษฐ์	233
รูปที่ 10-12	นิยามพารามิเตอร์ที่ใช้ในสมการสมดุลมวลสารและอธิบายแสดงการไหลในบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรอง	235
รูปที่ 10-13	การจำแนกประเภทของดินตามปริมาณองค์ประกอบของ Sand Silt และ Clay	239
รูปที่ 10-14	สมดุลมวลสารในถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน	243
รูปที่ 11-1	แผนผัง Control Diagram	256

สมาคมวิศวกรรมโยธา

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

บทที่ 1
ความเป็นมา

1.1 ภาพรวมของปัญหาและความพยายามในการแก้ไขสิ่งแวดล้อม

สาเหตุสำคัญอันหนึ่งของปัญหาสิ่งแวดล้อมคือการเกิดมลพิษ ซึ่งปัญหานี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรอย่างรวดเร็ว โดยจะเห็นได้ว่า ประชากรของโลกใช้เวลากว่า 100 ปีในการเพิ่มจากประมาณ 1 พันล้านคนในปี ค.ศ. 1804 (พ.ศ. 2347) เป็นประมาณ 2 พันล้านคนในปี ค.ศ. 1927 (พ.ศ. 2470) และจากนั้นใช้เวลาอีกเพียง 70 กว่าปีในการเพิ่มประชากรเป็น 6 พันล้านคนในปี ค.ศ. 1999 (พ.ศ. 2542)[1] ในระยะแรกนั้นประชากรยังมีจำนวนน้อยอยู่เนื่องจากยังไม่มีวิวัฒนาการด้านการแพทย์และการเกษตรที่ก้าวหน้า ทำให้โรคภัยไข้เจ็บและการขาดแคลนอาหารเป็นตัวจำกัดจำนวนประชากรให้อยู่ในระดับต่ำ ในระยะต่อมามีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีการเกษตรอันเป็นผลมาจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมในยุโรปที่เริ่มในช่วงต้นคริตศตวรรษที่ 19 ทำให้สามารถผลิตอาหารได้เพียงพอกับความต้องการ ตลอดจนการเกิดสงครามครั้งใหญ่เป็นตัวผลักดันให้มีการพัฒนาทางด้านการแพทย์และด้านอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว จนทำให้ประชากรโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังสงครามใหญ่ 2 ครั้ง คือ สงครามโลกครั้งที่ 1 ซึ่งเกิดในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1914 – 1918 (พ.ศ. 2457 – 2461) และสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งเกิดในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1937 – 1945 (พ.ศ. 2480 – 2488)

นับตั้งแต่มีการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและสังคมอย่างต่อเนื่องหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ปัญหาที่เกิดขึ้นควบคู่กันกับการเพิ่มจำนวนประชากรและการพัฒนาคือปัญหาการปล่อยสารมลพิษในรูปแบบต่างๆ ในปริมาณมากสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นรูปธรรม เป็นผลให้มีการบรรจุเรื่องปัญหาสิ่งแวดล้อมเข้าในวาระการประชุมของกลุ่มประเทศสมาชิกองค์การสหประชาชาติเป็นครั้งแรกในการประชุม United Nations Conference on the Human Environment จัดขึ้นในปี ค.ศ. 1972 (พ.ศ. 2515) ณ กรุง Stockholm ประเทศสวีเดน ซึ่งการประชุมในครั้งนี้ทำให้มีการจัดตั้ง United Nations Environment Program (UNEP) ขึ้น ซึ่งผู้นำประเทศต่างๆ ที่เข้าร่วมประชุมได้แสดงเจตนารมณ์ว่าจะให้มีการจัดประชุมเช่นนี้ทุกๆ 10 ปี เพื่อประเมินสภาพสิ่งแวดล้อมของโลก ผลจากการประชุมนี้ ทำให้มีการหยิบยกประเด็นเกี่ยวกับสิทธิมนุษยชน (Human Rights) ประชากร การพัฒนาด้านสังคม การตั้งรกรากของมนุษย์ (Human Settlements) กับความจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาด้านสิ่งแวดล้อมแบบยั่งยืน (Environmentally Sustainable Development) ในการประชุมต่างๆ ระหว่างประเทศสมาชิกองค์การสหประชาชาติ และมีผลให้เกิดข้อตกลงระหว่างประเทศเกี่ยวกับการดูแลสิ่งแวดล้อมในหลายประเด็นตามมา

ต่อมาในปี ค.ศ. 1992 (พ.ศ. 2535)[2] ได้มีการจัดการประชุม United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) หรือที่รู้จักในนาม Earth Summit ณ กรุง Rio de Janeiro ประเทศบราซิล สิ่งสำคัญที่เกิดขึ้นจากการประชุมครั้งนี้ได้แก่

1) กลุ่มประเทศที่เข้าร่วมประชุมรับเอาแผนปฏิบัติการที่เรียกว่า Agenda 21[3] ซึ่งเป็นแผนที่กล่าวถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมและการปฏิบัติเพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนทั่วโลก และได้มีการปรับปรุง และปฏิบัติมา

---

[1] ข้อมูลจาก United Nations Population Division, *World Population Prospects*, 1998

[2] การประชุม Earth Summit ในปี ค.ศ. 1982 ไม่เกิดขึ้นเนื่องจากอยู่ในช่วงตรึงเครียดของสงครามเย็น

[3] ที่มาของชื่อนี้มาจากความตั้งใจว่าแผนนี้จะเป็นแผนปฏิบัติการทั้งในระดับท้องถิ่นและภูมิภาคของคริตศตวรรษที่ 21

อย่างต่อเนื่อง โดยต่อมาในการประชุม Earth Summit ในปี 2002 ณ กรุง Johannesburg ประเทศแอฟริกาใต้ได้มีการเจรจาเพื่อจัดทำแผน The Plan of Implementation สำหรับ Agenda 21 อย่างเป็นทางการเพื่อให้ได้รับการยอมรับจากรัฐบาลของทุกประเทศด้วย

2) ผลจากการศึกษาของ Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ IPCC ที่จัดตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1988 (พ.ศ. 2531) โดย United Nations Environment Programme (UNEP) และ World Meterological Organization (WMO) มีผลให้รัฐบาลทั่วโลกได้เห็นชอบในการที่จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) เพื่อป้องกันการเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก (Climate Change) เป็นผลมาให้มีข้อตกลงร่วมกันที่มีชื่อว่า United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC หรือ FCCC) ต่อมา UNFCCC ได้ผ่านการเจรจาต่อรองเงื่อนไขต่างๆ และพัฒนาเป็นพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ในปี ค.ศ. 1997 (พ.ศ. 2540) ซึ่งเป็นข้อตกลงและมีข้อผูกมัดประเทศที่เข้าร่วมในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

1.2 ความเป็นมาของงานด้านน้ำเสีย

น้ำเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ทั้งนี้เพราะน้ำเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของร่างกายสิ่งมีชีวิต ทำให้กลไกต่างๆ ภายในร่างกายสิ่งมีชีวิตดำเนินไปได้อย่างเป็นปกติ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต เช่น สัตว์น้ำต่างๆ เป็นต้น รวมทั้งเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญอีกด้วย มนุษย์มีการนำน้ำมาใช้เพื่อการอุปโภคและบริโภคมาเป็นเวลานาน ซึ่งเมื่อน้ำผ่านการใช้แล้วจะมีคุณภาพเปลี่ยนแปลงไป โดยจะมีมลพิษและสิ่งเจือปนปนเปื้อนอยู่ในน้ำ หากมนุษย์เราใช้น้ำโดยปราศจากการวางแผนที่เหมาะสมและไม่มีการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ จะทำให้เกิดผลกระทบตามมามากมาย เช่น ปัญหาความเน่าเสียของแหล่งน้ำทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำ ผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและระบบห่วงโซ่อาหาร (Food Chain) เป็นต้น

ในภาพรวม ปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะปัญหาที่เกี่ยวเนื่องกับมลพิษอันได้แก่ ปัญหาน้ำเสีย เป็นเรื่องที่เกิดขึ้นควบคู่กับการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการขยายตัวของชุมชน โดยในอดีตเมื่อประชากรมีจำนวนน้อยทำให้เกิดน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ ในปริมาณน้อย น้ำเสียที่เกิดขึ้นจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหา เนื่องจากความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งรับน้ำธรรมชาติ (Assimilation) ยังมีมาก ทำให้แหล่งน้ำสามารถฟื้นตัวตามธรรมชาติ (Self Purification) ได้ทันจึงไม่เกิดการเน่าเสียขึ้น ต่อมาเมื่อประชากรเพิ่มมากขึ้นชุมชนมีการขยายตัวรวมทั้งการเติบโตของภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมทำให้เกิดน้ำเสียในปริมาณมากเกินกว่าที่แหล่งน้ำจะสามารถบำบัดตัวเองได้ทัน เกิดปัญหาการเน่าเสียของแหล่งน้ำตามมาซึ่งก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆตามมา เช่น ปัญหาสภาพแวดล้อมเสื่อมโทรม ปัญหาสุขภาพอนามัย และปัญหาเศรษฐกิจ เป็นต้น ดังนั้นเพื่อสวัสดิภาพของประชาชนและรักษาไว้ซึ่งทรัพยากรแหล่งน้ำธรรมชาติ ก่อนที่จะปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสม

1.2.1 ความเป็นมาของงานน้ำเสียในประเทศไทย

นับแต่ปี พ.ศ. 2500 เป็นต้นมาในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ทุกประเทศได้เริ่งฟื้นฟูเศรษฐกิจ สำหรับประเทศไทยเองก็มีการฟื้นฟูเศรษฐกิจเช่นกันแต่เน้นด้านเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ มีอุตสาหกรรมเป็นส่วนน้อย ทำให้ยังไม่เกิดปัญหาน้ำเสีย เมื่อการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น โดยส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาใกล้บริเวณอ่าวไทยเพื่อความสะดวกในการคมนาคม ทำให้มีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่มากในเขตจังหวัดสมุทรปราการและบริเวณใกล้เคียงดังกล่าว รวมทั้งในเขตกรุงเทพมหานคร อีกทั้งการขยายตัวของโรงงาน

อุตสาหกรรมแปรรูปผลิตผลการเกษตร โดยเฉพาะอุตสาหกรรมน้ำตาล จะมีโรงงานน้ำตาลบริเวณแม่น้ำแม่กลอง ซึ่งใช้อ้อยที่ปลูกมากในจังหวัดราชบุรี กาญจนบุรี และจากจังหวัดใกล้เคียงเป็นวัตถุดิบ

จุดกำเนิดของงานบำบัดน้ำเสียในประเทศไทยมาจากเหตุการณ์ปัญหาการเน่าเสียของแม่น้ำแม่กลอง ในช่วงปี พ.ศ.2512 ถึง พ.ศ. 2516 ซึ่งแม่น้ำแม่กลองเป็นแม่น้ำที่มีความสำคัญสายหนึ่งในภาคกลางของประเทศไทย มีความยาวประมาณ 115 กิโลเมตร โดยในขณะนั้นเป็นแหล่งน้ำสำหรับพื้นที่ทำการเกษตรประมาณสามล้านไร่และสำหรับการอุปโภคบริโภคของประชากรมากกว่าหนึ่งล้านคน เนื่องจากแม่น้ำมีความลาดเทสูง (1 เมตร ต่อ 6 กิโลเมตร) จึงทำให้มีความแปรผันในปริมาณการไหลตามฤดูกาลสูงมาก ซึ่งในฤดูร้อนอัตราการไหลอาจต่ำเพียง 30 ลบ.ม./ วินาที

ตั้งแต่ปี พ.ศ.2512 เป็นต้นมา ในฤดูร้อนแม่น้ำแม่กลองเริ่มจากอำเภอท่ามะกาจังหวัดกาญจนบุรี อำเภอบ้านโป่ง จนถึงอำเภอเมืองราชบุรี ต่อเนื่องจนถึงปากแม่น้ำแม่กลอง จังหวัดสมุทรสาคร เป็นระยะทางยาวถึงประมาณ 100 กิโลเมตร ได้เกิดการเน่าเสีย โดยในบางช่วงจะมีกลิ่นของน้ำตาลและสีของแม่น้ำเปลี่ยนไป อันมีสาเหตุจากการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วของโรงงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานน้ำตาลในบริเวณ 2 ฝั่งแม่น้ำ ทำให้มีน้ำเสียจำนวนมากถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำ จนกระทั่งแม่น้ำไม่สามารถบำบัดตัวเองตามธรรมชาติได้ทัน โดยภาวะการเน่าเสียอย่างรุนแรงเกิดขึ้นในฤดูแล้งของปี พ.ศ. 2515 และ พ.ศ. 2516 อันเนื่องจากเป็นช่วงที่ปริมาณน้ำในแม่น้ำมีน้อย จนกระทั่งในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2516 หนังสือพิมพ์ได้ลงข่าวแม่น้ำแม่กลองเน่า ความเน่าเสียนี้ ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชนริมฝั่งแม่น้ำซึ่งต้องอาศัยน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคอย่างรุนแรงรวมทั้งเกิดความสูญเสียต่อทรัพยากรสัตว์น้ำทั้งในแม่น้ำและบริเวณปากอ่าว โดยในปี พ.ศ. 2516 มีรายงานว่าฟาร์มหอยบริเวณปากแม่น้ำได้รับความเสียหายคิดเป็นมูลค่าประมาณ 24 ล้านบาท ความเสียหายที่เกิดขึ้นจำนวนมากจากเหตุการณ์นี้ ทำให้กระทรวงอุตสาหกรรมบังคับให้โรงงานอุตสาหกรรมต้องก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ โดยในขั้นแรกมีการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงานน้ำตาลจำนวน 13 โรงที่ตั้งอยู่บริเวณอำเภอท่ามะกาจังหวัดกาญจนบุรี เป็นระบบ Oxidation Pond

ต่อมาในปี พ.ศ. 2518 ได้มีการตราพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2518 พร้อมทั้งจัดตั้งสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติขึ้น ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2530 – 2539 เศรษฐกิจของประเทศไทยได้ขยายตัวอย่างมาก มีผลให้เกิดมลภาวะมากเนื่องจากการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน จากนั้นในปี พ.ศ. 2535 ได้มีการประกาศใช้พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 แทนพระราชบัญญัติฯ ปี พ.ศ. 2518 ซึ่งนอกจากจะทำให้มีการปรับปรุงส่วนราชการใหม่โดยมีการจัดตั้ง กรมควบคุมมลพิษ สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม และกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ขึ้นแทนสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติแล้ว ยังมีการจัดตั้งกองทุนสิ่งแวดล้อมขึ้นตามที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติฯ พ.ศ. 2535 โดยกำหนดให้ใช้เฉพาะเพื่อแก้ปัญหามลพิษ มีผลให้มีการก่อสร้างโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนในเขตเทศบาลของชุมชนที่มีปัญหาทั่วประเทศ จนกระทั่งปี พ.ศ. 2540 กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ได้เริ่มโครงการก่อสร้างโรงบำบัดน้ำเสียรวมในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งสามารถรับน้ำเสียได้วันละ 525,000 ลบ.เมตร โดยใช้ระบบ Oxidation Pond และ Extended Aeration Activated Sludge

1.2.2 ความเป็นมาของงานบำบัดน้ำเสียในยุคต้นและในประเทศสหรัฐอเมริกา

ถึงแม้จะพบหลักฐานว่าชาวกรีกโบราณมีการเก็บรวบรวมน้ำจากน้ำฝนและการวางท่อระบายน้ำ แต่หลักฐานการเก็บรวบรวมน้ำเสียเป็นครั้งแรกพบในช่วงต้นยุคคริสศตวรรษที่ 18 ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียได้ถูกเริ่มต้น

ใช้ในปลายยุคคริตศตวรรษที่ 18 และ 19 การพัฒนาทฤษฎีจุลชีพ (Germ Theory) โดย Koch และ Pasteur ในช่วงครึ่งหลังของคริตศตวรรษที่ 19 เป็นจุดเริ่มต้นของยุคสมัยใหม่ของการสุขาภิบาล โดยเป็นครั้งแรกที่มีการบันทึกหลักฐานความเชื่อมโยงระหว่างของเสียจากมนุษย์ เชื้อโรคในน้ำดื่ม และการเกิดโรคในคน ทำให้แนวคิดเรื่องโรคที่มากับน้ำ (Waterborne Disease) ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในยุโรป ซึ่งก่อนหน้านั้นความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะและการเกิดโรคมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และการศึกษาเรื่องแบคทีเรียยังอยู่ในระยะเริ่มแรกและยังไม่ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสีย

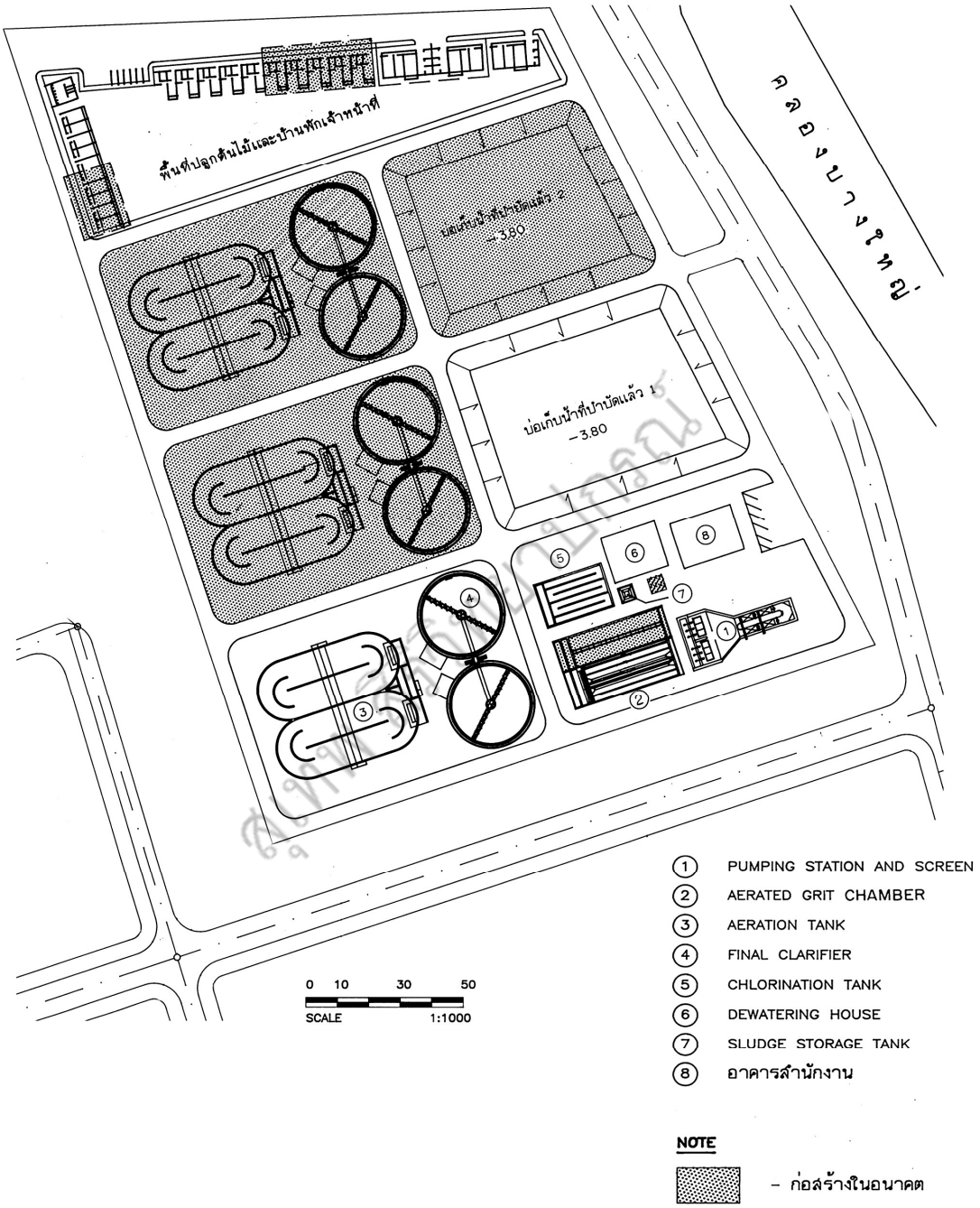
สำหรับประเทศสหรัฐอเมริกานั้น การกำจัดและการบำบัดน้ำเสียยังไม่ได้รับการเอาใจใส่อย่างจริงจังจนกระทั่งในช่วงปลายยุคคริศตวรรษที่ 18 ทั้งนี้เนื่องมาจากปัญหาการเน่าเสียของแหล่งน้ำอันเนื่องมาจากการปล่อยน้ำเสียที่ยังไม่ได้รับการบำบัดลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะยังมีไม่มากนัก การบำบัดน้ำเสียในชุมชนและเทศบาลส่วนใหญ่จะใช้วิธีที่ง่ายที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยไม่คำนึงถึงสภาวะเสื่อมโทรมของบริเวณที่มีการบำบัด ซึ่งวิธีที่ง่ายและได้รับความนิยมมากที่สุดคือการเจือจางน้ำเสียด้วยน้ำคุณภาพดี เมื่อถึงต้นยุคคริศตวรรษที่ 19 น้ำเสียมีปริมาณมากขึ้นอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรม และการเร่งเพิ่มกำลังการผลิตในช่วงสงครามโลกทั้ง 2 ครั้ง จนก่อให้เกิดปัญหาความเน่าเสีย และปัญหาสุขภาพของประชาชนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนต้องหันมาให้ความสนใจปรับปรุงการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น แต่ปัญหาจากการไม่สามารถจัดหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างเพียงพอโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตพื้นที่เมืองใหญ่ ทำให้มีการพัฒนาวิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อให้สามารถรองรับน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้อย่างเพียงพอ

ในยุคเริ่มคริศตศตวรรษที่ 20 เมืองต่างๆ และโรงงานอุตสาหกรรมเริ่มตระหนักว่าการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งรับน้ำธรรมชาติโดยตรงก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขอนามัย จึงได้เริ่มมีการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียมากขึ้น ในช่วงเวลาเดียวกัน บ่อเกรอะ (Septic Tank) ก็ได้ถูกนำมาใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียสำหรับอาคารบ้านเรือนทั้งในเขตชานเมืองและชนบท อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปริมาณน้ำธรรมชาติมีมากและสามารถนำมาเจือจางน้ำเสียได้ ประกอบกับปัญหาด้านเศรษฐกิจและสังคมในขณะนั้น ทำให้มีชุมชนเมืองและโรงงานอุตสาหกรรมไม่กี่แห่งที่สร้างระบบบำบัดน้ำเสีย

ในระหว่างปี ค.ศ. 1950 – 1970 (พ.ศ. 2493 – 2513) รัฐบาลประเทศสหรัฐอเมริกาได้ส่งเสริมและสนับสนุนการป้องกันมลพิษ โดยการให้ทุนสำหรับการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียจากชุมชน การวิจัยด้านมลพิษทางน้ำ รวมถึงการให้ความช่วยเหลือด้านเทคนิคต่างๆ มีการพัฒนากระบวนการใหม่ๆ ขึ้นเพื่อ บำบัดน้ำเสีย วิเคราะห์น้ำ และประเมินผลกระทบของมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกเหนือจากความพยายามต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของจำนวนประชากรและการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจทำให้เกิดปัญหาด้านสาธารณสุขเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการรวบรวมหน่วยงานต่างๆ ที่มีหน้าที่ในด้านการปกป้องสภาพแวดล้อม รัฐบาลสหรัฐฯ จึงได้มีการตรากฎหมาย National Environmental Policy Act (NEPA) ในเดือนมกราคมปี ค.ศ. 1970 (พ.ศ. 251) และในเดือนธันวาคมของปีเดียวกัน หน่วยงาน Environmental Protection Agency (EPA) ซึ่งเป็นอิสระที่ถูกตั้งขึ้นโดยการรวบรวมทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมมลพิษทางน้ำ อากาศ และกาก ไว้ในหน่วยงานเดียวกัน ต่อมาในปี ค.ศ. 1972 (พ.ศ. 2515) กฎหมาย Water Pollution Control Act Amendments ได้เพิ่มบทบาทของรัฐบาลกลางในส่วนของการควบคุมมลพิษทาง

สุเทพ สิริกิยานนท์

น้ำและเพิ่มงบประมาณของรัฐบาลสำหรับก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย รัฐสภาของสหรัฐยังได้มีการสร้างกลไก
ควบคุมต่างๆ และกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งที่มีมาตรฐานเดียวกันขึ้น



รูปที่ 1-1 ผังบริเวณระบบบำบัดน้ำทิ้งรวม ขนาด 36,000 ลบ.เมตรต่อวัน เทศบาลเมืองภูเก็ต
ที่มา : สุเทพ (2538)

1.3 ระบบบำบัดน้ำเสียกับก๊าซเรือนกระจก

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) เป็นสิ่งที่เริ่มเห็นเด่นชัดขึ้น โดยเฉพาะความถี่ของการเกิดสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงรวดเร็วหรือฉับพลันรุนแรงมีบ่อยครั้งขึ้น ทำให้ทั่วโลกเริ่มตื่นตัวและสนใจกับการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากกิจกรรมหรือสถานที่ต่างๆ โดยเฉพาะก๊าซ CO_2 ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกหลักที่ปลดปล่อยสู่บรรยากาศมากที่สุด โดยเป้าหมายคือให้ไม่มีการปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศเลย หรือทำให้ปริมาณสุทธิของคาร์บอนที่ปลดปล่อยสู่บรรยากาศเป็นศูนย์ ที่เรียกว่าเป็น Carbon Neutral

การที่สิ่งใด (เช่น รถยนต์ อาคาร เมือง หรือ ระบบบำบัดน้ำเสีย) เป็น Carbon Neutral หมายถึงสิ่งนั้นมีการปล่อยคาร์บอน (รวมถึงก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ ที่แปลงมาเป็นปริมาณคาร์บอนที่สมมูลกัน) สู่บรรยากาศเป็นศูนย์ตลอดวงจรชีวิต (Life Cycle) ของสิ่งนั้น โดยการทำให้ปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศเป็นศูนย์ หรือทำให้เกิดสมดุลระหว่างปริมาณคาร์บอนที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศทั้งหมดกับปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บ (Sequester) จากบรรยากาศด้วยวิธีการใดๆ ที่สามารถนำมาชดเชยกันได้ ซึ่งอาจจะทำได้โดยทำสิ่งต่อไปนี้ร่วมกัน ได้แก่

1) การจำกัดการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง จากอาคาร จากอุปกรณ์ และจากกระบวนการ เช่น เปลี่ยนรูปแบบไปใช้วิธีการที่ใช้พลังงานน้อยกว่าหรือปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาน้อยกว่า
2) ใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตมาจากพลังงานที่ทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ หรือจากผู้ผลิตที่ได้รับการรับรองว่าผลิตมาพลังงานทดแทน รวมทั้งการใช้พลังงานที่มีผลกระทบในแง่คาร์บอนต่ำ เช่น ชีวมวล เป็นต้น (ชีวมวลเมื่อเทียบกับพลังงานจำพวก Fossil Fuel จะมีค่าความร้อนน้อยกว่า แต่ในแง่ของการปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ ชีวมวลจะส่งผลกระทบต่ำกว่าเนื่องจากการเผา Fossil Fuel จะเป็นการปลดปล่อยคาร์บอนจากแหล่งเก็บใต้พื้นพิภพสู่บรรยากาศโดยตรง ในขณะที่การเผาชีวมวล คาร์บอนที่ปลดปล่อยสู่บรรยากาศจะเป็นคาร์บอนที่หมุนเวียนในบรรยากาศอยู่แล้วเพราะคาร์บอนในชีวมวลได้มาจากการสังเคราะห์แสงของพืชที่ตรึงคาร์บอนจากบรรยากาศ)
3) ทำการชดเชยปริมาณของคาร์บอนส่วนที่ยังเหลือที่หลีกเลี่ยงให้ไม่เกิดไม่ได้โดยวิธีการซื้อคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit)[1] จากที่อื่นซึ่งได้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น จากประเทศที่เพิ่มพื้นที่ปลูกป่า หรือ โรงไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

1.3.1 กลไกการควบคุมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพิธีสารเกียวโต

การแลกเปลี่ยนซื้อขายคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) เป็นการชดเชยการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มหนึ่ง โดยกลุ่มอื่นที่ได้ลดลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ ทำให้กลุ่มที่มีปัญหาในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งอาจจะเนื่องมาจากข้อจำกัดด้าน ค่าใช้จ่าย เทคโนโลยี หรือความจำเป็นด้านอื่น สามารถลดตัวเลขการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศได้โดยหลักๆ ดังนี้

1) โดยการที่ประเทศที่พัฒนาแล้วที่มีพันธกรณีไว้กับพิธีสารเกียวโตในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซื้อหรือให้การสนับสนุนหรือลงทุนในกิจการที่ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศที่กำลัง

---

[1] มาจากคำว่า Certified Emission Reductions (CERs) โดยแต่ละหน่วยเครดิตจะเทียบได้กับการลด CO_2 หรือก๊าซเรือนกระจกอื่นที่เทียบได้กับ CO_2 ปริมาณ 1 เมตริกตัน

พัฒนา ซึ่งกลไกนี้เป็นส่วนหนึ่งภายใต้พิธีสารเกียวโตที่เรียกว่า*กลไกการพัฒนาโลกสะอาด* (Clean Development Mechanism, CDM) หรือ

2) โดยการที่ประเทศที่อยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรม (Industrialized Country) ที่มีพันธกรณีไว้กับพิธีสารเกียวโตในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ให้การสนับสนุนหรือลงทุนในกิจการที่ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศในกลุ่มอุตสาหกรรมด้วยกันที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า ภายใต้การจัดการของพิธีสารเกียวโตที่เรียกว่า*การทำงานร่วมกัน* (Joint Implementation, JI)

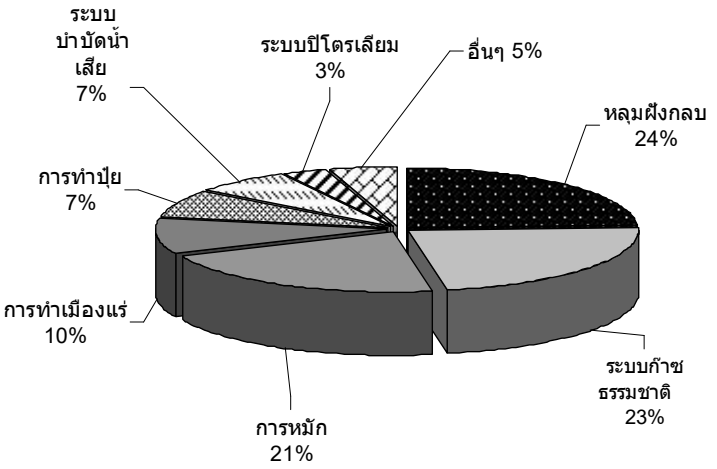
จากหลักการที่กล่าวมา ทำให้ในปัจจุบันมีการซื้อขายสิทธิการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Trading) มากขึ้น โดยเริ่มจากกลุ่มประเทศในยุโรปที่เป็นภาคีในพิธีสารเกียวโตและในปัจจุบันได้มีองค์กรธุรกิจที่ดำเนินการธุรกิจด้านนี้เพิ่มมากขึ้นและมีการซื้อขายในศูนย์กลางการลงทุนของประเทศพัฒนาแล้ว เช่น ประเทศอังกฤษ ความต้องการซื้อขายคาร์บอนเครดิตมีมากโดยเฉพาะระหว่างกลุ่มอุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศที่พัฒนาแล้วกับกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา ทำให้ประเทศที่พัฒนาแล้วสามารถลดตัวเลขปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ตามระดับที่ได้มีพันธกรณีไว้กับพิธีสารเกียวโต ซึ่งผู้ซื้อสามารถนำคาร์บอนเครดิตมาคำนวณเสมือนหนึ่งว่าผู้ซื้อได้ทำการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนเอง และมูลค่าการซื้อขายมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ สิ่งที่น่าสังเกตคือถ้าการซื้อขายแลกเปลี่ยนเป็นไปโดยไม่มีการควบคุมและตรวจสอบที่ดี เช่น มีการขายคาร์บอนเครดิตจากแหล่งเดียวกันให้แก่ผู้ซื้อมากกว่าหนึ่งราย เป็นต้น วิธีการนี้ก็จะไม่ประสบผลสำเร็จ

1.3.2 ก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสีย

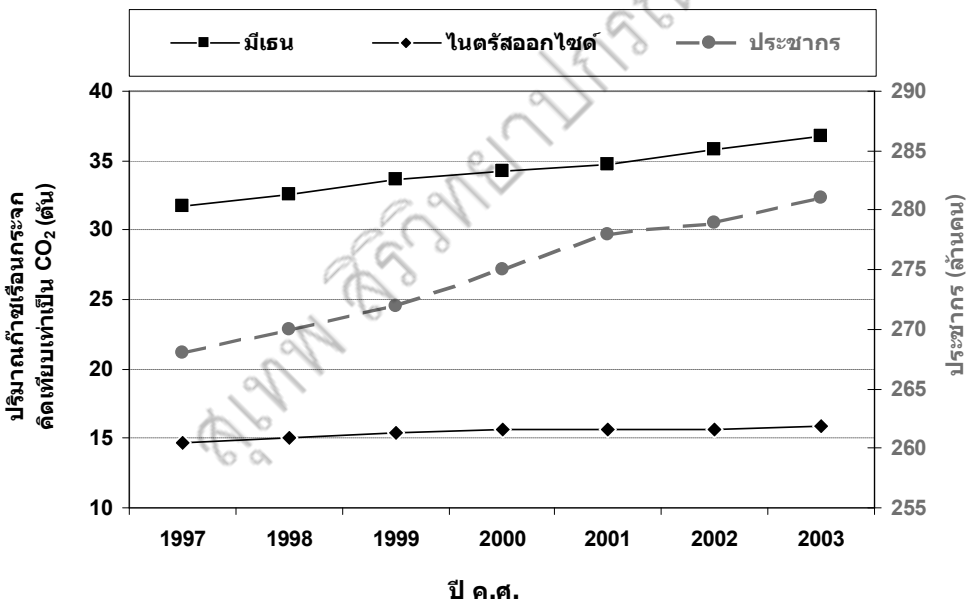
ระบบบำบัดน้ำเสียถูกกำหนดเป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซมีเธน (Methane, CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide, N_2O) โดย IPCC (Category 6B) เนื่องจากก๊าซมีเธนจะมีอายุเฉลี่ยในชั้นบรรยากาศประมาณ 15 ปี และเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีประสิทธิภาพมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 25 เท่า ในขณะที่ก๊าซไนตรัสออกไซด์ จะมีอายุเฉลี่ยในชั้นบรรยากาศนานถึงประมาณ 120 ปี และเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีประสิทธิภาพมากกว่าก๊าซ CO_2 ประมาณ 120 เท่า อย่างไรก็ตาม CH_4 และ N_2O มีผลให้โลกร้อนประมาณ 25 และ 5 เปอร์เซนต์ตามลำดับเมื่อคิดตามปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยสู่บรรยากาศ (Schlesinger, 1997)

การประเมินผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสียเริ่มได้รับความสนใจมากขึ้นสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป (Conventional Wastewater Treatment) ยกตัวอย่างเช่นรายงานของ USEPA (2006) ระบุว่าในปี ค.ศ. 2003 (พ.ศ. 2546) ในประเทศสหรัฐอเมริกา ก๊าซมีเธนที่มาจากระบบบำบัดน้ำเสีย (บำบัดบีโอดีจากชุมชนและอุตสาหกรรม) คิดเป็นประมาณร้อยละ 7 จากก๊าซมีเธนที่มาจากกิจกรรมอื่นๆ ทั้งหมด (รูปที่ 1-2) ซึ่งคิดเทียบเป็น CO_2 ได้ 36.8 ตัน

ในรายงานดังกล่าวยังระบุว่า ในปี ค.ศ. 2003 (พ.ศ. 2546) ปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ ที่ถูกปล่อยจากระบบบำบัดน้ำเสีย คิดเป็นประมาณร้อยละ 2 จากก๊าซไนตรัสออกไซด์ ที่มาจากกิจกรรมอื่นๆ ทั้งหมด คิดเทียบเป็น CO_2 ได้15.9 ตัน (USEPA, 2006) โดยก๊าซทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 เป็นต้นมา (รูปที่ 1-3) ในรายงานระบุว่า แนวโน้มปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับปริมาณน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการเพิ่มของประชากร (รูปที่ 1-3) ทั้งในแง่ปริมาณและภาระบรรทุกบีโอดี



รูปที่ 1-2 ก๊าซมีเทนจากกิจกรรมต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกา
ที่มา: ดัดแปลงจาก USEPA (2006)



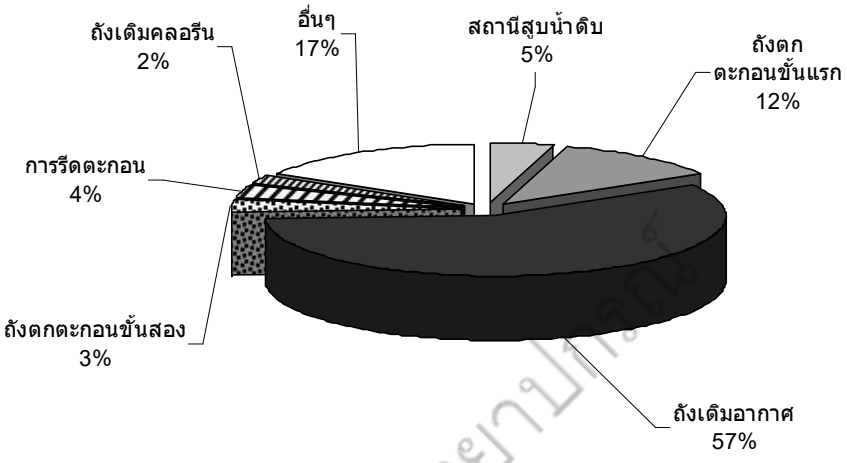
รูปที่ 1-3 ปริมาณก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่ปล่อยจากระบบบำบัดน้ำเสียในประเทศสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 1997 – 2003
(ที่มา: ดัดแปลงจาก USEPA (2006))

Daigger (2007) รายงานว่าเมื่อเทียบระหว่างระบบบำบัดน้ำเสียประเภทต่าง ๆ ที่มีในประเทศสหรัฐอเมริกาในแง่ของศักยภาพที่ทำให้โลกร้อนจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง พบว่าระบบบ่อเกรอะ (Septic Tank) มีส่วนมากที่สุดประมาณ 53 % ของระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมด รองลงมาคือระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกอื่นๆ ประมาณ 16 % ของทั้งหมด รูปแบบการบำบัดน้ำเสียแบบอื่นๆ (ไม่รวมระบบตะกอนเร่ง)

สุเทพ สิริกิยานนท์

รวมกันคิดเป็นประมาณ 16 % ของทั้งหมด ส่วนระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge, AS) มีศักยภาพที่ทำให้โลกร้อนเพียง 0.8 % ของระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมด

ในกรณีของระบบตะกอนเร่ง จะมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมเป็นหลักจากการใช้พลังงานไฟฟ้า รูปที่ 1-4 แสดงการใช้พลังงานในระบบตะกอนเร่งที่ออกแบบเพื่อบำบัดน้ำเสีย 7.5 ล้านแกลลอนต่อวันจากน้ำเสียชุมชนทั่วไป พบว่ามีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุดในถังเติมอากาศ คิดเป็นประมาณ 57 % ของพลังงานทั้งหมด (Daigger, 2007)



รูปที่ 1-4 สัดส่วนการใช้พลังงานในขั้นตอนต่างๆ ของระบบตะกอนเร่ง
ที่มา: ดัดแปลงจาก Daigger (2007)

ในการลดผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสีย จากข้อมูลแม้ระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิกจะมีผลทางตรงคือศักยภาพในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง แต่ในส่วนของผลกระทบทางอ้อม ระบบบำบัดที่มีการเติมอากาศอย่างเช่นระบบตะกอนเร่งก็มีส่วนที่จะทำให้โลกร้อนได้เช่นกัน ขึ้นกับแหล่งที่มาของพลังงานที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า การลดผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนทางตรงจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกอาจจะทำโดยการดักก๊าซมีเธนที่เป็นผลิตภัณฑ์จากระบบมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิง ทำให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Warming Potential) ต่ำกว่า ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติในบางกรณี เช่น การรวบรวมก๊าซชีวภาพจากระบบบ่อเกรอะที่เป็นระบบขนาดเล็กแต่มีจำนวนมากและอยู่กระจายกันออกไป

แนวทางที่เหมาะสมที่จะทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พลังงานในการเดินระบบสูง เช่น ระบบแอโรบิกที่มีเครื่องเติมอากาศ เป็นต้น เป็น Carbon Neutral อาจทำได้โดยการใช้แหล่งพลังงานที่มาจากพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงการใช้แนวทางของคาร์บอนเครดิตเพื่อชดเชยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น เช่น การกำหนดให้ปลูกต้นไม้ต่ออัตราน้ำเสียที่ทำการบำบัด รวมทั้งแนวทางอื่น เช่น การประหยัดน้ำ และการส่งเสริมให้ใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว (Reclaimed Water) มากขึ้น ซึ่งในที่สุดก็คือการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพอย่างครบวงจร แนวทางที่กล่าวมาคงไม่ได้มีประโยชน์เพื่อลดผลกระทบของระบบบำบัดน้ำเสียต่อสภาวะโลกร้อนเพียงอย่างเดียว เพราะในปัจจุบัน มูลค่าของเชื้อเพลิง วัสดุ และอุปกรณ์ต่างๆ ก็มีราคาสูงขึ้น นอกจากนี้ การ

เปลี่ยนแปลงสภาวะโลกร้อนยังอาจทำให้รูปแบบการไหลของน้ำเปลี่ยนแปลง เช่น เกิดพายุบ่อยขึ้น ทำให้อัตราการไหลในช่วงหน้าฝน (Wet Weather Flow) เพิ่มปริมาณขึ้น หรือในบางกรณีที่ทำให้เกิดสภาวะแห้งแล้งยาวนาน มีผลให้ปริมาณน้ำในแม่น้ำลำคลองลดลง อาจเป็นผลให้มาตรฐานคุณภาพน้ำเสียที่ได้รับการบำบัดถูกปรับให้เข้มงวดขึ้นก่อนปล่อยทิ้ง เป็นต้น ดังนั้น การเปลี่ยนรูปแบบของพลังงานที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียและการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งที่จะต้องเกิดขึ้นอย่างเป็นรูปธรรม

ตัวอย่างของความพยายามใช้แนวคิด Carbon Neutral มาประยุกต์ใช้อย่างเป็นรูปธรรมกับการดำเนินชีวิตในเมืองใหญ่คือโครงการสร้างเมืองมัสดาร์ซิตี้ (Masdar City) เมืองใหม่ของรัฐอาบูดาบี ซึ่งเป็นรัฐหนึ่งของประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ ที่มีพื้นที่เมืองรวม 6 ตารางกิโลเมตร และจะมีผู้อยู่อาศัยในช่วงเริ่มต้นเกือบ 50,000 คน ในปี ค.ศ. 2009 (พ.ศ. 2552) ทั้งเมืองจะใช้พลังงานพลังงานแสงอาทิตย์ รวมทั้งพลังงานที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ในรูปแบบอื่น การคมนาคมของประชาชนจะใช้ระบบขนส่งมวลชนแบบอัตโนมัติทั้งหมดที่ใช้พลังงานไฟฟ้า อาคารในเมืองนี้จะติดตั้งเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา และยังมีโรงงานผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 100 เมกะวัตต์ และยกระดับได้ถึง 500 เมกะวัตต์ น้ำดื่มจะได้มาจากโรงงานแยกเกลือออกจากน้ำที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ น้ำเสียจะต้องผ่านโรงบำบัดน้ำเสีย น้ำที่ออกมาจากโรงบำบัดจะนำไปใช้ในการรดน้ำต้นไม้ รวมทั้งวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจะเป็นวัสดุที่ผ่านการรีไซเคิล

นอกจากระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป ระบบบึงประดิษฐ์ที่เป็นระบบเลียนแบบธรรมชาติก็เป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบันเพราะนอกจากประโยชน์จากการบำบัดน้ำเสียแล้ว ยังอาจจะได้ประโยชน์อื่นด้วย เช่น ใช้เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตอื่น ใช้ประโยน์จากการเป็นสถานที่พักผ่อนที่คล้ายธรรมชาติ เป็นต้น ในระบบบึงประดิษฐ์ถึงแม้ว่า CO_2 จากบรรยากาศจะถูกตรึงเป็นคาร์บอนอินทรีย์โดยการสังเคราะห์แสงของพืช แต่ CO_2 ที่ถูกผลิตออกมาจากการหายใจของพืชในปฏิกิริยาไม่ใช้แสง และจากปฏิกิริยาชีวภาพของจุลชีพและสิ่งมีชีวิตอื่นด้วย ถ้ามองจาก CO_2 อย่างเดียว ระบบบึงประดิษฐ์มีแนวโน้มที่จะเป็นระบบที่การปลดปล่อย CO_2 สุทธิเป็นศูนย์ หรือเป็น Carbon Neutral ได้ อย่างไรก็ตาม บึงประดิษฐ์ก็เป็นแหล่งของก๊าซเรือนกระจกอื่นดังที่ได้กล่าวมาโดยเฉพาะอย่างยิ่ง CH_4 และ N_2O ดังนั้น ในแง่ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดเมื่อคิดเทียบเป็น CO_2 ในตลอดวงจรชีวิตของระบบ ระบบบึงประดิษฐ์อาจไม่ใช่ระบบที่เป็น Carbon Neutral ซึ่งภาพรวมเกี่ยวกับผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนจากระบบบึงประดิษฐ์จะต้องได้รับการศึกษาต่อไป โดยจะมีรายละเอียดเพิ่มเติมในบทที่กล่าวถึงการบำบัดน้ำเสียด้วยบึงประดิษฐ์ต่อไป

คำถามท้ายบท

1. อภิปรายว่าปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มประชากรอย่างไร และการเริ่มตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมในประชาคมโลกมีส่วนมาจากสาเหตุใดและมีผลต่อรูปแบบ และวิธีการจัดการปัญหามลพิษอย่างไร
2. ประเด็นสำคัญที่เกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมจากการประชุม Earth Summit ณ กรุง Rio de Janeiro ประเทศบราซิล ได้แก่อะไรบ้าง
3. อธิบายความหมายของคำว่า Carbon Neutral และการเป็น Carbon Neutral เกี่ยวข้องกับ Carbon Credit และพิธีสารเกียวโตอย่างไร
4. ระบบบำบัดน้ำเสียชนิดต่างๆ มีส่วนทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนอย่างไร และมีแนวทางการแก้ไขอย่างไร

บทที่ 2
เคมีพื้นฐานของน้ำและน้ำเสีย

ความรู้พื้นฐานด้านเคมีรวมถึงส่วนที่เกี่ยวข้องกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำและสารต่างๆ ที่แขวนลอยและละลายในน้ำ โดยจะกล่าวถึงเคมีพื้นฐานทั่วไปและเคมีอินทรีย์ ซึ่งจะได้นำไปประยุกต์ใช้ในเรื่องของการตรวจสอบคุณภาพน้ำ สารมลพิษในน้ำ และการบำบัดน้ำเสีย ทั้งนี้ จะมีการสรุปเนื้อหาเกี่ยวกับเทคนิคการวิเคราะห์น้ำเสียด้วยอย่างสังเขป เพื่อให้เข้าใจเรื่องดัชนีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำได้ดียิ่งขึ้น

2.1 ความรู้พื้นฐานเคมีเรื่อง ธาตุ ไอออน อนุมูลอิสระ และสารประกอบ

ธาตุ (Element) เป็นหน่วยพื้นฐานที่สุดที่ยังแสดงสมบัติทางเคมีของสสาร ธาตุแต่ละตัวมีความแตกต่างกันในส่วนของน้ำหนัก ขนาด และสมบัติทางเคมีและกายภาพ ตาราง 2-1 แสดงตัวอย่างของธาตุที่พบบ่อยในงานเคมีของน้ำและน้ำเสีย โดยแสดงข้อมูลพื้นฐานของธาตุเหล่านั้น ได้แก่ สัญลักษ์ของธาตุ น้ำหนักอะตอม (Atomic Mass) วาเลนซ์ปกติ (Common Valence) และน้ำหนักสมมูล (Equivalent Mass) ซึ่งมีค่าเท่ากับน้ำหนักอะตอมหารด้วยวาเลนซ์

ในธรรมชาตินั้นธาตุมีสถานะที่แตกต่างกัน ได้แก่ สถานะของแข็ง เช่น ฟอสฟอรัส คาร์บอน และซัลเฟอร์ เป็นต้น หรือสถานะของเหลว เช่น ปรอท เป็นต้น รวมทั้งสถานะก๊าซ เช่น ไนโตรเจน และออกซิเจน เป็นต้น เมื่อธาตุรวมตัวกันทางเคมีจะได้สารประกอบเกิดขึ้น เราสามารถดูการรวมตัวกันเป็นสารประกอบที่มีสัดส่วนของธาตุต่างๆ ได้จากวาเลนซ์ของธาตุเหล่านั้น เช่น โซเดียมมีวาเลนซ์เป็น 1+ คลอรีนมีวาเลนซ์เป็น 1- ดังนั้นโซเดียมอะตอม 1 อะตอม รวมกับคลอรีน 1 อะตอม เกิดเป็นโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งเป็นเกลือธรรมดา ไนโตรเจนมีวาเลนซ์ 3- สามารถรวมตัวกับไฮโดรเจน 3 อะตอมได้เป็นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) โดยน้ำหนักของสารประกอบจะมีค่าเท่ากับผลรวมของน้ำหนักอะตอมของธาตุที่เป็นส่วนประกอบ เรียกว่า น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลที่มีหน่วยเป็นกรัมจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของสารประกอบนั้นจำนวน 1 โมล เช่น ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) 1 โมล หนัก 17.0 กรัม

ตัวอย่าง 2-1 จงคำนวณน้ำหนักโมเลกุลและน้ำหนักสมมูลของ $CaCO_3$ ในการละลายน้ำ

วิธีทำ

น้ำหนักโมเลกุลของ $CaCO_3$ = น้ำหนักอะตอมของ Ca + น้ำหนักอะตอมของ C + 3(น้ำหนักอะตอมของ O)

= 40 + 12 + 3(16)

= 100 กรัมต่อโมล

เมื่อ $CaCO_3$ หนึ่งโมล ละลายน้ำจะได้ Ca หนึ่งโมล ที่มีประจุ (วาเลนซ์) เป็น 2+ และสารประกอบคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) หนึ่งโมล ที่มีประจุรวมเป็น 2-

ดังนั้น น้ำหนักสมมูล = น้ำหนักโมเลกุลของ $CaCO_3$ / จำนวนประจุของ Ca หรือ CO_3

= 100 กรัมต่อโมล / 2 สมมูลต่อโมล

= 50 กรัมต่อสมมูล

ตาราง 2-1 ตัวอย่างของธาตุที่พบบ่อยในงานเคมีของน้ำและน้ำเสีย และข้อมูลพื้นฐาน

ชื่อ	สัญญลักษณ์	เลขอะตอม	น้ำหนักอะตอม (amu*)	วาเลนซ์ปกติ	น้ำหนักสมมูล
Aluminium	Al	13	26.9	3+	9.0
Arsenic	As	33	74.9	3+	25.0
Bromine	Br	35	79.9	1 -	79.9
Cadmium	Cd	48	112.4	2+	56.2
Calcium	Ca	20	40.1	2+	20.1
Carbon	C	6	12.0	4 -	–
Chlorine	Cl	17	35.5	1 -	35.5
Chromium	Cr	24	52.0	3+	17.3
				6+	
Copper	Cu	29	63.5	2+	31.8
Fluorine	F	9	19.0	1 -	19.0
Hydrogen	H	1	1.0	1+	1.0
Iodine	I	53	126.9	1 -	126.9
Iron	Fe	26	55.8	2+	27.9
				3+	
Lead	Pb	82	207.2	2+	103.6
Magnesium	Mg	12	24.3	2+	12.2
Manganese	Mn	25	54.9	2+	27.5
				4+	
Mercury	Hg	80	200.5	2+	103.6
Nickel	Ni	28	58.7	2+	29.4
Nitrogen	N	7	14.0	3 -	–
				5+	
Oxygen	O	8	16.0	2 -	8.0
Phosphorus	P	15	31.0	5+	6.0
Potassium	K	19	39.0	1+	39.0
Selenium	Se	34	78.9	6+	13.2
Silicon	Si	14	28.1	4+	7.0
Silver	Ag	47	107.9	1+	107.9
Sodium	Na	11	23.0	1+	23.0
Sulfur	S	16	32.1	2 -	16.0
Zinc	Zn	30	65.4	2+	32.7

* amu = atomic mass unit : เทียบกับ ^{12}C = 12 amu

ไอออน (Ion) คืออะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่มีสัดส่วนแน่นอน มีประจุไฟฟ้า มีลักษณะเสมบัติฉพาะตัวและเป็นองค์ประกอบหน่วยหนึ่งของสารประกอบ ยกตัวอย่างเช่น คลอไรด์ไอออน (Chloride Ion, Cl^-)

สุเทพ สัจวิทยาปกรณ์

ไฮดรอกไซด์ไอออน (Hydroxide Ion, OH^-) และไนเตรต (Nitrate, NO_3^-) ตัวของไอออนเองนั้นไม่จัดว่าเป็นสารประกอบ แต่จะรวมตัวกับไอออนอื่นเกิดเป็นสารประกอบ ตารางที่ 2-2 แสดงตัวอย่างของไอออนที่เกิดจากการแตกตัวของสารประกอบในน้ำที่พบทั่วไปในการศึกษาเรื่องเคมีของน้ำและน้ำเสีย การเปลี่ยนรูปของสารจากสภาวะที่เป็นกลางทางไฟฟ้าไปอยู่ในรูปของไอออน เรียกว่า กระบวนการไอออไนเซชั่น (Ionization) โดยตารางนี้ประกอบด้วย ชื่อ สูตรเคมี น้ำหนักโมเลกุล และน้ำหนักสมมูล (Equivalent Weight) ซึ่งคำนวณเทียบจากการแตกตัวในการละลายน้ำของสารประกอบที่เกิดจากไอออนเหล่านี้

ตาราง 2-2 ตัวอย่างของไอออนที่พบทั่วไปในการศึกษาเรื่องเคมีของน้ำและน้ำเสีย

ชื่อ	สูตรเคมี	น้ำหนักโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	ประจุ	น้ำหนักสมมูล (กรัมต่อสมมูล)	ตัวอย่างของสารประกอบ
Ammonium	NH_4^+	18.0	1+	18.0	NH_4NO_3
Hydroxyl	OH^-	17.0	1 -	17.0	H_2O
Bicarbonate	HCO_3^-	61.0	1 -	61.0	H_2CO_3
Carbonate	CO_3^{2-}	60.0	2 -	30.0	$CaCO_3$
Orthophosphate	PO_4^{3-}	95.0	3 -	31.7	H_3PO_4
Orthophosphate mono-hydrogen	HPO_4^{2-}	96.0	2 -	48.0	H_3PO_4
Orthophosphate di-hydrogen	$H_2PO_4^-$	97.0	1 -	97.0	H_3PO_4
Bisulfate	HSO_4^-	97.0	1 -	97.0	H_2SO_4
Sulfate	SO_4^{2-}	96.0	2 -	48.0	H_2SO_4
Bisulfide	HS^-	33.0	1 -	33.0	H_2S
Nitrite	NO_2^-	46.0	1 -	46.0	HNO_2
Nitrate	NO_3^-	62.0	1 -	62.0	HNO_3
Hypochlorite	OCl^-	51.5	1 -	51.5	NaOCl
Permanganate	MnO_4^-	119	1 -	119	$KMnO_4$
Dichromate	$Cr_2O_7^{2-}$	216	2 -	108	$K_2Cr_2O_7$

สุเทพ สรวิทยาปรัชญ์

อนุมูลอิสระ (Free Radical) คือกลุ่มของอะตอมมีอิเลคตรอนที่ไม่มีคู่อยู่ (Unpaired Electron) ทำให้กลุ่มอนุมูลอิสระไม่เสถียรอย่างมากเพราะอนุมูลอิสระจะเกิดปฏิกิริยากับสารและอนุมูลอิสระอื่นๆ ที่อยู่โดยรอบเพื่อดึงเอาอิเลคตรอนจากสารเหล่านั้น ตัวอย่างของอนุมูลอิสระที่พบในเคมีของน้ำและน้ำเสียคือ อนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl Radical, OH•) ดังแสดงในรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 โมเลกุลของน้ำ ไฮดรอกไซด์ไอออน และอนุมูลไฮดรอกซิล

สารประกอบที่พบในงานน้ำและน้ำเสียจะแบ่งออกเป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ตัวอย่างของสารประกอบอนินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำและน้ำเสียและข้อมูลพื้นฐานของสารเคมีเหล่านั้นรวมทั้งการใช้งานได้แสดงอยู่ในตารางที่ 2-3

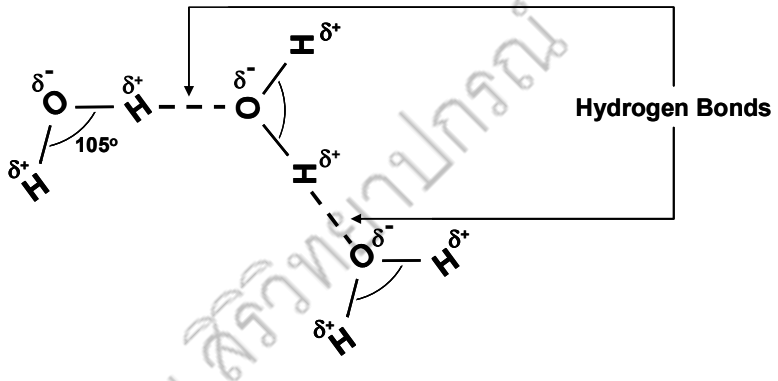
ตาราง 2-3 ตัวอย่างของสารประกอบอนินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำและน้ำเสีย

ชื่อ	สูตรเคมี	ตัวอย่างการใช้งาน	มวลโมเลกุล	น้ำหนักสมมูล (กรัมต่อสมมูล)
Aluminum Sulfate (สารส้ม)	$Al_2(SO_4)_3.14.3H_2O$	Coagulant (สารสำหรับจับอนุภาคขนาดเล็กให้ตกตะกอน)	600	100
Aluminum Hydroxide	$Al(OH)_3$		78.0	26.0
Ammonia	NH_3	ทำปฏิกิริยากับคลอรีนเป็นสารChloramines ใช้ฆ่าเชื้อ	17.0	–
Calcium Bicarbonate (Baking Soda)	$Ca(HCO_3)_2$	ลดการผุกร่อน ปรับค่า pH	162	81.0
Calcium Carbonate (หินปูน หรือ Calcite)	$CaCO_3$	ลดการผุกร่อน ปรับค่า pH	100	50.0
Calcium Hydroxide (Hydrated Lime)	$Ca(OH)_2$	ปรับน้ำกระด้าง	74.1	37.0
Calcium Oxide (ปูนขาว หรือ Lime)	CaO	ปรับน้ำกระด้าง	56.1	28.0
Chlorine	Cl_2	ฆ่าเชื้อโรค	71.0	–
Copper Sulfate	$CuSO_4$	กำจัดสาหร่าย	160	80.0
Ferric Hydroxide	$Fe(OH)_3$	Coagulant	107	35.6
Ferric Sulfate	$Fe(SO_4)_3$	Coagulant	400	66.7
Ferrous Sulfate	$FeSO_4.7H_2O$	Coagulant	278	139
Hydrogen Peroxide	H_2O_2	ฆ่าเชื้อโรค กำจัดกลิ่น	34.0	–
Ozone	O_3	ฆ่าเชื้อโรค กำจัดกลิ่น	48	–
Sodium Bicarbonate (Baking Soda)	$NaHCO_3$	ปรับค่า pH	84.0	84.0
Sodium Carbonate (Soda Ash)	Na_2CO_3	ปรับน้ำกระด้าง	106	53.0
Sodium Hydroxide	NaOH	ปรับค่า pH	40.0	40.0
Sodium Hypochlorite	NaClO	ฆ่าเชื้อโรค	74.4	74.4
Sodium Thiosulfate	$Na_2S_2O_3$	กำจัดคลอรีน	158	–
Sulphur Dioxide	SO_2	กำจัดคลอรีน	64.1	–
Sulfuric Acid	H_2SO_4	ปรับค่า pH	98.1	49.0

สุพพ สิริกิจการณ์

2.2 ลักษณะสมบัติของน้ำ

น้ำ ในเรื่องของน้ำและน้ำเสีย อาจหมายถึงสารละลายที่เจือจางของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของระบบต่างๆ เช่น น้ำฝน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน เป็นต้น ความหมายโดยทั่วไปของน้ำ คือ ของเหลวใส ไม่มีสี กลิ่น และรส มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เป็นตัวทำละลายที่ดี มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดที่อุณหภูมิ 0 และ 100 องศาเซลเซียสตามลำดับ และมีความหนาแน่นสูงสุดที่ 1.00 กิโลกรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส น้ำ (ในรูปที่เสถียรที่สุด) จะมีมวลโมเลกุลเป็น 18 กรัมต่อโมล (H_2O) อะตอมของ H จะมีประจุเป็นบวก ในขณะที่อะตอมของ O จะมีประจุเป็นลบ ทำให้น้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วบวก และลบ ในโมเลกุลเดียวกัน (Dipolar Molecule) ซึ่งทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วบวกและลบระหว่างโมเลกุลเรียกว่าพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond) ดังรูปที่ 2-2 เมื่อเทียบกับโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรเจนของสารในหมู่เดียวกับ O เช่น H_2S และ H_2Se ซึ่งมีลักษณะคล้ายโมเลกุลของน้ำ พันธะไฮโดรเจนของน้ำทำให้น้ำมีจุดเดือดสูง และเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่ H_2S และ H_2Se เป็นก๊าซ



รูปที่ 2-2 โมเลกุลของน้ำและพันธะไฮโดรเจน

สุพพ สริวฑฒากรณ์

นอกจากนี้แล้ว การที่น้ำมีสองขั้วในโมเลกุลเดียว ทำให้น้ำกลายเป็นตัวทำละลายที่ดี เนื่องจากโมเลกุลของน้ำสามารถล้อมรอบไอออนที่มีประจุบวกหรือลบ และทำให้แรงดึงดูดระหว่างไอออนในโครงสร้างผลึกสลายตัวไปได้ ดังนั้น ไอออนบวก และลบที่ประกอบกันเป็นโครงผลึกจึงสามารถละลายอยู่ในน้ำได้ โดยแท้จริงแล้ว ก๊าซ และของแข็งที่ทุกอย่างที่สัมผัสกับน้ำจะละลายในน้ำได้ไม่มากก็น้อย

2.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำ

การวิเคราะห์น้ำในห้องปฏิบัติการ สิ่งหนึ่งที่มักจะทดสอบคือความเข้มข้นของไอออนต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ ผลการทดสอบโดยทั่วไปจะแสดงเป็นน้ำหนักของธาตุหรือเรดิคอล (ไอออน) ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร หรือ mg/l หรือในหน่วยส่วนในล้านส่วน (part per million, ppm) ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว 2 หน่วยนี้มีค่าเท่ากัน เนื่องจากน้ำ 1 ลิตร มีน้ำหนัก 1,000,000 มิลลิกรัม ดังนั้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงมีค่าเท่ากับ 1 มิลลิกรัมของสารที่ละลายในน้ำ ใน 1,000,000 มิลลิกรัมของน้ำ ซึ่งเท่ากับ 1 ส่วนใน 1,000,000 ส่วนโดยน้ำหนัก หรือ 1

ppm นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารในสารละลายอาจแสดงในหน่วย milliequivalent/litre (meq/l) หรือเรียกว่าความเข้มข้นแบบนอร์มัล (Normal, N) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก mg/l โดยใช้สูตร

$$\text{N (meq/l)} = \text{mg/l} \times \frac{\text{Valence}}{\text{Atomic Mass}} = \frac{\text{mg/l}}{\text{Equivalent Mass}} \qquad (2\text{-}1)$$

หรือถ้าเป็นในกรณีของไอออนหรือสารประกอบ สมการจะมีลักษณะ

$$\text{N (meq/l)} = \text{mg/l} \times \frac{\text{Charge}}{\text{Molecular Mass}} = \frac{\text{mg/l}}{\text{Equivalent Mass}} \qquad (2\text{-}2)$$

ลักษณะทางเคมีที่สำคัญในการวิเคราะห์สมบัติของน้ำ จะถูกใช้เปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำตามกิจกรรมการใช้ประโยชน์ เช่น เพื่ออุปโภคบริโภค เพื่อการอนุรักษ์ เพื่อการเกษตร หรือเพื่อการคมนาคม หรือเปรียบเทียบมาตรฐานน้ำทิ้ง ตามที่กฎหมายกำหนดไว้

ในบางกรณีการรายงานผลความเข้มข้นในหน่วย mg/l อาจไม่สะดวกในการอ่านค่าส่วนประกอบทางเคมีในน้ำ การแสดงผลในรูป meq/l จะทำให้สามารถตรวจหาปริมาณของไอออนที่สำคัญได้อย่างรวดเร็ว ผลรวมของ meq/l ของไอออนที่เป็นบวก (Cation) ต้องมีค่าเท่ากับผลรวมของไอออนที่เป็นลบ (Anion) ในการประเมินคุณสมบัติของน้ำก็มีลักษณะเช่นเดียวกันเนื่องจากน้ำมีความสมดุลของประจุไฟฟ้า ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 2-2 ผลการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างหนึ่ง ได้แสดงไว้ดังนี้ จงเปลี่ยนหน่วยความเข้มข้นจาก mg/l เป็น meq/l และคำนวณความกระด้าง (ปริมาณ Cations ที่มีประจุ 2+ ขึ้นไป) ในหน่วย mg/l เทียบกับ $CaCO_3$

Cations	ความเข้มข้น (mg/L)
Ca^{2+}	94.5
Mg^{2+}	28.0
Na^{+}	10.5
K^{+}	21.5

Anions	ความเข้มข้น (mg/L)
HCO_3^{-}	170.2
SO_4^{2-}	120.5
Cl^{-}	95.6

วิธีทำ

Cations	mg/L	น้ำหนักสมมูล (mg/meq)	meq/l
Ca^{2+}	94.5	20.0	4.73
Mg^{2+}	28.0	12.2	2.30
Na^{+}	10.5	23.0	0.46
K^{+}	21.5	39.1	0.55
รวม			**8.04**

Anions	mg/L	น้ำหนักสมมูล (mg/meq)	meq/l
HCO_3^{-}	170.2	61.0	2.79
SO_4^{2-}	120.5	48.0	2.51
Cl^{-}	97.2	35.5	2.74
รวม			**8.04**

ความกระด้าง (Ca^{2+} + Mg^{2+}) = 4.73 + 2.30 = 7.03 meq/l

จากสมการ (2-2) ความกระด้างในหน่วย mg/l เทียบกับ $CaCO_3$

= 7.03 meq/l x 50.0 mg/meq

= 351.5 mg/l เทียบกับ $CaCO_3$

สุเทพ สรรพยาบาล

2.4 สมดุลเคมี พีเอช และปฏิกิริยาเคมี

2.4.1 สมดุลเคมี

ปฏิกริยาเคมีส่วนใหญ่สามารถเกิดไปข้างหน้าและย้อนกลับได้ ซึ่งปฏิกริยาจะเข้าสู่สมดุลในท้ายที่สุด ซึ่งในสภาวะนี้จะตรวจพบทั้งสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นทั่วไปแสดงดังสมการโดยจะพบว่าหากสาร A และ B เพิ่มขึ้นสมดุลเคมีจะเลื่อนไปทางขวา แต่ถ้าสาร C และ D เพิ่มมากยิ่งขึ้น สมดุลจะเลื่อนไปทางซ้าย ปฏิกริยาเคมีในสภาวะสมดุลสามารถแสดงในรูปของ Mass Action Relationship ดังสมการ

$$aA + bB \leftrightarrow cC + dD \qquad (2\text{-}3)$$

โดยมีค่าคงที่ของสมดุล (Equilibrium Constant, K) คือ

$$K = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b} \qquad (2\text{-}4)$$

โดย A และ B คือสารตั้งต้น (Reactants)

C และ D คือผลิตภัณฑ์ (Products)

[ ] คือความเข้มข้นในหน่วยโมลต่อลิตร หรือโมลาร์ (Molar Concentration)

สมการ (2-3) บอกให้ทราบถึงสูตรเคมีของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ รวมทั้งจำนวนโมลของสารแต่ละตัว สมการจะสมดุลเมื่อจำนวนอะตอมของธาตุแต่ละธาตุทางด้านซ้ายของสมการมีจำนวนเท่ากับทางด้านขวาของสมการ จากสมดุลของสมการเราสามารถใช้ความสัมพันธ์ของโมเลกุลในการคำนวณปริมาณสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ กระบวนการที่ใช้สมดุลของสมการเคมีในการคำนวณนี้เรียกว่า "Stoichiometry"

ในกรณีปฏิกิริยาย้อนกลับได้ที่มีทั้งสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์จะอยู่ในสถานะทางกายภาพเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น ถ้าทั้งหมดอยู่ในรูปของสารละลาย (Solution) จะเกิดสมดุลแบบ Homogeneous Chemical Equilibrium ตัวอย่างที่พบได้ในเรื่องเคมีของน้ำและน้ำเสียคือสมดุลกรดและเบส ส่วนในกรณีปฏิกิริยาย้อนกลับได้ที่มีทั้งสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์อยู่ในสถานะทางแตกต่างกันไม่น้อยกว่า 2 สถานะ จะเกิดสมดุลแบบ Heterogeneous Chemical Equilibrium ยกตัวอย่างเช่น สมดุลของการละลายและการตกผลึกของ หินปูน ($CaCO_3$) และการละลายน้ำของก๊าซ

2.4.2 พีเอช

น้ำแตกตัวได้เล็กน้อยให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเป็น 10^{-7} โมลต่อลิตร ซึ่งมีความเข้มข้นเท่ากับไฮดรอกไซด์ไอออน น้ำบริสุทธิ์จึงมีสมบัติเป็นกลางดังสมการ

$$H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^- \qquad (2\text{-}5)$$

ความเป็นกรดตามธรรมชาติของน้ำมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในน้ำ โดยใช้สัญลักษ์ pH ซึ่งก็คือ

$$pH = \log\frac{1}{[H^+]} = -\log[H^+] \qquad (2\text{-}6)$$

เนื่องจากค่าลอการิทึมของ $1/10^{-7}$ คือ 7 ดังนั้นค่า pH ในสภาวะเป็นกลางคือ 7

เมื่อมีการเติมกรดลงในน้ำ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนจะเพิ่มขึ้นจากการแตกตัวของกรด ดังสมการ ซึ่งส่งผลให้ pH มีค่าลดลง ในทางตรงกันข้ามเมื่อเติมสารเคมีที่เป็นด่างจะทำให้ไฮดรอกไซด์ไอออนรวมกับไฮโดรเจนไอออนอิสระทำให้ไฮโดรเจนไอออนมีความเข้มข้นต่ำลง ทำให้มีค่า pH สูงขึ้น สเกลของค่า pH ในกรณีที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายจึงมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 14 โดยค่า pH ตั้งแต่ 0 ถึง 7 มีความเป็นกรด และค่า pH ตั้งแต่ 7 ถึง 14 มีความเป็นเบส

2.4.3 ปฏิกิริยากรด-เบส

สมมุติว่า HA เป็นกรดที่แตกตัวได้ครั้งเดียว (Monoprotic Acid) ชนิดหนึ่ง เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวและเข้าสู่สมดุลดังสมการ

$$HA \leftrightarrow H^+ + A^- \qquad (2\text{-}7)$$

โดยมีค่าคงที่สมดุลของกรด K_A คือ

$$K_A = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \qquad (2\text{-}8)$$

คูณสมการที่ (2-8) ด้วย –log และ ในทำนองเดียวกับสมการ (2-6) ให้ $-\log K_A = pK_A$ ดังนั้น

$$pK_A = pH - \log\frac{[A^-]}{[HA]} \qquad (2\text{-}9)$$

จากสมการ (2-9) จะเห็นได้ว่าเมื่อ pH เท่ากับ pK_A กรดจะแตกตัวไปครึ่งหนึ่ง นั้นก็คือ ความเข้มข้นของ H^+ เท่ากับ A^- เมื่อ pH เพิ่มขึ้น สัดส่วนของ A^- และ HA ต้องเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจาก pK_A (และ K_A) เป็นค่าคงที่ หมายความว่ากรดจะแตกตัวมากขึ้น ดังนั้นกรดซึ่งแตกตัวได้หมดหรือเรียกว่ากรดแก่ก็คือกรดที่มีค่า pK_A ต่ำมากๆ เมื่อเทียบกับน้ำหรือสารละลายที่กรดนั้นละลายอยู่ สำหรับกรดที่แตกตัวครั้งเดียว เมื่อ pH มีค่าเท่ากับ $pK_A + 1$ กรดนั้นจะแตกตัวไปประมาณ 90 เปอร์เซนต์ เช่น ถ้าเติมกรด Hypochlorous Acid (HOCl) ซึ่งมีค่า pK_A เป็น 7.5 ลงไปในน้ำจำนวนหนึ่งเพื่อลด pH ของน้ำ ถ้าหลังจากเติมกรดแล้วพบว่า pH สุดท้ายลดมาเป็น 8.5 กรดชนิดนี้จะแตกตัวไป 90 เปอร์เซนต์ของปริมาณกรดที่เติมลงไป และถ้าเติมกรดมากขึ้นจน pH สุดท้ายของน้ำเท่ากับ 7.5 กรดชนิดนี้จะแตกตัวไปครึ่งหนึ่งของปริมาณกรดที่เติมลงไป

สำหรับกรดที่แตกตัวได้มากกว่า 1 ครั้ง เช่น กรด H_2CO_3 จะสามารถเขียนสมการและสมดุลการแตกตัวได้ดังนี้

$$H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^- \qquad (2\text{-}10)$$

โดยมีค่าคงที่สมดุลของกรดครั้งแรก K_{A1} คือ

$$K_{A1} = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = 4.45 \times 10^{-7} \text{ ที่ } 25\ ^\circ C$$

และสำหรับการแตกตัวครั้งต่อไป

$$HCO_3^- \leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-} \quad (2\text{-}11)$$

โดยมีค่าคงที่สมดุลของกรดครั้งที่สอง K_{A2} คือ

$$K_{A2} = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = 4.69 \times 10^{-11} \text{ ที่ } 25\ ^\circ C$$

สำหรับเบส เช่น NaOH เมื่อละลายน้ำ จะแตกตัวและเข้าสู่สมดุลตามสมการ

$$NaOH \leftrightarrow Na^+ + OH^-; \quad (2\text{-}12)$$

โดยมีค่าคงที่สมดุลของเบส K_B คือ

$$K_B = \frac{[Na^+][OH^-]}{[NaOH]} = 6.93 \times 10^{-1} \text{ ที่ } 25\ ^\circ C \quad (2\text{-}13)$$

ซึ่งเราสามารถที่แปลงสมการ (2-13) ให้อยู่ในรูปของ pK_B และ pOH และทำการวิเคราะห์ในทำนองเดียวกับที่ได้ทำมาแล้วกับสมดุลของกรดได้ โดยจะไม่กล่าวถึงในรายละเอียดในที่นี้

ดังที่แสดงในสมการที่ (2-7) (2-10) และ(2-12) กรดที่เติมลงในน้ำจะมีการแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุเป็นลบ และไฮโดรเจนไอออนซึ่งส่งผลให้เกิดสารละลายที่เป็นกรด ตัวอย่างเช่น H_2SO_4 จะแตกตัวให้ H^+ และ SO_4^{2-} ในสารละลาย สารละลายที่เป็นเบสสามารถทำได้โดยการเติมเบส เช่น NaOH ลงในน้ำ ถ้าเติมทั้งกรดและเบสลงในน้ำ H^+ จะรวมกับ OH^- เป็นน้ำ (H_2O) และถ้ากรดและเบสถูกเติมลงไปในสารละลายในปริมาณที่สมมูลกัน (ในความเข้มข้นที่เป็นนอร์มัลเท่ากัน) กรดและเบสจะสะเทิน (Neutralize) ซึ่งกันและกัน เกิดเป็นสารละลายเกลือที่มีความเป็นกลางดังนี้

$$H_2SO_4 + 2NaOH = 2H_2O + 2Na^+ + SO_4^{2-} \quad (2\text{-}14)$$

2.4.4 การตกตะกอนผลึก

พิจารณาสมดุลที่เกิดขึ้นในการละลายของแคลเซียมคาร์บอเนตในน้ำ ดังสมการ

$$\underset{\text{(ของแข็ง)}}{CaCo_3} \leftrightarrow \underset{\text{(สารละลาย)}}{Ca^{2+}} + \underset{\text{(สารละลาย)}}{CO_3^{2-}} \quad (2\text{-}15)$$

สมดุลของปฏิกริยานี้เป็นสมดุลระหว่างผลึกของสสารที่อยู่ในสถานะของแข็งและไอออนของสารนั้นที่อยู่ในสถานะของเหลว จะสามารถแสดงในลักษณะเดียวกันกับสมดุลของสสารที่อยู่ในสถานะเดียวกัน ดังนี้

$$K = \frac{[Ca^{2+}][CO_3^{2-}]}{[CaCO_3]} \quad (2\text{-}16)$$

ความเข้มข้นของสสารที่มีสถานะเป็นของแข็ง [$CaCO_3$] ในสมการ (2-16) สามารถแทนได้ด้วยค่าคงที่ K_s ดังนั้น เมื่อคูณสมการ (2-16) ด้วย K_s และเรียกผลคูณของ KK_s ว่าค่าคงที่ผลคูณของการละลาย (Solubility Product Constant, K_{sp}) จะได้

$$K_{sp} = [Ca^{2+}][CO_3^{2-}] = 6.8 \times 10^{-5} \text{ ที่ } 25^{\circ}C \qquad (2\text{-}17)$$

สารละลายจะไม่อิ่มตัวถ้าผลคูณของความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์ (Molar) ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นไอออนองค์ประกอบของตะกอนผลึกมีค่าต่ำกว่าค่า K_{sp} ในทางตรงกันข้ามสารละลายจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturate) ถ้าความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ในหน่วยโมลาร์มีค่าสูงเกินกว่าค่า K_{sp} ในกรณีหลังนี้จะมีการสร้างผลึกและตกตะกอนเกิดขึ้น (Precipitation) จนกว่าความเข้มข้นของไอออนจะลดลงจนเท่ากับความเข้มข้นอิ่มตัวของสารละลาย

2.4.5 การเลื่อนสมดุลเคมี

ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำเสีย การทำให้สารที่ไม่ต้องการเปลี่ยนรูปไปเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำและตกตะกอนแยกตัวออกจากสารละลาย เป็นวิธีการเลื่อนสมดุลเคมีที่นิยมใช้กันทั่วไป ยกตัวอย่างเช่น การใช้Coagulant เช่น สารส้ม (Aluminium Sulfate) ในการกำจัดความขุ่น และใช้ปูนขาว (Lime) ในการกำจัดไอออนที่มีประจุ 2+ ขึ้นไปที่ก่อให้เกิดความกระด้างของน้ำ ภายหลังการเกิดปฏิกริยาเคมีตะกอนที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวของสารแขวนลอยสามารถกำจัดได้โดยการตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วงตามด้วยการกรองน้ำ

น้ำกระด้างมีแนวโน้มที่จะเกิดการตกตะกอนภายในท่อและอุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายน้ำ ในกระบวนการตกตะกอนเพื่อกำจัดความกระด้างของน้ำ แคลเซียม (และแมกนีเซียม) ไอออนจะถูกกำจัดออกโดยการเพิ่ม pH ของน้ำโดยการเติมปูนขาว ซึ่งจะส่งผลในการเลื่อนสมดุลในสมการไปทางขวา โดยลูกศรในด้านขวาของสมการบ่งบอกให้ทราบว่ามีการตกตะกอนของ $CaCO_3$ ในรูปของแข็งดังสมการ

$$CaO + Ca(HCO_3)_2 = 2CaCO_3\downarrow + H_2O \qquad (2\text{-}18)$$

การไล่ก๊าซ (Air Stripping) เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของการอาศัยวิธีเลื่อนสมดุลเคมีเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซ จากนั้นจึงไล่ก๊าซให้ระเหยออกจากสารละลาย ยกตัวอย่าง เช่น Ammonia Stripping ซึ่งใช้ในการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสีย โดยการเติมปูนขาวเพื่อเพิ่ม pH ให้สูงกว่า 10.8 ปูนขาวจะเปลี่ยนรูปแอมโมเนียไนโตรเจนในสารละลายจาก NH_4^+ ให้กลายเป็นก๊าซแอมโมเนียดังสมการ

$$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_3 + H_2O \quad , pK_A = 9.4 \qquad (2\text{-}19)$$

ซึ่งเมื่อนำมาโดยการประยุกต์กับ Counterrcurrent Tower ซึ่งอากาศจะเข้าทางด้านล่างและออกทางด้านบนของ Tower ในขณะที่น้ำถูกพ่นออกทางด้านบนผ่านตัวกลางที่บรรจุอยู่ใน Tower ก๊าซแอมโมเนียจะถูกกำจัดออกจากสารละลายและระเหยออกสู่บรรยากาศ

2.4.6 ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน

ในการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีนั้น แบบหนึ่งที่สามารถพบได้บ่อยคือการเติมออกซิเจนเข้าไปในสารที่เข้าทำปฏิกิริยา หรือมีการเปลี่ยนแปลงวาเลนซ์ของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา โดยคำจำกัดความ

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ การเติมออกซิเจนหรือการกำจัดอิเล็กตรอน และรีดักชันคือการกำจัดออกซิเจนหรือการเติมอิเล็กตรอน ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่รู้จักกันโดยทั่วไป คือการเกิดสนิมของเหล็กอันเนื่องมาจากออกซิเจน

$$4Fe + 3O_2 = 2Fe_2O_3 \qquad (2\text{-}20)$$

เหล็กถูกออกซิไดซ์จาก Fe เป็น Fe^{3+} ในขณะที่ออกซิเจนถูกรีดิวซ์จาก O เป็น O^{2-}

ตัวอย่างของการใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชั่นในการบำบัดน้ำ คือ การกำจัดเฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) ที่ไม่ละลายน้ำออกจากสารละลายโดยปฏิกิริยาออกซิชันด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

$$2H_2O + 3Fe^{2+} + 2Mn^{(7+)}O_4 + 5OH^- = 3Fe^{(3+)}(OH)_3 \downarrow + Mn^{(4+)}O_2 \downarrow \qquad (2\text{-}21)$$

สมการ (2-21) แสดงว่าเฟอรัสไอออนได้รับประจุบวก 1 ประจุ (ถูกออกซิไดส์) กลายเป็น เฟอริกไอออน (Fe^{3+}) ในขณะที่แมงกานีสในเปอร์แมงกาเนตไอออนจะถูกลดวาเลนซ์จาก 7+เป็น 4+ (ถูกรีดิวซ์) กลายเป็นแมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese Dioxide) ตะกอนไฮดรอกไซด์ของเหล็ก (Iron Hydroxide) และแมงกานีสไดออกไซด์ จะถูกกำจัดออกได้โดยการตกตะกอนและการกรอง

2.5 จลนศาสตร์เคมี

ในส่วนของสมดุลเคมีที่ได้กล่าวมาแล้วอย่างสังเขป จะเห็นได้ว่าสมดุลเคมีแสดงทิศทางของปฏิกิริยาและความก้าวหน้าของปฏิกิริยา เช่น แตกตัวไปเท่าใด ละลายอยู่มากน้อยเท่าใดที่สภาวะสมดุล แต่ไม่ได้กล่าวถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาเลย ซึ่งในส่วนของอัตราการเกิดปฏิกิริยานั้นจะได้กล่าวไว้ในส่วนนี้ นิยามของจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาเคมีคือ อัตราการเกิดปฏิกิริยา (Rate of Reaction) จลศาสตร์ที่กล่าวถึงในบทนี้เป็นจลศาสตร์สำหรับปฏิกิริยาที่ไม่ผันกลับที่เกิดขึ้นภายในของเหลวสถานะเดียว โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้น 1 ตัว กลายเป็นสารผลิตภัณฑ์ 1 ตัว

$$A \text{ (สารตั้งต้น)} \longrightarrow P \text{ (ผลิตภัณฑ์)}$$

ในปฏิกิริยาที่ไม่ผันกลับสารตั้งต้นจะทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นผลิตภัณฑ์เกือบสมบูรณ์ ซึ่งเราจะพบโดยทั่วไปในกระบวนการบำบัดน้ำและน้ำเสีย ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่เราจะต้องทำความเข้าใจถึงจลนศาสตร์ของกระบวนการทางเคมี

2.5.1 ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero-order Reaction)

เป็นปฏิกิริยาที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการหายไปของสารตั้งต้นและการเกิดขึ้นของสารผลิตภัณฑ์จะมีความสัมพันธ์กันแบบเป็นเส้นตรง

ให้ c แทนความเข้มข้นของสาร A ที่เวลา t การหายไปของสาร A ที่สัมพันธ์กับเวลาคือ

$$\frac{dc}{dt} = -k_0 \qquad (2\text{-}22)$$

โดย $\frac{dc}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร A

k_0 คือค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (ความเข้มข้นต่อเวลา)

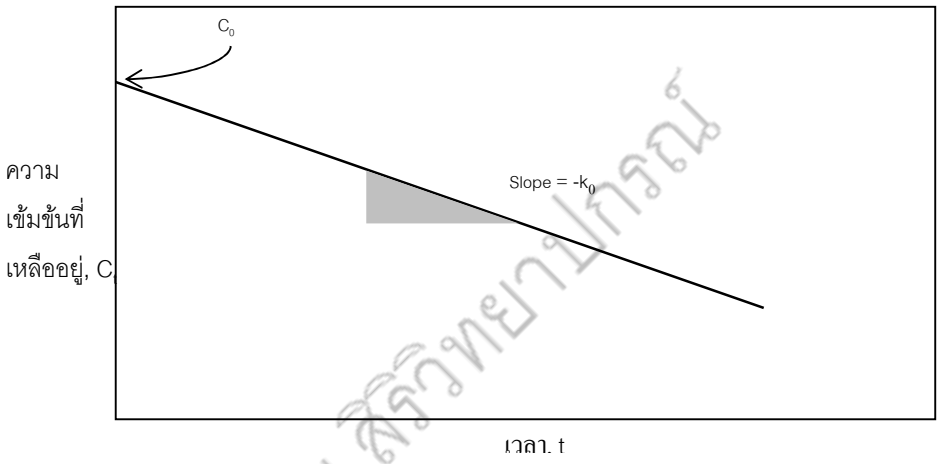
เมื่อแก้สมการที่ (2-22) โดยใช้ช่วงของความเข้มข้นจาก $c = C_0$ ถึง $c = C_t$ และช่วงเวลาจาก t = 0 ถึง t = t และจัดรูปใหม่จะได้เป็น

$$C_t = - k_0 C_O \qquad (2\text{-}23)$$

โดย C_t คือความเข้มข้นของสาร A ที่เหลืออยู่ที่เวลา t ใดๆ (มวลต่อปริมาตร)

C_O คือความเข้มข้นเริ่มต้นของสาร A (มวลต่อปริมาตร)

กราฟปฏิกิริยาลำดับที่ศูนย์ด้วยสมการข้างต้นตามรูป 2-3 จะเป็นเส้นตรง มีค่าความชันเป็น $-k_0$ ซึ่งหมายความว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นสาร A จะมีความเข้มข้นลดลง ตัวอย่างของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ที่อาจพบในเรื่องเคมีของน้ำและน้ำเสียคือการดูดซับสารละลายด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)



รูปที่ 2-3 กราฟของปฏิกิริยาอันดับศูนย์

2.5.2 **ปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง** (First-order Reaction)

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ดังนั้น

$$\frac{dc}{dt} = - k_1 c \qquad (2\text{-}24)$$

โดย k_1 คือค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (ต่อเวลา)

เมื่อแก้สมการที่ (2-24) โดยใช้ช่วงของความเข้มข้นจาก $c = C_0$ ถึง $c = C_t$ และช่วงเวลาจาก t = 0 ถึง t = t และจัดรูปใหม่จะได้เป็น

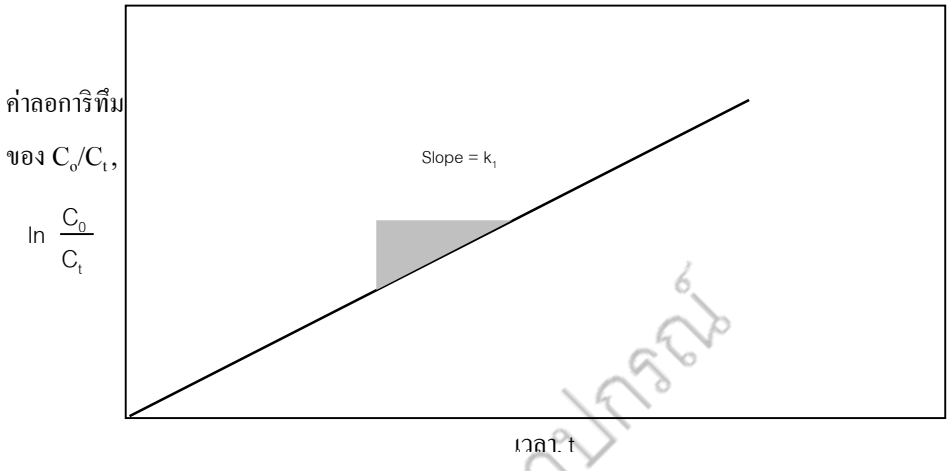
$$C_t = C_0 e^{-k_1 t} \qquad (2\text{-}25)$$

จัดสมการที่ (2-25) ให้อยู่ในรูปเส้นตรง จะได้

$$\ln \frac{C_0}{C_t} = k_1 t \qquad (2\text{-}26)$$

สถาพ สรรพยาปการณ์

สมการ (2-25) แสดงว่า ความเข้มข้นของสารจะลดลงในแบบ exponential จากความเข้มข้นเริ่มต้น ซึ่งมีลักษณะเดียวกับปฏิกิริยาการสลายตัวของการกัมมันตภาพรังสี ตัวอย่างของปฏิกิริยาเคมีที่พบคือการเกิดบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) และปฏิกิริยาการสลายตัวของสารอินทรีย์ในน้ำ เป็นต้น เมื่อพลอตกราฟเส้นตรงของปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่ง ซึ่งแทนด้วยสมการ (2-26) จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 กราฟเส้นตรงของปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง

2.5.3 **ปฏิกิริยาอันดับที่สอง** (Second-order Reaction)

การเกิดปฏิกิริยาลำดับที่สองมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังสองของความเข้มข้นของสารตั้งต้น ดังนั้น

$$\frac{dc}{dt} = -k_2 c^2 \qquad (2\text{-}27)$$

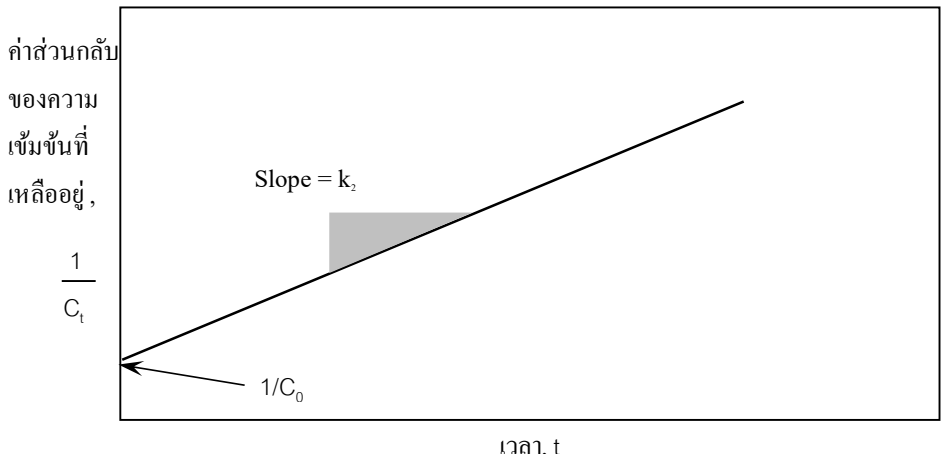
โดย k_2 คือค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่สอง (ต่อความเข้มข้นต่อเวลา)

เมื่อแก้สมการที่ (2-27) โดยใช้ช่วงของความเข้มข้นจาก $c = C_0$ ถึง $c = C_t$ และช่วงเวลาจาก $t = 0$ ถึง $t = t$ และจัดรูปใหม่จะได้เป็น

$$\frac{1}{C_t} - \frac{1}{C_0} = k_2 t \qquad (2\text{-}28)$$

ตัวอย่างของปฏิกิริยาที่พบได้คือ การจับตัวกันของสารแขวนลอยในปฏิกิริยา Coagulation เมื่อพลอตกราฟของปฏิกิริยาลำดับที่สองซึ่งแทนด้วยสมการ (2-28) จะได้เป็นกราฟเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 2-5

สถาบันวิทยบริการ



รูปที่ 2-5 กราฟเส้นตรงของปฏิกิริยาอันดับที่สอง

2.5.4 **ปฏิกิริยาแบบอิ่มตัว** (Saturation-type Reaction)

เป็นปฏิกิริยาแบบผสมระหว่าง ปฏิกิริยาอันดับ 0 และอันดับที่ 1 ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$\frac{dc}{dt} = -\frac{k_s c}{K + c} \qquad (2\text{-}29)$$

โดย k_s คือค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาแบบอิ่มตัว (ความเข้มข้นต่อเวลา)

K คือค่าคงที่ของความเข้มข้นในปฏิกิริยาแบบอิ่มตัว (ความเข้มข้น)

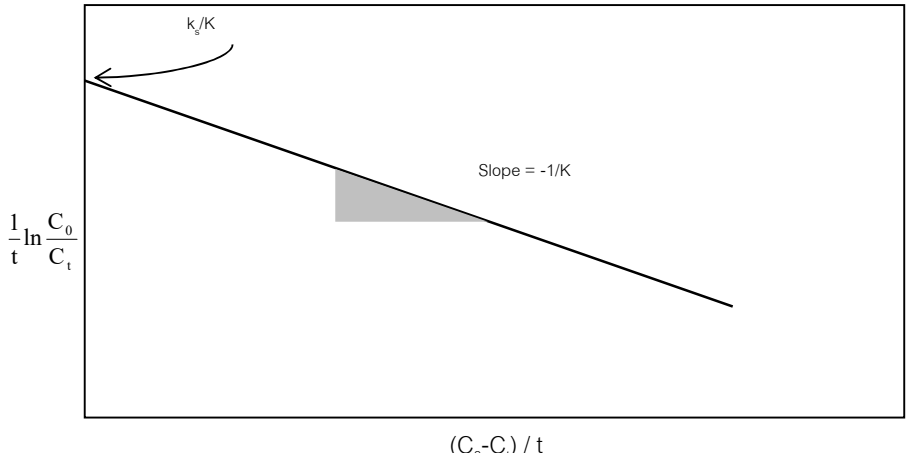
สมการ (2-29) แสดงว่าเมื่อความเข้มข้นน้อยๆ คือ c << K อัตราการเกิดปฏิกิริยา $\frac{dc}{dt}$ จะกลายเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ที่มีค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาเป็น $-\frac{k_s}{K}$ และเมื่อ c มีค่ามากๆ คือ c >> K อัตราการเกิดปฏิกิริยา $\frac{dc}{dt}$ จะกลายเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 0 ที่มีค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาเป็น k_s

เมื่อแก้สมการที่ (2-29) โดยใช้ช่วงของความเข้มข้นจาก $c = C_0$ ถึง $c = C_t$ และช่วงเวลาจาก t = 0 ถึง t = t และจัดรูปใหม่จะได้เป็น

$$\frac{1}{t}\ln\frac{C_0}{C_t} = -\frac{1}{K}\left(\frac{C_0 - C_t}{t}\right) + \frac{k_s}{K} \qquad (2\text{-}30)$$

ตัวอย่างของปฏิกิริยาแบบนี้คือฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวโดยกระบวนการชีวภาพ กราฟเส้นตรงของสมการ (2-30) เพื่อหาค่าคงที่ต่างๆ ของปฏิกิริยาแสดงในรูป 2-6

สุพพต สิริรัตนบำรุง



รูปที่ 2-6 กราฟเส้นตรงของปฏิกิริยาแบบอิ่มตัว

2.5.5 ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต้องไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา ความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างอุณหภูมิและค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาเคมีตั้งขึ้นโดย Arrhenius ในปี 1889 เมื่อสมการแรกเริ่มของ Arrhenius ได้รับการปรับปรุงและทำให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้น จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นดังนี้

$$k_2 = k_1\theta^{T2-T1} \qquad (2\text{-}31)$$

โดย k_1 และ k_2 = ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 1 และ 2 ตามลำดับ

θ = ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (Temperature Coefficient)

T_1 และ T_2 = อุณหภูมิที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ($^{\circ}C$)

ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (Temperature Coefficient) มีค่าคงที่ในช่วงอุณหภูมิแคบๆ ในช่วงที่มีการบำบัดน้ำและน้ำเสีย การใช้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสามารถประยุกต์ใช้ค่าอุณหภูมิขณะทำการทดลองกับช่วงอุณหภูมิที่ $\pm 5\ ^{\circ}C$ จากอุณหภูมินั้น ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสำหรับทั้งปฏิกิริยาเคมีและปฏิกิริยาชีวภาพที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ 1.072 โดยค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาชีวภาพจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าหรือลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 10 $^{\circ}c$

2.6 ความสามารถในการละลายน้ำของก๊าซ

ก๊าซส่วนใหญ่สามารถละลายน้ำได้ไม่มากก็น้อย มีก๊าซบางชนิดที่ทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ ก๊าซตัวหนึ่งที่มีปฏิสัมพันธ์กับน้ำน้อยมากคือ ก๊าซมีเธน (CH_4) ซึ่งถูกผลิตขึ้นในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้

สุเทพ สรวยหาญ

ออกซิเจนของกากสลัดจ์ (Sludge) และบางครั้งอาจมีการรวบรวมมาเผาเพื่อให้ได้ความร้อน ก๊าซหลัก 2 ชนิดที่มีปริมาณมากในบรรยากาศ คือ ไนโตรเจน และออกซิเจน เป็นก๊าซซึ่งไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำและมีความสามารถในการละลายน้ำอย่างจำกัด ความสามารถในการละลายน้ำของก๊าซแต่ละชนิดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันของก๊าซชนิดนั้นที่กระทำอยู่เหนือผิวน้ำ ณ ความดันหนึ่งๆ ความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากตามอุณหภูมิของน้ำและความเค็ม (ความเข้มข้นของคลอรีน) ของน้ำ และการละลายจะมีค่าต่ำลงตามความเค็มและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ค่าการละลายอิ่มตัวของออกซิเจนจากปริมาณออกซิเจนที่มีในบรรยากาศ 21% สำหรับค่าอุณหภูมิและความเค็มต่างๆ แสดงในตาราง 2-4

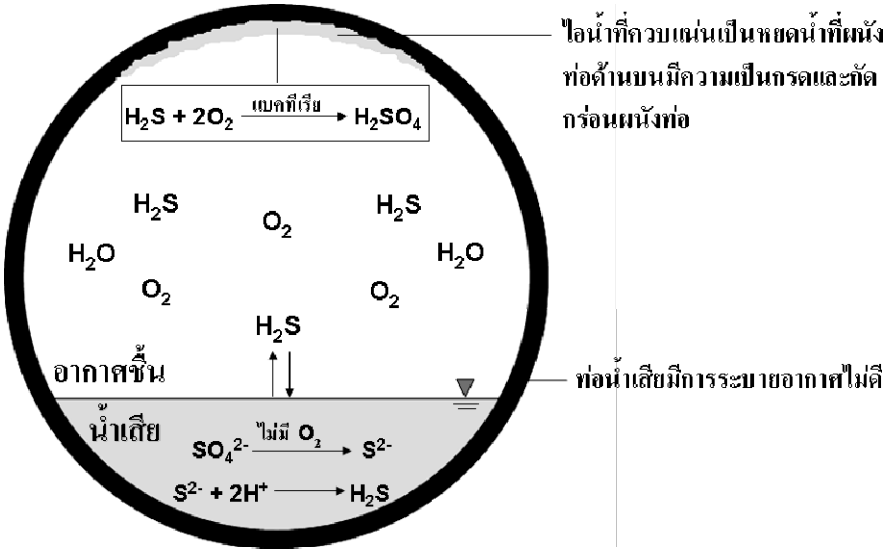
ตาราง 2-4 ค่าการละลายอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำที่สภาวะสมดุลกับปริมาณออกซิเจนที่มีในบรรยากาศ สำหรับค่าอุณหภูมิและความเค็มต่างๆ ที่ความดันบรรยากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท

อุณหภูมิ (°C)	**ความเค็ม (ส่วนในพันส่วน, ppt)**					
	0 ppt	9 ppt	18 ppt	27 ppt	36 ppt	45 ppt
	ปริมาณออกซิเจนละลายอิ่มตัว (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
0	14.62	13.73	12.89	12.1	11.36	10.66
10	11.29	10.66	10.06	9.49	8.96	8.45
20	9.09	8.62	8.17	7.75	7.35	6.96
25	8.26	7.85	7.46	7.08	6.72	6.39
30	7.56	7.19	6.85	6.51	6.20	5.90
40	6.41	6.12	5.84	5.58	5.32	5.08

ก๊าซหลายชนิดสามารถเกิดขึ้นในน้ำได้โดยการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำ แอมโมเนียอาจเกิดจากการย่อยสลายทางชีวภาพของสารประกอบอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจน โดยจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออนหากสารละลายนั้นอยู่ในสภาวะเป็นกรดดังได้กล่าวมาแล้ว ก๊าซที่ถูกปล่อยออกมาจากน้ำเสียอีกชนิดหนึ่งพบบ่อย คือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือที่รู้จักกันดีในชื่อของก๊าซไข่เน่าซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาชีวเคมีโดย SO_4^{2-} ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนเป็น S^{2-} ซึ่งจะรวมตัวกับ H^+ เป็น HS^- และเป็น H_2S ในที่สุด และปล่อยออกจากสารละลายในรูปของก๊าซ H_2S ดังสมการ

$$H_2S \rightarrow H^+ + HS^- \quad , pK_A = 7.1 \qquad (2\text{-}32)$$

ก๊าซนี้เป็นสาเหตุให้เกิด “Crown Corrosion” ในในท่อระบายน้ำโสโครกที่มีการระบายอากาศไม่ดี ทำให้มีความอับชื้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก H_2S ถูกออกซิไดซ์ (โดยแบคทีเรีย) แล้วรวมตัวกับน้ำเป็นกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ในหยดน้ำที่เกิดจากการควบแน่นของความชื้นซึ่งเกาะอยู่ ณ ผนังด้านในของท่อ ดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 การเกิด Crown Corrosion ในท่อน้ำเสีย และปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง

คลอรีนเป็นสารออกซิไดซ์ (Oxidizing Agent) ที่นิยมใช้กันทั่วไปในการฆ่าเชื้อโรคในระบบประปาชุมชน คลอรีนในสถานะของเหลวถูกขนส่งไปยังโรงบำบัดน้ำโดยถูกบรรจุอยู่ในถังเหล็กที่มีความดันสูง เมื่อลดความดันลงของเหลวจะเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในรูปของก๊าซคลอรีนและนำมาเติมให้กับน้ำ ก๊าซคลอรีนทำปฏิกิริยากับน้ำดังแสดงในสมการ (2-33) และ (2-34) ในสารละลายเจือจาง คลอรีนจะรวมตัวกับโมเลกุลของน้ำสร้างเป็นกรดไฮโดรคลอริกและกรดไฮโปคลอรัส (HOCl) ตามสมการ (2 – 33) ซึ่งกรดไฮโดรคลอริกจะแตกตัวทันทีเป็นไฮโดรเจนไอออนและคลอไรด์ไอออน ส่วน HOCl ซึ่งสามารถแตกตัวให้ไฮโปคลอไรต์ไอออน (OCl^-) โดย HOCl จะเกิดที่ pH ต่ำกว่า 6 และจะแตกตัวมากขึ้นเมื่อค่า pH สูงขึ้นจนแตกตัวอย่างสมบูรณ์ที่ค่า pH สูงกว่า 9 ตามสมการ (2 – 34) ค่า pH ในระหว่างช่วงเวลาในการฆ่าเชื้อโรคเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจาก HOCl มีประสิทธิภาพมากกว่า OCl^- ในการฆ่าเชื้อโรคที่ก่อให้เกิดอันตราย

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow H^+ + Cl^- + HOCl \qquad (2\text{-}33)$$

$$HOCl \leftrightarrow H^+ + OCl^- \quad , pK_A = 7.5 \qquad (2\text{-}34)$$

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณเพียง 0.03% ในบรรยากาศ แต่ก็มีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับเคมีของน้ำ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดปฏิกิริยากับน้ำได้ทันที และได้ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) เป็นผลิตภัณฑ์ CO_2 ในน้ำอาจถูกดูดซับมาจากบรรยากาศหรือได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียและการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำ CO_2 ที่ละลายน้ำจะเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ดังนี้

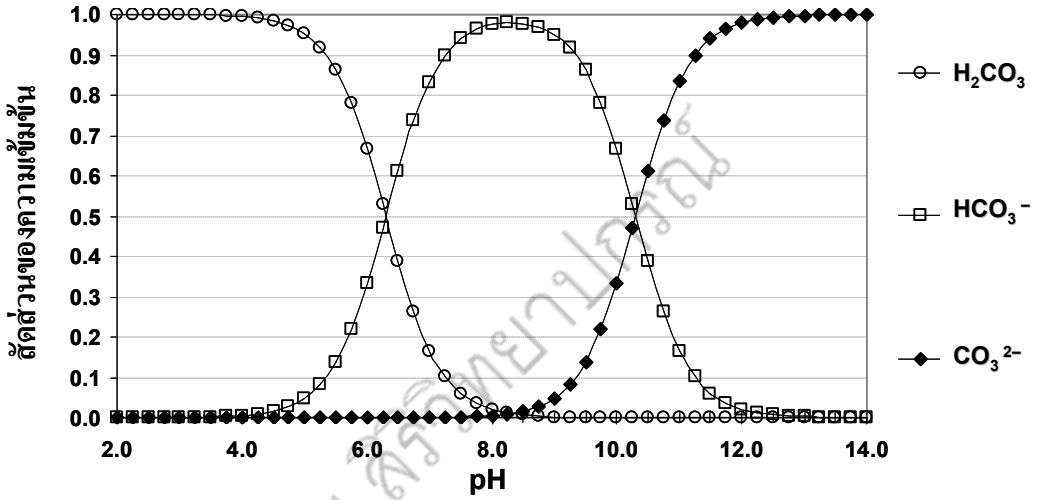
$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \qquad (2\text{-}35)$$

เมื่อ pH ของน้ำสูงกว่า 4.5 กรดจะมีการแตกตัวเป็นไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และไบคาร์บอเนตมีการแตกตัวต่อเป็นคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ถ้า pH มีค่าสูงกว่า 8.3 (รูปที่ 2-8) คาร์บอนไดออกไซด์ (กรดคาร์บอนิค) มี

ส่วนทำให้เกิดการผุกร่อนของท่อระบายน้ำ ดังนั้นท่อส่งน้ำที่มีค่า pH ต่ำจึงต้องมีปรับสภาวะให้เป็นกลางเพื่อป้องกันการสึกกร่อนของเส้นท่อ ในอีกด้านหนึ่ง นอกจากนี้น้ำที่มีความเป็นด่าง (Alkaline) ด้วย CO_3^{2-} จะมีความกระด้างและเกิดการตกตะกอนของ $CaCO_3$ การปรับค่า pH ให้ต่ำลงและการแก้ไขความกระด้างของน้ำจึงเป็นขั้นตอนที่จำเป็นในกระบวนการบำบัดน้ำ สมการ (2-36) และ (2-37) แสดงปฏิกิริยาการแตกตัวของไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนต ที่สภาวะสมดุล

$$H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^- \quad , pK_A = 6.3 \qquad (2\text{-}36)$$

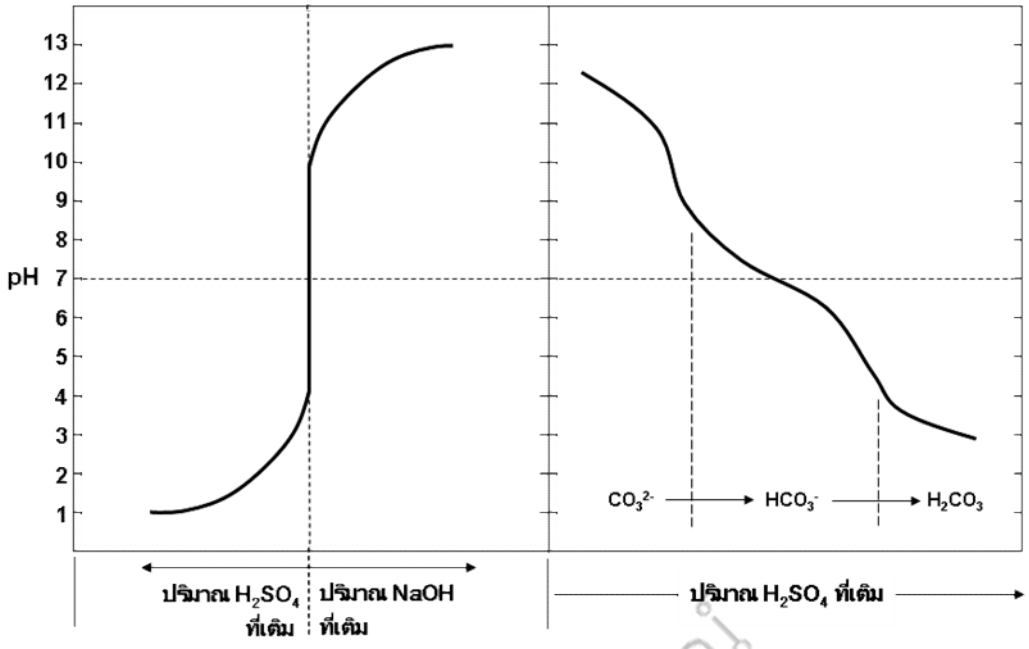
$$HCO_3^- \leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-} \quad , pK_A = 10.3 \qquad (2\text{-}37)$$



รูปที่ 2-8 สัดส่วนของความเข้มข้นของ H_2CO_3 HCO_3^- และ CO_3^{2-} ที่ pH ต่างๆ คำนวณจากสมดุลมวล และสมดุลเคมีที่แสดงในสมการ (2-36) และ (2-37)

2.7 การไทเทรท บัฟเฟอร์ สภาพด่างและสภาพกรด

การเติมกรดหรือเบสแก่ลงในน้ำตัวอย่างช้าๆ และอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงของ pH กระบวนการนี้เรียกว่าไทเทรท (Titrate) วิธีนี้ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของ ไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนต ในน้ำ และยังใช้ในการวิเคราะห์สภาพด่าง (Alkalinity) และสภาพกรด (Acidity) ของน้ำด้วย ถ้าน้ำบริสุทธิ์ (pH = 7) จำนวน 2 ตัวอย่างถูกไทเทรทด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของ pH จะสามารถแสดงได้ด้วย Titration Curve เส้นเดียวดังรูปที่ 2-9(1) เห็นได้ว่า สารที่ใช้ไทเทรทเพียงเล็กน้อยก็ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากกรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ แตกตัวได้หมด (เป็นกรดและเบสแก่) ทำให้เกิดการเพิ่มหรือลดปริมาณไฮโดรเจนไอออนส่งผลทันทีต่อค่า pH ที่อ่านได้

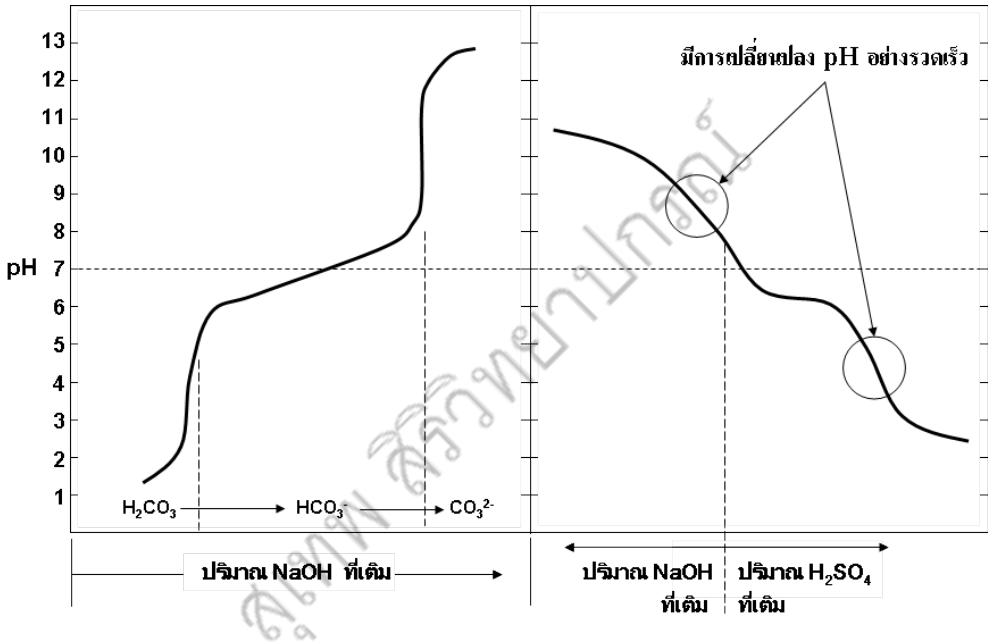


รูปที่ 2-9 Titration Curve ของ (1) น้ำบริสุทธิ์ถูกไทเทรทด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ (2) น้ำที่มีไอออนกลุ่มคาร์บอเนตถูกไทเทรทด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก

ในกรณีที่น้ำประกอบด้วยคาร์บอเนตไอออนความเข้มข้นสูง ซึ่งเตรียมโดยการเติมโซเดียมคาร์บอเนตลงในน้ำกลั่น เมื่อไทเทรทด้วยกรดจะมีการเปลี่ยนแปลงของ pH ดังรูปที่ 2-9(2) ในตอนเริ่มต้น pH จะลดลงอย่างช้าๆ เพราะไฮโดรเจนไอออนส่วนใหญ่จากกรดจะรวมตัวเข้ากับคาร์บอเนตไอออนสร้างไบคาร์บอเนต (สมการ (2-37)) แต่ยังคงมีไฮโดรเจนไอออนส่วนเกินเหลืออยู่ซึ่งเป็นตัวทำให้ค่า pH ต่ำลง จนกระทั่งที่ pH ประมาณ 8.3 คาร์บอเนตไอออนทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นไบคาร์บอเนตและจะมีการเปลี่ยน pH อย่างรวดเร็ว (ดูเปรียบเทียบกับรูปที่ 2-8) ทั้งนี้เพราะไบคาร์บอเนตไอออนส่วนมากจะยังไม่รวมตัวกับไฮโดรเจนไอออนที่ pH นี้ (ไบคาร์บอเนตครึ่งหนึ่งจะรวมตัวกับไฮโดรเจนไอออนที่ pH = pK_A = 6.3 ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในส่วนของปฏิกิริยากรด-เบส) การเติมสารไทเทรท (เติมไฮโดรเจนไอออน) ต่อไป ไฮโดรเจนไอออนจะรวมตัวกับไบคาร์บอเนตเป็นเป็นกรดคาร์บอนิกและ pH จะลดลงอย่างช้าๆ อีกครั้ง จนกระทั่งที่ pH ต่ำกว่า 4.5 ไบคาร์บอเนตจะกลายเป็นกรดคาร์บอนิกทั้งหมดและจะเห็นการเปลี่ยนแปลง pH อย่างรวดเร็วอีกครั้ง และการปั่นกวนตัวอย่างน้ำในเวลานี้ จะส่งผลให้มีการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาย้อนกลับของสมการ (2-35) ถูกปลดปล่อยออกจากสารละลาย

ในทางกลับกัน ถ้ามีการเติมเบสแก่ลงในน้ำที่มีกรดคาร์บอนิกอยู่ (Reverse Titration) จะทำให้กรดคาร์บอนิกเปลี่ยนเป็นไบคาร์บอเนตและเปลี่ยนรูปเป็นคาร์บอเนตตามลำดับโดย Titration Curve ที่ได้จะเป็นเส้นดังแสดงในรูปที่ 2-10(1) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของ pH สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับที่ได้บรรยายมาแล้วสำหรับรูป 2-9(2)

จากการทำไทเทรทด้วยกรดและเบส จะเห็นได้ว่าสสารที่อยู่ในสารละลาย เช่น ไอออนในแบบต่างๆ ของคาร์บอนไดออกไซด์ช่วยต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำเมื่อมีการเติมกรดและเบส หรือที่เรียกว่าเป็น “บัฟเฟอร์“ การทำความเข้าใจในการเกิดสภาวะบัฟเฟอร์ในน้ำและน้ำเสียเป็นสิ่งที่จำเป็นเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีในการบำบัดน้ำและปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตในการบำบัดน้ำเสียหลายปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับค่า pH และต้องมีการควบคุมระดับค่า pH ให้เหมาะสม รูปที่ 2-10(2) เป็นลักษณะของ Titration Curve สำหรับน้ำใต้ดินหรือน้ำบ่อที่มีความกระด้าง ที่มี pH เริ่มต้นประมาณ 7.8 การเปลี่ยนค่า pH อย่างรวดเร็วที่ช่วง pH 4.5 และ 8.3 บ่งบอกให้ทราบว่าบัฟเฟอร์หลักของระบบ คือ ระบบไบคาร์บอเนต-คาร์บอเนต ซึ่งพบทั่วไปในน้ำธรรมชาติ ความไม่แน่นอนและคลาดเคลื่อนจาก Titration Curve ตามทฤษฎีอาจมีสาเหตุมาจากสารประกอบบัฟเฟอร์ต่างๆ ซึ่งพบบ่อยที่ระดับความเข้มข้นต่ำ เช่น ฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) เป็นต้น



รูปที่ 2-10 Titration Curve ของ (1) น้ำที่มีกรดคาร์บอนิกถูกไทเทรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ (2) น้ำใต้ดินและน้ำบ่อที่มีความกระด้าง ถูกไทเทรทด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

สภาพด่าง (Alkalinity) ของน้ำวัดได้จากความสามารถในการทำกรดให้เป็นกลางหรือความสามารถในการดูดซับไฮโดรเจนไอออนโดยไม่ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ สภาพด่างสามารถวัดได้โดยการไทเทรตน้ำตัวอย่างด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.02 N (Normality (N) คือ วิธีการแสดงความเข้มข้นของสารละลายเคมี โดยสารละลายเข้มข้น 1.00 N ประกอบด้วย 1 g ของไฮโดรเจนไอออน หรือสมมูลของไฮโดรเจนไอออน ต่อ 1 ลิตรของสารละลาย , สารละลายกรดซัลฟิวริก 0.02 N ประกอบด้วย 0.98 กรัม ของกรดซัลฟิวริกบริสุทธิ์ ซึ่งเป็น 0.02 เท่า ของน้ำหนักสมมูลของกรดซัลฟิวริก) สำหรับตัวอย่างที่มีค่า pH สูงกว่า 8.3 ขั้นตอนแรกคือการไทเทรตให้ได้ pH 8.3 ในขั้นตอนที่สองหรือเป็นขั้นตอนที่หนึ่งในกรณีที่น้ำมี pH แรกเริ่มต่ำ

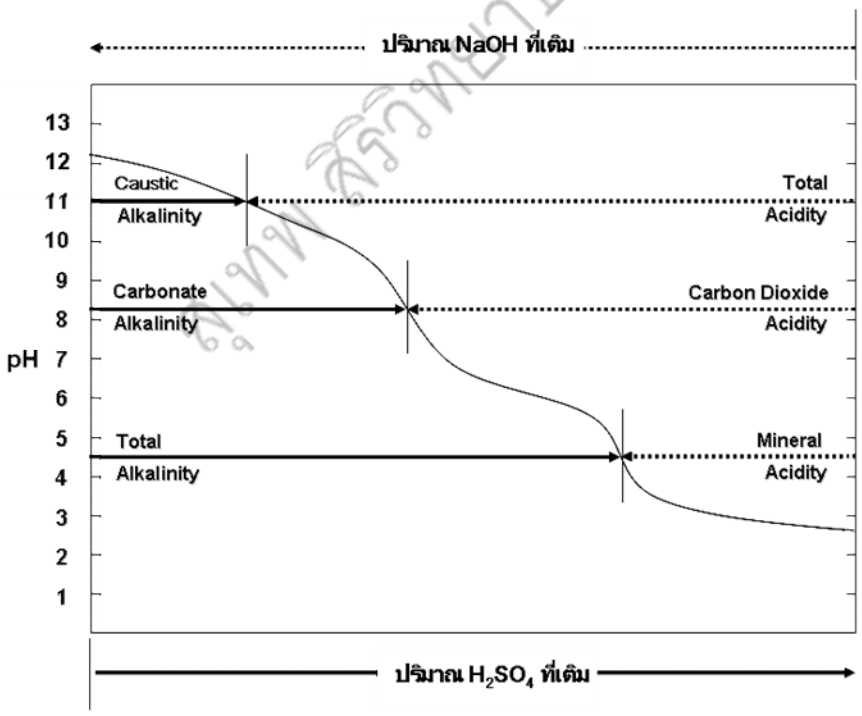
สุเทพ สถิรพยาปกรณ์

กว่าหรือเท่ากับ 8.3 ให้ทำการไทเทรตจนกระทั่งมีค่า pH เป็น 4.5 การหาจุดยุติ อาจใช้สาร Colorimetric Indicator ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงสีที่ค่า pH จำเพาะ หรือใช้ pH meter สารที่ใช้โดยทั่วไปคือ Phenolphthalein ที่เปลี่ยนจากสีชมพูไปเป็นไม่มีสีที่ pH 8.3 และ สารละลาย Methyl Orange ที่เปลี่ยนจากสีส้มที่ pH = 4.6 ไปเป็นสีชมพูที่ pH = 4.0

สภาพด่างตั้งแต่การเติมกรดเริ่มแรกจนถึงจุดยุติที่ pH = 4.6 เรียกว่า Total Alkalinity สำหรับสภาพด่างตั้งแต่การเติมกรดเริ่มแรกจนถึงจุดยุติที่ pH = 8.3 เรียกว่า Carbonate Alkalinity หรือ Phenolphthalein Alkalinity สำหรับน้ำเสียที่มีความเป็นด่างมากๆ และมีค่า pH สูง (สูงกว่า 11) อาจมีค่าสภาพด่างที่เรียกว่า Caustic Alkalinity หรือ Hydroxide Alkalinity (รูปที่ 2-11) ซึ่งเกิดจาก OH^- และเป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำได้รับการปนเปื้อนของสารเคมีที่เป็นด่างสูง เช่น $Ca(OH)_2$ เป็นต้น ในน้ำธรรมชาติ HCO_3^- และ CO_3^{2-} รวมทั้งสารอื่นๆ ที่เกิดจากการละลายของหินปูนในชั้นดินและหินจะเป็นสารหลักที่ให้สภาพด่าง สภาพด่างนิยมแสดงในรูปของมิลลิกรัม $CaCO_3$ ต่อลิตร และคำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{Alkalinity mg/l (as } CaCO_3) = \frac{\text{ml ของกรดที่เติม X ความเข้มข้นของกรดเป็น N X 50,000}}{\text{ml ของตัวอย่างน้ำ}} \quad (2\text{-}38)$$

หมายเหตุ: ถ้าน้ำตัวอย่าง 100 ml และความเข้มข้นของกรดเป็น 0.02 N, 1 มิลลิลิตรของกรดที่เติมแทน ค่า Alkalinity 10 มิลลิกรัม /ลิตร



รูปที่ 2-11 นิยามและความสัมพันธ์ระหว่างสภาพกรดและสภาพด่าง แสดงโดย Titration Curve ของน้ำที่มีสารกลุ่มคาร์บอเนตเป็นหลัก ด้านล่างจากซ้ายไปขวาเป็นการไทเทรทน้ำด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเพื่อวิเคราะห์สภาพด่าง (Alkalinity) ด้านบนจากขวาไปซ้ายเป็นการไทเทรทน้ำด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อวิเคราะห์สภาพกรด (Acidity)

สุเทพ สรีวพยาปกรณ์

ตัวอย่าง 2-3 น้ำบ่อในธรรมชาติ 100 มิลลิลิตร ที่ค่า pH เริ่มต้นเป็น 8.5 ถูกนำมาไทเทรทเพื่อหาสภาพด่างด้วยกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.02 N ผลปรากฏว่าต้องเติมกรดซัลฟิวริก 2.5 มิลลิลิตร เพื่อให้ถึงจุดยุติที่มี Phenolphthalein เป็นสาร Indicator (ที่ pH = 8.3) และต้องเติมกรดเพิ่มอีก 10.2 มิลลิลิตร เพื่อให้ถึงจุดยุติที่มี Methyl Orange เป็นสาร Indicator (ที่ pH = 4.6) จงคำนวณค่า Caustic Alkalinity Carbonate Alkalinity และ Total Alkalinity ของน้ำตัวอย่างนี้ พร้อมทั้งระบุว่าสภาพด่างที่เกิดจาก HCO_3^- และ CO_3^{2-} มีค่าเท่าใด

วิธีทำ เนื่องจาก pH ของน้ำเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่า 11.0 ดังนั้นจึงไม่มีค่า Caustic Alkalinity

จากสมการ (2-38)

Carbonate Alkalinity	=	(2.5 * 0.02 * 50000) / 100	=	25 mg/l (as $CaCO_3$)
Total Alkalinity	=	(10.2 * 0.02 * 50000) / 100	=	102 mg/l (as $CaCO_3$)
สภาพด่างที่เกิดจาก CO_3^{2-}	=	25 mg/l * 2	=	50 mg/l
สภาพด่างที่เกิดจาก HCO_3^-	=	102 – 50	=	52 mg/l

2.8 คอลลอยด์และโคแอกกูเลชัน

น้ำที่มีความขุ่นสูง เกิดจากอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กที่พบในน้ำไม่ได้ตกตะกอนแยกออกจากสารละลาย ยกตัวอย่างเช่น สารประกอบสี อนุภาคดินเหนียว จุลชีพขนาดเล็ก และสารอินทรีย์จากการย่อยสลายซากพืชและของเสียจากชุมชน อนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กเหล่านี้เรียกว่า “คอลลอยด์ (Colloid)” มีขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 500 นาโนเมตร (10^{-9} เมตร) และในบางกรณีไม่สามารถมองเห็นได้เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดา

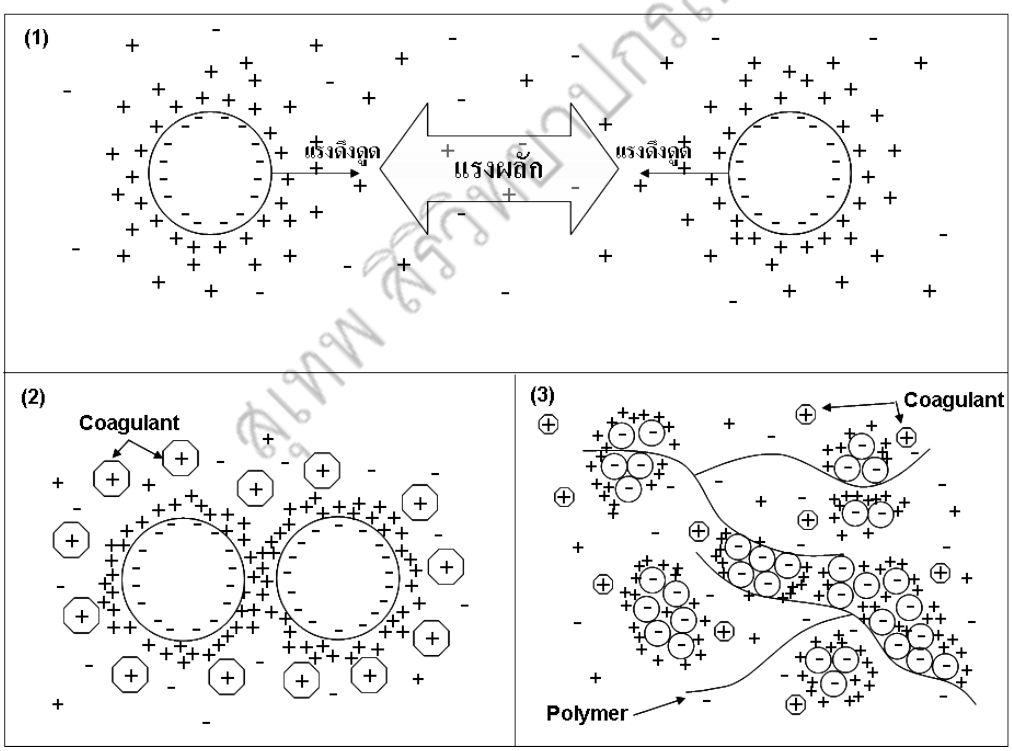
คอลลอยด์ที่มีความเสถียร (Stable) คือคอลลอยด์ที่คงสภาพเป็นแขวนลอยและไม่ตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วงในน้ำนิ่ง เนื่องจากคอลลอยด์แต่ละอนุภาคมีพื้นที่ผิวมากเมื่อเทียบกับน้ำหนัก และแรงโน้มถ่วงก็ไม่ก่อให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์ คอลลอยด์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ Hydrophobic (เกลียดน้ำ) และ Hydrophilic (รักน้ำ)

Hydrophilic Colloid มีความเสถียรเพราะสาเหตุหลักที่ว่าคอลลอยด์ชนิดนี้มีแรงดึงดูดกับโมเลกุลของน้ำ แต่ไม่ใช่เพราะประจุที่พื้นผิวของอนุภาคซึ่งมีเพียงเล็กน้อย ตัวอย่างของคอลลอยด์ที่รู้จักกันดีได้แก่ สบู่ แป้ง ที่ละลายน้ำได้ และสารซักล้างสังเคราะห์ เพราะมีแรงดึงดูดกับน้ำทำให้ไม่สามารถกำจัดออกจากน้ำได้ง่าย เหมือนพวก Hydrophobic Colloid โดยทั่วไปการกำจัด Hydrophilic Colloid ต้องใช้สารโคแอกูแลนท์ในปริมาณที่มากกว่าที่ใช้ในการกำจัด Hydrophobic Colloid ประมาณ 10-20 เท่า

Hydrophobic Colloid ไม่มีแรงดึงดูดกับน้ำ ความเสถียรของอนุภาคจึงขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าที่พื้นผิวของอนุภาค สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำที่ขุ่นตามธรรมชาติมักจะเป็นอนุภาคชนิดนี้ แรงกระทำที่มีต่อคอลลอยด์แสดงดังในรูปที่ 2-12(1) ที่แสดงว่าคอลลอยด์แต่ละอนุภาคจะผลักกันด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Repulsion) อันเนื่องมาจากประจุบวกจากสารละลายที่มาดูดติดที่บริเวณผิวหน้าของอนุภาคที่มีประจุเป็นลบ เรียกว่าการเกิด Double Layer เปรียบเหมือนกับแรงผลักระหว่างแท่งแม่เหล็กขั้วเดียวกัน สำหรับแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคตามธรรมชาติที่เกิดจากแรงระหว่างมวล ที่เรียกว่าแรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waals Force) และการเคลื่อนไหวแบบสุ่มของคอลลอยด์ (Brownian Movement) ที่เกิดขึ้นจากการชนกันระหว่างคอลลอยด์และโมเลกุลของน้ำ จะทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีโอกาสชนกันและดูดติดกัน อย่างไรก็ตามในสภาวะที่อนุภาคคอลลอยด์อยู่ในสภาวะแขวนลอยหรือที่เรียกว่ามีเสถียรภาพ (Stable) ผลรวมสุทธิระหว่างแรงผลัก

ระหว่างอนุภาคมีมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคทำให้อนุภาคคอลลอยด์ไม่สามารถเข้ามาสัมผัสกันได้ ทั้งนี้ก็เพราะแรงผลักจะกระทำที่ระยะทางที่ไกลกว่าแรงดูด

วัตถุประสงค์ของการทำโคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation) ในการบำบัดน้ำคือ การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำทำให้เมื่ออนุภาคเหล่านี้มาสัมผัสกัน สามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนเกิดเป็นฟล็อก (Floc) ซึ่งสามารถแยกออกจากสารละลายได้โดยการตกตะกอน การทำลายเสถียรภาพของ Hydrophobic Colloid ทำได้โดยการเติม Chemical Coagulation เช่น เกลือของอลูมิเนียมและเหล็ก ไอออนของโลหะที่ละลายและที่มีประจุสูงๆ จะไปลดแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์โดยไปลดความหนาของชั้น Double Layer ที่อยู่รอบคอลลอยด์แต่ละอนุภาคดังแสดงในรูป 2-12(2) เมื่อแรงผลักระหว่างอนุภาคถูกกำจัด การปั่นกวนผสมอย่างช้าๆ ทำให้อนุภาคมีโอกาสมาสัมผัสกัน และแรงดึงดูดที่มีอยู่จะทำให้อนุภาคเกาะกับอนุภาคอื่น สารช่วยในการรวมตัวของอนุภาคที่ถูกนำมาใช้ช่วยในการสร้างฟล็อก ได้แก่สารโพลิเมอร์อินทรีย์ (Organic Polymer) ซึ่งจะเป็นตัวเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ที่ไม่เสถียรเข้าด้วยกันโดยเข้าจับกับพื้นผิวคอลลอยด์ สร้างเป็นฟล็อกที่มีมวลมากขึ้น เรียกว่ากระบวนการ Flocculation ดังแสดงในรูป 2-12(3)



รูปที่ 2-12 ภาพจำลองการเกิดกระบวนการ Coagulation และ Flocculation (1) แรงดึงดูดและแรงผลักเมื่อคอลลอยด์แขวนลอยในน้ำในสภาวะที่เสถียร (2) การลดความหนาของชั้น Double Layer ในกระบวนการ Coagulation โดย Coagulant ที่เป็นไอออนของโลหะ (3) สารโพลิเมอร์อินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ที่ไม่เสถียรเข้าด้วยกันโดยเข้าจับกับพื้นผิวคอลลอยด์ สร้างเป็นฟล็อกที่มีมวลมากขึ้น ในกระบวนการ Flocculation

สุเทพ สรวยพยอม

การกำจัดความขุ่นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันขึ้นอยู่กับชนิดของคอลลอยด์ที่แขวนลอย pH และส่วนประกอบทางเคมีของน้ำ ชนิดและปริมาณของสารโคแอกกูแลนท์ รวมทั้งความเร็วและเวลาในการปั่นกวนให้สารเคมีกระจายในน้ำและในระหว่างการสร้างเป็นฟล็อก ถึงแม้ว่าสารเคมีในกระบวนการโคแอกกูเลชันจะทำหน้าที่ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ โดยไปลดความหนาของชั้น Double Layer ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทั้งกระบวนการ Coagulation และ Flocculation ต่างก็เป็นกระบวนการบำบัดทางกายภาพซึ่งเกิดจากการใช้สารเคมีในการบำบัด การปั่นกวนอย่างรวดเร็วในระบบ (Rapid Mixing) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการกระจายและละลายของสารเคมีโคแอกกูแลนท์ในน้ำที่ต้องการบำบัด ต่อมา การกวนช้า (Slow Mixing) ในกระบวนการ Flocculation เป็นการกวนหลังจากสารเคมีกระจายอย่างทั่วถึงแล้วเพื่อให้คอลลอยด์มารวมตัวกัน ตลอดกระบวนการ Coagulation และ Flocculation นี้เป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคให้มีการรวมตัวกันฟล็อกที่มีขนาดเหมาะสมต่อการตกตะกอน หน่วยบำบัดทางเคมีที่พบอาจสร้างต่อกันแบบอนุกรมตามลำดับคือ Mixing-Flocculation-Sedimentation หรืออาจสร้างรวมอยู่ภายในถังเดียวกันโดยใช้เวลาในการกวนเร็ว 0.50 – 1.50 นาที ใช้เวลาในการสร้างฟล็อก 30 – 45 นาที และตกตะกอนใน 2-4 ชั่วโมง ตามด้วยการกรองเพื่อกำจัดอนุภาคที่ไม่ตกตะกอน

2.9 สารประกอบอินทรีย์

สารประกอบอินทรีย์ทุกชนิดประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนจับตัวกันอยู่อย่างต่อเนื่องกันโครงสร้างที่เป็นโซ่หรือวงแหวน โดยมีอะตอมของธาตุอื่นเข้ามาเกาะด้วย โดยธาตุหลักคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ส่วนธาตุอื่นๆ ที่พบรองลงมาคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และโลหะต่างๆ คาร์บอนแต่ละอะตอมสามารถสร้างพันธะได้ 4 พันธะ สารอินทรีย์เป็นสารที่ได้มาจากธรรมชาติ ยกตัวอย่างเช่น เส้นใยพืช และเนื้อเยื่อสัตว์ หรือได้จากการสังเคราะห์ เช่น การสังเคราะห์ยาง และพลาสติก รวมทั้งเกิดจากกระบวนการหมัก เช่น แอลกอฮอล์ กรด และสารปฏิชีวนะ เป็นต้น ในทางตรงกันข้ามกับสารประกอบอนินทรีย์ สารอินทรีย์สามารถถูกเผาไหม้ได้ มีมวลโมเลกุลสูง ละลายน้ำได้น้อย โดยจะคงอยู่ในลักษณะของโมเลกุลมากกว่าแตกตัวเป็นไอออน และใช้เป็นแหล่งอาหารของสัตว์และจุลชีพที่ย่อยสลายซาก

สูตรโมเลกุลของสารประกอบอนินทรีย์มีลักษณะจำเพาะ อย่างไรก็ตามในเคมีอินทรีย์นั้นสูตรทั่วไป (Empirical Formula) สามารถแทนสารประกอบอินทรีย์ได้มากกว่า 1 ชนิด ยกตัวอย่างเช่น สูตร C_2H_6O อาจใช้เป็นตัวแทนของสารทั้ง 2 ชนิดนี้ได้ ดังรูปที่ 2-13



(1) (2)

รูปที่ 2-13 ตัวอย่างสารอินทรีย์ 2 ชนิดที่มีสูตรทั่วไป C_2H_6O เหมือนกัน (1) เอธิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) และ (2) ไดเมธิลอีเธอร์ (Di-Methyl Ether)

สารประกอบที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกันแต่มีสูตรโครงสร้างแตกต่างกันเรียกว่าเป็นไอโซเมอร์ (Isomer) เนื่องจากการมีไอโซเมอร์และการที่พบโครงสร้างเป็นวงแหวนได้เสมอๆ ทำให้นิยมเขียนสูตรสารประกอบอินทรีย์ด้วยสูตรโครงสร้างแบบเส้นมากกว่าสูตรโมเลกุล สำหรับสารอินทรีย์ที่ไม่มีวงแหวนในสูตรโครงสร้างนิยมเขียนในลักษณะ Single Line ยกตัวอย่างเช่น Ethyl Alcohol และ Di-Methyl Ether จะเขียนเป็น CH_3CH_2OH และ $CH_3–O–CH_3$ ตามลำดับ

2.9.1 ไฮโดรคาร์บอน

ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว หรือที่เรียกว่า Alkane หรือ Paraffin ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเท่านั้น ระหว่างอะตอมของคาร์บอนยึดติดกันด้วยพันธะเดี่ยว (Single Bond) มีเธน (CH_4) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน และเมื่อผสมกับอากาศประมาณ 90% จะได้ก๊าซที่สามารถลุกติดไฟใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์หรือเพื่อเครื่องให้ความร้อนได้ โพรเพน (Propane) ใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น แก๊สหุงต้ม โดยถูกเก็บไว้ในถังเหล็กที่ทนความดันสูง ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของมีเธน และโพรเพนเป็นไปดังสมการต่อไปนี้

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + \text{พลังงาน} \qquad (2\text{-}39)$$

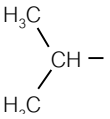
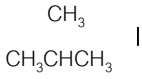
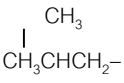
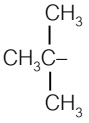
$$CH_3CH_2CH_3 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O + \text{พลังงาน} \qquad (2\text{-}40)$$

ชื่อและสูตรของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอน 1 ถึง 4 อะตอม รวมทั้งชื่อของกลุ่มย่อย (Radical) แต่ละตัวนั้นแสดงในตาราง 2-5

ไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Olefins) แตกต่างจากพาราฟินตรงที่มีพันธะมากกว่าพันธะเดี่ยวอยู่ระหว่างคาร์บอนอะตอม ยกตัวอย่างเช่น อีธีน หรือ เอธิลีน (Ethene หรือ Ethylene) และอะเซธิลีน (Acethylene) ดังโครงสร้างแสดงในรูปที่ 2-14 การที่มีพันธะคู่และพันธะสามระหว่างคาร์บอน ทำให้สารประกอบมีไฮโดรเจนอะตอมน้อยลงเมื่อเทียบกับสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากันดังนั้นจึงใช้คำว่า “ไม่อิ่มตัว Unsaturated)” น้ำมันจากพืชตามธรรมชาติมีสารประกอบไม่อิ่มตัวเป็นจำนวนมากจะมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ไขมันพืชซึ่งมีสถานะเป็นของแข็งสามารถผลิตได้จากการผ่านน้ำมันเข้าสู่กระบวนการไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) ซึ่งทำได้โดยการเติมก๊าซไฮโดรเจนภายใต้สภาวะที่ได้รับการควบคุม การลดจำนวนพันธะไม่อิ่มตัวเป็นการเพิ่มจุดหลอมเหลวและเปลี่ยนน้ำมันไปเป็นไขมันที่เป็นของแข็ง

สุพพ สิริกาญจนา

ตาราง 2-5 ชื่อและสูตรของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอน 1 ถึง 4 อะตอม

ชื่อ	สูตร	กลุ่มย่อย	สูตรของกลุ่มย่อย
Methane	CH_4	Methyl	CH_3–
Ethane	CH_3CH_3	Ethyl	CH_3CH_2–
Propane	$CH_3CH_2CH_3$	n-Propyl	$CH_3CH_2\ CH_2$–
		Isopropyl	
n – Butane	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	n-Butyl	$CH_3CH_2\ CH_2\ CH_2$–
Isobutane		2-Methyl-Propyl	
		Isobutyl หรือ *tert*-Butyl	



รูปที่ 2-14 (1) อีธีน หรือ เอธิลีน (Ethene หรือ Ethylene) และ (2) อะเซธิลีน (Acethylene)

สารประกอบพื้นฐานของอะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน คือ เบนซีน (Benzene) อันประกอบด้วยวงแหวนที่มีคาร์บอน 6 ตัว โดยคาร์บอนอะตอมยึดเกาะกันด้วยพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว บ่อยครั้งที่คาร์บอนอะตอมไม่ได้เขียนแสดงเอาไว้ในสูตรโครงสร้างแบบเส้น (Graphic Formula) ดังรูปที่ 2-15 (ก) เบนซีนถูกใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น เชื้อเพลิง สารฆ่าแมลง สีย้อม และตัวทำละลาย เป็นต้น

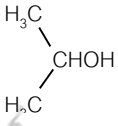
2.9.2 แอลกอฮอล์

เกิดขึ้นจากการแทนที่ไฮโดรคาร์บอนอะตอมด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Group , OH) ชื่อและสูตรของแอลกอฮอล์พื้นฐานที่มีคาร์บอน 3 อะตอม แสดงในตาราง 2-6 เมธานอล (Methanol) สามารถสังเคราะห์ได้จากคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนโดยใช้กระบวนการที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา และเป็นสารประกอบพื้นฐานซึ่งถูกใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตสารประกอบอินทรีย์ เช่น ฟอมัลดีไฮด์ ตัวทำละลายอินทรีย์ เอธิลแอลกอฮอล์ (Ethanol) ซึ่งใช้ผสมเครื่องดื่ม ผลิตได้จากการหมักพืชพรรณตามธรรมชาติ เช่น ข้าวโพด มันฝรั่ง และข้าวเจ้า เป็นต้น ส่วนเอธานอลที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น เป็นสารสารเติมผสมในน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นตัวทำละลาย ได้จากการหมักสารละลายที่เป็นของเสียอันมีส่วนประกอบของน้ำตาล ยกตัวอย่างเช่น การน้ำตาลที่

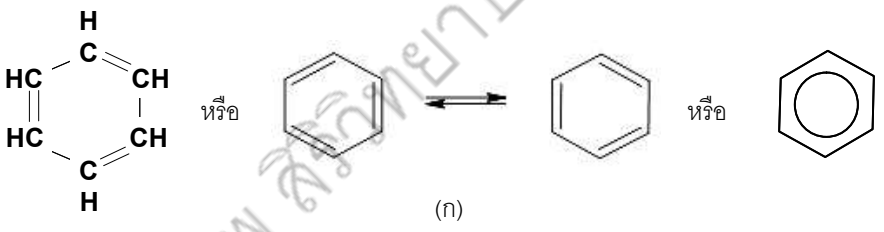
สุเทพ สรีวิทยาปกรณ์

เหลือทิ้งจากการทำน้ำตาลทราย ส่วนโพรพานอลที่มี 2 ไอโซเมอร์ ตัวที่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป คือ ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางในแวดวงอุตสาหกรรม แอลกอฮอล์พื้นฐานทั้ง 3 ตัวที่แสดงในตาราง 2-6 มีจุดเดือดต่ำกว่า 100 °C และสามารถละลายน้ำได้

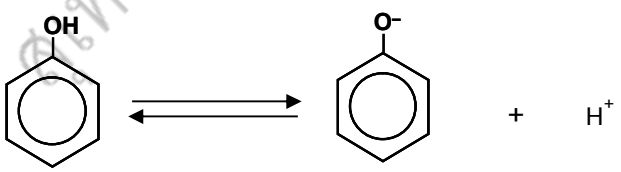
ตาราง 2-6 ชื่อและสูตรของแอลกอฮอล์ที่มีจำนวนคาร์บอน 1 ถึง 3 อะตอม

ชื่อ	สูตร
Methyl Alcohol หรือ Methanol	CH_3OH
Ethyl Alcohol หรือ Ethanol	CH_3CH_2OH
n-Propyl Alcohol หรือ 1– Propanol	$CH_3CH_2\ CH_2OH$
Isopropy Alcohol หรือ 2– Propanol	

อนุพันธ์ของเบนซีนประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่แทนที่ H เรียกว่า ฟีนอล (Phenol) ซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น C_6H_5OH และมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2-15 (ข)



(ก)



(ข)

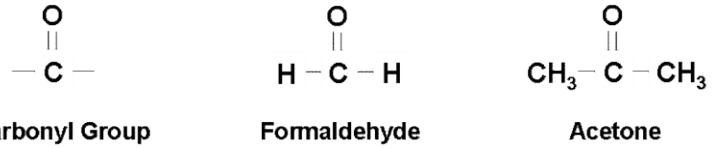
รูปที่ 2-15 (ก) การเขียนสูตรโครงสร้างเบนซีนในรูปแบบต่างๆ (ข) โครงสร้างของฟีนอลและการแตกตัวในน้ำ

สูตรและชื่อที่ลงท้ายด้วย –ol บ่งบอกให้ทรายว่าสารนั้นเป็นแอลกอฮอล์ แต่ฟีนอลหรือที่รู้จักกันทั่วไปในชื่อ กรดคาร์บอลิค (Carbolic Acid) เมื่อแตกตัวในน้ำให้ไฮโดรเจนไอออน มีค่า pK_A ที่ 25 °C เท่ากับ 9.95 ฟีนอลเป็นส่วนประกอบที่มีโดยธรรมชาติในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมถ่านหินและก๊าซปิโตรเลียมรวมทั้งของเสียในอุตสาหกรรมทั่วไปที่ใช้ฟีนอลเป็นวัตถุดิบ ฟีนอลมีความเป็นพิษสูงทำให้ยากต่อการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพ ฟีนอลยังเป็นสารที่ไม่พึงประสงค์เพราะว่าทำให้เกิดกลิ่นในน้ำแม้ว่าจะมีความเข้มข้นต่ำมากก็ตาม

สำเนา สถาบันวิทยบริการ

2.9.3 **อัลดีไฮด์และคีโตน**

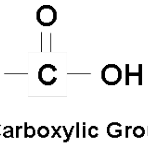
เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอนีล (Carbonyl Group) ดังแสดงในรูปที่ 2-16 ยกตัวอย่าง เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ซึ่งใช้ในการเก็บรักษาตัวอย่างของสิ่งมีชีวิตและใช้ในการผลิตพลาสติก และเรซิน อะซีโตน (Acetone) หรือ Dimethyl Ketone เป็นตัวทำละลายไขมันที่ดี



รูปที่ 2-16 หมู่คาร์บอนีล และสารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตน

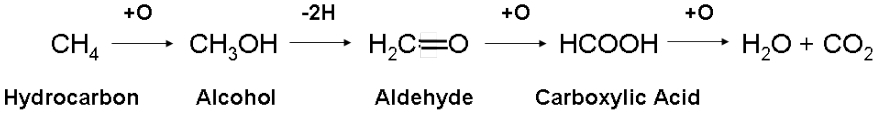
2.9.4 **กรดคาร์บอกซิลิก**

กรดอินทรีย์ทั้งหมดประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซีลิก –COOH (Carboxylic Group) ที่มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2-17



รูปที่ 2-17 หมู่คาร์บอกซีลิก

กรดอินทรีย์เป็นสภาวะออกซิเดชันสูงสุดที่กลุ่มย่อย (Radical) ของสารอินทรีย์สามารถมีได้ ถ้าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไปจะได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2-18



รูปที่ 2-18 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์จาก สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจนเป็น CO_2 และ H_2O

ชื่อ สูตร และค่า pK_A ของการแตกตัวในน้ำที่ 25°C ของกรดอินทรีย์พื้นฐานแสดงในตาราง 2-7 กรดที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 9 ตัวจะมีสถานะเป็นของเหลว แต่ถ้ามีคาร์บอนยาวกว่านี้จะเป็นไข (Grease) ที่เป็นของแข็ง ดังนั้นกรดเหล่านี้จึงมีชื่อสามัญว่า กรดไขมัน (Fatty Acid)

กรดฟอร์มิก (Formic Acid) อะซีติก (Acetic Acid) และกรดโพรพิโอนิก (Propionic Acid) มีกลิ่นไม่รุนแรงนัก ในขณะที่กรดบิวทีริก (Butyric Acid) และกรดวาเลริค (Valeric) มีกลิ่นรุนแรงคล้ายกลิ่นเหม็นหืนของ

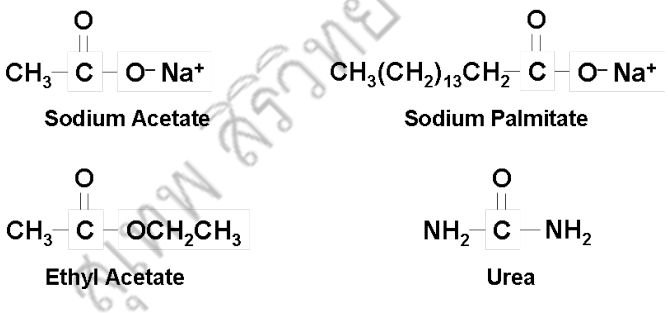
สุเทพ สรวิทยาปกรณ์

น้ำมันและไขมัน การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของกรดไขมันที่มีโมเลกุลเป็นสายโซ่ยาวได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดที่มีคาร์บอน 2 หรือ 3 ตัว ซึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นมีเธนและคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป

ตาราง 2-7 ชื่อ สูตร และค่า pK_A ของการแตกตัวในน้ำที่ 25°C ของกรดอินทรีย์พื้นฐาน

ชื่อ	สูตร	pK_Aที่ 25°C
Formic Acid หรือ Methanoic Acid	HCOOH	3.75
Acetic Acid หรือ Ethanoic Acid	CH_3COOH	4.76
Propionic Acid หรือ Propanoic Acid	CH_3CH_2COOH	4.87
n–Butyric Acid หรือ Butanoic Acid	$CH_3CH_2CH_2COOH$	4.83
Valeric Acid หรือ Pentanoic Acid	C_4H_9COOH	4.84
Caproic Acid หรือ Hexanoic Acid	$C_5H_{11}COOH$	4.85

สารประกอบเบสทำปฏิกิริยากับกรดได้เกลือ ยกตัวอย่างเช่น NaOH ทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกได้ผลิตภัณฑ์เป็นโซเดียมอะซีเตท (Sodium Acetate) สบู่จัดเป็นเกลือของกรดอินทรีย์ที่มีสายโซ่คาร์บอนยาวอนุพันธ์อื่นๆ ของกรดคาร์บอกซิลิคประกอบด้วยเอสเทอร์ (Ester) เช่น เอธิลอะซีเตต (Ethyl Acetate) และ ยูเรีย (Urea) ดังแสดงในรูปที่ 2-19

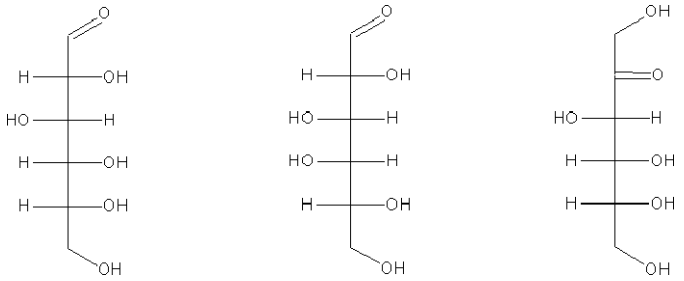


รูปที่ 2-19 สารประกอบโซเดียมอะซีเตท สบู่ (Sodium palmitate) เอธิลอะซีเตต และ ยูเรีย

2.9.5 สารอินทรีย์ในน้ำเสีย

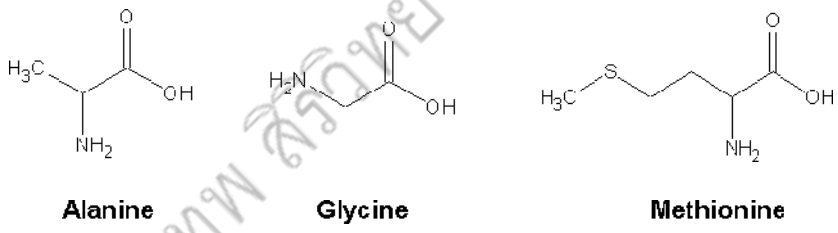
สารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพในน้ำเสียชุมชน แบ่งได้เป็น 3 จำพวกหลักๆ คือ คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates) โปรตีน (Protein) และไขมัน (Lipid) คาร์โบไฮเดรตเป็นน้ำตาลหลายหน่วยมารวมเข้าด้วยกัน โดยสารประกอบของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน น้ำตาลที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนเดียวเรียกว่า โมโนแซกคาร์ไรด์ (Monosaccharide) ซึ่งพบในธรรมชาติเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้น ส่วนไดแซคคาไรด์ (Disaccharide) เป็นการรวมตัวกันของโมโนแซคคาไรด์ 2 หน่วย ที่รู้จักกันดีคือซูโครส (Sucrose) ซึ่งเป็นการรวมตัวกันระหว่างกลูโคส (Glucose) และฟรุกโทส (Fructose) ขณะที่น้ำตาลส่วนใหญ่ที่พบในนมคือแลกโทส (Lactose) เป็นการรวมตัวกันระหว่างกลูโคสและกาแลกโทส (Galactose) สำหรับโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) เกิดจากน้ำตาลหลายหน่วยมาจับกันเป็นโซ่ยาว สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มแรก

เป็นแป้ง (Starch) ที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย พบมากในมันฝรั่ง ข้าวโพด และพืชอื่นๆ ที่สามารถรับประทานได้ ส่วนกลุ่มที่สองคือเซลลูโลส (Cellulose) ใยฝ้าย เนื้อไม้ และเนื้อเยื่อพืชทั่วไป สารประกอบเซลลูโลสมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพช้ามากเมื่อเทียบกับแป้ง



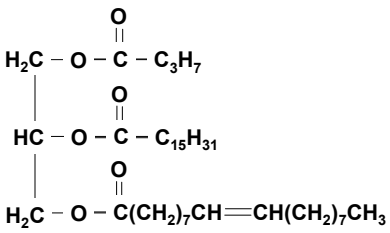
รูปที่ 2-20 ตัวอย่างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่างๆ

โปรตีนรูปแบบง่ายๆ เป็นสายโซ่ยาวที่มีกรดอะมิโน (Amino Acid) มาต่อกัน โปรตีนโดยประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และในบางครั้งพบซัลเฟอร์และฟอสฟอรัส โดยโปรตีนเป็นส่วนประกอบสำคัญของเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตและเป็นสารอาหารที่จำเป็นในสิ่งมีชีวิตชั้นสูง รูปที่ 2-21แสดงตัวอย่างกรดอะมิโน



รูปที่ 2-21 ตัวอย่างกรดอะมิโน ชนิดต่างๆ

ไขมันเป็นสารประกอบทางชีวเคมีซึ่งสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ ในขณะที่ละลายน้ำได้น้อยมาก และไขมันยังเป็นสารประกอบที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ช้ามาก ไขมันรูปแบบสามัญคือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งประกอบด้วยกลีเซอรอล 1 หน่วย รวมกับกรดไขมันทั้งแบบอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวที่เป็นโซ่สั้นหรือยาว 3 ตัว ดังตัวอย่างในรูปที่ 2-22 ที่แสดงโครงสร้างของไขมันชนิดหนึ่งที่พบในเนย



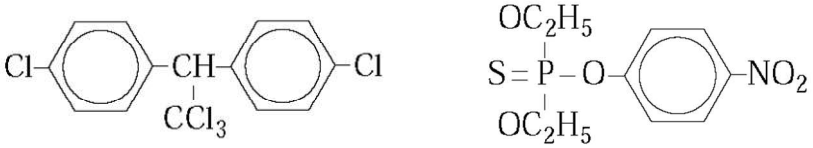
รูปที่ 2-22 ตัวอย่างไขมันชนิดหนึ่งที่พบในเนย

สถาบันวิทยบริการ

คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ที่อยู่ในน้ำเสียส่วนมากมีขนาดโมเลกุลใหญ่ไม่สามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์เข้าไปได้ กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ภายนอกเซลล์ของแบคทีเรียทำให้สารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูงเหล่านี้ถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงจนสามารถผ่านเข้าไปภายในเซลล์ได้ โดยทำให้คาร์โบไฮเดรตย่อยสลายเป็นน้ำตาลที่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้โปรตีนกลายเป็นกรดอะมิโน และทำให้ไขมันกลายเป็นกรดไขมันที่มีขนาดเล็ก ซึ่งสามารถซึมผ่านเข้าไปภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ ในสภาพที่มีออกซิเจนการย่อยจะทำให้เกิด คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมาในที่สุด ส่วนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะได้กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ และผลิตภัณฑ์ข้างเคียงตัวอื่นที่เป็นของเหลว รวมทั้งก๊าซต่างๆ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเธน และไฮโดรเจนซัลไฟด์

สารอินทรีย์ในน้ำเสียประมาณ 60 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ สามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ สำหรับสารประกอบอินทรีย์บางชนิด เช่น เซลลูโลส ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่เป็นสายยาว และสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนตัวอื่น ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพเนื่องจากข้อจำกัดด้านระยะเวลาและสภาพแวดล้อมภายในระบบบำบัดน้ำเสีย ในน้ำเสียผงซักฟอกและยาฆ่าแมลงอาจจะเป็นส่วนประกอบมากถึง 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ของสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ เนื่องจากสารเหล่านี้มีโครงสร้างเป็นวงแหวนที่ย่อยสลายได้ยาก สารลดแรงตึงผิวที่เคยใช้อย่างแพร่หลาย เช่น Alkyl Benzene Sulfonate (ABS) เป็นสารที่มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านซับซ้อนทำให้มีความทนทานต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ ส่งผลให้มีการปนเปื้อนของสารชนิดนี้ทั้งในแหล่งน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำผิวดิน แต่ในปัจจุบัน สารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นสารที่มีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงไม่มีกิ่ง ทำให้สามารถถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้ง่ายขึ้น

สารฆ่าแมลงที่เป็นที่รู้จักกันดีชนิดหนึ่งคือ DDT ซึ่งเป็นสารฆ่าแมลงที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (Chlorinated Pesticide) โดยมีวงเบนซีนเป็นหน่วยพื้นฐานในโครงสร้าง (รูปที่ 2-23) และสารฆ่าแมลงที่รู้จักกันดีในปัจจุบันอีกกลุ่มหนึ่งคือ Organophosphate เช่น Parathion (รูปที่ 2-23) สารประกอบที่มีพิษสูงนี้จะปนเปื้อนในแหล่งน้ำจากการใช้งานหรือรั่วไหล แล้วถูกพัดพาลงสู่แหล่งน้ำ โดยทั่วไปแล้วสารฆ่าแมลงที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ มีความทนทานต่อการย่อยสลายทางชีวภาพมากและสะสมอยู่ในดินหรือน้ำเป็นเวลานับเดือนนับปี และอาจมีการสะสมในพืชและสัตว์น้ำในระดับความเข้มข้นสูง สารพวกนี้มีความทนทานต่อการกำจัดด้วยระบบบำบัดน้ำและน้ำเสียที่ใช้กันทั่วไป



DDT **Parathion**

รูปที่ 2-23 โครงสร้างของ DDT และ Parathion

สารอินทรีย์ยังเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่น ถึงแม้ว่ากลิ่นบางอย่างจะเป็นสารประกอบอนินทรีย์ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และแอมโมเนีย (NH_3) แต่หลายตัวก็มีสาเหตุมาจากสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compound, VOC) เช่น กลุ่มแอลกอฮอล์และฟีนอล กลุ่ม Mertcaptans (เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่ –SH) และกลุ่มกรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Fatty Acid, VFA) เช่น กรดบิวทีริก (Butyric Acid) เป็นต้น น้ำที่มี

กลิ่นและรสที่ไม่พึงประสงค์จะต้องถูกตรวจสอบแยกกันเป็นกรณีๆ ไปเนื่องจากมีหลายสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่น เช่น กลิ่นที่เกิดจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน กลิ่นจากสารเคมีที่ทิ้งมากับน้ำเสีย กลิ่นจากสิ่งปฏิกูล กลิ่นจากการเติบโตของสิ่งมีชีวิตที่บางชนิด เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นต้น

2.10 การตรวจวัดปริมาณสารประกอบอินทรีย์ในน้ำ

การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำมีหลายวิธีโดยอาจแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1) การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์รวมโดยไม่เจาะจงชนิด ซึ่งค่าที่ได้จะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนมากจะเหมาะกับน้ำที่มีความเข้มข้นมากกว่า 10 mg/l วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ทั่วไปได้แก่ วิธีการหาค่าความต้องการออกซิเจน (Oxygen Demand) ได้แก่ การตรวจวัดค่า บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) และ การวัดปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของสารอินทรีย์ (Total Organic Carbon, TOC) เพื่อเป็นข้อมูลเสริมประกอบกับค่า BOD และ COD อีกด้วย นอกจากนี้ยังมีค่า ThOD (Theoretical Oxygen Demand, ThOD) ซึ่งคำนวณได้จากสูตรเคมีของสารอินทรีย์

2) การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์แบบเจาะจงชนิด วิธีนี้เหมาะสำหรับสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 1 mg/l สำหรับสารบางชนิดสามารถวัดความเข้มข้นต่ำสุดในช่วง 10^{-12}mg/l วิธีวิเคราะห์ส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ เช่น Gas Chromatography ร่วมกับ Mass Spectroscopy (GC/MS) ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาเครื่องตรวจจับ (Sensor) โดยผู้ผลิตเครื่องมือวิเคราะห์หลายรายที่สามารถวัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์หลายชนิดได้แล้ว การตรวจวัดแบบนี้เหมาะสมกับการวัดค่าสารมลพิษในน้ำที่มีการกำหนดค่ามาตรฐานต่ำสุดไว้ตามกฎหมาย หรือเพื่อการศึกษาการย่อยสลายของสารอินทรีย์บางชนิด และใช้เฝ้าระวังสารที่อาจเป็นพิษต่อจุลชีพในระบบชีวภาพ เป็นต้น

2.10.1 BOD (Biochemical Oxygen Demand)

BOD คือ ค่าความต้องการออกซิเจนของน้ำเสียที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในสภาวะที่มีออกซิเจน ค่า BOD แม้จะมีข้อจำกัดมากมาย แต่ก็เป็นค่าที่ใช้แพร่หลายเพื่อ 1) กำหนดปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ 2) เพื่อกำหนดขนาดของระบบบำบัด 3) ตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบ และ 4) เพื่อตรวจสอบว่าน้ำทิ้งมีค่า BOD ต่ำกว่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนด

หลักการของการวัดค่า BOD คือ ในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ จุลชีพจะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยได้โดยอาศัยออกซิเจนไปจนกระทั่งสารอินทรีย์ย่อยสลายหมด ในระหว่างนี้จะมีกระบวนการต่างๆ เกิดขึ้นคือ

1) การออกซิไดซ์สารอินทรีย์ด้วยออกซิเจน เพื่อให้ได้พลังงานสำหรับการดำรงอยู่ของจุลชีพเองและเพื่อการแบ่งตัวเกิดเป็นเซลล์ใหม่

2) การสังเคราะห์เซลล์ใหม่ (Synthesis)

3) เมื่อสารอินทรีย์ถูกใช้หมด จุลชีพจะย่อยสลายสารอินทรีย์ในเซลล์ของตัวเองเพื่อให้ได้พลังงานในการดำรงชีพ เรียกว่า Endogenous Respiration

ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการสำหรับกระบวนการทั้งสามที่กล่าวมานี้เรียกว่า ความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพสูงสุด (Ultimate Biochemical Oxygen Demand, UBOD) ซึ่งก็คือ BOD ขั้นแรก (First-Stage

BOD) สำหรับออกซิไดซ์คาร์บอนในสารอินทรีย์เป็น CO_2 หรือเรียกว่า Carbonaceous BOD (CBOD) (ความต้องการออกซิเจนในขั้นที่สองคือ ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซไดซ์ ไนโตรเจนใน NH_3 ไปเป็น NO_2^- และเป็น NO_3^- ในที่สุด เรียกว่าปฏิกิริยา Nitrification)

ค่า BOD ที่ใช้ทั่วไปคือ BOD_5 ซึ่งหมายถึง ค่า BOD ที่เกิดขึ้น (ปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ไปในการย่อยสลายสารอินทรีย์) ในระยะเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20°C อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจมีการวัดค่า BOD ที่เกิดขึ้นในระยะเวลาอื่นก็ได้ ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า BOD ที่เกิดขึ้นในระยะเวลาใดๆ (BOD_t) กับค่า BOD ที่เหลืออยู่ที่เวลาหนึ่งๆ (BOD_r) และ ค่า UBOD เป็นไปดังรูปที่ 2-24 ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้ คือ

$$BOD_t = UBOD - BOD_r \qquad (2\text{-}41)$$

ซึ่ง

$$BOD_r = UBOD\ (e^{-k_1 t}) \qquad (2\text{-}42)$$

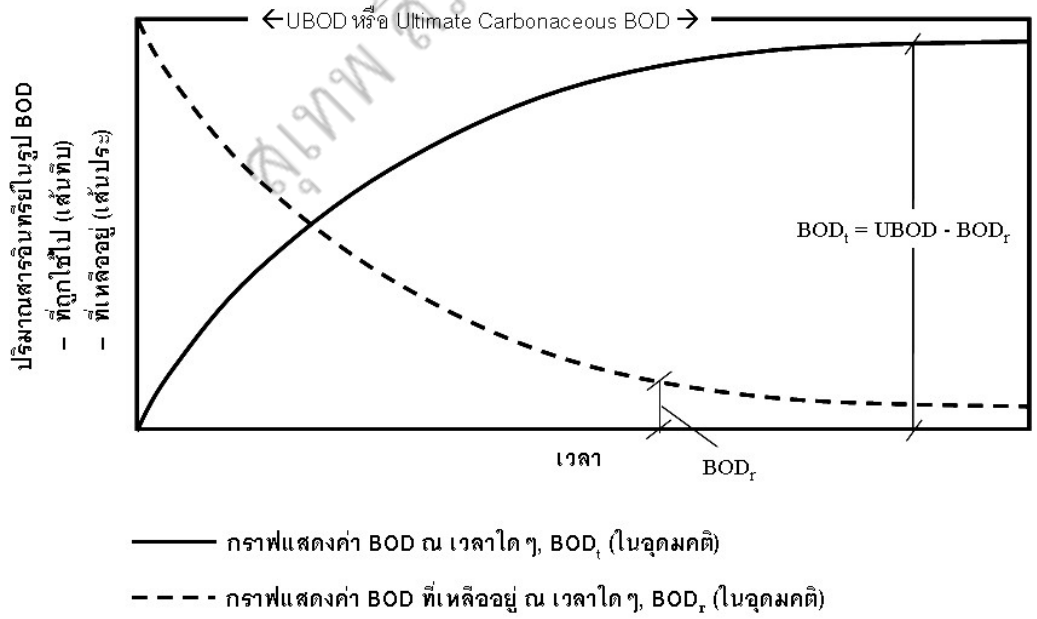
และเมื่อแทนค่า BOD_r จากสมการ (2-42) ในสมการ (2-41) จะได้

$$BOD_t = UBOD\ (1 - e^{-k_1 t}) \qquad (2\text{-}43)$$

โดย k_1 คือค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (ต่อวัน)

t คือเวลา (วัน)

ค่า k_1 ทั่วไปสำหรับน้ำเสียชุมชนที่ยังไม่ถูกบำบัด จะอยู่ระหว่าง 0.12 – 0.46 ต่อวัน และค่าที่นิยมใช้มีค่าประมาณ 0.23 ต่อวัน ที่อุณหภูมิ 20°C



รูปที่ 2-24 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า BOD ที่เกิดขึ้นในระยะเวลาใดๆ (BOD_t) กับค่า BOD ที่เหลืออยู่ที่เวลาหนึ่งๆ (BOD_r) ในอุดมคติ

สุเทพ สรีวทยกปการ

ค่าค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่งที่อุณหภูมิอื่นๆ สามารถคำนวณได้จาก

$$k_{1,T} = k_{1,20}\theta^{T-20} \quad (2\text{-}44)$$

โดย $k_{1,T}$ และ $k_{1,20}$ = ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่งที่อุณหภูมิ T ใดๆ และที่ อุณหภูมิ 20°C ตามลำดับ

θ = ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (Temperature Coefficient)

T = อุณหภูมิ (°C)

ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 30 °C ค่า θ จะมีค่าประมาณ 1.056 – 1.135 โดยค่าที่ใช้ทั่วไปคือ 1.047

<u>ตัวอย่าง 2-4</u> คำนวณค่า BOD ที่เกิดขึ้นในระยะเวลา 3 วัน และค่า UBOD สำหรับน้ำเสียที่มีค่า BOD_5 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็น 240 mg/l โดยมีค่า k_1 เป็น 0.23 ต่อวัน และถ้าการทดลองเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 25°C คำนวณค่า BOD_5 ที่อุณหภูมิ 25°C

<u>วิธีทำ</u>

คำนวณค่า UBOD จาก (2-43) ดังนี้

$$BOD_t = UBOD\,(1 - e^{-k_1 t})$$
$$240 = UBOD\,(1 - e^{-0.23*5})$$
$$240 = UBOD\,(0.684)$$
$$UBOD = 351 \text{ mg/l}$$

คำนวณค่า BOD_3 จาก (2-43) ดังนี้

$$BOD_3 = 351\,(1 - e^{-0.23*3})$$
$$BOD_3 = 175 \text{ mg/l}$$

คำนวณค่า k_1 ที่อุณหภูมิ 25°C จาก (2-44) โดยใช้ค่า θ = 1.047

$$k_{1,T} = k_{1,20}\theta^{T-20}$$
$$k_{1,T} = 0.23\,(1.04)^{25-20}$$
$$k_{1,T} = 0.28 \text{ ต่อวัน}$$

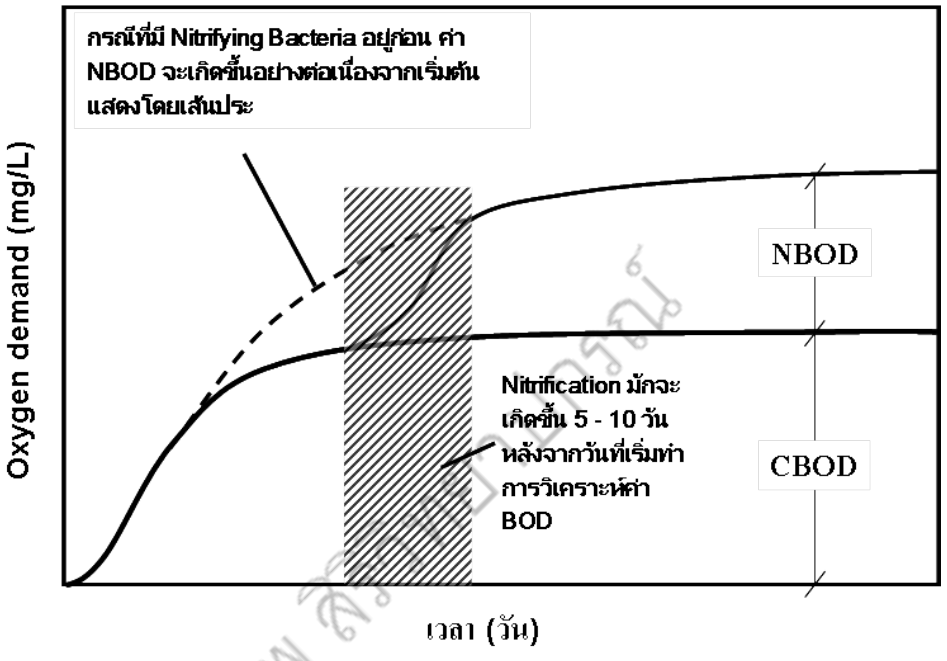
คำนวณค่า BOD_5 ที่อุณหภูมิ 25°C

$$BOD_5 = 351\,(1 - e^{-0.28*5})$$
$$BOD_5 = 264 \text{ mg/l}$$

ความต้องการออกซิเจนในการออกซิไดซ์สารประกอบอื่น เช่น NH_3 ซึ่งเกิดจากการ Hydrolysis ของโปรตีน เป็นต้น เรียกว่า Non-Carbonaceous BOD ความต้องการออกซิเจนในการออกซิไดซ์ NH_3 ไปเป็น NO_3^- เรียกว่า Nitrogenous Biochemical Oxygen Demand หรือ NBOD ปกติแล้วแบคทีเรียที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาชนิดนี้ได้ ที่เรียกว่า Nitrifying Bacteria จะโตค่อนข้างช้า และจะต้องใช้เวลาประมาณ 5 – 10 วัน ก่อนที่จะมีปริมาณมากพอและทำให้ค่าความต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 2-25) อย่างไรก็ตาม ถ้าในน้ำเสียมีจำนวนของ Nitrifying Bacteria มากอยู่ก่อนแล้ว อาจทำให้ค่า BOD_5 ที่วัดได้มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และมีผลต่อการประเมินประสิทธิภาพของระบบได้ ยกตัวอย่างเช่น น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะต้องมีค่า BOD_5 ไม่เกิน 20 mg/l แต่ถ้ามีกระบวนการ Nitrification เกิดขึ้น ค่า BOD_5 ที่อ่านได้อาจจะเป็น

35 mg/l ทำให้เข้าใจว่าน้ำที่บำบัดได้ยังไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ถ้ามีหลักฐานที่น่าเชื่อได้ว่ากระบวนการ Nitrification เกิดขึ้นและมีผลต่อค่า BOD อาจจะต้องมีการยับยั้งไม่ให้เกิด Nitrifying Bacteria โดยวิธีทางเคมี

ข้อจำกัดของการวิเคราะห์ค่า BOD ได้แก่ 1) ในกรณีที่มีสารพิษ หรือ Nitrifying Bacteria อยู่ จะต้องมีการกำจัดพิษและ Nitrifying Bacteria ก่อนทำการวิเคราะห์ 2) สารอินทรีย์ที่วัดได้จะต้องเป็นสารที่ถูกย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพเท่านั้น และ3) ใช้เวลาค่อนข้างนานในการวิเคราะห์ เป็นต้น



รูปที่ 2-25 การเกิด CBOD และ NBOD ในตัวอย่างน้ำเสีย

2.10.2 COD (Chemical Oxygen Demand)

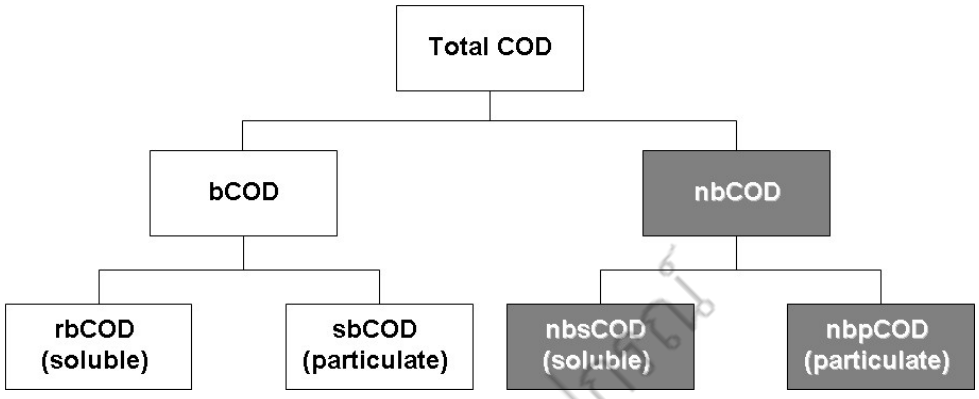
COD คือ การวัดปริมาณออกซิเจนที่สมมูลกับปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียที่สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ด้วยสารเคมี ปัจจุบันนิยมใช้ไดโครเมต (Dichromate, $Cr_2O_7^{2-}$) และกรด โดยจะรวมเอาสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้และไม่ได้ ทั้งนี้ ค่า COD และ UBOD น่าจะเป็นค่าเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามส่วนมากค่าทั้งสองจะแตกต่างกันเพราะ

1) สารอินทรีย์บางอย่างย่อยสลายได้ยากโดยกระบวนการทางชีวภาพ แต่สามารถถูกย่อยสลายได้ในการวิเคราะห์ COD เช่น ลิกนินในเยื่อไม้ และสารกลุ่ม Humic เป็นต้น

2) ไดโครเมตออกซิไดซ์สารอนินทรีย์บางชนิดหรือทำปฏิกิริยาแบบอื่น ทำให้ค่า COD สูงขึ้น เช่น คลอไรด์ไอออน (Cl^-) จะถูกออกซิไดซ์โดยไดโครเมตเป็นคลอรีน ซึ่งพบได้บ่อย สารอนินทรีย์อื่นๆ ที่ถูกออกซิไดซ์โดยไดโครเมต ได้แก่ Fe^{2+} NO_2^- และ S^{2-} เป็นต้น

3) สารบางอย่างเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ลดลง

COD ถูกแยกเป็นส่วนย่อยดังแสดงในรูปที่ 2-26 โดยในขั้นแรกจะแยกเป็นสองส่วนหลัก คือ ส่วนสารประกอบที่ย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Biodegradable COD หรือ bCOD) และส่วนสารประกอบที่ย่อยสลายไม่ได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Nonbiodegradable COD หรือ nbCOD) โดยในส่วนของ nbCOD จะแบ่งได้เป็นส่วนที่ละลายน้ำ (Nonbiodegradable Soluble COD หรือ nbsCOD) เช่น สารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ สารกลุ่มอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน เช่น เบนซีน เป็นต้น รวมถึงไอออนต่างๆ ที่ทำปฏิกิริยากับไดโครเมต และส่วนที่กรองออกได้ (Nonbiodegradable Particulate[1] COD หรือ nbpCOD) เช่น โพลิเมอร์ต่างๆ



รูปที่ 2-26 แผนภาพส่วนย่อยต่างๆ ของ COD ในน้ำเสีย

ในส่วนของ bCOD ยังแบ่งย่อยลงไปเป็นส่วนที่ถูกย่อยทันที (Readily Biodegradable COD หรือ rbCOD) และส่วนที่ย่อยสลายได้ช้า (Slowly Biodegradable COD หรือ sbCOD) rbCOD จะเป็นสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ดี โดยอาจจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex) ที่ไม่ใหญ่นัก เช่น น้ำตาล และกรดอะมิโน หรือเป็นสารที่เกิดระหว่างกระบวนการย่อยทางชีวภาพ เช่น กลุ่ม Volatile Fatty Acid (VFA) สำหรับ sbCOD นั้นได้แก่ ส่วนที่เป็นสารแขวนลอย (Colloid) เช่น ไขมันในนม เป็นต้น และส่วนที่กรองแยกได้ (Particulate) เช่น เยื่อกระดาษ เป็นต้น

ข้อมูลของส่วนย่อยต่างๆ ของ COD มีประโยชน์ต่อการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยเฉพาะระบบกำจัดธาตุอาหาร (Biological Nutrient Removal) จะเห็นได้ว่าในระบบบำบัดแบบชีวภาพ ส่วนของ nbCOD ทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ หรือ nbsCOD จะผ่านระบบบำบัดทางชีวภาพและออกไปพร้อมๆ กับน้ำออก และส่วนที่กรองออกได้ nbpCOD จะถูกกำจัดไปพร้อมกับสลัดจ์ได้

ในส่วนของ bCOD นั้น ส่วนที่ละลายได้ หรือ rbCOD จะถูกกำจัดได้ด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพ และเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความต้องการออกซิเจน สำหรับส่วนที่ไม่ละลายน้ำ หรือ sbCOD สารในกลุ่มนี้จะต้องถูกย่อยโดยกระบวนการ Hydrolysis ก่อน

ส่วนของ rbCOD โดยเฉพาะกลุ่ม VFA มีบทบาทสำคัญในกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสโดยระบบทางชีวภาพ ถ้าปริมาณ rbCOD สูง ฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดได้มากขึ้น และสำหรับไนโตรเจน ปริมาณ rbCOD ที่มากขึ้นจะทำให้เกิดกระบวนการ Denitrification (กระบวนการที่ NO_3^- ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซ N_2) ได้ดีขึ้นด้วย

[1] Particulate ในที่นี้คือส่วนที่กรองแยกออกจากน้ำได้ด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร

2.10.3 TOC (Total Organic Carbon)

TOC คือ การวัดปริมาณคาร์บอนในสารอินทรีย์ โดยการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสียให้เป็น CO_2 ทั้งหมด โดยใช้ความร้อน แสง Ultra Violet หรือวิธีอื่นๆ ประกอบกับสารเร่งปฏิกิริยา การวิเคราะห์ TOC เป็นวิธีที่ต้องใช้เครื่องวิเคราะห์ โดยจะต้องกำจัดคาร์บอนในสารอนินทรีย์ออกก่อน เช่น HCO_3^- แล้วจึงออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสียให้เป็น CO_2 ต่อไป จากนั้นจึงทำการวัดปริมาณ CO_2ที่เกิดขึ้น ดังนั้นแม้จะมีสารอนินทรีย์อื่นถูกออกซิไดซ์ ก็จะไม่มีผลต่อค่า TOC การวัดค่า TOC จึงไม่สามารถใช้แทนค่า BOD และCOD ได้ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลของ TOC มักจะถูกใช้ร่วมกับ BOD และ COD ในการประเมินลักษณะสมบัติของน้ำเสียเนื่องจากวัดได้สะดวกและรวดเร็ว และอาจใช้ประมาณค่า BOD และ COD ได้ถ้ารู้ความสัมพันธ์ที่แน่นอน อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD COD และ TOC ในน้ำเสียแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน และยังแตกต่างกันในแต่ละขั้นตอนของการบำบัดอีกด้วย โดยทั่วไปสำหรับอัตราส่วนของ BOD/COD ถ้ามากกว่า 0.5 น้ำเสียนั้นจะสามารถบำบัดได้ดีด้วยกระบวนการทางชีวภาพ และถ้าน้อยกว่า 0.3 แสดงว่าน้ำนั้นอาจจะมีสารพิษหรือมีสารที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของ จึงอาจจะต้องให้เวลาจุลินทรีย์ในการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะนั้นก่อน ตาราง 2-8 จะเป็นการสรุปเปรียบเทียบระหว่างค่า BOD COD และ TOC

ตาราง 2-8 การสรุปเปรียบเทียบระหว่างค่า BOD COD และ TOC

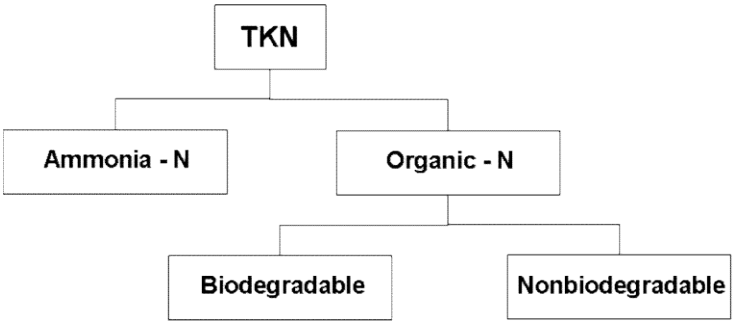
องค์ประกอบ	การออกซิเดชัน	วิธีวิเคราะห์			ตัวอย่าง
		BOD	COD	TOC[1]	
สารอินทรีย์	กระบวนการทางชีวภาพ	✓	✓	✓	เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลชีพ
	กระบวนการทางเคมี	–	✓	✓	สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่หรือเป็นพิษ
สารอนินทรีย์	กระบวนการทางชีวภาพ	✓	–	–	ไนโตรเจนในแอมโมเนีย
	กระบวนการทางเคมี	–	✓	–	ไอออน เช่น Cl^- และFe^{2+}

[1]หมายเหตุ สารอนินทรีย์หลายชนิดอาจจะถูกออกซิไดซ์แต่จะไม่ถูกนับรวมเพราะ TOC จะวัด CO_2 ที่เกิดขึ้นจากการออกซิไดซ์คาร์บอนในสารอินทรีย์เท่านั้นเท่านั้น

2.11 สารประกอบไนโตรเจนในน้ำ

สารประกอบไนโตรเจนในน้ำและน้ำเสียที่วิเคราะห์ทั่วไปคือ แอมโมเนีย ไนเตรท ไนไตรต์ และ Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) ซึ่งก็คือเป็นผลรวมของ ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย (Ammonia–N, NH_3–N) และไนโตรเจนในสารอินทรีย์ (Organic – N) เช่น ในกรดอะมิโน และ ยูเรีย เป็นต้น โดยทั่วไป TKN จะประกอบด้วยแอมโมเนียมากถึง 60 – 70 เปอร์เซนต์ ซึ่งเป็นส่วนที่จุลชีพใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ได้ทันที และในกระบวนการ Nitrification ไนโตรเจนในสารอินทรีย์บางส่วนจะไม่ถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Nonbiodegradable) เช่น ไนโตรเจนในโพลิเมอร์อินทรีย์ซึ่งจะพบเป็นส่วนน้อย ส่วนที่ละลายน้ำได้มักจะพบได้ในน้ำใสที่ผ่านถังตกตะกอนในกระบวนการบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Clarifier) และออกไปพร้อมกับน้ำออก สำหรับไนโตรเจนในสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Biodegradable) นั้น สามารถแบ่งได้เป็นส่วนที่ละลายและไม่ละลายในน้ำ ส่วนที่ไม่ละลายน้ำ เช่น โปรตีน จะถูกกำจัดได้ช้ากว่าส่วนที่ละลายน้ำ

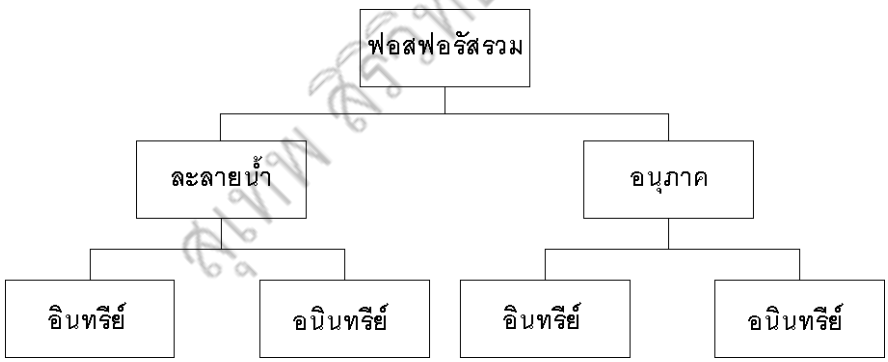
เพราะต้องผ่านกระบวนการ Hydrolysis ก่อนและอาจจะถูกกำจัดไปพร้อมกับสลัดจ์ องค์ประกอบของไนโตรเจนในน้ำแสดงอยู่ในรูปที่ 2-27



รูปที่ 2-27 แผนภาพแสดงองค์ประกอบของไนโตรเจนในน้ำ

2.12 สารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำ

สารประกอบฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำ (Total Phosphorus, TP) แบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ละลาย (Dissolve) และส่วนที่เป็นอนุภาค (Particulate) ซึ่งแต่ละส่วนแบ่งเป็นส่วนที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 2-28



รูปที่ 2-28 แผนภาพแสดงสารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำ

สารประกอบฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ ส่วนมากจะพบในรูปสารอนินทรีย์ในรูปของสารประกอบออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphates) เช่น สารโซเดียมฟอสเฟต ($NaPO_4$) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ($(NH_4)_2HPO_4$) และสารประกอบโพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) เช่น โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ($Na_5P_3O_{10}$) ซึ่งสารประกอบเหล่านี้สามารถถูกย่อยสลาย (Hydrolysis) เป็น หรือพบอยู่ในรูปสารละลายในรูปของไอออนสารประกอบของออร์โธฟอสเฟต, PO_4^{3-}, เรียกรวมๆ ว่าฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลาย (Dissolved Inorganic Phosphorus) หรือ Reactive Phosphorus สารประกอบกลุ่มนี้เป็นธาตุอาหาร (Nutrient) จำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต โดยปกติ จะไม่พบในน้ำธรรมชาติในปริมาณสูงและเป็นสารอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตของจุลชีพในน้ำ (Limiting Nutrient)

สุเทพ สรีอยาปกรณ์

โดยเฉพาะแพลงค์ตอนพืช (Phytoplankton) ยกเว้นกรณีที่เกิดยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ซึ่งสาเหตุที่สำคัญมาจากน้ำทิ้งเกษตรกรรม หรือจากน้ำทิ้งชุมชนที่มีการใช้ผงซักฟอกที่มีสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ที่มีสารออร์โธฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบ ส่วนฟอสฟอรัสที่พบอยู่ในแร่ต่างๆ และฟอสฟอรัสอนินทรีย์ที่ดูดจับกับแร่ธาตุที่ไม่ละลายน้ำ เช่น โลหะไฮดรอกไซด์หรือตกตะกอนจากน้ำ รวมเรียกว่าอนุภาคฟอสฟอรัสอนินทรีย์ (Particulate Inorganic Phosphorus) ซึ่งจะเป็นส่วนที่สิ่งมีชีวิตไม่สามารถใช้ได้โดยตรง

ฟอสฟอรัสยังเป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตและสารอินทรีย์ที่พบในสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการทางชีวเคมี เช่น องค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก (Nucleic Acid) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารพันธุกรรม สารประกอบ Adenosine tri-Phosphate ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของเซลล์ เป็นต้น รวมเรียกว่าสารประกอบฟอสฟอรัสอินทรีย์ (Organic Phosphorus) ทั้งนี้ยังรวมถึงสารอินทรีย์สังเคราะห์ เช่น กลุ่มสารกำจัดวัชพืช Organophosphate เป็นต้น เมื่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตตายและสลายตัวไป สารประกอบฟอสฟอรัสอินทรีย์บางส่วนจะละลายออกมากับน้ำกลายเป็น (Dissolved Organic Phosphorus) ซึ่งจะถูกใช้โดยแบคทีเรียและแพลงตอนพืชซึ่งมีเอนไซม์ (เอนไซม์ Phosphatase) ในการย่อยสลายสสารประกอบเหล่านี้ให้เป็นสารประกอบออร์โธฟอสเฟตและนำไปใช้ สำหรับฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อต่างๆ ที่ไม่ได้ละลายออกมาจะจัดเป็นอนุภาคสารประกอบฟอสฟอรัสอินทรีย์ (Particulate Organic Phosphorus)

คำถามท้ายบท

1. คำนวณน้ำหนักโมเลกุลและน้ำหนักสมมูลของสารต่อไปนี้ในการละลายน้ำ
   1) $NaHCO_3$ 2) $MgSO_4$ 3) $CuSO_4$
2. เหตุใดน้ำจึงมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดี และมีคุณสมบัติเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง
3. ผลการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างหนึ่งเป็นดังนี้ จงคำนวณความกระด้าง ในหน่วย mg/l เทียบกับ $CaCO_3$

Cations	ความเข้มข้น (mg/L)
Ca^{2+}	190
Mg^{2+}	84
Na^{+}	75
Fe^{2+}	0.1
Cd^{2+}	0.2

Anions	ความเข้มข้น (mg/L)
HCO_3^{-}	260
SO_4^{2-}	64
CO_3^{2-}	30
Cl^{-}	440
NO_3^{-}	35

4. คำนวณค่าพีเอชของน้ำที่มี OH^- เข้มข้น 4.8×10^{-4} mg/L ที่อุณหภูมิ 25 °C
5. คำนวณค่าคงที่อัตราการการเกิดปฏิกิริยาในถังปฏิกิริยาแบบแบทช์ เริ่มจากเติมสารตั้งต้น A เข้มข้น 1.00 mol/L จากนั้นวัดความเข้มข้นของสาร A ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ผลดังนี้

เวลา (นาที)	0	4	8	16	32
[A] mol/L	1.00	0.64	0.43	0.19	0.02

สถาบันวิทยบริการ

6. ตัวอย่างน้ำได้ถูกนำไปวิเคราะห์ค่าบีโอดีโดยไม่ได้เจือจาง และได้ผลดังตาราง ให้ประมาณค่า BOD_5 ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา และค่า UBOD

เวลา (วัน)	ออกซิเจนละลาย (mg/L)
0	7.15
1	5.94
2	5.00
4	3.09

7. น้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแห่งหนึ่งมีค่าบีโอดีเฉลี่ย 2000 mg/L วิเคราะห์ว่าค่าซีโอดีของน้ำตัวอย่างควรมีค่าเท่าใดเมื่อเทียบกับค่าบีโอดี มีสมมุติฐานอย่างไร
8. จากอุบัติเหตุถังกรดเกลือขนาดใหญ่รั่วในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิก ภายหลังเกิดเหตุได้ทำการฉีดน้ำเพื่อล้างโดยน้ำที่ใช้ฉีดล้างไหลผ่านรางท่อระบายน้ำฝนไปรวมกันในบ่อพักน้ำของโรงงาน เช้าวันถัดมาท่านไปวัดค่า pH ของน้ำในบ่อพักน้ำแห่งนั้น พบว่าค่า pH ในบ่อไม่ได้ลดลง แต่ค่าความนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติอย่างเห็นได้ชัด จงอธิบายว่าเพราะอะไรถึงเป็นเช่นนั้น พร้อมทั้งระบุสมมุติฐานให้ชัดเจน

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

บทที่ 3
จุลชีววิทยาพื้นฐานของน้ำและน้ำเสีย

ในการศึกษาเรื่องการบำบัดน้ำและน้ำเสียจำเป็นต้องทำความเข้าใจชีววิทยาของจุลชีพในน้ำ ซึ่งได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา สาหร่าย และโปรโตซัว เป็นต้น ตัวอย่างเช่น การทดสอบค่าความสกปรกของน้ำเสียโดยหาค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand , BOD) จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ผสมกันหลายชนิด ขณะเดียวกันเราก็สามารถประเมินคุณภาพแหล่งน้ำได้โดยใช้สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliform Bacteria) ที่ใช้ประเมินคุณภาพแหล่งน้ำที่ใช้เป็นแหล่งน้ำดื่มและใช้เพื่อการสันทนาการ

3.1 แบคทีเรีย[1]

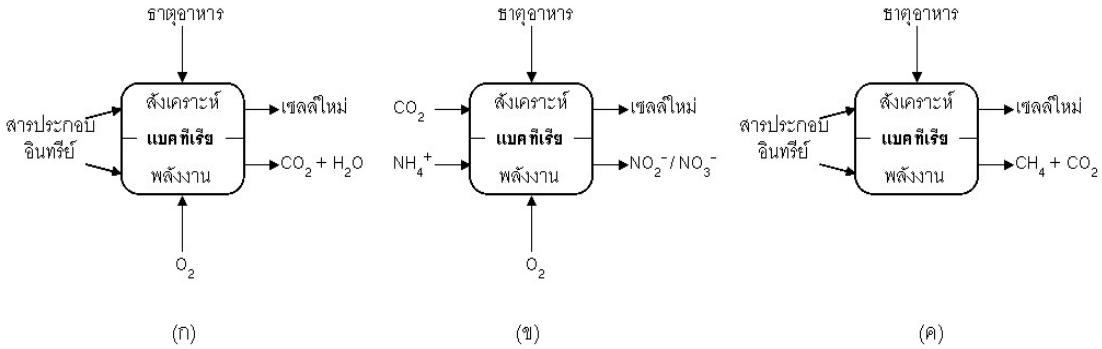
แบคทีเรีย เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ใช้สารอาหารที่ละลายน้ำได้ แบคทีเรียชนิดที่เป็นพวกผู้ย่อยสลาย (Decomposer) จัดเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในระบบนิเวศวิทยา โดยมีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งที่อยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติและในระบบบำบัดน้ำเสีย แบคทีเรียโดยทั่วไปมีขนาดประมาณ 0.5 ถึง 5 μm และสามารถมองเห็นได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์เท่านั้น

แบคทีเรียสามารถเพิ่มจำนวนได้โดยการแบ่งตัว (Binary Fission) โดยเซลล์ดั้งเดิม 1 เซลล์ จะแบ่งออกเป็นเซลล์ใหม่ได้ 2 เซลล์ ซึ่งแต่ละเซลล์จะมีการเติบโตและแบ่งเซลล์ได้อีก การแบ่งตัวนี้จะเกิดขึ้นทุกๆ 15 ถึง 30 นาที ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีความเหมาะสม คือ มีแหล่งอาหารและแหล่งพลังงาน เช่น ออกซิเจน และสารอาหารอื่นๆ อย่างเพียงพอกับความ

การตั้งชื่อแบคทีเรียใช้หลักเกณฑ์ของ Binomial System โดยคำแรกเป็นชื่อสกุล (Genus) และคำที่สองเป็นชื่อสปีชีส์ (Species) ในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบเติมอากาศ เช่น Activated Sludge ที่ใช้ในการจะพบว่าประกอบด้วยแบคทีเรียหลายชนิด โดยพวกที่พบมากได้แก่สกุล *Alcaligenes Flavobacteria Bacillus* และ *Pseudomonas* การระบุชนิดที่แน่นอนของแบคทีเรียในระบบจะพบในการศึกษางานวิจัยเท่านั้น เนื่องจากทำได้ยากและไม่เป็นข้อมูลที่สำคัญในการดำเนินระบบบำบัดน้ำเสีย หนึ่งในปัญหาที่พบมากที่สุดในการบำบัดโดยใช้จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ (Aerobic Biological System) คือ การไม่จมตัวของฟล็อกตะกอนจุลินทรีย์ในถังตกตะกอนในระบบ Activated Sludge อันเนื่องมาจากการเติบโตของจุลินทรีย์จำพวก Filamentous ที่มีลักษณะเป็นเส้นใย ทำให้เกิดฟล็อกตะกอนจุลินทรีย์ที่ลอยน้ำได้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากแบคทีเรีย เช่น *Sphelotilus natans* แบคทีเรียที่อาจจะถูกกล่าวถึงบ่อยในงานน้ำเสียชุมชนคือ *Escherichia coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มที่พบได้ทั่วไป ใช้เป็นดัชนีบ่งบอกปริมาณการปนเปื้อนของแบคทีเรียในน้ำ เซลล์ของ *E. coli* เมื่อขยาย 1,000 เท่าจะมีลักษณะเป็นแท่งสั้นๆ

ในที่นี้จะแบ่งแบคทีเรียออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ Heterotrophic Bacteria และ Autotrophic Bacteria ขึ้นอยู่กับแหล่งคาร์บอน (แหล่งอาหาร) ที่ใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อหรือเซลล์ใหม่ ตามรูปที่ 3- 1

[1] ในปัจจุบัน นักชีววิทยาแบ่งสิ่งมีชีวิตเป็น 3 กลุ่ม คือ Bacteria Archaea และ Eukarya ในที่นี้ คำว่าแบคทีเรียคลอบคลุมกลุ่ม Bacteria และArchaea



รูปที่ 3-1 ตัวอย่างกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) ก) Aerobic Heterotrophic ข) Aerobic Autotrophic ค) Anaerobic Heterotrophic

กลุ่ม Heterotrophic Bacteria เป็นพวกที่ใช้คาร์บอนในสารประกอบอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนในการสร้างเซลล์ สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 กลุ่ม ตามด้วยความต้องการออกซิเจนอิสระ ได้แก่ Aerobic Bacteria Anaerobic Bacteria และ Facultative Bacteria กลุ่ม Aerobic Bacteria ต้องการใช้ออกซิเจนอิสระ (ก๊าซออกซิเจน และออกซิเจนที่ละลายในน้ำ) ในการย่อยสลาย (ออกซิไดซ์) สารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงานสำหรับใช้ในการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียดังสมการ (3–1) สำหรับกลุ่ม Anaerobic Bacteria สามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้โดยไม่ต้องใช้ออกซิเจนอิสระ แต่ใช้ออกซิเจนจากสารประกอบอื่น เช่น ไนเตรต และซัลเฟต ดังสมการ (3–2) – (3–3) และกลุ่ม Facultative Bacteria ในสภาวะแวดล้อมที่มีออกซิเจนอิสระละลายในน้ำจะดำรงชีพแบบ Aerobic Bacteria หากไม่มีออกซิเจนอิสระจะดำรงชีพแบบ Anaerobic Bacteria ในระบบบำบัดน้ำเสีย จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนจะพบในระบบบำบัดแบบใช้อากาศ Activated Sludge และ Tricking Filter แต่แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะพบมากในการย่อยสลายสลัดจ์ตะกอนจุลชีพแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Sludge Digestion) และแบคทีเรียพวก Facultative สามารถเติบโตได้ทั้งในระบบบำบัดแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ

Aerobic :

$$\text{สารอินทรีย์} + O_2 \xrightarrow{\text{แบคทีเรีย}} CO_2 + H_2O + \text{พลังงาน} \qquad (3\text{–}1)$$

Anaerobic :

$$\text{สารอินทรีย์} + NO_3^- \xrightarrow{\text{แบคทีเรีย}} CO_2 + N_2 + \text{พลังงาน} \qquad (3\text{–}2)$$

$$\text{สารอินทรีย์} + SO_4^{2-} \xrightarrow{\text{แบคทีเรีย}} CO_2 + H_2S + \text{พลังงาน} \qquad (3\text{–}3)$$

$$\text{สารอินทรีย์} \xrightarrow{\text{แบคทีเรีย}} \text{กรดอินทรีย์} + CO_2$$

$$\xrightarrow{\text{แบคทีเรีย}} + H_2 + CO_2$$

$$CH_4 + H_2O + CO_2 + \text{พลังงาน} \qquad (3\text{–}4)$$

กลุ่ม Autotrophic Bacteria ใช้คาร์บอนจากสารประกอบอนินทรีย์ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบกลุ่มคาร์บอเนต เป็นแหล่งคาร์บอนในการสร้างเซลล์ สมการ (3–4) เป็นตัวอย่างของกระบวนการสร้าง CH_4 โดย Autotrophic Bacteria เรียกว่ากลุ่ม Methanogen ถึงแม้ว่าสมการ (3–4) จะมีการสลายกรดอินทรีย์ (ที่เป็นผลมาจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยกระบวนการอื่นๆ) แต่ธาตุคาร์บอนในสารอินทรีย์ไม่ได้ถูกนำมาใช้ในเซลล์ ดังนั้น Methanogen จึงไม่จัดเป็น Heterotrophic Bacteria นอกจาก Methanogen ยังมีกลุ่ม Nitrifying Bacteria Sulfur Bacteria และ Iron Bacteria ซึ่งได้พลังงานจากการออกซิไดซ์สารอนินทรีย์ กระบวนการ Nitrification แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือดังแสดงในสมการ (3–5) และ (3–6) โดยแบคทีเรียสกุล *Nitrosomanas* และ *Nitrobacter* ตามลำดับ

$$NH_3 + O_2 \xrightarrow{\textit{Nitrosomanas}} NO_2^- + \text{พลังงาน} \qquad (3\text{–}5)$$

$$NO_2^- + O_2 \xrightarrow{\textit{Nitrobacter}} NO_3^- + \text{พลังงาน} \qquad (3\text{–}6)$$

กระบวนการ Nitrification สามารถเกิดขึ้นในระบบบำบัดทางชีวภาพขั้นทุติยภูมิโดยต้องอยู่ในสภาวะที่มีปริมาณสารอินทรีย์เข้ามาต่ำและมีอุณหภูมิอุ่นพอเหมาะ อย่างไรก็ตามปฏิกิริยา Nitrification จะเพิ่มปริมาณการใช้ออกซิเจนในน้ำและอาจมีผลต่อการลอยตัวของสลัดจ์ตะกอนจุลินทรีย์ในถังตกตะกอนสุดท้าย โดยการลอยของสลัดจ์ตะกอนจุลินทรีย์เกิดจากฟองของก๊าซไนโตรเจนอันเกิดจากรีดิวซ์ Nitrate หรือเรียกว่ากระบวนการ Denitrification ดังสมการ (3–2)

Sulfur Bacteria ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิด Crown Corrosion ในระบบระบายน้ำเสียดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ออกซิไดซ์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นกรดซัลฟูริกดังสมการ (3–7)

$$H_2S + O_2 \xrightarrow{\text{แบคทีเรีย}} H_2SO_4 + \text{พลังงาน} \qquad (3\text{–}7)$$

Iron Bacteria เป็นแบคทีเรียพวก Autotroph ที่ทำการออกซิไดซ์ Inorganic Ferrous Ion ที่ละลายน้ำให้กลายเป็น Ferric ที่ไม่ละลายน้ำดังสมการ (3–8)

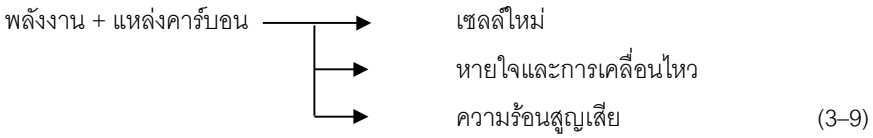
$$Fe^{2+}\text{ (Ferrous)} + O_2 \xrightarrow{\text{แบคทีเรีย}} Fe^{3+}\text{(Ferric)} + \text{พลังงาน} \qquad (3\text{–}8)$$

Filamentous Bacteria สกุล *Leptothrix* และ *Crenothrix* สามารถสะสมเหล็กที่ถูกออกซิไดซ์แล้ว (Fe^{3+}) ในรูปของ $Fe(OH)_3$ ไว้ภายในเปลือกหุ้ม (Sheath) ทำให้เห็นเป็นเมือกสีเหลืองหรือแดง Iron Bacteria จะเจริญเติบโตในท่อน้ำที่มีสารละลายเหล็ก (Fe^{2+}) เป็นแหล่งพลังงานและใช้คาร์บอนอนินทรีย์ (ไบคาร์บอเนต, HCO_3^-) เป็นแหล่งคาร์บอน เมื่อจุลินทรีย์เติบโตจนหมดอายุขัยและถูกย่อยสลายจะสร้างกลิ่นและรสที่ไม่พึงปรารถนาขึ้นในน้ำ ทางเลือกในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำวิธีหนึ่ง คือ ดำเนินการซ่อมบำรุงระบบบำบัดน้ำอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่อง โดยแยกน้ำที่ต้องการบำบัดออกจากท่อ และผ่านน้ำที่มีคลอรีนหรือสารเคมีอื่นที่มีความ

สุเพ ศรีทองปาลัย

เข้มข้นสูงเพื่อฆ่าเชื้อแบคทีเรียในท่อน้ำแล้วทิ้งให้น้ำสัมผัสกับท่อเป็นเวลาหลายชั่วโมงแล้วจึงทำการล้างท่อแล้วดำเนินระบบต่อไป

พลังงานจากการออกซิไดซ์สารต่างๆ ของแบคทีเรียจะถูกนำไปใช้เพื่อ เพื่อสร้างเซลล์ใหม่ (Synthesis) รวมทั้งเพื่อการหายใจและการเคลื่อนไหว โดยจะมีพลังงานส่วนน้อยสูญหายไปในรูปของความร้อนดังสมการ (3–9)



(3–9)

อัตราการเติบโต และปริมาณมวลชีวภาพที่ได้ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ได้ซึ่งเป็นผลมาจากแหล่งออกซิเจนที่ใช้ โดยจะได้รับพลังงานมากที่สุดเมื่อใช้ออกซิเจน (Aerobic) และได้รับพลังงานน้อยลงจากกระบวนการเมตาบอลิซึมแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) จุลินทรีย์ในน้ำเสียที่ได้รับพลังงานมากที่สุดสามารถสังเคราะห์มวลสารได้มากที่สุด ยกตัวอย่างเช่น พิจารณาตัวอย่างน้ำเสียที่ได้รับการเติมออกซิเจนในภาชนะปิด แบคทีเรียกลุ่ม Aerobic และ Facultative จะเริ่มย่อยสลายของเสียอินทรีย์ก่อน เมื่อออกซิเจนละลายน้ำถูกใช้หมดไป แม้ว่าพวก Aerobic จะไม่สามารถทำงานต่อไปได้ แต่พวก Facultative ก็สามารถทำงานต่อไปได้ในสภาวะไร้อากาศนี้โดยใช้ออกซิเจนจากสารประกอบไนเตรตเป็นตัวถัดมาเรียกว่ากระบวนการ Denitrification ซึ่งจะปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกมาดังสมการ (3–2) แหล่งออกซิเจนต่อมาที่จุลินทรีย์ใช้คือจากสารประกอบซัลเฟตดังสมการ (3–3) และทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก๊าซไข่เน่า) ในขณะเดียวกันแบคทีเรียพวก Facultative และ Anaerobic บางส่วนสามารถย่อยสลายกรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ และสารประกอบอื่นๆ ซึ่งได้รับพลังงานจากการย่อยสลายน้อยมากและจะเติบโตขึ้นมาทีหลัง ถ้ามีแบคทีเรียกลุ่ม Methanogen อยู่ด้วย กระบวนการย่อยสลายจะสิ้นสุดเมื่อกรดอินทรีย์ซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายโดยกระบวนการอื่นถูกเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือก๊าซมีเธนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ (3–4)

แบคทีเรียนอกจากจะถูกใช้ในระบบบำบัดทางชีวภาพเพื่อบำบัดน้ำเสียแล้ว บางกลุ่มยังถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ (Bacterial Indicators) เนื่องจากการตรวจหาเชื้อที่ทำให้เกิดโรคอย่างเจาะจงชนิดนั้นทำได้ยากและให้ผลไม่แน่นอน การใช้แบคทีเรียบางกลุ่มเป็นตัวบ่งชี้จึงได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อชี้ว่าน้ำมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการอุปโภคบริโภคหรือไม่ โดยดูจากแนวโน้มที่จะมีเชื้อให้เกิดโรค (Pathogens) อาศัยอยู่ในน้ำนั้น

ลำไส้ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์เป็นที่อยู่อาศัยของเชื้อแบคทีเรียจำนวนมากที่มีลักษณะเป็นแท่งหลายชนิดโดยเรียกรวมๆ ว่าแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (Coliform Bacteria) ซึ่งอาจจะพบในทางเดินอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิดอื่นๆ ด้วย เชื้อเหล่านี้จะถูกขับออกจากร่างกายโดยระบบขับถ่ายผ่านระบบทางเดินอาหารพร้อมกับเชื้อชนิดอื่นๆ รวมทั้งเชื้อที่ทำให้เกิดโรคในกรณีที่มี ดังนั้นการตรวจพบแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มในสิ่งแวดล้อมทางน้ำในปริมาณมากน่าจะบ่งชี้ว่ามีเชื้อที่ทำให้เกิดโรคในมนุษย์ปนเปื้อนอยู่ในน้ำนั้น ในกลุ่มนี้แบคทีเรียที่พบมากคือ *Escherichia coli* หรือที่เรียว่า *E. coli* นอกจากแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มแล้ว ยังมีแบคทีเรียอีกหลายกลุ่มซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดประกอบกันเพื่อให้เห็นผลที่ชัดเจนขึ้น เช่น กลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform) ที่เป็นกลุ่มเฉพาะของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม แบคทีเรียกลุ่ม Fecal Streptococci ซึ่งเป็นกลุ่มเฉพาะ

ของกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มที่บ่งชี้ถึงภาวะปนเปื้อนที่เกิดขึ้นไม่นานและน่าจะอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิด และยังมีกลุ่ม Enterococci ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Fecal Streptococci ซึ่งมีจำนวนน้อยแต่สามารถอยู่รอดในน้ำทะเลได้ เป็นต้น

3.2 เชื้อรา

เชื้อรา (Fungi) เป็นสิ่งมีชีวิตคล้ายพืชขนาดเล็กที่ไม่สามารถสังเคราะห์แสงเนื่องจากไม่มีรงควัตถุเหมือนพืช ประกอบด้วยยีสต์ (Yeast) และ Molds โดย Yeasts ถูกใช้ในการหมักสำหรับการทำขนมอบ และการผลิตเบียร์ ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ยีสต์จะทำการย่อยสลายน้ำตาลเพื่อผลิตแอลกอฮอล์และสังเคราะห์เซลล์ใหม่ในปริมาณไม่มาก สำหรับภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนจะไม่มีการผลิตแอลกอฮอล์และมีการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ขึ้นมาเป็นจำนวนมาก

Molds เป็น Filamentous Fungi ซึ่งมีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูงในส่วนของโครงสร้างที่มีกิ่งก้านสาขา มีลักษณะเหมือนเส้นด้าย ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ มีหลายเซลล์ เป็นพวก Heterotroph ใช้ออกซิเจน และเติบโตได้ดีที่สุดในสารละลายน้ำตาลที่มีความเป็นกรดสูง การเติบโตของ Mold สามารถสังเกตได้ง่ายบริเวณผิวด้านนอกของผลไม้ที่เน่าเปื่อย การเติบโตของ Mold มีลักษณะรูปร่างเป็นเส้น (Filamentous) หากปรากฏอยู่ในระบบ Activated Sludge จะส่งผลให้การจมตัวของตะกอนเกิดขึ้นได้ยาก โดยไปขัดขวางการตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกในถังตกตะกอนสุดท้าย การเติบโตของ Mold นี้มักเกิดขึ้นในสภาวะที่มี pH ต่ำ ซึ่งมักเป็นระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีปริมาณน้ำตาลสูง การเติมเบสเพื่อเพิ่มค่า pH หรือบางครั้งเติม Ammonium Nitrogen ในน้ำเสียที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง จะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของ Mold และเพิ่มการเติบโตของแบคทีเรีย

3.3 ไวรัส

ไวรัสเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะพิเศษซึ่งจะทำการเพิ่มจำนวนภายในเซลล์สิ่งมีชีวิตเท่านั้น ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของไวรัสเป็นกรดนิวคลีอิก (Nucleic Acid) และโปรตีน ไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้ด้วยตัวเอง ไวรัสมีขนาดเล็กมากสามารถมองเห็นได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเท่านั้น ไวรัสส่วนใหญ่ในเรื่องเทคโนโลยีน้ำเสียชุมชนมีขนาด 20 ถึง 100 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดประมาณหนึ่งในห้าสิบของเซลล์แบคทีเรีย ไวรัสที่เติบโตในเซลล์แบคทีเรีย เรียกว่า Bacteriophages หรือเรียกสั้นๆว่า Phages

ไวรัสที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางน้ำเป็นชนิดที่พบภายในลำไส้มนุษย์ เนื่องจากปกติแล้วไวรัสจะไม่อาศัยอยู่ในลำไส้ของมนุษย์ แต่จะขับถ่ายออกมาพร้อมกับอุจจาระของบุคคลที่ติดเชื้อไวรัส ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นทารกและเด็ก ซึ่งหมายความว่าจะมีการถ่ายเทเชื้อไวรัสจากบุคคลหนึ่งไปสู่อีกบุคคลหนึ่งผ่านกระบวนการรับประทานอาหารและน้ำดื่มที่มีการปนเปื้อนของไวรัสที่ถูกขับถ่ายออกมากับอุจจาระ (Fecal-oral Route) ไม่แต่เพียงเท่านั้นไวรัสภายในระบบบำบัดน้ำเสียยังสามารถแพร่กระจายสู่แหล่งน้ำผิวดินได้ด้วย และไวรัสที่พบอยู่ในร่างกายมนุษย์หลายชนิดสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ทางลมหายใจและการติดเชื้อทางดวงตา ยกตัวอย่างเช่น Coxakieviruses เป็นสาเหตุของโรคไข้สมองอักเสบ ตับอักเสบ และหัวใจล้มเหลว และ Echoviruses เป็นสาเหตุของโรคไข้สมองอักเสบ ท้องร่วง ผื่นคัน และโรคติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ เชื้อ Polioviruses เป็นสาเหตุของโรคไข้สมองอักเสบและโปลิโอ รวมทั้งโรคตับอักเสบ ไวรัสอื่นๆ อีกหลายชนิดสามารถก่อให้เกิดโรคท้องร่วงและโรคระบบทางเดินอาหารอื่นๆ สามารถพบได้ในน้ำดื่มที่ไม่สะอาดและเกิดการระบาดไปกับน้ำได้

สุนทร สิริวัฒนาภรณ์

3.4 สาหร่าย

สาหร่าย (Algae) เป็นพืชขนาดเล็กที่มีโครงสร้างง่ายๆ และสามารถสังเคราะห์แสงได้ โดยมีขนาดตั้งแต่พวกเซลล์เดียวขนาดเล็ก ซึ่งทำให้น้ำมีสีเขียว พวกที่มีกิ่งก้านปรากฏเป็นเมือกเขียว สาหร่ายเซลล์เดียวที่มีเปลือกหุ้มเป็นซิลิกาเรียกว่าไดอะตอม (Diatom) สาหร่ายมีจำนวนหลายร้อยสปีชีส์จากการแบ่งตามโครงสร้างและรงควัตถุที่แตกต่างกัน เช่น สีเขียว สีน้ำตาล และสีแดงเป็นต้น สาหร่ายสามารถมองเห็นได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์

กระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายแสดงได้ดังสมการ (3–10) ต่อไปนี้

$$CO_2 + PO_4 + NH_3 \xrightarrow{\text{แสง}} \text{สารอินทรีย์} + O_2 \qquad (3\text{–}10)$$

สาหร่ายเป็นพวก Autotroph ที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์หรือสารประกอบคาร์บอเนตเป็นแหล่งคาร์บอน และใช้สารอาหารอนินทรีย์พวกฟอสฟอรัส และไนโตรเจนจากแอมโมเนียและไนเตรท นอกจากนี้ยังมีความต้องการธาตุอาหารอื่นๆ ในปริมาณน้อยเช่นกัน เช่น Magnesium Boron Cobalt และ Calcium มีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหลายชนิดที่สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจน (Nitogen Fixation) ในบรรยากาศเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ได้หากว่าขาดแคลนเกลือไนโตรเจนอนินทรีย์ ผลผลิตของกระบวนการสังเคราะห์แสงคือเซลล์ใหม่ (สารอินทรีย์) และออกซิเจน พลังงานเพื่อนำมาใช้ในการสังเคราะห์แสงได้มาจากแสงอาทิตย์ รงควัตถุ (Pigments) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ซึ่งมีสีเขียวจะทำปฏิกิริยาชีวเคมีเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานที่ใช้ในการเติบโตของพืชและขยายพันธุ์ ในสภาวะที่ไม่มีแสงแดดพืชจะใช้สารอินทรีย์ที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงก่อนหน้านั้นรวมกับออกซิเจนได้เป็นพลังงานที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตต่อไป โดยปฏิกิริยาเพื่อเอาชีวิตรอดนี้จะเกิดขึ้นช้ากว่าปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงมาก

วัตถุประสงค์ของปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงคือการสร้างชีวิตพืชขึ้นใหม่ ดังเช่นการเพิ่มจำนวนของสาหร่าย เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมและมีอาหารเพียงพอสาหร่ายจะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนมากขึ้น ในแหล่งน้ำธรรมชาติการเจริญเติบโตของสาหร่ายถูกจำกัดโดยความขุ่นของน้ำที่ขัดขวางการส่องผ่านของแสงอาทิตย์ สิ่งที่แสดงว่ามีการเจริญของสาหร่ายเป็นจำนวนมากคือน้ำมีสีเขียวและมีความขุ่นมากตลอดฤดูกาลที่มีการเจริญเติบโต บ่อปรับเสถียรภาพน้ำเสียจะมีการเจริญของสาหร่ายเป็นจำนวนมากแขวนลอยในน้ำเป็นการกันแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องผ่านลงมา ทำให้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และคาร์บอนไม่สามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์แสงได้เพราะไม่เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสง

ในกรณีที่สภาวะอื่นๆ เช่น ปริมาณแสงและอุณหภูมิพอเหมาะ การปล่อยน้ำเสียลงสู่ทะเลสาบและลำธารจะเป็นการเพิ่มจำนวนสาหร่าย การควบคุมวัชพืชในบ่อปรับเสถียรภาพน้ำเสียอาจทำได้โดยการสร้างผนังบ่อให้มีความลาดชันและกำหนดให้ความลึกของน้ำในบ่อมีมากกว่า 3 ฟุต เพื่อป้องกันแสงอาทิตย์ส่องถึงก้นบ่อ

3.5 โปรโตซัวและสัตว์หลายเซลล์ขนาดเล็ก

โปรโตซัว (Protozoa) เป็นสัตว์น้ำเซลล์เดียว มีระบบการย่อยอาหารที่ซับซ้อนและใช้ของแข็งอินทรีย์เป็นอาหาร โปรโตซัวเป็นสิ่งมีชีวิตที่ใช้ออกซิเจนซึ่งมีอยู่ในระบบ Activated Sludge ระบบ Tricking Filter และ Oxidation Pond ที่ใช้บำบัดน้ำเสียและสามารถพบได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติเช่นกัน โดยโปรโตซัวจะทำการย่อยสลายแบคทีเรียและสาหร่าย เป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่อาหารในน้ำ

Flagella Protozoa เป็นโปรโตซัวที่มีขนาดเล็กที่สุดโดยมีขนาด 10 ถึง 50 μm มีหางเป็นเส้นยาวคล้ายเส้นผม (Flagella) ใช้ในการเคลื่อนไหวโดยการโบกไปมา ในขณะที่ Flagellated Protozoa หลายชนิดย่อยของแข็งอินทรีย์แต่ก็มีบางชนิดที่ใช้สารอินทรีย์ในรูปที่ละลายน้ำ Amoeba เคลื่อนไหวและกินอาหารโดยใช้การเคลื่อนไหวของโปรโตพลาซึม (Protoplasm) ถึงแม้ว่าจะมีลักษณะไม่เหมือนกับโปรโตซัวทั่วไปแต่อะมีบาก็ถูกพบอยู่ในเมือกบนตัวกลางของระบบ Tricking Filter และบริเวณผนังของบ่อเติมอากาศ (Aeration Basin) โปรโตซัวทั่วไปสามารถว่ายน้ำได้อย่างอิสระ มีซิเลีย (Cilia) ซึ่งมีลักษณะเหมือนเส้นผมขนาดเล็ก ซึ่งใช้ในการเคลื่อนที่และดักจับสารอินทรีย์ ซึ่งสามารถสังเกตได้ง่ายในตัวอย่างที่ถูกเตรียมแบบเปียกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์

โรติเฟอร์ (Rotifer) มีหลายเซลล์ เป็นสัตว์ที่ต้องใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญอาหารที่เป็นของแข็ง ที่บริเวณส่วนหัวของซิเลียจะมีห่วงสำหรับจับอาหาร โรติเฟอร์พบได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติ บ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) และบ่อเติมอากาศขนาดใหญ่ภายใต้สภาวะที่มีสารอินทรีย์ต่ำ

Crustaceans เป็นสัตว์หลายเซลล์ ส่วนใหญ่มีขนาดประมาณ 2 มิลลิเมตร สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า สัตว์จำพวกนี้มีขาสำหรับใช้ว่ายน้ำและเปลือกที่เต็มไปด้วยระยางค์ในห่วงโซ่อาหารของสัตว์ในแหล่งน้ำ Crustacean จะเป็นพวกกินพืช (Herbivore) เมื่อตายไปจะถูกย่อยสลายและถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยพืช

3.6 ผลกระทบของยูโทรฟิเคชันต่อห่วงโซ่อาหารในน้ำ

การส่งผ่านของมวลสารและพลังงานผ่านห่วงโซ่อาหารในน้ำ (Aquatic Food Chain) เริ่มจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย (Algae) หรือแพลงค์ตอนพืช (Phytoplankton) ในน้ำ โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร่วมกับธาตุอาหารอื่นๆ ที่จำเป็น เช่น แอมโมเนีย (NH_3) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) สารอนินทรีย์เหล่านี้จะถูกสังเคราะห์เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งอาหารและส่วนประกอบของเซลล์สาหร่าย จากนั้นสสารและพลังงาน (ในรูปสารอินทรีย์) จึงถูกส่งต่อไปยังผู้บริโภคในลำดับต่อๆ ไปดังรูปที่ 3–2 ซึ่งในแต่ละลำดับของห่วงโซ่อาหารจะประกอบไปด้วยสิ่งมีชีวิตหลากหลายชนิด

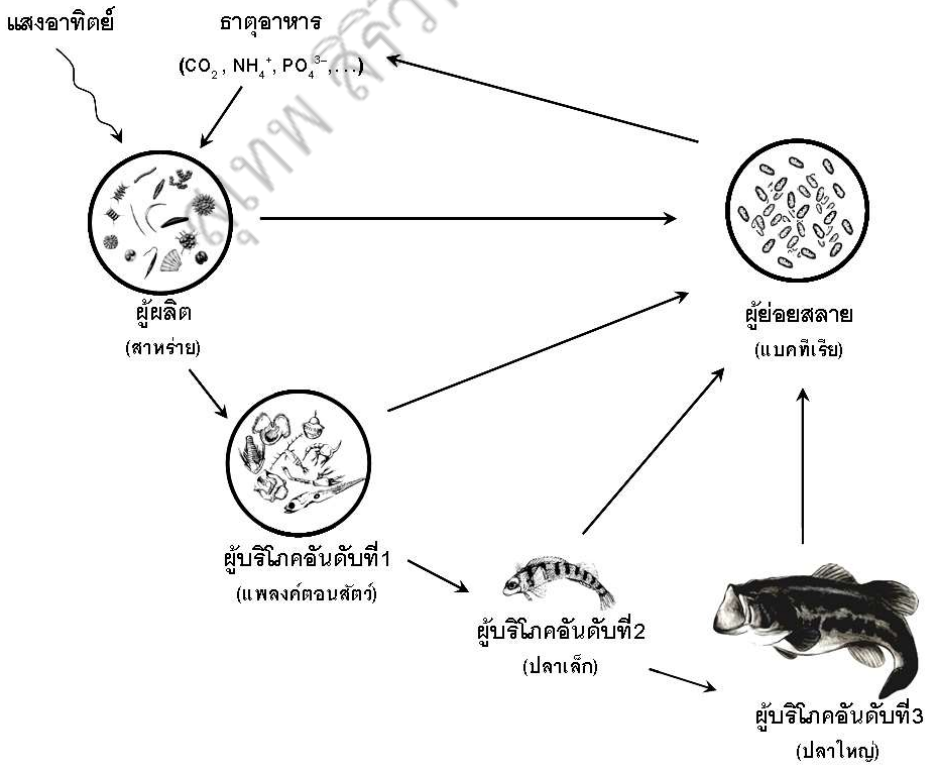
การมีธาตุอาหารในระดับสูงกว่าปกติเรียกว่าเกิดสภาวะยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) โดยทั่วไปแล้วสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมักจะเป็นธาตุอาหารซึ่งมีในธรรมชาติในปริมาณน้อยและเป็นธาตุอาหารที่จำกัดการเติบโต (Growth-Limiting Nutrients) ของผู้ผลิต (Producer) ในระบบนิเวศ สำหรับแหล่งน้ำทั่วไปสภาวะยูโทรฟิเคชันมักจะเกิดในกรณีที่มีการระบายน้ำเสียจากชุมชนและเกษตรกรรม ซึ่งมีสารประกอบไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) สู่แหล่งน้ำในปริมาณมาก ทำให้สาหร่ายบางชนิดที่สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเช่น กลุ่ม Dinoflagellate และ Diatom ซึ่งมักจะมีขนาดใหญ่กว่าสาหร่ายชนิดอื่น เพิ่มจำนวนขึ้นมากผิดปกติ (Bloom) จนทำให้แหล่งน้ำนั้นมีสีเหมือนกับสีของรงควัตถุของสาหร่ายชนิดที่เติบโตขึ้นมาอย่างรวดเร็ว เมื่อสาหร่ายเพิ่มปริมาณมากขึ้น

ในช่วงกลางวันสาหร่ายจะมีการสังเคราะห์แสงและให้ออกซิเจนแก่น้ำ อย่างไรก็ตามปริมาณสาหร่ายที่แขวนลอยอยู่ทำให้น้ำขุ่นและทำให้แสงส่องผ่านลงน้ำได้ลึกน้อยลง สาหร่ายที่ตายลงจะจมลงและถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย การใช้ออกซิเจนของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำรวมทั้งแบคทีเรีย อาจทำให้ส่วนที่แสงส่องลงมาไม่ถึงอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนเกิดเป็นเกิดสภาวะแอนแอโรบิก (Anaerobic) ได้ถ้าไม่มีการกวนผสม ทำให้ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ที่เป็นผู้บริโภคอันดับสูงขึ้นมา เช่น ปลาชนิดต่างๆ ซึ่งออกซิเจนละลายในน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต

ในช่วงเวลากลางคืน สาหร่ายไม่สังเคราห์แสงแต่จะใช้ออกซิเจนในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว และถ้าออกซิเจนหมดลงไปทำให้เกิดสภาวะแอนแอโรบิก ทำให้สิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่ใช้ออกซิเจน เช่น ปลา ตายได้เช่นกัน

นอกจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายแล้ว ยังมีการเปลี่ยนแปลงของ pH ในแหล่งน้ำด้วย โดยในเวลากลางวัน สาหร่ายจะดึงคาร์บอนไดออกไซด์จากน้ำไปใช้จนกระทั่ง pH เพิ่มขึ้น ซึ่งในบางกรณีค่า pH อาจจะสูงถึง 10 ในแหล่งน้ำปิด ส่วนในเวลากลางคืน สาหร่ายจะใช้ออกซิเจนและคายคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาทำให้ pH ของน้ำลดลง ซึ่งในบางกรณีค่า pH อาจจะลดลงถึง 5.5 - 6 ได้ในแหล่งน้ำปิด

การเติบโตของสาหร่ายบางชนิดอย่างรวดเร็ว อาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้บริโภคในลำดับถัดมา เช่น ถ้าสาหร่ายชนิดที่เติบโตขึ้นมาเป็นชนิดที่มีขนาดใหญ่ อาจทำให้แพลงตอนสัตว์ (Zooplankton) บางชนิดที่กินสาหร่ายขนาดเล็กหมดไปจากแหล่งน้ำ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคลำดับต่อๆ ไป ผนวกกับผลของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของออกซิเจนละลายและ pH ที่กล่าวมาอาจทำให้สิ่งมีชีวิตที่มีความทนทานต่ำตายหรืออพยพไปจากแหล่งน้ำนั้น ซึ่งโดยมากจะเป็นกลุ่มของสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ที่เป็นผู้บริโภคระดับสูง เช่น ปลาต่างๆ เป็นผลให้ความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity) ในแหล่งน้ำลดลง ทั้งนี้การลดลงของความหลากหลายทางชีวภาพในระบบนิเวศใดๆ จะเป็นผลกระทบที่มักจะพบโดยทั่วไปจากการเกิดสภาวะมลพิษในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ถ้าสาหร่ายที่เติบโตอย่างรวดเร็วเป็นชนิดที่ผลิตสารพิษหรือสามารถสะสมสารพิษไว้ในเซลล์ ก็อาจจะเป็นสาเหตุหลักให้ปลาและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่เป็นผู้บริโภคในอันดับสูงขึ้นตายได้เช่นกัน นอกจากนี้แหล่งน้ำยังอาจเกิดปัญหาอื่นๆ เช่น เรื่องกลิ่นที่เกิดจากสภาวะแอนแอโรบิก และการตื้นเขินของแหล่งน้ำ เป็นต้น



รูปที่ 3–2 ตัวอย่างของห่วงโซ่อาหารในน้ำ

3.7 การเจริญเติบโตของจุลชีพ

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ อุณหภูมิ สารอาหารในแหล่งน้ำ ปริมาณออกซิเจน pH สารพิษ และแสงอาทิตย์ เป็นต้น ช่วงอุณหภูมิสำหรับแบคทีเรียกลุ่มต่างๆ แสดงในตาราง 3-1

ตาราง 3-1 ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียกลุ่มต่างๆ

กลุ่ม	อุณหภูมิ (^{o}C)	
	ช่วงที่อยู่ได้	ช่วงที่เหมาะสม
Psychrophilic*	-10 – 30	12 - 18
Mesophilic	20 – 50	25 - 40
Thermophilic	35 – 75	55 - 65

* หรือเรียกว่า Cryophilic

น้ำเสียชุมชนทั่วไปมีความเข้มข้นของคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสารอาหารเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยปกติแล้วน้ำเสียชุมชนจะมีปริมาณบีโอดีต่อไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเกินความต้องการ คือ มีอัตราส่วน BOD/N/P มากกว่า 100/5/1 ถ้าน้ำเสียชุมชนประกอบด้วยน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีสารอาหารน้อยในปริมาณมาก ทำให้มีการขาดแคลนสารอาหาร เช่น จะต้องเติมไนโตรเจนในรูปของ Anhydrous Ammonia (NH_3) หรือ Ammonium Nitrate (NH_4NO_3) และฟอสเฟตในรูปของกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น

การแพร่ของอากาศและการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศในบ่อเติมอากาศ ทำเพื่อรักษาระดับค่าการละลายของออกซิเจนให้เหมาะสมกับที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ การเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์จะเป็นอิสระจากความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำหากว่าอยู่เหนือค่าต่ำสุดที่กำหนด หากว่าต่ำกว่าค่านี้อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงเนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจมีจำกัด ซึ่งปริมาณต่ำสุดนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสลัดจ์และลักษณะของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด โดยทั่วไปแล้วปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุดที่กำหนดคือ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในการปฏิบัติจริงค่าจะลดลงต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ก็ยังสามารถดำเนินระบบต่อไปได้ อย่างไรก็ตาม ในระบบ Anaerobic System ต้องอยู่ในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนเท่านั้น จึงต้องมีการป้องกันอากาศภายนอกไม่ให้เข้าไปในระบบ

ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนมีอิทธิพลโดยตรงต่อการดำเนินระบบบำบัดทางชีวภาพ ซึ่งโดยทั่วไปจะดำเนินระบบได้ดีที่สภาวะเป็นกลาง ช่วง pH ที่เหมาะสมของระบบบำบัดแบบเติมอากาศอยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 8.5 ถ้า pH อยู่เกินจากช่วงนี้กิจกรรมของจุลินทรีย์จะลดลง และหากว่า pH ต่ำกว่า 6.5 จะมีเชื้อรามากกว่าแบคทีเรีย ทำให้เกิดการแข่งขันกันย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยปกติแล้ว Bicarbonate Buffer มีความสามารถควบคุมค่า pH ให้เป็นกลางได้

Anaerobic Digestion มีช่วง pH ที่เหมาะสมคือ 6.7 ถึง 7.4 สลัดจ์ตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียชุมชนที่จะได้รับการบำบัดในระบบ Anaerobic Digestion ต้องอยู่ในช่วง pH แคบๆ นี้ ยกเว้นช่วงเวลาเริ่มระบบ และเวลาที่มีสารอินทรีย์เข้ามามากเกินไป การควบคุมค่า pH ของระบบทำได้โดยการเติมปูนขาวอย่างระมัดระวัง

ให้กับสลัดจ์ตะกอนจุลินทรีย์ดิบ (Raw Sludge) ที่เข้าระบบ การเกิดสภาวะเป็นกรดและการลดต่ำของค่า pH จะเกิดปัญหากับระบบบำบัดยกตัวอย่างเช่น เกิดการสะสมของโลหะหนักที่เป็นพิษ

ระบบบำบัดทางชีววิทยาจะถูกยับยั้งโดยสารพิษ เช่น ของเสียจากโรงงานผลิตโลหะ จะประกอบด้วยไอออนที่มีความเป็นพิษ เช่น นิกเกิลและโครเมียม โรงงานผลิตสารเคมีที่ผลิตสารประกอบได้หลายชนิดจะส่งผลร้ายต่อจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงควรมีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเบื้องต้นก่อนปล่อยลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเมือง

3.7.1 การเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากร

ในกระบวนการชีวภาพ แบคทีเรียหลายชนิดจะอาศัยอยู่ร่วมกับพืชน้ำและสัตว์อื่นๆ ภายใต้สภาวะปกติ แบคทีเรียจะเป็นผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์ โปรโตซัวบริโภคแบคทีเรียเป็นความสัมพันธ์ระหว่างผู้ล่ากับเหยื่อที่พบทั่วไปในระบบ Activated Sludge ระบบ Tricking Filter และ Oxidation Pond โปรโตซัวและโรติเฟอร์จะกินทั้งสาหร่ายและแบคทีเรีย โดยโปรโตซัวจะบริโภคแบคทีเรียหลายพันเซลล์เพื่อสังเคราะห์เซลล์ตัวเองขึ้นใหม่ 1 เซลล์ ประโยชน์ของความสัมพันธ์ระหว่างผู้ล่ากับเหยื่อมี 2 ประการ คือ 1) กำจัดแบคทีเรียที่มีจำนวนมากเกินไปในกรณีที่อัตราการเจริญเติบโตมากเกินไป และ 2) ช่วยในการจมตัวของฟล็อกอินทรีย์โดยลดจำนวนแบคทีเรียอิสระที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ภาวะ Symbiosis คือการอยู่ร่วมกันของสิ่งมีชีวิตหลายชนิดเพื่อให้ได้รับประโยชน์ร่วมกัน เช่นสิ่งมีชีวิต 2 ชนิดอยู่ร่วมกันแล้วผลิตสารอาหารที่ช่วยเอื้ออำนวยในการเติบโตของสิ่งมีชีวิตทั้งสองมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างที่ดีที่สุดของความสัมพันธ์นี้ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างแบคทีเรียและสาหร่ายใน Stabilization Pond

ในระบบ Activated Sludge ของเสียอินทรีย์จะเป็นอาหารสำหรับแบคทีเรียและอาจมีเชื้อราจำนวนเกิดขึ้นในปริมาณน้อย แบคทีเรียบางส่วนจะตายไปและกลายเป็นแหล่งคาร์บอนและสารอาหารสำหรับแบคทีเรียอื่นในการสังเคราะห์เป็นแบคทีเรียและเซลล์ใหม่ต่อไป

การควบคุมจำนวนประชากรจุลินทรีย์เป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับกระบวนการบำบัดแบบใช้อากาศ ถ้าน้ำเสียได้รับการเติมอากาศแบบปกติ ระยะเวลากักเก็บ ของเหลวจะยาวนานมาก เช่นอาจต้องการระยะเวลา 5 วัน ที่ 20 ^{O}C สำหรับประสิทธิภาพของการบำบัดสารอินทรีย์ 70 % อย่างไรก็ตามการกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสียสามารถทำได้ในเวลา 2-3 ช.ม. เมื่อเติมอากาศให้กับน้ำเสียที่เราเติมจุลินทรีย์ลงไปเป็นจำนวนมาก ซึ่งในทางปฏิบัติคือการนำตะกอนจุลินทรีย์ที่จมตัวแล้วจากถังตกตะกอนสุดท้าย กลับเข้าสู่ถังเติมอากาศเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เข้ามากับน้ำเสีย อัตราส่วนระหว่างอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) ซึ่งปกติแล้วแสดงในหน่วยของปริมาณของบีโอดีต่อวันต่อปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ (Mixed Liquor Suspended Solids; MLSS) การดำเนินระบบที่อัตราส่วน F/Mสูงๆ จะทำให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ มีการจมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ต่ำและมีประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดีต่ำ ส่วนที่ F/M ต่ำ มวลชีวภาพของจุลินทรีย์จะอยู่ในสภาวะที่เกือบขาดแคลนสารอาหารซึ่งยังผลให้มีการกำจัดสารอินทรีย์ในอัตราสูง และ Activated Sludge สามารถจมตัวได้ดีและสามารถกำจัดบีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในบ่อขนาดเล็ก จะพบว่าแบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ผลผลิตเป็นสารอนินทรีย์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และคาร์บอนไดออกไซด์ สาหร่ายจะใช้สารประกอบอนินทรีย์เหล่านี้ ตลอดจนพลังงานจากแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสงและปล่อยออกซิเจนออกสู่สารละลาย ออกซิเจนเหล่านี้ก็จะถูกใช้โดยแบคทีเรียอีกครั้งหมุนเวียนกลับเป็นวัฏจักรน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วย Oxidation Pond ซึ่งประกอบด้วยสาหร่ายแขวนลอยในน้ำและมีแบคทีเรียส่วนที่เหลือจากการย่อยสลายเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย

3.8 ชนิดของถังปฏิกิริยา และลักษณะการไหล

ในระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปอาจแบ่งลักษณะของถังปฏิกิริยา (Reactor) ได้เป็น 2 แบบ คือ

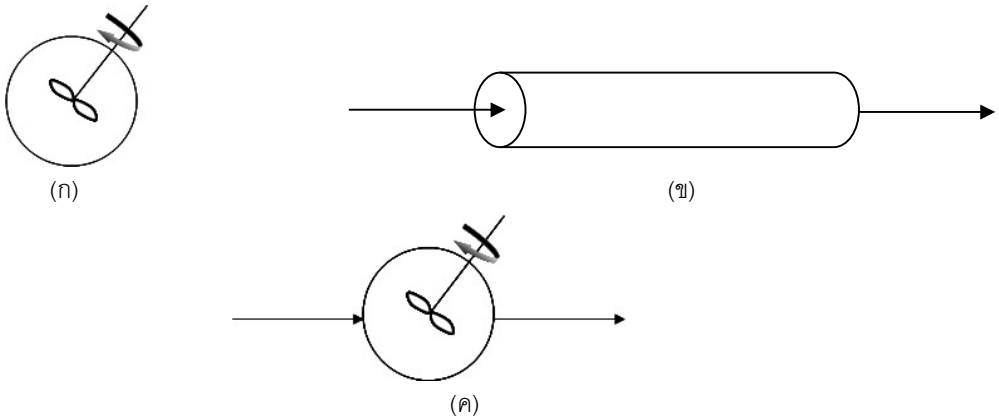
1) แบบทีละเทหรือแบตช์ (Batch) ไม่มีการไหลของน้ำเข้าและออกจากถังปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปจะมีการกวนผสม (รูปที่ 3–3 ก)

2) แบบมีการไหลต่อเนื่อง (Continuous Flow) มีการไหลของน้ำเข้าและออกจากถังปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีโอกาศที่จะดำเนินระบบจนระบบสามารถเข้าสู่ภาวะคงตัว (Steady State) ได้

สำหรับถังปฏิกิริยาแบบมีการไหลต่อเนื่อง มีลักษณะการไหลของน้ำ (Flow Characteristic) ที่สำคัญ 2 แบบ คือ

2.1) ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องตามกัน (Plug Flow Reactor, PFR) จะมีลักษณะเป็นถังยาว ที่มีอัตราส่วนของความกว้างต่อความยาวน้อย ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องตามกันในอุดมคติ มวลของน้ำที่ไหลเข้าสู่ถังจะไหลผ่านถังและออกจากถังไป (รูปที่ 3–3 ข) โดยไม่มีการแพร่กระจายไปตามความยาวของถังซึ่งก็คือทิศทางการไหลด้วย (Longitudinal Dispersion) ลักษณะการไหลของน้ำจะเป็นแบบเข้าก่อนออกก่อนตามลำดับ (First In-First Out) อาจจะมองว่าถังปฏิกิริยาแบบนี้คือถังปฏิกิริยาแบบทีละเทที่มีการกวนผสมต่อกันเป็นอนุกรมก็ได้ ดังนั้น ค่าความเข้มข้นของสารที่เกิดปฏิกิริยาได้ เช่น บีโอดีในน้ำเสียจึงเปลี่ยนแปลงลดลงไปตามความยาวของถัง ดังนั้นจึงต้องควบคุมหัวถังให้ดี (มีการเติมออกซิเจนให้เพียงพอ) มิฉะนั้นจะเน่าได้ ถ้ามีการแพร่กระจาย (Dispersion) เกิดขึ้นมากขึ้นเรื่อยๆ การไหลในถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องตามกันจะยิ่งเข้าใกล้ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องกวนสมบูรณ์

2.2) แบบไหลต่อเนื่องกวนสมบูรณ์ (Continuous-flow Stirred-tank Reactor, CSTR) หรือเรียกว่า Complete-mix Reactor จะเกิดการผสมอย่างทั่วถึงในถัง (รูปที่ 3–3 ค) ทำให้ลักษณะสมบัติของน้ำในถังเหมือนกันทุกจุด (Homogeneous) ถังปฏิกิริยาแบบนี้อาจจะเป็นถังกลม (Round Tank) หรือถังสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Tank) อาจจะมองว่าถังปฏิกิริยาแบบนี้คือถังปฏิกิริยาแบบทีละเทที่มีการกวนผสมที่มีการไหลเข้าออกของน้ำอย่างต่อเนื่องก็ได้ ดังนั้น ค่าความเข้มข้นของสารที่เกิดปฏิกิริยา เช่น บีโอดีในน้ำเสียจึงเท่ากันทุกที่ในถังปฏิกิริยาและเท่ากับความเข้มข้นของบีโอดีในน้ำที่ออกจากถัง ถ้านำถังปฏิกิริยา แบบไหลต่อเนื่องกวนสมบูรณ์มาต่อเป็นอนุกรม การไหลของอนุกรมรวมของถังปฏิกิริยาจะเข้าใกล้แบบไหลต่อเนื่องตามกัน



รูปที่ 3–3 ตัวอย่างถังปฏิกิริยา (ก) แบบทีละเท (ข) แบบไหลต่อเนื่องตามกัน (ค) แบบไหลต่อเนื่องกวนสมบูรณ์

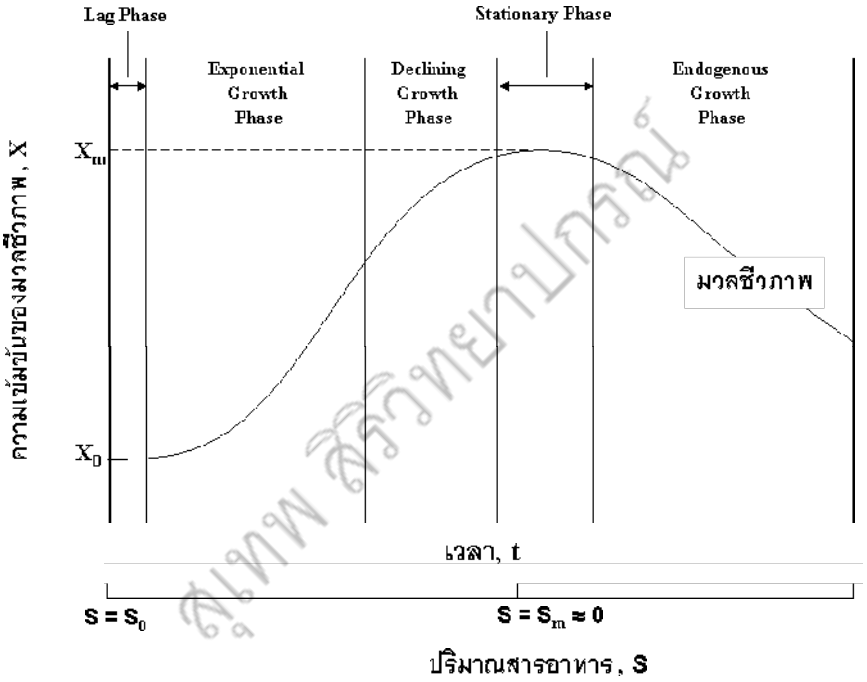
สำนักวิทยบริการฯ

ในการบำบัดน้ำเสียในถังปฏิกิริยาทั้งสองชนิดข้างต้น อาจจะทำได้ 2 วิธี คือ ไม่มีการหมุนเวียนของแบคทีเรีย และมีการหมุนเวียนของแบคทีเรีย ซึ่งจะกล่าวอย่างละเอียดต่อไปในเรื่องการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบชีวภาพ

ในการแบ่งชนิดของ ถังปฏิกิริยาในบางตำราอาจแบ่งจะเพิ่มประเภทตามสถานะของสารที่เกิดปฏิกิริยาด้วย เช่น Packed-bed Reactor มีปฏิกิริยาลักษณะเป็น Heterogeneous Reaction เป็นต้น

3.9 จลนศาสตร์ของจุลชีววิทยาในถังปฏิกิริยาแบบแบตช์

ลักษณะโครงสร้างการเติบโตของแบคทีเรียสปีชีส์เดียวในถังปฏิกิริยาแบบแบตช์ เป็นดังรูปที่ 3–4 ที่แสดงอัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์กับเวลา



รูปที่ 3–4 อัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์กับเวลาและปริมาณสารอาหารชนิดที่เป็นตัวจำกัดการเติบโตในรูปของมวลชีวภาพและจำนวนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาแบบ Batch (โดย X_0 และ X_m คือความเข้มข้นของมวลชีวภาพเริ่มต้น และความเข้มข้นของมวลชีวภาพที่มากที่สุดตามลำดับ ส่วน S_0 และ S_m คือปริมาณสารอาหารชนิดที่เป็นตัวจำกัดการเติบโต (Limiting Substrate) ณ เวลาเริ่มต้น และ ณ เวลาที่ปริมาณมวลชีวภาพในระบบสูงสุด ตามลำดับ)

ในรูปที่ 3–4 นั้นเริ่มจากน้ำที่ปราศจากเชื้อที่มีสารอาหาร (Substrate) ละลายอยู่ จากนั้นจึงเติมเชื้อแบคทีเรีย (Inoculums) จำนวนน้อย ในช่วง Lag Phase ซึ่งจุลินทรีย์กำลังปรับตัวจึงจะเห็นการเติบโตน้อยมาก ถึงแม้จะมีอาหารพอเพียง แบคทีเรียจะเพิ่มจำนวนโดยการแบ่งตัวเป็นสอง (Binary Fission) ทำให้มีการเพิ่มจำนวนเซลล์และมวลชีวภาพในน้ำอย่างรวดเร็ว การที่มีอาหารมากพอทำให้จุลินทรีย์มีการเพิ่มจำนวนอย่าง

สุเทพ สถิรวิทยาปกรณ์

รวดเร็ว โดยสิ่งที่จะมากำจัดหรือควบคุมการเพิ่มจำนวนมีเพียงความสามารถในการย่อยสารอาหารและเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียเท่านั้น ระยะนี้เรียกว่า Exponential Growth Phase

ช่วง Declining Growth Phase ในรูปที่ 3–4 เป็นผลมาจากการที่ปริมาณสารอาหารลดลงจนกระทั่งไปจำกัดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย อัตราการเพิ่มจำนวนจะลดลงและในขณะเดียวกันเซลล์บางเซลล์ตายลง ทำให้มวลชีวภาพทั้งหมด (คิดเป็นปริมาณของแข็งแขวนลอย หรือปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระเหยได้ในน้ำ) มีมากกว่ามวลของเซลล์ที่มีชีวิต (Viable) เมื่อสารอาหารหมดไปเมื่อตอนสิ้นสุดของ Declining Growth Phase มวลชีวภาพจะมีค่าค่อนข้างคงที่เป็นผลให้เกิดสภาวะ Stationary Phase ในช่วงสั้นๆ

Endogenous Growth Phase ในรูปที่ 3–4 เป็นช่วงเวลาที่มีสารอาหารในน้ำเหลืออยู่น้อย แบคทีเรียที่ยังมีชีวิตจะต้องใช้สารอาหารที่สะสมอยู่ในเซลล์ หรือจากสารอาหารที่ย่อยสลายออกมาจากเซลล์ที่ตายแล้ว (Endogenous Respiration) การสลายตัวของเซลล์จะลดทั้งจำนวนเซลล์และมวลชีวภาพทั้งหมด

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกับอัตราการสลายตัวของสารอาหาร แสดงดังสมการ

อัตราการเติบโตสุทธิ = อัตราการสร้างเซลล์ – อัตราการตาย

$$\frac{dX}{dt} = Y\frac{dS}{dt} - k_d X \qquad (3\text{–}11)$$

โดย $\frac{dX}{dt}$ = อัตราการเติบโตสุทธิ, มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน

X = ความเข้มข้นของมวลชีวภาพ, มิลลิกรัมต่อลิตร

Y = ประสิทธิภาพการผลิตมวลชีวภาพ (Growth Yield), มิลลิกรัมของปริมาณมวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้นต่อมิลลิกรัมของสารอาหารที่ใช้ไป

$\frac{dS}{dt}$ = อัตราการย่อยสลายสารอาหารของจุลินทรีย์ (Substrate Utilization Rate), มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน

S = ความเข้มข้นของสารอาหารที่เป็นตัวจำกัดการเติบโตของจุลินทรีย์ (Growth-Limiting Substrate), มิลลิกรัมต่อลิตร

k_d = ค่าสัมประสิทธิ์การตายของจุลินทรีย์, ต่อวัน

t = เวลา, วัน

สมการ (3-11) นี้ ใช้ได้ทั้งระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพทั้งแบบ Aerobic และ Anaerobic แต่สารอาหารของแบคทีเรียจะต้องอยู่ในรูปของสารละลายเท่านั้น

การเลี้ยงเชื้อในถังปฏิกิริยาทั้งแบบ Batch และแบบต่อไหลต่อเนื่อง สารอาหารส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์ใหม่และอีกส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์ สำหรับในถังปฏิกิริยาแบบ Batch ประสิทธิภาพการผลิตมวลชีวภาพสูงสุด (Maximum Yield) คือมวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้นระหว่าง Exponential Growth Phase และ Declining Growth Phase (X_m-X_o) ที่สัมพันธ์กับปริมาณสารอาหารที่ใช้ตลอดระยะเวลาเดียวกัน (S_o-S_m) เนื่องจากความเข้มข้นของสารอาหาร S_m เข้าใกล้ 0 (รูปที่ 3–4) ดังนั้น

สุเทพ สรรพกิจปกรณ์

$$Y = \frac{X_m - X_0}{S_0} \qquad (3\text{–}12)$$

อัตราการย่อยสลายสารอาหารของจุลินทรีย์, $\frac{dS}{dt}$, หาได้จาก

$$\frac{dS}{dt} = \mu X \qquad (3\text{–}13)$$

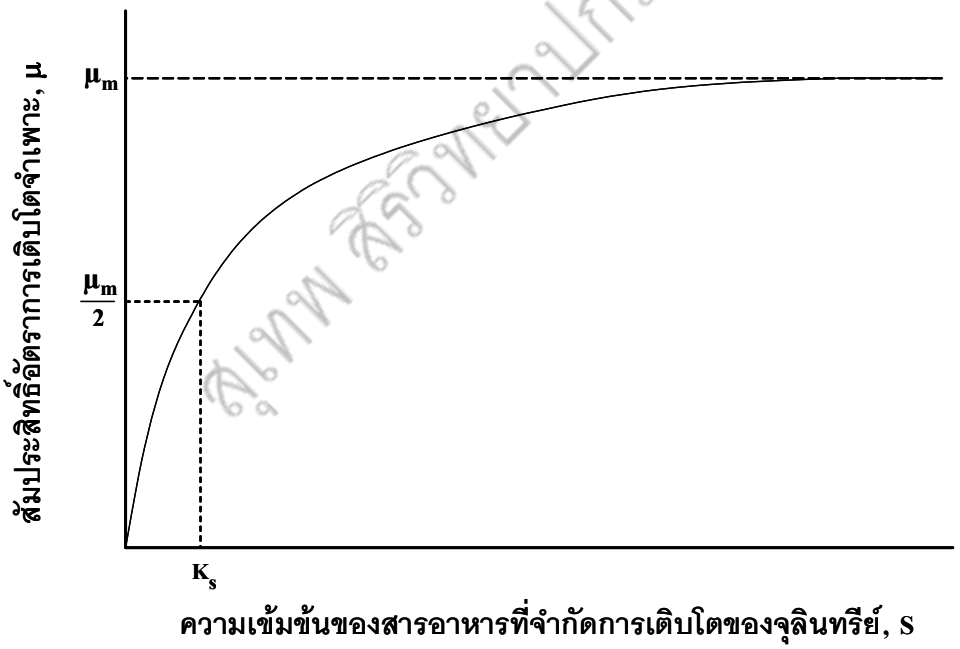
โดย μ = สัมประสิทธิ์อัตราการเติบโตจำเพาะ, ต่อวัน

สัมประสิทธิ์อัตราการเติบโตจำเพาะจะอธิบายได้โดย Monod Equation ดังรูปที่ 3–5 ซึ่งแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ดังนี้.

$$\mu = \mu_m \left(\frac{S}{K_s + S} \right) \qquad (3\text{–}14)$$

โดย μ_m = สัมประสิทธิ์อัตราการเติบโตจำเพาะที่สูงที่สุด, ต่อวัน

K_s = ความเข้มข้นของสารอาหารที่จำกัดการเติบโตของจุลินทรีย์ที่สัมพันธ์กับครึ่งหนึ่งของค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเติบโตจำเพาะที่สูงที่สุด (Half Velocity Constant), มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 3–5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์อัตราการเติบโตจำเพาะและความเข้มข้นของสารอาหารที่จำกัดการเติบโตของจุลินทรีย์ ที่อธิบายโดย Monod Equation

ถ้าแทนที่ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเติบโตจำเพาะที่แสดงโดยสมการ (3–14) ลงในสมการ (3–13) จะได้

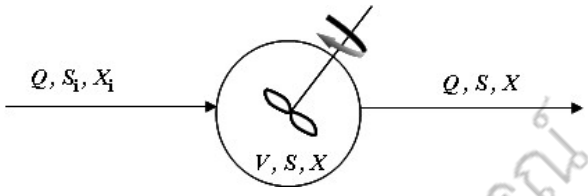
$$\frac{dS}{dt} = \frac{\mu_m X S}{K_s + S} \qquad (3\text{–}15)$$

สุเทพ สิริวัฒนาภรณ์

สังเกตุว่า เมื่อค่า S ในสมการ (3–15) มีค่าสูงๆ $(K_s + S \approx S)$ อัตราการย่อยสลายสารอาหารของจุลินทรีย์จะอธิบายได้โดยสมการ (3–13) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเติบโตจำเพาะ (μ) เป็นค่าค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเติบโตจำเพาะที่สูงที่สุด (μ_m) ซึ่งสอดคล้องกับที่แสดงไว้ในรูปที่ 3–5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของ μ เข้าใกล้ค่า μ_m และมีค่าคงที่ ไม่ว่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์, S, จะมีค่ามากขึ้นไปอีกเท่าใดก็ตาม

3.10 จลนศาสตร์ของจุลชีววิทยาในถังปฏิกิริยาไหลต่อเนื่องกวนสมบูรณ์ที่ไม่มีการหมุนเวียนของแบคทีเรีย

ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องกวนสมบูรณ์หนึ่งใช้ในการเลี้ยงจุลชีพ มีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3–6 โดยสมมุติว่าเริ่มต้นมีความเข้มข้นของจุลชีพในน้ำเข้าสู่ระบบ, X_i, น้อยมาก เข้าใกล้ 0



รูปที่ 3–6 ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องกวนสมบูรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงจุลชีพ

โดย Q = อัตราไหลของน้ำในระบบ, ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ลบ.ม.ต่อ วัน)

S_i = ความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำที่เข้าสู่ระบบ, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

S = ความเข้มข้นของสารอาหารในถังปฏิกิริยา และในน้ำที่ออกจากระบบ, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

X_i = ความเข้มข้นของจุลชีพในน้ำเข้าสู่ระบบ, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

X = ความเข้มข้นของจุลชีพในถังปฏิกิริยา และในน้ำที่ออกจากระบบ, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

V = ปริมาตรของถังปฏิกิริยา ลบ.ม.

สำหรับระบบนี้ ระยะเวลากักเก็บน้ำ (Hydraulic Retention Time, θ_H หรือ HRT) เฉลี่ยคือ

$$\theta_H = \frac{V}{Q} \qquad (3–16)$$

โดย θ_H = ระยะเวลากักเก็บน้ำเฉลี่ย, วัน

จากสมมุติฐานที่ว่าเริ่มต้นมีความเข้มข้นของจุลชีพในน้ำเข้าสู่ระบบ, X_i, น้อยมากหรือไม่มีเลย ดังนั้นอัตราการไหลของจุลชีพที่ออกจากถังปฏิกิริยามีค่าเป็น QX และปริมาณของจุลชีพในถังปฏิกิริยาทั้งหมดมีค่าเป็น VX ดังนั้นระยะเวลากักเก็บเฉลี่ยของจุลชีพในระบบ (Mean Cell Residence Time, θ_C หรือ Sludge Retention time, SRT) กำหนดได้เป็น

ศูนย์วิทยทรัพยากร

$$\theta_C = \frac{VX}{QX} = \frac{V}{Q} \quad (3\text{–}17)$$

โดย θ_C = ระยะเวลากักเก็บเฉลี่ยของจุลชีพ, วัน

ดังนั้น ในกรณีนี้ เวลาเฉลี่ยที่จุลชีพจะอยู่ในถังปฏิกิริยาจึงมีค่าเท่ากับเวลาเฉลี่ยที่น้ำทิ้งจะอยู่ใน ถังปฏิกิริยา หรือ $\theta_H = \theta_C$ นั่นเอง

ในกรณีนี้ ($X_i = 0$) สมดุลมวลสารของจุลินทรีย์สามารถเขียนได้ดังนี้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของมวลจุลชีพในถังปฏิกิริยา = อัตราการเกิดสุทธิ – อัตรามวลจุลชีพที่ออกจากระบบ (3–18)

$$V\frac{dX}{dt} = \left(Y\frac{dS}{dt} - k_d X\right)V - QX \quad (3\text{–}19)$$

ที่สภาวะคงตัว (Steady State); $\frac{dX}{dt} = 0$ (ความเข้มข้นของแบคทีเรียในถังปฏิกิริยามีค่าคงที่ ดังนั้น อัตราการเกิดสุทธิ จะต้องเท่ากับ อัตราของจุลินทรีย์ที่ออกจากระบบ) สมการ (3–19) จะเขียนได้เป็น

$$\frac{Q}{V} = \frac{Y}{X}\frac{dS}{dt} - k_d \quad (3\text{–}20)$$

แทน $\frac{Q}{V}$ ด้วยสมการ (3–17)

$$\frac{1}{\theta_C} = \frac{Y}{X}\frac{dS}{dt} - k_d \quad (3\text{–}21)$$

แทน $\frac{dS}{dt}$ ด้วยสมการ (3–15)

$$\frac{1}{\theta_C} = Y\frac{\mu_m S}{K_S + S} - k_d \quad (3\text{–}22)$$

จัดรูปสมการ (3–23) ใหม่

$$S = \frac{K_S(1+k_d\theta_C)}{\theta_C(Y\mu_m - k_d) - 1} \quad (3\text{–}23)$$

สำหรับน้ำเสียใดๆ ค่า Y, μ_m, K_s และ k_d สามารถหาได้ ดังนั้น S จึงขึ้นกับ θ_C

ถ้าประสิทธิภาพของระบบ, E, แสดงได้โดย

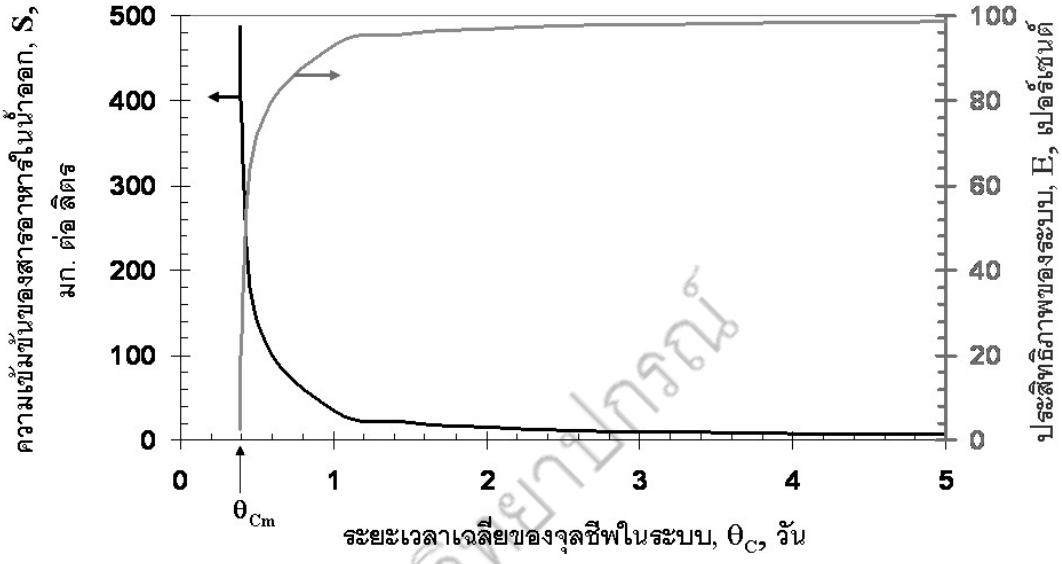
$$E = \frac{100(S_i - S)}{S_i} \quad (3\text{–}24)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำออก, S, และ ประสิทธิภาพของระบบ, E, กับระยะเวลาเฉลี่ยของจุลชีพในระบบ, θ_C, สำหรับระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ที่ไม่มีการนำจุลชีพ

สุเทพ สิริวัฒนากร

กลับมาในระบบ ณ สภาวะคงตัว คำนวณจากสมการ (3–23) และ(3–24)แสดงได้ดังรูปที่ 3–7 โดยมีค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้ คือ

Y	=	0.6		μ_m	=	5	ต่อวัน
K_s	=	60	มก. ต่อ ลิตร	k_d	=	0.10	ต่อวัน
S_i	=	500	มก. ต่อลิตร				



รูปที่ 3–7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำออกและประสิทธิภาพของระบบ กับระยะเวลาเฉลี่ยของจุลชีพในระบบ

จากรูปที่ 3.7 กราฟเส้นบนจะแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบ ส่วนกราฟเส้นล่างจะแสดงถึงความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำที่ออกจากระบบ รูปที่ 3–7 แสดงว่าถ้าค่า θ_C มีค่าต่ำกว่าค่าหนึ่งแล้วจะไม่มีการบำบัดเกิดขึ้นเลย ค่า θ_C ดังกล่าวนี้เรียกว่า ระยะเวลาเฉลี่ยของจุลชีพในระบบที่น้อยที่สุด (Minimum Mean Cell Residence Time, θ_{Cm}) ซึ่งที่ค่าต่ำกว่าค่าที่กล่าวมา เซลล์ของจุลชีพจะไหลผ่านระบบไปโดยไม่เกิดปฏิกิริยา (Wash Out) เนื่องจากเวลาที่อยู่ในระบบสั้นกว่าอัตราการเติบโต ทำให้ไม่มีการใช้สารอาหารและความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำออกจะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำที่เข้าสู่ระบบ ดังนั้นจึงไม่เกิดการบำบัด

เพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น θ_C ต้องนานซึ่งก็หมายถึงว่า θ_H ต้องนานด้วยเช่นกัน หมายความว่าถังปฏิกิริยาต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการนำจุลชีพวนกลับมาใช้ในระบบใหม่ทำให้ค่า θ_C สูงกว่า θ_H ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในเรื่องระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการเพิ่มของประสิทธิภาพจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ จนเข้าสู่ค่าสูงสุด ดังนั้น จากรูปที่ 3.7 การเพิ่ม θ_C จาก 3 วันเป็น 4 วันจะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับการเพิ่ม θ_C จาก 1 วันเป็น 2 วัน

สุเทพ สิริวัฒนาภรณ์

คำถามท้ายบท

1. อธิบายพร้อมทั้งยกตัวอย่างกระบวนการเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียที่อาจพบในน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ โดยจำแนกแหล่งพลังงาน แหล่งอาหาร และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน
2. ถังรับน้ำเสียใบหนึ่งซึ่งปิดสนิทและปราศจากอากาศบรรจุน้ำที่มีองค์ประกอบของ บีโอดี, nitrate ions, sulfate ions และ dissolved oxygen จงอธิบายปฏิกิริยาตามลำดับที่ย่อยสลายโดย bacteria และที่ในสุดจะเกิดกลิ่นเหม็นหรือไม่
3. จงอธิบาย Monod Equation ของปฏิกิริยาทางชีววิทยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลชีพ พร้อมทั้งวาดกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยาและความเข้มข้นของสารอาหาร
4. ปฏิกิริยาชีวภาพดังต่อไปนี้เกิดในถังปฏิกิริยาแบบ Batch

$$2NO_2^- + O_2 \quad \leftrightarrows \quad 2NO_3^-$$

ถ้าอัตราการเกิดปฏิกิริยาของ NO_2^- อธิบายได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$r_{NO_2^-} = -\frac{k_{NO_2^-} C_{NO_2^-}}{K_{NO_2^-} + C_{NO_2^-}}$$

โดย $k_{NO_2^-}$ = 7.0 g/m^3-d

$K_{NO_2^-}$ = 0.1 g/m^3

ให้วาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $C_{NO_2^-}$ กับ เวลา (t) และ $C_{NO_3^-}$ กับ เวลา (t) บนแกนเดียวกัน โดยที่เวลาเริ่มต้น (t = 0), [$C_{NO_2^-}$] และ [$C_{NO_3^-}$] = 3.0 และ 0 g/m^3 ตามลำดับ ให้วาดกราฟจนกระทั่งเวลาที่ [$C_{NO_2^-}$] ~ 0 พร้อมทั้งอภิปรายผลที่ได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาสามารถอธิบายด้วยอัตราการเกิดปฏิกิริยาแบบอื่นได้หรือไม่ อย่างไร

5. อธิบายผลกระทบที่อาจจะเกิดกับระบบนิเวศของแหล่งน้ำเปิดที่มีการไหลเวียนน้อย เช่น ทะเลสาบ บึง เป็นต้น ที่รับน้ำทิ้งจากการบำบัดขั้นทุติยภูมิ โดยระบุสมมุติฐานประกอบการอธิบายด้วย
6. อธิบายเปรียบเทียบค่า θ_H และ θ_C ในถังปฏิกิริยาในถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องกวนสมบูรณ์ที่ไม่มีการหมุนเวียนของแบคทีเรีย
7. อธิบายการเกิด Wash Out ในถังปฏิกิริยาในถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้เลี้ยงแบคทีเรีย
8. การทำให้ระบบมีค่า θ_C มากกว่า θ_H ในถังปฏิกิริยาทำได้อย่างไรบ้าง และจะมีผลดีต่อระบบบำบัดน้ำเสียหรือไม่ อย่างไร

สุพพ สิริวิทยาภรณ์

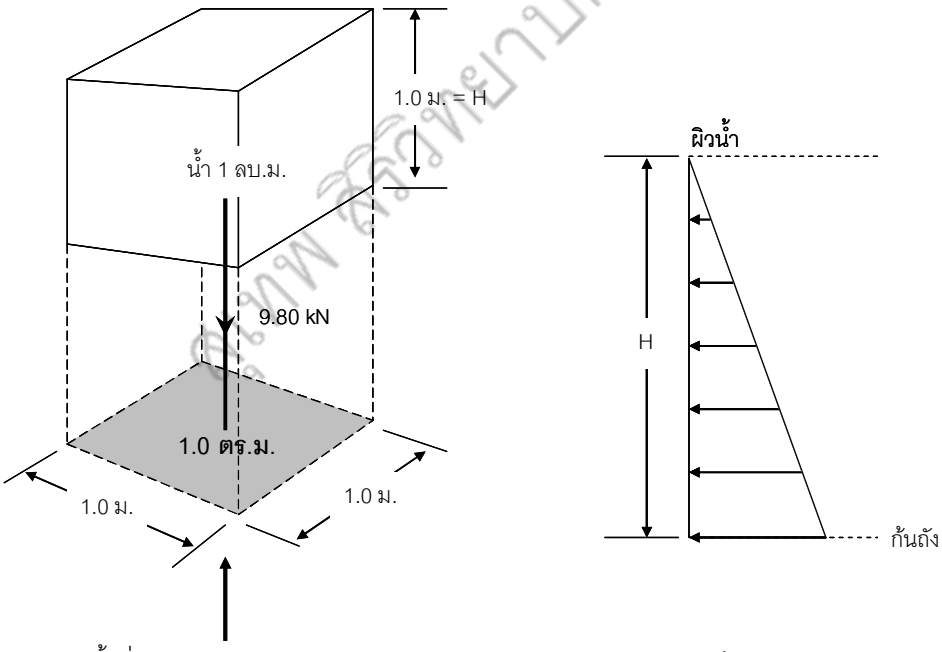
บทที่ 4
ชลศาสตร์และอุทกศาสตร์

4.1 ความดันน้ำ

ความหนาแน่น (Density) หมายถึง มวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ความหนาแน่นของน้ำที่ ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 15°C มีค่า 999 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight) หรือ ความหนาแน่นน้ำหนัก (Weight Density) หมายถึง น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร มีค่าเท่ากับความหนาแน่นคูณด้วยความเร่งจากแรงโน้มถ่วง (g) = 999 กก./ลบ.ม. x 9.81 ม./วินาที ^{2} = 9,800 กก.-ม./วินาที ^{2}-ลบ.ม.= 9.8 กิโลนิวตัน/ลบ.ม. (kN/m^2)

ความดัน (Pressure) หมายถึง แรงที่เกิดจากน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแนวแรง จากรูปที่ 4-1 ถังน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร พื้นที่ก้นถัง 1 ตารางเมตร ความสูงน้ำ 1 เมตร มีความดันที่ก้นถัง 9.80 กิโลนิวตัน/ตร.ม. หน่วยของความดันน้ำมักจะใช้หน่วยความสูงของน้ำ เช่น เมตรหรือฟุต เป็นต้น ดังนั้นที่ก้นถังในรูปที่ 4-1 (ก) มีความดัน 1 เมตรน้ำ (9.80 กิโลนิวตัน/ตร.ม.) ความดันแปรผันตามความลึกน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4-1 (ข)



แรงดันน้ำที่ก้นถัง = 9.80 kN/m^2 แรงดันตามความลึก (kN/m^2) = 9.80*H (m)

แรงดันน้ำสูง 1.0 เมตร = 9.80 kN/m^2 แรงดัน 1.0 kN/m^2 = น้ำสูง 0.102 ม.

รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำในหน่วย กิโลนิวตัน / ตร.ม. (หรือกิโลปาสคาล, kPa) กับหน่วยความสูงน้ำ (เมตร)

ศ.ดร.สุทัศน์ ลิลิทยาภรณ์

การวัดความดันมีมาตรฐานที่นิยมใช้ทั่วไป คือ

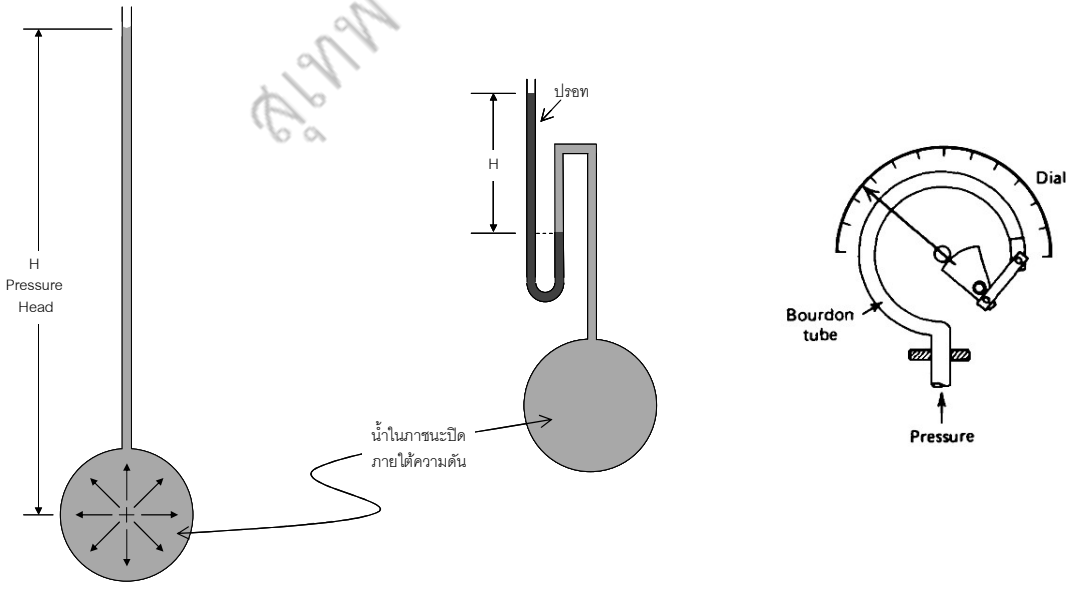
1) **ความดันศูนย์สัมบูรณ์** (Absolute Zero Pressure) เป็นสภาพไร้ความดันอย่างสิ้นเชิงหรือเรียกว่า สุญญากาศ (Vacuum) การบอกค่าความดันเทียบจากมาตรฐานนี้ เรียกว่า ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure) มีค่าเป็นบวกเท่านั้น ความดันในบรรยากาศปกติสามารถวัดได้ด้วยบารอมิเตอร์มีค่า 101 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ที่ระดับทะเลปานกลาง เรียกว่า ความดัน 1 บรรยากาศ (1 atm)

2) **ความดันบรรยากาศเฉพาะพื้นที่** (Local Atmospheric Pressure) ค่าความดันที่เทียบจากมาตรฐานนี้ เรียกว่า ความดันมาตร (Gauge Pressure) มีความสัมพันธ์ดังนี้

ความดันสัมบูรณ์ = ความดันบรรยากาศเฉพาะพื้นที่ + ความดันมาตร (4-1)

ดังนั้นหากความดันมาตรอ่านค่าเป็นศูนย์แสดงว่าความดันสัมบูรณ์มีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศเฉพาะพื้นที่

มาตรวัดความดันที่ง่ายที่สุด เรียกว่า มานอมิเตอร์ (Manometer) เป็นหลอดแก้วที่นำไปปักยังจุดที่ต้องการวัดความดัน ดังรูปที่ 4-2 (ก) Piezometer ซึ่งเป็นมานอมิเตอร์ที่ง่ายที่สุดที่ใช้วัดความดันของน้ำภายในท่อแรงดันโดยต่อเชื่อมกับท่อทางแนวดิ่ง ค่าความดันวัดจากจุดศูนย์กลางท่อถึงระดับผิวน้ำที่สูงขึ้นมาภายในหลอด ความดันในหน่วยของความสูงน้ำนี้เรียกว่า Pressure Head แต่การใช้ Piezometer มีข้อจำกัดเมื่อความดันมากขึ้นต้องใช้หลอดยาวขึ้นจึงประยุกต์โดยใช้หลอดตัวยูบรรจุของเหลวที่มีน้ำหนักจำเพาะมากกว่าน้ำ เช่น ปรอทซึ่งมีน้ำหนัก 13.6 เท่าของน้ำหนักน้ำ ดังนั้นความดัน 1 เมตรปรอท มีค่า 13.6 x 9.8 = 133 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร เรียกมาตรชนิดนี้ว่า Mercury Manometer ดังรูปที่ 4-2(ข) ค่าความดันสามารถอ่านได้จากค่าความแตกต่างของขีดแสดงระดับปรอทในหลอดรูปตัวยู



(ก) Piezometer (ข) Mercury Manometer (ค) Bourdon Gauge

รูปที่ 4-2 เครื่องมือวัดความดันแบบต่างๆ

สุเทพ สังฆมาตร

มาตรวัดความดันได้ถูกพัฒนาต่อมาเป็น Bourdon Gauge ดังรูปที่ 4-2 (ค)โดยใช้หลอดโลหะกลวงหน้าตัดวงรีซึ่งยืดหยุ่นได้ขดเป็นวงโค้งที่ปลายด้านหนึ่งปิดเชื่อมต่อกับก้านที่ต่อกับเข็มชี้ บนหน้าปัดวัด อีกด้านปลายเปิดจะต่อกับท่อที่ต้องการวัดความดันเมื่อมีความดันเพิ่มขึ้นพื้นที่หน้าตัดของหลอดจะถูดดันจากวงรีให้มีรูปทรงเป็นวงกลมมากขึ้นทำให้ปลายหลอดด้านเข็มชี้ขยับพร้อมกับดันเข็มชี้ให้ขยับไปด้วย

4.2 ความสัมพันธ์ของ ความดัน อัตราการไหล และความดันในหน่วยความสูงของน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดของน้ำภายในท่อ (รูปที่ 4-3) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) ดังนี้

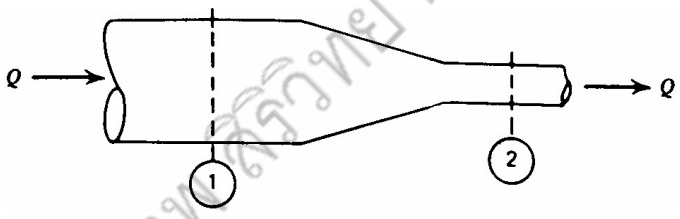
$$Q = V_1A_1 = V_2A_2 \qquad (4\text{-}2)$$

โดย Q = อัตราการไหล, ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

V = ความเร็วการไหล, เมตรต่อวินาที

A = พื้นที่หน้าตัดของการไหล (หน้าตัดภายในท่อ), ตารางเมตร

ความเร็วน้ำไม่เกิน 3.0 เมตร/วินาที เพื่อป้องกันการกัดกร่อนภายในท่อ และไม่น้อยกว่า 0.3 เมตร/วินาที เพื่อไม่ให้ตะกอนตกค้างในท่อ ความเร็วเหมาะสม 1.2 – 2.4 เมตร/วินาที



รูปที่ 4-3 สมการต่อเนื่องของอัตราการไหลของเหลวภายในท่อ

พลังงานความดันรวม (Total Energy Head) ณ จุดต่างๆ ในท่อน้ำที่มีความดัน คำนวณจากผลรวมของสมการพลังงานในรูปต่างๆดังนี้

Total Energy = Elevation Head + Pressure Head + Velocity Head

$$E = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \qquad (4\text{-}3)$$

โดย E = พลังงานความดันรวม, เมตร

Z = ความสูงจากระดับอ้างอิง, เมตร

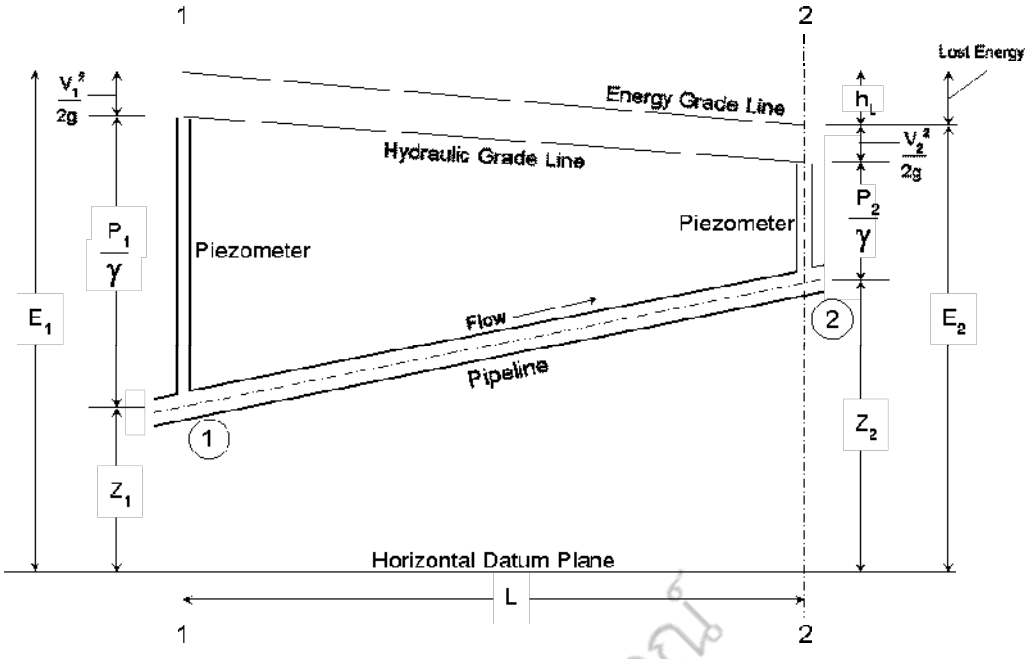
P = ความดันภายในท่อ, กิโลนิวตัน/ตร.ม.

V = ความเร็วของน้ำในท่อ, เมตร/วินาที

γ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ, กิโลนิวตัน/ลบ.ม.

g = ความเร่งจากแรงโน้มถ่วง, เมตร/วินาที^{2}

สุทธิสรวิทยาปากณ์



รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ของพลังงานความดันของน้ำที่ไหลในท่อความดันในรูปต่างๆ

จากรูปที่ 4-4 แสดงการไหลของน้ำในท่อความดันโดยติดตั้งหลอดวัดความดัน Piezometer Tube เพื่อวัดความดันภายในท่อ (Pressure Head) ณ จุดที่ 1 และ 2 ความดันภายในท่อมีค่าเท่ากับความสูงของน้ำภายในหลอดวัดความดัน พิจารณาแกนแนวดิ่งทางด้านซ้าย ณ จุดที่ 1 ผลรวมของ Elevation Head (Z_1) กับ Pressure Head (P_1/γ) เรียกว่า ความดันชลศาสตร์ (Hydraulic Head) สำหรับ Velocity Head ($V_1^2/2g$) คือพลังงานจลย์จากการไหลของน้ำซึ่งเมื่อรวมกับ Hydraulic Head เรียกว่า Total Energy (E_1) เมื่อพิจารณาณ จุดที่ 2 Total Energy มีค่าลดลง ($E_1>E_2$) พลังงานที่สูญเสีย ในหน่วยความสูงเรียกว่า Head Loss (h_L) เกิดจากความเสียดทานของผนังท่อกับน้ำเมื่อเกิดการไหลเรียกว่า Major Loss หรือ Friction Head Loss และจากอุปสรรคที่ขัดขวางการไหลต่างๆ เช่น ข้อต่อ ข้องอ วาล์ว เป็นต้น เรียกว่า พลังงานที่สูญเสียหรือความดันสูญเสียย่อย (Minor Loss)

เส้นที่เชื่อมระหว่างระดับ Hydraulic Head จุดที่ 1 และ 2 เรียกว่า เส้นระดับชลศาสตร์ (Hydraulic Grade Line หรือ Hydraulic Gradient) และเส้นที่เชื่อมระหว่างระดับ Total Energy จุดที่ 1 และ 2 เรียกว่า เส้นระดับพลังงาน (Energy Grade Line) ซึ่งลาดเอียงลงตามทิศทางการไหลของน้ำแสดงถึงพลังงานที่ลดลงยกเว้นมีพลังงานที่เพิ่มมาจากภายนอก เช่น พลังงานจากเครื่องสูบน้ำ เป็นต้น ความสัมพันธ์ของพลังงานการไหล ณ จุดต่างๆ แสดงได้ดังนี้

$$E1 = E2 + h_L$$

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \qquad (4\text{-}4)$$

โดย Z = ความสูงระดับอ้างอิง, เมตร

P = ความดัน, กิโลนิวตันต่อตารางเมตร

V = ความเร็วการไหล, เมตรต่อวินาที

h_L = ความดันที่สูญเสีย, เมตร

γ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ = 9.80 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 เมตร/วินาที^{2}

ความดันสูญเสียจากความเสียดทาน (Friction Head Loss) คำนวณโดยสมการ Darcy Weisbach ดังนี้

$$h_L = \frac{f\,LV^2}{D\,2g} \qquad (4\text{-}5)$$

โดย h_L = ความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน, เมตร

f = สัมประสิทธิ์ความฝืดท่อ

L = ความยาวท่อ, เมตร

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ , เมตร

V = ความเร็วน้ำในท่อ , เมตรต่อวินาที

g = 9.81 เมตร/วินาที^{2}

สัมประสิทธิ์ความฝืดท่อ (f) ขึ้นอยู่กับความขรุขระผิวท่อ (Roughness) ชนิดท่อ และลักษณะการไหลของน้ำ รูปที่ 4-5 แสดงการหาค่า f สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) เมื่อทราบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและค่าความขรุขระท่อ

ความดันสูญเสียย่อย (Minor Loss)มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ Friction Loss สามารถคำนวณจากสมการดังนี้

$$H_{ML} = KV^2/2g \qquad (4\text{-}6)$$

โดย H_{ML} = ความดันสูญเสียย่อย, เมตร

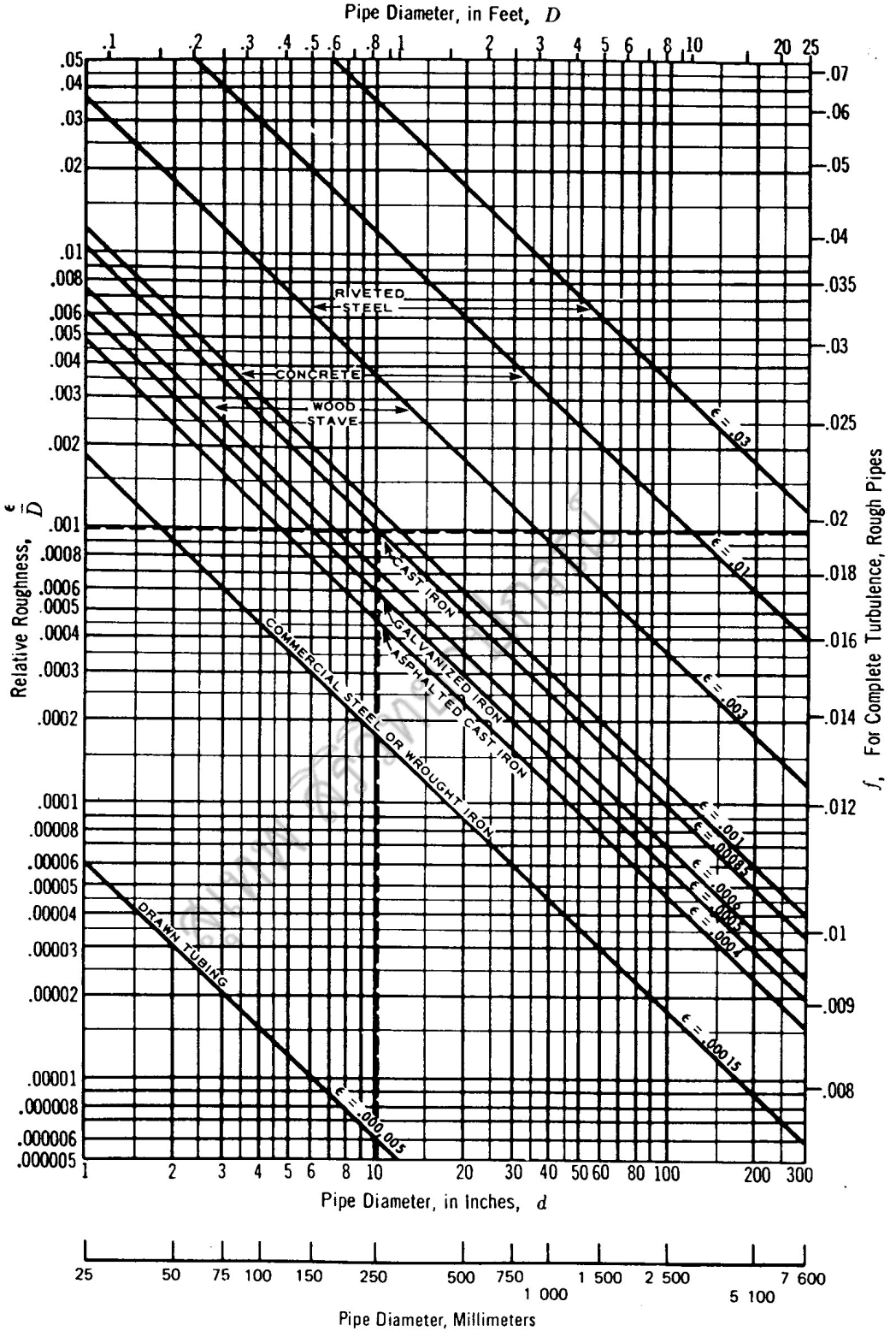
K = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน

V = ความเร็วการไหล, เมตรต่อวินาที

g = 9.81 เมตร/วินาที2

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันแสดงในตาราง 4-1

สุเทพ สรวิทยาปกรณ์



รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ของความขรุขระของท่อชนิดต่างๆกับสัมประสิทธิ์ความฝืดของท่อในการไหลแบบปั่นป่วน (ที่มา: Hammer, 1977)

ตาราง 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันย่อย

ชนิดของข้อต่อหรือวาล์ว	สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงาน K	ความยาวสมมูลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ
Tee(Run)	0.60	20
Tee(Branch)	1.80	60
90° Bend-		
Short Radius	0.90	32
Medium Radius	0.75	27
Long Radius	0.60	20
45° Bend	0.42	15
Gate Valve (Open)	0.48	17
Swing Check Valve (Open)	3.7	135
Butterfly Valve (Open)	1.2	40

ที่มา: Hammer, 1977

ตัวอย่าง 4-1 คำนวณความดันสูญเสียของน้ำในท่อคอนกรีตผิวเรียบ(ε = 0.001) เส้นผ่าศูนย์กลาง 500 มิลลิเมตร ยาว 1,000 เมตร อัตราการไหล 0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

จากสมการ $V = \frac{Q}{A}$

$$= \frac{0.2 \text{ ลบ.ม./วินาที}}{\pi(0.25 \text{ ม.})^2} = 1.02 \text{ ม./วินาที}$$

จากรูปที่ 4-5 เมื่อ d = 500 มม. ε = 0.001 จะได้ f = 0.0175 แทนค่าลงในสมการ

$$h_L = \frac{f LV^2}{D\ 2g}$$

$$= \frac{0.0175 \times 1{,}000 \text{ ม.} \times (1.02 \text{ ม./วินาที})^2}{0.50 \text{ ม.} \times 2 \times 9.81 \text{ ม./วินาที}^2} = 1.86 \text{ ม.}$$

ตัวอย่าง 4-2 เครื่องสูบน้ำเข้าท่อเหล็กหล่อ (Cast - Iron) สภาพใหม่ เส้นผ่าศูนย์กลาง 250 มิลลิเมตร ยาว 50 เมตร ประกอบด้วย ข้อโค้ง 90° รัศมีโค้งปานกลาง 4 ชุด เกทวาล์ว 2 ชุด และวาล์วปีกผีเสื้อ 1 ชุด คำนวณ ความดันสูญเสียในท่อที่ความเร็วการไหล 1.2 เมตรต่อวินาที

คำนวณความยาวท่อรวมกับความยาวสมมูลของข้อต่อและวาล์วจากตารางที่ 4-1 ดังนี้

50 ม. + 0.25 ม. x (4 ชุด x 27 ม. + 2 ชุด x 17 ม. + 1 ชุด x 40 ม.) = 95.5 ม.

สุเทพ สรีวัฒนปการณ์

จากรูปที่ 4-5 อ่านค่า f = 0.0195 แทนค่าลงในสมการ

$$h_L = \frac{f L V^2}{D\ 2g}$$

$$= \frac{0.0195 \times 95.5 \text{ ม.} \times (1.2 \text{ ม./วินาที})^2}{0.25 \text{ ม.} \times 2 \times 9.81 \text{ ม./วินาที}^2} = 0.55 \text{ ม.}$$

ตัวอย่าง 4-3 คำนวณ Head Loss ในเส้นท่อในรูปที่ 4-4 เมื่อ Z_1 = 3 ม., P_1 = 200 กิโลนิวตัน/ตร.ม., V_1 = 1 ม./วินาที, Z_2 = 8.5 ม., P_2 = 100 กิโลนิวตัน/ตร.ม., V_2 = 1 ม./วินาที

จากสมการ $Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$

$$3 + \frac{200}{9.80} + \frac{(1)^2}{2 \times 9.81} = 8.5 + \frac{100}{9.80} + \frac{(1)^2}{2 \times 9.81} + hL$$

h_L = 4.7 ม.

= 46.1 กิโลนิวตัน/ตร.ม.

4.3 การไหลในท่อภายใต้ความดัน

การคำนวณการไหลของน้ำในท่อภายใต้ความดัน (Pressure Flow) โดยสมการ Hazen Williams ดังนี้

$$V = 0.849 C R^{0.63} S^{0.54} \qquad (4\text{-}7)$$

โดย V = ความเร็วการไหล, เมตรต่อวินาที

C = สัมประสิทธิ์การไหล (แสดงในตารางที่ 4-2)

R = รัศมีชลศาสตร์, เมตร

= A/P

A = พื้นที่หน้าตัดการไหล, เมตร

P = ความยาวเส้นขอบเปียก, เมตร

S = ความลาดเทของเส้นระดับชลศาสตร์, เมตร

การคำนวณอัตราการไหลในท่อกลมแทนค่า R เท่ากับ D/4 ลงในสมการ Hazen Williams แทนค่าความเร็วการไหลที่คำนวณได้ลงในสมการความต่อเนื่องของการไหล ได้สมการดังนี้

$$Q = 0.278 C D^{2.63} S^{0.54} \qquad (4\text{-}8)$$

โดย Q = อัตราการไหล, ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

C = สัมประสิทธิ์การไหล (แสดงในตารางที่ 4-2)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ, เมตร

S = ความลาดเทของเส้นระดับชลศาสตร์, เมตร

ตาราง 4-2 ค่าสัมประสิทธิ์การไหล (C) ในสมการ Hazen Williams

ชนิดท่อ	C
Asbetos Cement	140
Ductile Iron	
Cement Lined	130 – 150
New , Unlined	130
5-Year-Old , Unlined	120
20-Year-Old , Unlined	100
Concrete	130
Copper	130 – 140
Plastic	140 – 150
New Welded Steel	120
New Riveted Steel	110

การใช้ Nomograph แทนสมการ Hazen Williams สำหรับค่า C = 100 เป็นวิธีที่สะดวกอีกวิธีหนึ่ง ดังในรูปที่ 4-6 แต่ละแกนแสดงค่าของพารามิเตอร์ ได้แก่ อัตราการไหล เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ความดันสูญเสียต่อความยาวท่อ และความเร็วการไหล หากทราบค่าพารามิเตอร์สองค่าสามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหลือโดยการลากเส้นตรงผ่านจุดทั้งสอง

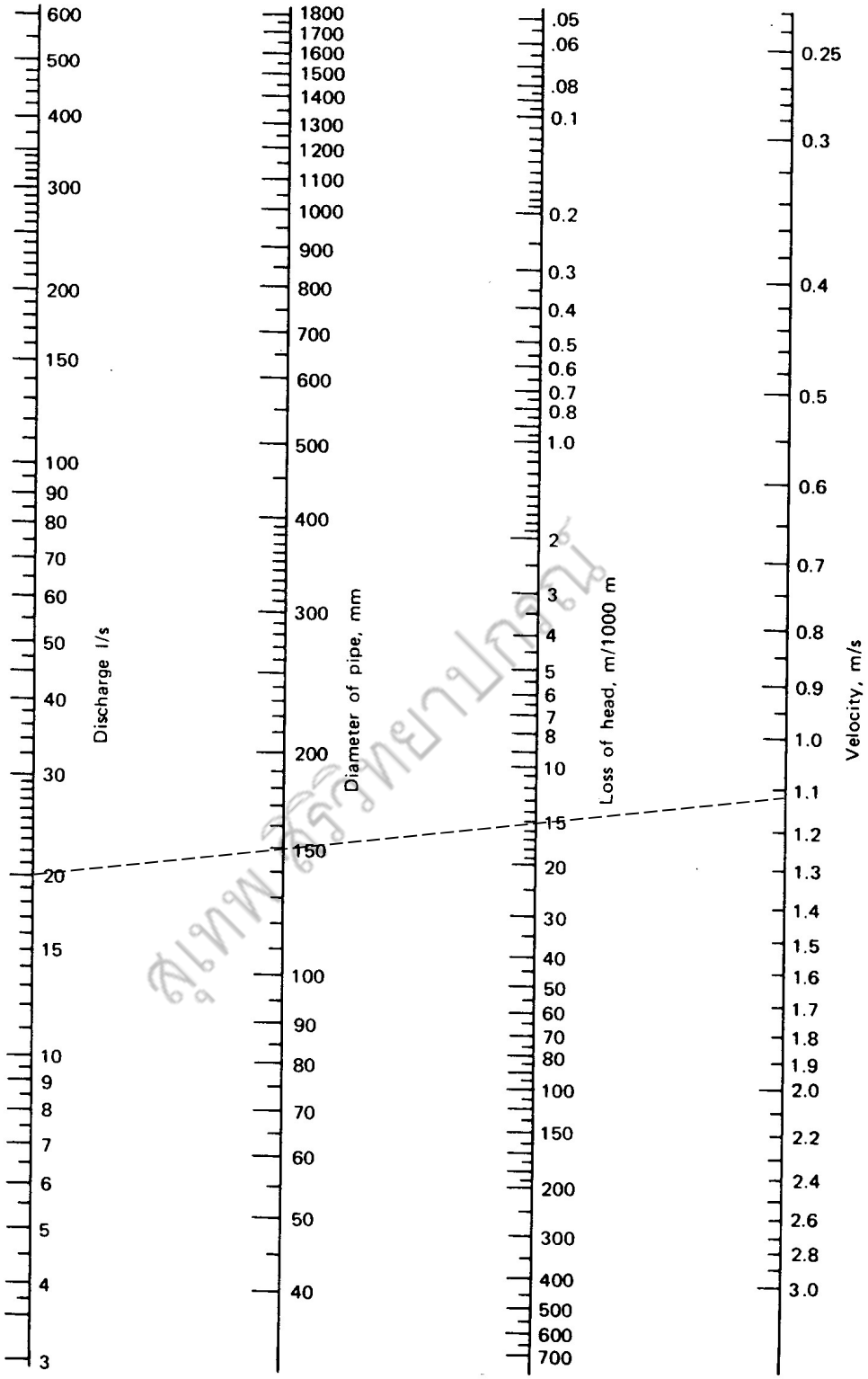
ตัวอย่างเช่น อัตราการไหล 20 ล./วินาที ในท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม. ลากเส้นผ่านจุดบนแกนทั้งสองจะได้ความดันสูญเสียต่อความยาวท่อ 15 ม./1,000 ม. และ ความเร็วการไหล 1.12 ม./วินาที (เส้นประในรูปที่ 4-6)

ท่อที่มีค่า C ต่างๆ กันสามารถคำนวณความดันสูญเสียโดยใช้สัมประสิทธิ์ (K) คูณกับความดันสูญเสียที่ C = 100 ดังแสดงในตาราง 4-3

ตาราง 4-3 สัมประสิทธิ์ตัวคูณความดันสูญเสียสำหรับค่า C ต่างๆ

Corrected h_L = K x h_L at C = 100						
C	80	100	110	120	130	140
K	1.51	1.00	0.84	0.71	0.62	0.54

สุเทพ สิรารักษ์ปาการณ์



รูปที่ 4-6 Nomograph แทนสมการ Hazen Williams สำหรับ ค่า C = 100 (ที่มา: Hammer, 1977)

ตัวอย่าง 4-4 คำนวณความเร็วของน้ำในท่อและความดันสูญเสียของท่อความดัน เส้นผ่าศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร ยาว 800 เมตร อัตราการไหล 70 ลิตรต่อวินาที เมื่อ (1) C = 100 และ (2) C = 130

(1) จาก Nomograph C = 100 ในรูปที่ 4-6 ลากเส้นผ่านจุดเส้นผ่าศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร อัตราการไหล 70 ลิตรต่อวินาที จะได้

ความเร็ว 0.55 ม./วินาที

ความดันสูญเสีย 1.35 ม./1,000 ม. x 800 ม. = 1.08 ม.

(2) จากตารางที่ 4-3 C = 130 มีค่า K = 0.62 จะได้

ความเร็ว 0.55 ม./วินาที (เท่ากับความเร็วเมื่อ C = 100)

ความดันสูญเสีย 0.62 x 1.08 ม. = 0.67 ม.

ความดันของน้ำในหน่วยความสูงของน้ำนิยมใช้ในการคำนวณทางชลศาสตร์เนื่องจากมีความสะดวกในการคำนวณ การคำนวณระบบจ่ายน้ำโดยเครื่องสูบน้ำ มีความดันในลักษณะต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

4.4 ความดันที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสูบน้ำ

Total Dynamic Head (TDH) หมายถึง ความดันสุทธิที่เครื่องสูบน้ำจะต้องมีเพียงพอเพื่อให้เกิดการไหลในอัตราและความสูงที่ต้องการ จากรูปที่ 4-7 และ รูปที่ 4-8 เขียนสมการพลังงานการไหลและ สมการ TDH ได้ดังนี้

ที่จุด A $$E_A = Z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g}$$

ที่จุด B $$E_B = Z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + h_L$$

$$E_B - E_A = (Z_B - Z_A) + \frac{(P_B - P_A)}{\gamma} + \frac{(V_B^2 - V_A^2)}{2g} + h_L$$

$$\text{TDH} = \text{Static Head} + \text{Pressure Head} + \text{Velocity Head} + \text{Head Loss}$$

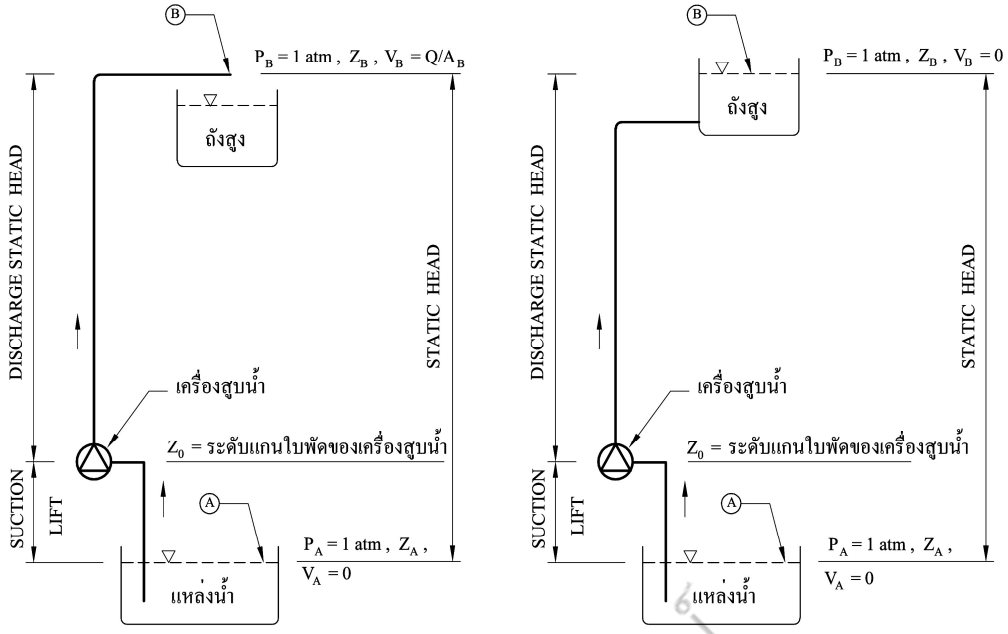
Static Head หมายถึง ความสูงของน้ำซึ่งวัดระหว่างผิวของแหล่งน้ำทางด้านดูดไปจนถึงระดับที่น้ำปล่อยออกทางด้านจ่าย ดังรูปที่ 4-7(ก) ในกรณีที่ปลายท่อด้านจ่ายจมอยู่ใต้ผิวน้ำวัดระหว่างผิวของแหล่งน้ำทางด้านดูดไปจนถึงระดับผิวน้ำทางด้านท่อจ่าย ดังรูปที่ 4-8 (ข) มีค่าเท่ากับ $Z_B - Z_A$

Pressure Head จากรูปที่ 4-7 และ รูปที่ 4-8 ความดันที่จุด A และ B มีเพียงความดันบรรยากาศ 1 atm เท่านั้น ดังนั้น $P_B - P_A = 0$

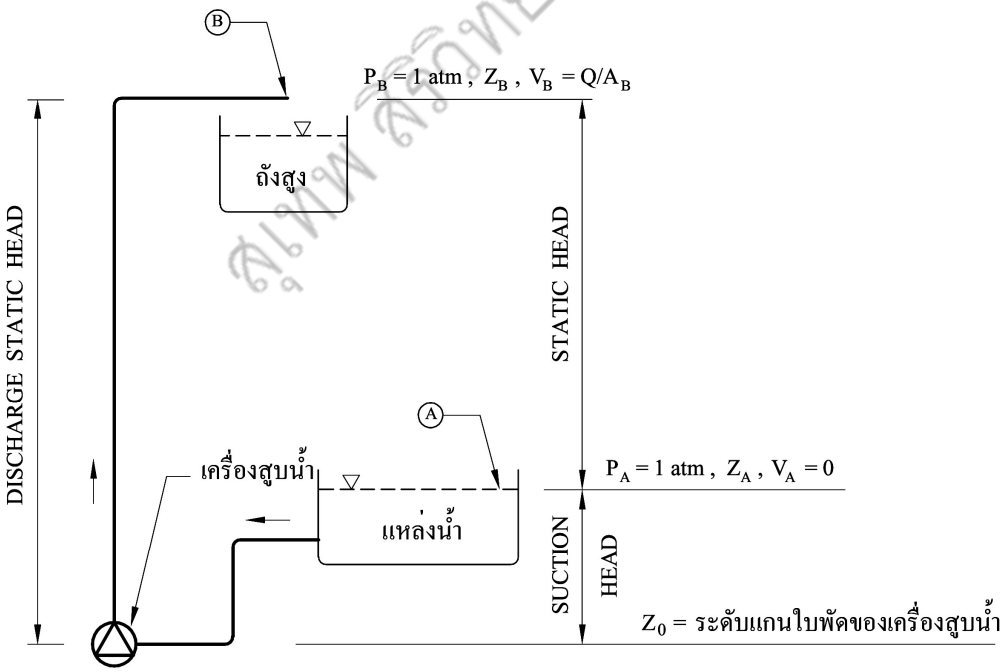
Velocity Head พลังงานจลน์ในหน่วยความสูงของน้ำ จากรูปที่ 4-7(ข) ความเร็วการไหลของน้ำในแหล่งน้ำและในถังสูงมีค่าน้อยมากจนถือว่ามีค่าเท่ากับศูนย์ ($V_A = V_B = 0$) แต่ในรูปที่ 6-7(ก) น้ำทางด้านจ่ายปล่อยออกอย่างอิสระความเร็วการไหลคำนวณจากสมการต่อเนื่อง $V_B = Q/A_B$

Head Loss หมายถึง การสูญเสียความดันน้ำที่เกิดจากความเสียดทานเมื่อเกิดการไหลในท่อทั้งทางด้านดูดและจ่าย (Friction Head Loss) และที่เกิดจากอุปสรรคที่ขัดขวางการไหลของ ข้อต่อ และวาล์วต่างๆ (Minor Loss)

สุทธิสารินทร์ปการ์



รูปที่ 4-7 ระบบท่อเมื่อผิวแหล่งน้ำต่ำกว่าเครื่องสูบน้ำ



รูปที่ 4-8 ระบบท่อเมื่อผิวแหล่งน้ำสูงกว่าเครื่องสูบน้ำ

สุเทพ สรีอทยาปรีณ์

Suction Lift หมายถึง ความสูงซึ่งวัดระหว่างแนวศูนย์กลางใบพัดไปจนถึงผิวของแหล่งน้ำทางด้านดูดซึ่งอยู่ต่ำกว่าเครื่องสูบน้ำ ซึ่งเป็นระยะทางในแนวดิ่งที่เครื่องสูบน้ำต้องสูบยกน้ำขึ้นมาที่ตัวเครื่องสูบนั่นเอง ดังรูปที่ 4-7 มีค่า $Z_0 - Z_A$ ถ้าหากค่า Suction Lift มากเกินไป จะต้องเติมน้ำเข้าท่อด้านดูดให้เต็มก่อนการสูบ (Priming) จึงจะสามารถสูบน้ำขึ้นได้ เครื่องสูบน้ำที่สามารถเติมน้ำเข้าท่อด้านดูดได้เองโดยอัตโนมัติ เรียกว่า Self-Priming Pump

Suction Head หมายถึง ความสูงของความดันน้ำซึ่งวัดระหว่างผิวของแหล่งน้ำทางด้านดูดซึ่งอยู่สูงกว่าเครื่องสูบน้ำไปจนถึงแนวศูนย์กลางใบพัดของเครื่องสูบน้ำ ดังรูปที่ 4-8 มีค่า $Z_0 - Z_A$ ซึ่งความดันของน้ำจะช่วยเพิ่มความดันของเครื่องสูบน้ำ และกรณีที่มีท่อความดันต่อโดยตรงทางด้านดูดของเครื่องสูบน้ำ ความดันในท่อด้านดูดก็คือ Suction Head นั่นเอง

Discharge Static Head หมายถึง ความสูงซึ่งวัดระหว่างแนวศูนย์กลางใบพัด ถึงระดับที่น้ำปล่อยออกทางด้านจ่ายหรือระดับผิวน้ำทางด้านจ่าย มีค่า $Z_B - Z_0$

Net Positive Suction Head (NPSH) หมายถึง ระดับ Suction Head ที่น้อยที่สุด หรือ ระดับ Suction Lift มากที่สุดที่จะไม่เกิด Cavitation ในเครื่องสูบน้ำ ซึ่งผู้ผลิตระบุไว้ที่เครื่องสูบน้ำ Cavitation เกิดขึ้นจากความดันที่ตำแหน่งช่องทางเข้าเครื่องสูบน้ำลดต่ำลงกว่าความดันไอของน้ำจนทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ ทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กมากมาย เมื่อฟองอากาศนี้ผ่านเข้าสู่เครื่องสูบน้ำ ความดันที่สูงขึ้นจะทำให้ไอน้ำกลั่นตัวเป็นของเหลวเหมือนเดิม ฟองอากาศที่แตกตัวทันทีทันใดจำนวนมากจะเกิดเสียงดังและแรงกระแทก (Water Hammer) ก่อให้เกิดความเสียหายต่อใบพัดของเครื่องสูบน้ำ โดยมากจะเกิดขึ้นเมื่อมีระดับ Suction Lift มากเกินไป หรือใช้มอเตอร์ความเร็วรอบสูงเกินไป

<u>ตัวอย่าง 4-5</u> ระบบจ่ายน้ำเพื่อบริโภคประกอบด้วย เครื่องสูบน้ำ ถังสูงเก็บน้ำ ท่อน้ำ และจุดจ่ายน้ำ ดังรูปที่ 4-9

(ก) จงเขียนเส้นระดับชลศาสตร์ จากข้อมูลในรูป โดยที่ Z_A = 0 ม., P_A = 500 กิโลนิวตัน/ตร.ม., Z_B = 8 ม., P_B = 150 กิโลนิวตัน/ตร.ม. Z_C = 15 ม. และ P_C = 25 ม. (ระดับน้ำในถังสูง)

จากรูปที่ 4-4 เส้นระดับชลศาสตร์ จากความดันชลศาสตร์ในเทอมของ

$$\frac{Z + P}{\gamma}$$

ที่จุด A = 0 ม. + $\dfrac{500 \text{ กิโลนิวตัน/ตร.ม.}}{9.80 \text{ กิโลนิวตัน/ตร.ม.ต่อเมตรน้ำ}}$ = 51.0 ม.

ที่จุด B = 8 + 150/9.80 = 23.3 ม.

ที่จุด C = 15 + 25 = 40.0 ม.

ลากเส้นระดับชลศาสตร์เชื่อม Head ที่จุด A , B และ C ดังรูปที่ 4-9

(ข) คำนวณอัตราการไหลที่จุด B ที่จ่ายจากเครื่องสูบน้ำและถังสูงเก็บน้ำ เมื่อ C = 100

h_L ระหว่าง จุด A และ B ความยาว 1,300 ม. = 51.0 – 23.3 = 27.7 ม.

h_L ต่อความยาวท่อ 1,000 ม. = $\dfrac{27.7 \times 1{,}000}{1{,}300}$ = 21.3 ม.

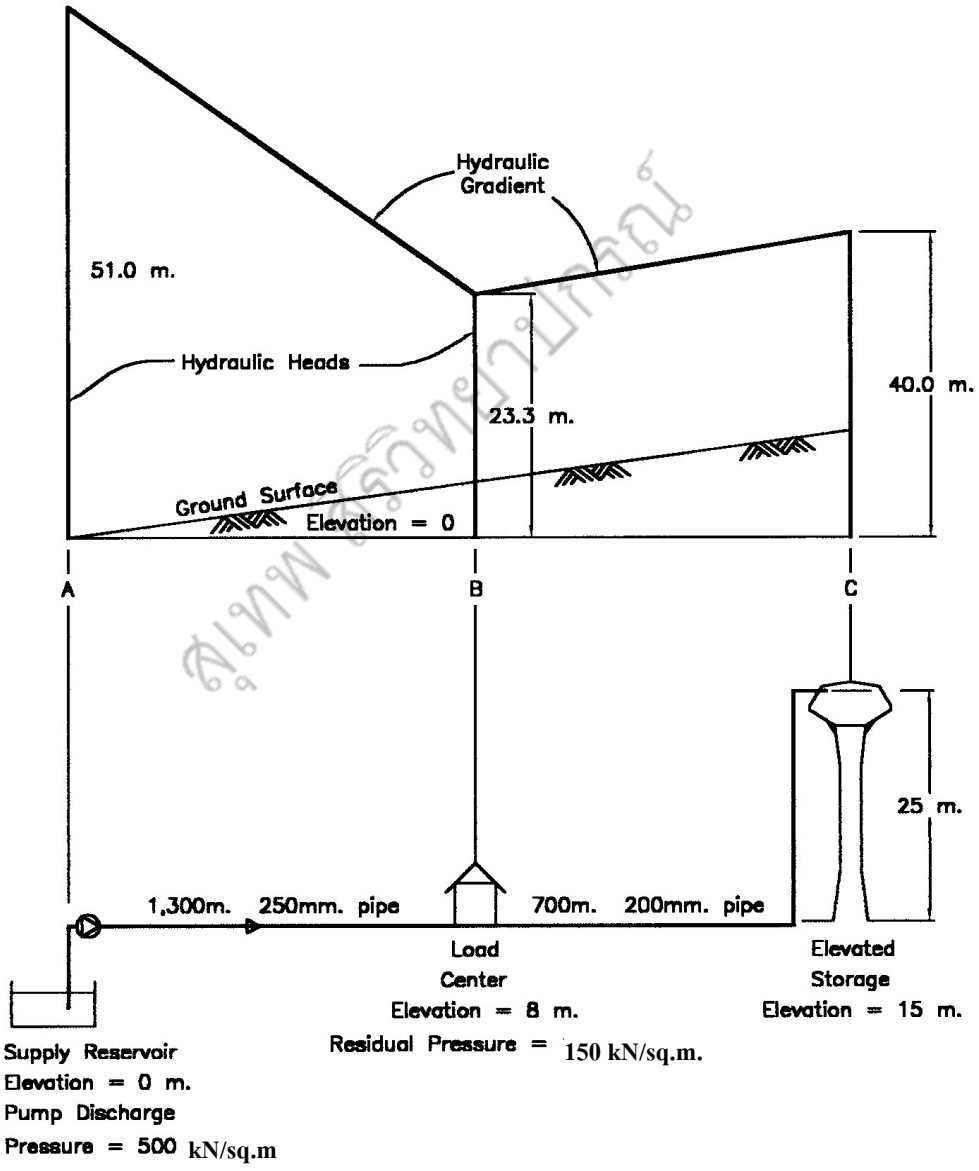
จาก Nomograph ที่ความดันสูญเสีย 21.3 ม./1,000 ม. และ เส้นผ่าศูนย์กลาง 250 มม. อ่านอัตราการไหลได้ 95 ล./วินาที

h_L ระหว่าง จุด B และ C ความยาว 700 ม. = 40 – 23.3 = 16.7 ม.

h_L ต่อความยาวท่อ 1,000 ม. = $\frac{16.7 \times 1{,}000}{700}$ = 23.8 ม.

จาก Nomograph ที่ความดันสูญเสีย 23.8 ม./1,000 ม. และ เส้นผ่าศูนย์กลาง 200 มม. อ่านอัตราการไหลได้ 54 ล./วินาที

ดังนั้นอัตราการไหลรวมที่จุด B = 95 + 54 = 149 ล./วินาที



รูปที่ 4-9 ระบบจ่ายน้ำ

สุเทพ ศรีวิทยาภรณ์

4.5 การไหลในท่อกลมภายใต้แรงโน้มถ่วง

การคำนวณการไหลในท่อกลมภายใต้แรงโน้มถ่วง (Gravity Flow) ใช้เกณฑ์สำหรับการไหลแบบเต็มท่อ (Full Flow) โดยสมการของ Manning ดังนี้

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \qquad (4\text{-}9)$$

โดย Q = อัตราการไหล, ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = พื้นที่หน้าตัดของการไหล, ตารางเมตร

R = รัศมีทางชลศาสตร์ของการไหล, เมตร

S = ความลาดชันของเส้นระดับชลศาสตร์ , เมตรต่อเมตร

n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

ความลาดชันเส้นระดับชลศาสตร์ (S) ในสมการนี้ ไม่ใช่ความลาดชันของท่อระบายน้ำ แต่ถ้าเป็นการไหลแบบเป็นระเบียบ (Uniform Flow) จะมีค่าเท่ากับความลาดชันของท่อระบายน้ำ

โดยทั่วไปค่า n อยู่ในช่วง 0.013-0.015 อย่างไรก็ตามค่า n จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อผิวของท่อมีความขรุขระมาก ขึ้นอยู่กับชนิดและความเก่าของท่อ ความคดโค้งของการวางท่อ และวิธีการต่อเชื่อมหรือรอยต่อเชื่อมของท่อมีความขรุขระมากขึ้น

การออกแบบความเร็วการไหลในท่อระบายน้ำไม่ควรน้อยกว่า 0.6 เมตรต่อวินาทีเป็นการป้องกันการตกตะกอนและอุดตันภายในท่อ แต่ไม่ควรเกินกว่า 3 เมตรต่อวินาที เพื่อลดการกัดเซาะผิวท่อ ตรวจสอบความเร็วการไหลโดยแทนสมการความต่อเนื่อง Q = V/A ลงในสมการของ Manning จะได้สมการดังนี้

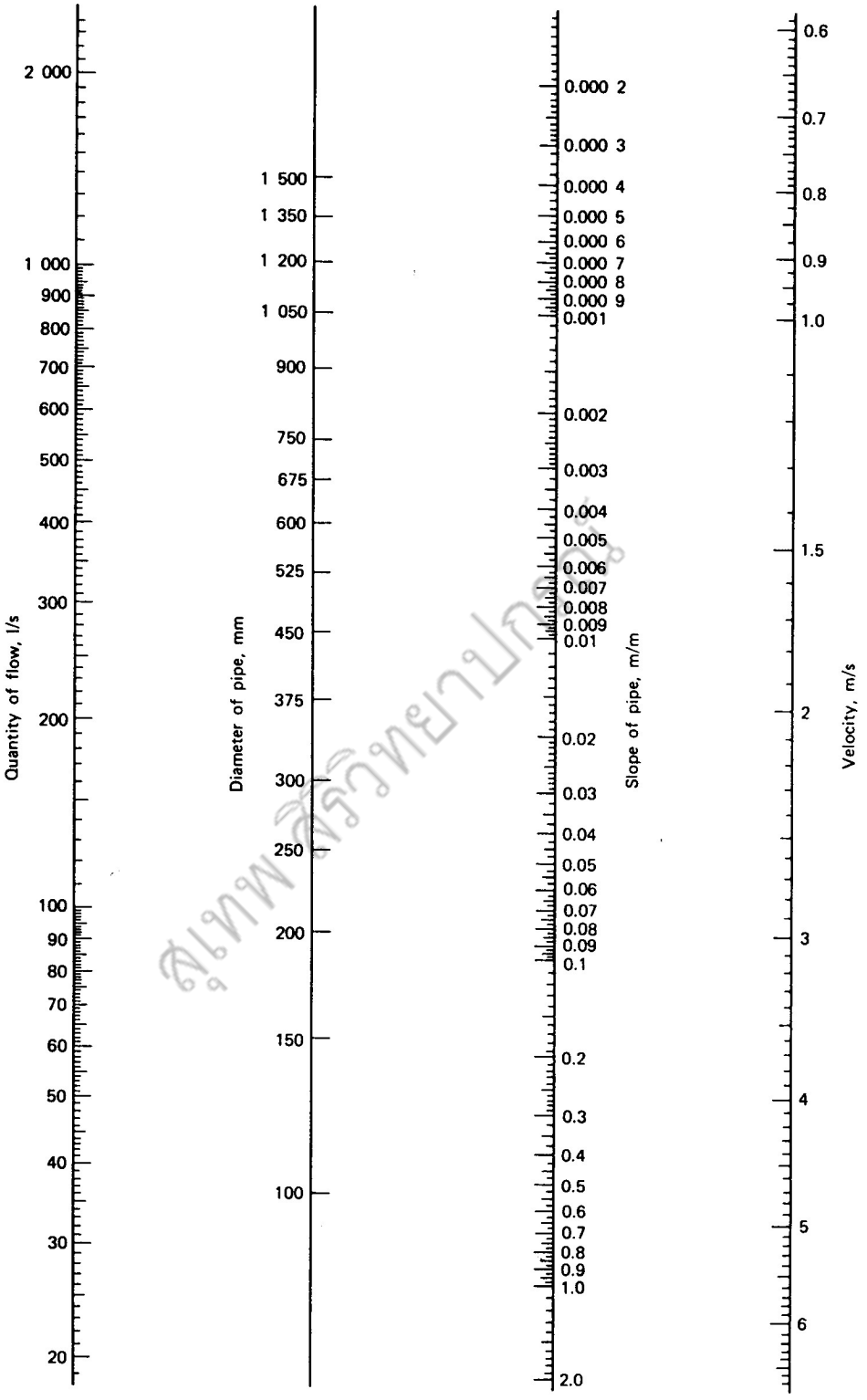
$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \qquad (4\text{-}10)$$

โดย V = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อ, เมตรต่อวินาที

การใช้ Nomograph สำหรับคำนวณการไหลแบบเต็มท่อในท่อกลมจากสมการของ Manning เมื่อ n = 0.013 แสดงในรูปที่ 4-10 โดยแต่ละแกนแสดงค่าของพารามิเตอร์ ได้แก่ อัตราการไหล เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ความลาดชันของท่อ (ใน Nomograph ของ Hazen Williams เป็นแกนของ Head loss) และความเร็วการไหล โดยมีวิธีการเช่นเดียวกับ Nomograph ของ Hazen Williams คือลากเส้นผ่านแกนที่ทราบค่าเพียงสองพารามิเตอร์ก็จะทราบค่าพารามิเตอร์ที่เหลือ

ในกรณีที่ค่า n ไม่เท่ากับ 0.013 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ n ต่างๆ = $\frac{0.013}{n}$ x (ค่าพารามิเตอร์ที่ n เท่ากับ 0.013)

สุเทพ สิริวัฒนาภรณ์

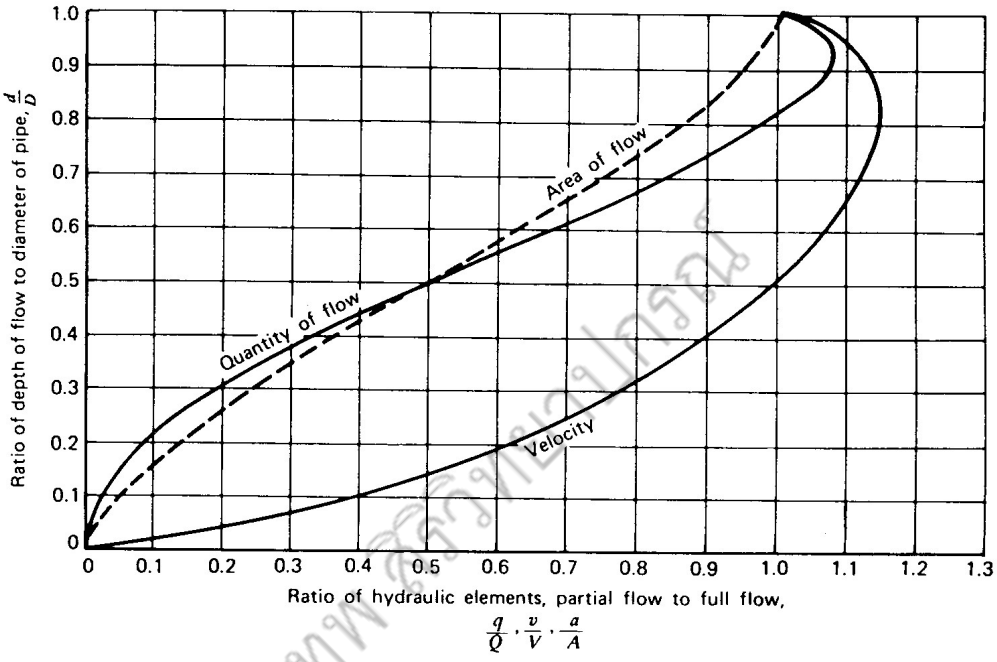


รูปที่ 4-10 Nomograph จากสมการของ Manning ใช้กับท่อกลมที่ไหลแบบเต็มท่อ n = 0.013

(ที่มา: Hammer, 1977)

สุเทพ สรวิทยาปกรณ์

ในความเป็นจริงการไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงในท่อปิดจะเป็นแบบไม่เต็มท่อ (Partial Flow) ซึ่งสามารถคำนวณจากรูปที่ 4-11 กราฟสัดส่วนของพารามิเตอร์ต่างๆในการไหลแบบไม่เต็มท่อกับการไหลแบบเต็มท่อ ได้แก่ ความลึกของน้ำในท่อ (d/D) อัตราการไหล (q/Q) ความเร็วการไหล (v/V) และพื้นที่หน้าตัดการไหล (a/A) ตัวอย่างเช่น เมื่อน้ำในท่อมีความลึก 0.3 ของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ลากเส้นจากแกน d/D = 0.3 ชนเส้นกราฟของอัตราการไหล ความเร็วการไหล และพื้นที่หน้าตัดการไหล แล้วอ่านค่าจากแกนแนวนอนมีค่าสัดส่วนเท่ากับ 0.2 , 0.78 และ 0.25 ตามลำดับ



รูปที่ 4-11 สัดส่วนของอัตราการไหล ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดของการไหลของน้ำในท่อปิดระหว่างการไหลแบบเต็มท่อและไม่เต็มท่อที่ความลึกต่างๆ (ที่มา: Hammer, 1977)

จากรูปที่ 4-11 เมื่อน้ำในท่อมีความลึกครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ อัตราการไหลและพื้นที่หน้าตัดการไหลจะมีค่าครึ่งหนึ่งของการไหลเต็มท่อ แต่ความเร็วการไหลจะมีค่าเท่ากับความเร็วของการไหลเต็มท่อ อัตราการไหลสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อความลึกน้ำที่ d/D = 0.93 ความเร็วสูงสุดเมื่อ d/D = 0.8 ถ้าน้ำลึกกว่านี้ความเร็วจะลดลงเนื่องจากเมื่อน้ำในท่อมีความลึกเพิ่มขึ้น จนเข้าใกล้การไหลเต็มท่อผลจากความเสียดทานจากผนังท่อส่วนบน(Crown)จะมีมากกว่าผลจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่หน้าตัดการไหล อย่างไรก็ตามกราฟในรูปที่ 4-11 เป็นผลการคำนวณทางทฤษฎีที่สภาวะการไหลแบบ Steady Uniform Flow ซึ่งไม่ใช่สภาพการไหลที่เกิดขึ้นจริงในท่อระบายน้ำที่มักจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

ตัวอย่าง 4-6 คำนวณหาอัตราการไหลและความเร็วการไหลแบบเต็มท่อของท่อระบายน้ำเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ความลาดเท 0.005 เมื่อ (ก) n = 0.013 และ (ข) n = 0.015

(ก) ใช้ Nomograph (n =0.013) ในรูปที่ 4-10 ลากเส้นผ่านแกนเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ความลาดเท 0.005 อ่านค่า อัตราการไหลมีค่า 66 ลิตรต่อวินาที และความเร็วการไหลมีค่า 0.98 เมตรต่อวินาที

(ข) เมื่อ n = 0.015 สัดส่วน n มีค่า = 0.013/0.015 = 0.87

อัตราการไหล = 0.87 x 66 = 57.4 ล./วินาที

ความเร็วการไหล = 0.87 x 0.98 = 0.85 ม./วินาที

ตัวอย่าง 4-7 คำนวณหาอัตราการไหลและความเร็วการไหลในท่อระบายน้ำฝนคอนกรีต (n = 0.013) เส้นผ่าศูนย์กลาง 1,000 มิลลิเมตร ความลาดเท 0.002 ความลึกการไหลของน้ำ 600 มิลลิเมตร

ใช้ Nomograph n =0.013 ในรูปที่ 4-10 อ่านค่า

อัตราการไหลเต็มท่อ = 1,020 ล./วินาที

ความเร็วการไหลเต็มท่อ = 1.35 ม./วินาที

สัดส่วนความลึกการไหล d/D = 600/1,000 = 0.6

จากรูปที่ 4-11 สามารถอ่านค่าสัดส่วน เมื่อ d/D = 0.6 ได้ดังนี้ q/Q = 0.68 และ v/V = 1.07 ดังนั้น ที่ความลึกการไหล 600 มิลลิเมตร มีค่า

อัตราการไหลไม่เต็มท่อ = 0.68 x 1,020 = 693.6 ล./วินาที

ความเร็วการไหลไม่เต็มท่อ = 1.07 x 1.35 = 1.44 ม./วินาที

ตัวอย่าง 4-8 คำนวณหาความลึกการไหลในท่อระบายน้ำ n = 0.013 เส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ที่ความลาดเท 0.005 และความเร็วการไหล 0.7 เมตรต่อวินาที

ความเร็วการไหลแบบเต็มท่อ = 0.98 ม./วินาที (จาก Nomograph ในรูปที่ 4-10)

สัดส่วน v/V = 0.7/0.98 = 0.71

จากรูปที่ 4-11 ที่ v/V = 0.71 อ่านค่า d/D = 0.27

ดังนั้น ความลึกที่ความเร็ว 0.7 ม./วินาที = 0.27 x 300 = 81 มม.

4.6 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำในรางเปิด

การวัดอัตราการไหลของน้ำเสียไม่นิยมวัดโดยใช้มาตรหรือวัดในท่อปิดเนื่องจากในน้ำเสียจะมีของแข็งแขวนลอยปะปนอยู่มากซึ่งจะทำให้กลไกเกิดความเสียหายและอุดตันได้ง่าย จึงนิยมวัดในรางเปิดมากกว่า เครื่องมือวัดอัตราการไหลในรางเปิด ได้แก่ รางวัดอัตราการไหล และฝายวัดอัตราการไหล

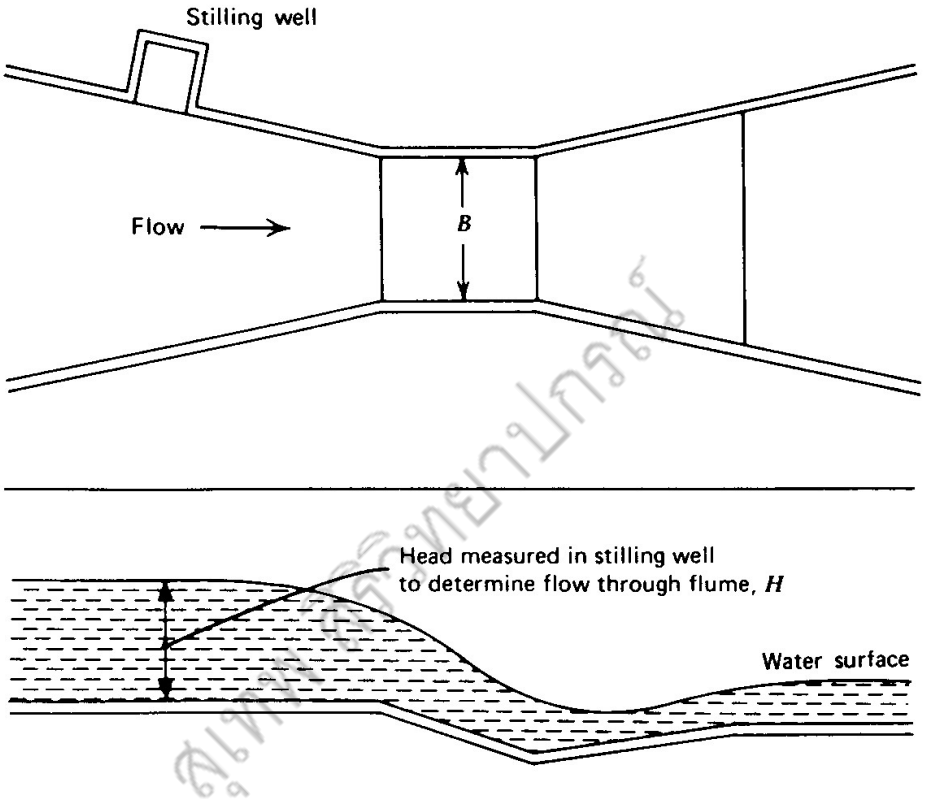
รางวัดอัตราการไหล (Parshall Flume) นิยมติดตั้งอย่างถาวรในโรงปรับคุณภาพน้ำและบำบัดน้ำเสีย ดังรูปที่ 4-12 ประกอบด้วย รางด้านน้ำเข้าให้น้ำเสียไหลเข้ามาตามแนวนอนส่วนนี้จะมีช่องวัดความลึกน้ำแยกออกมาเพื่อป้องกันการกระเพื่อมของน้ำ(Stilling Well) ซึ่งภายในมีเครื่องมือวัดระดับความลึกของน้ำ อีกส่วนเป็นคอคอดที่ให้น้ำไหลลาดเทลงอย่างอิสระตามแรงโน้มถ่วง ข้อดีของรางวัดอัตราการไหล คือ เกิดความดันสูญเสียน้อยและเกิดตะกอนสะสมได้ยาก เมื่อวัดความลึกของน้ำทางด้านทางเข้า(H) นำไปคำนวณอัตราการไหลโดยสมการดังนี้

$$Q = 4B(H^{1.522B})^{0.026} \quad (4\text{-}11)$$

โดย Q = อัตราการไหล, ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที

B = ความกว้างคอคอด, ฟุต

H = ความลึกของน้ำทางด้านทางเข้า, ฟุต



รูปที่ 4-12 องค์ประกอบของรางวัดอัตราการไหล (ที่มา: Hammer, 1977)

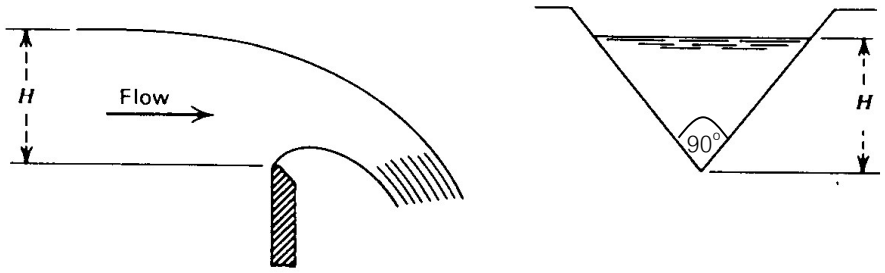
ฝายวัดอัตราการไหล (Weir) เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลในรางเปิดที่ปล่อยให้น้ำไหลล้นอย่างอิสระตามแรงโน้มถ่วงผ่านฝายสันคม ดังรูปที่ 4-13 อัตราการไหลจะแปรผันตามความสูงของน้ำบนสันฝาย วัดจากระดับก้นฝาย ถึงระดับผิวน้ำ (H) โดยทั่วไปหน้าตัดของฝายจะนิยมใช้เป็นรูปตัว V หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยเฉพาะหน้าตัดที่มุมตัว V 90° นั้นจะพบมากที่สุด เนื่องจากติดตั้งและเคลื่อนย้ายง่าย มีราคาถูก เหมาะกับการสำรวจแหล่งน้ำเสียตามชุมชนต่างๆ การวัดระดับความสูงน้ำบนสันฝายในการสำรวจทั่วไปจะใช้เครื่องวัดที่มีท่อ (Stovepipe)ซึ่งบรรจุลูกลอยวัดระดับผิวน้ำอยู่ภายใน อัตราการไหลสามารถคำนวณโดยสมการดังนี้

$$Q = 1.4H^{5/2} \quad (4\text{-}12)$$

โดย Q = อัตราการไหล , ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

H = ระยะวัดจากระดับก้นฝาย ถึงระดับผิวน้ำ, เมตร

สุเทพ สรรพยาปกรณ์



รูปที่ 4-13 องค์ประกอบของฝายวัดอัตราการไหลติดตั้งในรางเปิด (ที่มา: Hammer, 1977)

<u>ตัวอย่าง 4-9</u> คำนวณหาอัตราการไหลเมื่อใช้ฝายวัดอัตราการไหลรูปตัว V 90° วัดความสูงของน้ำเหนือสันฝายได้ 130 มิลลิเมตร

จากสมการ $Q = 1.4H^{5/2}$

$= 1.4 \times (0.13)^{5/2}$

$= 0.0085$ ลบ.ม./วินาที

$= 8.5$ ล./วินาที

4.7 ปริมาณน้ำฝนไหลนอง

การคำนวณปริมาณน้ำฝน (Stormwater Runoff) ในท่อระบายน้ำฝนประกอบด้วยปริมาณน้ำฝนที่ไหลเข้าสู่ท่อที่พิจารณานั้นรวมกับปริมาณน้ำฝนสะสมที่ไหลมาจากโครงข่ายท่อต้นทาง การคำนวณใช้วิธี Rational Method ซึ่งมีสมการดังนี้

$$Q = 0.278\ CIA \qquad (4\text{-}13)$$

โดย Q = ปริมาณน้ำฝนไหลนองสูงสุด , ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

C = สัมประสิทธิ์การไหลนองเฉลี่ย

I = ค่าความเข้มฝนเฉลี่ย, มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

A = พื้นที่ระบายน้ำสะสม , ตารางกิโลเมตร

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองเฉลี่ยจากสูตร $C = \dfrac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \ldots C_n A_n}{A_1 + A_2 + \ldots A_n}$

โดย C = สัมประสิทธิ์การไหลนองเฉลี่ย

$C_1, C_2, \ldots, C_n$ = สัมประสิทธิ์การไหลนองสำหรับพื้นที่แต่ละประเภทในพื้นที่ระบายน้ำย่อย (ดูตารางที่ 4-4)

$A_1, A_2, \ldots, A_n$ = ขนาดพื้นที่รับน้ำย่อยแต่ละประเภท , ตารางกิโลเมตร

$A_1 + A_2 + \ldots A_n$ = พื้นที่ระบายน้ำสะสม (A) , ตารางกิโลเมตร

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองสำหรับพื้นที่แต่ละประเภทแปรผันตามความสะดวกในการไหลของน้ำฝนบนผิวดิน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ประเภทผิวปกคลุมพื้นที่และความลาดชันของพื้นที่ เป็นต้น ดังตาราง 4-4 พื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชหรือเป็นที่รกร้างค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองจะมีค่าน้อยกว่าพื้นที่ที่มีความเจริญแล้ว ดังตาราง 4-5

สมพงษ์ สิริวัฒนากร

ตาราง 4-4 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองตามประเภทผิวปกคลุมพื้นที่

ประเภทผิวปกคลุมพื้นที่	สัมประสิทธิ์การไหลนอง (C)
ส่วนปูพื้น	
ยางมะตอยหรือคอนกรีต	0.70-0.95
อิฐหรืออิฐตัวหนอน	0.70-0.85
หลังคา	0.75-0.95
สนาม , ดินทราย	
เรียบ - ลาด 2%	0.05-0.10
ลาด 2 - 7%	0.10-0.15
ชัน , ลาด 7% ขึ้นไป	0.15-0.20
สนาม , ดินแน่น	
เรียบ - ลาด 2%	0.13-0.17
ลาด 2 - 7%	0.18-0.22
ชัน , ลาด 7% ขึ้นไป	0.25-0.35

ที่มา: ธงชัย (2537)

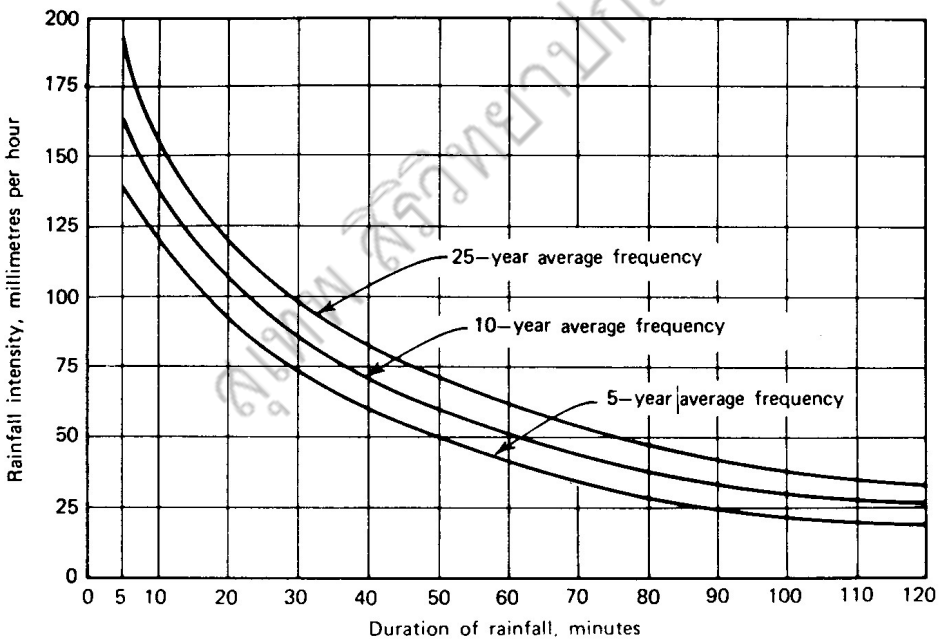
ตาราง 4-5 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองตามลักษณะใช้สอยของพื้นที่

ลักษณะใช้สอยของพื้นที่	สัมประสิทธิ์การไหลนอง(C)
เขตธุรกิจ	
หนาแน่น	0.70-0.95
รอบ ๆ บริเวณเขตธุรกิจ	0.50-0.70
เขตที่พักอาศัย	
ครอบครัวเดี่ยว	0.30-0.50
หลายครอบครัว, แยกกัน	0.40-0.50
หลายครอบครัว, ติดกัน	0.60-0.75
เขตที่พักอาศัย (ชานเมือง)	0.25-0.40
เขตอพาร์ทเมนท์	0.50-0.70
เขตอุตสาหกรรม	
เบา	0.50-0.80
หนัก	0.60-0.90
สวนสาธารณะ	0.10-0.25
สวนเด็กเล่น	0.20-0.35
สถานีรถไฟ, ชุมทาง	0.20-0.35
ที่รกร้าง	0.10-0.30

ที่มา: ธงชัย (2537)

สุเทพ สิริวัฒนปกรณ์

ค่าความเข้มฝน (Rainfall Intensity) เป็นพารามิเตอร์ที่ซับซ้อนที่สุดใน Rational Method อ่านค่าได้จากกราฟความสัมพันธ์ของความเข้มฝนและช่วงเวลาที่นับว่าฝนตก (Duration Time) ซึ่งเขียนขึ้นจากสถิติข้อมูลน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ที่พิจารณา ตัวอย่างของกราฟที่สร้างโดย U.S. Weather Bureau แสดงในรูปที่ 4-14 สมมุติช่วงเวลาฝนตกนาน 30 นาที ที่มีโอกาสจะเกิดความเข้มฝนเฉลี่ยสูงสุดในรอบ 5 ปี (5-Year Average Frequency หรือคาบความถี่ฝน 5 ปี) อ่านค่าความเข้มฝนได้ 75 มม.ต่อชั่วโมง และในรอบ 25 ปี อ่านค่าได้ 95 มม.ต่อชั่วโมง โอกาสที่จะเกิดความเข้มฝนเฉลี่ยสูงสุดในรอบปีต่างๆเรียกว่า คาบความถี่ฝน (Return Period) ซึ่งจากรูปที่ 4-14 จะพบว่าค่าความเข้มฝนแปรผันตามคาบความถี่ฝนดังนั้นถ้าใช้คาบความถี่ฝนค่ามากจะทำให้คำนวณปริมาณน้ำฝนไหลนองมากกว่าคาบความถี่ฝนค่าน้อยทำให้ท่อระบายน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นและใช้งบประมาณก่อสร้างมากขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้คาบความถี่ฝนต้องพิจารณาความเหมาะสมด้วยคือเลือกใช้คาบความถี่ฝนที่ค่ามาก สำหรับพื้นที่ที่มีความสำคัญหากเกิดน้ำท่วมจะเกิดความเสียหายมาก เช่น เมืองขนาดใหญ่ ย่านธรกิจ และสนามบิน เป็นต้น ส่วนพื้นที่ที่อาจยอมให้เกิดน้ำท่วมได้บ้างจะใช้คาบความถี่ฝนน้อยลงเพื่อลดค่าก่อสร้าง เช่น หมู่บ้านหรือชุมชนขนาดเล็ก เป็นต้น



รูปที่ 4-14 กราฟความสัมพันธ์ ความเข้มฝนและช่วงเวลาที่นับว่าฝนตกโดย U.S. Weather Bureau

ช่วงเวลาที่นับว่าฝนตก (Duration Time) มักจะเรียกว่าระยะเวลาในการรวมตัวของน้ำท่า (Concentration Time) มีค่าเท่ากับเวลาที่น้ำไหลจากบริเวณที่ฝนตกที่จุดไกลสุดมายังทางเข้าของท่อระบายน้ำรวมกับเวลาการไหลสะสมในท่อตั้งแต่ต้นทางมายังจุดที่พิจารณา สามารถเขียนเป็นสูตรดังนี้

$$T_C = t_O + t_d$$

โดย T_C = เวลาในการรวมตัวของน้ำท่า (ช่วงเวลาที่นับว่าฝนตก), นาที

t_O = เวลาในการไหลบนผิวดินจากจุดไกลสุดมาเข้าจุดเริ่มต้นของท่อระบายน้ำ, นาที

t_d = เวลาในการไหลสะสมในท่อระบายน้ำมายังจุดที่พิจารณา, นาที

เวลาในการไหลบนผิวดิน (t_O) หาได้จากรูปที่ 4-15 แสดงให้เห็นว่า สัมพันธ์กับ ความลาดชันระยะทางการไหล และลักษณะความขรุขระของผิวดินในรูปของสัมประสิทธิ์ Manning

เมื่อท่อที่พิจารณาต้องรับน้ำมาจากท่อต้นทางที่มีหลายสายด้วยกันจะเลือกใช้เวลาในการรวมตัวของน้ำท่าจากสายท่อที่มีเวลานานที่สุดมาคำนวณค่าความเข้มฝน

4.8 แนวความคิดในการรวบรวมน้ำเสีย

ปัจจุบันท่อระบายน้ำในพื้นที่โครงการ เป็นท่อระบายน้ำแบบรวม คือรับทั้งน้ำเสียและน้ำฝน โดยท่อระบายน้ำจะวางลาดไปตามความลาดของถนนเพื่อระบายน้ำฝนและน้ำเสียจากบ้านเรือนไปปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำตามธรรมชาติ ดังนั้นในฤดูแล้งจึงมีแต่น้ำเสียไหลมาตามท่อระบายน้ำและทิ้งลงสู่คลองต่างๆ จำเป็นต้องมีการรวบรวมน้ำเสียที่ปลายท่อระบายน้ำก่อนที่จะปล่อยไหลลงสู่คลองหรือแหล่งทิ้งน้ำตามธรรมชาติต่างๆ เพื่อนำไปบำบัดยังโรงบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง รูปแบบของระบบรวบรวมน้ำเสียที่จะนำมาใช้ จะเลือกใช้รูปแบบ ท่อระบายน้ำแบบรวม (Combined Drainage System) และ ท่อดักน้ำเสีย (Interceptors System) เนื่องจากเป็นระบบที่ อาศัยท่อระบายน้ำที่มีอยู่เดิมช่วยในการรวบรวมน้ำเสีย เป็นการ ประหยัดงบประมาณในการก่อสร้าง

รูปแบบของท่อดักน้ำเสีย แสดงในรูปที่ 4-17 โดยเลือกตำแหน่งการสร้างอาคารดักน้ำเสียหรือ CSO (Combined Sewer Overflow Structure) ที่ปลายทางทิ้งน้ำของท่อหรือรางระบายน้ำ ซึ่งเดิมไหลลงสู่แหล่งรับน้ำต่าง ๆ จึงจำเป็นต้องก่อสร้างอาคารดักน้ำเสียให้เชื่อมกับท่อดักน้ำเสีย ในช่วงหน้าแล้งน้ำเสียที่ไหลมายังอาคารดักน้ำเสียมีปริมาณน้อยกว่า 5 เท่าของปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในหน้าแล้งหรือ 5DWF (Dry Weather Flow) จะไม่ไหลล้นผ่านอาคารดักน้ำเสียออกไปยังแหล่งรับน้ำได้แต่จะไหลเข้าท่อดักน้ำเสียแทน แต่เมื่อมีฝนตกปริมาณน้ำในท่อระบายน้ำจะมากขึ้นจนกระทั่งปริมาณน้ำที่ไหลมามีค่ามากกว่า 5DWF จะไม่สามารถไหลเข้าสู่ท่อดักน้ำเสียได้ทันปริมาณน้ำส่วนเกิน 5DWF จะเอ่อล้นจากอาคารดักน้ำเสีย ลงสู่คลองต่าง ๆ โดยตรง ทั้งนี้เพราะถือว่าเป็นน้ำเสียที่ถูกน้ำฝนเจือจางลงมาก

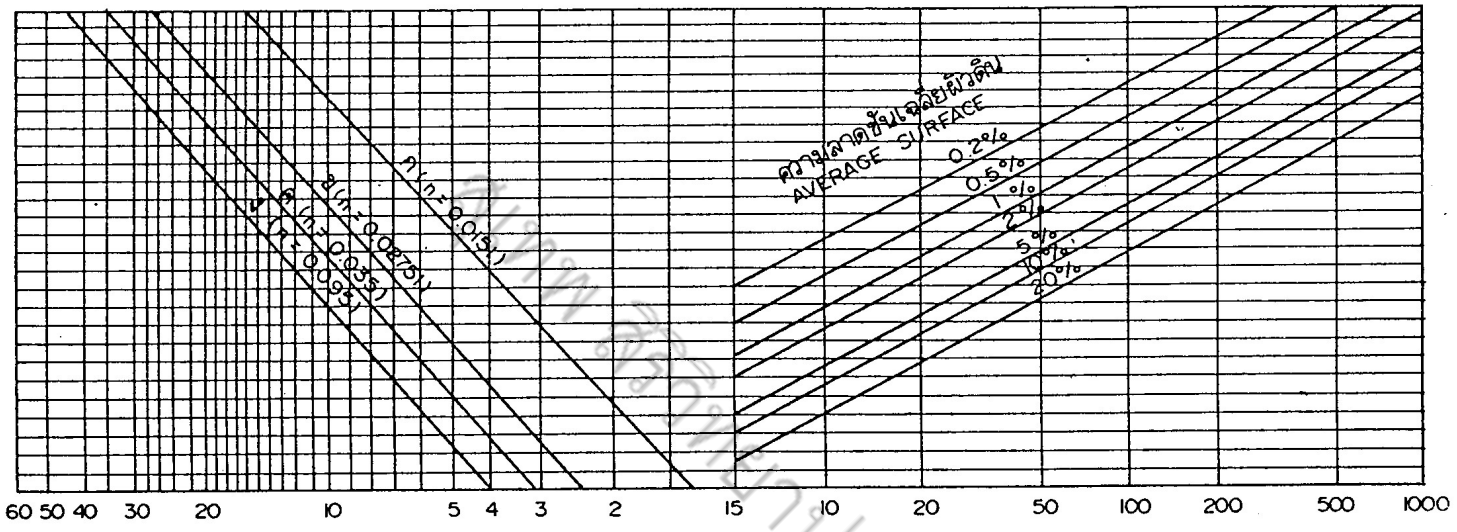
ในความเป็นจริงน้ำเสียจะไม่ผสมเข้ากันโดยสมบูรณ์ (Completely Mixed) กับน้ำฝน เนื่องจากน้ำเสียมีน้ำหนักมากกว่าน้ำฝนเล็กน้อยจะไหลอยู่ด้านก้นของท่อระบายน้ำ ในขณะที่น้ำฝนและน้ำเสียบางส่วนไหลอยู่บริเวณด้านบน อาคารดักน้ำเสียออกแบบให้สามารถดักน้ำเสียจากปริมาณน้ำเสียรวมน้ำฝน 5DWF ได้มากกว่า 95 %ของปริมาณน้ำเสีย ดังนั้นปริมาณน้ำส่วนเกินจาก 5DWF จะมีปริมาณน้ำเสียปนออกมา 5 % คำนวณค่า BOD ของน้ำส่วนเกินจาก 5DWF ดังนี้

$$\text{ค่า BOD ของน้ำส่วนเกินจาก 5 DWF} = \frac{(5 \times \text{BOD}_{\text{น้ำเสีย}} + 95 \times \text{BOD}_{\text{น้ำฝน}})}{100}$$

โดย BOD น้ำเสีย = 100 มิลลิกรัมต่อลิตร BOD น้ำฝน = 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

จะได้ ค่า BOD ของน้ำส่วนเกินจาก 5 DWF มีค่าไม่เกินกว่า 14.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

รูปที่ 4-15 กราฟหาระยะเวลาการไหลบนผิวดิน



ภาพถ่ายต้นฉบับ

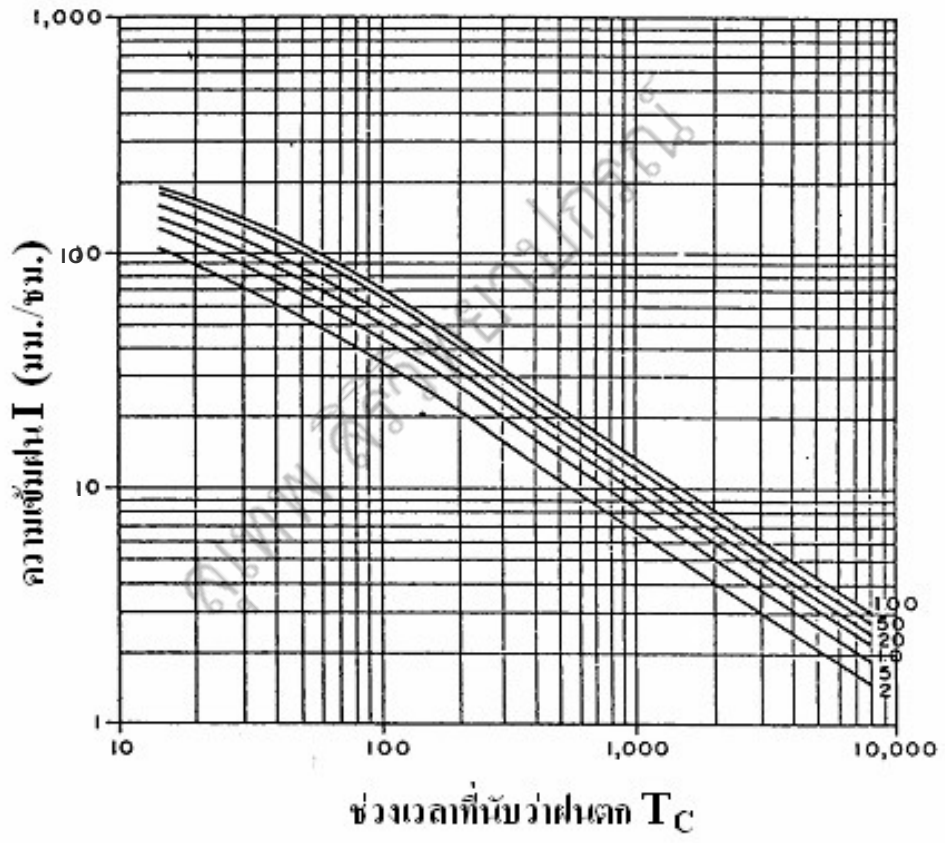
ก บริเวณพื้นที่ผิวปูลาด (PAVED AREA) พื้นที่รับน้ำย่อยขนาดเล็กที่มีอาคารหนาแน่น

ข บริเวณผิวดินว่างเปล่า

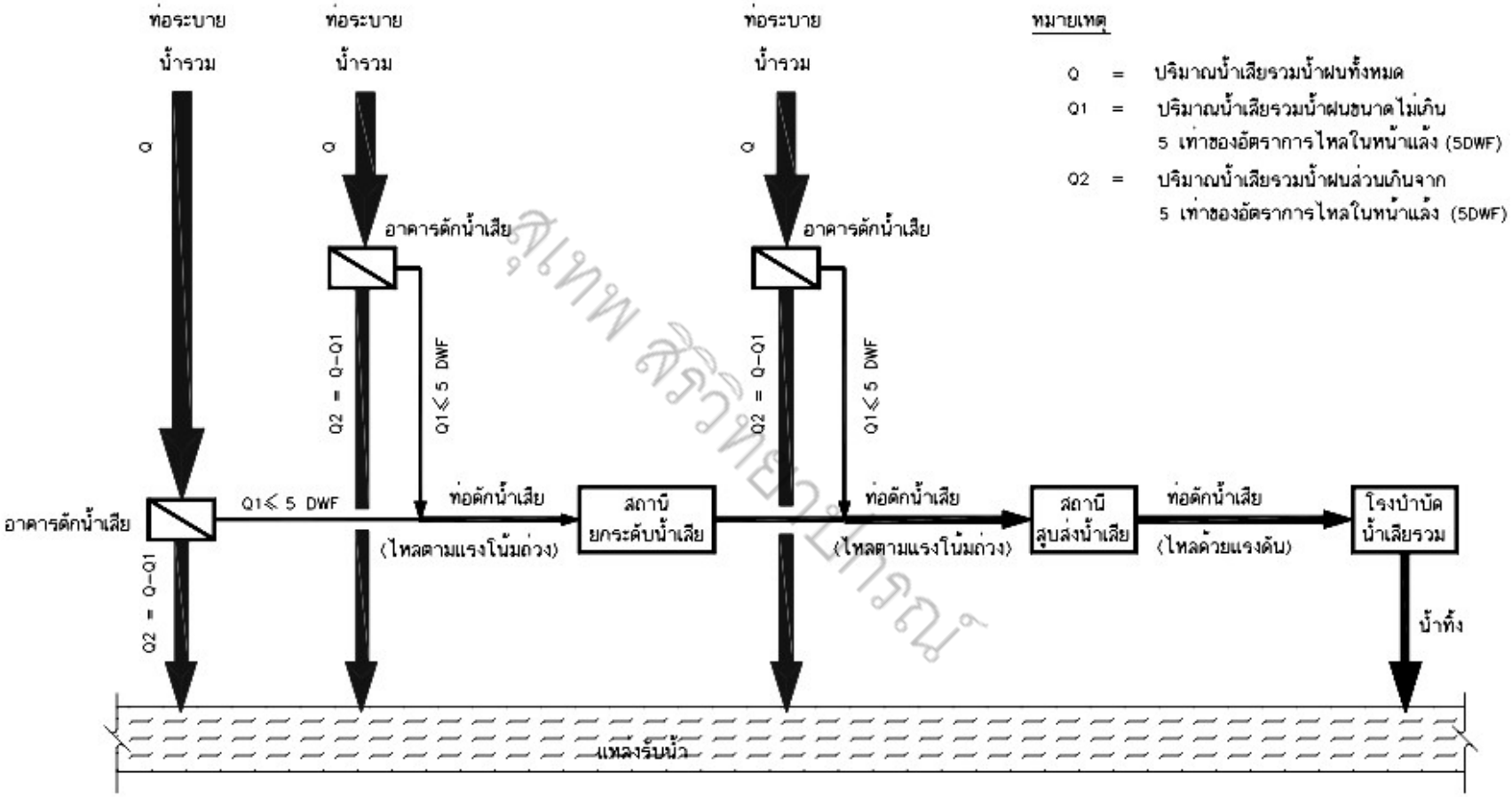
ค บริเวณที่อยู่อาศัย ที่ทำการค้าที่มีความหนาแน่นระดับกลาง

ง สนามหญ้า

ตัวอย่างของกราฟความสัมพันธ์ของความเข้มฝนและช่วงเวลาที่นับว่าฝนตก จากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ท่าอากาศยานนานาชาติ จ.ภูเก็ตแสดงในรูปที่ 4-16 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในรูปของกราฟ ที่มีค่าแตกต่างกันตามคาบความถี่ฝน (รอบปีที่เกิดซ้ำ) ที่ต่างกัน



รูปที่ 4-16 กราฟความสัมพันธ์ของความเข้มฝนและช่วงเวลาที่นับว่าฝนตก จากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ท่าอากาศยานนานาชาติ จ.ภูเก็ต



รูปที่ 4-17 รูปแบบของท่อดักน้ำเสีย (สุเทพ 2542)

4.9 รูปแบบของระบบรวบรวมน้ำเสีย

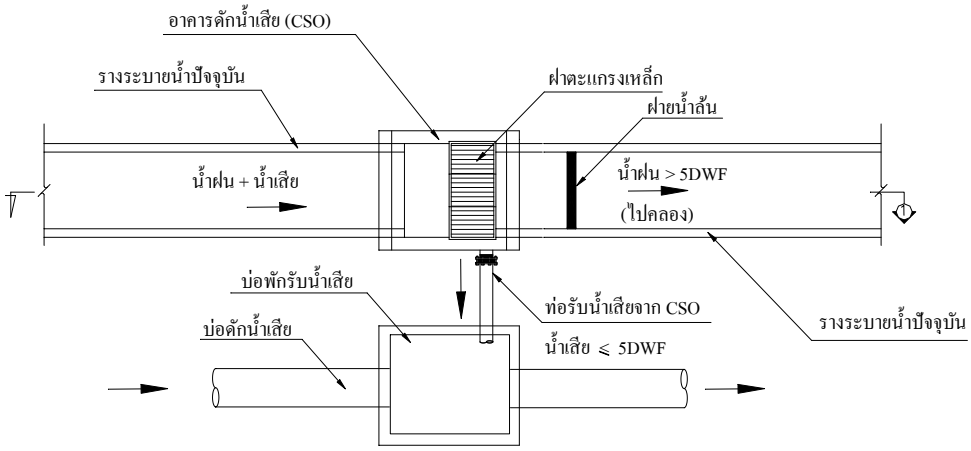
รูปแบบของระบบรวบรวมน้ำเสีย โดยการใช้ท่อดักน้ำเสียนั้นจะประกอบด้วยองค์ประกอบหลักคือ **ท่อระบายน้ำแบบรวม** (น้ำฝน+น้ำเสีย) ได้แก่ ท่อหรือรางระบายน้ำที่วางขนานสองฝั่งถนน และ**ท่อดักน้ำเสีย** ได้แก่ ท่อรับน้ำเสียจากอาคารดักน้ำเสียต่างๆ(ซึ่งเดิมระบายสู่คลองและแหล่งรับน้ำตามธรรมชาติ) ไปยังโรงบำบัดน้ำเสียรวม ให้ได้มาตรฐานก่อนระบายสู่แหล่งรับน้ำ

รูปแบบอาคารดักน้ำเสียจะแตกต่างกันตามประเภทและความลึกของท่อระบายน้ำที่อาคารดักน้ำเสียเชื่อมต่อด้วย ตัวอย่างของอาคารดักน้ำเสียแสดงในรูปที่ 4-18 เป็นอาคารดักน้ำเสียที่เชื่อมต่อกับรางระบายน้ำที่มีอยู่ในปัจจุบัน ตำแหน่งของอาคารดักน้ำเสียจะสร้างคร่อมอยู่ในแนวของรางระบายน้ำก่อนถึงปลายทางทิ้งน้ำในช่วงหน้าแล้งหรือขณะที่ไม่เกิดฝนตก (รูปที่ 4-18: รูปตัด 1-1) น้ำที่ไหลมาตามรางจะเป็นน้ำเสียเท่านั้นไม่มีน้ำฝนรวมอยู่ด้วย น้ำเสียจะถูกกั้นโดยฝายน้ำล้น ทำให้ไม่สามารถไหลข้ามไปได้ แต่จะไหลเข้าสู่ท่อรับน้ำเสียจาก CSO ซึ่งมีระดับก้นท่อต่ำกว่าระดับสันฝายน้ำล้นไปยังบ่อพักของท่อดักน้ำเสีย ซึ่งบ่อพักท่อดักน้ำเสียที่รับน้ำเสียจากอาคารดักน้ำเสียจะเรียกว่า**บ่อพักรับน้ำเสีย** ท่อรับน้ำเสียจาก CSO จะออกแบบให้รับปริมาณน้ำได้เพียง 5DWF เท่านั้น แต่ในขณะเกิดฝนตก (รูปที่ 4-18: รูปตัด 1-2) น้ำฝนซึ่งมีปริมาณมากกว่าน้ำเสียมากจะไหลรวมมากับน้ำเสีย ทำให้ระดับน้ำในรางสูงขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งท่วมสันฝายน้ำล้นและไหลล้นออกไปยังคลองหรือแหล่งรับน้ำทิ้งต่างๆ ปริมาณน้ำที่ทำให้ระดับน้ำท่วมล้นสันฝายจะมีค่ามากกว่า 5DWF

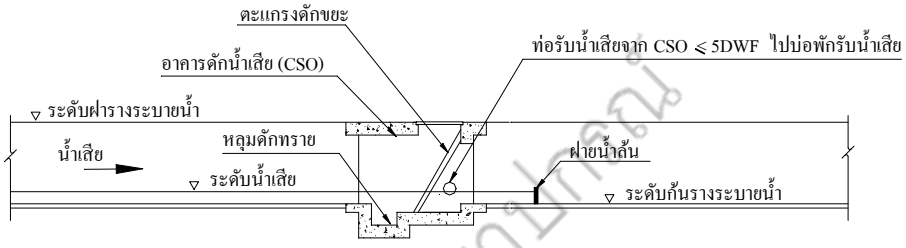
ท่อรับน้ำเสียจาก CSO ออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เพียงพอที่จะรับน้ำได้ไม่น้อยกว่า 5DWF (เมื่อไหลแบบเต็มท่อ) แต่จะต้องควบคุมให้น้ำเข้าสู่ท่อท่อดักน้ำเสียไม่เกิน 5DWF เพื่อไม่ให้น้ำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียมากเกินกว่าที่ออกแบบไว้ ซึ่งทำโดยการกำหนดระดับผิวด้านในก้นท่อรับน้ำเสียจาก CSO ให้ต่ำกว่าระดับสันฝาย (รูปที่ 4-18: ขยาย 1) แต่ระดับผิวด้านในหลังท่อต้องสูงกว่าระดับสันฝาย จะทำให้ระดับน้ำเหนือสันฝาย (ระดับน้ำสูงสุดที่ไหลท่วมสันฝาย) มีระดับท่วมพื้นที่หน้าตัดท่อรับน้ำเสียจาก CSO บางส่วน (ไหลแบบไม่เต็มท่อ) เมื่อคำนวณทางชลศาสตร์จะมีปริมาณน้ำเข้าท่อรับน้ำเสียจาก CSO ไม่เกิน 5DWF ส่วนปริมาณน้ำที่เกินกว่า 5 DWF ก็จะไหลล้นข้ามสันฝายออกไป

ภายในอาคารดักน้ำเสียจะมีบ่อดักตะกอนทราย (Grit Trap) ทำหน้าที่ดักหิน กรวด ทรายหยาบ และของแข็งที่มีขนาดใหญ่ซึ่งไหลมาตามทางระบายน้ำออกจากน้ำเสียก่อนที่จะระบายน้ำเสียลงสู่ท่อดักน้ำเสีย ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดต่อท่อดักน้ำเสียหรือต่อเครื่องสูบน้ำของสถานียกระดับน้ำเสียหรือสถานีสูบส่งน้ำเสีย และมีตะแกรงดักขยะ (Bar Screen) ซึ่งมีช่องเปิดกว้างไม่เกิน 100 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ดักขยะที่ลอยแขวนมากับท่อระบายน้ำมิให้ไหลลงสู่ท่อดักน้ำเสีย รวมทั้งฝาเปิดเข้า-ออกสำหรับการทำความสะอาดและการเก็บขยะ

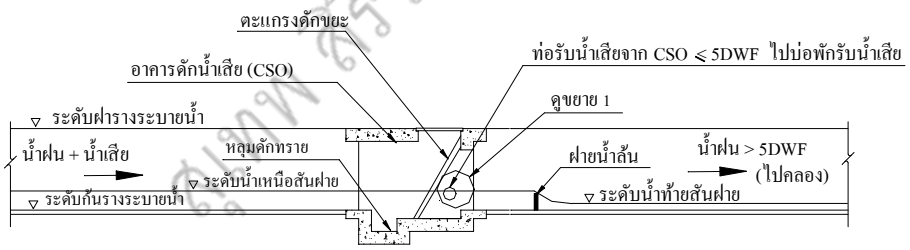
ท่อระบายน้ำที่ออกแบบใหม่จะเลือกใช้ท่อระบายน้ำพร้อมบ่อพักคอนกรีตเสริมเหล็ก เนื่องจากมีข้อดีคือ ไม่เกิดการแพร่กระจายของกลิ่นเหม็น มีความแข็งแรงทนทาน และสะดวกต่อการที่ชาวบ้านจะต่อเชื่อมท่อระบายน้ำทิ้งจากบ้านเรือนมาลงเพราะโดยทั่วไปท่อระบายน้ำจะมีระดับท้องท่อลึกกว่าระดับก้นรางระบายน้ำ



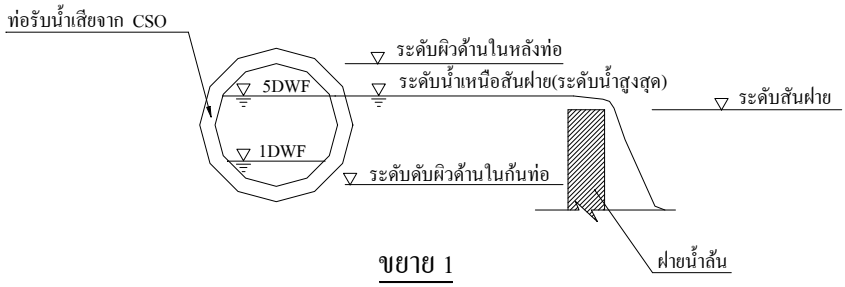
แปลน



รูปตัด 1-1 (ขณะไม่มีฝนตก)



รูปตัด 1-2 (ขณะเกิดฝนตก)

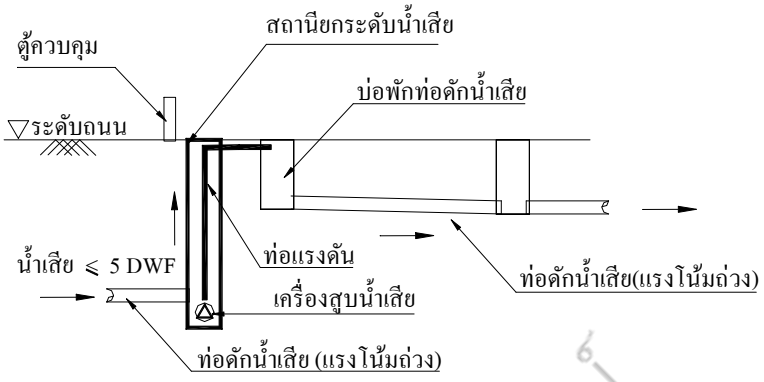


ขยาย 1

รูปที่ 4-18 รูปแบบของอาคารดักน้ำเสีย (สุเทพ 2542)

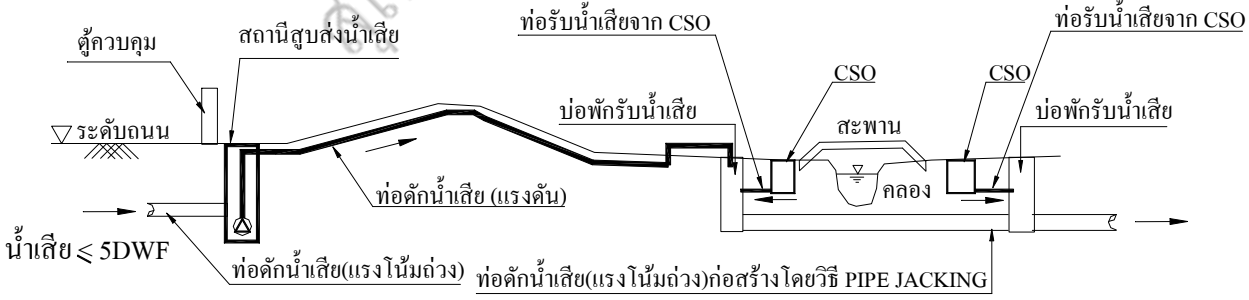
สุเทพ สรรพยาปกรณ์

น้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ท่อดักน้ำเสียจะไหลไปยังโรงบำบัดน้ำเสียโดยยึดแนวทางการไหลด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity Flow) เป็นเกณฑ์หลัก แต่ในบางช่วงที่ท่อมีความลึกมากจนกระทั่งไม่สามารถขุดวางท่อได้หรือไม่คุ้มค่าในการลงทุนจะให้มีสถานียกระดับน้ำเสีย (Lifting Station) เพื่อยกระดับน้ำให้สูงพอที่จะสามารถวางท่อต่อไปด้วยการไหลตามแรงโน้มถ่วง ดังแสดงในรูปที่ 4-19



รูปที่ 4-19 การใช้สถานียกระดับน้ำเสีย

แต่ถ้าหากไม่สามารถวางท่อให้เกิดการไหลตามแรงโน้มถ่วงได้ เช่น ในพื้นที่ที่มีความชันของพื้นดินสวนทางกับความลาดท่อมากๆ หรือพื้นที่ที่มีระดับสูงต่ำสลับกับไป จะให้มีสถานีสูบส่งน้ำเสีย (Transfer Pumping Station) เพื่อสูบน้ำเสียผ่านไปตามท่อแรงดัน (Pressure Flow) จนถึงจุดที่สามารถวางท่อแบบไหลตามแรงโน้มถ่วงต่อไปได้ดังแสดงในรูปที่ 4-20 ท่อแรงดันนี้จะใช้ท่อ HDPE ซึ่งทนต่อการกัดกร่อนทางเคมีของน้ำเสีย มีความแข็งแรงทนทาน และสามารถผลิตได้ภายในประเทศ



รูปที่ 4-20 การใช้สถานีสูบส่งน้ำเสีย

ในกรณีที่ต้องวางท่อดักน้ำเสียลอดผ่านโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง เช่น สะพานข้ามคลอง (ดูรูปที่ 4-20) โดยไม่สามารถก่อสร้างโดยวิธีขุดเปิดหน้าดินเพื่อวางท่อได้ จะใช้การก่อสร้างโดยวิธีการดันท่อลอด (Pipe Jacking) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ต้องขุดเปิดหน้าดินตลอดแนวท่อ แต่จะขุดเฉพาะจุดหัว-ท้ายของช่วงท่อเพื่อวางเครื่องดันท่อเท่านั้นแต่วิธีนี้มีค่าใช้จ่ายแพงกว่าวิธีขุดเปิดหน้าดินตามปกติ ซึ่งในแบบรายละเอียดจะแสดงวิธีมาตรฐานในการดันท่อลอดไว้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ

4-10 ขั้นตอนการออกแบบระบบระบายน้ำ

4.10.1 การสำรวจข้อมูลเพิ่มเติม

1) การสำรวจภูมิประเทศ ได้แก่ การสำรวจรังวัดขอบเขตและระดับของพื้นที่ที่จะทำการออกแบบท่อระบายน้ำ โดยการวางโครงข่ายหมุดหลักฐาน การสำรวจเก็บรายละเอียดตามแนวท่อระบายน้ำเดิมและตามแนวท่อที่อยู่ระหว่างการก่อสร้าง

2) การสำรวจปริมาณน้ำฝนและน้ำเสียที่เข้าสู่ท่อระบายน้ำ ได้แก่ การรวบรวมสถิติปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าของคลองต่าง ๆ จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนแล้วสรุปในรูปของ Unit Hydrograph ของพื้นที่ระบายน้ำฝน เพื่อกำหนดค่า Return Period ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ระบายน้ำต่าง ๆ โดยพิจารณาจากการใช้ที่ดินปัจจุบันและอนาคต

3) สำรวจอิทธิพลของระดับน้ำขึ้น-น้ำลงของน้ำทะเล

4) การศึกษาท่อระบายน้ำที่มีอยู่เดิม และกำลังก่อสร้าง

5) การสำรวจข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สภาพพื้นผิวของถนนและพื้นที่ไหล่ถนน สภาพการจราจร ซึ่งอาจมีผลต่อการก่อสร้างท่อระบายน้ำ แผนการพัฒนาโครงการต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านการคมนาคม สาธารณูปโภคต่าง ๆ ซึ่งอาจมีผลต่อโครงข่ายระบบท่อที่ได้ออกแบบไว้

4.10.2 การทำแผนที่สภาพภูมิประเทศและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากข้อมูลการสำรวจด้านกายภาพจะนำมาลงในแผนที่สภาพภูมิประเทศซึ่งจะแสดงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณออกแบบท่อระบายน้ำดังนี้

1) สรุปภูมิประเทศ เช่น ชนิดพื้นที่ระบายน้ำ ความลาดชันพื้นที่ และการไหลของน้ำ

2) โครงข่าย ขนาด ระดับ และความลาดเอียงของถนนและท่อระบายน้ำเดิม

3) แนวท่อประปา ไฟฟ้า หรือระบบสาธารณูปโภคอื่น ๆ ที่จะเป็นอุปสรรคต่อการก่อสร้างท่อระบายน้ำ

4) เขตความหนาแน่นประชากรและลักษณะการใช้ที่ดินในอนาคต

4.10.3 การวางโครงข่ายท่อระบายน้ำ

การวางโครงข่ายท่อระบายน้ำ (Drainage Network) เริ่มจากนำแผนที่สภาพภูมิประเทศมาวางผังแนวท่อท่อระบายน้ำในพื้นที่ที่ยังไม่มีท่อระบายน้ำ โดยปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศเดิมที่ได้สำรวจรังวัดไว้ แนวท่อระบายน้ำที่ดีควรสั้นและตื้นที่สุด โดยสามารถรับน้ำเสียได้จากทุกจุดกำเนิด ตำแหน่งและแนวท่อเป็นส่วนสำคัญที่มีผลกระทบต่อราคาของโครงการ โดยทั่วไปแนวท่อระบายน้ำจะวางลาดไปตามความลาดของถนนเพื่อให้การไหลของน้ำเป็นไปโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ข้อพิจารณาในการวางโครงข่ายท่อระบายน้ำมีดังนี้

1) ปัญหากีดขวางทางจราจรและคนเดินเท้าเกิดขึ้นน้อยที่สุด

2) ท่อระบายน้ำออกแบบให้วางตามแนวคลองและริมถนน

3) ใช้หลักการระบายน้ำตามธรรมชาติไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ

4) หลีกเลี่ยงการสร้างสถานีสูบน้ำระหว่างทางของท่อระบายน้ำ

5) ในกรณีที่ท่อระบายน้ำต้องรองรับน้ำจากพื้นที่ที่มีการขยายตัวของเมืองไปถึงก็จะออกแบบขนาดท่อระบายน้ำเผื่อไว้สำหรับรองรับน้ำจากพื้นที่ส่วนขยายดังกล่าวด้วย

6) ในกรณีที่ท่อระบายน้ำต้องรองรับน้ำจากพื้นที่ภายนอกโครงการโดยไม่สามารถผันปริมาณน้ำดังกล่าวไม่ให้เข้ามาในพื้นที่โครงการได้ ก็จะออกแบบขนาดท่อระบายน้ำเผื่อไว้สำหรับรองรับน้ำจากพื้นที่ดังกล่าวด้วย

7) ไม่เกิดการแพร่กระจายของกลิ่นเหม็นจนก่อความรำคาญให้แก่ผู้อยู่อาศัยบริเวณใกล้เคียง

8) สะดวกในการบำรุงรักษา

4.10.4 การแบ่งเขตพื้นที่ระบายน้ำ

กำหนดพื้นที่ระบายน้ำ (Catchment Area) ที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าสู่แต่ละช่วงท่อระบายน้ำทั้งที่มีอยู่เดิมและที่วางโครงข่ายขึ้นใหม่ที่จะต้องระบายน้ำฝนลงสู่แต่ละบ่อรับน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการพัฒนาของชุมชนนั้น ๆ ตลอดจนลักษณะทางภูมิประเทศ และในกรณีที่ท่อระบายน้ำนั้นจำเป็นต้องรับน้ำจากภายนอกพื้นที่โครงการโดยไม่สามารถผันน้ำออกไปได้ก็จะต้องพิจารณาพื้นที่ระบายน้ำภายนอกโครงการมาใช้ออกแบบท่อระบายน้ำด้วย

4.10.5 การคำนวณปริมาณน้ำเข้าท่อระบายน้ำ

แม้ว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ท่อระบายน้ำจะมีทั้งน้ำเสียและน้ำฝน แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำเสียกับปริมาณน้ำฝนแล้ว ปริมาณน้ำเสียจะน้อยกว่าปริมาณน้ำฝนมาก จนถือว่าปริมาณน้ำเสียไม่มีผลต่อการใช้คำนวณออกแบบท่อระบายน้ำเลย ดังนั้นในการคำนวณออกแบบทางชลศาสตร์ท่อระบายน้ำจะใช้ปริมาณน้ำฝนมาคำนวณเท่านั้น ปริมาณน้ำฝนที่ใช้ออกแบบจะใช้ข้อมูลสถิติน้ำฝน

4.10.6 การออกแบบด้านชลศาสตร์

เป็นขั้นตอนการออกแบบด้านชลศาสตร์ของโครงข่ายท่อระบายน้ำที่ออกแบบขึ้นใหม่ รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพของท่อระบายน้ำที่มีอยู่เดิม เช่น ขนาดท่อระบายน้ำ ความลาดและความลึกของท่อ เป็นต้น หากพบว่าประสิทธิภาพของท่อระบายน้ำเดิมไม่เป็นไปตามเกณฑ์การออกแบบ ก็จะออกแบบขึ้นใหม่ โดยการออกแบบจะพิจารณาองค์ประกอบหลัก

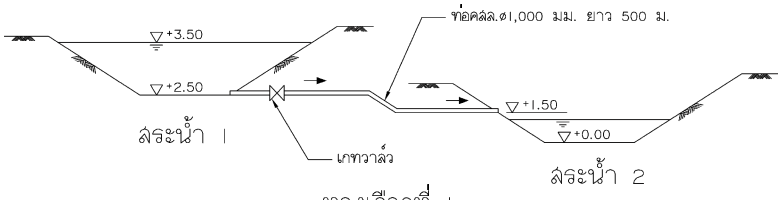
1) ขนาดท่อ คำนวณหาท่อขนาดเล็กที่สุดที่ยังสามารถใช้งานได้กรณี ฉุกเฉินแต่ก็ไม่ใหญ่เกินไปสำหรับกรณีน้ำไหลน้อย ๆ เพื่อไม่สิ้นเปลืองงบประมาณ

2) ความลึกของท่อ ให้มีความลึกเพียงพอที่ให้ประชาชนสามารถระบายน้ำออกจากตัวอาคารได้อย่างสะดวกไม่ติดขัด

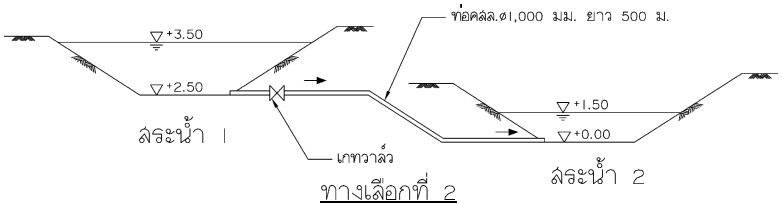
3) ความลาดของท่อ มีผลเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ความลึกก็มากขึ้นต้องมีการออกแบบให้มีการป้องกันอาคารข้างเคียงแนวขุดทรุดตัวและแตกร้าวเนื่องจากการไหลของดิน ในกรณีที่ลึกมากอาจต้องก่อสร้างด้วยวิธีการดันท่อ (Pipe Jacking) ซึ่งมีราคาแพง

คำถามท้ายบท

1. น้ำไหลในท่อ 2.0 เมตร/วินาที คิดเป็นพลังงาน Velocity Head กี่เมตร (g = 9.81 เมตร/วินาที^{2})
2. ระบุค่าความเร็วสูงสุด ต่ำสุด และของน้ำในท่อ
3. คำนวณความดันสูญเสียของน้ำในท่อคอนกรีตผิวเรียบ (ε = 0.001) เส้นผ่าศูนย์กลาง 500 มิลลิเมตร ยาว 1,500 เมตร อัตราการไหล 0.1 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
4. เปรียบเทียบผลการคำนวณหาความดันสูญเสียต่อความยาวของท่อคสล.ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 800 มิลลิเมตร อัตราการไหลในท่อแบบเต็มท่อ 1.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยสมการ Darcy Weisbach (ε=0.003) สมการ Hazen Williams (C=130) และ สมการ Manning (n =0.013)
5. คำนวณหาปริมาณน้ำฝนไหลนองสูงสุด จากหมู่บ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว พื้นที่รวม 0.12 ตารางกิโลเมตร ที่คาบความถี่ 5 ปี ช่วงเวลาที่นับว่าฝนตก 30 นาที
6. คำนวณหาความลาดชันและความเร็วการไหลของน้ำในท่อคสล. (n =0.013) แบบไม่เต็มท่อ ที่เพียงพอสำหรับระบายน้ำฝนไหลนองสูงสุดจากหมู่บ้านจัดสรรในข้อ 4.2 กำหนดความลึกการไหลของน้ำ 0.70 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ โดยเปรียบเทียบผลการคำนวณเมื่อใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,200 และ 1,500 มิลลิเมตร ตามลำดับ
7. เครื่องสูบน้ำฝนจากบ่อสูบของหมู่บ้านจัดสรรในข้อ 4.2 จำนวน 1 ชุด อัตราสูบเท่ากับปริมาณน้ำฝนไหลนองสูงสุด ผ่านท่อเหล็กหล่อ (Cast Iron) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,000 มิลลิเมตร ระยะทาง 1.30 กิโลเมตร อุปกรณ์และข้อต่อประกอบด้วย ข้อโค้ง 90^O รัศมีกว้าง 6 ชุด ข้อโค้ง 45^O 3 ชุด เกทวาล์ว 2 ชุด ไปทิ้งลงเหนือระดับน้ำของบึงน้ำสาธารณะ ระดับปลายท่อจ่ายสูงกว่าระดับน้ำในบ่อสูบด้านดูด 2.50 เมตร คำนวณแรงดันสุทธิของเครื่องสูบน้ำ
8. ท่อระบายน้ำคสล. (ε=0.003) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,000 มิลลิเมตร ความยาว 500 เมตร ระบายน้ำจากสระน้ำแห่งหนึ่งโดยการไหลตามแรงโน้มถ่วงธรรมชาติ (Gravity Flow) ไปลงสระน้ำอีกแห่งหนึ่ง โดยมี 2 ทางเลือก คือเมื่อปลายท่อจ่ายสูงกว่าผิวน้ำและเมื่อปลายท่อจ่ายจมอยู่ใต้น้ำ คำนวณหาอัตราการไหลและความเร็วของน้ำในท่อในแต่ละกรณี เมื่อกำหนดสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันย่อย (K) ที่ทางเข้าท่อและทางออกท่อใต้สระน้ำ = 1.00



ทางเลือกที่ 1



ทางเลือกที่ 2

บทที่ 5
มลพิษทางน้ำ และน้ำเสีย

มลพิษทางน้ำ (Water Pollution) เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดปัญหาหนึ่งของประเทศเมื่อเปรียบเทียบกับปัญหามลพิษอื่นๆ ปัญหามลพิษทางน้ำมักเกิดกับเมืองใหญ่ บริเวณแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ที่ไม่มีระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม สารมลพิษทำให้แหล่งน้ำปนเปื้อนจนไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้เต็มที่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตและการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าการปนเปื้อนเกิดกับแหล่งน้ำสำคัญ

เนื่องจากน้ำถูกใช้ในกิจกรรมต่างๆ แทบจะทุกชนิด จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะเกิดน้ำทิ้งซึ่งมีสารปนเปื้อนอยู่ สารที่ปนเปื้อนมากับน้ำจึงความหลากหลาย โดยสามารถจำแนกตามลักษณะทางกายภาพและเคมี หรือตามแหล่งกำเนิด น้ำที่มีสารสารมลพิษปนเปื้อนในปริมาณมากจนก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมหรือก่อให้เกิดความเป็นพิษหรืออันตรายต่อผู้ที่ใช้น้ำนั้นในกิจกรรมต่างๆ จัดเป็นน้ำเสีย

มลพิษสามารถจำแนกตามประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) มลพิษจากแหล่งกำเนิดที่มีจุดกำเนิดแน่นอน (Point Source Pollution) ได้แก่ การปนเปื้อนของโลหะหนักจากโรงงานชุบโลหะ โดยน้ำเสียจะระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมทางท่อระบายน้ำ เป็นต้น

2) มลพิษจากแหล่งกำเนิดที่มีจุดกำเนิดไม่แน่นอน (Non-Point Source Pollution) ได้แก่ สารกำจัดศัตรูพืชที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำจากกิจกรรมการเกษตร ตะกอนและสารอาหารการกัดเซาะหน้าดิน เป็นต้น โดยจะมากับน้ำหลากที่ไหลผ่านและชะล้างความสกปรกต่างๆ เช่น กองขยะมูลฝอย แหล่งเก็บสารเคมี และคลองระบายน้ำ เป็นต้น

สำหรับประเทศไทย สาเหตุของการเกิดมลพิษทางน้ำส่วนใหญ่เกิดจากน้ำทิ้งจากที่อยู่อาศัย ซึ่งมักจะมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนซึ่งรวมทั้งเชื้อโรคต่างๆ มากับน้ำด้วย น้ำทิ้งดังกล่าวมักเป็นสาเหตุของการที่น้ำมีสีดำ และมีกลิ่นเหม็นเน่า น้ำจากแหล่งเกษตรกรรมจะมีปุ๋ยซึ่งเป็นธาตุอาหารและก่อให้เกิดภาวะ Eutrophication และยากำจัดศัตรูพืชปนเปื้อนอยู่ ส่วนน้ำทิ้งที่จากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีโลหะหนักและสารเคมีต่างๆ ปนเปื้อนอยู่ เป็นต้น สารเหล่านี้บางชนิดจะสะสมในห่วงโซ่อาหารของสัตว์และมีผลต่อมนุษย์ภายหลัง

5.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับน้ำเสีย

ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลวรวมทั้งมลสารที่ปะปนและปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น โดยอาจกล่าวได้ว่าน้ำเสียก็คือน้ำที่ผ่านการนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ และมีสิ่งเจือปนในปริมาณสูงจนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการของคนทั่วไป โดยน้ำเสียสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักตามกิจกรรมที่แหล่งกำเนิด ดังนี้

1) **น้ำเสียจากแหล่งชุมชน** (Domestic Wastewater) เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันของประชาชนในชุมชน โดยมีแหล่งกำเนิดมาจาก อาคารบ้านเรือน ร้านค้า ตลาดสด ภัตตาคาร ร้านอาหาร สถาบันการศึกษา สถานที่ราชการ โรงแรม โรงพยาบาลและห้างสรรพสินค้า เป็นต้น น้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่จะมีปริมาณสารอินทรีย์ (Organic Matter) ที่ย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางธรรมชาติ

ปนเปื้อนในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังปนเปื้อนไปด้วยฟอสเฟต (Phosphate) จากการใช้สารซักฟอก รวมทั้งแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มด้วย

2) **น้ำเสียจากการเกษตรกรรม** (Agricultural Wastewater) เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการประกอบกิจกรรมทางการเกษตร ที่รวมถึงการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ได้แก่ เช่น น้ำเสียจากการทำความสะอาดคอกเลี้ยงสัตว์จำพวกสุกร น้ำเสียจากการเลี้ยงปลาหรือกุ้ง และการทำนาข้าว เป็นต้น โดยน้ำเสียจากการเกษตรส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ ซึ่งรวมถึงสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ง่ายในธรรมชาติ เช่น กลุ่มสารกำจัดศัตรูพืช และยาปฏิชีวนะ เป็นต้น และสารอนินทรีย์ (Inorganic Matters) เช่น แอมโมเนีย และธาตุอาหารต่างๆ เป็นต้น ทั้งนี้ลักษณะการปนเปื้อนขึ้นอยู่กับการใช้น้ำ เช่น น้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งจะปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ต่างๆ ส่วนน้ำเสียจากพื้นที่เพาะปลูกจะปนเปื้อนด้วยสารอาหารกลุ่มไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในปุ๋ย และสารพิษซึ่งเป็นสารกำจัดศัตรูพืชต่างๆ

3) **น้ำเสียจากอุตสาหกรรม** (Industrial Wastewater) เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ซึ่งรวมถึง น้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิต น้ำทิ้งจากกระบวนการหล่อเย็น น้ำทิ้งจากกระบวนการชะล้าง และน้ำทิ้งจากกิจกรรมอื่นๆ เช่น น้ำทิ้งที่เกิดจากการใช้น้ำของบุคลากร และจากโรงอาหาร เป็นต้น น้ำเสียประเภทนี้ประเภทนี้ประกอบด้วยสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ โดยมีองค์ประกอบแตกต่างกันไปตามประเภทของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ซึ่งอาจเป็นผลผลิตการเกษตร สารอินทรีย์เคมี หรือโลหะหนัก เป็นต้น ลักษณะสมบัติและอัตราการไหลของน้ำเสียอุตสาหกรรมมีความแปรผันของสูงมากเนื่องจากในบางเวลา การใช้น้ำในโรงงานเป็นเพียงการอุปโภคของพนักงานเท่านั้น และในบางช่วงเวลา โรงงานอาจใช้น้ำในกระบวนการผลิต

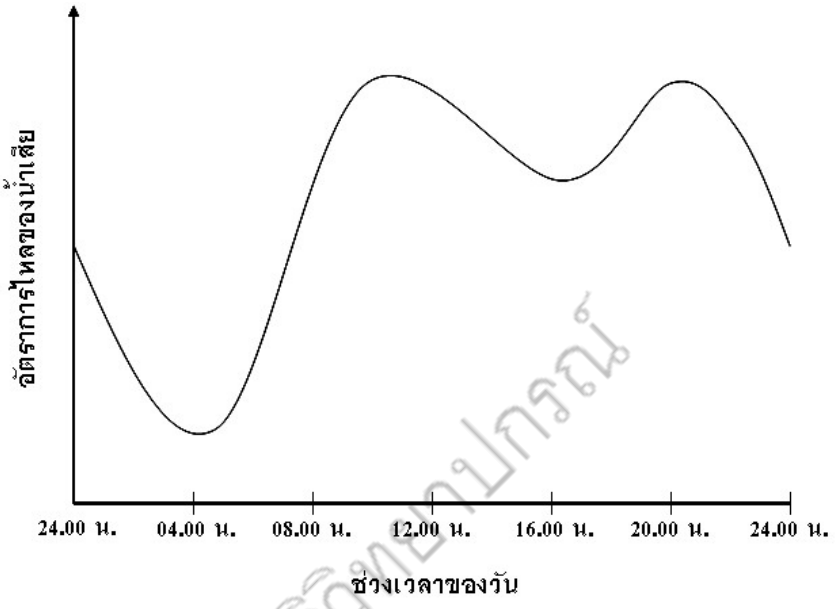
5.2 อัตราการไหล และปริมาณน้ำเสีย

อัตราการไหลและปริมาณของน้ำเสียจะแตกต่างกันตามกิจกรรมที่แหล่งกำเนิดน้ำเสีย เช่น อัตราการไหลและปริมาณน้ำเสียจากแหล่งชุมชนขึ้นอยู่กับประเภทอาคารต่าง ๆ ซึ่งโดยมากจะมีกิจกรรมและรูปแบบการใช้น้ำในลักษณะคล้ายกัน ส่วนอัตราการไหลและปริมาณน้ำเสียจากจากแหล่งอุตสาหกรรมจะขึ้นอยู่กับการดำเนินการและลักษณะของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมนั้น ๆ เป็นต้น

อัตราการไหลของน้ำเสียอุตสาหกรรมอาจจะคิดตามจำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ (รวมผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ตามเกณฑ์ด้วย) โดยการคูณจำนวนน้ำเสียต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์กับจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ในการออกแบบต้องทราบข้อมูลกำลังการผลิตสูงสุดและกำลังการผลิตในอนาคตด้วย โดยทั่วไประหว่างที่มีการผลิต ปริมาณน้ำเสียจะค่อนข้างคงที่ และจะลดลงในช่วงพักหรือปิดเพื่อการบำรุงรักษา สำหรับอัตราการไหลและปริมาณของน้ำเสียในช่วงพัก อาจจะคิดตามจำนวนพนักงาน โดยทั่วไปอาจจะประมาณจาก 80% – 85% ของปริมาณน้ำที่ใช้ในการอุปโภคและบริโภค

อัตราการไหลและปริมาณของน้ำเสียชุมชนโดยทั่วไปจะแปรผันตามสภาพภูมิอากาศ ขนาดและ ความหนาแน่นของชุมชน สภาพเศรษฐกิจ และคุณภาพน้ำประปา อย่างไรก็ตามพฤติกรรมการใช้น้ำโดยทั่วไปต่อวันจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5-1 นั่นคือมีอัตราการไหลของน้ำเสียสูงสุด (Peak Flow) สองครั้ง (Diurnal) เนื่องมาจากมีน้ำเสียมากในช่วงเช้า (08:00น. ถึง 12:00 น.) และช่วงเย็นถึงค่ำ (17 :00 ถึง 22:00 น.) ดังนั้นอัตราการไหลสูงสุดที่เข้ามายังโรงบำบัดน้ำเสียจึงเป็นเวลาถัดไปคือช่วงบ่ายและช่วงค่ำ และมีเวลาเหลื่อมกันโดยที่อัตราการไหลของน้ำเสียสูงสุดจะเกิดช้ากว่าอัตราการใช้น้ำสูงสุด ทั้งนี้เวลาที่อัตราการไหลของน้ำเสียสูงสุดจะ

มาถึงโรงบำบัดน้ำเสียจะขึ้นกับระยะทางของท่อรวบรวมน้ำเสียด้วย ดังนั้นอาจอนุมานได้ว่า ถ้าไม่มีน้ำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียจากแหล่งอื่น เช่น น้ำที่ซึมเข้ามาในท่อรวบรวม หรือน้ำจากการชะน้ำฝน รูปแบบอัตราการไหลของน้ำเสียจะเป็นไปในลักษณะเดียวกับอัตราการใช้น้ำ และปริมาณน้ำเสียจะน้อยกว่าน้ำใช้โดยอาจคิดเป็น 80% – 85% ของปริมาณน้ำใช้ อย่างไรก็ตามอัตราการไหลสูงสุดสองครั้งต่อวันดังแสดงในรูปที่ 5–1 อาจจะ ลดความเด่นชัดลงเมื่อชุมชนมีขนาดใหญ่ขึ้นและเมื่อมีการใช้น้ำประปาสำหรับภาคอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 5-1 อัตราการไหลของน้ำเสียชุมชนที่ผันแปรไปตามการใช้น้ำในวันหนึ่งๆ

ข้อมูลของอัตราการไหลและปริมาณน้ำเสียมีความสำคัญต่อการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งข้อมูลของอัตราการไหลแบบต่างๆ จะถูกนำไปใช้ในการกำหนดขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ โดยข้อมูลอัตราการไหลที่ควรจะมีการบันทึกไว้ และการแปรผันของอัตราการไหลของน้ำเสียชุมชนแสดงในตาราง 5-1 และ 5-2 ตามลำดับ

ตาราง 5-1 ข้อมูลอัตราการไหลที่ควรจะมีการบันทึกไว้

ข้อมูลการไหล	ความหมาย
อัตราการไหลเฉลี่ยต่อวันในรอบปี (Average Annual Daily Flow)	อัตราการไหลเฉลี่ยต่อวัน (ช่วง 24 ชั่วโมง) จากข้อมูลในรอบ 1 ปี ข้อมูลนี้อาจนำมาใช้ในการคำนวณขนาดเครื่องสูบน้ำ และค่าใช้จ่ายของสารเคมี เป็นต้น
อัตราการไหลสูงสุดต่อวัน (Maximum Daily Flow)	เป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลสูงสุดที่ต่อเนื่องในช่วง 1 วัน โดยคิดจากข้อมูลที่บันทึกไว้ตลอดปี ข้อมูลนี้สำคัญต่อการคำนวณระยะเวลากักเก็บ (Retention Time) ของบ่อปรับมดุลย์ (Equalization Basin) ถังฆ่าเชื้อโรค (Chlorine Contact Tank) ปั๊มดูดสลัดจ์

สุเทพ สิรักษ์ปกรณ์

ตาราง 5-1 ข้อมูลอัตราการไหลที่ควรจะมีการบันทึกไว้ (ต่อ)

ข้อมูลการไหล	ความหมาย
อัตราการไหลเฉลี่ยหน้าแล้ง (Annual Dry Weather Flow)	ค่าเฉลี่ยปริมาณการไหลต่อเนื่องในช่วงหน้าแล้งเป็นเวลา 1 วัน หรือ 1 สัปดาห์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการไหลเฉลี่ยต่อวันในรอบปี
อัตราการไหลเฉลี่ยหน้าฝน (Annual Wet Weather Flow)	ค่าเฉลี่ยปริมาณการไหลต่อเนื่องในช่วงฝนตกเป็นเวลา 1 วัน หรือ 1 สัปดาห์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการไหลเฉลี่ยต่อวันในรอบปี
อัตราการไหลสูงสุดต่อชั่วโมง (Peak Hourly Flow)	เป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลสูงสุดต่อเนื่องที่ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง (ดูทุก 10 นาที) จากช่วงข้อมูลที่บันทึกไว้ ข้อมูลนี้สำคัญต่อการออกแบบระบบรวบรวมและระบบรับน้ำเสีย สถานีสูบน้ำ หน่วยบำบัดต่างๆ
อัตราการไหลต่ำสุดต่อวัน (Minimum Daily Flow)	เป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลต่ำสุดต่อเนื่องในช่วง 1 วัน โดยคิดจากข้อมูลที่บันทึกไว้ตลอดปี ข้อมูลนี้อาจใช้ในการออกแบบท่อส่งน้ำที่อาจจะมีการสะสมของตะกอนในช่วงที่มีอัตราการไหลต่ำ คำนวณปริมาณน้ำกลับสู่ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter)
อัตราการไหลต่ำสุดต่อชั่วโมง (Minimum Hourly Flow)	เป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลต่ำสุดต่อเนื่องในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง (ดูทุก 10 นาที) จากช่วงข้อมูลที่บันทึกไว้ เป็นข้อมูลสำคัญในการสามารถปรับระบบปิด-เปิดเครื่องสูบน้ำให้เหมาะสมกับช่วงที่มีอัตราการไหลต่ำ
อัตราการไหลเกินต่อเนื่อง (Sustained Peak Flow)	เป็นอัตราการไหลเกินค่าเฉลี่ยต่อเนื่องในช่วงระยะเวลาที่กำหนด เช่น 1 ชั่วโมง 1 วัน หรือ 1 เดือน เป็นข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบบ่อปรับสมดุลย์ (Equalization Basin)

ตาราง 5-2 การแปรผันของอัตราการไหลของน้ำเสียชุมชน

	ร้อยละของค่าเฉลี่ยในรอบปี (Percentage of Average for Year)	
	ช่วงค่า	**ค่าทั่วไป**
ค่าเฉลี่ยต่อวันในเดือนที่มีอัตราการไหลสูงสุด (Daily Average in Maximum Month)	110 – 140	120
ค่าเฉลี่ยต่อวันในสัปดาห์ที่มีอัตราการไหลสูงสุด (Daily Average in Maximum Week)	120 – 170	140
อัตราการไหลสูงสุดต่อวัน (Maximum Day)	160 – 220	180
อัตราการไหลสูงสุดต่อชั่วโมง (Maximum Hour)	225 – 320	270[1]

[1] 1.5xอัตราการไหลสูงสุดต่อวัน

ที่มา : Metcalf & Eddy Inc. (1991)

สุเทพ สิงหะปัทมะ

ปริมาณน้ำเสียชุมชนที่ปล่อยทิ้งจาก อาคาร บ้านเรือน อาจจะประมาณเป็นร้อยละ 80 – 85 ของปริมาณน้ำใช้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว หรือประมาณจากจำนวนประชากรหรือพื้นที่อาคาร ดังแสดงในตาราง 5–3 และ 5–4 ดังนี้

ตาราง 5-3 อัตราการเกิดน้ำเสียชุมชนที่ประมาณจากจำนวนประชากร

ภาค	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/คน-วัน)					
	2536	2540	2545	2550	2555	2560
กลาง	160-214	165-242	170-288	176-342	183-406	189-482
เหนือ	183	200	225	252	282	316
ตะวันออกเฉียงเหนือ	200-253	216-263	239-277	264-291	291-306	318-322
ใต้	171	195	204	226	249	275

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน, สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม 2538

ตาราง 5-4 อัตราการเกิดน้ำเสียชุมชนที่ประมาณจากอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร	หน่วย	อัตราการเกิดน้ำเสีย* (ลิตร/วัน-หน่วย)	ประเภทอาคาร	หน่วย	อัตราการเกิดน้ำเสีย* (ลิตร/วัน-หน่วย)
อาคารชุด/บ้านพัก	ยูนิต	500	โรงเรียน	คน	150
หมู่บ้านจัดสรร	คน	180 - 300	โรงอาหาร	คน	60
หอพัก	ห้อง	80	โรงแรม	เตียง	200 -1,000
หอพัก	คน	340	โรงพยาบาล	เตียง	800 - 1,000
อาคารสำนักงาน	ตร.ม.	3.0	ตลาด	ตร.ม.	70
อาคารสำนักงาน	คน	70	หอประชุม	คน	10
ภัตตาคาร	ตร.ม.	25	สถานีบริการน้ำมัน	คน	40
ภัตตาคาร	คน	50	สนามบิน	ผู้โดยสาร	15
ห้างสรรพสินค้า	ตร.ม.	5.0	เรือนจำ	คน	450
ศูนย์การค้า	คน	100	โรงภาพยนตร์	คน	150

* รวบรวมจาก ข้อพิจารณาเกี่ยวกับปริมาณและลักษณะน้ำทิ้งชุมชนในประเทศไทย, ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์; เอกสารประกอบการประชุม สวสท 36, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดแห่งประเทศไทย, กทม. 2536.

5.3 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

ลักษณะของทางเคมีและชีวภาพของน้ำและน้ำเสียที่สำคัญได้กล่าวไว้แล้วในส่วนของ เคมีพื้นฐานของน้ำและน้ำเสีย และจุลชีววิทยาพื้นฐานของน้ำและน้ำเสีย ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะลักษณะทางกายภาพของน้ำและน้ำเสียที่สำคัญ ได้แก่

1) ความขุ่น (Turbidity) น้ำที่มีความขุ่นมากมีผลให้แสงไม่สามารถส่องผ่านลึกลงไปในน้ำ สาเหตุหลักของความขุ่นเกิดจากการอนุภาคแขวนลอย (Colloidal Particles) ต่าง ๆ ในน้ำ เช่น อนุภาคดิน

สาหร่าย (Algae) แพลงตอนต่างๆ (Plankton) และเศษแร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น ซึ่งตะกอนแขวนลอยเหล่านี้อาจทำให้น้ำดูเสมือนว่าเปลี่ยนสี ความขุ่นในน้ำเสียจะเป็นตัวกั้นแสงแดดไม่ให้ส่องลงใต้น้ำ ทำให้พืชและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่ใช้แสงในระดับที่ลึกซึ่งแสงสว่างส่องลงไปไม่ถึงหยุดการเจริญเติบโตหรือตายได้ ซึ่งมีผลให้ระดับของออกซิเจนละลายในน้ำที่เกิดจากการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย ซึ่งอาจนำไปสู่การเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในแหล่งน้ำจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

แม้ว่าค่าความขุ่นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารแขวนลอยแต่ไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่นอน ทั้งนี้เพราะว่าสารแขวนลอยแบบต่างๆ มีความสามารถในการดูดซับหรือสะท้อนแสงแตกต่างกัน และการวัดความขุ่นเป็นการวัดความเข้มของแสงที่สามารถส่องผ่านลงไปในแหล่งน้ำได้ ความขุ่นสามารถกำจัดได้ด้วยวิธีทางกายภาพที่กล่าว เช่น การทำให้สารแขวนลอยจับตัวกันด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันเพื่อทำให้เกิดฟล็อก (Coagulation – Flocculation) การตกตะกอน (Sedimentation) ต่อไปตามลำดับ การกรอง (Filtration) และการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เป็นต้น ค่าของความขุ่นยังใช้ในการหาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียด้วย

2) ของแข็ง (Solids) หมายถึง สารปนเปื้อนทุกอย่างในน้ำหรือน้ำเสียที่ยังหลงเหลืออยู่หลังจากการระเหยที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เรียกว่า ของแข็งทั้งหมดในน้ำ (Total Solids, TS) โดยอาจจำแนกตามขนาด สถานะ และด้วยลักษณะสมบัติทางเคมี โดยทั่วไปจะถูกแบ่งเป็น ของแข็งที่จมตัวได้ (Settleable Solids) ซึ่งจะจมลงสู่ก้นของกรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff Cone) ภายในเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนของแข็งที่เหลือทั้งหมดจะถูกนำมากรอง ของแข็งที่กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter) ขนาด 1 – 1.2 ไมโครเมตรได้ (Filtrate) จะถูกเรียกว่าของแข็งผ่านกระดาษกรองได้ (Filterable Solids, FS) หรือของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS) ซึ่งได้แก่ของแข็งละลายและคอลลอยด์ขนาดเล็ก ส่วนที่ถูกกรองติดอยู่กับกระดาษกรองจะถูกเรียกเป็นของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids, TSS) ทั้ง TDS และ TSS อาจแบ่งต่อไปเป็นของแข็งของแข็งที่ไม่ระเหย (Nonvolatile หรือ Fixed Solids) และของแข็งระเหยได้ (Volatile Solids) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส โดยของแข็งระเหยได้มักจะเป็นสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำแต่ไม่ระเหยออกที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส (รูปที่ 5–2)

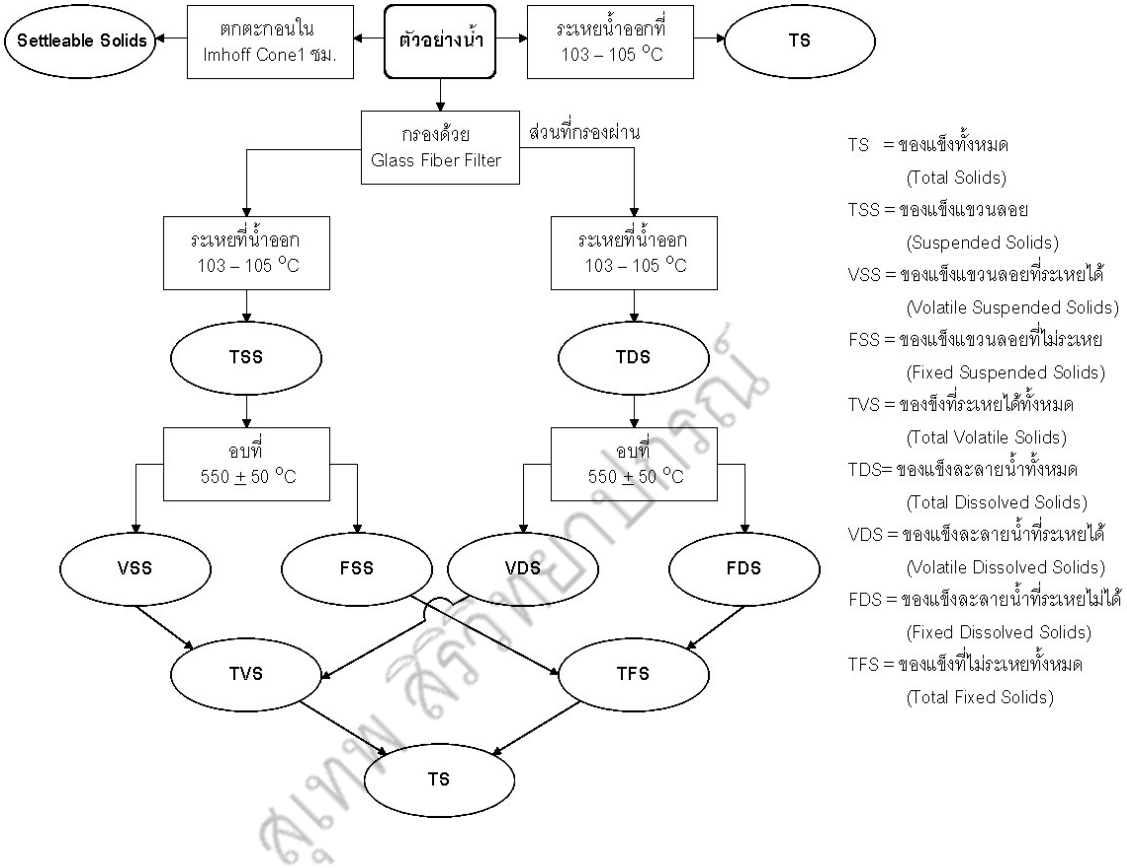
อย่างไรก็ตาม ในการทำน้ำประปาและการบำบัดน้ำเสียทั่วไป ของแข็งมักจะถูกจำแนกตามวิธีวิเคราะห์ซึ่งเน้นการจำแนกตามขนาดและความถ่วงจำเพาะของของแข็งซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

2.1) ของแข็งจมตัวได้ (Settable Solids) จะมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำและสามารถจมลงสู่ก้นของกรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff Cone) ภายในเวลา 1 ชั่วโมง ตามที่กล่าวมาแล้ว

2.2) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) เป็นของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ (ไม่ตกตะกอนในกรวยอิมฮอฟฟ์ภายใน 1 ชั่วโมง) และกรองออกจากน้ำได้ด้วยกระดาษกรองที่มีรูขนาด 1-1.2 ไมครอน

2.3) ของแข็งละลายน้ำ (Dissolved Solids) ส่วนมากจะเป็นของแข็งที่เกิดจากการละลายของสารประกอบเกลือ (ไอออนิก) ต่างๆ รวมถึงบางส่วนจากสารอินทรีย์ที่ละลาย โดยจะสามารถผ่านกระดาษกรองที่มีรูขนาด 1-1.2 ไมครอน ซึ่งตามนิยามนี้จะรวมถึงอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กหรือคอลลอยด์ (Colloids) ด้วย เนื่องจากคอลลอยด์เป็นอนุภาคที่เล็กมาก ทำให้มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ซึ่งคอลลอยด์มักจะมีประจุไฟฟ้าที่ผิว และด้วยแรงกระทำเนื่องจากประจุไฟฟ้าที่ผิวนั้นเองที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์แขวนลอยได้ในน้ำโดยไม่จมลงตามแรงโน้มถ่วง และยังทำให้คอลลอยด์จับตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นได้และตกตะกอนยากด้วย

ผลอย่างหนึ่งของการที่มีของแข็งแขวนลอยและของแข็งละลายอยู่ในน้ำก็คือทำให้กระบวนการฆ่าเชื้อ (Disinfection) มีประสิทธิภาพลดลง เพราะสารฆ่าเชื้อ เช่น คลอรีน และ โอโซน จะทำปฏิกิริยากับของแข็งเหล่านั้นด้วยทำให้ความเข้มข้นของสารฆ่าเชื้อลดลง และของแข็งแขวนลอยอาจจะเป็นที่อาศัยของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้การฆ่าเชื้อมีประสิทธิภาพลดลงด้วย



รูปที่ 5–2 ความสัมพันธ์ระหว่างของแข็งต่างๆ ที่พบในน้ำและน้ำเสีย
(ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy Inc. (2003))

3) สภาพการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity) เป็นค่าความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้า มีหน่วยวัดเป็น ซีเมนส์ต่อเมตร (S/m หรือเท่ากับ แอมแปร์ ^{2} วินาที ^{3}เมตร$^{-3}$กิโลกรัม$^{-1}$) ซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในน้ำตัวอย่างและอุณหภูมิขณะที่ทำการวัด ดังนั้นเนื่องจากน้ำบริสุทธิ์สามารถแตกตัวได้เล็กน้อย จึงมีค่าความนำไฟฟ้าต่ำ (ประมาณ 5.5 x 10^{-6} S/m) โดยในน้ำดื่มและน้ำทะเลจะมีค่าสูงขึ้น (ประมาณ 0.005 – 0.05 S/m และ 5 S/m ตามลำดับ) ซึ่งเป็นผลมาจากความเข้มข้นที่สูงขึ้นของของสารละลายที่มีประจุที่มีประสิทธิภาพในการนำกระแสไฟฟ้าได้ดีซึ่งก็คือ สารประกอบ กรด ด่าง เกลือ (สารจำพวกของแข็งละลาย) และสารอนินทรีย์ต่างๆ ส่วนสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำ เช่น

สุเทพ สรีกษยาภารณ์

น้ำตาล น้ำมันและตัวทำละลายจะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดี นอกจากนี้ปริมาณไอออนในน้ำที่ละลายในน้ำมากจะทำให้ก๊าซละลายน้ำได้น้อยลง

4) อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิมีความสำคัญต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและชีวเคมีในน้ำเสีย และมีผลต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์น้ำ นอกจากนี้ ก๊าซจะละลายน้ำได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อปฏิกิริยาทางชีวภาพในน้ำเสีย น้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่นน้ำหล่อเย็น อาจจะมีปริมาณมากและมีอุณหภูมิสูง ซึ่งส่งผลให้น้ำเสียของชุมชนมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย

5) สี (Color) สำหรับน้ำธรรมชาติ สีส่วนใหญ่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์กลุ่มฮิวมิก (Humic Substances) ที่ละลายอยู่ในน้ำซึ่งเกิดจากพืชหรือใบไม้ที่เน่าเปื่อย มักจะทำให้น้ำเป็นสีน้ำตาล นอกจากนี้ ยังมีสีซึ่งเกิดจากการละลายของแร่ธาตุในธรรมชาติ สำหรับน้ำเสีย สีอาจจะเกิดจากการละลายของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำดังกล่าวมาทั้งหมดจัดเป็นสีจริง (True Color) และจะไม่สามารถแยกออกได้โดยวิธีทางกายภาพ แต่อาจถูกทำให้สลายไปด้วยการออกซิไดซ์ (Oxidize) และการดูดติด (Adsorption) ด้วยสารบางอย่างเช่น ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นต้น

6) กลิ่น ในงานน้ำและน้ำเสียยังไม่มีวิธีมาตรฐานสำหรับวัดระดับกลิ่น อย่างไรก็ตาม มีการกำหนดไว้กว้าง ๆ ว่าน้ำมีกลิ่นเป็นที่รังเกียจหรือไม่ ดังได้กล่าวไว้ในส่วนของเคมีพื้นฐานของน้ำและน้ำเสีย กลิ่นเกิดจากหลายสาเหตุ ได้แก่ กลิ่นที่เกิดจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เช่น กลิ่นของ H_2S กลิ่นจากสารเคมีที่ทิ้งมากับน้ำเสีย กลิ่นจากสิ่งปฏิกูล เช่น แอมโมเนีย และกรดอินทรีย์ กลิ่นจากการเติบโตของสิ่งมีชีวิตที่บางชนิด เช่น สาหร่ายในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งอาจทำให้น้ำมีกลิ่นดิน กลิ่นคาว และกลิ่นอับอันเป็นผลจากสารอินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนการทางชีวเคมีของสาหร่ายซึ่งโดยมากจะไม่เป็นอันตรายต่อการบริโภค เหล่านี้เป็นต้น นอกจากนี้ ในกรณีของน้ำประปา อาจมีกลิ่นของคลอรีนซึ่งใช้ฆ่าเชื้อในน้ำประปาอีกด้วย โดยมากกลิ่นสามารถถูกกำจัดจากน้ำได้ด้วยการดูดติดโดยถ่านกัมมันต์ นอกจากนี้ยังอาจกำจัดด้วยการใช้สารเคมีที่สามารถออกซิไดซ์ (Oxidize) สารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดกลิ่น อย่างเช่น โอโซน (Ozone) สารกลุ่มเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) และรวมถึง Hypochlorite ซึ่งส่วนที่เหลือในน้ำอาจทำให้เกิดกลิ่นคลอรีนในน้ำดังได้กล่าวมาแล้ว

5.4 มาตรฐานน้ำทิ้ง

มาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษที่ได้กำหนดขึ้นและบังคับใช้แล้ว แบ่งเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

1) มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำจากอาคารบางประเภทและบางขนาด และการแยกประเภทอาคารที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือสู่สิ่งแวดล้อม ได้แสดงในตาราง 5–5 และ 5–6 ตามลำดับดังนี้

สุพพ สิริพัฒนกร

ตาราง 5–5 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามประเภทมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง					วิธีวิเคราะห์
		ก	ข	ค	ง	จ	
1. ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	-	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 200	ใช้วิธีการ Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษให้ความเห็นชอบ
3.ปริมาณของแข็ง							
- ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Soilds)	มก./ล.	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 60	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)
- ค่าของแข็งจมตัวได้ (Settleable Solids)	มก./ล.	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	-	วิธีการกรวยอิมฮอฟ์ (Imhoff Cone) ขนาดบรรจุ 1,000 ลบ.ซม ในเวลา 1 ชั่วโมง
- ค่าของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolved Solid)	มก./ล.	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	-	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง
4. ค่าซัลไฟด์ (Sulfide)	มก./ล.	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 3.0	ไม่เกิน 4.0	-	วิธีการไตเตรต (Titrate)
5. ไนโตรเจน (Nitrogen) ในรูป ที เค เอ็น (TKN)	มก./ล.	ไม่เกิน 35	ไม่เกิน 35	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 40	-	วิธีการเจลดาห์ล (Kjeldahl)
6. น้ำมันและไขมัน (Fat , Oil and Grease)	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 100	วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

* เป็นค่าที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณสารละลายในน้ำตามปกติ

ที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนพิเศษ 9ง ลงวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537

สถาบันวิทยบริการ

ตาราง 5–6 ประเภทอาคารที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

ประเภทอาคาร	ขนาดของอาคารที่กำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้ง				
	ก	ข	ค	ง	จ
1.อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด	ตั้งแต่ 500 ห้องนอน	100 - ไม่ถึง 500 ห้องนอน	ไม่ถึง-100 ห้องนอน	-	-
2.โรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม	ตั้งแต่ 200 ห้อง	60 - ไม่ถึง 200 ห้อง	ไม่ถึง 60 ห้อง	-	-
3.หอพักตามกฎหมายว่าด้วยหอพัก	-	ตั้งแต่ 250 ห้อง	50- ไม่ถึง 250 ห้อง	10 - ไม่ถึง 50 ห้อง	-
4. สถานบริการ	-	ตั้งแต่ 5,000 ม.^{2}	1,000 - ไม่ถึง 5,000 ม^2	-	-
5.โรงพยาบาลของทางราชการหรือสถานพยาบาลตามกฎหมาย	ตั้งแต่ 30 เตียง	10 - ไม่ถึง 30 เตียง	-	-	-
6.อาคารโรงเรียนราษฎร์ โรงเรียนของทางราชการสถาบันอุดมศึกษาของเอกชนหรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ	ตั้งแต่ 25,000 ม.^{2}	5,000 - ไม่ถึง 25,000 ม.^{2}	-	-	-
7. อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือเอกชน	ตั้งแต่ 55,000 ม.^{2}	10,000 - ไม่ถึง 55,000 ม.^{2}	5,000-ไม่ถึง 10,000 ม.^{2}	-	-
8.อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้า	ตั้งแต่ 25,000 ม.^{2}	5,000 - ไม่ถึง 25,000 ม.^{2}	-	-	-
9. ตลาด	ตั้งแต่ 2,500 ม.^{2}	1,500 - ไม่ถึง 2,500 ม.^{2}	1,000-ไม่ถึง 1,500 ม.^{2}	500-ไม่ถึง 1,000 ม.^{2}	-
10.ภัตตาคารและร้านอาหาร	ตั้งแต่ 2,500 ม.^{2}	500 - ไม่ถึง 2,500 ม.^{2}	250-ไม่ถึง 500 ม.^{2}	100-ไม่ถึง 250 ม.^{2}	ไม่ถึง100 ม.^{2}

ที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนพิเศษ 9ง ลงวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537

2) มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม โดยในประกาศนี้ โรงงาน และนิคมอุตสาหกรรมหรือโครงการที่จัดไว้สำหรับการประกอบอุตสาหกรรมที่มีการจัดการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ต้องบำบัดให้น้ำเสียที่ระบายจากการประกอบการ (รวมถึงน้ำใช้ของพนักงาน) เป็นไปตามมาตรฐานดังแสดงในตาราง 5–7 ก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

สุเทพ สถิตย์นิรามัย

ตาราง 5–7 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0	pH Meter
2. ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	ไม่เกิน 3,000 มก/ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเลค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก.ล.	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H_2S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
9. ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	Gas-Chromatography
13. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล.หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion

สุเทพ สิริยากปกรณ์

ตาราง 5–7 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
16. โลหะหนัก (Heavy Metal)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration
1. สังกะสี (Zn)		หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plama : ICP
2. โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
3. โครเมียมชนิดไตรวาเล้นท์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	
5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล	
6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล	
7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
8. นิคเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
10. อาร์เซนิค (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	-Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	-Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
12. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	-Atomic Absorption Cold Vapour Techique

ที่มา :ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

ทั้งนี้ มีการกำหนดประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่อนุญาตให้ระบายน้ำทิ้งให้มีค่า มาตรฐานแตกต่างจากค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ ดังแสดงในตาราง 5–7 เช่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น (รายละเอียดอยู่ในประกาศคณะกรรมการควบคุมมลพิษ วันที่ 20 สิงหาคม 2539)

3) นอกจากที่ได้แสดงไว้แล้ว ยังมีมาตรฐานน้ำทิ้งอื่นๆ ที่กฎหมายได้ประกาศไว้ เช่น มาตรฐานน้ำทิ้งลงบ่อน้ำบาดาล (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 5 (พ.ศ. 2521)) มาตรฐานน้ำทิ้งจากที่ดินจัดสรร (ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม 2 ฉบับ (ฉบับที่ 5 และ 6)) มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานและทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตที่โครงการชลประทาน (คำสั่งกรมชลประทานที่ 883/2532 ลงวันที่ 19 ธันวาคม 2532) มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร (ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไปเล่ม 118 ตอนพิเศษ 8ง หน้าที่ 11-17 วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2544) และมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง (ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 119 ตอนที่ 43ง ลงวันที่ 28 พฤษภาคม 2545) เป็นต้น ดังแสดงในภาคผนวก ก

สุขภาพสิ่งแวดล้อม

คำถามท้ายบท

1. อธิบายความแตกต่างระหว่าง มลพิษจากแหล่งกำเนิดที่มีจุดกำเนิดแน่นอน และมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่มีจุดกำเนิดไม่แน่นอน ในแง่ของสารมลพิษ และแนวทางการจัดการ
2. นิยามความหมายของคำต่อไปนี้
   2.1) อัตราการไหลสูงสุดต่อวัน
   2.2) อัตราการไหลสูงสุดต่อชั่วโมง
   2.3) อัตราการไหลเฉลี่ยหน้าแล้ง
   2.4) อัตราการไหลเฉลี่ยต่อวันในรอบปี
3. อธิบายรูปแบบลักษณะการเกิดน้ำเสียและปริมาณน้ำเสีย
4. อธิบายและจำแนกประเภทของของแข็ง (solids) สำหรับงานน้ำและน้ำเสีย และแสดงว่าของแข็งแต่ละประเภทเกี่ยวข้องกับค่า บีโอดีและซีโอดี และค่าความนำไฟฟ้า อย่างไร
5. สีในน้ำธรรมชาติ และน้ำเสียและน้ำทิ้ง เกิดจากสาเหตุใด และกำจัดได้ด้วยวิธีรการใดบ้าง
6. ระบุความแตกต่างในแง่ของดัชนีคุณภาพน้ำสำหรับ มาตรฐานน้ำทิ้งประเภทต่างๆ

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

บทที่ 6
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียเป็นการกำจัดสารต่างๆที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งมีวิธีการและกระบวนการที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและประเภทของน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปจะประกอบด้วยหน่วยบำบัด (Unit) ต่างๆ มารวมเข้าไว้ด้วยกัน โดยแต่ละหน่วยบำบัดจะมีวัตถุประสงค์เฉพาะแตกต่างกันไปในการปรับสภาพและกำจัดสารปนเปื้อนจากน้ำเสีย จะเห็นได้ว่ามีทั้งความหลากหลายทั้งในด้านวิธีและกระบวนการ โดยหน่วยบำบัดอาจแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1) ปฏิบัติการหน่วย (Unit Operations) ในหน่วยบำบัดชนิดนี้ จะเน้นการใช้วิธีทางกายภาพเป็นหลัก เช่น การกวน การปล่อยให้ตกตะกอน เป็นต้น

2) กระบวนการหน่วย (Unit Processes) ในหน่วยบำบัดชนิดนี้ จะเน้นการใช้วิธีทางเคมี และชีวเคมีเป็นหลัก เช่น ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge, AS) เป็นต้น

โดยในที่นี้ถ้าไม่มีการเจาะจง จะเรียกทั้งปฏิบัติการหน่วย และกระบวนการหน่วย เป็นหน่วยบำบัด

6.1 ปัจจัยต่าง ๆ ในการพิจารณาเพื่อเลือกหน่วยบำบัดต่าง ๆ ในระบบบำบัดน้ำเสีย

ในการเลือกการปฏิบัติการ และกระบวนการ สำหรับหน่วยบำบัดต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสีย ควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้คือ

- **ความเหมาะสมของกระบวนการ** (Process Applicability) ซึ่งความเหมาะสมของกระบวนการจะถูกประเมินโดยประสบการณ์ ข้อมูลจากระบบบำบัดเต็มรูปแบบ และข้อมูลจากระบบบำบัดนำร่อง โดยเฉพาะถ้าประสบปัญหากับเงื่อนไขการดำเนินระบบที่แปลกไป อาจจะต้องทำการทดลองในระบบบำบัดนำร่องก่อน
- **ความเหมาะสมกับช่วงของปริมาณการไหลของน้ำเสีย** (Applicable Flow Range) กระบวนการที่ใช้น่าจะเหมาะสมกับช่วงของปริมาณการไหลที่คาดว่าจะมี ยกตัวอย่างเช่น ระบบบ่อบำบัดแบบ Stabilization Pond จะไม่เหมาะกับปริมาณอัตราการไหลของน้ำเสียที่สูงมากๆ ที่เกิดจากบริเวณที่มีประชากรหนาแน่น
- **ความเหมาะสมกับการผันแปรของปริมาณการไหลของน้ำ** (Applicable Flow Variation) หน่วยปฏิบัติการ และหน่วยกระบวนการส่วนมากจะต้องถูกออกแบบให้ใช้ได้กับอัตราการไหลของน้ำในช่วงกว้าง แม้ว่าระบบส่วนมากจะทำงานได้ดีที่สุดในภาวะอัตราการไหลของน้ำคงที่ ถ้าอัตราการไหลของน้ำมีความแปรผันสูง อาจจะต้องมีการปรับให้ปริมาณน้ำมีความสม่ำเสมอ (Flow Equalization)
- **ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ** (Influent Wastewater Characteristics) ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจะมีผลต่อการเลือกแบบของกระบวนการที่จะใช้ (เช่น แบบชีวภาพ หรือ แบบเคมี) และข้อกำหนดที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการระบบ
- **องค์ประกอบที่เป็นตัวยับยั้งและที่ไม่มีผลต่อการบำบัด** (Inhibiting and Unaffected Constituents) ในน้ำอาจมีองค์ประกอบที่จะเป็นตัวยับยั้งกระบวนการบำบัด หรือไม่มีผลในการบำบัด
- **ข้อจำกัดของภูมิอากาศ** (Climate Constraints) อุณหภูมิจะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาส่วนใหญ่ในกระบวนการทางชีวภาพและเคมี กล่าวคืออุณหภูมิสูง อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงตาม อุณหภูมิที่

เปลี่ยนแปลงลดลงทุก 10 องศาเซลเซียส อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง อุณหภูมิยังอาจจะมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ในระบบบำบัด อุณหภูมิที่อบอุ่นอาจเร่งให้เกิดกลิ่นและจำกัดการแพร่กระจายของกลิ่นในอากาศด้วย

- **จลนศาสตร์ของปฏิกิริยาหรือเกณฑ์ภาระแบกรับสาร**[1] (Reaction Kinetics or Loading Criteria) ของระบบ ถ้าไม่มีข้อมูลของจลศาสตร์ของปฏิกิริยา การออกแบบจะใช้ภาระแบกรับสารของระบบ ข้อมูลของจลศาสตร์ของปฏิกิริยาหรือตามเกณฑ์ภาระบรรทุกแบกรับสารของระบบมักจะได้จากประสบการณ์ เอกสารตีพิมพ์ทางวิชาการ และผลจากการเดินระบบนำร่อง

- **อัตราการส่งผ่านมวลสารหรือเกณฑ์ภาระแบกรับสารของระบบ** (Mass Transfer Rates or Loading Criteria) ขนาดของถังปฏิกรณ์ขึ้นกับอัตราการส่งผ่านมวลสารของระบบ เช่น ถังเติมอากาศ เป็นต้น ถ้าไม่มีข้อมูลของอัตราการส่งผ่านมวลสารของระบบ การออกแบบจะใช้ภาระแบกรับสารของระบบ ข้อมูลของอัตราการส่งผ่านมวลสารของระบบ และเกณฑ์ภาระแบกรับสารของระบบมักจะได้จากประสบการณ์ เอกสารตีพิมพ์ทางวิชาการ และผลจากการเดินระบบนำร่อง

- **ความสามารถของระบบ** (Performance) โดยมักจะวัดจากคุณภาพของน้ำและความผันแปรของคุณภาพน้ำที่ผ่านออกจากระบบ ซึ่งจะต้องไม่เกินข้อกำหนดของคุณภาพน้ำทิ้ง

- **กากของเหลือจากกระบวนการบำบัด** (Treatment Residuals) จะต้องทราบและสามารถประมาณชนิดและปริมาณของ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ที่เป็นกากของเหลือจากกระบวนการบำบัด โดยมากจะทราบปริมาณและชนิดของกากของเหลือจากกระบวนการบำบัด จากการเดินระบบบำบัดนำร่อง

- **การกำจัดและแปรรูปสลัดจ์** (Sludge Processing) ต้องทราบข้อจำกัดของการแปรรูปและกำจัดสลัดจ์และราคา ผลต่อภาระบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียที่มาจากการดึงน้ำจากกระบวนการแปรรูปและกำจัดสลัดจ์กลับมาบำบัดในระบบ การเลือกระบบแปรรูปและกำจัดสลัดจ์จะต้องทำร่วมกับการเลือกระบบบำบัดน้ำเสีย

- **ข้อจำกัดด้านสิ่งแวดล้อม** (Environmental Constraints) ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม เช่น กระแสลมหลักและทิศทางลม และระยะทางจากแหล่งชุมชน อาจเป็นข้อจำกัดหรือมีผลต่อกระบวนการบำบัดบางชนิด โดยเฉพาะเรื่องกลิ่นที่เกิดขึ้น ฟองอากาศที่ถูกลมพัดไปก่อสภาพน่ารังเกียจกับบริเวณใกล้เคียง เสียงและสภาพการจราจรอาจส่งผลต่อการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานบำบัด แหล่งรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดอาจมีข้อจำกัดพิเศษซึ่งอาจจะต้องมีการกำจัดองค์ประกอบบางอย่างในน้ำเสียก่อนทิ้งสู่แหล่งน้ำนั้น เช่น ธาตุอาหาร

- **ความต้องการสารเคมี** (Chemical Requirements) ทราบชนิดและปริมาณของทรัพยากรที่จะต้องเป็นภาระผูกพันในระยะยาวในการที่จะดำเนินหน่วยปฏิบัติการ และหน่วยกระบวนการให้ประสบความสำเร็จ และผลของการเติมสารเคมีที่มีต่อลักษณะสมบัติของกากที่เหลือจากกระบวนการบำบัดและค่าใช้จ่ายของการบำบัด

- **ความต้องการพลังงาน** (Energy Requirements) จะต้องรู้ความต้องการพลังงาน และพลังงานที่อาจต้องใช้และค่าใช้จ่ายที่ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตเพื่อจะได้ออกแบบระบบบำบัดที่สิ้นเปลืองพลังงานน้อย

[1] ภาระแบกรับ (Load) เป็นค่าแสดงปริมาณของสิ่งต่างๆ เช่น สารมลพิษในน้ำเสีย ที่เข้าสู่ระบบในช่วงเวลาหนึ่งๆ มีหน่วยเป็น มวล ต่อ เวลา เช่น กิโลกรัม บีโอดี ต่อชั่วโมง

- **ความต้องการทรัพยากรอื่นๆ** (Other Resource Requirements) ชนิดและปริมาณทรัพยากรเพิ่มเติม ในกรณีที่จำเป็นต้องมี ที่จะต้องเป็นภาระผูกพันในระยะยาวในการที่จะทำให้หน่วยปฏิบัติการ และหน่วยกระบวนการของระบบบำบัดที่เสนอสามารถดำเนินการได้เป็นผลสำเร็จ

- **ความต้องการด้านบุคลากร** (Personnel Requirements) จำนวนคนและระดับเงินเดือนรวมทั้งทักษะในการดำเนินหน่วยปฏิบัติการ และหน่วยกระบวนการของระบบบำบัด ทักษะที่มีอยู่และการฝึกฝนอบรมที่จะต้องมี มีความจำเป็นต้องใช้ระบบที่ต้องการบุคลากรที่มีความชำนาญสูงหรือไม่ และสามารถหาผู้ที่มีความชำนาญสูงได้หรือไม่

- **ระบบเสริม** (Ancillary Processes) รู้ว่าต้องการระบบเสริมแบบใด ในช่วงเวลาไหน และผลกระทบต่อระบบที่มีต่อคุณภาพน้ำเสียที่ออกมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระบบนั้นเกิดขัดข้อง

- **การดำเนินการและและความต้องการในการบำรุงรักษา** (Operating and Maintenance Requirements) ความต้องการพิเศษในการดำเนินระบบและในการบำรุงรักษาที่จะต้องจัดหา อะหลั่ยที่จำเป็นและราคาและความสามารถในการจัดหา

- **ความมั่นคงของระบบ** (Reliability) พิจารณาความมั่นคงของหน่วยปฏิบัติการ และหน่วยกระบวนการในระยะยาว รู้ว่าระบบจะอ่อนไหวเพียงใด ระยะเวลาที่ระบบจะสามารถรับ Shock Load และถ้ามี Shock Load เกิดขึ้นจะมีผลต่อคุณภาพน้ำที่ออกมาอย่างไร

- **ความซับซ้อน** (Complexity) ระดับความซับซ้อนของระบบในระหว่างการดำเนินการปกติ ระดับความรู้และความสามารถและความรู้เพิ่มเติมที่ผู้ดำเนินระบบต้องได้รับอบรม

- **ความเข้ากันได้** (Compatibility) หน่วยปฏิบัติการ และหน่วยกระบวนการสามารถทำงานร่วมกับระบบที่มีอยู่ได้หรือไม่ และสามารถขยายโรงบำบัดได้อย่างสะดวกหรือไม่

- **ความสามารถที่จะปรับเปลี่ยน** (Adaptability) ระบบสามารถที่จะปรับให้เข้ากับความต้องการในอนาคตได้หรือไม่

- **การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และวงจรอายุของระบบ** (Life Cycle Analysis) การประเมินค่าใช้จ่ายต้องคำนึงถึงทุนเริ่มแรก และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการในระยะยาว โรงบำบัดที่มีค่าใช้จ่ายก่อสร้างเริ่มต้นต่ำที่สุดอาจจะไม่ใช่ทางเลือกที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าดำเนินการและค่าบำรุงรักษา ลักษณะและที่มาของเงินทุนยังมีผลต่อการเลือกระบบด้วย

- **ขนาดของพื้นที่** (Land Availability) คำนึงว่ามีที่เหลือเพียงพอไม่เฉพาะแต่สำหรับระบบที่กำลังจะมีเท่านั้น แต่ต้องคำนึงถึงการขยายเพิ่มเติมในอนาคตด้วย ต้องคำนึงถึงพื้นที่กันชนที่ต้องมีไว้สำหรับเป็นที่ว่างเพื่อลดผลกระทบทางสายตาและผลกระทบอื่นๆ

6.2 ทฤษฎีพื้นฐานการบำบัดน้ำเสีย

น้ำเสียทั่วไป โดยเฉพาะน้ำเสียชุมชน เป็นน้ำเสียที่มีมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วยธาตุ C H O N และS ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยจุลินทรีย์ชนิดอาศัยออกซิเจน หรือชนิดไม่ใช้ออกซิเจน สามารถแสดงดังสมการข้างล่างนี้

- การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน

สารอินทรีย์ในน้ำเสีย + ออกซิเจน + สารอาหาร $\xrightarrow{\text{จุลินทรีย์}}$ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ + แอมโมเนีย

(CHONS) (O_2) (CO_2) (NH_3)

+ จุลินทรีย์ใหม่ + สารประกอบอื่นๆ

$(C_5H_7NO_2)$

(6–1)

นอกจากที่แสดงไว้ในสมการ (6–1) ปัจจัยอื่นๆ จะต้องเหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน ซึ่งได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ เป็นต้น

น้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ที่ปนเปื้อนด้วยที่ไม่เป็นพิษและสามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์อยู่และมีความเข้มข้นไม่มากนัก โดยธรรมชาติของแหล่งรับน้ำสามารถเจือจางและย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และน้ำในที่สุด ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นพืชน้ำจะนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงและเกิดก๊าซออกซิเจน หมุนเวียนไปเช่นนี้ กระบวนการย่อยสลายทางธรรมชาติดังกล่าวนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยการจำลองเลียนแบบการทำงานของแหล่งน้ำธรรมชาติให้กลายเป็นบ่อบำบัดน้ำเสียที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาณน้ำเสียที่บำบัด หรือ อาจเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดียิ่งขึ้นโดยการติดตั้งอุปกรณ์ เช่น เครื่องเติมอากาศ เป็นต้น

- การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน

สารอินทรีย์ในน้ำเสีย + สารอาหาร $\xrightarrow{\text{จุลินทรีย์}}$ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ + ก๊าซมีเทน + อื่นๆ

(CHONS) (CO_2) (CH_4)

(6–2)

การย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจน มีกระบวนการบำบัดหลายขั้นตอนดังที่ได้กล่าวไว้ในส่วนของจุลชีววิทยาพื้นฐานของน้ำและน้ำเสีย เพื่อที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซอื่นๆ อีกเล็กน้อย ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ไนโตรเจน (N_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซไข่เน่า โดยในธรรมชาติกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะพบได้ในแหล่งน้ำนิ่งที่มีความลึกมาก เช่น อ่างเก็บน้ำ หรือ บึงขนาดใหญ่ และในชั้นดินตะกอน

6.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท คือ

1) ปฏิบัติการหน่วยทางกายภาพ (Physical Unit Operations)
2) กระบวนการหน่วยทางเคมี / ทางกายภาพเคมี (Chemical / Physicochemical Unit Process)
3) กระบวนการหน่วยทางชีวภาพ / ทางชีวเคมี (Biological / Biochemical Unit Process)

1) **ปฏิบัติการหน่วยทางกายภาพ (Physical Unit Operations)** เป็นกระบวนการแยกของแข็ง (ส่วนใหญ่เป็นของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่ ซึ่งตกตะกอนด้วยตัวเองได้ง่าย) เช่น ขยะต่างๆ ที่มากับน้ำเสีย กรวด ทราย หรือไขมันและน้ำมัน (ที่ไม่ละลายน้ำ) ในน้ำเสียออกก่อนที่จะเข้าระบบบำบัดในขั้นตอนต่อไป เพื่อ

ป้องกันความเสียหายของเครื่องสูบ (Pump) ปฏิบัติการหน่วยทางกายภาพนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียที่บำบัด โดยทั่วไปได้แก่ ตะแกรง (Bar Screen) บ่อดักดินตะกอน (Grit Chamber) บ่อดักไขมัน เป็นต้น

2) **กระบวนการหน่วยทางเคมี / ทางกายภาพเคมี (Chemical / Physicochemical Unit Process)** เป็นกระบวนการเติมสารเคมีไปในน้ำเสีย เพื่อบำบัดให้ได้น้ำทิ้งตามมาตรฐาน ซึ่งใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่ง อันได้แก่ มีค่า pH สูงหรือต่ำเกินไป มีโลหะหนักที่เป็นพิษ (เช่น ดีบุก สังกะสี เป็นต้น) มีตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ยาก มีสารประกอบอนินทรีย์ละลายน้ำที่เป็นพิษ (เช่น ซัลไฟด์) มีไขมันหรือน้ำมันละลายน้ำ รวมทั้งสี กลิ่น และเชื้อโรค โดยส่วนใหญ่จะกำจัดของแข็งแขวนลอยขนาดเล็ก หรือของแข็งที่ตกตะกอนด้วยตนเองช้า กระบวนการหน่วยทางเคมี / ทางกายภาพเคมี ได้แก่ กระบวนการโคแอกกูเลชัน-ฟล็อกคูเลชัน (Coagulation-Flocculation) สำหรับให้แขวนลอยขนาดเล็กและคอลลอยด์จับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้นแล้วจึงส่งไปยังถังตกตะกอนหรือถังกรองต่อไป กระบวนการตกตะกอนผลึก (Precipitation) และการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) สำหรับการบำบัดของแข็งละลายต่าๆ กระบวนการดูดติดผิว (Adsorption) สำหรับการบำบัดสีและกลิ่น กระบวนการออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction) สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์และการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) และกระบวนการปรับ pH ในกรณีที่น้ำเสียมีค่า pH ไม่เหมาะที่จะปล่อยออก หรือเพื่อตกตะกอนผลึกของโลหะหนักบางชนิด เป็นต้น

3) **กระบวนการหน่วยทางชีวภาพ / ทางชีวเคมี (Biological / Biochemical Unit Process)** เป็นกระบวนการที่ใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสารอินทรีย์ทั้งที่เป็นคอลลอยด์ที่แขวนลอย รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย และในบางกรณียังใช้ในการบำบัดธาตุอาหาร (Nutrient) ออกจากน้ำเสียด้วย ความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ที่บำบัดได้จะต้องเป็นสารอินทรีย์ซึ่งสามารถถูกใช้เป็นแหล่งของคาร์บอน และแหล่งของพลังงานโดยจุลินทรีย์เพื่อสังเคราะห์เซลล์ใหม่ได้ ผลก็คือทำให้ความสกปรกในน้ำเสียลดลง โดยจุลินทรีย์อาจเป็นแบ่งใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งในแต่ละประเภทยังสามารถแบ่งออกได้เป็น แบบที่ให้จุลินทรีย์ล่องลอยอยู่ในน้ำเสีย (Suspended Growth) และแบบที่ให้จุลินทรีย์เกาะติดกับวัสดุตัวกลาง (Attached Growth) ระบบบำบัดที่อาศัยหลักการทางชีวภาพมีหลายชนิด อาทิเช่น แอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge, AS) ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) ระบบชุดสัมผัสหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Reactor, RBC) และระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) เป็นต้น

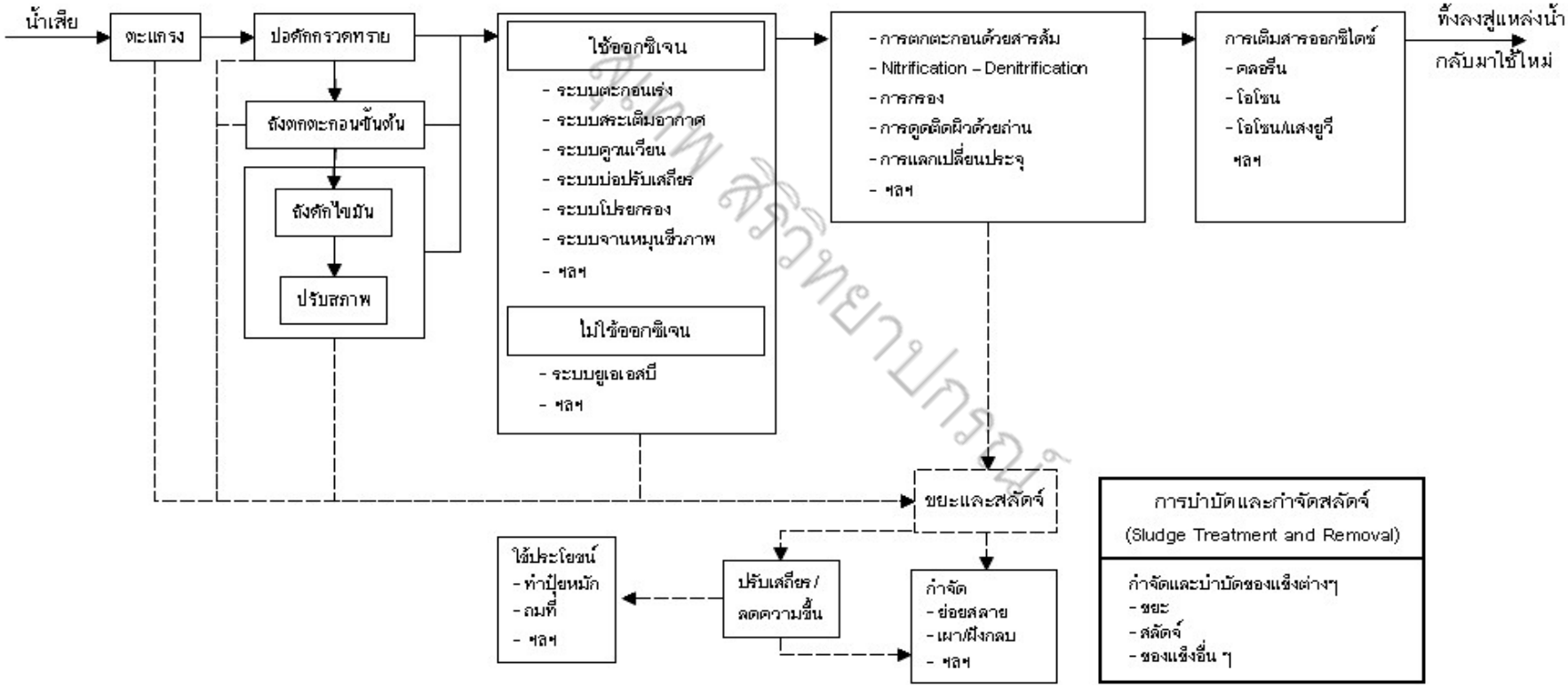
6.4 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย

ขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียแต่ละชนิด โดยการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งออกตามขั้นตอนได้ดังนี้

1) **ระบบบำบัดขั้นต้น** (Primary Treatment)
2) **ระบบบำบัดขั้นที่สอง** (Secondary Treatment)
3) **ระบบบำบัดขั้นที่สาม** (Tertiary Treatment)
4) **ระบบการฆ่าเชื้อโรค** (Disinfection)
5) **การบำบัดและกำจัดสลัดจ์** (Sludge Treatment and Removal)

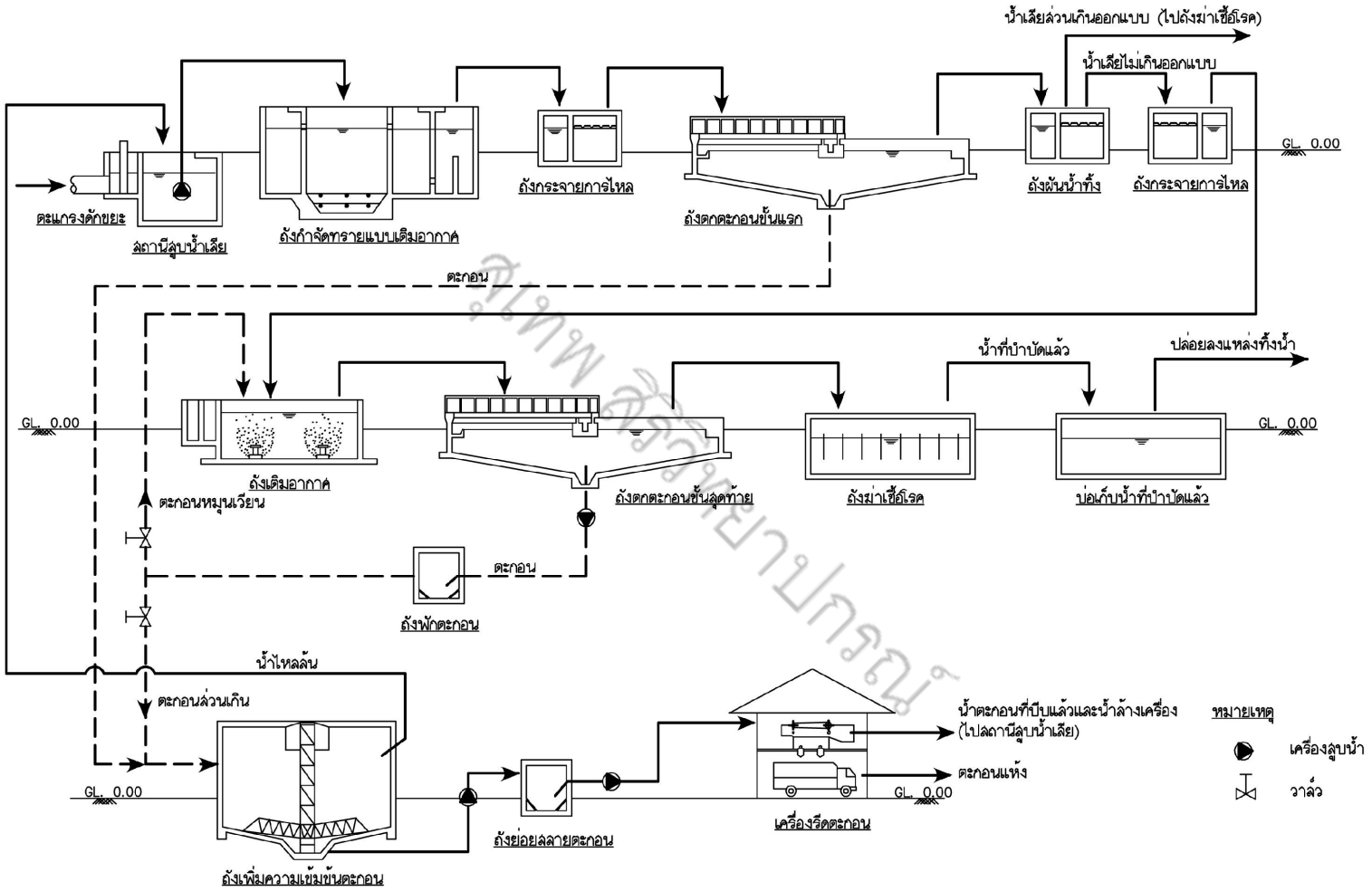
ขั้นตอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียวัตถุประสงค์หลักของแต่ละกระบวนการและรูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียได้แสดงในรูปที่ 6-1 และ 6-2 ตามลำดับ

ระบบบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment)	ระบบบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment)	ระบบบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary Treatment)	ระบบการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection)
- กำจัดของแข็งขนาดใหญ่ - กำจัดของแข็งแขวนลอย - กำจัดไขมันและน้ำมันที่ไม่ละลายน้ำ - ปรับสภาพ เช่น ปรับ pH	- กำจัดสารอินทรีย์ที่ละลาย (บีโอดี) และแขวนลอยที่ย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ	- กำจัดสารอินทรีย์ที่จุลชีพย่อยไม่ได้ - กำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส - กำจัดสี และกลิ่น - สารแขวนลอย อื่นๆ	- กำจัดเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ



สำนักวิทยบริการฯ

รูปที่ 6-1 ขั้นตอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียและวัตถุประสงค์หลักของแต่ละกระบวนการ



รูปที่ 6-2 รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป

1) **ระบบบำบัดขั้นต้น** (Primary Treatment) เป็นการบำบัดน้ำเสียขั้นตอนแรก หน่วยบำบัดมักจะเป็นปฏิบัติการหน่วยทางกายภาพ ในการกำจัดสารที่ลอยหรือตกตะกอนได้ในน้ำเสีย หรือแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย เป็นการลดปริมาณของแข็งและน้ำมันหรือไขมันที่ลอยอยู่ ดังได้กล่าวมาแล้ว และลดปริมาณภาระแบกรับสาร (Load) ของการบำบัดน้ำเสียในขั้นต่อไป กระบวนการบำบัดขั้นต้นไม่เน้นการกำจัดสารอินทรีย์ อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้อาจจะกำจัดปริมาณของแข็งและบีโอดีได้ราว 10 -35 เปอร์เซ็นต์ หน่วยบำบัดที่ใช้มีดังนี้

1.1) **การดักด้วยตะแกรง** (Screening) ใช้สำหรับดักสิ่งของที่ลอยน้ำ เช่น เศษขยะ เศษผ้า ใบไม้ ถุงพลาสติก เป็นต้น แบ่งเป็นตะแกรงหยาบ มีช่องขนาด 40 มิลลิเมตร ช่องตะแกรงขนาดกลาง มีช่องขนาดเล็กกว่า 40 มิลลิเมตร และแบบละเอียด มีช่องขนาด 1.5 – 6 มิลลิเมตร โดยตะแกรงจะวางเอียงไปตามทิศทางไหลของน้ำ โดยมีความเอียงประมาณ 30 – 60 องศา ตะแกรงจะช่วยป้องกันมิให้เครื่องสูบน้ำอุดตัน

1.2) **การกำจัดกรวด-ทราย** (Grit Removal) ในขั้นนี้จะออกแบบบ่อโดยทำให้น้ำมีความเร็วอยู่ในช่วง 20 ถึง 30 เซนติเมตรต่อวินาทีเพื่อให้ดิน กรวด ทราย ที่น้ำพามาตกตะกอนออกไป มีเวลาเก็บกักประมาณ 1 - 3 นาที อาจมีการให้อากาศ เพื่อไม่ให้สารแขวนลอยอื่นตกตะกอนในถังนี้นอกจากกรวดและทราย

1.3) **การตกตะกอนขั้นต้น** (Primary Sedimentation) มีลักษณะคล้ายกับบ่อกำจัดกรวด-ทราย แต่มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าที่ลอดผ่านตะแกรงมาได้ ถังตกตะกอนเป็นถังขนาดใหญ่ที่เป็นที่พักน้ำเสีย อัตราการไหลจะอยู่ในช่วง 15 ถึง 20 เซนติเมตรต่อวินาที และมีเวลากักพักประมาณ 2 – 4 ชั่วโมง น้ำเสียที่ไหลออกไปจึงมีตะกอนแขวนลอยเหลือน้อย โดยถังตกตะกอนที่มีความลึกประมาณ 3-5 เมตร ถังตกตะกอนมีบทบาทอยู่ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ เกือบทุกประเภท และถือเป็นหน่วยสำคัญในการกำจัดตะกอนแขวนลอยในน้ำ ประสิทธิภาพปกติเท่ากับ 30-40% ปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนลงสู่ก้นถัง เรียกว่าสลัดจ์ (Sludge) จะถูกสูบออกไปในการตกตะกอน อาจมีการเติมสารเคมี เช่น พอลิเมอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งให้สูงถึง 90% ได้

1.4) **การกำจัดน้ำมันและไขมัน** (Oil and Grease Removal) โดยทั่วไปแล้วก่อนที่น้ำเสียชุมชนจะถูกปล่อยทิ้ง อาจผ่านถังดักไขมันมาแล้วขั้นหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ยังมีอีกจำนวนมากที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำเสีย ถังดักไขมันและน้ำมันอาศัยหลักที่ว่าไขมันหรือน้ำมันเบากว่าน้ำ จึงลอยตัวอยู่เหนือน้ำ ทางออกของถังดักไขมันจึงจุ่มอยู่ใต้น้ำ (ต่ำกว่าชั้นไขมันหรือน้ำมัน) และสามารถดึงเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำออกจากถังดักด้วยท่อรูปตัว T ในถังวงขอบซีเมนต์ ไขมันหรือน้ำมันจะสะสมตัวอยู่ในถังดักและสามารถตักออกไปทิ้งได้ ถังซีเมนต์นี้เป็นถังดักไขมันขนาดเล็กที่นิยมใช้กับน้ำเสียจากการปรุงอาหาร ซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีปริมาตรต่ำ ในกรณีที่น้ำเสียมีปริมาตรสูง ควรใช้ถังแยกน้ำมันหรือไขมันแบบที่เรียกว่า API Separator น้ำเสียที่มีน้ำมันหรือไขมันละลายอยู่ไม่สามารถใช้ถังดักหรือแยกน้ำมันดังกล่าวได้ เนื่องจากน้ำมันจับเป็นเนื้อเดียวกับน้ำเสีย วิธีแก้ไข คือ ต้องทำให้น้ำมันและน้ำเสียแยกตัวจากกัน โดยใช้สารเคมีช่วยเสียก่อน จากนั้นจึงใช้ถังดักหรือแยกไขมันและน้ำมัน บางครั้งการแยกน้ำมันหรือไขมันอาจใช้วิธีทำให้ลอยตัว (Flotation) ได้

ในบางกรณีที่น้ำเสียมีสารพิษเช่น โลหะหนัก และสารประกอบอินทรีย์บางชนิด อาจจะมีการกำจัดสารพิษเหล่าก่อนเข้าสู่ระบบชีวภาพ เช่น การปรับ pH และการบำบัดด้วยโอโซน เป็นต้น

2) **ระบบบำบัดขั้นที่สอง** (Secondary Treatment) จะเป็นการบำบัดน้ำเสียโดยการกำจัดสารอินทรีย์ และสารแขวนลอยออกจากน้ำเสียโดยกระบวนการทางชีวภาพและกระบวนการทางเคมี ซึ่งสามารถกำจัดบีโอดีให้ลดลงอีก 50 – 90 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับระบบที่ใช้ ยกตัวอย่างเช่น

2.1) **ระบบตะกอนเร่ง** (AS: Activated sludge) ประกอบด้วยถังเติมอากาศ เพื่อให้จุลินทรีย์ทำการย่อยสลาย BOD เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ออกซิเจน และสร้างจุลินทรีย์ใหม่ขึ้น ระยะเวลาการเติมอากาศมักใช้เวลา 4-8 ชั่วโมง ในถังลึก 3-6 เมตร น้ำเสียจึงถูกนำเข้าถังตกตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Sedimentation) ตะกอนในที่นี้คือ สลัดจ์ (Sludge) หรือจุลินทรีย์ที่ถูกผลิตขึ้น โดยส่วนหนึ่งจะถูกส่งกลับไปยังถังเติมอากาศ เพื่อเป็นเชื้อในการบำบัดต่อไป ส่วนที่เหลือจะถูกส่งไปยังระบบกำจัดสลัดจ์

2.2) **ระบบสระเติมอากาศ** (Aerated Lagoon) ระบบนี้ใช้ปฏิกิริยาทางชีววิทยาเช่นเดียวกับระบบตะกอนเร่ง แต่มักใช้บ่อที่ขุดขึ้นให้ลึก 2-6 เมตร และระยะเวลาเก็บกัก 5-10 วัน ใช้ระบบเติมอากาศบนผิวน้ำ และไม่มีการใช้ตะกอนหมุนเวียน

2.3) **ระบบคูวนเวียน** (Oxidation Ditch) เหมือนกับระบบตะกอนเร่ง แต่ใช้รูปถังเป็นเหมือนรูปคลองรูปไข่ และมักใช้ระบบเติมอากาศบนผิวน้ำแบบแนวนอนที่เรียกว่า Brush Rotor ในถังลึก 1 – 2 เมตร ระยะเวลาเก็บกักราว 24 ชั่วโมง

2.5) **ระบบบ่อผึ่งแดด** (Oxidation Pond) เป็นบ่อบำบัดสารอินทรีย์จากน้ำเสียตามธรรมชาติ อาศัยเพียงการถ่ายเทออกซิเจนจากอากาศเหนือผิวน้ำตามธรรมชาติ และการสังเคราะห์แสงของพืชสีเขียวโดยเฉพาะสาหร่าย ใช้เวลาเก็บกักนานถึง 3 – 6 เดือน ในบ่อลึก 1 – 6 เมตร ปฏิกิริยาขึ้นกับออกซิเจนในบ่อที่ก่อให้เกิดแบคทีเรียแบบ Aerobic Facultative หรือ Anaerobic ถ้าบ่อลึกอาจส่งกลิ่นเหม็นเมื่อเกิดปฏิกิริยาแบบไร้อากาศขึ้นที่ก้นบ่อ เพราะเกิดก๊าซไข่เน่า (H_2S) จากการย่อยสลาย

2.6) **ระบบโปรยกรอง** (Trickling Filter) ใช้วิธีโปรยน้ำเสียบนผิวหน้าของชั้นตัวกลาง เช่น หิน ในถังที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 – 50 เมตร ลึกประมาณ 2 – 6 เมตร โดยอาศัยปฏิกิริยาชีวภาพของจุลินทรีย์เกาะบนผิวของก้อนหิน ปัจจุบันใช้ชั้นของพลาสติกที่ทำเป็นโครงสร้างโปร่งแทนก้อนหิน เพื่อเพิ่มเนื้อที่ให้จุลินทรีย์เกาะ และเพิ่มช่องอากาศ ทำให้น้ำหนักของชั้นตัวกลางเบา สามารถก่อสร้างให้ถังปฏิกิริยาที่บรรจุชั้นตัวกลางมีความสูงได้ถึง 20 เมตร

2.7) **ระบบจานหมุนชีวภาพ** (RBC: Rotating Biological Contactor) ใช้แผ่นพลาสติกทำเป็นรูปทรงกระบอกแนวนอน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 – 3 เมตร แผ่นจะจมอยู่ในน้ำราว 40% - 70% ของพื้นที่หน้าตัดขึ้นกับชนิดของตัวกลาง และหมุนไปช้าๆ รอบแกน เป็นการให้โอกาสจุลินทรีย์ที่ติดอยู่กับแผ่นได้รับอากาศและอาหาร (จากน้ำเสีย) สลับกันไป

2.8) **ระบบบำบัดโดยดิน** (Land Treatment) ได้แก่ การเอาน้ำเสียมาใช้ในการเกษตร หรือปล่อยให้ซึมไปในดิน ทั้งนี้พืชที่ปลูกไม่ควรเป็นพืชที่ใช้ในการบริโภคของมนุษย์ นอกจากน้ำเสียนั้นจะได้รับการฆ่าเชื้อโรคอย่างสมบูรณ์ก่อนแล้ว

สุเทพ สิทธิยาปกรณ์

2.9) **ระบบบ่อผักตบชวา** (Water Hyacinth Pond) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นธรรมชาติโดยอาศัยผักตบชวา ซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสีย โดยใช้สารอินทรีย์ (BOD) รวมทั้งไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำเสียเป็นอาหาร ทั้งยังสามารถดูดสารโลหะหนักและสารพิษ เช่น ทองแดง อาร์เซนิก และตะกั่ว สะสมไว้ในต้นด้วย การเก็บกักใช้เวลา 4 – 15 วัน ผักตบชวาสามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่สารพิษที่สะสมไว้อาจเป็นปัญหาถ้าใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชที่มนุษย์ใช้บริโภค

2.10) **ระบบยูเอเอสบี** (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) เป็นระบบบำบัดแบบไร้อากาศ โดยให้น้ำเสียไหลย้อนกลับจากก้นบ่อที่เลี้ยงจุลินทรีย์ที่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ BOD โดยไม่ใช้อากาศ เพื่อทำลายสารอินทรีย์ และผลิตก๊าซมีเทน (Methane) ระยะเวลาเก็บนานประมาณ 6 ชั่วโมง ในถังลึก 5 เมตร

2.11) **ระบบกักให้ระเหย** (Storage and Evaporation) เป็นระบบที่ใช้บ่อเก็บกักน้ำได้ 6 – 8 เดือนในช่วงหน้าฝน แล้วนำมาตากแห้งแบบนาเกลือบนลานตากในช่วง 4 – 6 เดือนในฤดูแล้ง เพราะประเทศไทยมีแดดจัด สามารถระเหยน้ำได้ 5-6 มิลลิเมตรต่อวัน เมื่อน้ำเสียระเหยไปหมดก็จะเหลือแต่สลัดจ์แห้ง ซึ่งนำมาทำปุ๋ยได้

3) **ระบบบำบัดขั้นที่สาม** (Tertiary Treatment) เป็นการกำจัดน้ำเสียโดยการกำจัดสารแขวนลอย ของแข็งละลายบางชนิด สารอินทรีย์ที่จุลชีพใช้ไม่ได้ สารอาหาร (Nutrient) สี กลิ่น และสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่หลงเหลือจากการบำบัดขั้นที่สอง เช่น การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสีย โดยมักจะมีวัตถุประสงค์เพื่อให้น้ำที่ได้ผ่านการบำบัดแล้วสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก หรือสามารถระบายสู่แหล่งรับน้ำโดยไม่ก่อให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)[2] หน่วยบำบัดในขั้นตอนนี้ อาจประกอบด้วยระบบดังต่อไปนี้

3.1) **การกำจัดไนโตรเจน** (Nitrogen Removal) ได้แก่ การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในน้ำเสียจากแอมโมเนีย (NH_3) ให้เป็นไนเตรต (NO_3^-) โดยกระบวนการ Nitrification ในสภาวะที่มีออกซิเจน และการเปลี่ยนไนเตรต (NO_3^-) ให้เป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) ในกระบวนการ Denitrification ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน เป็นวิธีที่ใช้จุลินทรีย์จำเพาะชนิด เพื่อก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่ต้องการ

3.2) **การกำจัดฟอสฟอรัส** (Phosphorus Removal) ได้แก่ การเปลี่ยนฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำอยู่ ให้เป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำและตกตะกอนแยกจากน้ำได้ สารเคมีที่ใช้ทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัส ได้แก่ สารส้ม (Alum หรือ Aluminum Sulfate) และ Ferric Chloride

3.3) **การกรอง** (Filtration) ได้แก่ การกำจัดปริมาณของแข็งจากน้ำเสีย เพื่อให้ได้น้ำที่มีคุณภาพสูง อาจใช้เยื่อกรอง (Membrane) ซึ่งมักจะมีค่าใช้จ่ายสูง หรือใช้ชั้นตัวกลางเช่น คาร์บอนและทรายขนาดเล็ก ในถังลึกประมาณ 1 เมตร อาจใช้ร่วมกับสารสร้างตะกอน (Coagulant) ช่วยให้ของแข็งจับตัวเป็นก้อนใหญ่ก่อนผ่านชั้นกรอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

3.4) **การดูดติดผิวด้วยถ่าน** (Carbon Adsorption) ได้แก่ การกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำและไม่ถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาทางชีวภาพ เช่น สารที่ทำให้เกิดสีและกลิ่น โดยการให้ถูก

---

[2] ภาวะที่มีธาตุอาหาร เช่นไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส ในแหล่งน้ำมากเกินไปทำให้สาหร่ายเติบโตอย่างรวดเร็ว (Bloom) อาจก่อให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนละลายในน้ำจากการเน่าเปื่อยของสาหร่ายที่ตายและทับถมอยู่ในแหล่งน้ำนั้น หรือในช่วงกลางคืนที่สาหร่ายไม่มีการสังเคราะห์แสง ก่อให้เกิดการขาดแคลนออกซิเจน ความแตกต่างของออกซิเจนในเวลากลางวันและกลางคืนมีผลต่อสิ่งมีชีวิตบางชนิดที่ไม่สามารถทนสภาพดังกล่าวได้ มีผลต่อวงจรห่วงโซ่อาหารในน้ำ (Aquatic Food Chain) รวมทั้งอาจเกิดความเป็นพิษถ้าสาหร่ายที่เติบโตอย่างรวดเร็วเป็นชนิดที่มีพิษ

ดูดไว้บนผิวของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ซึ่งถ่านที่ใช้จนหมดสภาพแล้ว สามารถนำไปฟื้นฟูสภาพ (Regenerate) และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ด้วยการเผาไห้สารอินทรีย์ระเหยไป

3.5) **การแลกเปลี่ยนประจุ** (Ion Exchange) เป็นการใช้สารตัวลางที่มีประจุที่พื้นผิว อาจทำมาจากโพลิเมอร์ หรือผลึกซีโอไลท์ (Zeolite) ที่สามารถแลกเปลี่ยนกับประจุในน้ำได้ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดของแข็งละลาย และไอออนที่ไม่ต้องการออกจากน้ำ

3.6) **การกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนพร้อมกัน** (Combined Removal of Phosphorus and Nitrogen) ได้แก่ การใช้ถังหรือโซนแบบไร้อากาศ กึ่งไร้อากาศ และให้อากาศสลับกัน เพื่อกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจน มักจะเป็นวิธีที่สงวนลิขสิทธิ์ เช่น Bardenpho System UCT หรือ VIP เป็นต้น โดยแต่ละระบบจะมีการออกแบบและควบคุมที่แตกต่างกันโดยเฉพาะ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาตามต้องการ

4) **ระบบการฆ่าเชื้อโรค** (Disinfection) การฆ่าเชื้อเป็นการบำบัดขั้นสุดท้ายก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำหรือนำกลับมาใช้ใหม่ น้ำที่เข้าสู่กระบวนการนี้จะเป็นน้ำใส ถ้าเป็นน้ำที่ขุ่น จะต้องถูกกรองให้ใสก่อนเพื่อให้การฆ่าเชื้อเกิดอย่างมีประสิทธิภาพ วิธีที่ใช้โดยมากมักจะเป็นวิธีทางเคมีโดยการเติมสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง เช่น คลอรีน และโอโซน หรือใช้แสงอัตราไวโอเลต (Ultraviolet, UV) หรือเป็นการผสมระหว่างการใช้โอโซน และแสงอัตราไวโอเลต เป็นต้น

5) **การบำบัดและกำจัดสลัดจ์** (Sludge Treatment and Removal) จากประสบการณ์ในการจัดการแก้ไขปัญหาน้ำเสียในหลาย ๆ ประเทศ พบว่า กระบวนการบำบัดและกำจัดตะกอนในขั้นสุดท้ายเป็นปัญหาที่สำคัญที่ผู้ออกแบบและผู้ควบคุมการดำเนินระบบมักจะประสบกับความยุ่งยากอยู่เสมอ นอกจากนี้ได้พบว่าค่าลงทุนและค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนนับเป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง คืออยู่ในราวร้อยละ 20-40 ของค่าลงทุนและค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโครงการ ไม่คุ้มกับการลงทุนในเชิงพาณิชย์

ตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียต่างๆ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ ซึ่งเมื่อปล่อยทิ้งไว้ก็จะเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และจะมีกลิ่นเหม็นเนื่องจากเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ตะกอนดังกล่าวจะมีปริมาณมากเนื่องจากมีน้ำอยู่ในสัดส่วนสูง (95-99%) ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะมีการบำบัดก่อนที่จะนำไปกำจัดในขั้นสุดท้าย โดยการปรับสภาพ (Conditioning) การรีดน้ำ รวมทั้งทำลายเชื้อโรคและลดกลิ่น (Stabilization) เพื่อลดปริมาณของน้ำในกากตะกอน (Cake) และเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในตะกอนให้มีความเสถียร คือ ไม่เกิดการย่อยสลายของตะกอนหรือย่อยสลายต่อไปได้น้อย การเลือกรูปแบบของกระบวนการบำบัดตะกอน ขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณสมบัติของตะกอน ซึ่งกระบวนการที่ใช้มีหลายวิธี ได้แก่

5.1) **ถังพักตะกอน** (Sludge Storage Tank) ถังพักตะกอนทำหน้าที่กักเก็บตะกอนที่เกิดขึ้น เพื่อรอการหมุนเวียนกลับไปใช้ในถังเติมอากาศบำบัดน้ำเสีย (Return Sludge) หรือรอการกำจัดตะกอน โดยสามารถเก็บกักตะกอนให้สามารถเดินระบบรีดน้ำออกจากตะกอนได้อย่างต่อเนื่อง ภายในถังพักตะกอนมีระบบเติมอากาศ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเน่าเหม็นของตะกอน ระบบสูบตะกอนเข้าระบบรีดน้ำออกจากตะกอน สามารถสั่งการทำงาน และหยุดการทำงานพร้อมกับระบบรีดน้ำออกจากตะกอน

5.2) **ถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน** (Sludge Thickening Tank) เป็นการใช้กระบวนการตกตะกอนในการตกตะกอนที่มาจากถังตกตะกอนขั้นแรกและถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย

เพื่อเพิ่มความเข้มข้นก่อนจะเข้าสู่กระบวนการกำจัดตะกอน เป็นการช่วยลดขนาดของระบบในการกำจัดตะกอน น้ำใสส่วนบนถังจะนำกลับไปบำบัดอีกครั้งในถังเติมอากาศบำบัดน้ำเสีย

5.3) **ถังย่อยสลายตะกอน** (Sludge Digester) เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายทางชีวภาพต่อไปได้ หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำหรือสิ่งแวดล้อมก็จะทำให้เกิดการเน่าเสียจึงมีความจำเป็นต้องกักเก็บตะกอนไว้ให้เกิดการย่อยสลายต่อไปจนมีความเสถียรเพียงพอที่จะนำไปทิ้ง ในกรณีที่ต้องการลดปริมาณตะกอน สามารถออกแบบให้ถังพักตะกอนทำหน้าที่ช่วยย่อยสลายตะกอนได้ โดยแบ่งการย่อยเป็น 2 แบบ คือ

1) **การย่อยแบบใช้อากาศ** (Aerobic digestion) มีลักษณะเหมือนระบบตะกอนเร่ง เพื่อทำลายสารอินทรีย์ที่ไม่คงที่ระเหยง่าย (Volatile) ซึ่งอาจทำให้เกิดกลิ่นเหม็น

2) **การย่อยแบบไม่ใช้อากาศ** (Anaerobic digestion) ได้แก่ การหมักตะกอนในถังไร้อากาศที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อให้จุลินทรีย์ทำปฏิกิริยาเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ไม่คงที่เป็นก๊าซมีเทน ซึ่งอาจนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

5.4) **การใช้สระ** (Lagoon) ได้แก่ การขุดบ่อขึ้นมาเพื่อเก็บตะกอนโดยปล่อยให้มีการตะตะกอนในบ่อตามธรรมชาติ มักมีกลิ่นเหม็น และก่อให้เกิดปัญหาในฤดูฝน

5.5) **เครื่องรีดน้ำออกจากตะกอน** (Sludge Dewatering Machine) สามารถทำให้ตะกอนแห้งได้โดยมีตะกอนแห้งถึงร้อยละ 18 สลัดจ์เปียกทั้งหมด เพื่อที่จะสามารถนำตะกอนแห้งไปทิ้งได้ง่าย การปรับสภาพของตะกอนจะต้องเหมาะสมกับลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้น และมีระบบล้างเศษตะกอนที่ติดอยู่ออกจากเครื่องรีด น้ำที่เกิดขึ้นจากการรีดตะกอนและตะกอนที่หลุดติดมากับน้ำจะนำกลับมาบำบัดใหม่ในถังเติมอากาศบำบัดน้ำเสีย

5.6) **ลานตากแห้ง** (Drying Bed)ได้แก่ การลดปริมาณน้ำในตะกอน โดยใช้ลานตากตื้น ๆ ปกติมีทรายหยาบอยู่ชั้นบนทำให้กรองน้ำจากตะกอนได้ส่วนหนึ่ง ส่วนที่เหลือปล่อยให้น้ำระเหยไปตามธรรมชาติจนเหลือ น้ำร้อยละ 10-40 (มีของแข็งร้อยละ 60-90) แล้วโกยออก จำเป็นต้องใช้พื้นที่มาก

5.7) **ถังพักตะกอนแห้ง** (Sludge Hopper) ถังพักตะกอนแห้งต้องมีจำนวนและปริมาตรที่สามารถเก็บสำรองตะกอนแห้งที่ผ่านการรีดน้ำออกแล้วได้อย่างเพียงพอ และให้รถบรรทุกเข้ามารับและปล่อยทิ้งลงได้โดยตรง

5.8) **เครื่องแยกตะกอนทราย** (Grit Separator) เพื่อรีดน้ำออกจากตะกอนทรายที่มาจากถังแยกทราย และสามารถนำตะกอนทรายไปทิ้งได้สะดวก

ในการกำจัดตะกอนในขั้นสุดท้าย โดยทั่วไปมีแนวทางพื้นฐานดังนี้ คือ

- **การขนส่งผ่านท่อหรือบรรทุกเรือนำไปทิ้งทะเล** (Marine Disposal) เป็นวิธีที่เคยใช้กันในหลายประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองใหญ่ๆ ที่ตั้งอยู่ติดทะเล อย่างไรก็ดีจากผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อคุณภาพน้ำทะเลและระบบนิเวศของแหล่งน้ำชายฝั่ง ทำให้การกำจัดตะกอนโดยวิธีดังกล่าวได้รับการต่อต้านจากหน่วยงานต่างๆ ในปัจจุบันในหลายประเทศได้ออกกฎหมายห้ามมิให้ทำการกำจัดตะกอนโดยทิ้งทะเล หรืออาจยอมให้นำไปทิ้งทะเลได้ แต่ได้กำหนดให้ห่างจากฝั่งออกไปเป็นระยะทางไกลๆ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพิ่มมากขึ้น

- **การนำไปปรับปรุงดิน** (Land Application) โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่เกษตรกรรม ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กัน โดยที่ตะกอนที่นำไปกำจัดอาจอยู่ในรูปตะกอนเปียก หรือตะกอนแห้ง วิธีการดังกล่าวมีข้อดีที่ว่าโดยทั่วไปตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย จะมีสารประกอบหลายอย่างที่เป็นประโยชน์ต่อพืช อาทิเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และธาตุอาหารอื่นๆ ตะกอนที่จะนำไปกำจัดควรจะผ่านกระบวนการบำบัดแล้วและแยกน้ำออกจนที่สภาพเป็นตะกอนแห้ง เพื่อมิให้ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น และปัญหาภาวะมลพิษในพื้นที่ที่นำไปกำจัด ปัญหาของการกำจัดตะกอนวิธีการนี้ คือ ตะกอนอาจมีส่วนผสมของสารบางอย่างซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายในระยะยาวต่อพืชและสัตว์ที่กินพืชนั้นเป็นอาหาร จึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบส่วนประกอบของตะกอนก่อนที่จะนำมาใช้ ปัญหาการหาพื้นที่เกษตรกรรมที่มีเนื้อที่มากพอแล้วมีระยะไม่ไกลจากสถานที่บำบัดน้ำเสียมากเกินไป และหากเป็นพื้นที่นาซึ่งในการทำการเพาะปลูกจำเป็นต้องมีการกักเก็บน้ำในระยะเวลาหนึ่งจะเป็นอุปสรรคต่อการกำจัดตะกอน ปัญหาด้านสภาพภูมิอากาศก็เป็นปัญหาที่สำคัญ โดยเฉพาะช่วงฤดูฝน

- **การนำไปฝังกลบ** (Landfill) โดยตะกอนอยู่ในรูปตะกอนแห้ง โดยตะกอนที่นำไปกำจัดควรจะอยู่ในรูปตะกอนแห้ง (Sludge Cake) ซึ่งมีของแข็งอยู่มากกว่าร้อยละ 30 ของสลัดจ์ทั้งหมด อย่างไรก็ตามเพื่อที่จะให้การกำจัดตะกอนเป็นไปอย่างถูกสุขลักษณะ ควรเป็นการกำจัดแบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) ซึ่งจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน และจำเป็นต้องจัดหาพื้นที่สำหรับการกำจัดที่เหมาะสม ซึ่งมีระยะไม่ห่างไกลจากโรงบำบัดน้ำเสียมากเกินไป ไม่อยู่ใกล้แหล่งชุมชน และมีการศึกษาถึงผลกระทบที่อาจมีต่อคุณภาพน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำผิวดินที่อยู่ใกล้เคียง

- **การเผา** (Incineration) โดยทางทฤษฎีแล้วตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียเป็นวัสดุอย่างดีที่สามารถนำไปกำจัดโดยการเผา ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 80% สามารถที่จะเผาไหม้ได้เองโดยไม่ต้องอาศัยเชื้อเพลิงอื่น การเผามีข้อดีที่สามารถกำจัดตะกอนได้อย่างสมบูรณ์ โดยมิต้องขนส่งไปกำจัดที่อื่น และได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของเตาเผาให้มีประสิทธิภาพสูงและง่ายต่อการควบคุมการทำงาน อย่างไรก็ดีค่าลงทุนในการก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานยังค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ

- **การหมักทำปุ๋ย** (Composting) การหมักทำปุ๋ยเป็นวิธีกำจัดตะกอนที่ดีวิธีหนึ่งสำหรับตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณสารพิษเจือปนอยู่น้อย ด้วยเหตุผลเดียวกันกับการกำจัดโดยนำไปปรับปรุงดิน โดยนำตะกอนมาหมักเป็นเวลาประมาณ 20 วัน อาจมีการผสมกับกากเหลือใช้จากการบวนการผลิตอื่นๆ เช่น ฟางข้าว เพื่อให้แห้งเร็วขึ้น จนมีของแข็งอยู่ร้อยละ 95 และผสมด้วยกากถั่วเหลืองเพื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจน หรือผสมด้วยแกลบเพื่อเพิ่มความร่วนซุย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและการใช้งาน

6.5 การออกแบบระบบบำบัดเสียเบื้องต้น

เนื่องจากมีปัจจัยมากมายที่ทำให้น้ำที่ออกจากระบบบำบัดเปลี่ยนแปลง เช่น ปริมาณน้ำเสีย การเปลี่ยนของสภาวะต่างๆ เป็นต้น ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในเบื้องต้นคือขีดความสามารถของระบบเพื่อให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้ตามที่กฎหมายกำหนด ซึ่งอาจทำได้ด้วยการออกแบบเผื่อ (Safety Factor) โดยใช้วิจารณญาณและประสบการณ์ และทำการเก็บข้อมูลทางสถิติต่างๆ ซึ่งน่าจะเป็นวิธีที่ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมและน่าเชื่อถือกว่า อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าค่าคงที่ต่างๆ ที่ได้จากการทดลองและจากแหล่งข้อมูลมักจะเป็นค่าที่สภาวะอัตราการไหลของน้ำเสียและปริมาณภาระบรรทุกของเสีย (Load) ในน้ำเสียคงที่ ในการออกแบบ จึงมีความจำเป็นที่จะคาดการณ์ช่วงของอัตราการไหลและภาระบรรทุกของเสียในน้ำเสียและรู้ถึงผลกระทบต่อหน่วยบำบัดเมื่อปัจจัยเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลง ยกตัวอย่างเช่น เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น

ประสิทธิภาพของบ่อตกตะกอนจะลดลง เป็นต้น โดยในตาราง 6–1 จะแสดงปัจจัยหลักในการออกแบบและผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีต่อขีดความสามารถของหน่วยบำบัดต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตาราง 6-1 ปัจจัยหลักในการออกแบบและผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีต่อขีดความสามารถของหน่วยบำบัดต่างๆ

หน่วยบำบัด	ปัจจัยหลักที่ใช้ในการออกแบบ	เกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดขนาด	ผลกระทบ
เครื่องสูบน้ำและท่อน้ำ	อัตราการไหลสูงสุดในหนึ่งชั่วโมง	อัตราการไหล	ถ้ามีอัตราการไหลเกินค่าสูงสุดที่ระบบรับได้ อาจเกิดการเอ่อล้นและท่วมใน บ่อสูบน้ำ ระบบรวบรวมน้ำเสีย และในหน่วยบำบัดต่างๆ
ตะแกรง	อัตราการไหลสูงสุดในหนึ่งชั่วโมง	อัตราการไหล	เมื่อน้ำเสียไหลผ่านตะแกรงเร็วขึ้น ทำให้มีการสูญเสียพลังงาน (Head Loss) มากขึ้น
	อัตราการไหลต่ำสุด	ความเร็วของน้ำที่เข้าสู่ทางระบายน้ำ	ของแข็งอาจจะสะสมอยู่ในทางระบายน้ำที่อัตราการไหลต่ำๆ
บ่อดักกรวดทราย	อัตราการไหลสูงสุดในหนึ่งชั่วโมง	อัตราการไหลล้น (Overflow Rate)	ในบ่อดักกรวดทรายแบบน้ำไหลผ่านแล้วตกตะกอน (Flow Through) เมื่อน้ำไหลผ่านเร็วขึ้น ระบบจะมีประสิทธิภาพต่ำลง อาจทำให้มีกรวดทรายไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ในหน่วยบำบัดถัดไป
การตกตะกอนขั้นต้น	อัตราการไหลสูงสุดในหนึ่งชั่วโมง	อัตราการไหลล้น (Overflow Rate)	ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอนลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ทำให้เพิ่มภาระในการบำบัดของเสียของหน่วยบำบัดถัดไป
	อัตราการไหลต่ำสุดในหนึ่งชั่วโมง	ระยะเวลากักเก็บ	ที่อัตราการไหลต่ำๆ ทำให้มีระยะกักเก็บเพิ่มขึ้นจนทำให้น้ำเสียมีกลิ่น
ระบบตะกอนเร่ง	อัตราการไหลสูงสุดในหนึ่งชั่วโมง	ระยะเวลากักพักของน้ำ (Hydraulic Residence Time)	มีการสูญเสียตะกอนที่อัตราการไหลสูง หรือที่อัตราการไหลต่ำๆ อาจจะต้องมีการนำน้ำที่บำบัดแล้วกลับมาในระบบ (Effluent Recycling)
	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุดต่อวัน	อัตราส่วนของสารอินทรีย์ต่อจุลชีพ (Food to Microorganism Ratio, F/M)	ความต้องการออกซิเจนอาจจะสูงเกินความสามารถของระบบเติมอากาศ ทำให้ประสิทธิภาพลดลง
ระบบโปรยกรอง	อัตราการไหลสูงสุดในหนึ่งชั่วโมง	ภาระบรรทุกของน้ำ (Hydraulic Loading)	ที่อัตราการไหลสูงๆ ตะกอน (จุลชีพ) อาจถูกชะออกจากระบบ ทำให้มีประสิทธิภาพลดลง
	อัตราการไหลต่ำสุดในหนึ่งชั่วโมง	ภาระบรรทุกของน้ำและของสารอินทรีย์(Hydraulic and Organic Loading)	เพื่อให้ระบบดำเนินไปได้ อาจจะต้องเพิ่มปริมาณการนำน้ำกลับมาใช้ในระบบใหม่ (Recycling)

สุนทร สุวรรณปัทมา

ตาราง 6-1 ปัจจัยหลักในการออกแบบและผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีต่อขีดความสามารถของหน่วยบำบัดต่างๆ (ต่อ)

หน่วยบำบัด	ปัจจัยหลักที่ใช้ในการออกแบบ	เกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดขนาด	ผลกระทบ
ระบบโปรยกรอง	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุดในหนึ่งวัน	สัดส่วนของมวลภาระบรรทุกต่อปริมาตรของตัวกลาง (Mass Loading / Media Volume)	ในช่วงที่ระบบมีภาระสูงสุด อาจจะมีออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงและเกิดกลิ่น
การตกตะกอนขั้นที่สอง (สำหรับระบบตะกอนเร่ง)	อัตราการไหลสูงสุดในหนึ่งชั่วโมง	อัตราการไหลล้น หรือระยะเวลากักเก็บ	ประสิทธิภาพลดลงที่อัตราการไหลสูงๆ หรือระยะเวลากักเก็บต่ำๆ
	อัตราการไหลต่ำสุดในหนึ่งชั่วโมง	ระยะเวลากักเก็บ	สลัดจ์อาจจะลอยที่ระยะกักเก็บนานขึ้น
ถังเติมคลอรีน (Chlorine - Contact Tank)	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุดต่อวัน	อัตราภาระบรรทุกของแข็ง	อัตราภาระบรรทุกของแข็งที่ไปยังถังตกตะกอนเป็นข้อจำกัด
	อัตราการไหลสูงสุดในหนึ่งชั่วโมง	ระยะเวลากักเก็บ	ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อลดลงเมื่อระยะเวลากักเก็บลดลง

ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงอีกอย่างคือด้านชลศาสตร์ (Hydraulics) ของระบบบำบัดน้ำเสีย หลังจากที่รูปแบบและขนาด และตำแหน่งของหน่วยบำบัดต่างๆ ได้ถูกเลือกแล้ว จะต้องมีการคำนวณด้านชลศาสตร์เพื่อให้ได้เส้นระดับ (Profile) ทางชลศาสตร์สำหรับทั้งกรณีของอัตราการไหลเฉลี่ยและอัตราการอัตราการไหลสูงสุด ค่าการสูญเสียพลังงานผ่านหน่วยบำบัดต่างๆ ได้แสดงในตาราง 6–2

ตาราง 6-2 ค่าการสูญเสียพลังงานผ่านหน่วยบำบัดต่างๆ

หน่วยบำบัด	พลังงานที่สูญเสีย (ซม.)	หน่วยบำบัด	พลังงานที่สูญเสีย (ซม.)
ตะแกรง	15 – 30	ระบบโปรยกรอง	
บ่อดักกรวดทราย		- อัตราการไหลต่ำ	300 – 600
- แบบเติมอากาศ	45 – 120	- อัตราการไหลสูง, หินเป็นตัวกลาง	180 – 480
- ควบคุมความเร็วธรรมดา	45 – 90	- อัตราการไหลสูง, ตัวกลางพลาสติก	480 – 1200
บ่อตกตะกอนขั้นต้น	45 – 90	บ่อตกตะกอนขั้นที่สอง	45 – 90
บ่อเติมอากาศ	20 – 60	ถังกรอง	300 – 480
การดูดติดผิวด้วยถ่าน	300 – 600	ถังเติมคลอรีน	21 – 180

สงวนลิขสิทธิ์

การคำนวณทางชลศาสตร์ใช้เพื่อกำหนดขนาดของทางระบายและท่อที่เชื่อมระหว่างหน่วยบำบัด และเป็นการคำนวณการสูญเสียพลังงาน (Head Loss) ตลอดระบบบำบัด

เส้นระดับ (Profile) ทางชลศาสตร์ มีความจำเป็นเพราะ

- ทำให้แน่ใจได้ว่าน้ำจะไหลผ่านระบบไปได้ตลอดโดยแรงโน้มถ่วง ทำให้ไม่ต้องใช้เครื่องสูบน้ำ
- ทำให้ทราบว่าจะต้องใช้เครื่องสูบน้ำขนาดเท่าใดในจุดที่ต้องติดตั้งเครื่องสูบน้ำ
- เพื่อให้แน่ใจได้ว่าระบบจะไม่ท่วม หรือมีการไหลย้อน ในช่วงที่มีอัตราการไหลสูง

การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียยังมีรายละเอียดการคำนวณสำหรับหน่วยบำบัดต่างๆ อีกมาก ผู้ที่ออกแบบต้องมีความรู้พื้นฐานด้านการวิเคราะห์การไหลและปฏิกิริยาในแต่ละหน่วยบำบัด ซึ่งทำได้โดยการวิเคราะห์สมดุลมวลสาร (Mass Balance) ตามลักษณะของถังปฏิกิริยา (Reactor) ที่เลือกมาใช้เป็นหน่วยบำบัดนั้นๆ

6.6 การนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์ (Wastewater Reclamation and Reuse)

โดยปกติน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมักจะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน แต่ในปัจจุบันได้มีการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์ ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรได้รับการพิจารณาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตที่มีน้ำขาดแคลน สำหรับการเกษตร น้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้ว (ในบางกรณีอาจจะไม่ต้องมีการฆ่าเชื้อโรค) ที่มีคุณภาพเหมาะสมอาจนำมาใช้ใหม่ (Reclaimed Water) ในกิจกรรม เช่น

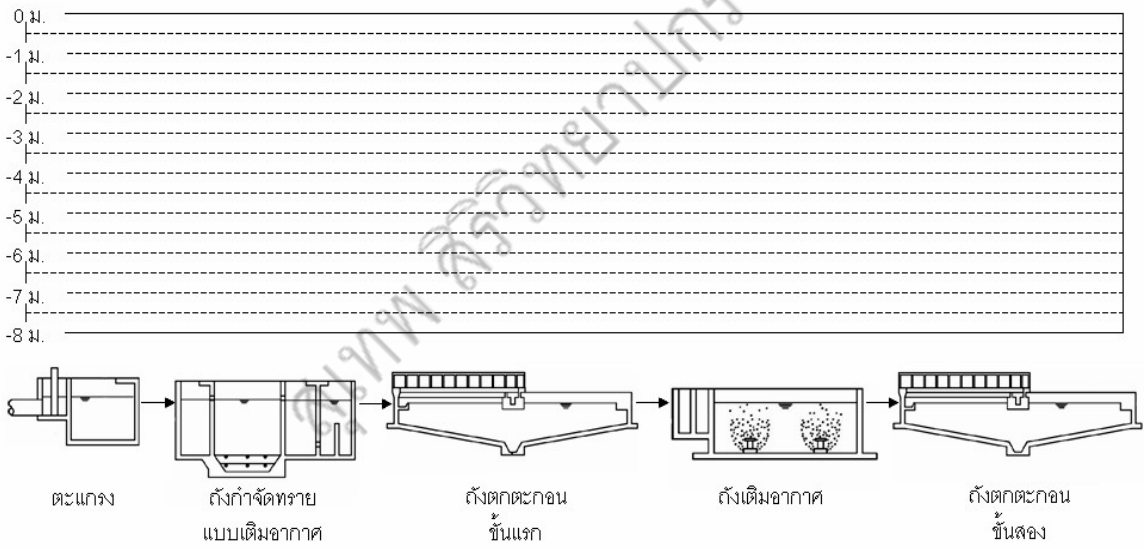
- การเกษตรในการเพาะปลูกพืชผลในสวนและไร่นา
- การชลประทานในการป้องกันน้ำเค็มจากทะเล และเสริมปริมาณน้ำใต้ดิน
- การพาณิชย์ในการรดน้ำสนามกอล์ฟ สนามหญ้า สวนดอกไม้ สวนสาธารณะ
- การอุตสาหกรรม เช่น การลดความเย็น (Cooling) การก่อสร้าง กระบวนการผลิต
- อื่นๆ เช่น ใช้เป็นน้ำสำหรับซักโครก ล้างถนน รดน้ำต้นไม้ ดับเพลิง

อย่างไรก็ตาม ไม่นิยมใช้น้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้วเพื่อการอาบและดื่มกิน (Potable Water) ในการออกแบบเพื่อให้มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ จะมีการแยกระบบเก็บน้ำและเส้นท่อจ่ายน้ำระหว่างน้ำประปาและน้ำที่น้ำกลับมาใช้ใหม่ (Reclaimed Water) อย่างชัดเจน

คำถามท้ายบท

1. ถ้าจะมีการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับชุมชนขนาดใหญ่ ที่มีพื้นที่จำกัด ระบุเกณฑ์ หรือปัจจัยสำหรับการพิจารณาเลือกกระบวนการและหน่วยบำบัดที่เหมาะสม
2. จงอธิบายการลดออกซิเจนในแหล่งรับน้ำทิ้งจากชุมชนทำให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งรับน้ำทิ้ง
3. ถังรับน้ำเสียใบหนึ่งซึ่งปิดสนิทและปราศจากอากาศบรรจุน้ำที่มีองค์ประกอบของ nitrate ions, sulfate ions และ dissolved oxygen จงอธิบายปฏิกิริยาตามลำดับที่ย่อยสลายโดย bacteria และเกิดกลิ่นเหม็นหรือไม่

4. ในแต่ละขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียจาก ระบบบำบัดขั้นต้น ระบบบำบัดขั้นที่สอง จนกระทั่งระบบบำบัดขั้นที่สาม ระบุว่าแต่ละขั้นตอนมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดมลสารประเภทใดเป็นหลัก พร้อมทั้งหลักการและยกตัวอย่างกระบวนการที่ใช้
5. ยกตัวอย่างวิธีการกำจัดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ใช้ในประเทศไทย
6. ระบุปัจจัยหลักที่ใช้ในการออกแบบและเกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดขนาดสำหรับหน่วยบำบัดต่อไปนี้
   6.1) เครื่องสูบน้ำและท่อน้ำ
   6.2) ตะแกรง
   6.3) บ่อดักกรวดทราย
   6.4) การตกตะกอนขั้นต้น
   6.5) ระบบตะกอนเร่ง
   6.6) การตกตะกอนขั้นที่สอง
7. วาดเส้นการเปลี่ยนแปลงระดับทางชลศาสตร์สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียในรูปที่กำหนดให้ต่อไปนี้ เริ่มจากน้ำออกจากตะแกรงที่ระดับอ้างอิงที่ 0 เมตร จนถึง ถังตกตะกอนขั้นสอง



สถาพร ศรีวิทยาเกรียง

บทที่ 7
การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางกายภาพ

ปฏิบัติการหน่วย (Unit Operations) เป็นหน่วยบำบัดน้ำเสียที่มีใช้มาตั้งแต่เริ่มแรกของการมีระบบบำบัดน้ำเสียเพราะเป็นกระบวนการทางกายภาพที่สังเกตุเห็นได้โดยตรง ปฏิบัติการหน่วยที่มักจะพบในระบบบำบัดน้ำเสีย และหน้าที่หลักของหน่วยนั้นๆ ได้สรุปไว้ดังแสดงในตาราง 7–1

ตาราง 7-1 ปฏิบัติการหน่วยที่พบได้ทั่วไปในระบบบำบัดน้ำเสีย และหน้าที่หลัก

ปฏิบัติการหน่วย	หน้าที่หลัก
ตะแกรงหยาบ (Screening)	กำจัดของแข็งขนาดใหญ่กว่าขนาดตาของตะแกรง โดยการดักของแข็งไว้
กวนผสม (Mixing)	ผสมสารเคมีต่างๆ หรืออากาศกับน้ำเสีย หรือทำให้ของแข็งแขวนลอยอยู่ในระบบ
การทำให้เกิดฟล็อก (Flocculation)	ทำให้อนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในน้ำรวมตัวกันให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้มีการตกตะกอนและจมตัวได้ดีขึ้น
การตกตะกอน (Sedimentation)	กำจัดของแข็งที่จมตัวได้ (Settleable Solid) หรือทำให้สลัดจ์ข้นมากขึ้น (Sludge Thickening)
การทำให้ลอย (Flotation)	กำจัดสารแขวนลอย และของแข็งที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำ หรือทำให้สลัดจ์ข้นขึ้น
การตัดย่อย (Comminuting)	การบด ตัด เพื่อย่อยของแข็งชิ้นใหญ่ที่กรองออกจากน้ำเสียให้มีขนาดเล็กลงใกล้เคียงกัน
การกรอง (Filtration)	กำจัดของแข็งที่หลงเหลือจากหน่วยบำบัดทางเคมีหรือชีวภาพ หรือกำจัดสาหร่าย (Algae) ที่อยู่ในน้ำทิ้งของระบบบ่อผึ่งแดด (Oxidation Ponds)
การถ่ายเทก๊าซ (Gas Transfer)	กำจัดก๊าซจากน้ำเสีย (Gas Stripping) หรือเติมอากาศลงในน้ำเสีย (Aeration) หรือการเติมก๊าซโอโซนลงในน้ำ (Ozonation)
การระเหย (Volatilization)	กำจัดสารอินทรีย์ระเหยและสารอินทรีย์กึ่งระเหย (Volatile and Semi-volatile Organic Compounds) จากน้ำเสีย
การดูดติด (Adsorption)	กำจัดสารอินทรีย์ระเหยและสารอินทรีย์กึ่งระเหยจากน้ำเสีย

7.1 ตะแกรงหยาบ

ตะแกรงหยาบมักจะเป็นหน่วยบำบัดที่พบในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยอาจจะเป็นตะแกรงหยาบ ลูกกรง หรือแผ่นวัสดุที่มีรูพรุน ที่มักจะมีขนาดตาหรือช่องเปิดขนาดเดียวกัน อัตราการไหลผ่านหน่วยตะแกรงหยาบโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 30 – 100 เซนติเมตรต่อวินาที การคำนวณสำหรับหน่วยบำบัดแบบนี้จะเป็นการคิดค่าการสูญเสียพลังงาน (Head Loss, H_L) ของน้ำเมื่อไหลผ่านหน่วยบำบัด โดยที่ค่าการสูญเสียพลังงานของน้ำที่ไหลผ่านลูกกรงหรือตะแกรงสะอาดอาจสอบถามได้จากผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย หรือในเบื้องต้นอาจจะประมาณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

7.1.1 ค่าการสูญเสียพลังงานของน้ำที่ไหลผ่านลูกกรงที่สะอาด ประมาณได้จากสมการต่อไปนี้

$$H_L = 1.43\left(\frac{V^2 - v^2}{2g}\right) \qquad (7\text{-}1)$$

โดย H_L = ค่าการสูญเสียพลังงาน (เมตร)

1.43 = ค่าสัมประสิทธิ์ประมาณการสูญเสียพลังงานจากการเกิดความปั่นป่วน

V = ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านช่องเปิดของลูกกรง (เมตรต่อวินาที)

v = ความเร็วของน้ำที่ไหลต้นทางที่ไหลมายังช่องเปิดของลูกกรง (เมตรต่อวินาที)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (เมตรต่อวินาที^{2})

7.1.2 ค่าการสูญเสียพลังงานของน้ำที่ไหลผ่านตะแกรงถี่ที่สะอาด ประมาณได้จากสมการต่อไปนี้

$$H_L = \frac{1}{Z(2g)}\left(\frac{Q}{A_e}\right)^2 \qquad (7\text{-}2)$$

โดย Z = ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลสำหรับตะแกรง

Q = ค่าอัตราการไหลผ่านสำหรับตะแกรง (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

A_e = พื้นที่ของตะแกรงที่มีผลต่อการกรอง (พื้นที่ช่องเปิดทั้งหมด) ซึ่งจมอยู่ใต้น้ำ (ตารางเมตร)

ค่าของ Z และ A_e ขึ้นกับการออกแบบ เช่น ขนาดของช่อง การแบ่งช่อง ขนาดของเส้นลวดและรูปแบบการสาน เป็นต้น ซึ่งจะต้องมีการคำนวณจากการทดลอง อย่างไรก็ตาม ค่าของ Z ที่ใช้ทั่วไปคือ 0.60

อย่างไรก็ตาม ค่าการสูญเสียพลังงานผ่านลูกกรงหรือตะแกรงที่สะอาดมักจะมีค่าไม่มากนัก แต่ค่าการสูญเสียพลังงานจะมากขึ้นเมื่อมีขยะมาอุดตันสะสมที่ลูกกรงหรือตะแกรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งการสูญเสียพลังงานจะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของของแข็งที่ติดอยู่ ลักษณะของตะแกรง เป็นต้น ดังนั้น จะต้องมีการทำความสะอาดตะแกรง และลูกกรงอย่างสม่ำเสมอเพื่อไม่ให้น้ำมีความเร็วลดลงกว่าค่าอัตราเร็วต่ำสุดที่กำหนดไว้ คือ ประมาณ 30 เซนติเมตรต่อวินาที

7.2 การตกตะกอน

การตกตะกอน (Sedimentation) คือการแยกของแข็งที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำออกจากน้ำด้วยแรงโน้มถ่วง การตกตะกอนและการจมตัว (Settling) โดยทั่วไปเป็นศัพท์ที่ใช้แทนกันได้ การตกตะกอนเกิดขึ้นได้ 4 ลักษณะขึ้นกับความเข้มข้นและปฏิสัมพันธ์ระหว่างอนุภาค ดังนี้

1) **การตกตะกอนแบบอนุภาคเดี่ยว หรือแบบที่ 1** (Discrete Particle Settling or Type I) เป็นการตกตะกอนของอนุภาคในน้ำซึ่งมีความเข้มข้นของตะกอนน้อย อนุภาคจะจมลงโดยไม่การปฏิสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคมากนัก เช่น การตกตะกอนกรวดทรายออกจากน้ำเสีย

2) **การตกตะกอนแบบฟล็อก หรือแบบที่ 2** (Flocculation Settling or Type II) เป็นการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยเจือจางที่จับตัวกัน (Coalesce) หรือเป็นฟล็อก ซึ่งอนุภาคจะจมตัวเร็วขึ้นเนื่องจากการรวมตัวกัน เช่น การตกตะกอนของตะกอนบางส่วน หรือสลัดจ์ที่จับตัวเป็นฟล็อก หรือฟล็อกที่เกิดจากการเติมสารเคมีออกจากน้ำ

3) **การตกตะกอบแบบมีอุปสรรคหรือแบบเป็นชั้น หรือแบบที่ 3** (Hindered or Zone Settling or Type III) เป็นการตกตะกอนในกรณีที่สารแขวนลอยมีความเข้มข้นมากพอ จนกระทั่งแรงกระทำระหว่างอนุภาคมีผลทำให้อนุภาคไม่เข้าใกล้กันขณะที่อนุภาคเหล่านั้นจมตัวลง ทำให้ในระหว่างการจมตัว

สุเทพ สุริยกาญจน์

อนุภาคจะอยู่ในตำแหน่งค่อนข้างคงที่เมื่อเทียบกับอนุภาครอบๆ ในกรณีนี้จะเห็นชั้นของตะกอนแยกตัวออกจากน้ำอย่างชัดเจน เช่น การจมตัวของตะกอนสลัดจ์ในถังตกตะกอนขั้นที่สองของระบบชีวภาพ

4) **การตกตะกอนแบบอัด หรือแบบที่ 4** (Compression Settling or Type IV) เป็นการตกตะกอนในกรณีที่สารแขวนลอยมีความเข้มข้นมากจนกระทั่งสารแขวนลอยรวมตัวกันเป็นโครงสร้าง และการจะตกตะกอนต่อไปจะเกิดได้ก็ต่อเมื่อโครงสร้างนั้นยุบตัวลง ซึ่งการยุบตัวลงเกิดจากน้ำหนักของตะกอนที่ตกเพิ่มลงมาสะสมอยู่บนโครงสร้างของตะกอนเดิม เช่น การการตกตะกอนของสลัดจ์ที่อยู่ก้นถังตกตะกอนและในระบบที่ทำให้สลัดจ์ข้นขึ้น

โดยในถังตกตะกอนอาจจะมีมากกว่าหนึ่งกระบวนการและอาจเป็นไปได้ที่มีทั้ง 4 กระบวนการเกิดต่อเนื่องไปด้วยกัน

7.2.1 **การตกตะกอนแบบอนุภาคเดี่ยว (Discrete Particle Settling or Type I)** จากหลักการของแรงฉุด (Drag Force) ที่เป็นผลมาจากแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคและน้ำระหว่างการจมตัวลงโดยแรงโน้มถ่วงที่กระทำบนอนุภาคตามหลักกลศาสตร์ของนิวตัน ความเร็วของการจมของอนุภาคคงที่สุดท้ายหรือความเร็วปลาย (Terminal Velocity, V_c) ของอนุภาค สามารถคำนวณได้จาก

$$V_c = \left[\frac{4}{3}\frac{g(\rho_s - \rho)d}{C_D\rho}\right]^{1/2} \quad (7\text{-}3)$$

โดย V_c = ความเร็วปลายของอนุภาค (เมตรต่อวินาที)

ρ_s = ความหนาแน่นของอนุภาค (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว (น้ำ) (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (เมตร)

C_D = ค่าสัมประสิทธิ์ของการฉุด

ค่าสัมประสิทธิ์ของการฉุดจะมีค่าแตกต่างกันตามลักษณะการไหลของของไหลรอบๆ อนุภาคว่าเป็นแบบลามินาร์ (Laminar) หรือ แบบปั่นป่วน (Turbulent) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของการฉุดของอนุภาคทรงกลมอาจจะประมาณได้จากสมการต่อไปนี้ ในกรณีที่ค่าตัวเลขเรย์โนลดส์ (Reynolds Number, N_R) อยู่ในช่วงของ $0.2 < N_R < 1000$ ซึ่งเป็นช่วงระหว่างการไหลแบบลามินาร์และแบบปั่นป่วน (Transitional Flow)

$$C_D = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{N_R^{1/2}} + 0.34 \quad (7\text{-}4)$$

และ

$$N_R = \frac{V_C\, d\, \rho}{\mu} \quad (7\text{-}5)$$

โดย μ = ความหนืดไดนามิของของเหลว (น้ำ) (Dynamic Viscosity)
(กิโลกรัมต่อเมตรต่อวินาที หรือ นิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร)

สำหรับช่วงของ $10^{-4} < N_R < 0.2$ ซึ่งเป็นช่วงการไหลแบบลามินาร์ สมการ (7-4) จะลดรูปลงเป็น

$$C_D = \frac{24}{N_R} \quad (7\text{-}6)$$

เมื่อแทนค่า C_D จากสมการ (7-6) ลงในสมการ (7-3) จะได้ค่าความเร็วปลายของอนุภาคคือ

$$V_c = \frac{g(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu} \qquad (7\text{-}7)$$

สำหรับช่วงของ $1000 < N_R < 10{,}000$ ซึ่งเป็นช่วงระหว่างการไหลแบบปั่นป่วน ค่า C_D จะคงที่อยู่ที่ประมาณ 0.44 ดังนั้นค่าความเร็วปลายของอนุภาคคือ

$$V_c = 1.74\left[\frac{g(\rho_s - \rho)d}{\rho}\right]^{1/2} \qquad (7\text{-}8)$$

ส่วนช่วง $N_R > 10{,}000$ นั้น ค่า C_D จะลดลงจนมีค่าประมาณ 0.10 อย่างไรก็ตาม การไหลที่มีค่าตัวเลขเรย์โนลดส์สูงขนาดนี้มักจะไม่พบในหน่วยตกตะกอน

ในการออกแบบถังตกตะกอน โดยทั่วไปจะมีการเลือกอนุภาคที่มีค่าความเร็วปลาย (V_c) ขึ้นมาก่อน เพื่อที่จะออกแบบให้ถังตกตะกอนสามารถกำจัดหรือตกตะกอนอนุภาคที่มีค่า V_c สูงกว่าหรือเท่ากับค่า V_c ที่เลือกไว้ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง V_c และอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านออกจากถังตกตะกอน (Q) ดังนี้คือ

$$V_C \geq \frac{Q}{A} \qquad (7\text{-}9)$$

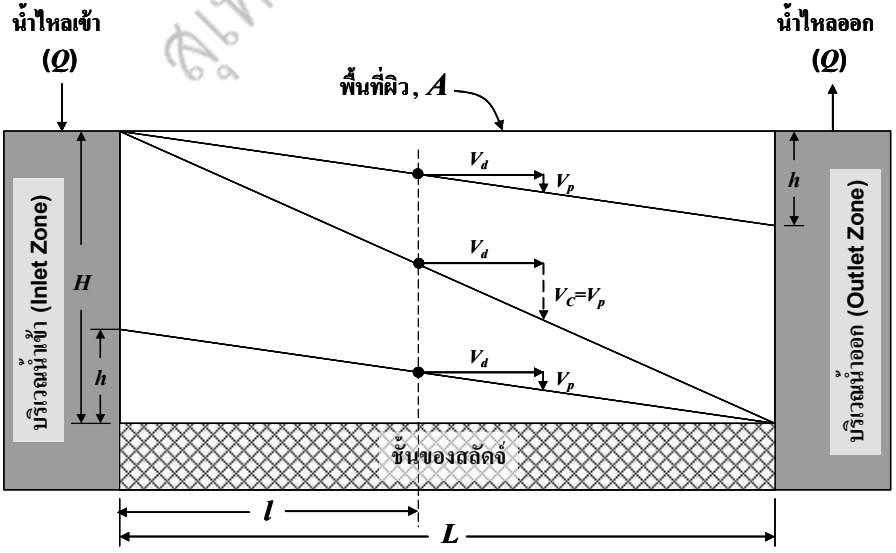
โดย Q = อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านออกจากถังตกตะกอน (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอน (ตารางเมตร)

V_c = ความเร็วปลายของอนุภาค (เมตรต่อวินาที) หรือก็คืออัตราน้ำล้น (Overflow Rate) (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน)

จะเห็นว่าอัตราน้ำล้น (Overflow Rate) หรือเรียกว่าอัตราแบกรับของพื้นที่ผิว (Surface-Loading Rate) ซึ่งก็คือ V_c ที่เลือกไว้นั่นเองเป็นค่าพื้นฐานของการออกแบบ

ในถังตกตะกอนรูปสี่เหลี่ยมที่มีการไหลผ่านในแนวราบ การจมตัวของอนุภาคจะมีทั้งองค์ประกอบของความเร็วในแนวราบและแนวดิ่งดังแสดงในรูปที่ 7-1



รูปที่ 7-1 องค์ประกอบของความเร็วในแนวราบและแนวดิ่งในการจมตัวของอนุภาคในถังตกตะกอนสี่เหลี่ยมสมมุติ

ระยะทางที่อนุภาคเดินทางไปได้ (*l*) คำนวณจาก

$$l = tV_d = \frac{tQ}{HW} \qquad (7\text{-}10)$$

โดย l = ระยะทางที่อนุภาคเดินทางไปได้ (เมตร)

t = เวลาที่เดินทาง (วินาที)

H = ความลึกของน้ำ (เมตร)

W = ความกว้างของถังตกตะกอน (เมตร)

V_d = อัตราเร็วของอนุภาคในแนวราบ (เมตร)

ระยะทางที่อนุภาคเดินทางไปได้ในแนวดิ่ง (*h*) คำนวณจาก

$$h = tV_p \qquad (7\text{-}11)$$

โดย h = ระยะทางที่อนุภาคเดินทางไปได้ในแนวดิ่ง (เมตร)

V_p = อัตราเร็วของอนุภาคในแนวดิ่ง (เมตร)

ดังนั้นเวลาในการจมตัวลึกลงไปเป็นระยะทาง h คือ

$$t = \frac{h}{V_p} \qquad (7\text{-}12)$$

แทนค่าสมการ (7-11) ลงในสมการ (7-10)

$$l = \frac{hQ}{V_p HW} \qquad (7\text{-}13)$$

ดังนั้น ถ้าอนุภาคที่มีความเร็วปลาย (V_c) ทุกอนุภาคจะตกตะกอนภายในถังตกตะกอนทั้งหมด จะได้ว่าอัตราเร็วของอนุภาคในแนวดิ่ง (V_p) มีค่าเท่ากับความเร็วปลาย (V_c) ระยะทางที่อนุภาคเดินทางไปได้ (*l*) มีค่าเท่ากับค่าความยาวของถังตกตะกอน (*L*) และระยะทางที่อนุภาคเดินทางไปได้ในแนวดิ่ง (*h*) มีค่าเท่ากับ ความลึกของน้ำ (*H*) ดังนี้

$$L = \frac{Q}{V_C W} \qquad (7\text{-}14)$$

หรือ

$$V_C = \frac{Q}{LW} = \frac{Q}{A} \qquad (7\text{-}15)$$

ในกรณีนี้ จะเห็นได้ว่าพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนที่มากขึ้น ทำให้มีอัตราแบกรับของพื้นที่ผิว (Surface-Loading Rate) น้อยลงหรือก็คือสามารถตกตะกอนอนุภาคที่มีความเร็วปลายน้อยลง และการตกตะกอนไม่ได้ขึ้นกับความลึกของถังตกตะกอน อย่างไรก็ตาม ระยะเวลากักเก็บ (Retention Time, θ) จะขึ้นกับความลึกของน้ำดังนี้

$$\theta = \frac{AH}{Q} \qquad (7\text{-}16)$$

โดย θ = ระยะเวลากักเก็บ (วินาที)

สุเทพ สรีวิทยาปกรณ์

ในความเป็นจริง ความลึกของถังตกตะกอนมีความสำคัญเพราะถ้าสัดส่วนของความยาวและความลึกน้อยเกินไปมากอาจทำให้การไหลเกิดการไหลไม่ทั่วถึง (Short Circuiting) ทำให้ประสิทธิภาพลดลง ถ้าตื้นเกินไป จะทำให้ตะกอนที่ตกลงไปฟุ้งกลับขึ้นมาได้

ความลึกของถังตกตะกอนเมื่อเทียบกับขนาดของถังตกตะกอนขนาดต่างๆ ได้แสดงไว้ในตาราง 7-2

ตาราง 7-2 ความลึกของถังตกตะกอนเมื่อเทียบกับขนาดของถังตกตะกอน

ความยาว หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของถังตกตะกอน (เมตร)	ความลึกของน้ำต่ำสุด (เมตร)	ความลึกของชั้นสลัดจ์ (เมตร)	ความลึกน้อยที่สุดของถังตกตะกอน (เมตร)
ถังสี่เหลี่ยม			
ขนาดเล็กกว่า 15 เมตร	1.8	0.6	2.4
15 - 30	1.8 – 2.1	0.6	2.4 – 2.7
30 - 45	2.1 – 2.4	0.9	3.0 – 3.3
45 - 60	2.4 – 2.7	1.2	3.6 – 3.9
ถังกลม			
ขนาดเล็กกว่า 15 เมตร	2.0	0.6	2.6
15 - 30	2.0 – 2.3	0.6	2.6 – 2.9
30 - 45	2.3 – 2.6	0.9	3.2 – 3.5
45 - 60	2.6 – 2.9	1.2	3.8 – 4.1

สถาบันวิทยาปกรณ์

ตัวอย่าง 7-1 คำนวณค่าความเร็วปลายของอนุภาคของอนุภาคทรายทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 มิลลิเมตร และมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.65 ที่จมตัวลงในน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

วิธีทำ 1) ขั้นแรกสมมุติว่าเป็นการไหลแบบแบบลามินาร์ โดยจะคำนวณค่าความเร็วปลาย (V_c) จากสมการ (7.7) โดย ความหนืดไดนามิก (μ) ของน้ำที่ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 8.90 x 10^{-4} กิโลกรัมต่อเมตรต่อวินาที ความหนาแน่นของน้ำที่ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 997 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$V_c = \frac{g(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu}$$

$$= \frac{9.81(\text{m-s}^{-2}) \times (2650 - 997)(\text{kg-m}^{-3}) \times (0.4 \times 10^{-3})^2(\text{m}^2)}{18 \times 8.90 \times 10^{-4}(\text{kg} - \text{s}^{-1} - \text{m}^{-1})}$$

$$= 0.162 \ \text{m-s}^{-1}$$

2) นำค่าความเร็วปลาย 0.162 เมตรต่อวินาทีที่คำนวณได้มาหาค่าตัวเลขเรย์โนลดส์ (N_R) ด้วยสมการ (7-5) เพื่อตรวจสอบสมมุติฐานว่าเป็นการไหลแบบแบบลามินาร์

$$N_R = \frac{V_c d \rho}{\mu} = \frac{0.162(\text{m-s}^{-1}) \times 0.4 \times 10^{-3}(\text{m}) \times 997(\text{kg-m}^{-3})}{8.90 \times 10^{-4}(\text{kg} - \text{s}^{-1} - \text{m}^{-1})}$$

$$= 72.6$$

จะเห็นว่า ค่า $0.2 < N_R < 1000$ ซึ่งยังเป็นช่วงระหว่างการไหลแบบลามินาร์และแบบปั่นป่วน

3) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการฉุดจากสมการ (C_D) (7-4)

$$C_D = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{N_R^{1/2}} + 0.34 = \frac{24}{72.6} + \frac{3}{72.6^{1/2}} + 0.3 = 0.67$$

4) คำนวณค่า**ความเร็วปลาย** (V_c) **ซ้ำอีกครั้งแต่คำนวณจากสมการ** (7.3)

$$V_c = \left[\frac{4}{3}\frac{g(\rho_s - \rho)d}{C_D\rho}\right]^{1/2}$$

$$= \left[\frac{4}{3} \times \frac{9.81(\text{m - s}^{-2}) \times (2650 - 997)(\text{kg - m}^{-3}) \times (0.4 \times 10^{-3})(\text{m})}{0.67 \times 997(\text{kg - m}^{-3})}\right]^{1/2}$$

$$= 0.114 \ \text{m - s}^{-1}$$

5) นำค่าความเร็วปลาย 0.114 เมตรต่อวินาทีที่คำนวณได้มาคำนวณซ้ำในขั้นตอนที่ 2) 3) และ 4) จะได้

ค่าตัวเลขเรย์โนลดส์ (N_R) $= 51.1$

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการฉุด (C_D) $= 0.81$

และค่าความเร็วปลาย (V_c) $= 0.103 \ \text{m - s}^{-1}$

นำค่าความเร็วปลาย 0.103 เมตรต่อวินาทีที่คำนวณมีค่าใกล้เคียงกับค่า 0.114 เมตรต่อวินาทีที่คำนวณได้ในรอบแรก จึงสรุปว่าเป็นการไหลในช่วงระหว่างการไหลแบบลามินาร์และแบบปั่นป่วนและ**มีความเร็วปลายเท่ากับ 0.103 เมตรต่อวินาที**

7.2.2 **การตกตะกอนแบบฟล็อก หรือแบบที่ 2 (Flocculation Settling or Type II)** การวิเคราะห์การจมตัวในลักษณะนี้จะใช้การศึกษาจากการจมตัวในกระบอก ขนาดของกระบอกควรจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าใดก็ได้แต่ควรจะมีความสูงเท่ากับความลึกของถังตกตะกอน โดยปล่อยให้ตกตะกอนโดยไม่มีการรบกวน

ในกรณีตัวอย่างนี้จะใช้กระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และมีจุดเก็บตัวอย่างทุกๆ 60 เซนติเมตร ในกระบอกที่มีความสูงรวมประมาณ 3 เมตร (ดังรูปที่ 7-2) น้ำเสียที่มีสารแขวนลอยจะถูกเติมเข้าไปในกระบอก โดยที่ให้มีความเข้มข้นของสารแขวนลอยเท่ากันตลอดความลึกของกระบอก จากนั้นจึงปล่อยให้มีการจมตัวโดยไม่มีการรบกวน จะทำการเก็บตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่าง ณ เวลาต่างๆ เช่น ทุกๆ 20 นาที เพื่อวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) และนำไปคำนวณค่าเปอร์เซนต์ของของแข็งแขวนลอยที่ลดลงในเวลาต่างๆ เทียบกับเวลาเริ่มต้น (R) ค่า R ที่คำนวณได้จากเวลาต่างๆ จะถูกนำไปวาดกราฟที่ระดับความลึก แล้วลากเส้นความกำจัดเท่า (Isoremoval Line) โดยการต่อจุดที่มีค่า R เท่ากัน (ดังรูปที่ 7-2)

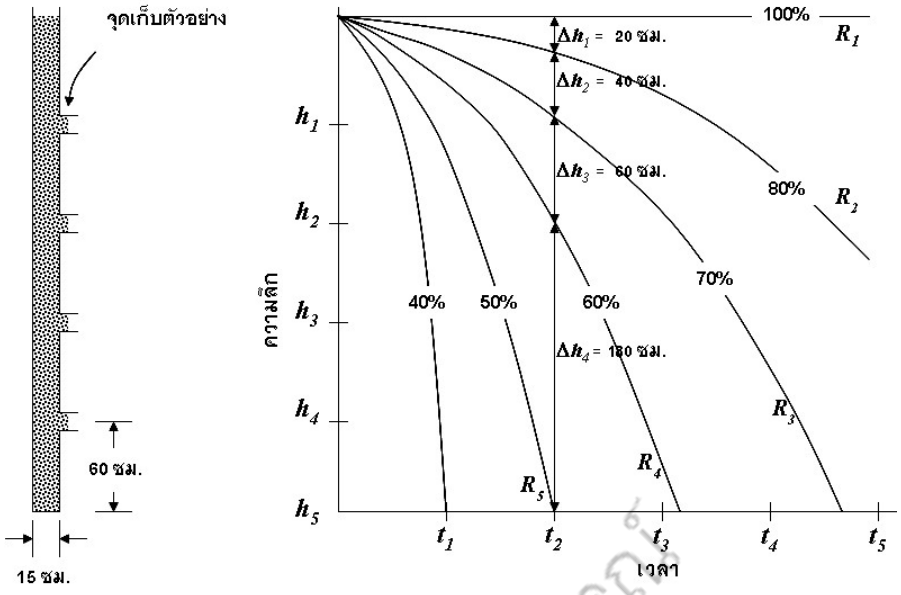
ข้อมูลที่ได้จะนำไปทำการคำนวณปริมาณของแข็งที่ถูกกำจัดออกดังนี้

$$\text{เปอร์เซนต์ของแข็งที่ถูกกำจัด} = \sum_{n=1}^{m-1}\left(\frac{\Delta h_n}{h_m} \times \frac{R_n + R_{n+1}}{2}\right) \qquad (7\text{-}17)$$

โดย h_m = ระดับความลึกรวม (เมตร)

Δh_n = ระดับความลึกระหว่างเส้นความกำจัดเท่า (เมตร)

<u>ตัวอย่าง 7-2</u> คำนวณเปอร์เซนต์ของแข็งที่ถูกกำจัด โดยใช้ข้อมูลจากรูปที่ 7-2



รูปที่ 7-2 กระบอกตกตะกอนและกราฟการจมตัวของฟล็อกในกระบอก

ถ้าถังตกตะกอนมีความลึกเท่ากับกระบอกตกตะกอน คือ h_5 ดังแสดงในรูปที่ 7-2 และเวลากักเก็บเท่ากับ t_2 ปริมาณของแข็งที่ถูกกำจัดทั้งหมดจากกราฟในรูปที่ 7-2 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$\frac{\Delta h_n}{h_5} \times \frac{R_n + R_{n+1}}{2}$	=	เปอร์เซนต์ของแข็งที่ถูกกำจัด
$\frac{0.20}{3.00} \times \frac{100+80}{2}$	=	6.00
$\frac{0.40}{3.00} \times \frac{80+70}{2}$	=	10.00
$\frac{0.60}{3.00} \times \frac{70+60}{2}$	=	13.00
$\frac{1.80}{3.00} \times \frac{60+50}{2}$	=	33.00
$\sum_{n=1}^{m-1}\left(\frac{\Delta h_n}{h_m} \times \frac{R_n + R_{n+1}}{2}\right)$	=	**62.00**

ดังนั้น สำหรับกรณีนี้ อัตราการกำจัดของของแข็งคิดเป็น 62.00 เปอร์เซนต์

จะได้ว่าค่าความเร็วของการจมตัว (Settling Velocity, V_C) คำนวณได้จาก

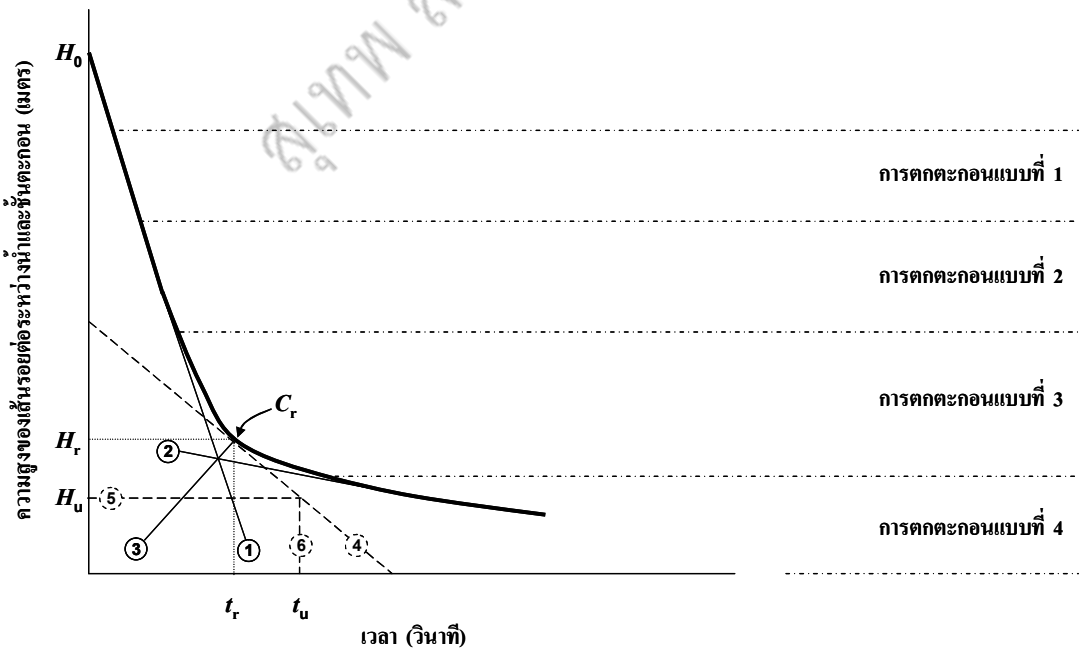
$$V_c = \frac{h_m}{\theta} \qquad (7\text{-}18)$$

ดังนั้น สำหรับตัวอย่างนี้ ถ้าเวลากักเก็บ (t_2) ของถังตกตะกอนในรูปที่ 7-2 เท่ากับ 40 นาที ค่าความเร็วของการจมตัว หรือก็คือและอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านออกจากถังตกตะกอน มีค่าเป็น

$$V_c = \frac{h_m}{\theta} = \frac{h_m}{t_2} = \frac{3.00}{40} = 0.075 \text{ เมตรต่อนาที}$$

ในการนำไปใช้จริง เพื่อให้ได้อัตราการกำจัดของแข็งเท่ากับที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ทดลองได้ในห้องปฏิบัติการ อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านออกจากถังตกตะกอนจริงจะได้จากการคูณอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านออกจากถังตกตะกอนจากการทดลองด้วยค่า 0.65 – 0.85 และค่าระยะเวลากักเก็บจริงจะได้จากการคูณค่าระยะเวลากักเก็บจากการทดลองด้วยค่า 1.25 – 1.5 ซึ่งพื้นที่ของถังตกตะกอนจะสามารถคำนวณได้จากสมการ (7-15)

7.2.3 **การตกตะกอบแบบมีอุปสรรคหรือแบบเป็นชั้น หรือแบบที่ 3 (Hindered or Zone Settling or Type III)** การคำนวณอัตราการจมตัวแบบนี้สามารถทำได้โดยการสังเกตุการตกตะกอนในกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร น้ำตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของตะกอนเป็น C_0 จะถูกเติมลงในกระบอกตวงจนถึงขีดวัดสูงสุด จากนั้นเก็บข้อมูลของตำแหน่งของรอยต่อระหว่างน้ำและชั้นของตะกอนที่เวลาต่างๆ ผลที่ได้จะนำมาวาดกราฟระหว่างตำแหน่งของเส้นรอยต่อและเวลา ดังแสดงในรูปที่ 7-3 จะเห็นว่าความเร็วของอัตราการจมตัวจะลดลงเรื่อยๆ ช่วงที่เข้าสู่จุดหักเหของเส้นกราฟจะเป็นช่วงที่มีการตกตะกอนแบบที่ 3 เป็นจุดที่มีค่าความเข้มข้น C_r ซึ่งหาได้โดยการลากเส้นสัมผัส (Tangential Line) จากช่วงของการตกตะกอนแบบที่ 2 และ 4 (เส้นหมายเลข 1 และ 2 ในรูปที่ 7-3) ณ จุดที่เส้นสัมผัสทั้งสองตัดกัน แบ่งครึ่งมุมของเส้นตัดแล้วลากเข้าหาเส้นกราฟ (เส้นหมายเลข 3 ในรูปที่ 7-3) จะได้จุด C_r และเกิดขึ้นที่ระดับ H_r และที่เวลา t_r ดังแสดงในรูปที่ 7-3



รูปที่ 7-3 กราฟวิเคราะห์การตกตะกอนแบบที่ 3 จากการสังเกตุการตกตะกอนในกระบอก

สุเทพ สรรพโยธาวิทย์

พื้นที่ผิวของถังทำข้นสลัดจ์ (A) สามารถคำนวณได้จาก

$$A = \frac{Qt_u}{H_0} \qquad (7\text{-}19)$$

โดย A = พื้นที่ผิวของถังทำข้นสลัดจ์ (Sludge Thickening) (ตารางเมตร)

Q = อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ถังทำข้น (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

H_0 = ความสูงของของรอยต่อระหว่างน้ำและชั้นของตะกอนเริ่มต้น (เมตร)

t_u = เวลาที่ได้ค่าความเข้มข้นของตะกอนที่ต้องการ (วินาที)

ซึ่ง t_u จะสามารถหาได้จากการกำหนดค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ที่จะระบายออกจากถังตกตะกอน (Underflow Concentration, C_u) ที่ต้องการ ก่อน จากนั้นจึงคำนวณค่า H_u จากสูตร

$$H_u = \frac{C_0 H_0}{C_u} \qquad (7\text{-}20)$$

โดย H_u = ระดับความสูงที่ตะกอนมีความเข้มข้นตามค่าที่กำหนด (เมตร)

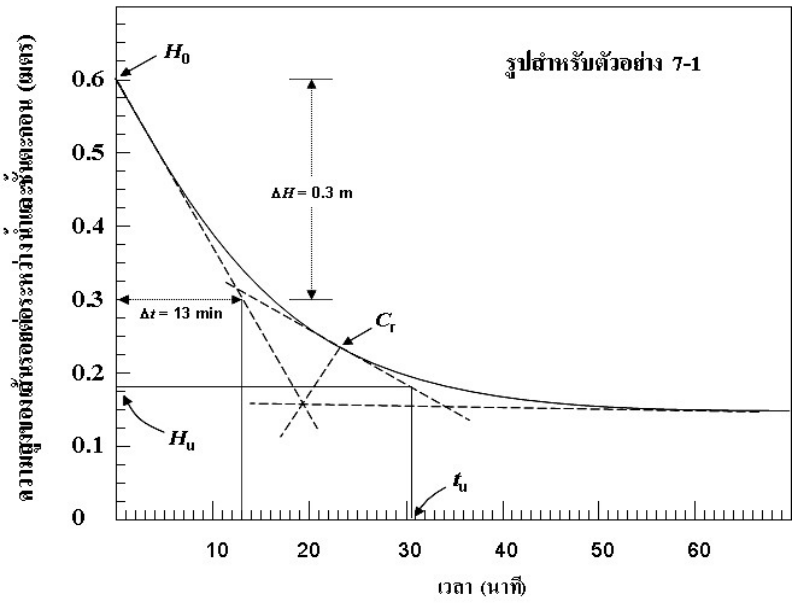
C_0 = ความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_u = ความเข้มข้นของตะกอนที่จะระบายออกจากถังตกตะกอน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ขั้นต่อมาลากเส้นสัมผัสกับจุด C_r (เส้นหมายเลข 4 ในรูปที่ 7-3) จากนั้นลากเส้นขนานแกนเวลาจากจุด H_u มาตัดกับเส้นสัมผัสจุด C_r ที่ลากไว้ (เส้นหมายเลข 5 ในรูปที่ 7-3) จุดตัดของเส้นทั้งสองให้ลากเส้นดิ่งมาตัดแกนเวลา (เส้นหมายเลข 6 ในรูปที่ 7-3) ซึ่งจุดตัดบนแกนเวลาคือค่า t_u

ค่าพื้นที่ผิวที่คำนวณได้จากสมการ (7-19) จะต้องนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากการตกตะกอนแบบที่ 2 แล้วเลือกค่าที่สูงกว่ามาใช้ในการก่อสร้าง ดังแสดงในตัวอย่าง 7-1

ตัวอย่าง 7-3 การวิเคราะห์การตกตะกอนของสลัดจ์จากระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ได้กราฟดังแสดงในรูป



ค่าความเข้มข้นของสลัดจ์เริ่มต้นคือ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับความสูงของรอยต่อระหว่างน้ำและชั้นตะกอนเริ่มต้นคือ 60 เซนติเมตร จงคำนวณขนาดพื้นที่ของถังตกตะกอนขั้นที่สองของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์นี้เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ที่จะระบายออกจากถังตกตะกอนเป็น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีน้ำไหลเข้าระบบ 360 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และคำนวณภาระแบกรับของแข็ง (Solid Loading) ในหน่วย กิโลกรัมต่อเมตรต่อวัน รวมทั้งค่าอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านออกจากถังตกตะกอน (Overflow Rate) ในหน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน

วิธีทำ ขั้นแรกใช้สมการ (7-20) เพื่อหาค่าระดับความสูงที่ตะกอนมีความเข้มข้นตามค่าที่กำหนด (H_u)

$$H_u = \frac{C_0 H_0}{C_u} = \frac{3000(\text{mg - L}^{-1}) \times 0.6(\text{m})}{1000(0\text{mg - L}^{-1})} = 0.18\text{m}$$

จากนั้นลากเส้นขนานแกนเวลาจากจุด H_u ที่คำนวณได้มาตัดกับเส้นสัมผัสจุด C_r จากจุดตัดระหว่างเส้นทั้งสอง ลากเส้นดิ่งมายังแกนเวลาเพื่อหาค่า t_u จากกราฟ ซึ่งจากรูปจะได้ค่า t_u ประมาณ31 นาที ดังนั้นพื้นที่สามารถคำนวณได้จากสมการ (7-19)

$$A = \frac{Qt_u}{H_0} = \frac{360(\text{m}^3\text{ - d}^{-1}) \times 31(\text{min})}{0.6(\text{m}) \times 60(\text{min- hr}^{-1}) \times 24(\text{hr - d}^{-1})} = 13\text{m}^2$$

ดังนั้นพื้นที่ของถังตกตะกอนคือ 13 ตารางเมตร (ถ้าเป็นถังกลมจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4.1 เมตร)

ขั้นต่อมาจึงทำการเปรียบเทียบค่าพื้นที่ที่คำนวณได้ของถังทำข้นกับพื้นที่ของถังตกตะกอนสำหรับกระบวนการทำน้ำใสเท่านั้น (Clarifier) ซึ่งความเร็วของกาารจมตัวสำหรับตะกอนแบบนี้ (V_c) จากรูป จะได้จากความชันของเส้นสัมผัสจากช่วงของการตกตะกอนแบบที่ 2 ซึ่งจากรูป

$$V_c = \frac{\Delta H}{\Delta t} = \frac{0.3(\text{m})}{13(\text{min})} = 0.02\text{m - min}^{-1}$$

จากนั้นคำนวณอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านออกจากถังตกตะกอนสำหรับกระบวนการทำน้ำใสเท่านั้น (Q_c) ซึ่งจะเป็นสัดส่วนกับปริมาตรของของเหลวที่อยู่เหนือชั้นตะกอนมีความเข้มข้นตามค่าที่กำหนด (H_u) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$Q_c = 360(\text{m}^3\text{ - d}^{-1}) \times \left(\frac{0.6(\text{m}) - 0.18(\text{m})}{0.6(\text{m})} \right) = 252\text{m}^3\text{ - d}^{-1}$$

พื้นที่ของถังทำน้ำใส (A_c) ก็คือ

$$A_c = \frac{Q_c}{V_c} = \frac{252(\text{m}^3\text{ - d}^{-1})}{0.02(\text{m - min}^{-1}) \times 60(\text{min- hr}^{-1}) \times 24(\text{hr - d}^{-1})}$$

$$= 8.75\text{m}^2$$

เพราะฉะนั้น พื้นที่ที่ต้องการที่คำนวณได้คือ 13 ตารางเมตรซึ่งเป็นค่าพื้นที่ที่มากกว่า

อัตราภาระแบกรับของแข็ง (Solid Loading Rate) ในหน่วย กิโลกรัมต่อเมตรต่อวัน

$$= \frac{360(\text{m}^3\text{ - d}^{-1}) \times 3000(\text{mg - L}^{-1}) \times 1000(\text{L - m}^{-3}) \times 10^{-6}(\text{kg - mg}^{-1})}{13\text{m}^2}$$

$$= 83.1\text{kg - m}^{-2}\text{ - d}^{-1}$$

เพราะฉะนั้น อัตราภาระแบกรับของแข็ง คือ 83.1 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

ค่าอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านออกจากถังตกตะกอนในหน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน (ซึ่งก็คือค่าเดียวกับอัตราภาระแบกรับทางชลศาสตร์ (Hydraulic-Loading Rate))

$$= \frac{360(\text{m}^3\text{-d}^{-1})}{13\text{m}^2} = 27.7\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\text{-d}} = 27.7\frac{\text{m}}{\text{d}}$$

เพราะฉะนั้น ค่าอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านออกจากถังตกตะกอน คือ 27.7 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน

7.2.4 **การตกตะกอนแบบอัด หรือแบบที่ 4** (Compression Settling or Type IV) พื้นที่ของถังตกตะกอนสำหรับการตกตะกอนแบบนี้อาจใช้การคำนวณเช่นเดียวกับการตกตะกอนแบบที่ 3 ส่วนความลึกของชั้นสลัดจ์ อาจคำนวณจาก

$$H_t - H_\infty = (H_2 - H_\infty)e^{-i(t-t_2)} \qquad (7\text{-}21)$$

โดย H_t = ระดับความสูงของสลัดจ์ที่เวลา t (เมตร)

H_∞ = ระดับความสูงของสลัดจ์หลังจากช่วงเวลานานๆ เช่น 24 ชั่วโมง (เมตร)

H_2 = ระดับความสูงของสลัดจ์ที่เวลา t_2 (เมตร)

i = ค่าคงที่จำเพาะของแต่ละตัวอย่าง

จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณสำหรับการตกตะกอนแบบต่างๆ ที่นำเสนอในที่นี้ จะเป็นการปล่อยให้ตะกอนจมตัวโดยไม่มีการรบกวน (Quiescent) อย่างไรก็ตาม ในการปฏิบัติจริง สำหรับการตกตะกอนในแบบที่ 3 และ 4 การกวนอย่างเบาๆ อาจจะทำให้ตะกอนมีการจับตัวกันดีขึ้น ซึ่งการทดสอบหาค่าพลังงานที่เหมาะสมในการกวนจะทำไปพร้อมกับการทดสอบการจมตัวของตะกอน

7.3 การทำให้ลอย

เป็นการแยกอนุภาคของแข็งและของเหลวที่ไม่ละลายน้ำโดยการเป่าฟองอากาศเข้าไปในน้ำ อนุภาคจะติดอยู่กับผิวของฟองอากาศ และลอยตัวขึ้นพร้อมกับฟองอากาศสะสมอยู่ที่ผิวเป็นชั้นหรือเป็นฝ้า ข้อดีคือทำให้อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ถูกกำจัดได้ในเวลาอันสั้น อนุภาคที่ลอยขึ้นมาจะถูกรวบรวมโดยการกวาดผิว (Skimming) ส่วนอนุภาคที่จมถ้าไม่ได้ถูกกำจัดต่างหาก จะถูกกวาดออกจากพื้นถัง (Rake) การเติมฟองอากาศอาจทำได้โดย

- วิธี Dissolved-Air Flotation (DAF) โดยการเติมอากาศสู่ของเหลวที่อยู่ภายใต้ความดัน (ประมาณ 275 – 350 กิโลปาสคาล) จากนั้นจึงลดความดันของของเหลวลงสู่ระดับความดันบรรยากาศ ทำให้อากาศในของเหลวถูกปลดปล่อยออกมาเป็นฟองเล็กๆ เป็นวิธีที่ใช้แพร่หลาย
- วิธี Air Flotation โดยการเติมอากาศเข้าสู่ของเหลวโดยตรง วิธีนี้โดยทั่วไปประสิทธิภาพจะต่ำเพราะฟองอากาศที่ได้จะมีขนาดใหญ่ ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสมีน้อย
- วิธี Vacuum Flotation ทำได้โดยการทำให้น้ำอิ่มตัวด้วยอากาศก่อน แล้วจึงเข้าสู่ระบบสูญญากาศ ทำให้อากาศที่ละลายอยู่ในน้ำแยกตัวออกมาเป็นฟอง

หน่วยบำบัดชนิดนี้ นอกจากใช้ทำข้นสลัดจ์ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับน้ำแล้ว ยังมีประโยชน์ในการกำจัดอนุภาคไขมันที่แขวนลอยอยู่ในน้ำซึ่งไม่สามารถกำจัดในถังดักไขมันได้ เช่น ในน้ำเสียจากห้องครัวขนาดใหญ่ เป็นต้น น้ำเสียอาจจะถูกทำให้เป็นฟล็อกก่อนเข้าสู่หน่วยบำบัดนี้ ซึ่งอาจจะทำได้โดยวิธีทางเคมี หรือกายภาพ ชนิดของถังสำหรับหน่วยบำบัดชนิดนี้ จะมีทั้งแบบสี่เหลี่ยมและวงกลม เช่นเดียวกับถังตกตะกอน ถังแบบสี่เหลี่ยมจะสะดวกกว่าในคำนวณและออกแบบเพื่อการเพิ่มขนาด (Scale-Up) รวมใช้พื้นที่น้อยกว่า โดยทั่วไปถังสี่เหลี่ยมจะมีความลึกประมาณ 1.5 เมตร และมีอัตราน้ำล้น (Overflow Rate) ในช่วง 190 – 300 เมตรต่อวัน ขึ้นกับน้ำที่จะบำบัด ภายในถังจะมีแผ่นกั้น (Baffle) วางเอียงประมาณ 60 องศา เพื่อนำให้

ฟองอากาศไปสะสมอยู่ที่ผิวและเพื่อลดความเร็วของน้ำ และลดการรบกวนฟล็อกที่ลอยอยู่ ระยะเวลากักเก็บโดยทั่วไปจะอยู่ในราว 5 – 20 นาที ขึ้นอยู่กับอัตราภาระบรรทุก (Loading rate) และความลึกของถัง ตาราง 7-3 จะเป็นการเปรียบเทียบหน่วยกำจัดอนุภาคแบบตกตะกอนและแบบทำให้ลอยด้วยวิธี Dissolved-Air Flotation (DAF)

ตาราง 7-3 ข้อเปรียบเทียบบางประการระหว่างหน่วยกำจัดอนุภาคแบบตกตะกอนและแบบทำให้ลอยด้วยวิธี Dissolved-Air Flotation (DAF)

	ถังตกตะกอน	**ระบบ DAF**
ความสามารถในการกำจัดตะกอนที่หนัก	ได้	ไม่ได้
ความเหมาะสมในการใช้กับน้ำที่มีสาหร่าย	ไม่เหมาะ	เหมาะ
ความง่ายในการริเริ่ม (Start Up) และปิดเปิดระบบขณะทำงาน	ง่าย	ง่ายและทำได้ทันที
ความชำนาญของผู้ควบคุมและดำเนินระบบ	ต่ำ	สูง
ระยะเวลากักเก็บ	สูง	ต่ำ
ค่าลงทุน	สูง - ปานกลาง	ปานกลาง – ต่ำ
ค่าการดำเนินการ	ปานกลาง - ต่ำ	ปานกลาง – สูง

7.4 การตัดย่อย

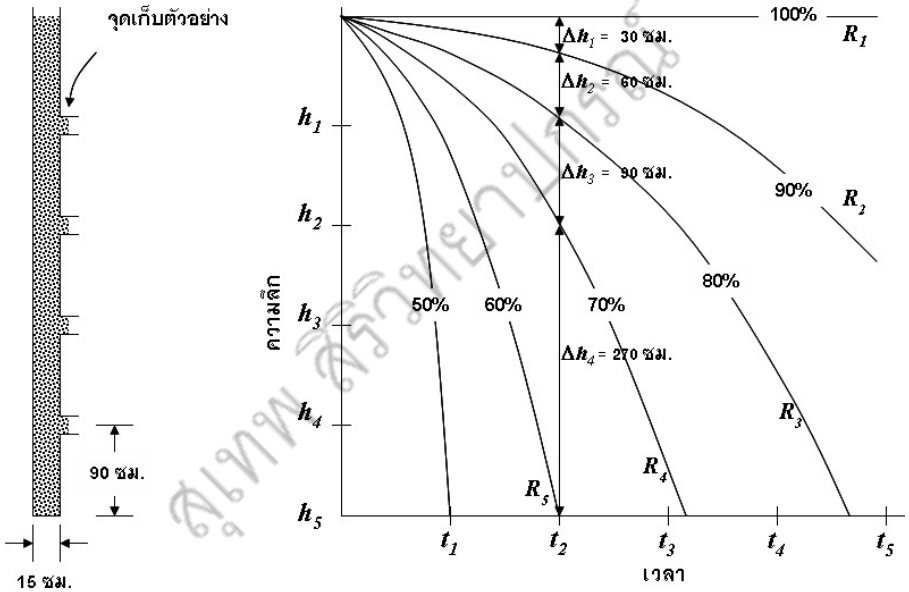
การตัดย่อย เป็นการลดขนาดหรือปริมาตรของของแข็งให้มีขนาดเล็กลงและมีขนาดสม่ำเสมอ มักเป็นของแข็งที่เน่าเปื่อยได้ เช่น เศษเนื้อปลากระดูก เป็นต้น หรือเศษไม้ ในทางทฤษฎีการตัดย่อยเป็นระบบทางเลือกของการกรองหยาบ อย่างไรก็ตาม เศษของของแข็งที่ถูกตัดย่อยแล้วอาจจะยังก่อปัญหากับหน่วยบำบัดถัดไป โดยเฉพาะในหน่วยบำบัดที่มีการปั่นกวน เช่น ถังเติมอากาศ หรือ ถังกวน เพราะของแข็งที่ถูกตัดย่อยมักระรวมตัวกันเป็นเส้น เมื่อมีการกวนผสม และทำให้เกิดการอุดตันที่หัวจ่ายอากาศ หรือส่วนอื่นๆ ของระบบได้ เครื่องตัดย่อยที่ใช้จะมีหลายชนิดขึ้นกับผู้ผลิต อาจจะเป็นชนิดอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ได้

โดยทั่วไป ก่อนถึงหน่วยการตัดย่อย น้ำเสียจะผ่านการกรองหยาบเพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องตัดย่อย และลดการสึกหรอของใบมีดหรือเครื่องตัด ค่าการสูญเสียพลังงาน (Headloss) อาจจะอยู่ในช่วง 0.3 – 1.0 เมตร ในหน่วยตัดย่อยขนาดใหญ่ ค่าที่ใช้ในการออกแบบต่างๆ เช่น ขนาดความจุ และพลังงานที่ใช้ เป็นต้น จะเป็นค่าที่ได้มาจากผู้ผลิตจำหน่าย และมักจะเป็นค่าที่ทดสอบในน้ำสะอาด ดังนั้น ประสิทธิภาพต่างๆ อาจจะลดลง 20 – 25 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณในน้ำเสียจริงอันเนื่องมาจากการอุดตัน

คำถามท้ายบท

1. ยกตัวอย่างปฏิบัติการหน่วยที่พบได้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสียจากชุมชน พร้อมทั้งระบุหน้าที่ของปฏิบัติการหน่วยเหล่านั้น

2. อธิบายลักษณะการตกตะกอนทั้ง 4 แบบต่อไปนี้ และยกตัวอย่างประกอบ
   1) การตกตะกอนแบบอนุภาคเดี่ยว หรือแบบที่ 1
   2) การตกตะกอนแบบฟล็อก หรือแบบที่ 2
   3) การตกตะกอบแบบมีอุปสรรคหรือแบบเป็นชั้น หรือแบบที่ 3
   4) การตกตะกอนแบบอัด หรือแบบที่ 4
3. คำนวณค่าความเร็วปลายของอนุภาคของอนุภาคทรายทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 มิลลิเมตร และมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.65 ที่จมตัวลงในน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยสมมุติว่าตะกอนทรายมีการจมตัวแบบอิสระ
4. จากการทดลองการจมตัวของฟล็อกในกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และมีจุดเก็บตัวอย่างทุกๆ 90 เซนติเมตร ดังรูป คำนวณเปอร์เซนต์ของแข็งที่ถูกกำจัดทั้งหมดที่เวลา t_2 และในกรณีที่ t_2 = 40 นาที คำนวณอัตราการไหลของน้ำที่ออกจากถังตกตะกอน



5. ถ้านำข้อมูลจากข้อ 4. ไปใช้ในการออกแบบถังตกตะกอนจริง คำนวณอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านออกจากถังตกตะกอนจริง ค่าระยะเวลากักเก็บจริง และพื้นที่ผิวของถังตกตะกอน
6. เปรียบเทียบและอธิบายวิธีการกำจัดอนุภาคที่ไม่ละลายน้ำโดยวิธี Dissolved-Air Flotation (DAF) และ Air Flotation

สุเทพ สริวทยาปกรณ์

บทที่ 8
การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการหน่วยทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน

กระบวนการหน่วยทางชีวภาพ (Biological Treatment Process) หรืออาจเรียกเป็นการบำบัดขั้นทุติยภูมิ (Secondary Treatment Process) ในการบำบัดน้ำเสียที่จะกล่าวถึงในที่นี้เป็นระบบใช้อากาศ (Aerobic System) ซึ่งได้แก่

1) ระบบบำบัดแบบการเติบโตแขวนลอย (Suspended Growth System) ได้แก่ ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์หรือเอเอส (Activated Sludge, AS) ระบบบ่อผึ่ง (Oxidation Ponds) ระบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoons) ระบบถังปฏิกรณ์สลับเป็นกะหรือเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR)

2) ระบบบำบัดแบบการเติบโตเกาะติด (Attached Growth System) หรือระบบบำบัดแบบฟิล์มชีวภาพ (Biofilm/Fixed Film System) ได้แก่ ระบบโปรยกรอง (Trickling Filters)

หน้าที่หลักของกระบวนการหน่วยเหล่านี้คือกำจัดสารอินทรีย์ละลาย (Dissolved Organic Matter) รวมทั้งสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กอยู่ในช่วงของคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย โดยการเปลี่ยนสารเหล่านี้ให้อยู่ในรูปตะกอนที่จมตัวได้ในรูปของมวลตะกอนชีวภาพหรือที่เรียกว่าสลัดจ์

8.1 ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์หรือเอเอส

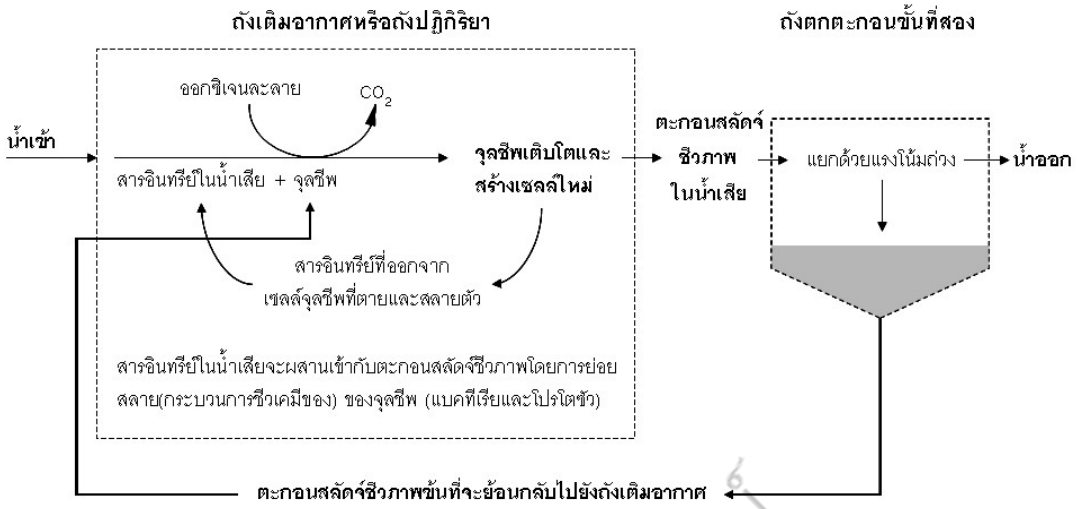
8.1.1 หลักการทำงานของเอเอส

ระบบเอเอสเป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และเหมาะสมในกรณีที่พื้นที่ดินมีจำกัด หรือที่ดินมีราคาแพง และต้องการน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูง หลักการของระบบนี้ก็คือตะกอนสลัดจ์ที่จมตัวลงและถูกแยกออก ซึ่งประกอบด้วยจุลชีพที่ยังมีชีวิตและยังอยู่ในระยะที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Active) จะถูกหมุนเวียนกลับลงไปในถังปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มมวลของจุลชีพในถังปฏิกิริยาและเพิ่มอายุของตะกอนสลัดจ์ในระบบ (Sludge Retention Time, SRT) เพื่อเร่งให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบได้เร็วขึ้น กระบวนการทางชีวภาพของระบบเอเอสสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 8-1 ดังนั้นระยะเวลากักเก็บของตะกอนในระบบจะยาวนานกว่าระยะเวลากักเก็บของน้ำในระบบ (Hydraulic Retention Time, HRT)

โดยปกติน้ำเสียจะต้องผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment) น้ำเสียที่ออกจากถังตกตะกอนขั้นแรก (Primary Sedimentation Tank) จะผ่านเข้าสู่ระบบเอเอส ซึ่งระบบเอเอสทั่วไปประกอบด้วยถังปฏิกิริยาหรือถังเติมอากาศ (Aeration Tank) ซึ่งอาจจะเป็นแบบไหลตามกัน (Plug Flow Reactor) หรือแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Stirred Tank Reactor, CSTR) และถังทำน้ำใสขั้นสอง (Secondary Clarifier)

เมื่อน้ำเสียถูกสูบเข้ามาในถังเติมอากาศเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่น้ำเสีย จะทำให้แบคทีเรียชนิดใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) สามารถเจริญเติบโตและย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (บีโอดี) ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องกลเติมอากาศ โดยอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (บีโอดี) จะถูกเร่งให้เร็วขึ้นโดยการเพิ่มปริมาณออกซิเจน และปริมาณแบคทีเรีย เมื่อปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศมีจำนวนมากขึ้นก็จะจับตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ สีน้ำตาล เรียกว่า Activated Sludge ส่วนน้ำผสมในถังเติมอากาศที่ประกอบด้วยน้ำเสียและตะกอนแบคทีเรีย เรียกว่า Mixed Liquor ซึ่งจะอยู่ในลักษณะแขวนลอยกระจายทั่วทั้งถังเติมอากาศ จากนั้นน้ำเสียจะผ่านเข้าสู่ถังตกตะกอน เพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียออกจากน้ำที่บำบัดแล้ว ซึ่งเป็นน้ำที่ใสสะอาด และมีค่าบีโอดีต่ำ ส่วนตะกอนแบคทีเรียที่จมสู่ก้นถังตกตะกอนส่วนใหญ่จะ

ถูกสูบกลับเข้าถังเติมอากาศ เพื่อรักษาปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศให้คงที่ สำหรับตะกอนส่วนเกินจะต้องนำไปกำจัดโดยระบบแยกน้ำออกจากตะกอนและนำตะกอนไปฝังกลบ



รูปที่ 8-1 กระบวนการทางชีวภาพในระบบเอเอส

ปริมาณจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศจะทำการวัดในรูป Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS) หรือ Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (MLVSS) ประสิทธิภาพของระบบนี้ในการลดบีโอดีจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างปริมาณบีโอดีที่เข้าสู่ถังเติมอากาศกับปริมาณ MLSS หรือ MLVSS ที่อยู่ในถังเติมอากาศ ซึ่งอัตราส่วนนี้คือปริมาณอาหารต่อปริมาณแบคทีเรีย (Food to Microorganism Ratio, F/M Ratio) หรือเรียกว่า Sludge Loading

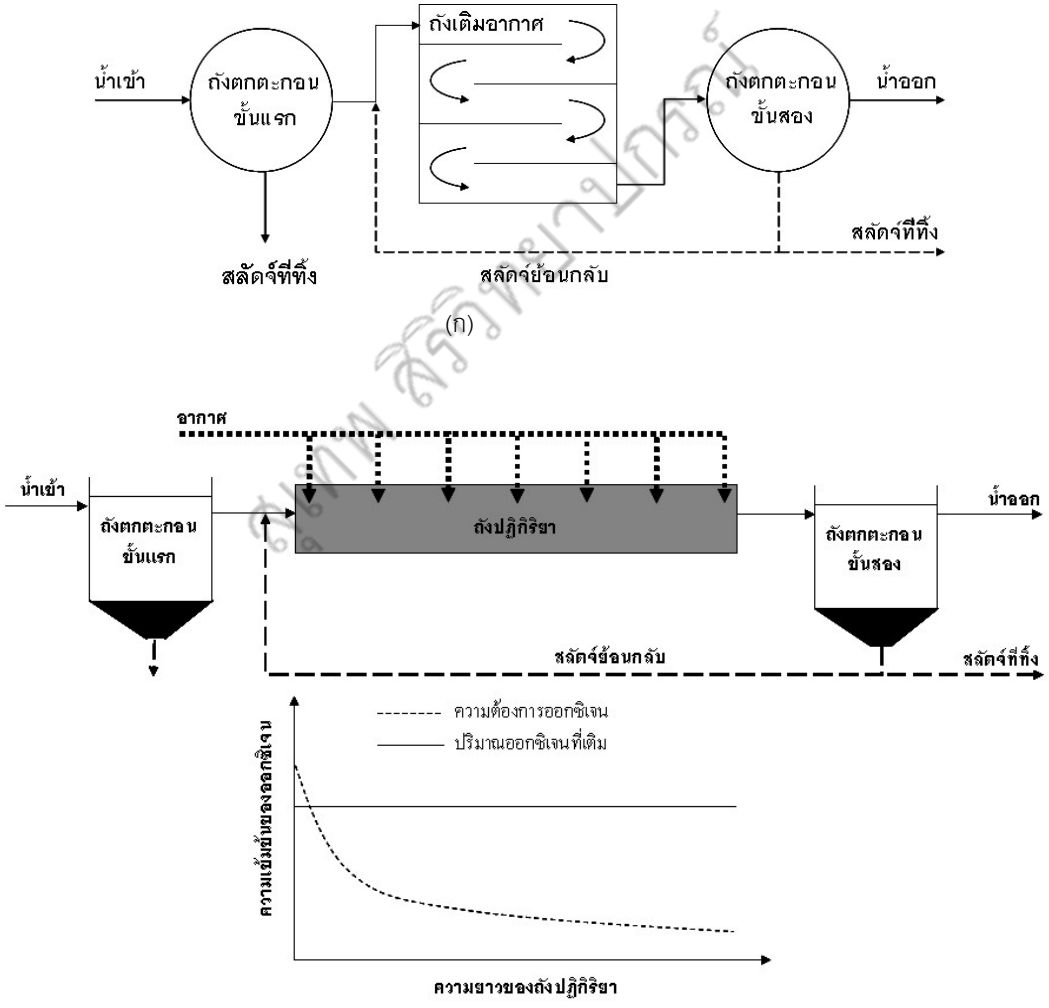
ในการเกิด Activated Sludge ที่ระยะเริ่มแรก ปริมาณแบคทีเรีย จะมีน้อยมากเทียบกับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (บีโอดี) ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างปริมาณอาหารกับปริมาณแบคทีเรีย (F/M Ratio) จึงมีค่าสูงมาก (ประมาณ 2.5) เนื่องจากมีอาหารเหลือเฟือจึงทำให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จะทำให้อัตราการทำลายสารอาหาร (Substrate ซึ่งก็คือ บีโอดี นั้นเอง) และอัตราการใช้ออกซิเจน มีค่าสูงสุดด้วย แบคทีเรียแต่ละตัวจะเติบโต และแบ่งตัวตลอดเวลา เมื่อมาสัมผัสกันทำให้เกิดฟล็อกของแบคทีเรียได้ยาก (ไม่ตกตะกอน) ทำให้น้ำเสียขุ่นด้วยแบคทีเรีย (อยู่ในลักษณะอนุภาคคอลลอยด์) เมื่อมีการเติมอากาศต่อไป โดยไม่มีการให้อาหาร (ไม่เติมน้ำเสียใหม่ลงไป) ให้กับแบคทีเรีย ปริมาณแบคทีเรียยังคงเพิ่มขึ้นอยู่ แต่ปริมาณอาหาร (บีโอดี) จะลดลงเรื่อยๆ ทำให้ F/M Ratio ลดลง จนกระทั่งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียถูกจำกัดด้วยปริมาณอาหาร ระยะนี้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะอยู่ในช่วงถดถอย (Declining Growth Phase) แบคทีเรียบางส่วนจะหยุดเติบโตและไม่แบ่งตัวเพราะอาศัยสารอาหารที่สะสมไว้ในเซลล์ (Endogenous Respiration) เมื่อสัมผัสกันจะจับกันเป็นฟล็อกตกตะกอนได้ซึ่งก็คือ Activated Sludge นั่นเอง ในการเดินระบบ ระบบจะถูกควบคุมให้สัดส่วนปริมาณอาหาร (บีโอดี) ต่อปริมาณแบคทีเรียให้ถังเติมอากาศปกติมีค่าอยู่ในช่วง 0.2 – 0.6 ตะกอนแบคทีเรียจะถูกหมุนเวียนกลับมายังถังเติมอากาศเพื่อทำให้ระบบสามารถรับภาระน้ำเสียได้สูง

สุนทร สิริกาญจนาภรณ์

8.1.2 ระบบเอเอสแบบต่างๆ

ระบบเอเอสเป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นมาก สามารถปรับเปลี่ยนแปลงได้หลายแบบ ความแตกต่างของระบบที่พบ เช่น รูปแบบของถังเติมอากาศ รูปแบบของการเติมอากาศ บางระบบใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์แทนอากาศ หรือมีการผ่านน้ำเสียเข้ากระบวนการบำบัดอื่นนอกจากการกำจัดของแข็งในขั้นแรก ในบางระบบมีการใช้แผ่นกั้น (Baffle) ในถังเติมอากาศ เป็นต้น ระบบเอเอสที่จะกล่าวถึงมี ดังนี้

ระบบเอเอสแบบธรรมดาในถังไหลตามกัน (Conventional Plug Flow Activated Sludge System) ประกอบด้วย ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) ถังตกตะกอน (Settling Tank) และระบบหมุนเวียนตะกอน (Sludge Recycle) ระบบนี้จะใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน (Plug Flow) และตะกอนที่หมุนเวียนกลับมาจะไหลเข้าทางหัวถังเติมอากาศ ที่หัวถังจะมีค่าบีโอดีสูงสุด จากนั้นค่อยๆ ลดลงตามความยาวของถัง ทำให้ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียมีค่าสูงสุดที่ตรงหัวถัง และค่อยๆ ลดลงตามความยาวของถังเช่นกัน (ดังรูปที่ 8–2)



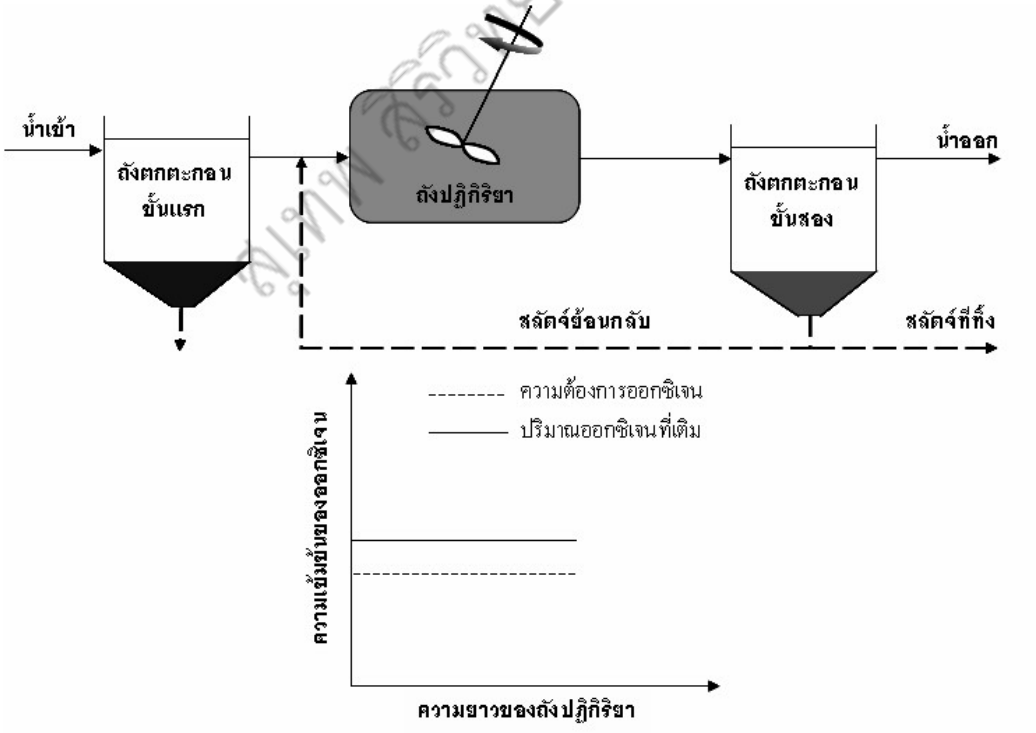
รูปที่ 8-2 ระบบเอเอสแบบธรรมดาในถังไหลตามกัน (ก) ตัวอย่างผังของระบบ (ข) การปลี่ยนแปลงความต้องการออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เติมในถังปฏิกิริยา

โดยทั่วไปความยาวของถังเติมอากาศจะมีค่าเป็น 5-50 เท่าของความกว้างถัง การเดินระบบจะมีการเพิ่มสัดส่วนของสลัดจ์ที่ย้อนกลับตามภาระบรรทุกบีโอดี ระบบนี้จัดเป็นระบบที่ไม่มีความคงตัว (Stability) เนื่องจากภาระบรรทุกเปลี่ยนแปลงตั้งแต่หัวถังถึงปลายถัง ทำให้จำนวนของจุลชีพเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่งผลให้ประสิทธิภาพลดต่ำลงเรื่อยๆ ตามความยาวของถังปฏิกิริยา

ระบบเอเอสแบบธรรมดาในถังกวนสมบูรณ์ (Conventional Completely Mixed Activated Sludge System) ในอดีตระบบเอเอสจะใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน (Plug Flow) ต่อมาสามารถทำระบบกวนแบบกวนสมบูรณ์ (Complete Mix) ได้ โดยให้พลังงานในการกวนอย่างพอเพียงทำให้น้ำเสียและตะกอนที่หมุนเวียนกลับมาเข้าถังเติมอากาศกระจายทั่วถัง ทำให้แบคทีเรียได้รับอาหารและออกซิเจนอย่างทั่วถึง

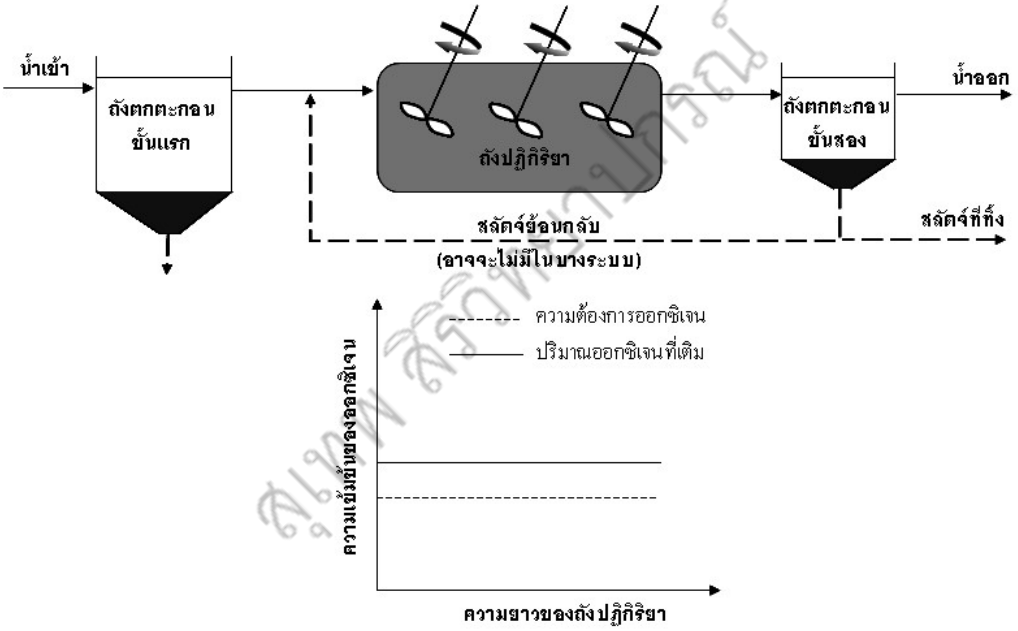
โดยทั่วไป ระบบที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกันจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแบบเส้นใยได้ดีกว่าระบบที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ เนื่องจากถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกันทำให้เกิดการลดหลั่นลงของสารอาหาร ซึ่งเป็นปัจจัยช่วยให้แบคทีเรียแบบสร้างฟล็อกเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบบเส้นใย แต่อย่างไรก็ตาม ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์จะช่วยเจือจางสารพิษหรือความเข้มข้นของน้ำเสียได้ดีกว่า

ในถังปฏิกิริยาแบบนี้น้ำเสียและสลัดจ์จะไหลเข้าถังเติมอากาศสม่ำเสมอตลอดทั่วถัง ทำให้ความเข้มข้นของน้ำเสียและสลัดจ์เท่ากันทุกที่ (ปริมาณ Mixed Liquor เป็นแบบ Homogeneous) ทำให้ความต้องการออกซิเจนและอัตราการเติมออกซิเจนเท่ากันทุกจุด (รูปที่ 8–3) ดังนั้น จึงมีเสถียรภาพในการรับ Shock Load ได้สูงมาก



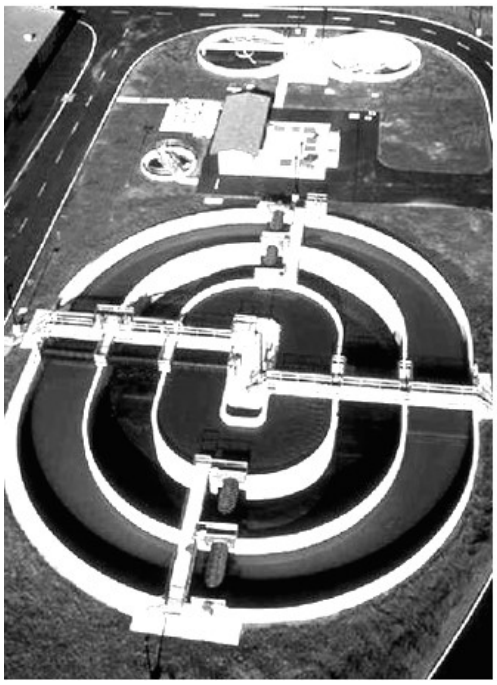
รูปที่ 8-3 ระบบเอเอสแบบธรรมดาในถังกวนสมบูรณ์และการปลี่ยนแปลงความต้องการออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เติมในถังปฏิกิริยา

ระบบยืดเวลาในถังเติมอากาศ (Extended Aeration) คล้ายๆ กับระบบเอเอสแบบธรรมดาที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ แต่มวลชีวภาพหรือปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) จะถูกกักอยู่ในถังเติมอากาศจนกระทั่งจุลชีพมีอัตราการเกิดใกล้เคียงกับอัตราการสลายตัว หรืออยู่ในช่วงการโตช่วง Endogenous Respiration จึงใช้ค่า F/M Ratio ต่ำ ถังเติมอากาศของระบบนี้จึงทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ บำบัดน้ำเสีย (เลี้ยงแบคทีเรีย) และย่อยสลายสลัดจ์ (เป็นถังหมัก) ทำให้มีสลัดจ์ส่วนเกิน (Excess Sludge) ในระบบน้อย ดังนั้นระบบนี้จึงอาจจะไม่จำเป็นต้องมีถังย่อยสลัดจ์ (ถังหมัก) และอาจไม่มีการนำสลัดจ์ย้อนกลับมาใช้ในถังปฏิกิริยา และน้ำที่เข้าระบบอาจเป็นน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดขั้นต้นหรือน้ำเสียดิบ ระบบนี้มีภาระแบกรับของสารอินทรีย์ต่ำและใช้เวลาการเติมอากาศนาน ถังเติมอากาศในระบบนี้ลึก 3-4 เมตร และเป็นแบบกวนสมบูรณ์ ทำให้ความต้องการออกซิเจนและอัตราการเติมออกซิเจนเท่ากันทุกจุด (รูปที่ 8–4) โดยมากจะใช้กับระบบที่รับน้ำเสียไม่ควรเกินกว่า 7,500 ลบ.ม. ต่อ วัน เนื่องมาจากข้อจำกัดของขนาดถังเติมอากาศและสิ้นเปลืองพลังงานต่อหน่วยสูง

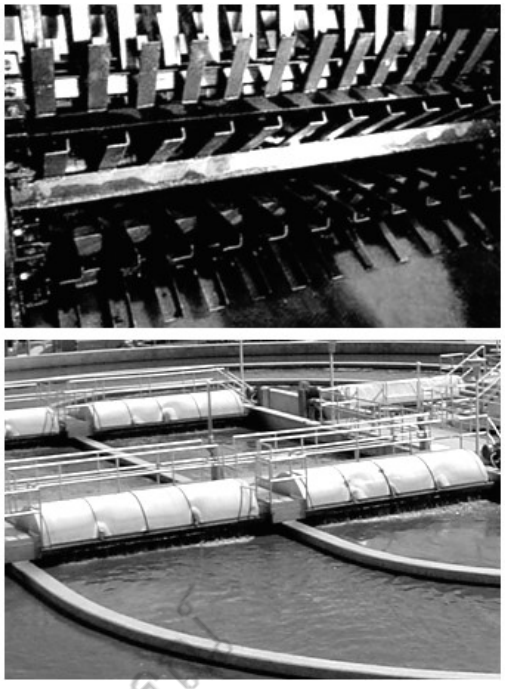


รูปที่ 8-4 ระบบยืดเวลาในถังเติมอากาศและการปลี่ยนแปลงความต้องการออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เติมในถังปฏิกิริยา

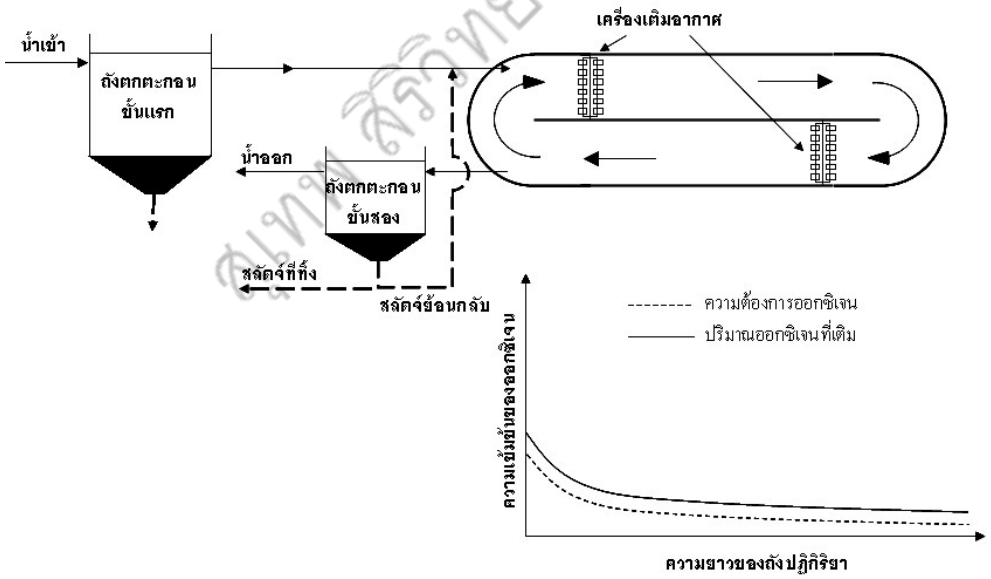
ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) ใช้ถังเติมอากาศเป็นคูวงรี (คล้ายลู่วิ่ง) โดยปกติจะลึกไม่เกิน 2 เมตร จึงกินพื้นที่มาก ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบเติมอากาศทำให้ถังเติมอากาศมีความลึกได้ 4 เมตร โดยทั่วไป มีใช้ Brush Aerator ในการเติมอากาศโดยการตีน้ำหมุนรอบแกนนอนพาดขวางตลอดความกว้างของถังเติมอากาศเพื่อเติมอากาศและกวนน้ำ น้ำเสียจะไหลวนอยู่ภายในถังเติมอากาศที่อัตราเร็วประมาณ 0.30 – 0.40 เมตรต่อวินาที เพื่อให้ตะกอนอยู่ในสภาพแขวนลอย โดยทั่วไปจะมีระยะเวลากักเก็บของน้ำและอายุตะกอนนานคล้ายกับระบบยืดเวลาในถังเติมอากาศ (รูปที่ 8-5)



(ก)



(ข)



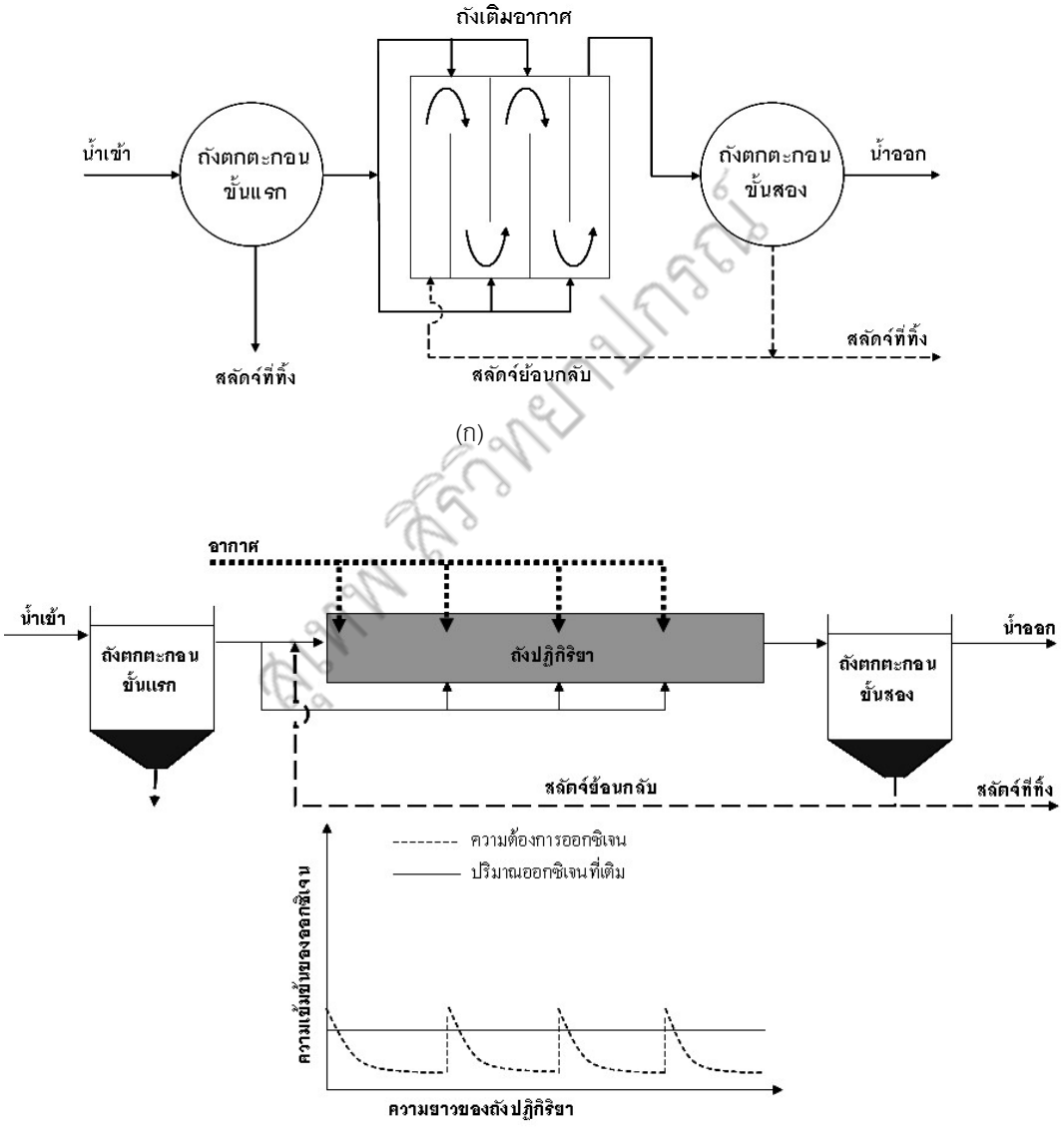
(ค)

รูปที่ 8-5 (ก) ระบบคลองวนเวียน (ข) ลักษณะของ Brush Aerator และ (ค) การปลี่ยนแปลงความต้องการออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เติมในถังปฏิกิริยา

ระบบเติมน้ำเสียเป็นขั้นในถังเติมอากาศ (Step–Feed Aeration) เป็นการดัดแปลงระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกันโดยน้ำเสียจะถูกป้อน (Feed) สู่ถังเติมอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อไม่ให้ความ

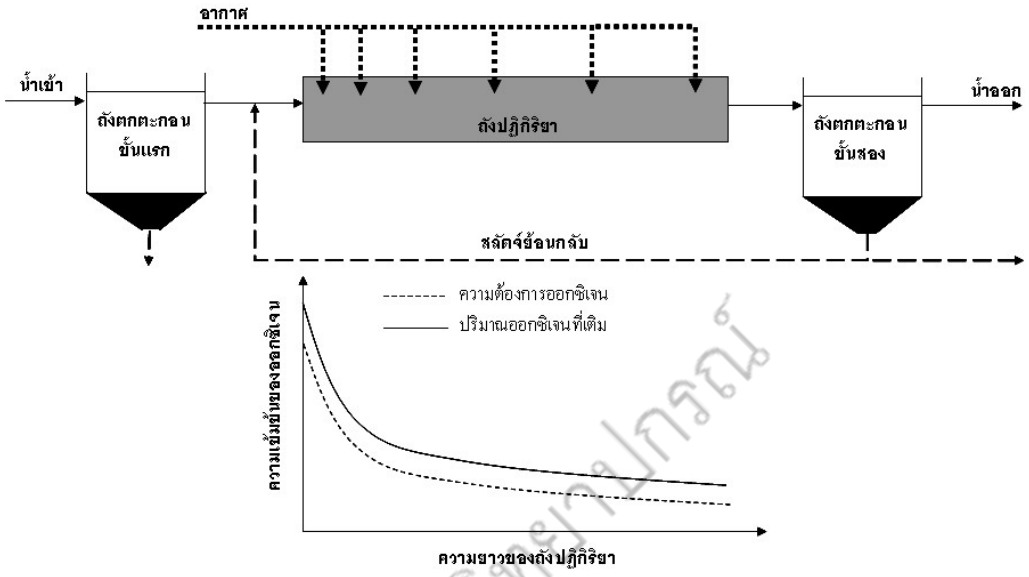
สมพร สริวิทยาปกรณ์

ต้องการออกซิเจนที่หัวถังมากเกินไป และมีจุดจ่ายอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอ ตามทิศทางของการไหล จะทำให้ค่าความต้องการออกซิเจนและค่า F/M ในถังเติมอากาศมีความสม่ำเสมอ ระบบนี้จะมีค่าความต้องการออกซิเจนเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างสม่ำเสมอ (Uniform) ลักษณะเดียวตลอดความยาวของถังเติมอากาศ (รูปที่ 8-6) และทำให้สิ่งแวดล้อมในถังปฏิกิริยาไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนักสำหรับจุลชีพ แต่ปริมาณมวลชีวภาพหรือปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) ในถังจะลดลงตามความยาวของถังเติมอากาศเนื่องจากเกิดการเจือจาง ทำให้มีภาระบรรทุกของแข็งที่ถังตกตะกอนขั้นสองน้อยลง ข้อเด่นของระบบนี้คือความยืดหยุ่นในการเดินระบบ



รูปที่ 8-6 ระบบเอเอสแบบเติมน้ำเสียเป็นขั้นในถังเติมอากาศ (ก) ตัวอย่างผังของระบบ และ (ข) การปลี่ยนแปลงความต้องการออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เติมในถังปฏิกิริยา

ระบบเติมอากาศแบบลดหลั่น (Tapered Aeration) เป็นการดัดแปลงระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกันแต่จะมีอัตราการเติมอากาศกระจายไปตามส่วนต่างๆ ของถังเติมอากาศเป็นสัดส่วนกับค่าบีโอดี นั่นคือ จะมีอัตราการให้อากาศมากที่บริเวณหัวถังเติมอากาศ จากนั้นจะลดลงตามความยาวของถัง ซึ่งทำได้โดยการกระจายหัวจ่ายอากาศให้ห่างกันมากขึ้นตามทิศทางของการไหลในถังปฏิกิริยา (รูปที่ 8–7)

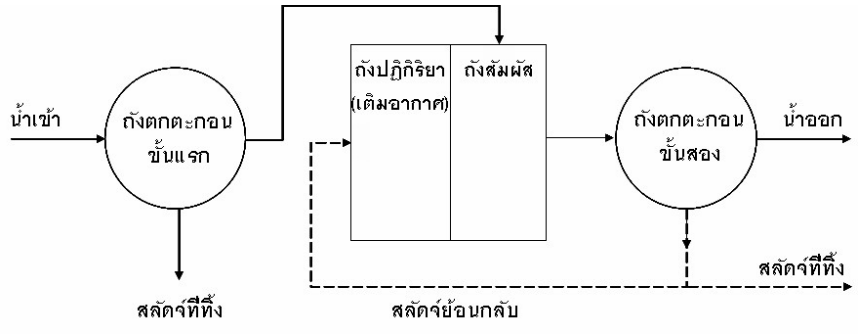


รูปที่ 8-7 ระบบเอเอสแบบเติมอากาศแบบลดหลั่นในถังเติมอากาศ และการปลี่ยนแปลงความต้องการออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เติมในถังปฏิกิริยา

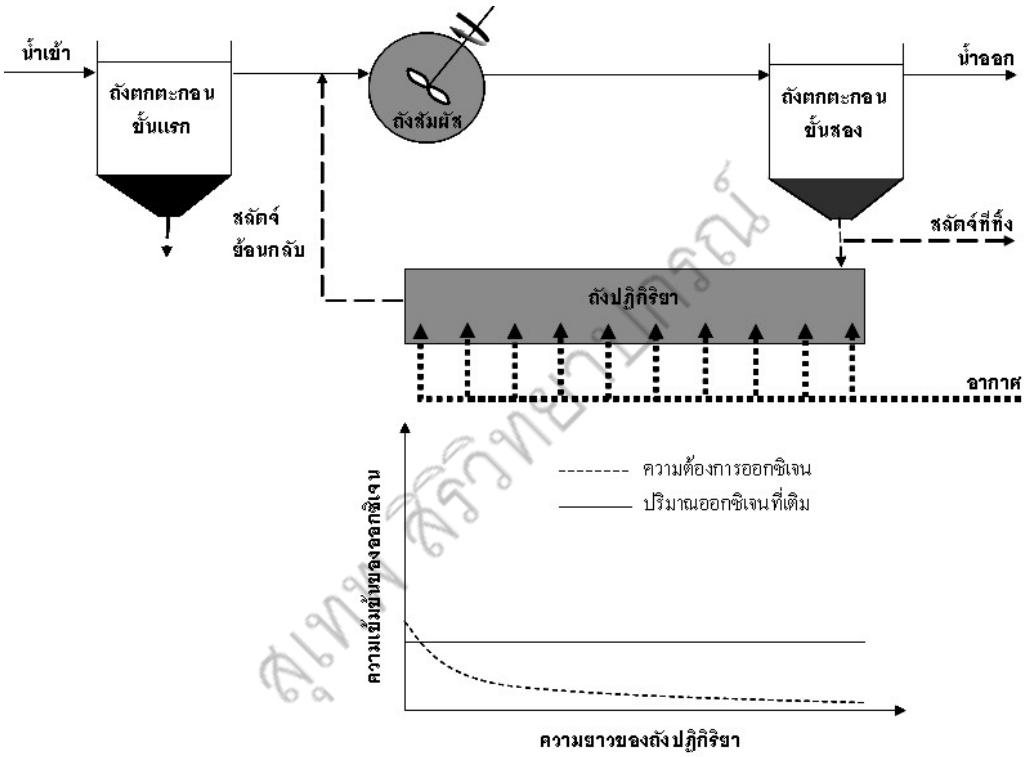
ระบบเติมอากาศแบบลดหลั่นนี้ มีข้อดี 2 ประการ คือ

- ไม่ต้องใช้อากาศมากในการ กระบวนการเติมอากาศทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย
- ป้องกันการเติมอากาศมากเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิด Nitrifying Bacteria ซึ่งเป็นอยู่ในกลุ่ม Autotroph (ใช้แหล่งคาร์บอนจากสารประกอบอนินทรีย์ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์) อันส่งผลให้เกิดความต้องการออกซิเจนสูงขึ้นโดยที่ไม่ลดปริมาณบีโอดี

ระบบปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization) การลดบีโอดีในระบบเอเอสทั่วไปจะเกิดในขั้นตอนเดียวแต่สำหรับระบบนี้จะแบ่งเป็น 2 ระยะ ในขั้นแรกจะเป็นถังสัมผัส (Contact Tank) เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ถังเติมอากาศ สารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำเสียจะถูกดูดซึมโดยตะกอนสลัดจ์เข้มข้นที่ย้อนกลับมาจากถังปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว (รูปที่ 8 – 8) โดยมีระยะเวลาสัมผัส ประมาณ 30 – 90 นาที จากนั้นจะผ่านไปกระบวนการตะกอนสลัดจ์ในถังตกตะกอนขั้นที่สองเพื่อแยกส่วนสลัดจ์ที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ การลดบีโอดีในระยะนี้จะมาจากการดูดซึมมากกว่าการย่อยสลายด้วยกระบวนการชีวเคมีเนื่องจากมีระยะสัมผัสสั้น จึงอาจจะไม่มีการเติมอากาศในระยะนี้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8-8 ระบบปรับเสถียรสัมผัส (ก) ตัวอย่างผังของระบบ และ (ข) การปลี่ยนแปลงความต้องการออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เติมในถังปฏิกิริยา

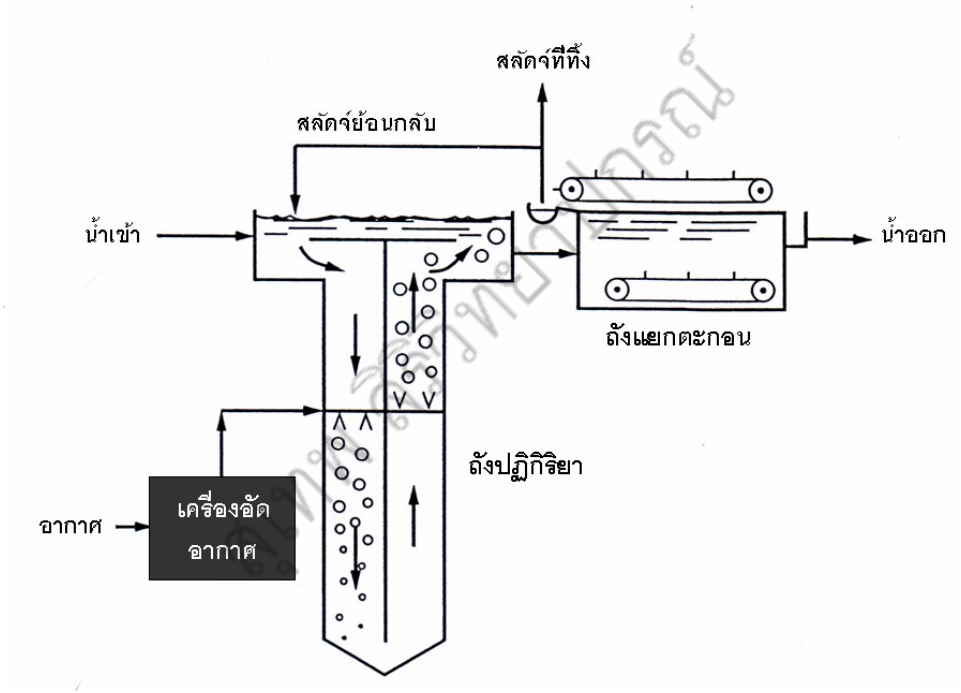
สลัดจ์ที่นำย้อนกลับมาจะถูกส่งต่อไปยังถังปฏิกิริยา หรือเรียกว่าถังทำเสถียร (Stabilization Tank) เพื่อเติมอากาศเป็นเวลา 3 – 6 ชั่วโมง ในขั้นนี้บีโอดีที่ถูกดูดซึมไว้จะถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการชีวเคมีจนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (Stabilization) การย่อยสารอินทรีย์ในถังปฏิกิริยาหรือเรียกว่าถังทำเสถียรจะเกิดขึ้นโดยไม่มีการเติมน้ำเสียใหม่เข้ามาอีก จนกระทั่งแบคทีเรียเข้าสู่ช่วง Endogenous Respiration และพร้อมที่จะดูดซึมสารอินทรีย์อีก จากนั้นจึงส่งกลับไปยังถังสัมผัส (Contact Tank) เพื่อเริ่มวงจรอีกครั้ง

ระบบนี้โดยทั่วไปจะมีขนาดของถังเติมอากาศเล็กกว่าระบบเอเอสแบบอื่นๆ ร้อยละ 20 – 50 ดังนั้นระบบนี้มักจะเป็นระบบที่ปรับปรุงระบบอื่นที่มีอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น หรืออาจเป็นการออกแบบระบบ

สุเทพ สรวยอินทร์

ใหม่เพื่อประหยัดเนื้อที่ ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียชุมชนที่มีสารอินทรีย์ที่ละลายหรือเป็นคอลลอยด์ที่ถูกดูดซึมโดยแบคทีเรียได้ง่ายในปริมาณสูง

ระบบ Deep Shaft Reactor เป็นระบบที่ได้รับการคิดค้นขึ้นและมีการจดสิทธิบัตร เหมาะกับกรณีที่มีพื้นที่จำกัด รูปแบบถังปฏิกิริยาจะเป็นหลุมลึกในแนวตั้ง (Shaft) ลึกประมาณ 120 – 150 เมตร และใช้แทนถังตกตะกอนขั้นแรกและถังเติมอากาศในระบบเอเอส อากาศจะถูกเติมลงไปกับสลัดจ์ย้อนกลับ (Return Sludge) และอัดลงไปด้วยความดันสูงพร้อมกันลงไปไปสู่ก้นหลุมของถังปฏิกิริยา ต่อจากนั้นสลัดจ์และอากาศที่ถูกอัดลงไปจะลอยขึ้นมาพร้อมกับการปล่อยออกซิเจนสู่ถังปฏิกิริยาจากการลดลงของความดันและทำปฏิกิริยากับน้ำเสีย สลัดจ์และน้ำเสียจะถูกแยกจากกันในถังแยกถัดไป (รูปที่ 8 – 9) การเติมอากาศโดยวิธีนี้จะได้ประสิทธิภาพสูง (5 - 8 กก. O_2/kWh) เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการเติมอากาศโดยเครื่องเติมอากาศแบบ Surface Aerators (0.5 - 1.5 กก. O_2/kWh) และแบบ Diffused Aeration (1.5 - 2.5 กก. O_2/KWh) และระบบสามารถรับภาระบรรทุกบีโอดีได้สูงกว่าระบบเอเอสทั่วไป (อาจสูงถึง 3.0 – 3.7 กก.BOD_5 ต่อ ลบ.ม. ต่อ วัน)



รูปที่ 8-9 ระบบ Deep Shaft Reactor (ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003))

ระบบไนตริฟิเคชันในขั้นตอนเดียว เป็นระบบที่บีโอดีและแอมโมเนียจะถูกกำจัดทางชีวภาพในขั้นตอนเดียว รูปแบบของถังปฏิกิริยาจะเป็นการต่ออนุกรมกันของถังปฏิกิริยากวนสมบูรณ์หรือไหลตามกันก็ได้

ระบบไนตริฟิเคชันแยกขั้นตอน จะใช้ถังปฏิกิริยาแยกเฉพาะสำหรับปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันโดยใช้น้ำเสียจากหน่วยบำบัดชีวภาพก่อนหน้า ข้อดีคือสามารถปรับให้การเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเป็นไปตามที่ต้องการได้ง่ายกว่า ทั้งระบบระบบไนตริฟิเคชันในขั้นตอนเดียวและระบบไนตริฟิเคชันแยกขั้นตอนเพื่อลดปัญหาความต้องการออกซิเจนจากไนโตรเจนในน้ำทิ้ง (Nitrogenous Oxygen Demand)

ข้อมูลของระบบเอเอสแบบต่างๆ ที่ได้กล่าวมา ได้แสดงไว้ในตาราง 8 – 1

ตาราง 8–1 แสดงข้อมูลของของระบบเอเอสแบบต่างๆ

ระบบ	ตัวแปร								
	ชนิดของถังปฏิกิริยา	θ_C (วัน)	F/M (กก.BOD_5ต่อ กก.มวลชีวภาพ ต่อวัน)	V_L (กก.BOD_5 ต่อ ลบ.ม. ต่อ วัน)	θ_H (ชั่วโมง)	X (มก. ต่อ ลิตร)	$\frac{Q_R}{Q}$ [1]	ประสิทธิภาพ (% การกำจัด BOD_5)	ปริมาณอากาศที่ต้องการ (ลบ.ม. ต่อ กก. BOD_5)
ระบบทั่วไปแบบไหลตามกัน	ไหลตามกัน	3 – 15	0.2 – 0.4	0.3 – 0.7	4 – 8	1500 – 3000	0.25 – 0.75	85 – 95	45 – 90
ระบบทั่วไปแบบกวนสมบูรณ์	กวนสมบูรณ์	3 – 15	0.2 – 0.6	0.3 – 1.6	3 – 5	1500 – 4000	0.25 – 1.00	85 – 95	45 – 90
ระบบยืดเวลาในถังเติมอากาศ	ไหลตามกัน	20– 40	0.04 – 0.10	0.1 – 0.3	20 – 30	2000 – 5000	0.50 – 1.50	75 – 90	90 – 125
ระบบเติมน้ำเสียเป็นขั้น	ไหลตามกัน	3 – 15	0.2 – 0.4	0.7 – 1.0	3 – 5	1500 – 4000	0.25 – 0.75	85 – 95	45 – 90
ระบบเติมอากาศแบบลดหลั่นลง	ไหลตามกัน	5 – 15	0.2 – 0.4	0.3 – 0.6	4 – 8	1500 – 3000	0.25 – 0.50	85 – 95	45 – 90
ระบบคลองวนเวียน	ไหลตามกัน	15 –30	0.04 – 0.1	0.1 – 0.3	15 – 30	3000 – 5000	0.75 – 1.50	85 – 90	80 – 125
ระบบปรับเสถียรสัมผัส		5 – 10	0.2 – 0.6	1.0 – 1.3	–	–	0.50 – 1.50	80 – 90	45 – 90
-ในถังสัมผัส	กวนสมบูรณ์	–	–	–	0.5 – 1.5	1000 – 3000	–	–	–
-ในถังเติมอากาศซ้ำ (ถังปฏิกิริยา)	ไหลตามกัน	–	–	–	2 – 6	6000 - 10000	–	–	–
ระบบ Deep Shaft Reactor	ไหลตามกัน	–	0.5 – 5.0	–	0.5 – 5	–	–	–	–
ระบบไนตริฟิเคชันในขั้นตอนเดียว	–	8 – 20	0.10 – 0.25 (*0.02 – 0.15*)[2]	0.1 – 0.4	6 – 15	2000 – 3500	0.50 – 1.50	–	–
ระบบไนตริฟิเคชันแยกขั้นตอน	–	15 – 100	0.05 – 0.20 (*0.02 – 0.15*)[2]	0.05 – 0.15	3 – 6	2000 – 3500	0.50 – 2.00	–	–

[1] สัดส่วนของอัตราการไหลของสลัดจ์ที่นำย้อนกลับมาต่ออัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ

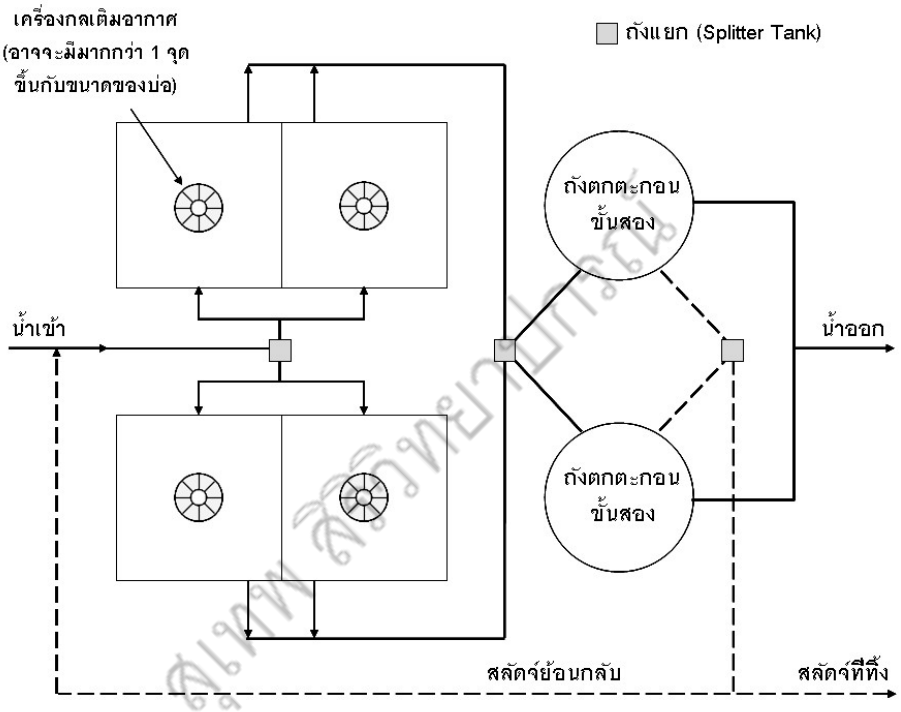
[2] TKN/MLVSS

ที่มา รวบรวมจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003); EPA 832-F-00-013(2000); และ Peavy *et.al.* (1986)

สุเทพ สิงห์ยะการณ์

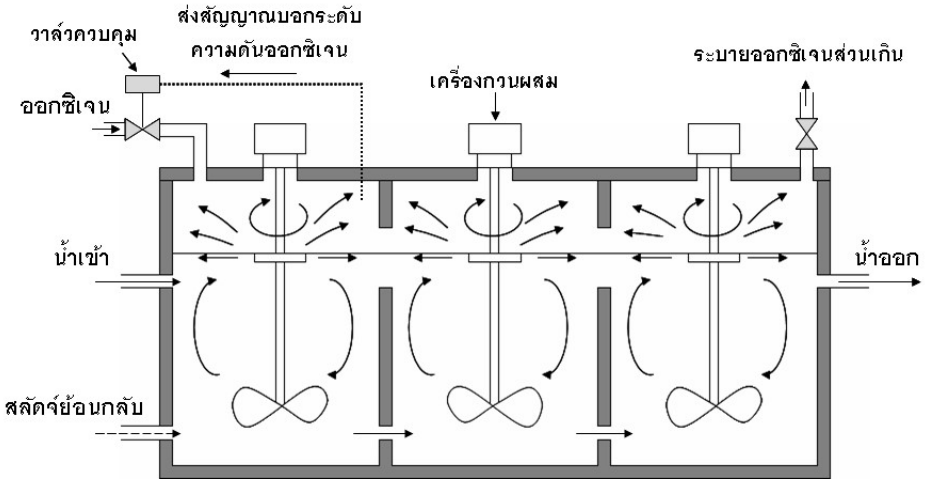
8.1.3 การเติมออกซิเจน

ในระบบเอเอส จะใช้เครื่องกลในการเติมออกซิเจนที่ต้องการในถังเติมอากาศ สำหรับระบบกวนสมบูรณ์จะใช้เพื่อการกวนผสมด้วย โดยจะเป็นการเติมอากาศธรรมดาหรือในบางระบบเป็นระบบที่ใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์สูง (Hihg Purity Oxygen) (รูปที่ 8 – 10 และ 8 – 11) ในทางทฤษฎี ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการ คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพต้องการในระบบเอเอส (รวมถังตกตะกอนและในส่วนสลัดจ์ย้อนกลับ) เพื่อออกซิไดซ์สารอินทรีย์และให้มีปริมาณออกซิเจนละลายคงไว้ โดยในทางปฏิบัติ ในถังเติมอากาศควรมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ 1.5 – 4 มก./ลิตร ซึ่งค่าที่ใช้ทั่วไปคือ 2.0 มก./ลิตร ค่าออกซิเจนละลายที่สูงกว่า 4 มก./ลิตร จะไม่ช่วยในเรื่องประสิทธิภาพแต่จะเพิ่มค่าใช้จ่ายจากการเติมอากาศโดยไม่จำเป็น



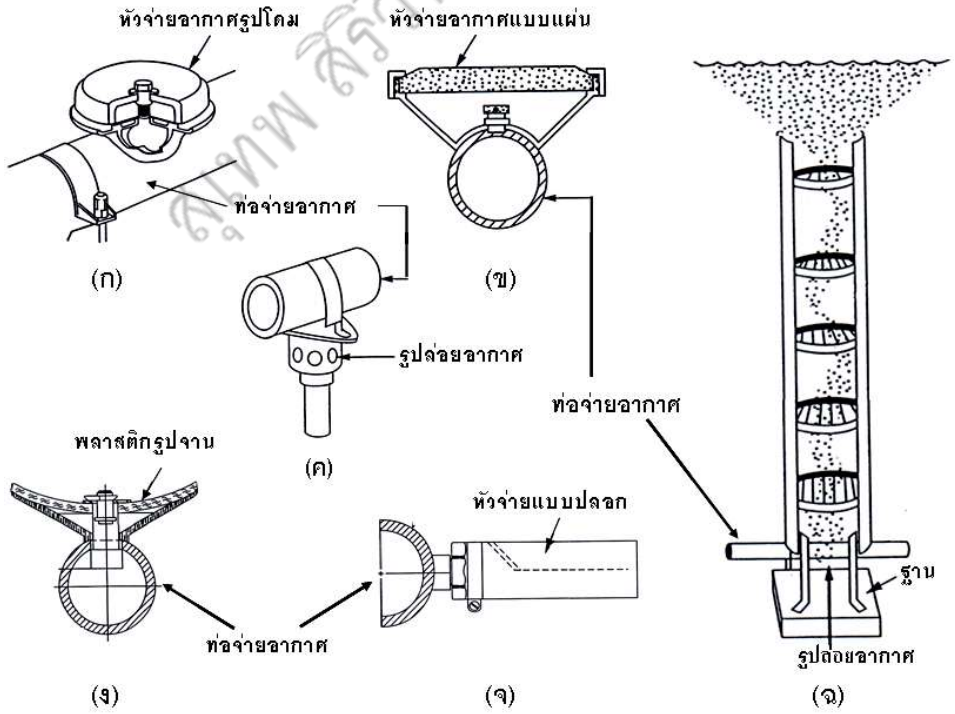
รูปที่ 8-10 ผังระบบเอเอสและการวางเครื่องกลเติมอากาศในระบบที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ (ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003))

ความต้องการอากาศสำหรับระบบเอเอสทั่วไปจะอยู่ที่ 30 – 55 ลบ.ม. ต่อ กก. BOD_5-ที่ต้องการกำจัด สำหรับหัวเป่าให้อากาศแบบไม่มีรูพรุนที่ให้ฟองอากาศขนาดใหญ่ (Coarse Bubble (Non Porous) Diffuser) และ 24 – 36 ลบ.ม. ต่อ กก. BOD_5-ที่ต้องการกำจัด สำหรับหัวเป่าให้อากาศแบบมีรูพรุนที่ให้ฟองอากาศละเอียด ปริมาณการใช้อากาศเพิ่มเติมจากการใช้ออกซิเจนที่ระดับอัตราส่วนของปริมาณอาหารต่อปริมาณจุลชีพ (Food to Microorganism Ratio, F/M) ต่ำๆ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีสารอาหารในน้ำเหลืออยู่น้อย แบคทีเรียที่ยังมีชีวิตจะใช้อาหารที่สะสมอยู่ในเซลล์ หรือจากสารอาหารที่ย่อยสลายออกมาจากเซลล์ที่ตายแล้ว (Endogenous Respiration) และการเกิดปฏิกิริยา Nitrification จากแบคทีเรียกลุ่ม Nitrifying Bacteria รวมถึงจากการให้อากาศต่อเนื่องคิดเป็นปริมาณอากาศทั้งสิ้น 75 – 115 ลบ.ม. ต่อ กก. BOD_5-ที่ต้องการกำจัด สำหรับเกณฑ์ทั่วไป คิดเฉพาะออกซิเจนที่ใช้ จะอยู่ที่ 1.0 – 1.2 กก.ออกซิเจน ต่อ กก. BOD_5-ที่ต้องการกำจัด



รูปที่ 8-11 ตัวอย่างถังเติมอากาศแบบใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์สูง
ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (1991)

การเติมอากาศในระบบเอเอสมีหลายรูปแบบ ได้แก่ การกวนผสม การใช้อุปกรณ์ให้อากาศใต้น้ำและเหนือน้ำในรูปแบบต่างๆ รวมทั้งการดัดแปลงกระบวนการในถังเติมอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเติมอากาศ ดังเช่นในระบบ Deep Shaft Reactor อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์เติมอากาศที่ใช้กันทั่วไปคือ อุปกรณ์เป่าให้อากาศ (Diffuser Device) ดังแสดงตัวอย่างอุปกรณ์และการติดตั้งในรูปที่ 8 -12 และ 8 -13



รูปที่ 8-12 ตัวอย่างอุปกรณ์เป่าให้อากาศชนิดต่างๆ
ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (1991)

สุทัศน์ สริวัฒนากรณ์



รูปที่ 8-13 ตัวอย่างการติดตั้งหัวจ่ายแบบจานในระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์เป่าให้อากาศและเครื่องกลเติมอากาศต่างๆ แสดงในตาราง 8 –2 และ 8 – 3

ตาราง 8 – 2 แสดงข้อมูลประสิทธิภาพการส่งผ่านออกซิเจนของอุปกรณ์เป่าให้อากาศชนิดต่างๆ

อุปกรณ์เป่าให้อากาศและการจัดวาง	อัตราการไหลของอากาศ (ลบ.ม./นาที-อุปกรณ์)	ประสิทธิภาพการส่งผ่านออกซิเจน ที่ความลึก 4.5 ม. (%)
Ceramic Discs – Grid	0.01 – 0.10	25 – 40
Ceramic Domes – Grid	0.01 – 0.07	27 – 39
Ceramic Plates – Grid	0.06 – 0.14	26 – 33
Rigid Porous Plastic Tubes – Grid	0.07 – 0.11	28 – 32
Rigid Porous Plastic Tubes – Dual Spiral Roll	0.08 – 0.31	17 – 28
Rigid Porous Plastic Tubes – Single spiral roll	0.06 – 0.34	13 – 25
Nonrigid Porous Plastic Tubes – Grid	0.03 – 0.20	26 – 36
Nonrigid Porous Plastic Tubes-Single Spiral Roll	0.06 – 0.20	19 – 37
Perforated Membrane Tubes – Grid	0.03 – 0.11	22 – 29
Perforated Membrane Tubes – Quarter Points	0.06 – 0.17	19 – 24
Perforated Membrane Tubes – Single Spiral Roll	0.06 – 0.17	15 – 19
Jet Aeration - Side Header	1.53 – 8.50	15 – 24
Nonporous Diffusers – Dual Spiral Roll	0.09 – 0.28	12 – 13
Nonporous Diffusers – Mid-width	0.12 – 1.27	10 – 13
Nonporous Diffusers – Single Spiral Roll	0.28 – 1.00	9 – 12

ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (1991)

สุเทพ สรรพยาปกรณ์

ตาราง 8 – 3 แสดงข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องกลเติมอากาศ

ชนิดของเครื่องกลเติมอากาศ	อัตราการส่งผ่านออกซิเจน (กก. ออกซิเจน ต่อ แรงม้า – ชั่วโมง) (กก. ออกซิเจน ต่อ กิโลวัตต์ – ชั่วโมง)	
	มาตรฐาน	ใช้งานจริง
Surface Low – speed	1.1 – 1.6	0.5 – 1.1
	1.5 – 2.1	0.7 – 1.5
Surface Llow – speed with Draft Tube	0.9 – 2.1	0.5 – 1.0
	1.2 – 2.8	0.7 – 1.3
Surface High – Speed	0.8 – 1.0	0.5 – 0.9
	1.1 – 1.4	0.7 – 1.2
Surface Downdraft Turbine	0.9 – 1.5	0.5 – 0.9
	1.2 – 2.0	0.6 – 1.2
Submerged Turbine with Sparger	0.9 – 1.5	0.5 – 0.8
	1.2 – 2.0	0.7 – 1.1
Submerged Impeller	0.9 – 1.8	0.5 – 0.8
	1.2 – 2.4	0.7 – 1.1
Surface Brush and Blade	1.1 – 1.6	0.4 – 0.8
	1.5 – 2.1	0.5 – 1.1

ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

ขนาดและรูปร่างของถังเติมอากาศมีความสำคัญเพื่อให้เกิดการกวนผสมที่มีประสทธิภาพ ความลึกและความกว้างของถังเติมอากาศขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องกลเติมอากาศดังแสดงในตาราง 8 – 4

ตาราง 8 – 4 ขนาดของถังเติมอากาศสำหรับเครื่องกลเติมอากาศ

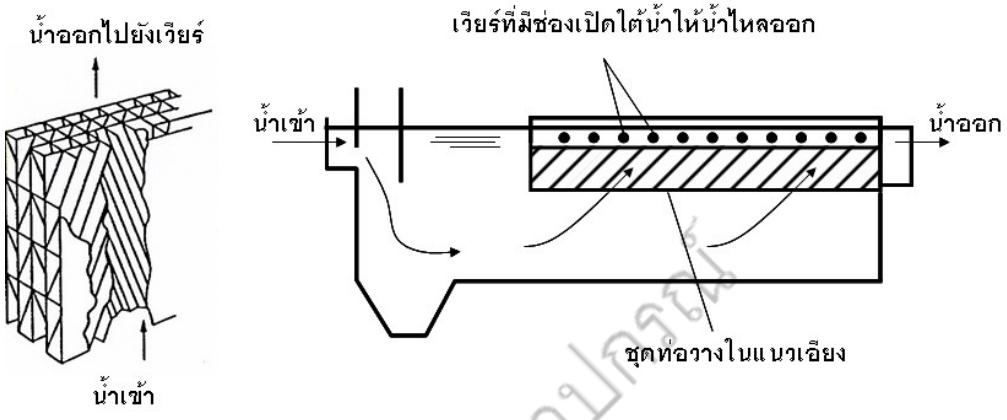
ขนาดของเครื่องกลเติมอากาศ (แรงม้า) หรือ (*กิโลวัตต์*))	ขนาดถังเติมอากาศ (เมตร)	
	ความลึก	ความกว้าง
10 (*7.5*)	3.0 – 3.5	9 – 12
20 (*15.0*)	3.5 – 4.0	10 – 15
30 (*22.5*)	4.0 – 4.5	12 – 18
40 (*30.0*)	3.5 – 5.0	14 – 20
50 (*37.0*)	4.5 – 5.5	14 – 23
75 (*60.0*)	4.5 – 6.0	15 – 26
100 (*74.5*)	4.5 – 6.0	18 – 27

ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

สุชาพ สถิตยุปการณ์

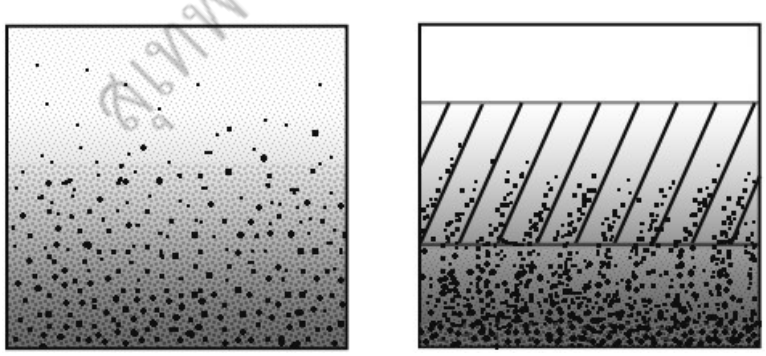
8.1.4 ถังตกตะกอนขั้นสอง

ถังตกตะกอนชั้นสองที่ใช้ส่วนมากจะเป็นถังกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 – 60 เมตร โดยมากจะอยู่ในช่วง 10 – 40 เมตร ถังควรมีรัศมีไม่เกินห้าเท่าของความลึก การเพิ่มประสิทธิภาพของถังตกตะกอนขั้นสองอาจทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ Tube Settler หรือ Parallel Plates (รูปที่ 8 – 14) เพื่อให้เกิดการไหลแบบลามินาร์โดยน้ำก่อนออกจากถังตกตะกอนจะถูกบังคับให้ไหลผ่าน Tube Settler ทำให้ระยะความลึกของการตกตะกอน (Settling Depth) ลดลง (รูปที่ 8 – 15) สิ่งที่เป็นข้อเสียของอุปกรณ์แบบนี้คือการอุดตันเนื่องจากการเติบโตของจุลชีพและไขมัน



(ก) (ข)

รูปที่ 8-14 (ก) ชุดอุปกรณ์ Tube Settler (ข) ตัวอย่างการติดตั้ง Tube Settler ในถังตกตะกอนขั้นสองแบบเหลี่ยม (ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003))



(ก) (ข)

รูปที่ 8-15 ลักษณะการตกตะกอนในถังตกตะกอน (ก) ไม่มีการติดตั้ง Tube Settler (ข) มีการติดตั้ง Tube Settler

ในถังตกตะกอนขั้นสองที่มีพื้นที่ผิวคงที่ คุณภาพน้ำออกจะลดลงถ้าภาระบรรทุกของแข็งเพิ่มสูงเกินไป ค่าอัตราน้ำไหลล้นสำหรับการตกตะกอนของระบบบำบัดทางชีวภาพแสดงในตาราง 8 – 5 ค่าที่แสดงในตารางจะเป็นค่าสูงสุดที่ควรจะเป็น การจะเลือกใช้ค่าสูงกว่านี้ ควรผ่านการศึกษาและพิจารณาอย่างรอบคอบก่อน

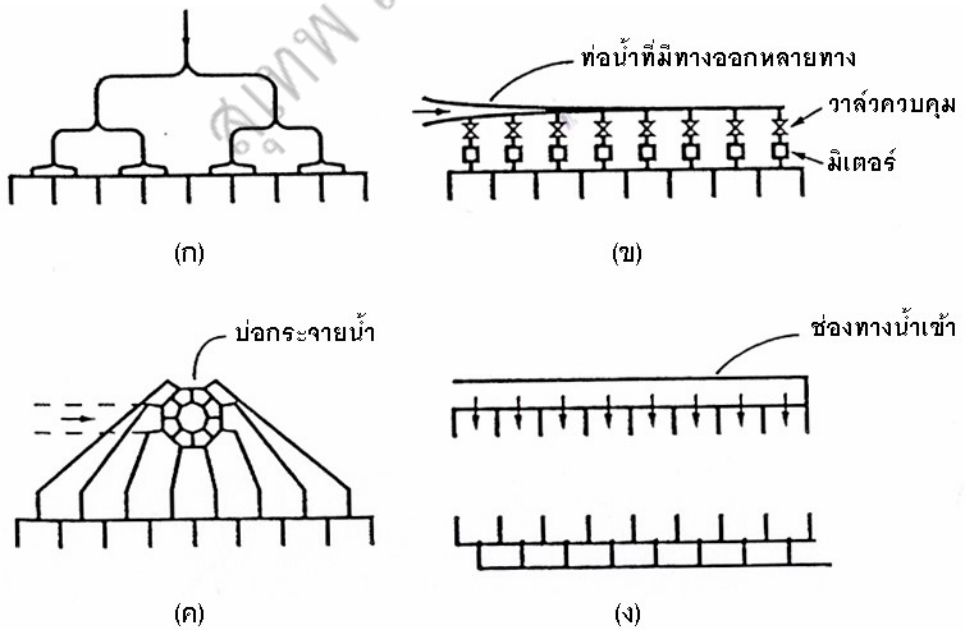
สุเทพ สรีกษยาปกรณ์

ตาราง 8 – 5 ข้อมูลการออกแบบถังตกตะกอนขั้นสองสำหรับระบบบำบัดทางชีวภาพ สำหรับถังกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 – 60 เมตร

ระบบ	อัตราน้ำไหลล้น (ลบ.ม. / ตร.ม. – วัน)		ความลึก (ม.)
	เฉลี่ย	สูงสุด	
ถังตกตะกอนขั้นสองของระบบเอเอสที่ใช้อากาศหรือออกซิเจน (ยกเว้นระบบยืดเวลาในถังเติมอากาศ)	16 – 32	40 – 49	3.7 – 6.0
ถังตกตะกอนขั้นสองของระบบเอเอสแบบยืดเวลาในถังเติมอากาศ	8 – 16	24 – 32	3.7 – 6.0
ถังตกตะกอนขั้นสองของระบบทริคคลิงฟิลเตอร์	8 – 24	40 – 49	3.7 – 6.0
ถังตกตะกอนขั้นสองของระบบแผ่นหมุนชีวภาพ			
ระบบที่ไม่มีไนตริฟิเคชัน	16 – 32	40 – 49	3.0 – 4.6
ระบบที่มีไนตริฟิเคชัน	16 – 32	32 – 40	3.0 – 4.6

ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

ในสภาวะที่มีอัตราน้ำไหลล้นเกินกว่าที่ออกแบบ ประสิทธิภาพรวมของระบบจะลดลง สำหรับกรณีที่ใช้ขนาดถังที่มีขนาดเท่ากันต่อขนานกัน อัตราที่เกินจะถูกแบ่งเฉลี่ยระหว่างถัง ในกรณีที่ถังมีขนาดต่างกัน อัตราเกินจะต้องถูกแบ่งตามขนาดพื้นที่ผิวของถัง การกระจายการไหลสำหรับถังตกตะกอนขั้นสองทำได้หลายวิธี เช่น ใช้เวียร์ วาล์วควบคุมอัตราการไหล ใช้การออกแบบระบบท่อ ประตูน้ำ เป็นต้น (รูปที่ 8- 16) การควบคุมด้วยเวียร์อย่างเดียวอาจจะไม่เพียงพอและเหมาะกับกรณีที่ถังสองถังมีขนาดเท่ากัน



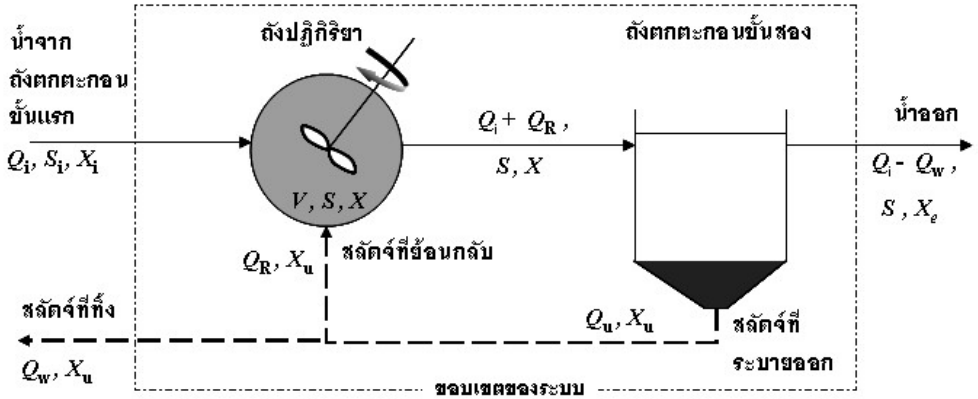
รูปที่ 8-16 การกระจายการไหล (ก) แบบสมมาตร (ข) ระบบที่มีการวัดก่อนปรับอัตราการไหล (ค) ระบบแยกด้วยเวียร์ (ง) ควบคุมด้วยประตูน้ำ (ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003))

สุพพ สรรพยกุลกรณ์

8.1.5 การคำนวณสำหรับระบบเอเอส

1) ระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์

โดยหลักการสมดุลมวลสาร รูปที่ 8-17 แสดงระบบเอเอสที่สถานะคงตัวในระบบที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ น้ำที่เข้าสู่ระบบ (Influent) มีอัตราการไหลเริ่มต้นเป็น Q_i มีความเข้มข้นของสารอาหาร (หรือ บีโอดี) เริ่มต้นเป็น S_i และมีความเข้มข้นของจุลชีพเริ่มต้นเป็น X_i เข้าสู่ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์มีปริมาตรเป็น V พร้อมกับสลัดจ์ที่ย้อนกลับ (Sludge Return) ที่มีอัตราการไหลเป็น Q_R และมีความเข้มข้นของจุลชีพเป็น X_u (สมมุติว่าในสลัดจ์ย้อนกลับมีปริมาณสารอาหารเป็นศูนย์) แล้วเกิดปฏิกิริยาชีวภาพในถังปฏิกิริยาจนมีความเข้มข้นสุดท้ายของจุลชีพในถังปฏิกิริยาเป็น X และความเข้มข้นของสารอาหารในถังปฏิกิริยาเป็น S ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นสุดท้ายของสารอาหารและความเข้มข้นของจุลชีพที่เข้าสู่ถังทำน้ำใสขั้นที่สอง (ตามหลักการของถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ในอุดมคติ) เมื่อน้ำจากผ่านถังปฏิกิริยาเข้าสู่ถังตกตะกอนขั้นสอง (Secondary Clarifier) มวลชีวภาพจะจมตัวลงและข้นขึ้นหรือที่เรียกว่าสลัดจ์ สลัดจ์ที่ระบายออกจากถังทำน้ำใสขั้นสอง (Sludge Underflow) ที่มีความเข้มข้นของจุลชีพเป็น X_u (แน่นอนว่า X_u ต้องมีค่ามากกว่า X) และมีอัตราการไหลเป็น Q_u บางส่วนจะถูกจะส่งกลับไปใช้ในถังปฏิกิริยาเรียกสลัดจ์ย้อนกลับที่มีอัตราการไหลเป็น Q_R และมีความเข้มข้นของจุลชีพเป็น X_u ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อีกส่วนหนึ่งจะกลายเป็นสลัดจ์ที่ถูกทิ้ง (Wasted Sludge) ที่มีอัตราการไหลเป็น Q_w และมีความเข้มข้นของจุลชีพเป็น X_u เช่นกัน (ดังนั้น $Q_R + Q_w = Q_u$) ส่วนน้ำที่ผ่านออกจากถังทำน้ำใสขั้นสองและออกจากระบบ (Effluent) จะมีความเข้มข้นของสารอาหาร (หรือ บีโอดี) สุดท้ายเป็น S เช่นเดียวกับในถังปฏิกิริยา (สมมุติว่าไม่มีปฏิกิริยาชีวภาพเกิดในถังทำน้ำใสขั้นสอง ซึ่งทำให้ในขั้นตอนคำนวณซึ่งจะแสดงในขั้นตอนต่อไปไม่ต้องรวมปริมาตรของถังทำน้ำใส) และมีอัตราการไหลเป็น $Q_i - Q_w$ ส่วนความเข้มข้นของจุลชีพในน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเป็น X_e โดยทั่วไปจะใช้สมมุติฐานที่ว่า ความเข้มข้นของจุลชีพเริ่มต้น (X_i) และความเข้มข้นของจุลชีพในน้ำที่ออกจากระบบ (X_e) มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความเข้มข้นของจุลชีพในถังปฏิกิริยา (X)



รูปที่ 8-17 ระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ ที่สถานะคงตัว[1] (Steady State)

[1] ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

จากหลักการที่อธิบายไว้แล้ว อาจสรุปสมมุติฐานต่างๆ ได้ดังนี้คือ

- ในสลัดจ์ย้อนกลับและในน้ำที่ออกจากระบบจะมีปริมาณมวลชีวภาพมากเมื่อเทียบกับค่าความเข้มข้นของจุลชีพในถังปฏิกิริยา
- ความเข้มข้นของสารอาหาร (บีโอดี) ในน้ำที่เข้าสู่ระบบเมื่อเข้าสู่ถังปฏิกิริยาจะมีค่าเป็น S ทันทีเนื่องจากการกวนผสมแบบสมบูรณ์ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นสุดท้ายของสารอาหารที่เข้าสู่ถังทำน้ำใสขั้นที่สอง
- ไม่มีปฏิกิริยาชีวภาพเกิดในถังตกตะกอนขั้นสอง ซึ่งทำให้ในขั้นตอนคำนวณไม่รวมปริมาตรของถังทำน้ำใส

จุดประสงค์ในการตกตะกอนแบคทีเรีย คือ

- เนื่องจากแบคทีเรียเป็นสารอินทรีย์ จึงจำเป็นต้องกำจัดออกจากน้ำทิ้ง มิฉะนั้นมวลของสารอินทรีย์จะไม่ลดลง และปนไปกับน้ำทิ้ง
- เพื่อนำตะกอนสลัดจ์ชีวภาพกลับไปใช้ใหม่ (Return Sludge Recycle)

การนำตะกอนสลัดจ์ชีวภาพกลับไปใช้ใหม่มีจุดประสงค์ คือ

- เพื่อควบคุมปริมาณแบคทีเรีย (X) ในถังปฏิกิริยาให้คงที่
- ทำให้เชื้ออยู่ในสภาพเดียวกัน เพราะตะกอนแบคทีเรียยังทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้(Active) อยู่
- เพื่อทำให้ค่า θ_C สูงกว่า θ_H ทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้นโดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของถังปฏิกิริยาตามกันไป

และสาเหตุการสูบตะกอนที่เกินที่ถังตกตะกอนขั้นสอง คือ

- เนื่องจากความเข้มข้นของแบคทีเรียที่ถังตกตะกอนสูงกว่าที่ถังปฏิกิริยา ดังนั้น จึงใช้ปริมาตรในการสูบออกน้อยกว่าที่ถังปฏิกิริยา ทำให้ประหยัดพลังงานในการสูบตะกอน และรีดน้ำ
- ในทางปฏิบัติ เราต้องทำการต่อเครื่องสูบ (Pump) ที่ถังตกตะกอนขั้นสอง เพื่อนำตะกอนสลัดจ์ชีวภาพกลับไปใช้ใหม่ที่ถังปฏิกิริยาอยู่แล้ว ดังนั้น สามารถต่อท่อลัด (Bypass) เพื่อสูบน้ำทิ้งได้จากเครื่องสูบ ตัวเดียวกันจึงเป็นการประหยัดพลังงาน และใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่าที่สุด

การคำนวณสำหรับระบบเอเอสจะใช้หลักจลนศาสตร์ของจุลชีววิทยาร่วมกับหลักการสมดุลมวลสาร (มวลสารในที่นี้ก็คือ มวลชีวภาพ และสารอาหารหรือบีโอดี) ณ สถานะคงตัว ที่ได้อธิบายมาแล้ว ดังนี้

มวลชีวภาพเข้าสู่ระบบ + มวลชีวภาพที่เปลี่ยนแปลง (เติบโตในถังปฏิกิริยา) = มวลชีวภาพที่ออกจากระบบ (ในน้ำออก + สลัดจ์ที่ทิ้ง) (8–1)

$$Q_i X_i + V\left(\frac{\mu_m X S}{K_s + S} - k_d X\right) = (Q_i - Q_w)X_e + Q_w X_u \qquad (8\text{–}2)$$

สารอาหารเข้าสู่ระบบ + สารอาหารที่เปลี่ยนแปลง (สารอาหารถูกใช้ไปถังปฏิกิริยา) = สารอาหารที่ออกจากระบบ (8–3)

$$Q_i S_i - V\frac{\mu_m XS}{Y(K_s + S)} = (Q_i - Q_w)S + Q_w S \qquad (8\text{–}4)$$

โดย Q_i = อัตราไหลของน้ำสู่ระบบ, ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ลบ.ม.ต่อ วัน)

Q_R = อัตราไหลของสลัดจ์ที่กลับเข้าระบบ, ลบ.ม.ต่อ วัน

Q_w = อัตราไหลของสลัดจ์ที่ทิ้งจากระบบ, ลบ.ม.ต่อ วัน

Q_U = อัตราไหลของสลัดจ์ที่ออกจากถังตกตะกอนขั้นสอง, ลบ.ม.ต่อ วัน

X_i = ความเข้มข้นของมวลชีวภาพในน้ำเข้าสู่ระบบ, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

X = ความเข้มข้นของมวลชีวภาพในถังปฏิกิริยา, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

X_e = ความเข้มข้นของมวลชีวภาพในน้ำที่ออกจากระบบ, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

X_u = ความเข้มข้นของมวลชีวภาพที่ระบายจากถังทำน้ำใสขั้นสอง, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

S_i = ความเข้มข้นของสารอาหาร (บีโอดี) ในน้ำที่เข้าสู่ระบบ, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

S = ความเข้มข้นของสารอาหาร (บีโอดี) ในถังปฏิกิริยา และในน้ำที่ออกจากระบบ, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

V = ปริมาตรของถังปฏิกิริยา ลบ.ม.

μ_m = สัมประสิทธิ์อัตราการเติบโตจำเพาะที่สูงที่สุด, ต่อวัน

K_s = ความเข้มข้นของสารอาหารที่จำกัดการเติบโตของจุลินทรีย์ที่สัมพันธ์กับครึ่งหนึ่งของค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเติบโตจำเพาะที่สูงที่สุด (Half Velocity Constant), กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

k_d = ค่าสัมประสิทธิ์การตายของจุลินทรีย์, ต่อวัน

Y = ประสิทธิภาพการผลิตมวลชีวภาพ (Growth Yield), มิลลิกรัมของปริมาณมวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้นต่อมิลลิกรัมของสารอาหารที่ใช้ไป

จากสมมุติฐานที่ตั้งไว้ สมการ (8–2) และ (8–4) สามารถเขียนในรูปต่อไปนี้

$$\frac{\mu_m S}{K_s + S} = \frac{Q_w X_u}{VX} + k_d \qquad (8\text{–}5)$$

และ

$$\frac{\mu_m S}{K_s + S} = \frac{Q_i Y}{VX}(S_i - S) \qquad (8\text{–}6)$$

ซึ่งรวมกันได้

$$\frac{Q_w X_u}{VX} = \frac{Q_i Y}{VX}(S_i - S) - k_d \qquad (8\text{–}7)$$

โดยค่าส่วนกลับของ $\frac{Q_i}{V}$ และ $\frac{Q_w X_u}{VX}$ ก็คือระยะเวลากักเก็บของน้ำและมวลชีวภาพในระบบ ซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์และออกแบบ

$$\frac{V}{Q_i} = \theta_H \quad (8\text{–}8)$$

และ

$$\frac{VX}{Q_w X_u} = \theta_C \quad (8\text{–}9)$$

โดย θ_H = ระยะเวลากักเก็บของน้ำในระบบ, วัน

θ_C = ระยะเวลากักเก็บของมวลชีวภาพในระบบ (Mean Cell Residence Time), วัน

สมการ (8–9) แสดงระยะเวลาเฉลี่ยของจุลชีพในระบบ (Mean Cell Residence Time) ในระบบที่ไม่มีการนำสลัดจ์กลับมาใช้ ค่า $\theta_H = \theta_C$ ในระบบที่มีการนำสลัดจ์กลับมาใช้ค่า θ_C จะมีค่าสูงกว่า θ_H สมการ (8–9) ยังแสดงว่าระยะเวลาเฉลี่ยของจุลชีพในระบบสามารถควบคุมได้ด้วยการควบคุมอัตราไหลของสลัดจ์ที่ทิ้งจากระบบ (Q_w)

เมื่อแทนค่าจากสมการ (8–8) และ (8–9) กลับไปในสมการ (8–7) และจัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{1}{\theta_C} = \frac{Y(S_i - S)}{\theta_H X} - k_d \quad (8\text{–}10)$$

หรือ

$$\frac{\theta_H}{\theta_C} = \frac{Y(S_i - S)}{X} - k_d \theta_H \quad (8\text{–}11)$$

จะเห็นได้ว่าก่ารควบคุมสัดส่วนของ $\frac{\theta_H}{\theta_C}$ ในระบบมีความสำคัญต่อการรักษาปริมาณความเข้มข้นของมวลชีวภาพในระบบและต่อประสิทธิภาพของการบำบัด ซึ่งก็คือผลต่างของความเข้มข้นของสารอาหาร (บีโอดี) ในน้ำที่เข้าสู่ระบบและะความเข้มข้นของสารอาหาร (บีโอดี) ที่ออกจากระบบ (S_i - S) ด้วย โดยถ้า θ_C เพิ่มขึ้นในขณะที่ตัวแปรอื่นคงที่ ทำให้ S มีค่าน้อย ประสิทธิภาพของระบบจะเพิ่มขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งคือระบบจะสามารถรับปริมาณสารอาหาร (บีโอดี) ได้สูงขึ้น เพราะค่า S จะมีค่าต่ำ ตามมาตรฐานไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

นอกเหนือจากค่า θ_C ที่ได้กล่าวมาแล้ว ตัวแปรที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบระบบเอเอสได้แก่ ค่าอัตราส่วนของปริมาณอาหารต่อปริมาณจุลชีพ (Food to Microorganism Ratio, F/M) และภาระแบกรับสารอินทรีย์เชิงปริมาตร (Volumetric Loading)

ค่า F/M คำนวณได้ดังนี้คือ

$$F/M = \frac{S_i}{\theta_H X} \quad (8\text{–}12)$$

ผลคูณของค่า F/M และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบของระบบ เรียกว่าค่าการใช้สารอาหารจำเพาะของแบคทีเรีย (Specific Utilization rate, U) ซึ่งก็คือการวัดอัตราการใช้สารอาหาร (บีโอดี) ที่ถูกใช้โดยจุลชีพที่อยู่ในน้ำปริมาตรหนึ่งหน่วย ซึ่งแสดงได้ดังนี้

สุพพ สิริวัฒนาปกรณ์

$$U = \frac{(F/M)(S_i - S)}{S_i} \quad (8\text{–}13)$$

หรือ

$$U = \frac{S_i - S}{\theta_H X} \quad (8\text{–}14)$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง F/M และ θ_C เป็นดังนี้คือ

$$\frac{1}{\theta_C} = YU - k_d \quad (8\text{–}15)$$

สมการ (8–15) ก็คือสมการเดียวกับสมการ (8–10) นั่นเอง สมการ (8–13) ถึง (8–15) แสดงความสัมพันธ์ว่าถ้าค่าใดค่าหนึ่งระหว่าง F/M และ θ_C เพิ่มอีกค่าหนึ่งต้องลด ค่า F/M โดยทั่วไปผันแปรอยู่ระหว่าง 0.05 – 0.6 ส่วนค่า θ_C จะอยู่ในช่วง 3 – 15 วัน สำหรับค่า θ_H โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 3 – 5 ชั่วโมง ซึ่งขึ้นกับค่าภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ (Organic Loading) ที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.3 ถึงกว่า 2.0 กิโลกรัมต่อ ลบ.ม. ต่อ วัน

ภาระแบกรับสารอินทรีย์เชิงปริมาตร (V_L) คำนวณได้จาก

$$V_L = \frac{Q_i S_i}{V} \quad (8\text{–}16)$$

โดย V_L = ภาระแบกรับสารอินทรีย์เชิงปริมาตร, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม. ต่อ วัน

สำหรับปริมาณสลัดจ์ที่เกิดจากระบบทั้งหมด (P_s) สามารถคำนวณได้จาก

$$P_s = Y_{obs} Q_i (S_i - S) \quad (8\text{–}17)$$

โดย

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + k_d \theta_C} \quad (8\text{–}18)$$

โดย P_s = ปริมาณสลัดจ์ที่เกิดจากระบบ, กิโลกรัมต่อวัน

Y_{obs} = ปริมาณการผลิตของมวลชีวภาพที่เกิดจริง (Observed Yield)

ความเข้มข้นของมวลชีวภาพ หรือที่มักจะเรียกว่าเป็นปริมาณของแข็งแขวนลอย (Mixed-Liqour Suspended Solids, MLSS) ในถังปฏิกิริยา (ถังเติมอากาศ) จะมีความสัมพันธ์กับ θ_H และ θ_C ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการแก้สมการ (8–10) เพื่อหาค่า X ซึ่งจะได้เป็น

$$X = \frac{\theta_C Y(S_i - S)}{\theta_H (1 + k_d \theta_C)} \quad (8\text{–}19)$$

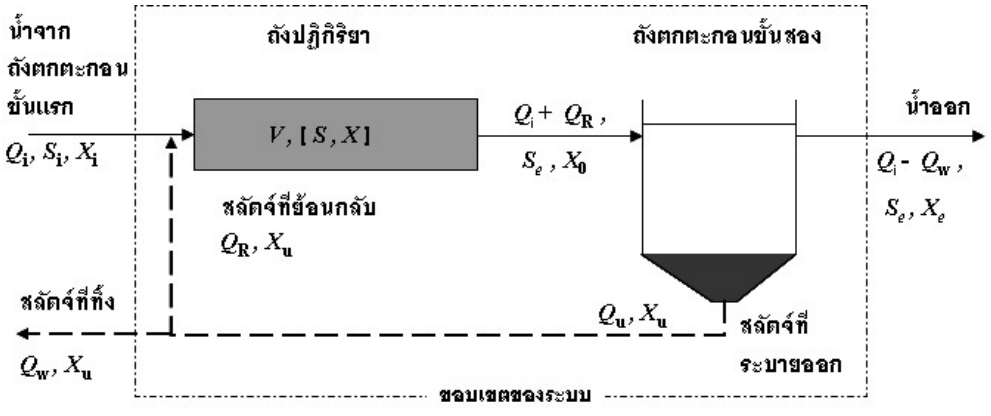
สมการ (8–19) แสดงว่าถ้าตัวแปรอื่นๆ คงที่ การเพิ่ม θ_C จะทำให้ X เพิ่มขึ้น

จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่า θ_C จะทำให้ค่า S ที่ออกจากระบบลดลงและค่า X เพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าควบคุม θ_C ได้ก็จควบคุมทั้งสองค่าดังกล่าวได้

ถึงแม้ว่าสมการ (8–19) จะบ่งชี้ว่าการลดระยะเวลากักเก็บของน้ำในระบบ (θ_H) ในขณะที่ตัวแปรอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จะทำให้ค่าความเข้มข้นของมวลชีวภาพในระบบ (X) เพิ่มขึ้นก็ตาม แต่ก็มีข้อจำกัด เนื่องจากว่าถ้าระยะเวลากักเก็บของน้ำในระบบลดลงไปเรื่อยๆ จนมีค่าน้อยกว่าเวลาที่ใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ เซลล์จะถูกชะออกจากระบบ (Wash Out) ก่อนที่จะมีการเติบโตและแบ่งตัว และมีผลทำให้ X ลดลง และความแตกต่างระหว่าง S_i และ S ในถังปฏิกิริยา (S) ลดลงจนในที่สุดไม่แตกต่าง ซึ่งหมายถึงว่าไม่มีการบำบัดเกิดขึ้น

2) ระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน

ด้วยหลักการเดียวกันโดยหลักการสมดุลมวลสาร รูปที่ 8-18 แสดงระบบเอเอสที่สถานะคงตัวในระบบที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน น้ำที่เข้าสู่ระบบ (Influent) มีอัตราการไหลเริ่มต้นเป็น Q_i มีความเข้มข้นของสารอาหาร (หรือ บีโอดี) เริ่มต้นเป็น S_i และมีความเข้มข้นของจุลชีพเริ่มต้นเป็น X_i เข้าสู่ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกันมีปริมาตรเป็น V พร้อมกับสลัดจ์ที่ย้อนกลับ (Sludge Return) ที่มีอัตราการไหลเป็น Q_R และมีความเข้มข้นของจุลชีพเป็น X_u (สมมุติว่าในสลัดจ์ย้อนกลับมีปริมาณสารอาหารน้อยมาก) แล้วเกิดปฏิกิริยาชีวภาพในถังปฏิกิริยาจนมีความเข้มข้นสุดท้ายของจุลชีพและความเข้มข้นของสารอาหารที่ออกจากถังปฏิกิริยาเป็น X_0 และ S_e ตามลำดับ ซึ่งในกรณีนี้จะแตกต่างกับกรณีถังกวนสมบูรณ์เพราะค่า X_0 และ S_e จะไม่เท่ากับค่าความเข้มข้นจุลชีพและของสารอาหารในถังปฏิกิริยา เนื่องจากความเข้มข้นของจุลชีพและสารอาหารในถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกันจะไม่เป็นค่าเดียว โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่อยู่ในถังปฏิกิริยาหรือก็คือในทิศทางที่น้ำเสียไหลไปตามความยาวของถังนั่นเอง เนื่องจากไม่มีการกวนผสมของสารตามความยาวของถังปฏิกิริยาในแนวทางไหลของสาร แต่จะมีการผสมในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล (Transverse Plane) ตามหลักการของถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกันในอุดมคติ จึงแสดงค่าความเข้มข้นที่ไม่คงที่โดยสัญลักษณ์ [S, X] ในรูปที่ 8-18 เมื่อน้ำจากผ่านถังปฏิกิริยาเข้ามาสู่ถังทำน้ำใสขั้นสอง (Secondary Clarifier) มวลชีวภาพจะจมตัวลงและข้นขึ้น สลัดจ์ที่ระบายออก (Sludge Underflow) ที่มีความเข้มข้นของจุลชีพเป็น X_u (X_u ต้องมีค่ามากกว่า X) และมีอัตราการไหลเป็น Q_u บางส่วนจะส่งกลับไปใช้ในถังปฏิกิริยาเรียกสลัดจ์ย้อนกลับมีอัตราการไหลเป็น Q_R และมีความเข้มข้นของจุลชีพเป็น X_u ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อีกส่วนหนึ่งจะกลายเป็นสลัดจ์ที่ถูกทิ้ง (Wasted Sludge) ที่มีอัตราการไหลเป็น Q_w และมีความเข้มข้นของจุลชีพเป็น X_u เช่นกัน (ดังนั้น $Q_R + Q_w = Q_u$) ส่วนน้ำที่ผ่านออกจากถังทำน้ำใสขั้นสองและออกจากระบบ (Effluent) จะมีความเข้มข้นของสารอาหาร (หรือ บีโอดี) สุดท้ายเป็น S_e เช่นเดียวกับที่ออกจากถังปฏิกิริยา และมีอัตราการไหลเป็น $Q_i - Q_w$ ส่วนความเข้มข้นของจุลชีพในน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเป็น X_e และเช่นกันโดยทั่วไปจะใช้สมมุติฐานที่ว่า ความเข้มข้นของจุลชีพเริ่มต้น (X_i) และความเข้มข้นของจุลชีพในน้ำที่ออกจากระบบ (X_e) มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความเข้มข้นของจุลชีพในถังปฏิกิริยา (X)



รูปที่ 8-18 ระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน ที่สถานะคงตัว (Steady State)

การคำนวณสำหรับระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกันจะแตกต่างจากการคำนวณที่ได้แสดงไว้สำหรับระบบที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ โดยค่าความเข้มข้นของมวลชีวภาพหรือปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) และค่า θ_C ในระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกันที่มีการนำสลัดจ์ย้อนกลับมาใช้สามารถคำนวณได้ดังสมการที่แสดงโดย Peavy *et al*. (1986) ดังนี้

$$\overline{X} = \frac{\theta_C Y(S_i - S)}{\theta_H(1 + k_d\theta_C)} \qquad (8\text{–}20)$$

โดย $\overline{X}$ = ปริมาณเฉลี่ยของความเข้มข้นของมวลชีวภาพในถังปฏิกิริยา, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

และ

$$\frac{1}{\theta_C} = \frac{\mu_m(S_i - S_e)}{(S_i - S_e) + (1-\alpha)(K_S \ln\frac{S_0}{S_e})} - k_d \qquad (8\text{–}21)$$

โดย α = สัดส่วนของการวนกลับ (Recycle Factor) = $\frac{Q}{Q_R}$ (ควรจะมีค่า > 5)

S_0 = ความเข้มข้นของสารอาหารหลังจากผสมกับสลัดจ์ที่วนกลับ, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

ซึ่ง S_0 คำนวณได้จาก

$$S_0 = \frac{S_i + \alpha S_e}{1 + \alpha} \qquad (8\text{–}22)$$

โดยทั่วไประบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์จะมีข้อได้เปรียบระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกันในกรณีที่น้ำเข้ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นและอัตราการไหลค่อนข้างสูง เพราะน้ำเสียจะถูกเจือจางในถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์ทันที ทำให้ลด “Shock Load” ของระบบซึ่งอาจเกิดในถังเติมอากาศแบบไหลตามกันและมีผลให้คุณภาพน้ำที่ออกมาไม่สม่ำเสมอ ส่วนในกรณีที่น้ำเสียมีความสม่ำเสมอทั้งในแง่ของอัตราการไหลและความเข้มข้นหรือกล่าวได้ว่าระบบได้รับภาระแบกรับน้ำเสียค่อนข้างคงที่

สุเทพ สถาผลากร

ข้อดีของระบบเอเอสที่ใช้ถังเติมอากาศแบบไหลตามกันคือจะได้สลัดจ์ที่มีการจมตัวดีกว่า ในทางทฤษฎี ถังเติมอากาศแบบไหลตามกันจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบกวนสมบูรณ์ในกรณีที่มีเวลากักเก็บเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติ ระบบแบบไหลตามกันอย่างในอุดมคติเกิดขึ้นได้ยาก เนื่องจากจะมีการแพร่กระจายตามความยาว (Longitudinal Dispersion) เกิดขึ้นเสมอ และดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าระบบแบบไหลตามกันรับ Shock Load ได้ไม่ดี ทำให้ประสิทธิภาพของทั้งสองระบบไม่ต่างกันมากนัก

ในการออกแบบระบบเอเอส สิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงอีกแประการหนึ่งก็คือความสัมพันธ์ระหว่างถังเติมอากาศซึ่งเป็นระบบชีวภาพและถังตกตะกอนขั้นสอง ในถังเติมอากาศ ความเข้มข้นของมวลชีวภาพที่สูงและระยะเวลาเติมอากาศที่สั้นอาจจะทำให้การบำบัดบีโอดีเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ขนาดของถังเติมอากาศที่ลดลงจะถูกชดเชยด้วยถังตกตะกอนขั้นสองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อทำให้น้ำใสและผลิตสลัดจ์ที่ข้นพอ ด้วยเหตุนี้ ความเข้มข้นสูงสุดของมวลชีวภาพในถังเติมอากาศที่เป็นไปได้จะถูกกำหนดโดยขนาดของถังตกตะกอนขั้นสอง

ข้อมูลสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์สำหรับจุลชีพในระบบเอเอสแสดงในตาราง 8 – 6 ดังนี้

ตาราง 8–6 ข้อมูลสัมประสิทธิ์จลนศาสตร์สำหรับจุลชีพในระบบเอเอส

สัมประสิทธิ์จลนศาสตร์	หน่วย	ช่วงที่พบ	ค่าทั่วไป
μ_m	ต่อวัน	2 – 10	5
K_s	มก. ต่อ ลิตรของ BOD_5	25 – 100	60
	มก. ต่อ ลิตรของ COD	10 – 60	40
Y	มก. ของแข็งแขวนซอยที่ระเหยได้ (VSS) ต่อ มก. BOD_5	0.4 – 0.8	0.6
	มก. ของแข็งแขวนซอยที่ระเหยได้ (VSS) ต่อ มก. COD	0.3 – 0.6	0.4
k_d	ต่อวัน	0.06 – 0.15	0.10

ที่มา Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

ศูนย์วิทยทรัพยากร

3) ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในระบบเอเอส

ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการทั้งหมดก็คือ ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการเพื่อออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (บีโอดี) ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างไรก็ตาม สารอินทรีย์เหล่านี้บางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ (เป็นแหล่งคาร์บอน) ซึ่งในที่สุดจุลินทรีย์เหล่านี้จะถูกกำจัดทิ้งออกจากระบบและไม่ถูกออกซิไดซ์

ดังนั้นในระบบเอเอสซึ่งมีปริมาณจุลชีพหนาแน่นสูงในระบบ ความต้องการออกซิเจนทั้งหมดจะคำนวณได้จาก ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปเพื่อออกซิไดซ์บีโอดีลบด้วยปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการในการออกซิไดซ์เซลล์ของจุลินทรีย์ ($C_5H_7NO_2$) ซึ่งปริมาณออกซิเจนดังกล่าวแสดงในสมการดังต่อไปนี้

$$C_5H_7NO_2 + 5O_2 \longrightarrow 5CO_2 + 2H_2O + NH_3 + \text{พลังงาน} \qquad (8\text{–}23)$$

มวลโมเลกุล 113 5(32)

อัตราส่วน 1 1.42

ความต้องการออกซิเจน (O_D) ตามทฤษฎี ที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์จากน้ำเสียในระบบเอเอส คำนวณได้จาก

O_D = ปริมาณบีโอดีที่ถูกกำจัด – 1.42(มวลชีวภาพที่ทิ้งจากระบบ) (8–24)

(กิโลกรัม O_2 ต่อวัน) (กิโลกรัม O_2 ต่อวัน) (กิโลกรัม O_2 ต่อวัน)

ซึ่งสมการ (8–24) สามารถเขียนได้ด้วยความสัมพันธ์ดังนี้

$$O_D = Q_i(UBOD_i - UBOD) \times (10^3 g/kg)^{-1} - 1.42(P_S) \quad (8–25)$$

โดย O_D = ความต้องการออกซิเจนตามทฤษฎี, กิโลกรัม O_2 ต่อวัน

Q_i = อัตราไหลของน้ำสู่ระบบ, ลบ.ม.ต่อ วัน

$UBOD_i$ = ความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพสูงสุดในน้ำที่เข้าสู่ระบบ, มก. ต่อ ลิตร (หรือ กรัม ต่อ ลบ.ม.)

$UBOD$ = ความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพสูงสุดในน้ำที่ออกจากระบบ, มก. ต่อ ลิตร (หรือ กรัม ต่อ ลบ.ม.)

P_s = ปริมาณสลัดจ์ที่เกิดจากระบบ, กิโลกรัมต่อวัน

โดยทั่วไป ความเข้มข้นของสารอาหารจะวัดเป็นค่าบีโอดีที่เกิดขึ้นใน 5 วัน (BOD_5) ดังนั้นจึงต้องนำค่า BOD_5 มาคำนวณค่า ความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพสูงสุด (UBOD) ซึ่ง UBOD ก็คือค่าความเข้มข้นของสารอาหาร (Substrate) นั่นเอง

ในกรณีที่เกิดไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ความต้องการออกซิเจนจะเพิ่มมากขึ้น ถ้าแอมโมเนียถูกออกซิไดซ์จนเป็นไนเตรต ความต้องการออกซิเจนจะเป็นดังต่อไปนี้

$$O_{D,N} = [(UBOD_i - UBOD) + 4.57(Ni - N)]Q_i \times (10^3 g/kg)^{-1} - 1.42(P_S) \quad (8–26)$$

โดย $O_{D,N}$ = ความต้องการออกซิเจนตามทฤษฎีในกรณีที่เกิดไนตริฟิเคชัน, กิโลกรัม O_2 ต่อวัน

N_i = ปริมาณไนโตรเจนในรูป Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) ที่เข้าสู่ระบบ, มก. ต่อ ลิตร (หรือ กรัม ต่อ ลบ.ม.)

N = ปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN ที่ออกจากระบบ, มก. ต่อ ลิตร (หรือ กรัม ต่อ ลบ.ม.)

ดังนั้น ถ้าทราบประสิทธิภาพการส่งผ่านมวลสารของออกซิเจน ค่าความต้องการออกซิเจนที่แท้จริงจะสามารถคำนวณได้

สุนพ สุริยะกุลบุตร

ปริมาณอากาศที่ให้แก่ระบบจะต้อง

(1) เพียงพอกับค่าบีโอดี

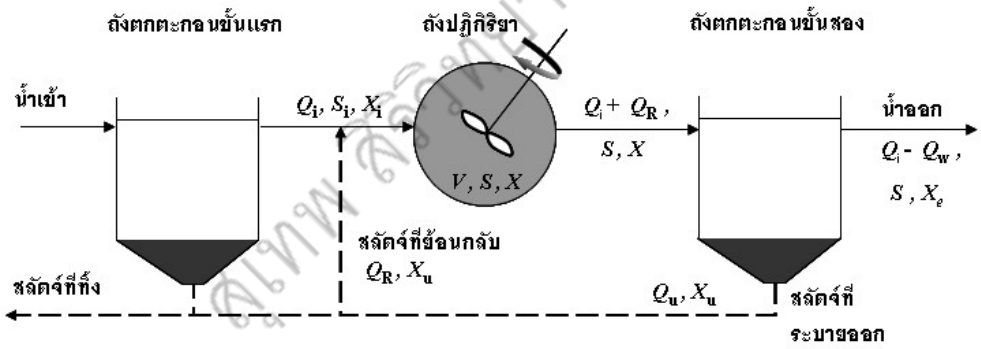
(2) เพียงพอกับการเกิด Endogenous Respiration ของจุลชีพในสลัดจ์

(3) ทำให้เกิดการกวนผสมอย่างเพียงพอ

(4) ทำให้ในถังปฏิกิริยามีออกซิเจนละลายอย่างน้อย 1 – 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในการออกแบบ ขนาดของอุปกรณ์เติมอากาศควรจะถูกเผื่อให้มากกว่าที่คำนวณไว้อย่างน้อย 2 เท่าของภาระบรรทุกบีโอดีเฉลี่ยที่เข้าสู่ระบบ และควรมีออกซิเจนละลายในถังปฏิกิริยาเหลืออย่างน้อย 2 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ภาระบรรทุกบีโอดีเฉลี่ย และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ภาระบรรทุกบีโอดีสูงสุด

ตัวอย่าง 8-1 ระบบเอเอสระบบหนึ่งถูกออกแบบสำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีน้ำเสียปริมาณ 10,000 ลบ.ม. ต่อ วัน หลังจากน้ำเสียผ่านถังตกตะกอนขั้นแรกจะมีค่าบีโอดีเป็น 200 มก.ลิตร และน้ำเสียที่ออกจากระบบจะต้องมีค่าบีโอดีต่ำกว่า 20 มก.ลิตร ระบบนี้ถูกกำหนดให้ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ ดังแสดงในรูป เนื่องจากไม่มีข้อมูลจลนศาสตร์จากระบบนำร่อง ให้ใช้ค่าจลนศาสตร์จากตาราง 8-2 กำหนดให้ความเข้มข้นของมวลชีวภาพในถังปฏิกิริยาและในสลัดจ์ที่ระบายออกจากถังตกตะกอนขั้นสองมีค่าเป็น 3,500 มก.ต่อลิตร และ 10,000 มก.ต่อลิตร ตามลำดับ ให้คำนวณปริมาตรของถังปฏิกิริยา ปริมาณของของแข็งที่จะทิ้งต่อวัน และสัดส่วนของน้ำที่ย้อนกลับมาสู่ถังปฏิกิริยา (Recycle Ratio)



วิธีทำ 1. เลือกค่า θ_C ของระบบเป็น 10 วัน จากสมการ (8–10)

$$\frac{1}{\theta_C} = \frac{Y(S_i - S)}{\theta_H X} - k_d$$

แทนค่า Y , k_d จากตาราง 8-2 และ $\theta_H = \frac{V}{Q_i}$,

$$\frac{1}{\theta_C} = \frac{Q_i Y(S_i - S)}{VX} - k_d$$

$$0.1\ \text{d}^{-1} = \frac{10{,}000\text{m}^3/\text{d}\ (0.6)\ (0.2\ \text{kg/m}^3 - 0.02\ \text{kg/m}^3)}{3.5\ \text{kg/m}^3 (V)} - 0.06\ \text{d}^{-1}$$

$$V = 1{,}929\ \text{m}^3$$

ดังนั้น ถังปฏิกิริยามีปริมาตรเป็น 1,929 ลบ.ม.

สุเทพ สรีพาปการ์

2. จากสมการ (8–9) คำนวณปริมาณของแข็งที่ต้องนำไปทิ้ง

$$\theta_C = \frac{VX}{Q_w X_u}$$

$$Q_w X_u = \frac{VX}{\theta_C} = \frac{1{,}929\text{m}^3 \text{ x } 10\text{kg/m}^3}{10\text{d}}$$

$$= 1{,}929 \text{ kg/d}$$

ดังนั้น ปริมาณสลัดจ์ที่ทิ้งมีค่าเป็น 1,929 กิโลกรัมต่อวัน

เนื่องจาก**ความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ระบายออก (X_u) เป็น 10,000 มก.ต่อลิตร หรือ 10 กิโลกรัมต่อลบ.ม.**

$$Q_w = \frac{1{,}929\text{kg/d}}{10\text{kg/m}^3} = 193 \text{ m}^3\text{/d}$$

ดังนั้น ปริมาตรของสลัดจ์ที่ทิ้งมีค่าเป็น 19 ลบ.ม. ต่อวัน

3. สมดุลมวลสารของถังตกตะกอนขั้นสองคือ

$$(Q_i+Q_R)X = (Q_i - Q_W)\, X_e + (Q_R + Q_W)\, X_U$$

สมมุติว่าปริมาณมวลชีวภาพในน้ำออกมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลชีวภาพในถังปฏิกิริยาและในสลัดจ์ระบายจากถังตกตะกอนขั้นสอง จะได้

$$Q_i X + Q_R X = Q_R X_U + Q_W X_U$$

$$Q_R(X_U - X) = Q_i X - Q_W X_U$$

$$Q_R = \frac{Q_i X - Q_W X_U}{X_U - X}$$

$$= \frac{(10{,}000\text{m}^3\text{/d})(3.5\text{kg/m}^3) - 1{,}929\text{kg/d}}{(10 - 3.5)\text{ kg/m}^3}$$

$$= 5{,}088 \text{ m}^3\text{/d}$$

$$\frac{Q_R}{Q_i} = \frac{5{,}088}{10{,}000} = 0.51$$

ดังนั้นสัดส่วนของน้ำที่ย้อนกลับมาสู่ถังปฏิกิริยา (Recycle Ratio) คือ 0.51

8.2 ระบบบ่อผึ่ง

ระบบบ่อผึ่ง (Oxidation Ponds) หรือที่เรียกว่าบ่อปรับเสถียร (Stabilization Ponds) ใช้เป็นบ่อกักน้ำทิ้งที่มีความลึกของบ่อไม่มากนัก ที่เรียกว่าปรับเสถียรเพราะสารอินทรีย์จะถูกกำจัดโดยจุลชีพแขวนลอยอยู่ในน้ำโดยการออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และไม่เกิดปฏิกิริยาต่อไปอีกทำให้ไม่เกิดความเน่าเหม็น ในการออกแบบระบบบ่อผึ่งแดดบำบัดน้ำเสียให้ได้มาตรฐาน โดยทั่วไปจะเป็นระบบบ่อคือมีหลายบ่อต่อเนื่องกัน ต้องมีระยะเวลาเก็บกักรวมกันไม่ต่ำกว่า 90 วัน รูปร่างและความลึกของบ่อขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการบำบัดน้ำทิ้ง ระบบนี้เป็นนิยมใช้กันมากในชุมชนขนาดเล็ก เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและดำเนินการต่ำ ต้องการพลังงานน้อยเนื่องจากไม่มีการเติมอากาศหรือเติมเป็นครั้งคราวและไม่ต้องมีการควบคุมดูแลอย่างพิถีพิถัน

สุทัศน์ สิริกาญจนาภรณ์

การจำแนกประเภทของบ่อผึ่งสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมที่สุดคือ จำแนกตามระดับออกซิเจนที่มีในบ่อ ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

1) **บ่อแอโรบิก** (Aerobic Ponds)

บ่อแอโรบิกเป็นบ่อที่มีออกซิเจนทั่วทั้งบ่อและสภาพเป็นแอโรบิกตลอดความลึก บ่อแอโรบิกได้รับออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย และจากอากาศ แบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ตามรูปที่ 8–19 และตาราง 8–7 บ่อแอโรบิกนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามวัตถุประสงค์การทำงานได้ดังนี้คือ

ก) บ่อแอโรบิกอัตราต่ำ (Low Rate Ponds) เป็นบ่อแอโรบิกแบบผลิตออกซิเจนให้มากที่สุด บ่อแบบนี้มีความลึกได้ประมาณ 0.9–1.2 เมตร อาจมีการกวนเป็นระยะๆ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด โดยใช้เครื่องสูบน้ำหรือเครื่องเติมอากาศแบบผิวหน้า (Surface Aerator)

ข) บ่อแอโรบิกอัตราสูง (High Rate Ponds) บ่อแอโรบิกแบบผลิตสาหร่ายให้ได้มากที่สุดหรือบ่อที่มีอัตราการทำงานสูง ใช้สารอาหารในน้ำทำให้เกิดสาหร่ายมากที่สุด แล้วเก็บเกี่ยวสาหร่ายเพื่อนำโปรตีนไปใช้ บ่อแบบนี้จะมีอัตราส่วนระหว่างพื้นผิวที่ต่อปริมาตรสูง ความลึกประมาณ 0.3–0.5 เมตร สิ่งที่อยู่ในบ่อต้องได้รับการกวนหนึ่งหรือสองครั้งต่อวัน เพื่อให้ตะกอนที่ตกอยู่ลอยขึ้นมา และจำเป็นต้องมีการแยกสาหร่ายออกจากน้ำทิ้งขั้นสุดท้าย

2) **บ่อแฟคัลเททีฟ** (Facultative Ponds)

บ่อแฟคัลเททีฟ หรือบ่อแอโรบิก-แอนแอโรบิก หรือ กึ่งแอโรบิก เป็นบ่อที่นิยมมากที่สุด ที่มีชื่อเรียกเช่นนี้เนื่องจากส่วนบนสุดของบ่อจะอยู่ในสภาพแอโรบิก จากการเติมอากาศที่ผิวหน้าและจากปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงของสาหร่ายซึ่งให้ออกซิเจน ส่วนล่างของบ่อจะอยู่ในสภาพแอนแอโรบิก โดยสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนแล้วจะถูกย่อยสลายแบบแอนแอโรบิกโดยจุลินทรีย์ บ่อแฟคัลเททีฟมีความลึกประมาณ 1.2 - 2.4 เมตร น้ำทิ้งจะถูกกักเป็นเวลาหลายวันเพื่อให้คงตัว และไม่เป็นที่น่ารังเกียจเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีทั้งทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ โดยสาหร่ายและแบคทีเรีย

3) **บ่อแอนแอโรบิกหรือบ่อหมัก** (Anaerobic Ponds)

ใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเข้มสูงและมีปริมาณของแข็งสูง บ่อนี้ถูกออกแบบให้มีอัตรารับสารอินทรีย์สูงมากจนสาหร่ายและการเติมออกซิเจนที่ผิวหน้าไม่สามารถเติมออกซิเจนได้ทัน สภาพในบ่อจึงไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่มีความลึกประมาณ 2.4 – 4.9 เมตร สารอินทรีย์และของแข็งในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายแบบแอนโรบิกภายในบ่อ น้ำใสที่ออกจากบ่อจะถูกปล่อยสู่บ่อแฟคัลเททีฟเพื่อบำบัดต่อไป ลักษณะการทำงานของบ่อหมักนี้เป็นเช่นเดียวกับถังย่อยสลัดจ์ ซึ่งขึ้นกับสมดุลระหว่างแบคทีเรียที่สร้างกรดและแบคทีเรียที่สร้างมีเทน อุณหภูมิที่เหมาะสมของบ่อควรสูงกว่า 15 องศาเซลเซียส และค่าพีเอชช่วง 6.5 – 7.2 ตะกอนที่เกิดขึ้นจากบ่อจึงมีน้อย

4) **บ่อบ่ม** (Maturation Ponds)

บ่อบ่มจะใช้เป็นบ่อที่รับต่อจากบ่อแฟคัลเททีฟรับอัตราสารอินทรีย์ต่ำมาก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดเชื้อโรคก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ การกำจัดบีโอดีในบ่อบ่มจะเกิดขึ้นน้อย โดยสภาพภายในบ่อจะเป็นแอโรบิกทั้งหมด ลึกประมาณ 0.9 – 1.5 เมตร

สำนักวิทยบริการฯ

ตาราง 8–7 ข้อมูลของระบบบำบัดแบบบ่อชนิดต่างๆ

ตัวแปร	ชนิดของบ่อ					
	บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ	**บ่อแอโรบิก อัตราสูง**	**บ่อบ่ม**	**บ่อแฟคัลเททีฟ**	**บ่อหมัก**	**สระเติมอากาศ**
การกวนผสม	เป็นครั้งคราว	เป็นครั้งคราว	เป็นครั้งคราว	เฉพาะส่วนบน	–	กวนผสมสมบูรณ์
พื้นที่, ตรม.	น้อยกว่า 40,470	2,024 – 8,094	8,094 – 40,470	8,094 – 40,470	2,024 – 8,094	8,094 – 40,470
(ไร่)	(25.3)	(1.3 – 5.1)	(5.1 – 25.3)	(5.1 – 25.3)	(1.3 – 5.1)	(5.1 – 25.3)
	หลายบ่อ	หลายบ่อ	หลายบ่อ	หลายบ่อ	หลายบ่อ	หลายบ่อ
การทำงาน	ต่ออนุกรมหรือขนาน	ต่ออนุกรมหรือขนาน	ต่ออนุกรมหรือขนาน	ต่ออนุกรมหรือขนาน	ต่อแบบอนุกรม	ต่ออนุกรมหรือขนาน
ระยะเวลากักเก็บน้ำ (ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ),วัน	10 – 40	4 – 6	5 – 20	5 – 30	20 – 50	3 – 10
ความลึก, เมตร	0.9 – 1.2	0.3 – 0.5	0.9 – 1.5	1.2 – 2.4	2.4 – 4.9	1.8 – 6.1
pH	6.5 – 10.5	6.5 – 10.5	6.5 – 10.5	6.5 – 8.5	6.5 – 7.2	6.5 – 8.0
ช่วงอุณหภูมิ, °C	0 – 30	5 – 30	0 - 30	0 – 50	6 – 50	0 – 30
อุณหภูมิที่เหมาะสม, °C	20	20	20	20	30	20
อัตราภาระบรรทุก บีโอดี, กรัม. ต่อ ตร.ม. ต่อ วัน	6.8 – 67.5	9.0 – 90.5	น้อยกว่า 3.40	5.6 – 101.5	22.6 – 282.0	–
ประสิทธิภาพการลดบีโอดี, %	80 – 95	80 – 95	60 – 80	80 – 95	50 – 85	80 – 95
ผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้น	สาหร่าย, CO_2,	สาหร่าย, CO_2,	สาหร่าย, CO_2,	สาหร่าย, CO_2,	CO_2, CH_4,	CO_2, แบคทีเรีย
	แบคทีเรีย	แบคทีเรีย	แบคทีเรีย, NO_3^-	แบคทีเรีย, CH_4	แบคทีเรีย	
ความเข้มข้นของสาหร่าย, มก ต่อ ลิตร	40 – 100	100 – 260	5 – 10	5 – 20	0 – 5	–
ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออก, มก. ต่อ ลิตร[1]	80 – 140	150 – 300	10 – 30	40 – 60	80 – 160	80 – 250

[1] ของแข็งแขวนลอยทุกชนิด รวมทั้งสาหร่ายและแบคทีเรีย น้ำเข้ามีค่าบีโอดี 200 มก. ต่อ ลิตร และปริมาณของแข็งแขวนลอย 200 มก. ต่อ ลิตร

ที่มา ดัดแปลงจาก สุเทพ (2536); Metcalf & Eddy, Inc. (1991); Asian Development Bank (2001)

สุเทพ สิลัยกาญจน์

8.2.1 ข้อดีและข้อเสียของบ่อผึ่ง

ข้อดี

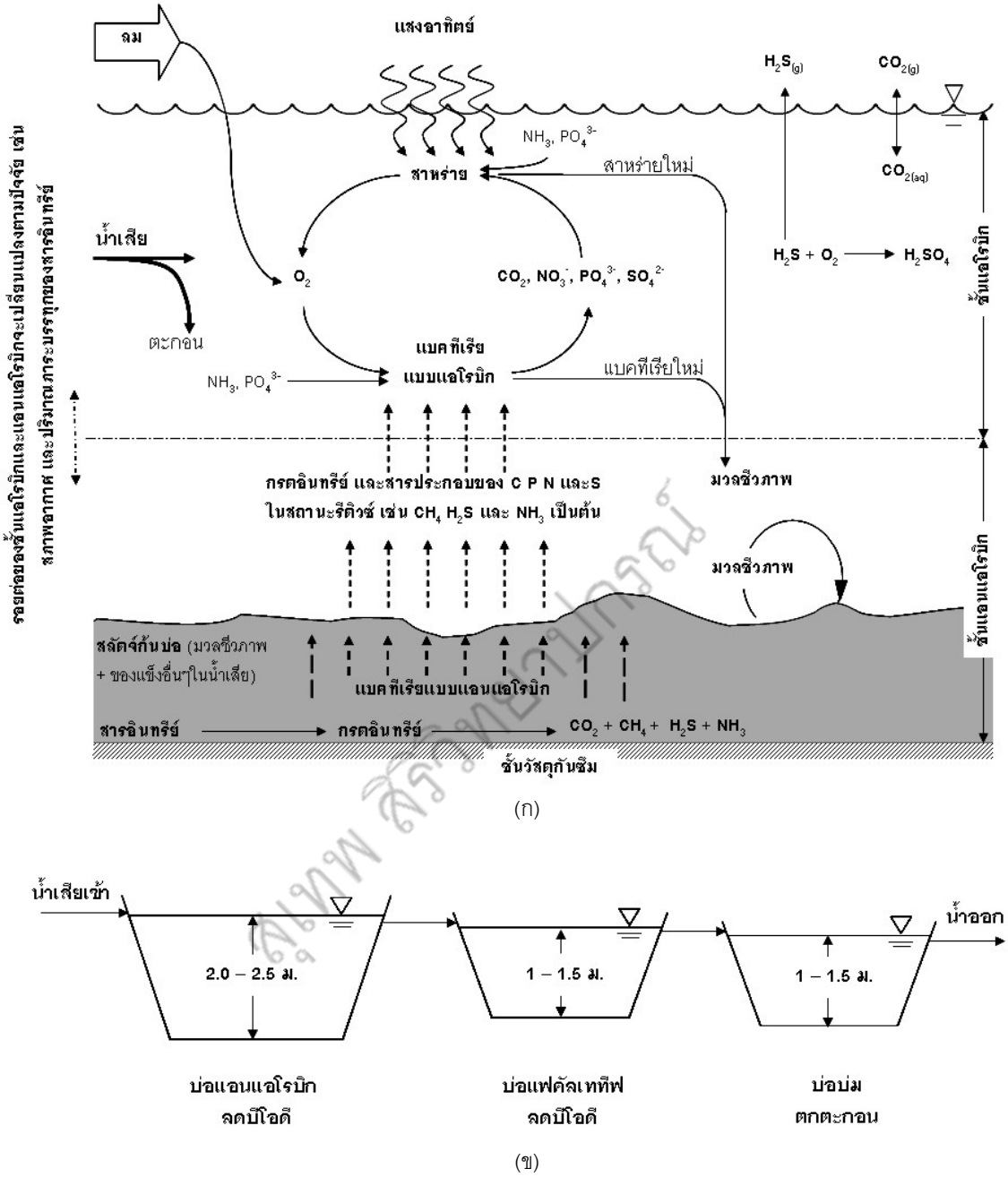
1. สามารถบำบัดน้ำเสียให้สะอาดขึ้นถึงระดับที่ต้องการ ซึ่งนอกจากจะกำจัดบีโอดีแล้งยังสามารถกำจัดธาตุอาหาร (Nutrient) ต่างๆ โดยเสียค่าใช้จ่ายทั้งในการลงทุนและการบำรุงรักษาต่ำที่สุด ไม่ต้องการบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถสูง
2. สามารถทนทานต่อการเพิ่มอย่างกะทันหันของอัตราภาระสารอินทรีย์และอัตราการไหล เนื่องจากระยะเวลาเก็บกักที่ยาวนาน
3. สามารถบำบัดน้ำทิ้งต่างๆ ได้หลายประเภท สามารถบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ดี เช่น โรงงานผลิตภัณฑ์นม และโรงผลิตอาหาร สามารถบำบัดร่วมกับน้ำเสียชุมชนอย่างได้ผลในบ่อแฟคัลเททีฟ
4. ใช้พลังงานและสารเคมีต่ำเมื่อเทียบกับระบบบำบัดชนิดอื่น
5. วิธีการสร้างระบบง่ายต่อการนำที่ดินกลับมาใช้เพื่อจุดประสงค์อื่นในอนาคต
6. สาหร่ายที่ผลิตจากบ่อสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารที่มีโปรตีนสูง
7. เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย เนื่องจากมีอุณหภูมิสูงและมีแสงแดดตลอดปี

ข้อเสีย

1. ต้องการพื้นที่มาก
2. ในกรณีที่ใช้บ่อหมักอาจมีกลิ่นเหม็นถ้าออกแบบหรือควบคุมไม่ดี บ่อหมักจะมีกลิ่นเป็นที่น่ารังเกียจถ้าต้องรับปริมาณสารอินทรีย์สูงเกินไป การควบคุมกลิ่นอาจทำได้โดยการเพิ่มค่าพีเอชของบ่อโดยมีค่าประมาณ 8 ซึ่งจะให้ซัลไฟต์ส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจากการรีดักชันของซัลเฟตอยู่ในรูปไบซัลไฟด์ไอออน (HS^-) ซึ่งไม่มีกลิ่น หรือการเวียนกลับน้ำทิ้งที่ออกจากบ่อแฟคัลเททีฟหรือบ่อบ่มไปยังทางเข้าบ่อหมัก
3. น้ำทิ้งจากระบบโดยเฉพาะบ่อแอโรบิกอาจมีสาหร่ายปะปนอยู่ในปริมาณสูง
4. อาจทำให้เกิดมลพิษต่อน้ำใต้ดิน

8.2.2 กลไกในการทำงานของบ่อผึ่ง

ปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในบ่อผึ่งและลักษณะการทำงานของระบบ แสดงในรูปที่ 8-19 เมื่อน้ำเสียไหลเข้ามาในบ่อจะมีการตกตะกอนเกิดขึ้นทำให้มีสลัดจ์ที่ก้นบ่อ ในขณะเดียวกันนั้นส่วนที่ไม่ตกตะกอนจะถูกย่อยสลายกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบของ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โดยปกติสลัดจ์ที่ก้นบ่อจะมีการย่อยสลายด้วยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน ทำให้สารอินทรีย์ต่างๆ เช่น CH_4 H_2S CO_2 และเซลล์ใหม่เกิดขึ้นเมื่อมีแสงแดดและอาหารประกอบกับเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม สาหร่ายสีเขียวจะเจริญเติบโตได้ดี สาหร่ายเหล่านี้จะใช้ CO_2 N และ P ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียในการขยายพันธุ์และสร้างออกซิเจนให้กับน้ำ แบคทีเรียจะต้องใช้ออกซิเจนที่สาหร่ายผลิตขึ้นในการหายใจและย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำเสีย ดังนั้นแบคทีเรียและสาหร่ายสีเขียวในบ่อคงตัวจึงมีชีวิตอยู่ร่วมกันและพึ่งพาอาศัยกัน ผลที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสารละลายอินทรีย์ที่ไม่คงตัวให้เป็นสารคงตัว (คาร์บอนไดออกไซด์) เซลล์สาหร่ายสีเขียว และแบคทีเรีย



(ก)

(ข)

รูปที่ 8-19 (ก) ปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้นในบ่อผึ่ง และ (ข) การทำงานของระบบ

การดำเนินการให้กระบวนการต่างๆ เกิดขึ้นภายในบ่อผึ่งได้อย่างสมบูรณ์ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว และการสร้างและการรักษาสภาวะแวดล้อมภายในบ่อให้เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและสาหร่ายสีเขียว เป็นความต้องการเบื้องต้นในการออกแบบ ทั้งนี้เพื่อต้องการรักษากลุ่มจุลินทรีย์ทั้งสองประเภทให้คงอยู่ในบ่อได้โดยไม่สูญพันธุ์ไปอย่างง่ายดาย ถ้าสภาวะแวดล้อมเกิดการเปลี่ยนแปลงก่อนที่แบคทีเรียและสาหร่ายมีความพร้อมในการเจริญเติบโต กระบวนการกำจัดความสกปรกจะไม่เกิดตามต้องการ

สุเทพ สรรพอาภรณ์

กระบวนการซึ่งมีส่วนร่วมในการบำบัดน้ำเสียของบ่อผึ่งได้แก่

1. การตกตะกอน
2. แอโรบิกออกซิเดชัน (Aerobic Oxidation)
3. การเติมอากาศตามธรรมชาติ (Atmospheric Reaeration)
4. การสังเคราะห์แสง

การคำนวณจะใช้สมมุติฐานว่าบ่อผึ่งเป็นถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ โดยไม่มีการฟุ้งของตะกอนกลับมาในส่วนของเหลว ซึ่งจะใช้หลักสมดุลมวลสารโดยคิดเฉพาะสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำเท่านั้น และสมมุติว่าอัตราการสลายตัวของสารอินทรีย์เป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งขึ้นกับค่าบีโอดีโดยปริมาณออกซิเจนมีค่าคงที่ และระบบอยู่ที่สถานะคงตัว (Steady State) สำหรับบ่อเดียวจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{S}{S_i} = \frac{1}{1+k(V/Q_i)} \qquad (8\text{–}27)$$

$$= \frac{1}{1+k\theta_H} \qquad (8\text{–}28)$$

โดย Q_i = อัตราไหลของน้ำสู่ระบบ, ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ลบ.ม.ต่อ วัน)

S_i = ความเข้มข้นของบีโอดี ในน้ำที่เข้าสู่ระบบ, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

S = ความเข้มข้นของบีโอดีในน้ำที่ออกจากระบบ, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

V = ปริมาตรของถังปฏิกิริยา ลบ.ม.

k = ค่าคงที่อัตราการสลายตัวแบบอันดับที่หนึ่งของบีโอดี, ต่อวัน

θ_H = ระยะเวลากักเก็บของน้ำ, วัน

ในกรณีที่ใช้บ่อผึ่งหลายๆ บ่อต่ออนุกรมกัน ถ้าทุกบ่อในอนุกรมนั้นมีขนาดและอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากัน จะสามารถคำนวณความเข้มข้นของน้ำที่ออกจากบ่อสุดท้ายที่สถานะคงตัวได้ดังนี้

$$\frac{S_n}{S_i} = \frac{1}{1+k(V/Q_i)^n} \qquad (8\text{–}29)$$

โดย n = จำนวนของบ่อผึ่งที่ต่ออนุกรมกัน

S_n = ความเข้มข้นของบีโอดีในน้ำที่ออกจากระบบจากบ่อที่ n, กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม.

ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ค่า k ที่นิยมใช้จะอยู่ในช่วง 0.5 – 4.0 ขึ้นกับชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ที่ย่อยสลายง่ายจะมีค่าสูง ความสัมพันธ์ระหว่างค่า k และอุณหภูมิคำนวณได้จาก

$$\frac{k_T}{k_{20}} = \phi^{T-20} \qquad (8\text{–}30)$$

โดย ϕ = ค่าคงที่ซึ่งจะมีค่าในช่วง 1.03 – 1.12

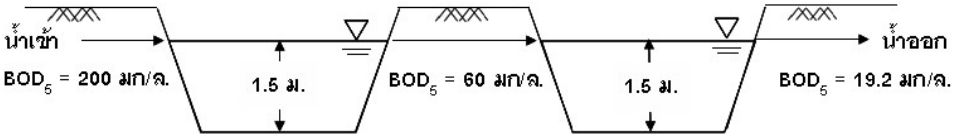
k_T = ค่าคงที่อัตราการสลายตัวแบบอันดับที่หนึ่งของบีโอดีที่อุณหภูมิ T, ต่อวัน

T = อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส

ในกรณีที่บ่อต่ออนุกรมกัน ค่า k อาจจะลดลงตามลำดับของบ่อเนื่องจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายได้สลายตัวไปแล้วในบ่อแรกๆ ซึ่งในการคำนวณอาจจะลดลงร้อยละ 5 – 20 ตามลำดับของบ่อ ค่า k อาจจะได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการหรือระบบนำร่อง

ตัวอย่าง 8- 2 น้ำเสียจากชุมชนแห่งหนึ่งมีอัตราการไหลสูงสุด 1,000 ลบ.ม. ต่อ วัน อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ในช่วง 22 - 28 องศาเซลเซียส ค่าบีโอดีในน้ำเสียมีค่าเป็น 200 มก. ต่อ ลิตร สมมุติบ่อเป็นแนวดิ่ง

ปริมาณน้ำเสีย 1,000 ลบ.ม./วัน



วิธีทำ	บ่อแรก	บ่อสอง
ความลึกน้ำ	1.5 เมตร	1.5 เมตร
ภาระบรรทุกบโอดี	20.0 กรัม/ตร.ม.-วัน	15.0 กรัม/ตร.ม.-วัน
ประสิทธิภาพการลดบีโอดี	70%	68%
อัตราน้ำเสียจากชุมชน	1,000	ลบ.ม./วัน
ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ	200	มก./ล.
ค่าบีโอดีน้ำเสียออกจากระบบ	น้อยกว่า 20	มก./ล.

ความลาดเอียงของบ่อเป็นแนวดิ่ง

บ่อที่ 1 แบบแฟคัลเททีฟ กำจัดบีโอดี 70 %

1) กำหนกอัตราภาระบรรทุกบีโอดีไม่เกิน 20.0 ก/ตร.ม./วัน **(เกณฑ์ 5.6 – 101.5 ก/ตร.ม./วัน)**

2) คำนวณพื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ

= [(อัตราปริมาณน้ำเสีย)(ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ)]/(อัตราภาระบรรทุกบีโอดี)

= [(1000 ลบ.ม./วัน)(200 มก./ล.)(1000 ล/ลบ.ม.)/(1000 มก/ก)]/(20 ก/ตร.ม./วัน)

= 10000 ตร.ม.

3) ปริมาตรบ่อ = (1000 ตร.ม.)(1.5 ม.) = 15000 ลบ.ม.

4) ระยะเวลากักเก็บ = (15000 ลบ.ม.)/(1000 ลบ.ม./วัน)

= 15 วัน **(เกณฑ์ 5 – 30 วัน)**

ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อสอง = (200 x 0.3) = 60 มก./ล.

บ่อที่ 2 แบบแฟคัลเททีฟ กำจัดบีโอดี 68 %

1) กำหนกอัตราภาระบรรทุกบีโอดีไม่เกิน 15.0 ก/ตร.ม./วัน **(เกณฑ์ 5.6 – 101.5 ก/ตร.ม./วัน)**

2) คำนวณพื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ

= [(อัตราปริมาณน้ำเสีย)(ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ)]/(อัตราภาระบรรทุกบีโอดี)

= [(1000 ลบ.ม./วัน)(60 มก./ล.)(1000 ล/ลบ.ม.)/(1000 มก/ก)]/(15 ก/ตร.ม./วัน)

= 4000 ตร.ม.

3) ปริมาตรบ่อ = (4000 ตร.ม.)(1.5 ม.) = 6000 ลบ.ม.

4) ระยะเวลากักเก็บ = (6000 ลบ.ม.)/(1000 ลบ.ม./วัน)

= 6 วัน **(เกณฑ์ 5 – 30 วัน)**

อุเทน สิริวิทยาปกรณ์

ค่าบีโอดีน้ำเสียออกบ่อสอง = (60 x 0.32)

= 19.2 มก./ล.

ค่าประสิทธิภาพของระบบบ่อ = (200 – 19.2)/200

= 90.4 เปอร์เซนต์

ระยะเวลาเก็บกักของทั้งสองบ่อ = 15 + 6

= 21 วัน

หมายเหตุ ในการก่อสร้าง จะต้องบวกความลึกของชั้นตะกอนและเผื่อระยะความสูงของของบ่อกับผิวน้ำด้วย (Free Board) โดยอาจจะเผื่อไว้ 1 – 1.5 เมตร และความยาวต้องเผื่อความลาดเอียงของขอบบ่อด้วย

8.3 ระบบสระเติมอากาศ

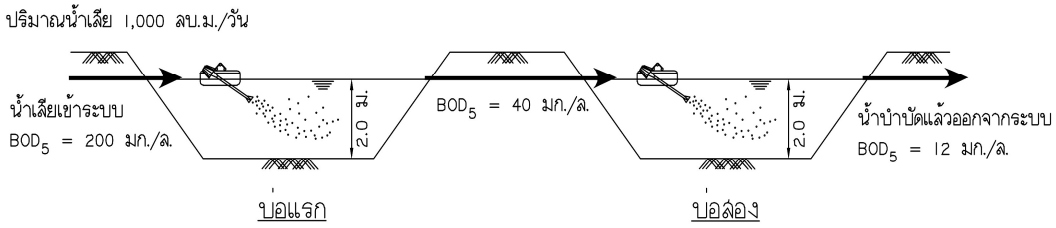
ระบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoons) จะเป็นบ่อขนาดใหญ่ลึกไม่น้อยกว่า 2 เมตร ระยะเวลาเติมอากาศ 3 – 6 วัน มีการเติมอากาศด้วยเครื่องมือกล (รูปที่ 8 – 20) เพื่อเร่งอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพให้เร็วกว่าอัตราธรรมชาติที่เกิดในระบบบ่อผึ่ง (Oxidation Ponds) การเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์จะไม่ถูกจำกัดโดยออกซิเจน โดยอาจจะใช้พื้นที่น้อยกว่าระบบบ่อผึ่งได้ถึงประมาณ 8 – 10 เท่า พลังงานที่ต้องการกวนผสมสมบูรณ์ (Completely Mixing) 5 -10 แรงม้า/1000 ลบ.ม. ในประเทศหนาวเพื่อป้องกันน้ำแข็งตัว 15 – 30 แรงม้า / 1000 ลบ.ม. เป็นระบบที่แพร่หลายมากในการบำบัดน้ำทิ้งชุมชนและน้ำเสียจากอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น จากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร โรงงานกระดาษ โรงงานทอผ้า เป็นต้น ความต้องการออกซิเจนแปรผัน 0.7 – 1.4 เท่า ของภาระบรรทุกบีโอดี



รูปที่ 8-20 ระบบบ่อเติมอากาศ

<u>ตัวอย่าง 8 – 3</u> น้ำเสียจากชุมชนจากตัวอย่าง 8 – 2 ต้องการรับการบำบัดในระบบบ่อเติมอากาศ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ค่าค่าคงที่อัตราการสลายตัวแบบอันดับที่หนึ่งของบีโอดีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เมื่อเติมอากาศมาก

เกินพอ มีค่าเป็น 1.0 ต่อวัน ในการคำนวณใช้ค่า ϕ = 1.06 กำหนดให้เครื่องเติมอากาศมีอัตราให้ออกซิเจน 1.1 กก.O_2/แรงม้า-ชม.



วิธีทำ	บ่อแรก		บ่อสอง
ความลึกน้ำ	2.0 เมตร		2.0 เมตร
ประสิทธิภาพการลดบีโอดี	80%		70%
อัตราน้ำเสียจากชุมชน		1,000	ลบ.ม./วัน
ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ		200	มก./ล.
ค่าบีโอดีน้ำเสียออกจากระบบ		น้อยกว่า 20	มก./ล.

ความลาดเอียงของบ่อเป็นแนวดิ่ง

วิธีทำ 1. คำนวณค่าคงที่อัตราการสลายตัวแบบอันดับที่หนึ่งของบีโอดีใช้ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส

$$\frac{k_T}{k_{20}} = \phi^{T-20}$$

$$k_{22} = 1.0(1.06)^{22-20}$$

$$= 1.12 \text{ ต่อวัน}$$

2. คำนวณระยะเวลากักเก็บของบ่อเติมอากาศบ่อแรก

$$\frac{S}{S_i} = \frac{1}{1+k\theta_H}$$

$$0.2(200)/200 = \frac{1}{1+(1.12)\theta_H}$$

$$\theta_H = \textbf{3.57 วัน} \qquad \textbf{(เกณฑ์ 3 – 6 วัน)}$$

3. คำนวณปริมาตรของระบบจาก

$$\theta_H = \frac{V}{Q}$$

V = (3.57 วัน)(1,000 ลบ.ม. ต่อ วัน) = 3,570 ลบ.ม.

ให้บ่อเติมอากาศมีความลึก 2 เมตร ดังนั้น พื้นที่ของบ่อมีค่าเป็น 1785 ตร.ม หรือ 1.12 ไร่

ปริมาณต้องการออกซิเจน

= 1.2 [(1000 ลบ.ม./วัน)(200 – 40 มก./ล.)(1000 ล/ลบ.ม.)/(1,000,000 มก/ก)]

= 192 กก.O_2/วัน

อัตราเครื่องเติมอากาศ

= (1.1 กก.O_2/แรงม้า-ชม.)(24ชม./วัน) = 26.4 กก.O_2/แรงม้า-วัน

ขนาดเครื่องเติมอากาศ

= 192 / 26.4 = 7.8 แรงม้า ใช้ขนาด 5 แรงม้า 2 เครื่อง

สุเทพ สิงห์เกษมปราการ

ขนาดเครื่องเติมอากาศกวนผสม

= (5 แรงม้า/1000 ลบ.ม.)(1000 ลบ.ม.) = 5 แรงม้าน้อยกว่า 2x5 แรงม้า

4. คำนวณระยะเวลากักเก็บของระบบบ่อสอง

$$\frac{S}{S_i} = \frac{1}{1+k\theta_H}$$

$$0.3(40)/40 = \frac{1}{1+(1.12)\theta_H}$$

θ_H = **2.08 วัน ใช้ระยะเวลา 3 วัน** (เกณฑ์ 3 – 6 วัน)

ใช้ระยะเวลา 3 วัน

5. คำนวณปริมาตรของระบบบ่อสอง

$$\theta_H = \frac{V}{Q}$$

V = (3.0 วัน)(1,000 ลบ.ม. ต่อ วัน) = 3,000 ลบ.ม.

บ่อลึก 2.0 เมตร แต่ละบ่อจะใช้พื้นที่ 1,500 ตร.ม. หรือประมาณ 0.95 ไร่ ต่อบ่อ

พื้นที่บ่อรวมจะเป็น = 1785 + 1500 = 3,285 ตร.ม.

ประสิทธิภาพรวมของระบบบ่อ = (200 – 12) / 200 = 94%

ระยะเวลาเก็บกักของทั้งสองบ่อ = 3.57 + 2.08 = 5.65 วัน

ปริมาณต้องการออกซิเจน

= 1.2 [(1000)(40 – 12 มก./ล.)(1000 ล/ลบ.ม.)/(1,000,000 มก/ก)]

= 33.6 กก.O_2/วัน

อัตราเครื่องเติมอากาศ

= (1.1 กก.O_2/แรงม้า-ชม.)(24ชม./วัน) = 26.4 กก.O_2/แรงม้า-วัน

ขนาดเครื่องเติมอากาศ

= 33.6 / 26.4 = 1.27 แรงม้า ใช้ขนาด 5 แรงม้า

ขนาดเครื่องเติมอากาศกวนผสม

= (5 แรงม้า/1000 ลบ.ม.)(1000 ลบ.ม.) = 5 แรงม้า

8.4 ระบบปฏิกิริยาสลับเป็นกะ

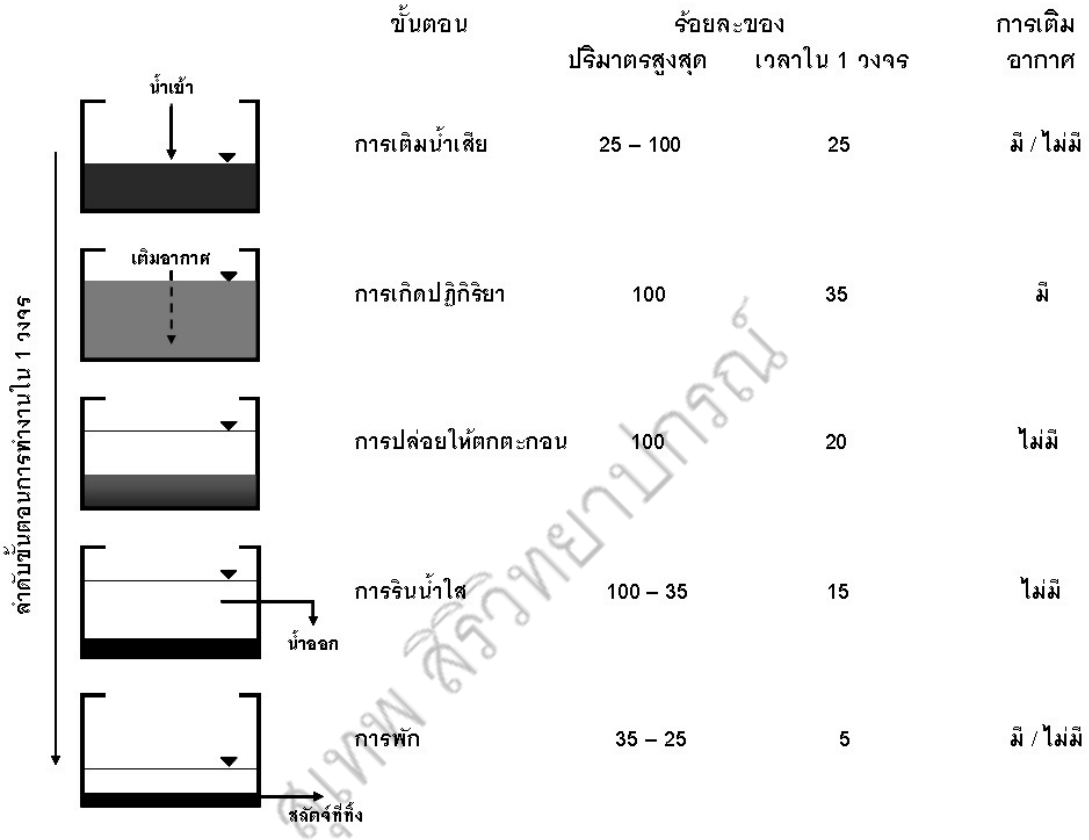
ระบบปฏิกิริยาสลับเป็นกะ (Sequencing Batch Reactor, SBR) หรือระบบเอสบีอาร์ก็คือระบบเอเอสแบบที่มีการเติมน้ำเสียเข้าและถ่ายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกิริยา (Fill and Draw) แทนการไหลแบบต่อเนื่อง เนื่องจากเครื่องมือเติมอากาศและระบบควบคุมการทำงานสำหรับการเติมน้ำเสียเข้าและการถ่ายน้ำดีออกจากระบบได้มีการพัฒนาจนมีประสิทธิภาพที่ดีอย่างที่เป็นอยู่ ดังนั้นระบบเอสบีอาร์จึงได้กลายมาเป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย น้ำเสียที่สามารถบำบัดได้ด้วยระบบเอเอสทุกชนิดจะสามารถบำบัดได้ด้วยระบบเอสบีอาร์

ระบบเอสบีอาร์จะใช้กระบวนการหน่วยเช่นเดียวกับระบบเอเอส โดยมีการเติมอากาศและตกตะกอนทำน้ำใสในระบบทั้งสอง แต่ข้อแตกต่างที่สำคัญก็คือ ในระบบเอเอสกระบวนการทั้งสองจะเกิดในถังปฏิกิริยาสองถังที่ต่อเนื่องกัน ในขณะที่ในระบบเอสบีอาร์ กระบวนการทั้งสองจะจะเกิดเป็นต่อเนื่องเป็นลำดับในถังปฏิกิริยาใบเดียวกัน

สุเทพ สิริวัฒนาภรณ์

8.4.1 หลักการทำงานของระบบเอสบีอาร์

โดยทั่วไปการทำงานของระบบเอสบีอาร์ใน 1 วงจร (Cycle) จะประกอบไปด้วยการทำงาน 5 ขั้นตอน เป็นลำดับดังนี้คือ 1) การเติมน้ำเสีย (Fill) 2) การเกิดปฏิกิริยา (React) 3) การปล่อยให้ตะกอนจมตัว (Settle) 4) การรินน้ำใสออก (Draw หรือ Decant) และ 5) การพัก (Idle) เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนที่ 5) ก็จะเริ่มวงจรต่อไปโดยทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1) – 5) ตามลำดับไปเรื่อยๆ ขั้นตอนการทำงานทั้งหมดได้แสดงในรูปที่ 8–21



รูปที่ 8–21 ขั้นตอนของระบบเอสบีอาร์ทั่วไป (ดัดแปลงมาจาก Metcalf & Eddy, Inc., 2003)

ซึ่งแต่ละขั้นมีหลักการทำงานในรายละเอียดดังนี้

1) **การเติมน้ำเสีย** (Fill) เพื่อเติมสารอาหาร ซึ่งอาจจะเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาแล้วหรือน้ำเสียดิบก็ได้ โดยทั่วไปจะเริ่มเติมน้ำจากร้อยละ 25 ของความจุสูงสุดของถังปฏิกิริยา (ปริมาตรในขั้นสุดท้าย) จนเต็ม (100 เปอร์เซนต์) ถ้าเป็นการควบคุมโดยใช้เวลา ขั้นนี้จะใช้เวลาร้อยละ 25 ของเวลาทั้งหมดใน 1 วงจร

2) **การเกิดปฏิกิริยา** (React) โดยทั่วไปจะมีการเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง เพื่อทำให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการเติมน้ำเสีย ดำเนินต่อไปจนเสร็จ โดยมากจะใช้เวลาร้อยละ 35 ของเวลาทั้งหมดใน 1 วงจร

สมพร สิริวิทยาภรณ์

3) **การปล่อยให้ตะกอนจมตัว (Settle)** เพื่อให้ของแข็งจมลงและแยกตัวออกจากน้ำ ทำให้น้ำส่วนบนใสและสามารถปล่อยออกจากระบบ การจมตัวของตะกอนในระบบเอสบีอาร์โดยทั่วไปจะเกิดได้ดีกว่าในระบบการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) เพราะในระบบเอสบีอาร์ตะกอนจะตกในขณะน้ำนิ่ง โดยมากจะใช้เวลาร้อยละ 20 ของเวลาทั้งหมดใน 1 วงจร

4) **การรินน้ำใสออก (Draw หรือ Decant)** เพื่อถ่ายน้ำใสออกจากถังปฏิกิริยา วิธีที่นิยมก็คือการใช้ระบบฝายลอย (Floating Weir) หรือฝายที่ปรับระดับได้ (Adjustable Weir) โดยมากจะใช้เวลาร้อยละ 5 – 30 ของเวลาทั้งหมดใน 1 วงจร (15 นาที – 2 ชั่วโมง) ซึ่งเวลาที่ใช้ทั่วไปคือ 45 นาที

5) **การพัก (Idle)** สำหรับระบบเอสบีอาร์ที่มีถังปฏิกิริยาหลายถัง การพักทำให้มีเวลาพอสำหรับถังปฏิกิริยาอื่นในการเติมน้ำเสียให้เต็มก่อนที่จะสลับไปเติมน้ำเสียในหน่วยอื่นๆ ต่อไป ในบางครั้งอาจจะมีการถ่ายสลัดจ์ทิ้งในระยะนี้ เนื่องจากไม่ใช่ขั้นตอนที่จำเป็น บางครั้งขั้นตอนนี้ก็ถูกละไว้

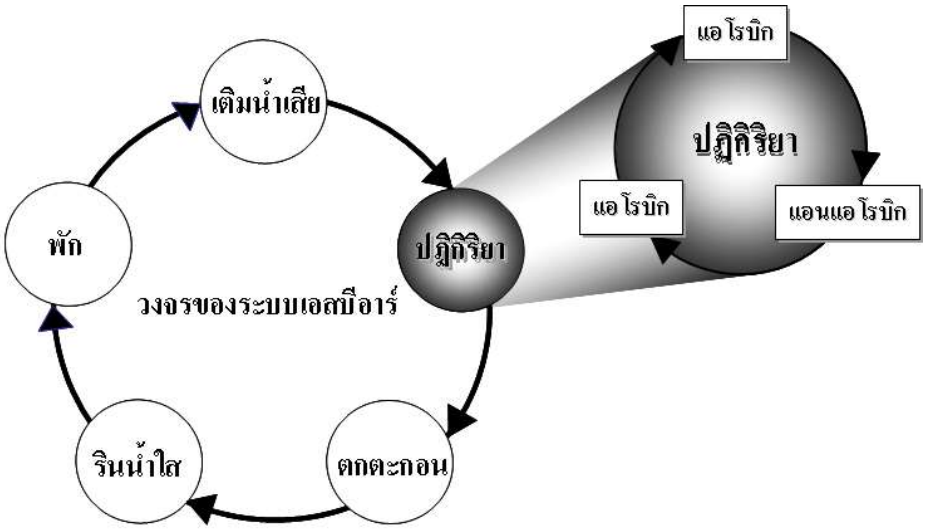
สังเกตุว่าการทิ้งสลัดจ์ (Sludge Wasting) ไม่ถูกรวมอยู่ในขั้นตอนที่กล่าวมาแล้ว ที่จริงการทิ้งสลัดจ์เป็นขั้นตอนที่สำคัญและมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ การกำจัดสลัดจ์จะไม่มีการกำหนดช่วงเวลาและขั้นตอนที่แน่นอน ทั้งนี้ปริมาณและความถี่ของการทิ้งสลัดจ์จะขึ้นกับประสิทธิภาพการบำบัดที่ต้องการ ระบบเอสบีอาร์โดยทั่วไปจะทิ้งสลัดจ์ในช่วงพัก (Idle) ลักษณะเฉพาะของเอสบีอาร์อีกอย่างหนึ่งคือไม่มีการนำสลัดจ์หมุนเวียนมาใช้ใหม่ (Return Activated Sludge, RAS) เนื่องจากการเติมอากาศและการตกตะกอนเกิดในถังเดียวกัน จึงไม่มีสลัดจ์สูญเสียออกจากระบบในช่วงการทำปฏิกิริยา จึงไม่ต้องมีการนำสลัดจ์กลับมาใช้ใหม่เพื่อรักษาปริมาณสลัดจ์ในขณะทำปฏิกิริยา ข้อมูลของค่าตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบระบบเอสบีอาร์ได้แสดงไว้ในตาราง 8 –8

ตาราง 8–8 ข้อมูลของของระบบเอสบีอาร์

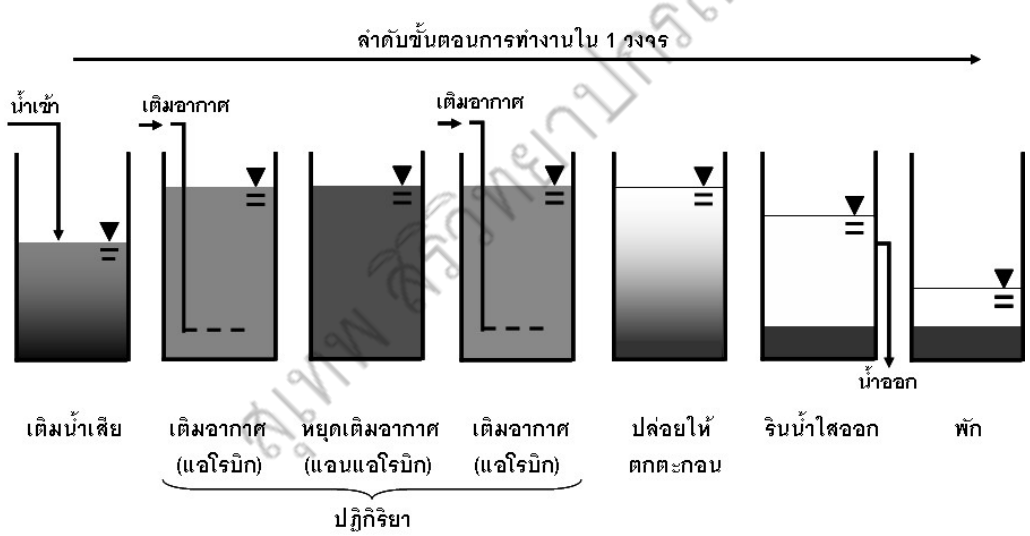
θ_C (วัน)	F/M (กก.BOD_5ต่อ กก.มวลชีวภาพ ต่อวัน)	V_L (กก.BOD_5 ต่อ ลบ.ม. ต่อ วัน)	θ_H (ชั่วโมง)	X (มก. ต่อ ลิตร)
10 – 30	0.04 – 0.30	0.1 – 0.3	15 – 40	1500 – 5000

ที่มา Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

ได้มีการดัดแปลงระบบเอสบีอาร์อย่างมากมายในขั้นตอนที่กล่าวมาเพื่อให้บรรลุเป้าหมายการบำบัดที่เฉพาะเจาะจง เช่น ทดลองใช้ระบบเอสบีอาร์มีตัวกลางสัมผัสในระบบขนาดนำร่อง โดยมีการดัดแปลงขั้นปฏิกิริยาให้มีทั้งช่วงที่เป็นแอโรบิกสลับกับแอนแอโรบิกดังวงจรที่แสดงในรูปที่ 8–22 โดยในขั้นการเกิดปฏิกิริยาน้ำเสียที่ผ่านระบบจะต้องผ่านกระบวนการ เติมอากาศ–หยุดเติมอากาศ–เติมอากาศตามลำดับ ดังรายละเอียดในรูปที่ 8–23 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในน้ำทิ้ง พบว่าที่สัดส่วนของระยะเวลาการเติมและหยุดเติมอากาศและภาระบรรทุกสารอินทรีย์และไนโตรเจนที่เหมาะสม จะสามารถกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนรวม และตะกอนแขวนลอย ได้ถึง 92.17%, 84.91% และ90.86% ตามลำดับ



รูปที่ 8–22 วงจรของระบบเอสบีอาร์ที่มีการดัดแปลงในขั้นปฏิกิริยา



รูปที่ 8–23 ตัวอย่างระบบเอสบีอาร์ที่มีการดัดแปลงในขั้นปฏิกิริยาเพื่อกำจัด ซีโอดี ไนโตรเจนรวม และตะกอนแขวนลอย

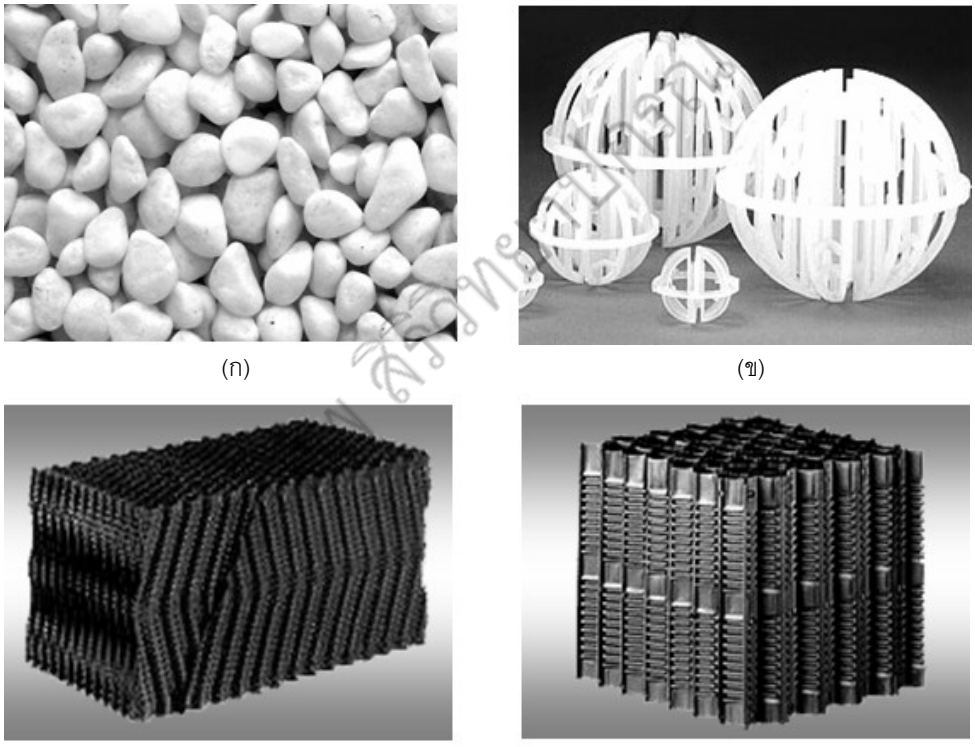
8.5 ระบบทริคคลิงฟิลเตอร์

การจำแนกระบบบำบัดน้ำเสียตามลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ ระบบแบบเติบโตแขวนลอย (Suspended Growth System) เช่น ระบบเอเอส และระบบแบบฟิล์มชีวภาพ (Biofilm System หรือ Fixed Film) เช่น ระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ (Trickling Filter) หรือระบบโปรยกรอง และระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor หรือ RBC) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟิล์มชีวภาพ เป็นระบบที่สามารถควบคุมการทำงานได้ง่าย และใช้พลังงานในการเดินระบบต่ำ อย่างไรก็ตามทั้งระบบทริคคลิงฟิลเตอร์และระบบแผ่นหมุนชีวภาพไม่เป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทย เนื่องจากระบบทั้งสองมีประวัติการ

ใช้งานไม่ดีเท่าเอเอส นอกจากนี้ระบบแผ่นหมุนชีวภาพจะมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง และมีปัญหาแมลงรบกวนและเกิดการอุดตันเนื่องจากมีสาหร่ายมากเกิน

8.5.1 องค์ประกอบของระบบทริคคลิงฟิลเตอร์

องค์ประกอบของระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ คือ ระบบกระจายน้ำเข้า (Distribution System) ตัวกรอง (Filter) หรือตัวกลาง (Medium) (รูปที่ 8 – 24) ตัวอย่างของลักษณะสมบัติของตัวกลางแสดงในตาราง 8 - 9 และระบบระบายน้ำทิ้ง (Underdrain System) โดยที่ระบบกระจายน้ำเข้ามีหน้าที่ทำให้พื้นที่ภาคตัดขวางของฟิลเตอร์ได้รับน้ำเสียเท่ากันทุกส่วน วัสดุตัวกลางซึ่งอาจเป็นหินหรือพลาสติกจะใช้เป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น ระบบระบายน้ำซึ่งอยู่ตอนล่างของฟิลเตอร์มีหน้าที่รับน้ำเสียที่ไหลผ่านวัสดุตัวกลางและระบายอากาศให้กับฟิลเตอร์ อากาศที่เข้าสู่ระบบอาจจะเป็นการไหลเข้าแบบธรรมชาติ (Natural Draft) โดยมีช่องเปิดอย่างน้อย 15% ของพื้นที่ หรือแบบอัดเข้า (Forced Ventilation) โดยควรจะมีอัตราการไหลของอากาศอย่างน้อย 5 ลิตรต่อวินาที ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร



(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 8–24 ตัวอย่างวัสดุตัวกลางธรรมชาติและวัสดุสังเคราะห์ที่ใช้ในระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ (ก) หินแม่น้ำ (ข) Jaeger Tri-Packs ® (ค) Plastic - Cross Flow (ง) Plastic - Vertical Flow

8.5.2 หลักการทำงาน

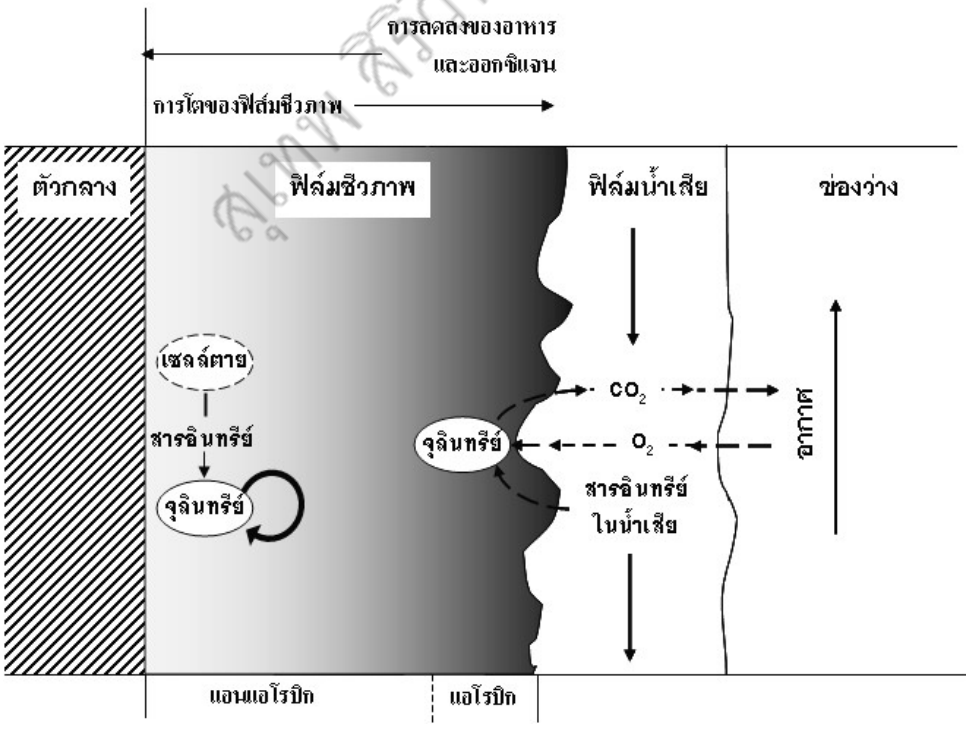
ถังปฏิกิริยาของระบบทริคคลิงฟิลเตอร์จะเป็นถังทรงกระบอกบรรจุด้วยตัวกลาง (Medium) ที่เป็นของแข็ง น้ำเสียที่ผ่านบำบัดขั้นต้นแล้วจะถูกปล่อยให้ไหลผ่านชั้นตัวกลางตามแรงโน้มถ่วง อากาศจะเข้าจากช่องว่างระบายอากาศจากด้านล่างของระบบ จุลินทรีย์จะเจริญบนผิวตัวกลางโดยสร้างชั้นของเหลวมีลักษณะเป็นเมือกรอบๆ เซลล์ช่วยให้เซลล์การยึดติดกับตัวกลางเรียกฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) จุลินทรีย์จะเติบโตออกด้าน

เดียวจากผนังของตัวกลาง จุลินทรีย์ที่ผิวของฟิล์มชีวภาพจะใช้ออกซิเจนทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยออกซิเจนและน้ำเสียจะแพร่ (Diffuse) ผ่านชั้นฟิล์มชีวภาพสู่เซลล์จุลินทรีย์เนื่องจากมีความต่างของความเข้มข้นตามทิศทางที่การแพร่เกิดขึ้น (Concentration Gradient) เมื่อจุลินทรีย์ใช้สารอินทรีย์และออกซิเจนไปจะเกิดคาร์บอนไดออกไซด์และจะแพร่ผ่านฟิล์มชีวภาพออกไปกับอากาศตามความต่างของความเข้มข้นตามทิศทางที่การแพร่เกิดขึ้นเช่นกัน (รูปที่ 8-25)

ตาราง 8–9 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของตัวกลางชนิดต่างๆ

ตัวกลาง	ขนาด (นิ้ว)	มวลต่อหน่วยปริมาตร (กก./ลบ.ม.)	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตร.ม./ลบ.ม.)	ความพรุน (%)
หินแม่น้ำ, ขนาดเล็ก	1 – 2.5	1250 – 1440	55 – 70	40 – 50
หินแม่น้ำ, ขนาดใหญ่	4 – 5	800 – 995	40 – 164	50 – 60
ตะกรันจากเตาเผา, ขนาดเล็ก	2 – 3	890 – 1200	180 – 245	40 – 50
ตะกรันจากเตาเผา, ขนาดใหญ่	3 – 5	800 – 990	164 – 203	50 – 60
ชุดประกอบพลาสติก ทั่วไป	24 x 24 x 48	32 – 95	78 – 98	94 – 97
ชุดประกอบพลาสติก พื้นผิวจำเพาะสูง	24 x 24 x 48	32 – 95	98 – 196	94 – 97

ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)



รูปที่ 8-25 รูปแสดงกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบทริคคลิงฟิลเตอร์

สุพพ สถิตยาภรณ์

เมื่อฟิล์มชีวภาพหนาขึ้น จุลินทรีย์ที่อยู่ถัดจากผิวของฟิล์มชีวภาพเข้าไป (ประมาณ 0.1 – 0.3 มิลลิเมตร) จะอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนและอาหารเพราะออกซิเจนและอาหารแพร่เข้ามาไม่ถึงรวมทั้งถูกใช้โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ที่พื้นผิวไปก่อน ทำให้เติบโตแบบแอนแอโรบิกและอาศัยสารอินทรีย์ที่สะสมภายในเซลล์ (Endogenous Metabolism) หรือจากการสลายตัวของเซลล์ที่ตาย (รูปที่ 8-25) จนในที่สุดอาหารหมดก็จะตายลง เมื่อจุลินทรีย์ที่ผิวของตัวกลางตายลงแรงยึดติดก็จะอ่อนลง เมื่อแรงที่กระทำโดยน้ำเสียต่อฟิล์มชีวภาพชนะแรงยึดระหว่างฟิล์มชีวภาพกับน้ำ ฟิล์มชีวภาพจะหลุดร่อนออก (Sloughing) และฟิล์มชีวภาพจะถูกสร้างขึ้นมาใหม่แทนที่ของเดิมที่หลุดร่อนออกไป สารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพและส่วนที่แขวนลอยอยู่จะถูกกรองออกจากน้ำโดยจับติดกับผิวของตัวกลางและฟิล์มชีวภาพ น้ำที่ผ่านระบบจะถูกส่งเข้าถังตกตะกอนสุดท้ายเพื่อแยกสลัดจ์ออกให้ได้น้ำที่สามารถระบายทิ้งได้

โดยทั่วไป การส่งผ่านมวลสารเป็นสิ่งที่เป็นข้อจำกัด (Mass Transfer Limited) ประสิทธิภาพภาพในระบบนี้ อัตราการส่งผ่านมวลสารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเร็วของกระแสน้ำและอากาศ ความเข้มข้น และพื้นที่ผิว เป็นต้น ซึ่งหน้าที่หลักของตัวกลางก็คือเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์เติบโตได้ (Specific Surface Area) นอกจากนี้ยังช่วยกระจายกระแสน้ำและอากาศให้สัมผัสกันได้มากขึ้นและสัมผัสกับผิวฟิล์มชีวภาพอย่างทั่วถึงด้วย ตัวกลางที่ใช้ในระบบทริคคลิงฟิลเตอร์อาจจะเป็นวัสดุธรรมชาติ เช่น เป็นหินหยาบขนาดประมาณ 3 – 10 เซนติเมตร ซึ่งจะมีพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์เติบโตได้ประมาณ 50 – 70 ตร.ม.ต่อ ลบ.ม.ของถังปฏิกิริยา และมีความพรุนในถังปฏิกิริยาประมาณ 40 – 50 เปอร์เซนต์ หรือเป็นวัสดุสังเคราะห์เช่นพลาสติกรูปแบบต่างๆ ที่มีความทนทานและออกแบบให้มีพื้นที่สำหรับจุลินทรีย์เติบโตได้มากถึง 200 ตร.ม.ต่อ ลบ.ของถังปฏิกิริยา และมีความพรุนในถังปฏิกิริยาประมาณมากถึง 95 เปอร์เซนต์

8.5.3 ประเภทของระบบทริคคลิงฟิลเตอร์

ระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ สามารถแบ่งตามอัตราภาระบรรทุกน้ำ (Hydraulic Loading Rate) และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) การหมุนเวียนน้ำ (Recirculation) ทำให้ระบบสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น (ตาราง 8–10)

1) ระบบทริคคลิงฟิลเตอร์แบบอัตราต่ำ (Low Rate Filter) เป็นระบบที่มีขนาดเล็ก และมีวัสดุตัวกลางเป็นหิน ระบบนี้ไม่มีการหมุนเวียนน้ำ ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนระบบนี้มักมีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 และจะมีไนทริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ในระดับสูง น้ำที่ได้จึงมีไนเตรทมาก ปัญหาที่สำคัญของระบบนี้คือ เรื่องกลิ่นและแมลงต่างๆ ซึ่งเป็นปัญหาหลักที่ทำให้ระบบนี้ไม่เป็นที่นิยมในประเทศไทย

2) ระบบทริคคลิงฟิลเตอร์แบบอัตราปานกลาง (Intermediate Rate Filter) เป็นระบบที่มีขนาดเล็ก และมีวัสดุตัวกลางเป็นหิน คล้ายกับระบบอัตราต่ำแต่อาจจะมีการหมุนเวียนน้ำ การหมุนเวียนน้ำและภาระสารอินทรีย์จะมีความสัมพันธ์กันโดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำเสีย จะมีไนทริฟิเคชันเกิดขึ้นได้บ้าง

3) ระบบทริคคลิงฟิลเตอร์แบบอัตราสูง (High Rate Filter) ระบบนี้สามารถทำงานโดยมีระดับของภาระปริมาณน้ำ และภาระสารอินทรีย์ เป็นอิสระต่อกันด้วยการปรับอัตราการหมุนเวียนน้ำ การใช้ภาระสารอินทรีย์สูงต้องใช้ควบคู่กับปริมาณน้ำสูง โดยเฉพาะในกรณีที่มีหินเป็นวัสดุตัวกลางและมีภาระอินทรีย์สูง จุลินทรีย์จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีทำให้ฟิล์มชีวภาพจับตัวกันหนามากบนหิน การเพิ่มภาระปริมาณน้ำจะทำให้แผ่นฟิล์มบางลง เป็นการป้องกันการอุดตันของฟิลเตอร์ ในกรณีที่ต้องการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นให้กับระบบเอเอสอาจใช้ฟิลเตอร์แบบอัตราสูงที่มีวัสดุตัวกลางเป็นพลาสติก ระบบนี้หากได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมและถูกต้องจะสามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณสมบัติสูงได้โดยใช้ปริมาตรน้อยกว่าฟิลเตอร์แบบอัตราต่ำ และจะไม่เกิด

ปัญหาเรื่อง กลิ่น แมลง เพราะไข่และตัวอ่อนจะถูกชะออกตลอดเวลา และการเกิดไนตริฟิเคชัน ระบบทริคคลิงฟิลเตอร์แบบอัตราสูง จะรับภาระบีโอดีได้สูงกว่าอัตราต่ำประมาณ 3-4 เท่า การหมุนเวียนทำให้ฟิลเตอร์ได้รับอัตราไหลสูงกว่าแบบอัตราต่ำประมาณ 10 เท่า ฟิลเตอร์แบบนี้จะมีความสูงเพียง 1.8 – 2.4 เมตรและมีอัตราการหมุนเวียนน้ำประมาณ 100-250 % ข้อที่ควรระวัง คือ จะมีการหลุดของเมือกที่หนาเกินไป ทำให้น้ำทิ้งมีของแข็งแขวนลอยสูง

4) ระบบทริคคลิงฟิลเตอร์อัตราสูงพิเศษ (Super – Rate Filter) คล้ายระบบทริคคลิงฟิลเตอร์แบบอัตราสูง แต่ใช้ตัวกลางพลาสติก มีความลึกได้มากกว่า 12 เมตร สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่าแบบอื่นๆ

5) ระบบทริคคลิงฟิลเตอร์อัตราสูงแบบหยาบ (Roughing Filter) ที่ถูกเรียกว่า Roughing Filter เนื่องจากมีหน้าที่กำจัดสารอินทรีย์บางส่วนเท่านั้น ในทางปฏิบัติจะใช้เป็นระบบขั้นต้นก่อนบ่อเติมอากาศของระบบเอเอส

ตาราง 8-10 ข้อมูลของระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ประเภทต่างๆ

	อัตราต่ำ	**อัตราปานกลาง**	**อัตราสูง**	**อัตราสูงพิเศษ**	**อัตราสูงแบบหยาบ**
ชนิดตัวกลาง	หิน	หิน	หิน	พลาสติก	หินหรือพลาสติก
อัตราภาระบรรทุกน้ำเฉลี่ย, ลบ.ม.ต่อตร.ม. ต่อ วัน	1 – 4 [1]	4 – 10 [1]	10 – 40	10 – 75	40 – 200 [1]
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ [2], กก.ต่อลบ.ม. ต่อ วัน	0.07 – 0.22	0.22 – 0.48	0.4 – 2.4	0.6 – 3.2	มากกว่า 1.5
ความลึกรวมของถังปฏิกิริยา ในอนุกรม, ม.	1.8 – 2.4	1.8 – 2.4	1.8 – 2.4	3.0 – 12.2	0.9 – 6
สัดส่วนการหมุนเวียนน้ำ [3] (Recirculation Ratio)	0	0 - 1:1	1:1 – 2:1	1:1 – 2:1	0 – 2:1
การหลุดร่อน	เกิดเป็นระยะ	เกิดเป็นระยะ	ต่อเนื่อง	ต่อเนื่อง	ต่อเนื่อง
ช่วงการโปรยน้ำ (Dosing Interval)	เป็นช่วงๆ	เป็นช่วงๆ	ต่อเนื่อง	ต่อเนื่อง	ต่อเนื่อง
การเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน	เกิดสมบูรณ์	เกิดบางส่วน	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
การกำจัดบีโอดี, %	80 – 90	50 – 80	50 – 90	60 – 90	40 – 70
แมลงรบกวน	มาก	แล้วแต่กรณี	น้อย	น้อย	น้อย
พลังงาน, กิโลวตต์ ต่อ 10^3 ลบ.ม.	2 - 4	2 – 8	6 – 10	6 – 10	10 – 20

[1] รวมอัตราภาระบรรทุกของน้ำที่หมุนเวียนกลับ

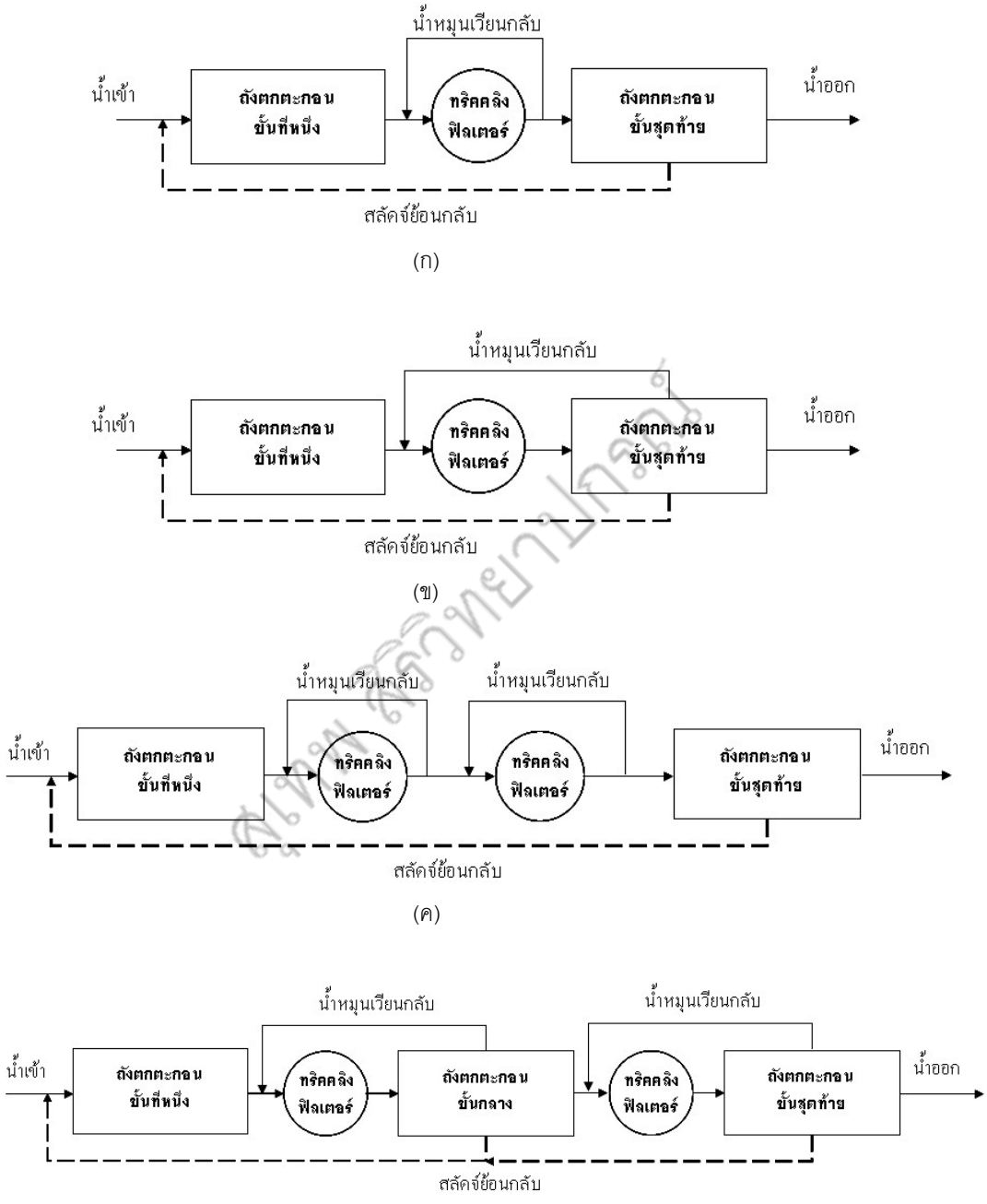
[2] ไม่นับรวมภาระบรรทุกสารอินทรีย์จากน้ำที่หมุนเวียนกลับ

[3] สัดส่วนของน้ำที่หมุนเวียนกลับต่อน้ำเข้า

ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

สุเทพ สถิรวิทยาปกรณ์

ตัวอย่างรูปแบบของการใช้ระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ในระบบบำบัดน้ำเสียแสดงในรูปที่ 8-26 ซึ่งจะประกอบไปด้วยตัวอย่างของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีทริคคลิงฟิลเตอร์แบบอัตราสูงขั้นเดียว (Single Stage) และสองขั้น (Two Stage)



รูปที่ 8-26 ตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสียที่มีทริคคลิงฟิลเตอร์แบบขั้นเดียว (ก) และ (ข) และแบบสองขั้น (ค) และ (ง)

ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

การคำนวณที่ใช้สำหรับระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ที่โดยทั่วไปมีหลายรูปแบบ ในที่นี้จะแสดงเฉพาะแบบที่เสนอโดย Eckenfelder ดังแสดงไว้ใน Metcalf & Eddy, Inc. (2003) ดังนี้

$$\frac{S}{S_i} = e^{-kD/L^n} \qquad (8\text{–}31)$$

โดย S_i = ความเข้มข้นของบีโอดี ในน้ำที่เข้าสู่ระบบ, มิลลิกรัมต่อลิตร

S = ความเข้มข้นของบีโอดีในน้ำที่ออกจากระบบ, มิลลิกรัมต่อลิตร

D = ความลึกของตัวกลาง, เมตร

L = อัตราภาระบรรทุกของน้ำ, ลบ.ม. ต่อ ตร.ม. ต่อ นาที

k = ค่าคงที่อัตราการสลายตัวของบีโอดี ขึ้นกับชนิดของน้ำเสียและตัวกลาง, ต่อนาที

n = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ขึ้นกับลักษณะสมบัติของตัวกลาง

ค่าค่าคงที่อัตราการสลายตัวของบีโอดี (k) อยู่ในช่วง 0.01 – 0.1 ซึ่งค่าเฉลี่ยสำหรับน้ำเสียชุมชนและตัวกลางพลาสติก คือ 0.06 ที่ 20 องศาเซลเซียส การปรับค่าที่อุณหภูมิอื่นๆ จะใช้สมการ (8 –30) ที่แสดงไว้แล้ว โดยใช้ค่า ϕ = 1.035 ส่วนค่าค่าสัมประสิทธิ์ n สำหรับตัวกลางพลาสติกจะมีค่าเป็น 0.5

ในกรณีที่มีการเวียนน้ำกลับ (Recirculation) จะใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{S}{S_a} = \frac{e^{-kD/L^n}}{(1+R) - Re^{-kD/L^n}} \qquad (8\text{–}32)$$

โดย S_a = ความเข้มข้นของบีโอดี ในน้ำที่เข้าสู่ระบบผสมกับน้ำที่วนกลับ, มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งคำนวณจาก

$$S_a = \frac{S_i + RS}{1+R} \qquad (8\text{–}33)$$

โดย R = สัดส่วนของน้ำที่หมุนเวียนกลับต่อน้ำเข้า

สุเพชร ศรีกาญจนปัทมา

<u>ตัวอย่าง 8- 4</u> ระบบทริคคลิงฟิลเตอร์บรรจุด้วยตัวกลางพลาสติกถูกใช้เป็นระบบบำบัดขั้นที่สองสำหรับน้ำเสียชุมชน ปริมาณน้ำที่เข้าสู่ทริคคลิงฟิลเตอร์คือ 10,000 ลบ.ม. ต่อวัน มีค่าบีโอดีเป็น 200 มก.ต่อลิตร ข้อมูลจากระบบนำร่องสำหรับระบบที่ 20 องศาเซลเซียส ได้ค่า k= 0.055 ต่อนาที และค่า n สำหรับตัวกลางพลาสติกจะมีค่าเป็น 0.5 ระบบนี้จะใช้ทริคคลิงฟิลเตอร์สองหน่วนต่อขนานกัน โดยให้ตัวกลางมีความลึก 3 เมตร และสัดส่วนของน้ำที่หมุนเวียนกลับต่อน้ำเข้าเป็น 2:1 ให้คำนวณขนาดของแต่ละหน่วยเพื่อที่จะบำบัดน้ำเสียจนได้ค่าบีโอดีเป็น 20 มก.ต่อลิตร อุณหภูมิต่ำสุดของระบบจะมีค่าเป็น 20 องศาเซลเซียส

<u>วิธีทำ</u> 1. คำนวณค่า S_a จากสมการ (8–33)

$$S_a = \frac{200 + 2(20)}{1+2} = 80 \text{ มก.ต่อลิตร}$$

2. คำนวณอัตราภาระบรรทุกของน้ำจากสมการ (8–32)

$$\frac{20}{80} = \frac{e^{-0.055x3/L^{0.5}}}{(1+2)-2e^{-0.055x3/L^{0.5}}}$$

$$0.25(1+2) = e^{-0.165/L^{0.5}} + 0.25(2)e^{-0.165/L^{0.5}}$$

$$0.5 = e^{-0.165/L^{0.5}}$$

$$0.693 = 0.165 / L^{0.5}$$

$$L = 0.057 \text{ ลบ.ม. ต่อ ตร.ม. ต่อ นาที}$$

3. คำนวณพื้นที่ผิว

ปริมาณน้ำที่เข้าสู่ทริคคลิงฟิลเตอร์10,000 ลบ.ม. ต่อวัน = 10,000 ลบ.ม. ต่อวัน (1 วัน/1440 นาที)

= 6.94 ลบ.ม. ต่อนาที

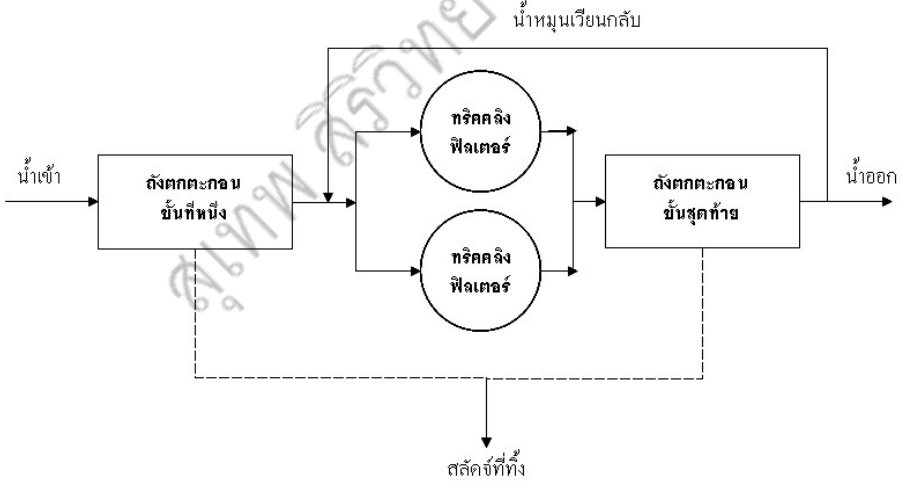
พื้นที่ = 6.94 ลบ.ม. ต่อนาที / 0.057 ลบ.ม. ต่อ ตร.ม. ต่อ นาที

= 122.4 ตร.ม.

แต่ละหน่วยใช้พื้นที่ = (122.4 ตร.ม.)/2 = 61.2 ตร.ม.

ถ้าเป็นถังวงกลม จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละถัง = $[(4x61.2 \text{ ตร.ม.})/3.1416]^{0.5}$= 8.83.ม.

ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละถังเป็น 8.9 เมตร

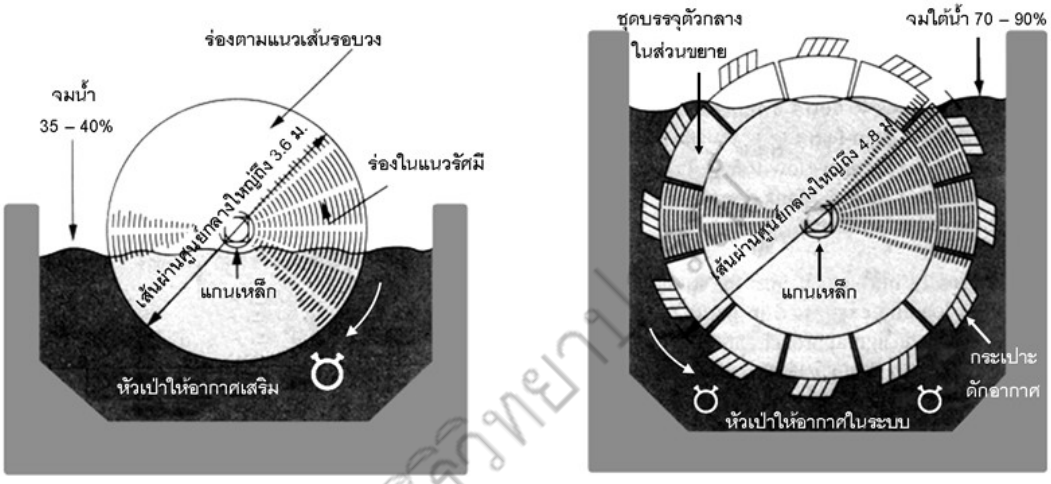


8.6 ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ

แผ่นหมุนชีวภาพ หรือระบบอาร์บีซี (Rotating Biological Contactor หรือ RBC) มีหลักการคล้ายกับระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ คือเพิ่มค่าระยะเวลากักเก็บของมวลชีวภาพในระบบ โดยการเลี้ยงแบคทีเรียให้เกาะเป็นฟิล์มชีวภาพมีลักษณะเป็นเมือกกรอบตัวกลาง แต่ในระบบอาร์บีซีฟิล์มชีวภาพจะไม่อยู่นิ่งเหมือนในระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ (รูปที่ 8 – 27) น้ำทิ้งจะถูกระบายเข้าถังรูปครึ่งทรงกระบอก ตัวกลางที่ให้เมือกแบคทีเรียเกาะเป็นโครงสร้างพลาสติกเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.5 เมตร และมีพื้นที่ผิวประมาณ 9,300 – 13,900 ตารางเมตร ทรงกระบอกจะอยู่บนเพลากลางจุดศูนย์กลาง จำนวนหน่วยของโครงสร้างที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณ บีโอดีที่จะกำจัด เพลาจะวางตามยาวและยึดอยู่บนขอบหัวถังและปลายถัง และจะถูกหมุนด้วย

สุเทพ สิรวิทยาภรณ์

เครื่องมือกลหรือระบบอากาศ ทำให้โครงสร้างพลาสติกขึ้นมาสัมผัสกับอากาศในขณะที่อีกส่วนหนึ่งจุ่มอยู่ในน้ำทิ้ง ระบบโดยทั่วไปประมาณ 35 – 40 % ของโครงสร้างจะจุ่มอยู่ในน้ำเสีย อย่างไรก็ตาม ได้มีการใช้ระบบที่ 70 – 90 % ของโครงสร้างจุ่มอยู่ในน้ำเสีย เพื่อลดภาระน้ำหนักกดที่เพลาซึ่งมักจะเป็นระบบที่มีการเติมอากาศและใช้อากาศที่เติมเพื่อหมุนโครงสร้างพลาสติก เมื่อจุ่มอยู่ในน้ำทิ้ง น้ำอาจจะไหลขนานหรือตั้งฉากกับแกนหมุนก็ได้ (รูปที่ 8–28) แบคทีเรียจะดูดซึมสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและจะทำลายเมื่อได้รับออกซิเจนจากอากาศ เมือกแบคทีเรียจะหนาประมาณ 2 – 3 มม. บางส่วนที่ตายจะหลุดร่อนไปกับน้ำทิ้งที่ไหลออกจากถัง ผ่านเข้าถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนออกไปกำจัดเช่นเดียวกันในระบบทริคคลิงฟิลเตอร์ ปัญหาการทำงานระบบอาร์บีซีได้แก่ เพลา แกนหมุน และแบริ่ง เสียหาย ตัวกลางแตกเสียหายและกลิ่นเหม็น



(ก) (ข)

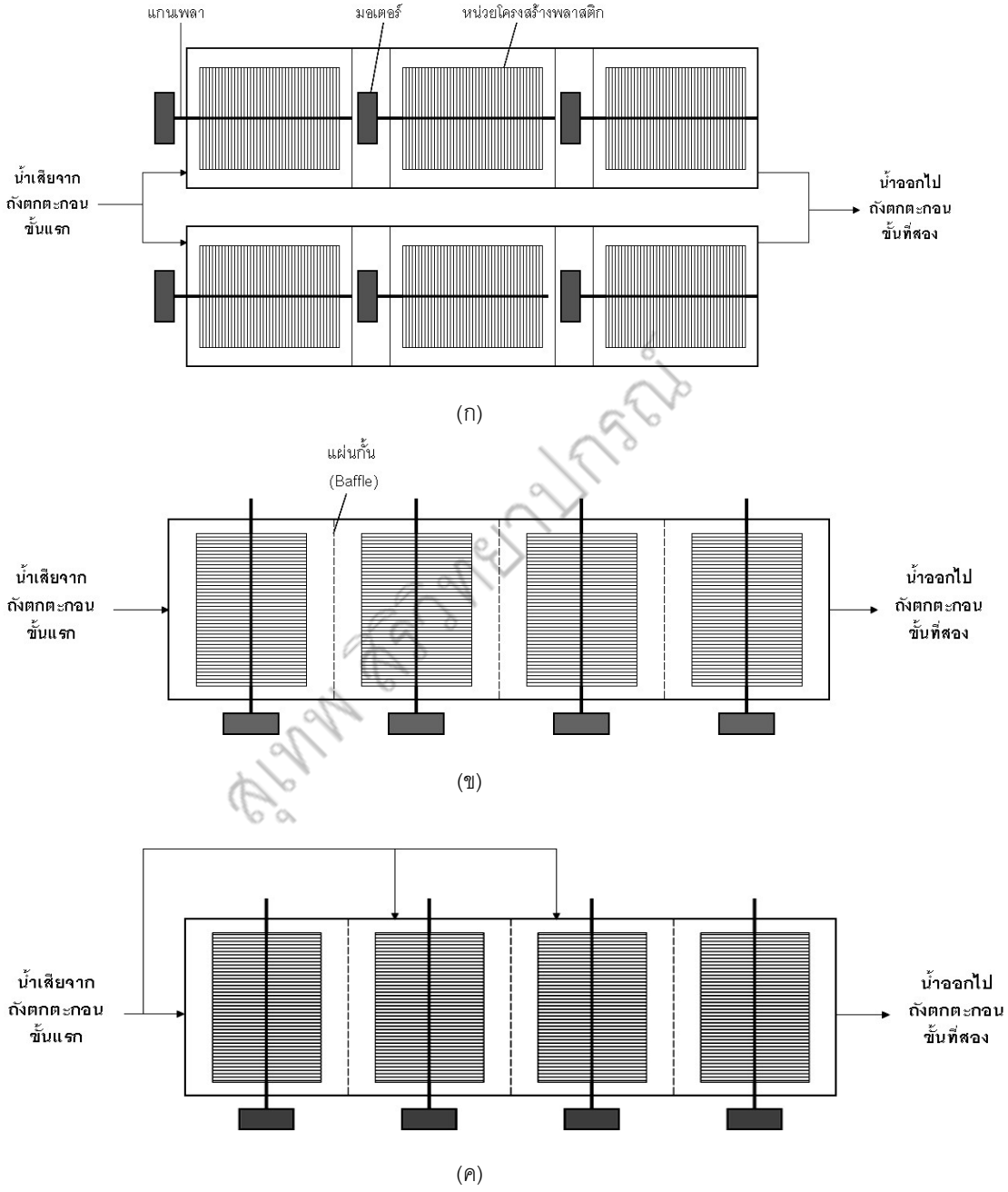


(ค) (ง)

รูปที่ 8-27 ตัวอย่างระบบอาร์บีซี (ก) ระบบอาร์บีซีทั่วไปที่มีหัวเป่าให้อากาศเป็นระบบเสริม (ข) อาร์บีซีแบบจมใต้น้ำที่ติดตั้งกระเปาะดักอากาศที่มีหัวเป่าให้อากาศเพื่อให้อากาศและเพื่อหมุนชุดตัวกลาง (ค) รูปแบบตัวกลางของระบบอาร์บีซี และ (ง) แสดงระบบอาร์บีซีในโรงปิด
ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

โดยทั่วไป ระบบอาร์บีซีจะออกแบบให้มีหลายขั้นตอน (Stage) (รูปที่ 8–28) ประมาณไม่เกิน 6 ขั้นตอน ประสิทธิภาพในการกำจัดของระบบจะขึ้นอยู่กับค่าระยะเวลากักเก็บน้ำในระบบ อัตราภาระแบกรับปริมาณบีโอ

ดีต่อหน่วยพื้นที่ (Area Loading) อัตราภาระแบกรับปริมาณบีโอดีต่อหน่วยปริมาตร (Volumetric Loading) ความเร็วในการหมุน คุณลักษณะของน้ำทิ้งและอุณหภูมิของน้ำทิ้ง ข้อมูลในการออกแบบระบบอาร์บีซีแสดงในตาราง 8–11



รูปที่ 8-28 ตัวอย่างระบบอาร์บีซี (ก) แบบไหลขนานกับเพลา (ข) แบบไหลตั้งฉากกับเพลา และ (ค)ระบบไหลเติมน้ำเสียแบบ Step Feed
ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

สุเทพ สถาพรปกรณ์

ตาราง 8–11 ข้อมูลของระบบอาร์บีซี

ตัวแปร	หน่วย	ระดับการบำบัดที่ต้องการ		
		กำจัดบีโอดี	กำจัดบีโอดี และเกิดไนตริฟิเคชัน	ไนตริฟิเคชัน แยกจากการกำจัดบีโอดี
อัตราภาระบรรทุกน้ำ	ลบ.ม.ต่อ ตร.ม. ต่อ วัน	0.08 – 0.16	0.03 – 0.08	0.04 – 0.10
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์	กรัม BOD_5 ต่อ ตร.ม. ต่อ วัน	8 – 20	5 – 16	1 – 2
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุดสำหรับขั้นที่ 1 ของระบบอาร์บีซี	กรัม BOD_5 ต่อ ตร.ม. ต่อ วัน	24 – 30	24 – 30	–
อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย	กรัมแอมโมเนียไนโตรเจน ต่อ ตร.ม. ต่อ วัน	–	0.75 – 1.5	–
ระยะเวลากักเก็บน้ำ	ชั่วโมง	0.7 – 1.5	1.5 – 4	1.2 – 3
บีโอดีในน้ำทิ้ง	มก.ต่อลิตร	15 – 30	7 – 15	7 – 15
แอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้ง	มก.ต่อลิตร	–	น้อยกว่า 2	1 – 2

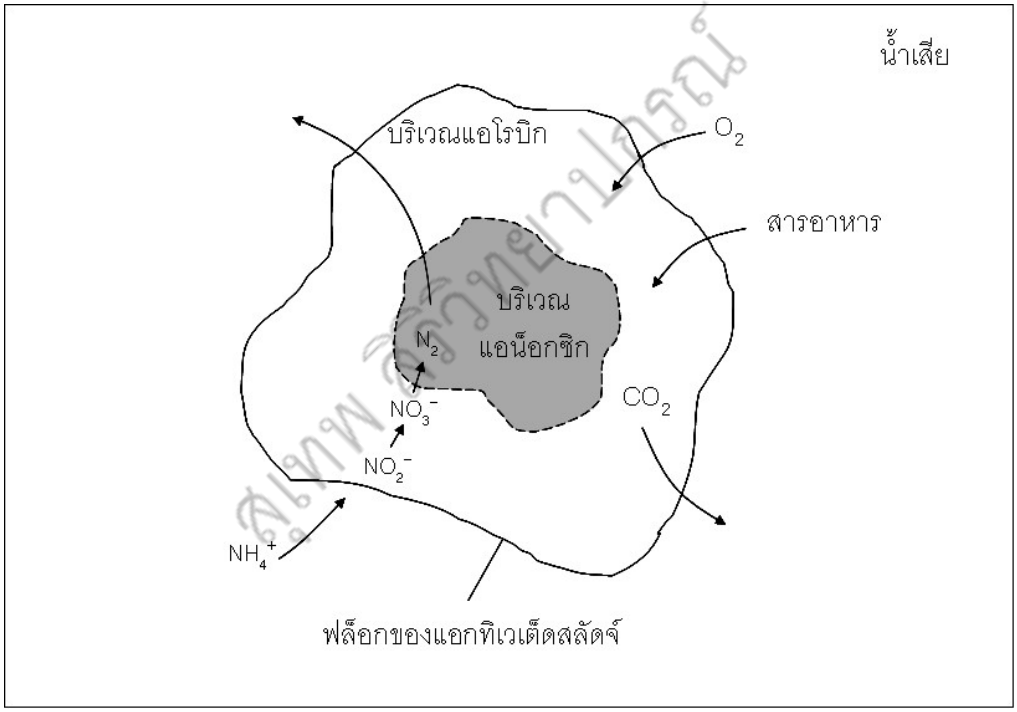
ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

ศุเทพ สริวัฒยากรณ์

8.7 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบแอน็อกซิก

กระบวนการแอน็อกซิก (Anoxic) หมายถึง การที่จุลชีพใช้ไนเตรต (NO_3^-) เป็นตัวรับอิเลกตรอนในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยา Denitrification ทำให้ไนเตรตถูกเปลี่ยนด้วยกระบวนการทางชีวภาพเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) และถูกกำจัดออกจากน้ำ มักใช้ร่วมกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพเพื่อกำจัดธาตุอาหารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบออกจากน้ำ (Biological Nutrient Removal) ปริมาณออกซิเจนละลายเป็นตัวแปรสำคัญ ถ้ามีออกซิเจนละลาย เอนไซม์ที่จำเป็นในกระบวนการทางชีวเคมีสำหรับ Denitrification จะไม่ทำงาน ได้มีการพบว่า ไนโตรเจนมีการสูญเสียออกจากระบบเอเอสทั่วไป เช่น ระบบคูวนเวียนซึ่งมีระยะเวลากักเก็บน้ำนาน ซึ่งอาจจะอธิบายได้ด้วยกลไกสองประการคือ น้ำเสียที่อยู่ห่างจากเครื่องเติมอากาศอาจจะอยู่ในสภาวะแอน็อกซิก และฟล็อกของแอกทิเวเต็ดสลัดจ์อาจจะมีบริเวณที่เป็นทั้งแอโรบิกและแอน็อกซิก ดังแสดงในรูป 8–29 ซึ่งไนเตรทจะถูกผลิตในบริเวณแอโรบิกด้านนอกของฟล็อกซึ่งออกซิเจนแพร่ผ่านถึง จากนั้นไนเตรทจึงถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซไนโตรเจนภายในบริเวณที่เป็นแอน็อกซิก

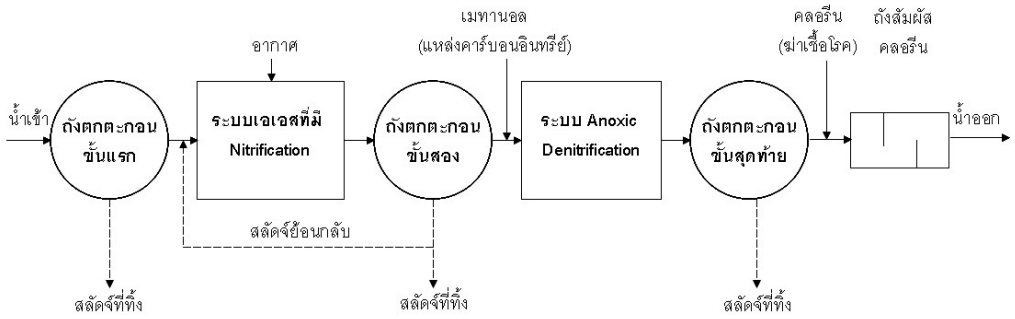
กระบวนการ Anoxic Denitrification อาจจะแบ่งได้เป็นระบบเติบโตแขวนลอยและเติบโตเกาะติด ระบบเติบโตแขวนลอยมักจะใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน ต่อจากกระบวนการ Nitrification ในกรณีนี้เนื่องจากแบคทีเรียในกระบวนการ Denitrification ต้องการคาร์บอนอินทรีย์สำหรับสร้างเซลล์ใหม่ ซึ่งน้ำออกจากกระบวนการ Nitrification มักจะมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ต่ำ จึงอาจจะต้องมีการเติมคาร์บอนอินทรีย์ เช่น เมทานอล เข้าไปในระบบ ในบางกระบวนการอาจใช้น้ำเสียหรือเซลล์จุลชีพเองเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ ในบางกรณีอาจใช้น้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีคาร์บอนอินทรีย์สูงแต่มีปริมาณธาตุอาหารต่ำเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ได้ ก๊าซไนโตรเจนที่เกิดขึ้นอาจจะทำให้สลัดจ์ไม่จมตัว จึงอาจจะต้องมีกระบวนการหน่วยเพื่อกำจัดไนโตรเจนก่อนถังตกตะกอน สำหรับกระบวนการ Anoxic Denitrification ในระบบเติบโตเกาะติดมักจะเกิดในถังปฏิกิริยาทรงกระบอกที่มีตัวกลางซึ่งอาจจะเป็นวัสดุสังเคราะห์หรือวัสดุธรรมชาติก็ได้ อาจจะต้องมีการล้างย้อน (Backwash) ด้วยน้ำหรืออากาศเป็นครั้งคราวเพื่อป้องกันการอุดตัน โดยปกติจะต้องมีการเติมคาร์บอนอินทรีย์เพิ่มเติม



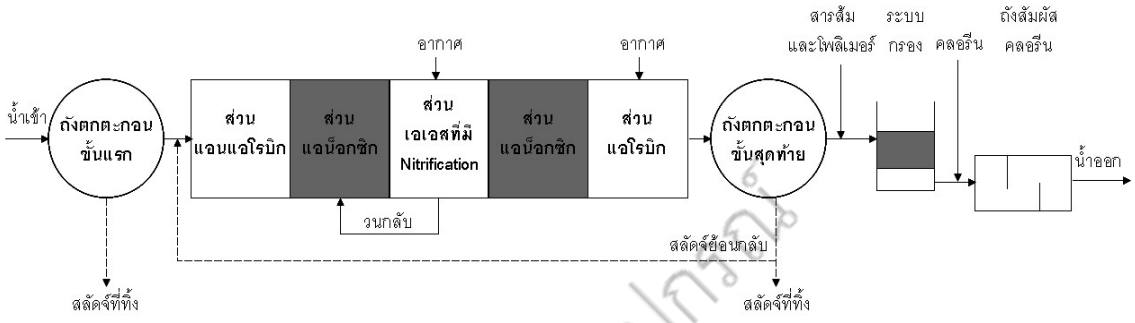
รูปที่ 8-29 ฟล็อกของแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ในน้ำเสียที่ประกอบด้วยบริเวณ แอโรบิกและแอน็อกซิกและปฏิกิริยา Nitrification/Denitrification ที่เกิดในฟล็อก

สำหรับฟอสฟอรัสนั้น จุลชีพจะสะสมฟอสฟอรัสในเซลล์ในสภาวะที่มีออกซิเจน แต่จะปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเซลล์ในสภาวะแอน็อกซิก ดังนั้นการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพอาจทำได้ด้วยการจัดลำดับระหว่างกระบวนการที่สภาวะแอโรบิกและแอน็อกซิกที่เหมาะสม

ตัวอย่างของระบบบำบัดทางชีวภาพสำหรับกำจัดธาตุอาหารที่มีกระบวนการ Denitrification แสดงในรูปที่ 8–30 (ก) และ (ข)



(ก)



(ข)

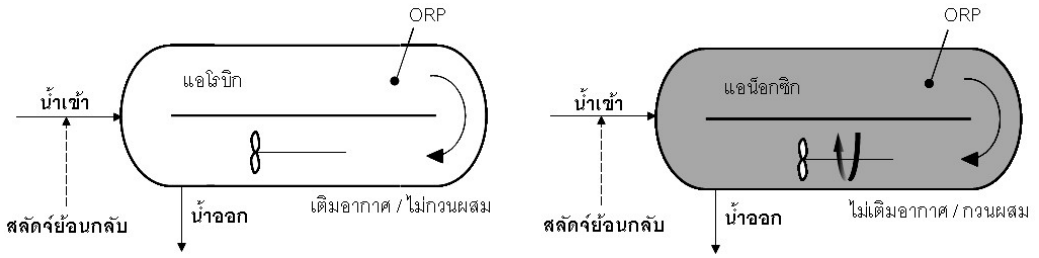
รูปที่ 8-30 ตัวอย่างระบบบำบัดทางชีวภาพสำหรับกำจัดธาตุอาหารที่มีกระบวนการ Denitrification (ก) ระบบเอเอส ที่มีกระบวนการ Nitrification/Denitrification ที่ใช้เมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ (ข) ระบบบำบัดทางชีวภาพสำหรับกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนตามด้วยระบบกรองและระบบฆ่าเชื้อโรค

ในระบบที่มีระยะเวลากักเก็บจุลชีพนาน เช่น ระบบคูวนเวียน อาจใช้การเติมอากาศเป็นช่วง (Intermittent Aeration) เพื่อให้เกิดกระบวนการ Nitrification และ Denitrification ในถังปฏิกิริยาเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 8–31 (ก) และ (ข) ซึ่งแสดงการทำงานของระบบที่จดลิขสิทธิ์ทะเบียนการค้าไว้เรียกว่า Nitrox™ ระบบดังกล่าวจะมีระยะเวลากักเก็บจุลชีพอยู่ในช่วง 18 – 40 วัน และมีระยะเวลากักเก็บน้ำมากกว่า 16 ชม. ในช่วงที่ดำเนินระบบเป็นแอน็อกซิก (รูปที่ 8–31 ข) จะไม่มีการเติมอากาศแต่จะมีการกวนผสมด้วยเครื่องกวนใต้น้ำ ทำให้มีลักษณะเป็นถังปฏิกิริยาแบบกวนผสมสมบูรณ์ ระหว่างนี้ถังปฏิกิริยาจะอยู่ในสภาพแอน็อกซิกและจะเกิดกระบวนการ Denitrification ในถังปฏิกิริยาโดยที่ไนเตรทจะถูกใช้แทนออกซิเจนในการออกซิไดซ์บีโอดีในน้ำเสีย

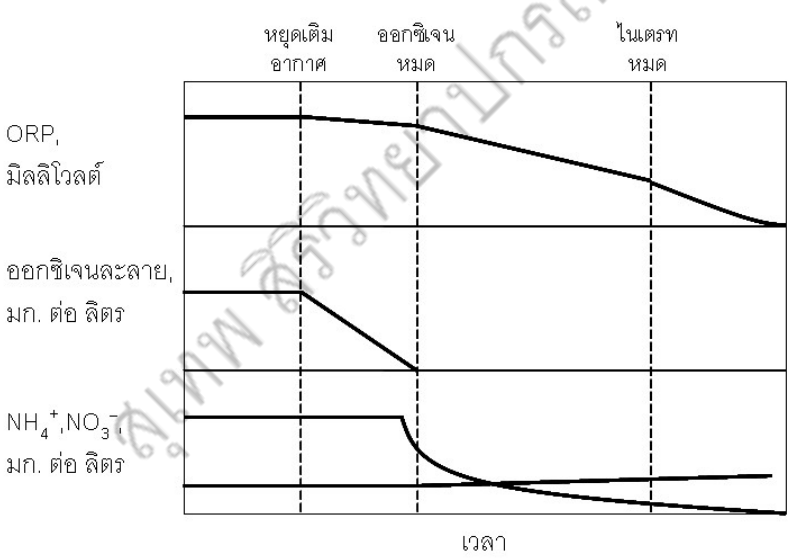
ในช่วงที่เป็นแอน็อกซิก (หลังจากที่ไม่มีการเติมอากาศ) ปริมาณออกซิเจนละลายและไนเตรทจะลดลง (รูปที่ 8–31 ค) ช่วงเวลาที่ใช้ในการเดินระบบในขั้นแอโรบิกและแอน็อกซิกมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งอาจจะมีการปรับระยะเวลาของแต่ละขั้นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด สำหรับระบบ Nitrox™ ดังกล่าว จะใช้ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation – Reduction Potential, ORP) ในการควบคุมช่วงแอโรบิกและแอน็อกซิก ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า ORP ในช่วงเติมและไม่เติมอากาศแสดงไว้ในรูปที่ 8–31 ค จะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

เห็นว่าเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายลดลง ค่า ORP จะค่อยๆ ลดลง และเมื่อไนเตรท (NO_3^-) ลดลง การลดลงของค่า ORP จะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งอัตราการลดลงของค่า ORP สามารถคำนวณได้จากความชันของเส้นกราฟ ซึ่งระบบ Nitrox™ จะมีการตั้งโปรแกรมอัตโนมัติให้มีการเปิดเครื่องเติมอากาศขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า ORP



(ก) (ข)

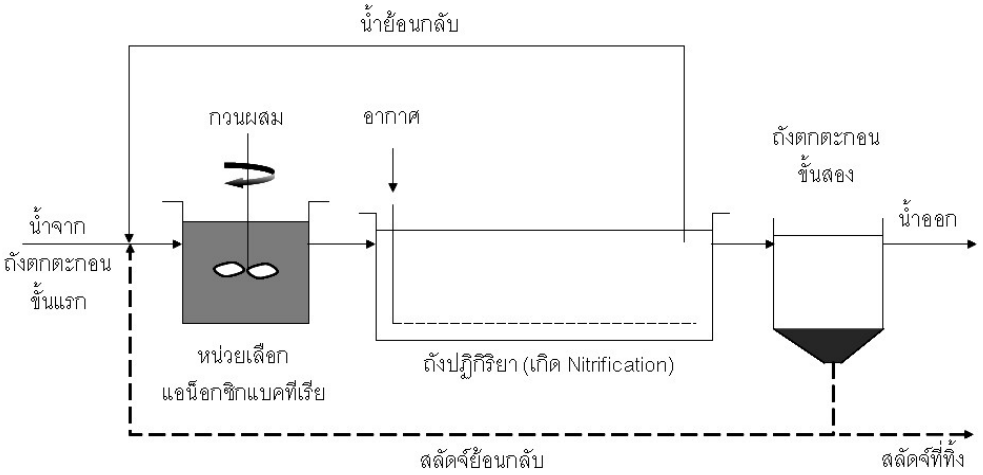


(ค)

รูปที่ 8-31 การทำงานของระบบ Nitrox™ แบบคูวนเวียนที่มีการเติมอากาศเป็นช่วง (ก) แอโรบิก (ข) แอน็อกซิก (ค) การเปลี่ยนแปลงออกซิเจนละลาย ORP ไนเตรทและแอมโมเนีย
ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

ในระยะแอน็อกซิกนี้ถังปฏิกิริยาของระบบ Nitrox™ จะทำหน้าที่คล้ายเป็นหน่วยเลือกแอน็อกซิกแบคทีเรีย (Anoxic Selector) ที่มีในระบบที่แสดงไว้ในรูปที่ 8–32 ซึ่งแสดงระบบที่มีหน่วยเลือกแอน็อกซิกแบคทีเรียอยู่ก่อนหน้าถังปฏิกิริยาที่มีการเติมอากาศต่อเนื่อง โดยบีโอดีที่เข้ามาอย่างต่อเนื่องกับน้ำเสียที่มีออกซิเจนละลายอยู่น้อยและน้ำที่วนกลับที่มีไนเตรทอยู่สูง (ในถังปฏิกิริยาเกิดกระบวนการ Nitrification) ที่เข้าสู่หน่วยเลือกแอน็อกซิกแบคทีเรียจะผลักดันให้เกิดปฏิกิริยา Denitrification

สุเทพ สัจจพงศ์ปการณ์



รูปที่ 8-32 ระบบเอเอสที่มีหน่วยเลือกแอน็อกซิกแบคทีเรียอยู่ก่อนหน้าถังปฏิกิริยา

8.8 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพที่ใช้ออกซิเจนแบบผสม

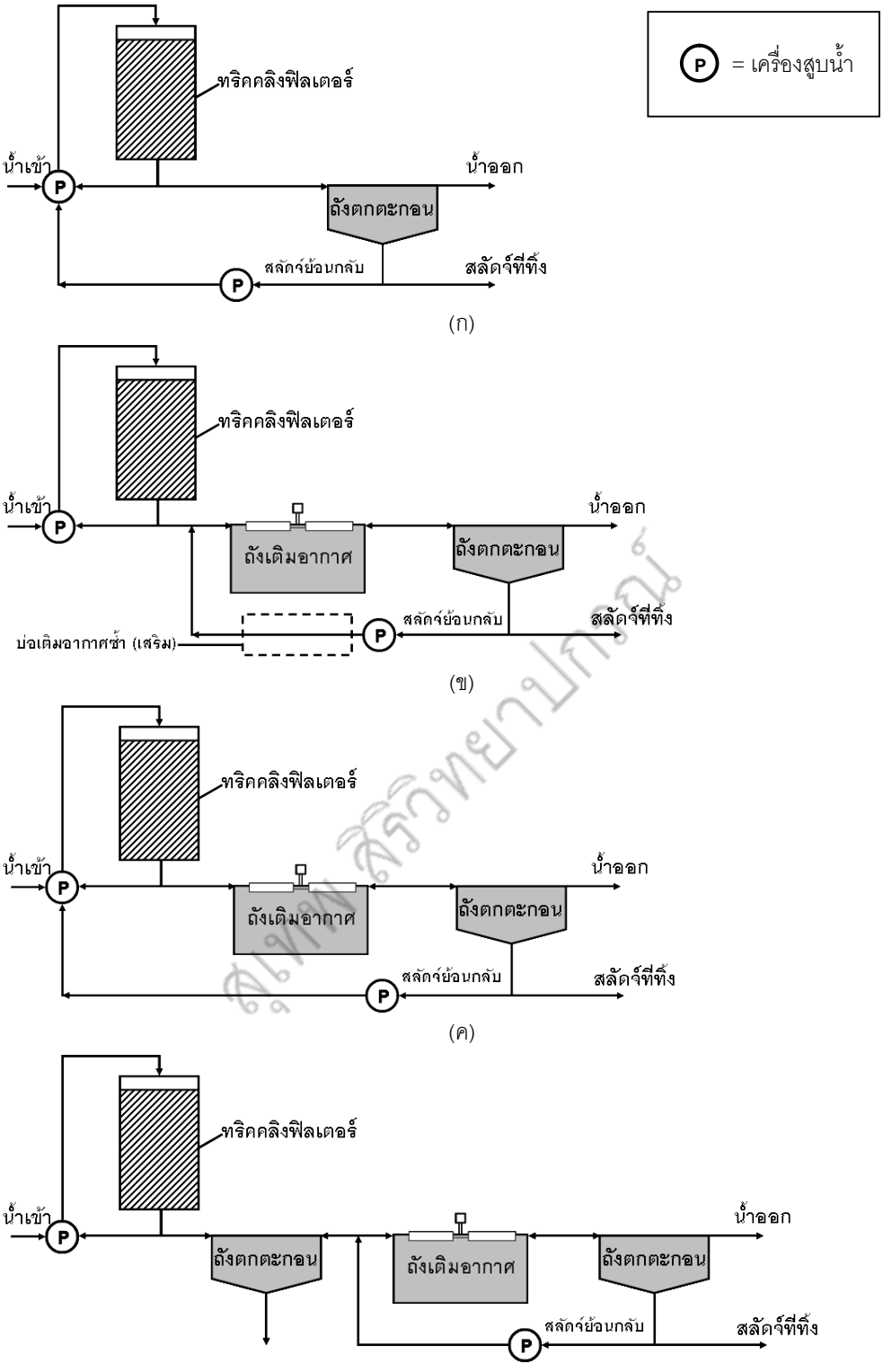
เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนอาจจะถูกนำมาใช้งานในระบบเดียวกัน เพื่อใช้ข้อดีในแง่เสถียรภาพในการรับสภาวะช็อก (Shock Load) ของระบบฟิล์มชีวภาพ และใช้ข้อดีในด้านประสิทธิภาพจากระบบตะกอนแขวนลอย ข้อมูลของตัวอย่างระบบแบบรวมแสดงในตาราง 8 – 12 และมีรูปแบบแสดงในรูปที่ 8 – 33

ตาราง 8–12 ข้อมูลของระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนแบบผสม

ระบบผสม	ภาระของทริคคลิงฟิลเตอร์ (ค่าทั่วไป) (กก.BOD_5 ต่อ ลบ.ม. ต่อ วัน)	บ่อเติมอากาศ		
		θ_C (วัน)	F/M (กก.BOD_5 ต่อ กก. $MLVSS$ ต่อ วัน)	$MLSS$ (มก. ต่อ ลิตร)
Activated Biofiloter	ต่ำ (น้อยกว่า 0.6)	–	–	1,500 – 4,000
Trickling Filter/Solids-contact	ต่ำ (น้อยกว่า 0.6)	0.5 – 2.0	–	1,000 – 3,000
Roughing Filter/Activated Sludge	สูง (มากกว่า 1.5)	2 – 5	0.5 – 1.2	1,500 – 3,000
Biofilter/Activated Sludge	สูง (มากกว่า 1.5)	2 – 5	0. 5 – 1.2	1,500 – 4,000
Trickling Filter/ Activated Sludge	สูง (มากกว่า 1.5)	4 – 8	0.2 – 0.5	1,500 – 4,000

ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

สุเทพ สรรพยาปากรณ์



รูปที่ 8-33 ตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ออกซิเจนแบบผสม (ก) Activated Biofiloter (ข) Trickling Filter/Solids-contact และ Roughing Filter/Activated Sludge (ค) Biofilter/Activated Sludge และ (ง) Trickling Filter/ Activated Sludge ต่ออนุกรมกัน

ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

สุเทพ สรีวิทยาปกรณ์

คำถามท้ายบท

1. อธิบายหลักการของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์หรือเอเอสว่าเป็นอย่างไร เหมาะที่จะนำไปใช้ในสถานการณ์ใด ประกอบด้วยหน่วยบำบัดอะไรบ้าง สารอินทรีย์ในรูปบีโอดีถูกกำจัดอย่างไร และเพราะเหตุใดจึงต้องมีการนำตะกอนสลัดจ์ชีวภาพกลับเข้ามาในถังเติมอากาศ
2. ระบุพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการออกแบบระบบเอเอส พร้อมทั้งระบุว่าพารามิเตอร์แต่ละตัวใช้ในการควบคุมระบบอย่างไร
3. จากข้อมูลของระบบเอเอสในรูปแบบต่างๆ ถ้าเปรียบเทียบต่อหน่วยของปริมาณน้ำที่บำบัด ระบุว่าระบบเอเอสแบบใดสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการเกิดระบบมากที่สุด เพราะเหตุใด
4. ในกรณีที่มีระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากัน เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบเอเอสที่ใช้ถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์และแบบไหลตามกัน
5. ระบบเอเอสระบบหนึ่งถูกออกแบบสำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีน้ำเสียปริมาณ 10,000 ลบ.ม. ต่อ วัน หลังจากน้ำเสียผ่านถังตกตะกอนขั้นแรกจะมีค่าบีโอดีเป็น 200 มก.ลิตร และน้ำเสียที่ออกจากระบบจะต้องมีค่าบีโอดีไม่เกิน 20 มก.ลิตร ระบบนี้ถูกกำหนดให้ใช้ถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน เนื่องจากไม่มีข้อมูลจลนศาสตร์จากระบบนำร่อง ให้ใช้ค่าจลนศาสตร์จากตาราง 8-2 กำหนดให้ความเข้มข้นเฉลี่ยของมวลชีวภาพในถังปฏิกิริยาและในสลัดจ์ที่ระบายออกจากถังตกตะกอนขั้นสองมีค่าเป็น 3,500 มก.ต่อลิตร และ 10,000 มก.ต่อลิตร ตามลำดับ ให้คำนวณปริมาตรของถังปฏิกิริยา ปริมาณของของแข็งที่จะทิ้งต่อวัน และสัดส่วนของน้ำที่ย้อนกลับมาสู่ถังปฏิกิริยา (Recycle Ratio)
6. ระบบสระเติมอากาศมีหลักการทำงานต่างและเหมือนกับระบบเอเอสอย่างไรบ้าง ยกตัวอย่างสถานการณ์ที่เหมาะสมสำหรับเลือกใช้ระบบสระเติมอากาศ
7. ระบบบ่อแอโรบิกสองบ่อต่อแบบอนุกรมกัน แต่ละบ่อมีขนาด กว้าง 110 เมตร ยาว 220 เมตร มีความลึกเฉลี่ยที่ 0.60 เมตร อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบอยู่ที่ 920 ลบ.ม.ต่อวัน ที่ความเข้มข้นบีโอดีเฉลี่ย 110 มก.ต่อลิตร คำนวณภาระบรรทุกบีโอดี และระยะเวลากักเก็บของระบบ
8. น้ำเสียจากชุมชนแห่งหนึ่งมีอัตราการไหลสูงสุด 1,200 ลบ.ม. ต่อ วัน อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ในช่วง 25 - 30 องศาเซลเซียส ค่าบีโอดีในน้ำเสียมีค่าเป็น 200 มก. ต่อ ลิตร จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ค่าค่าคงที่อัตราการสลายตัวแบบอันดับที่หนึ่งของบีโอดีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าเป็น 1.0 ต่อวัน ในการคำนวณใช้ค่า ϕ = 1.06 ทำการคำนวณเบื้องต้นในการออกแบบระบบบ่อเติมอากาศเพื่อกำจัดบีโอดีให้ได้ร้อยละ 90 โดยระบุให้ระบบมีบ่อทั้งหมด 4 บ่อต่ออนุกรมกัน
9. การประยุกต์ใช้ระบบเอเอส และระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดไนโตรเจนทำได้อย่างไร อาศัยหลักการอย่างไร
10. สภาสะแอน็อกซิกหมายถึงอะไร ต่างจากสภาวะแอโรบิกและแอนแอโรบิกอย่างไร อธิบายและยกตัวอย่างการนำสภาวะแอน็อกซิกมาใช้ในงานบำบัดน้ำเสียชุมชน

บทที่ 9
การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการหน่วยทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Process) เป็นระบบที่จุลชีพ (Microorganisms) ย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็น ก๊าซมีเธน (Methane, CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO_2) ภายใต้สภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ ซึ่งกระบวนการนี้ต้องการอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง จึงเหมาะสมแก่การใช้ในเขตประเทศที่มีอากาศร้อน ส่วนในประเทศที่มีอากาศหนาวการใช้ระบบนี้จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำเสีย

หน้าที่การทำงานกระบวนการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนอาจจะแบ่งได้เป็นได้ 2 ประการ คือ

1) ใช้ในการบำบัดสลัดจ์หรือการสร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนอินทรีย์ (อาจเป็นจุลินทรีย์ หรือสารอินทรีย์ใดๆ ก็ได้) ซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียมักจะใช้กระบวนการนี้ในการทำลายสารอินทรีย์ในตะกอนสลัดจ์ที่เกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เพื่อลดปริมาณตะกอนสลัดจ์นั้น

2) ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยที่กระบวนการนี้มักจะใช้เป็นกระบวนการขั้นต้นในการลดปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้น้อยลง โดยเฉพาะน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของบีโอดีสูงๆ (ประมาณ 1,200 มล. ต่อลิตร ขึ้นไป) ก่อนที่จะส่งให้กระบวนการอื่น เช่น กระบวนการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนในการกำจัดสารอินทรีย์ส่วนที่เหลือต่อไป ทำให้ประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ

เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนหรือแอโรบิก (Aerobic Process) ข้อดีของระบบนี้ ได้แก่

- ปริมาณตะกอนสลัดจ์น้อยกว่าการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ทำให้ปัญหาการกำจัดตะกอนสลัดจ์มีน้อยมาก ทั้งนี้ เนื่องจากในปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน สารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ประมาณ 80–90% จะเปลี่ยนสภาพเป็นก๊าซมีเธนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้น ส่วนที่ถูกนำไปสังเคราะห์สร้างเซลล์ใหม่จึงมีน้อยมาก ต่างจากปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน เช่น ระบบเอเอส ซึ่งสารอินทรีย์ประมาณ 60 – 70 % จะถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่
- ต้องการปริมาณอาหารเสริม (Nutrient) น้อยกว่าการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เพราะการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมีอัตราที่ต่ำ
- ช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการที่ไม่ต้องเติมออกซิเจน
- ก๊าซมีเธน ที่เกิดขึ้น สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน ข้อด้อยของระบบนี้ ได้แก่

- แบคทีเรียที่ใช้บำบัดจะเจริญเติบโตได้ช้า ทำให้ใช้เวลานานในการเริ่มระบบ (Start-up)
- ระบบบำบัดแบบนี้สามารถปรับตัวได้ดีนักต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำเสีย ปริมาณ บีโอดี อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมอื่นๆ
- ในการบำบัดอาจเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide, H_2S) ขึ้น ซึ่งจะทำให้มีกลิ่นเหม็น อีกทั้งน้ำเสียอาจมีสีดำได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์กับสารประกอบโลหะต่างๆ ในน้ำเสีย เกิดเป็นสารประกอบซัลไฟด์ที่มีสีดำ

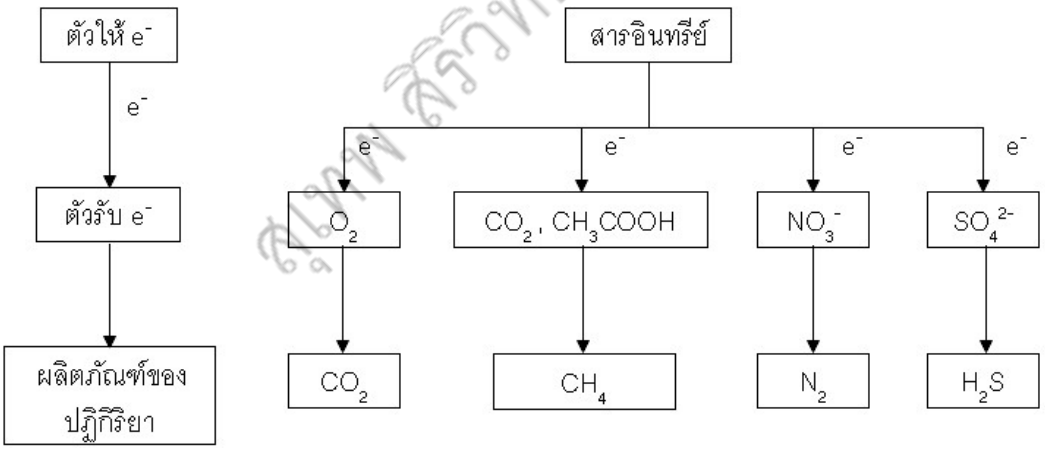
กระบวนการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ เช่นเดียวกับกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน คือ

1) ระบบบำบัดแอนแอโรบิกแบบเติบโตแขวนลอย (Anaerobic Suspended-Growth Treatment Processes) เช่น ระบบการย่อยแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Digestion) กระบวนการสัมผัสแอนแอโรบิก (Anaerobic Contact Process) และระบบชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) เป็นต้น

2) ระบบบำบัดแอนแอโรบิกแบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Anaerobic Attached-Growth Treatment Processes) ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) เป็นต้น

9.1 ชีววิทยาและปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพไม่ว่าจะเป็นแบบใช้ออกซิเจน หรือแบบไม่ใช้ออกซิเจน ล้วนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction Reaction, REDOX) เหมือนกันทั้งสิ้น คือเกิดการถ่ายเทอิเลกตรอน, e^- , ระหว่างตัวให้ e^- ซึ่งก็คือสารอินทรีย์ในน้ำเสีย กับตัวรับ e^- ซึ่งก็คือสารตัวอื่นในน้ำเสีย อันได้แก่ ออกซิเจน (O_2) ไนเตรท (NO_3^-) กรดอะซิติก (Acetic Acid, CH_3COOH) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และซัลเฟต (Sulfate, SO_4^{2-}) เป็นต้น ซึ่งความแตกต่างระหว่างการบำบัดแบบแอโรบิกและแบบแอนแอโรบิก จะอยู่ที่ชนิดของตัวรับ e^- โดยที่การบำบัดแบบแอโรบิกตัวรับ e^- คือออกซิเจน ส่วนการบำบัดแบบแอนแอโรบิกตัวรับ e^- เป็นตัวอื่นที่ไม่ใช่ออกซิเจน ดังแสดงในรูปที่ 9-1



รูปที่ 9-1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิก

ในการปฏิกิริยาแบบแอนแอโรบิก สารอินทรีย์เชิงซ้อนถูกย่อยสลายและจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นตอน ดังนี้ คือ

ขั้นที่ 1 การเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis และการหมัก (Fermentation) จะเป็นการย่อยสารอินทรีย์เชิงซ้อนขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงด้วยเอนไซม์ เช่น จากแป้งหรือน้ำตาลเชิงซ้อนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว จากนั้นแบคทีเรียจึงทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ขนาดเล็กต่อด้วยวิถีทางชีวเคมี (Biochemical Pathways) ที่เกิดภายในเซลล์ในสภาพแอนแอโรบิก หรือเรียกว่าการหมัก (Fermentation)

ขั้นที่ 2 ขั้นปฏิกิริยา Acetogenesis และ Dehydrogenation สารอินทรีย์ขนาดเล็กที่เข้าสู่กระบวนการหมักจะเปลี่ยนแปลงเล็กลงเรื่อยๆ และถูกออกซิไดซ์ไปพร้อมๆ กันจนเป็นกรดอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กลง (Volatile Fatty Acid) โดยมีจำนวนคาร์บอนน้อยลงเป็นลำดับ กรดอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติกในที่สุด เพราะว่ากรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมจะไม่เปลี่ยนเป็นมีเธน โดยตรงแต่จะต้องเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติก (มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม) ก่อนจะเปลี่ยนเป็นมีเธน โดยทั่วไปกรดอะซิติกเป็นสารที่เกิดระหว่างกระบวนการ (Intermediate) ที่สำคัญและสามารถเปลี่ยนไปเป็นสารหลายชนิด ขึ้นกับวิถีทางชีวเคมี (Biochemical Pathways) ที่เกิดขึ้น และในระหว่างการย่อยในขั้นตอนนี้จะมีวิถีทางชีวเคมีโดยแบคทีเรียบางชนิดที่ทำให้เกิดไอโดรเจน (H_2) และCO_2

ขั้นที่ 3 ขั้นปฏิกิริยา Methanogenesis เป็นขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเธน ซึ่งเกิดได้สองแบบคือ

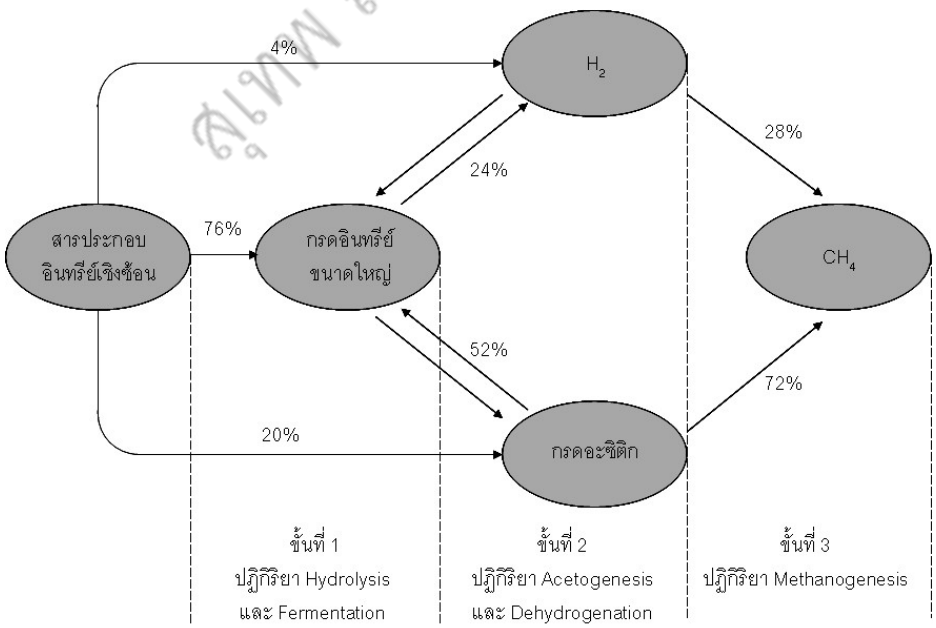
- การเปลี่ยนก๊าซไอโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นมีเธน โดยแบคทีเรียกลุ่ม Hydrogenotrophic Methanogen (Hydrogen Utilizer) ซึ่งก็คือแบคทีเรียที่ใช้ H_2 เป็นแหล่งพลังงาน และ CO2 เป็นแหล่งคาร์บอน ดังสมการ

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad (9–1)$$

- การสร้างมีเธนจากกรดอะซิติก โดย Acetoclastic Methanogen โดยใช้กรดอะซิติก เป็นแหล่งพลังงาน ดังสมการ

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 + 2H_2O \qquad (9–2)$$

ขั้นตอนทั้งสามสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 9–2 ดังนี้



รูปที่ 9-2 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบแอนแอโรบิกและการไหลของพลังงาน (ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc.,2003)

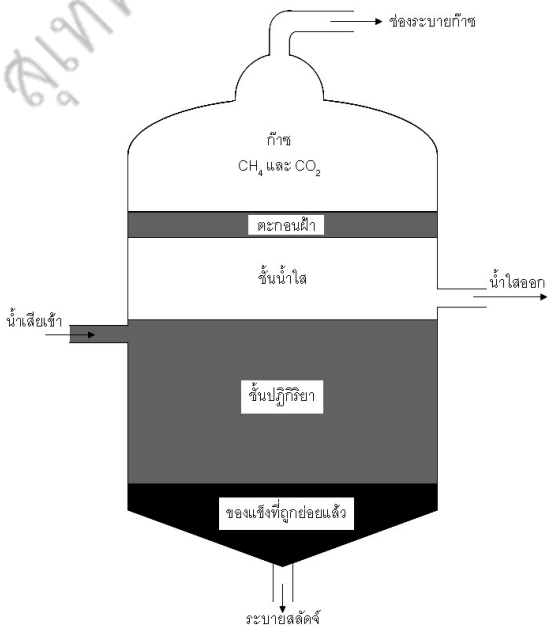
สุเทพ สรรพยกปกรณ์

9.2 ระบบบำบัดแอนแอโรบิกแบบเติบโตแขวนลอย

ระบบการบำบัดแอนแอโรบิกแบบเติบโตแขวนลอยนี้แบคทีเรียจะอยู่ในลักษณะแขวนลอยเช่นเดียวกับระบบบำบัดแบบแอโรบิก แต่เป็นสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน ระบบบำบัดแบบนี้โดยทั่วไป ได้แก่

1) **ระบบการย่อยแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Digestion)** เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง หรือใช้บำบัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียอื่น โดยทำการเก็บกักน้ำเสียไว้ในถังย่อย (ถังปฏิกิริยา) ที่ปิดมิดชิดเป็นเวลานาน (เกิดสภาพไร้ออกซิเจน) และปล่อยให้แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยกระบวนการนี้จะเกิดก๊าซมีเธนและคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ถังปฏิกิริยาจะมีทางระบายก๊าซ มีเธนออก เพื่อเผาทิ้งหรือนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

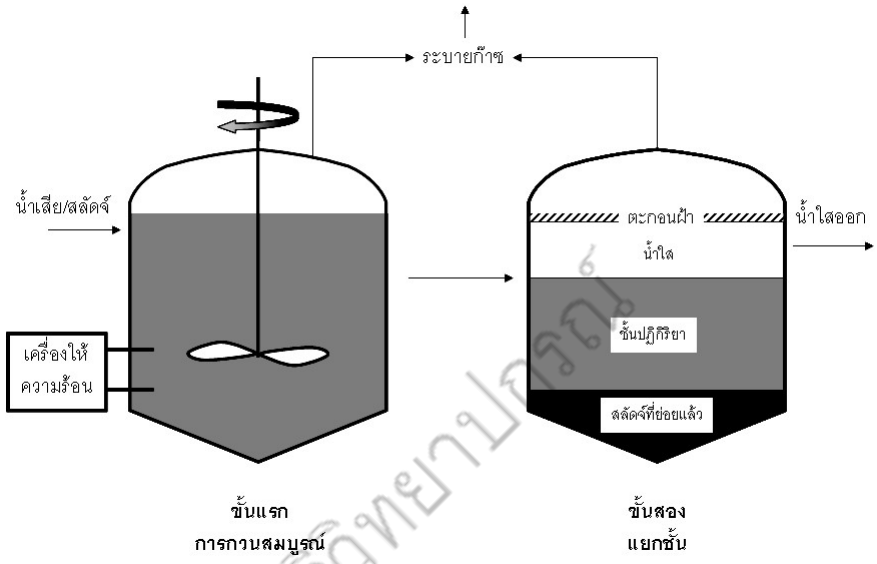
1.1) <u>กระบวนการย่อยแบบอัตราปกติ</u> (Standard-rate Digestion Process) ในถังย่อยแบบนี้จะไม่มีการกวน และไม่มีการให้ความร้อน ทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในถังช้าและไม่ทั่วถึง ดังนั้น ค่าระยะเวลากักเก็บ ที่ใช้กับกระบวนการย่อยแบบนี้จึงอยู่ในช่วง 30-60 วัน กระบวนการย่อย การตกตะกอนและการทำน้ำใสจะเกิดขึ้นต่อเนื่องในถังปฏิกิริยาเดียว เนื่องจากไม่มีการกวนผสมทำให้ปริมาตรทั้งหมดไม่ถูกใช้และในถังย่อยชนิดนี้จะเกิดการแบ่งชั้น เป็นชั้นของตะกอนฝ้า (Scum) ชั้นน้ำใส (Supernatant) ชั้นปฏิกิริยา (Active layer) และชั้นของแข็งที่ถูกย่อยแล้วหรือมีความเสถียรแล้ว (Digested Sludge หรือ Stabilized Solids) (ดังรูปที่ 9-3) ในชั้นปฏิกิริยาจะเกิดกรดขึ้นในส่วนบนและในส่วนกลางเพราะจะมีการสร้างกรดอินทรีย์โดยแบคทีเรียกลุ่มหนึ่งซึ่งโตเร็วกว่า ขณะที่ส่วนล่างของชั้นปฏิกิริยาจะเกิดปฏิกิริยาการสร้างมีเธนโดยแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งโตช้ากว่าและจะใช้กรดที่ถูกสร้างขึ้น ทำให้เกิดบริเวณที่มี pH สูงและต่ำขึ้นในถัง เนื่องจากช่วง pH ที่เหมาะสม (Optimum) สำหรับแบคทีเรียแบบสร้างมีเธนจะอยู่ในช่วง 6.5 – 7.5 ในกรณีที่แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรดโตเร็วและสร้างกรดขึ้นจนแบคทีเรียแบบสร้างมีเธนใช้ไม่ทัน จะทำให้เกิดการสะสมของกรดและทำให้ปฏิกิริยาการสร้างมีเธนหยุดลงได้ ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการใช้ กระบวนการย่อยแบบอัตราสูง ซึ่งมีการทำการกวนผสม



รูปที่ 9-3 แผนผังถังปฏิกิริยาของกระบวนการย่อยแอนแอโรบิกแบบอัตราปกติ

สุเทพ ศรีวงษ์ปราชญ์

1.2) กระบวนการย่อยแบบอัตราสูง (High-rate Digestion Process) จะมีการกวนผสมและให้ความร้อน เมื่อรวมกับแบบอัตราปกติ จะเรียกว่าระบบการย่อย 2 ขั้นตอน (Two-Stage Process) โดยในขั้นตอนแรก จะมีการกวนและมีการให้ความร้อนด้วย การกวนอาจจะทำโดยเครื่องกวนหรืออัดก๊าซกลับเข้าไป ทำให้มีการสัมผัสระหว่างแบคทีเรียและน้ำเสียอย่างทั่วถึงและปฏิกิริยาการกำจัดสารอินทรีย์เกิดขึ้นดีกว่าชนิดแรก อุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 35 องศาเซลเซียส จะมีการควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจะ คือ 6.5 – 7.5 จากนั้นในระยะที่สองจึงนำมาตกตะกอนและระบายน้ำใสออก โดยทั่วไปค่าระยะเวลากักเก็บ ของระบบนี้จะเป็น 15 วัน หรือน้อยกว่า (ดังรูปที่ 9-4)



รูปที่ 9-4 แผนผังของกระบวนการย่อยแอนแอโรบิกแบบสองขั้นตอน

ค่าตัวแปรสำหรับใช้ในการคำนวณกระบวนการย่อยแอนแอโรบิกแบบอัตราปกติและแบบอัตราสูง แสดงในตาราง 9–1

ตาราง 9–1 ค่าตัวแปรสำหรับใช้ในการคำนวณกระบวนการย่อยแอนแอโรบิกแบบอัตราปกติและแบบอัตราสูง

ค่าตัวแปร	อัตราปกติ	อัตราสูง
ระยะเวลากักเก็บ, วัน	30 – 90	10 – 20
อัตราภาระบรรทุกของแข็งระเหย, กก. ต่อ ลบ.ม. ต่อ วัน [1]	0.5 – 1.6	1.6 – 6.4
ความเข้มข้นของของแข็งที่ย่อยแล้ว, เปอร์เซนต์ของแข็ง	4 – 6	4 – 6
การกำจัดของแข็งระเหย, เปอร์เซนต์ [1]	35 – 50	45 – 55
การเกิดก๊าซ, ลบ.ม. ต่อ กก ของ ของแข็งระเหยที่เข้าระบบ [1]	0.5 – 0.55	0.6 – 0.65
เปอร์เซนต์มีเธน, เปอร์เซนต์	65	65

1 ของแข็งแขวนลอยที่ระเหยได้ (Volatile Solid, VSS)

ที่มา จาก Peavy *et.al.* (1986)

สุทพ สรวิทยาปรัญญ์

ปริมาตรของถังย่อยสามารถคำนวณได้จาก

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} t_1 + V_2 t_2 \qquad (9\text{–}3)$$

โดย V = ปริมาตรของถังย่อย, ลบ.ม.

V_1 = ปริมาณสลัดจ์, ลบ.ม. ต่อ วัน

V_2 = อัตราการสะสมของสลัดจ์ในถังย่อย, ลบ.ม. ต่อ วัน

t_1 = ระยะเวลาการย่อย, วัน

t_2 = ระยะเวลาการกักเก็บของสลัดจ์ที่ย่อยแล้ว, วัน

ตัวอย่าง 9-1 สลัดจ์จากระบบเอเอสปริมาณ 80 ลบ.ม. ต่อ วัน มีความเข้มข้น 12 กก. ต่อ ลบ.ม. (12,000 มก. ต่อ ลิตร) จะถูกนำมาย่อยแบบแอนแอโรบิกอัตราปกติ สลัดจ์จากระบบประกอบด้วยสารอินทีย์ประมาณ 80 เปอร์เซนต์และสารอนินทรีย์ 20 เปอร์เซนต์ โดยประมาณ 60 เปอร์เซนต์ของส่วนที่เป็นสารอินทรีย์จะเปลี่ยนเป็นของเหลวและก๊าซในเวลา 30 วัน สลัดจ์ที่ย่อยแล้วจากระบบจะประกอบด้วยของแข็ง 5.0 เปอร์เซนต์ และต้องถูกเก็บไว้ 90 วัน คำนวณปริมาตรของถังย่อย

วิธีทำ 1. คำนวณอัตราการสะสมของสลัดจ์ในถังย่อย

ปริมาณของแข็ง = 80 ลบ.ม. ต่อ วัน x 12 กก. ต่อ ลบ.ม.	=	960.0	กก.ต่อ วัน
ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ = 0.8 x 960 กก.ต่อ วัน	=	768.0	กก.ต่อ วัน
ส่วนที่ไม่ถูกย่อย = (1-0.6) x 768 กก.ต่อ วัน	=	307.2	กก.ต่อ วัน
ส่วนที่เป็นสารอนินนทรีย์ = 0.2 x 960 กก.ต่อ วัน	=	192.0	กก.ต่อ วัน
ปริมาณของแข็งที่เหลือในถังย่อย = 307.2 + 192.0	=	499.2	กก.ต่อ วัน

อัตราการสะสมของสลัดจ์ในถังย่อย (V_2) = (499.2กก.ต่อ วัน)/(1000 กก. ต่อ ลบ.ม. x 0.05)

= **10 ลบ.ม. ต่อวัน**

2. คำนวณปริมาตรของถังย่อย (V)

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} t_1 + V_2 t_2$$

$$= \frac{(80+10)}{2} \text{m}^3/\text{d x 30 d} + 10\text{m}^3/\text{d x 90d}$$

= 2,250 ลบ.ม.

ดังนั้น ปริมาตรของถังเก็บคือ 2,250 ลบ.ม.

ตัวอย่าง 9-2 ใช้ข้อมูลจากตัวอย่าง 9-1 โดยให้มีระยะเวลาการย่อยเป็น 10 วันในขั้นแรก ซึ่งสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ 60 เปอร์เซนต์ การตกตะกอนในขั้นที่สองใช้เวลา 3 วันโดยที่สลัดจ์ที่สะสมไว้มีของแข็ง 5.0 เปอร์เซนต์ คำนวณปริมาตรของถังย่อยแบบอัตราสูงทั้งสองขั้นตอน

วิธีทำ 1. คำนวณปริมาตรของถังย่อยขั้นแรก (V)

V = 80 ลบ.ม. ต่อ วัน x 10 วัน

= 800 ลบ.ม.

2. คำนวณปริมาตรของถังย่อยขั้นสอง

สุทศ ศรีทยาปกรณ์

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} t_1 + V_2 t_2$$

$$= \frac{(80+10)}{2} \text{m}^3/\text{d x } 3\text{d} + 10\text{m}^3/\text{d x } 90\text{d}$$

= 1,035 ลบ.ม.

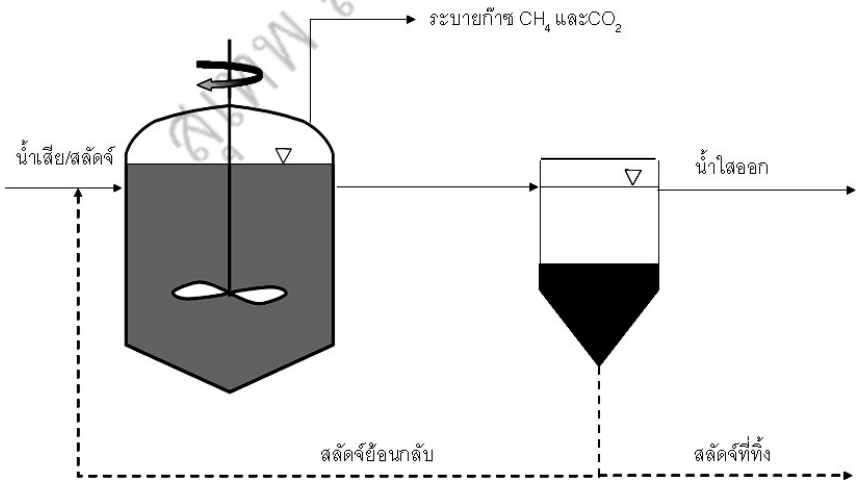
3. ปริมาตรรวม = 800 ลบ.ม. + 1,035 ลบ.ม.

= 1,835 ลบ.ม.

ดังนั้นปริมาตรรวมของระบบ คือ 1,835 ลบ.ม. และขนาดเล็กกว่าระบบอัตราปกติ 415 ลบ.ม.

2) **กระบวนการสัมผัสแอนแอโรบิก** (Anaerobic Contact Process) จะมีหลักการทำงานคล้ายกับระบบเอเอส บางครั้งอาจเรียกว่าเป็นระบบเอเอสแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Activated Sludge) แต่ระบบนี้ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีเท่ากับระบบเอเอส

ระบบนี้ประกอบด้วยถังย่อยที่ปิดมิดชิด มีการกวนผสมสมบูรณ์ในถังปฏิกิริยาเพื่อย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้ามาในระบบ และมีถังตกตะกอนเพื่อส่วนแยกตะกอน เพื่อทำการแยกตะกอนสลัดจ์ออกจากน้ำใส (Supernatant) แล้วนำตะกอนกลับมาเข้าถังย่อยเพื่อใช้ในการบำบัดอีก ซึ่งทำให้ค่าระยะเวลากักเก็บมวลชีวภาพ (SRT) เพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าระยะเวลากักเก็บน้ำ (HRT) ทั้งนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดและลดขนาดของถังปฏิกิริยาได้ (รูปที่ 9-5) ข้อยุ่งยากของระบบแบบนี้ คือ การลอยตัวของตะกอนในถังตกตะกอน เนื่องจากมีก๊าซ methane ละลายปนอยู่ ซึ่งอาจแก้ไขได้โดย นำน้ำเสียจากถังย่อยมาผ่านเครื่องไล่ก๊าซสูญญากาศ (Vacuum Degasifier) น้ำที่สูบกลับเข้าไปยังถังปฏิกิริยาจะมีปริมาณมากกว่าน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบ 2 – 4 เท่า เพราะตะกอนมีความเข้มข้นน้อย

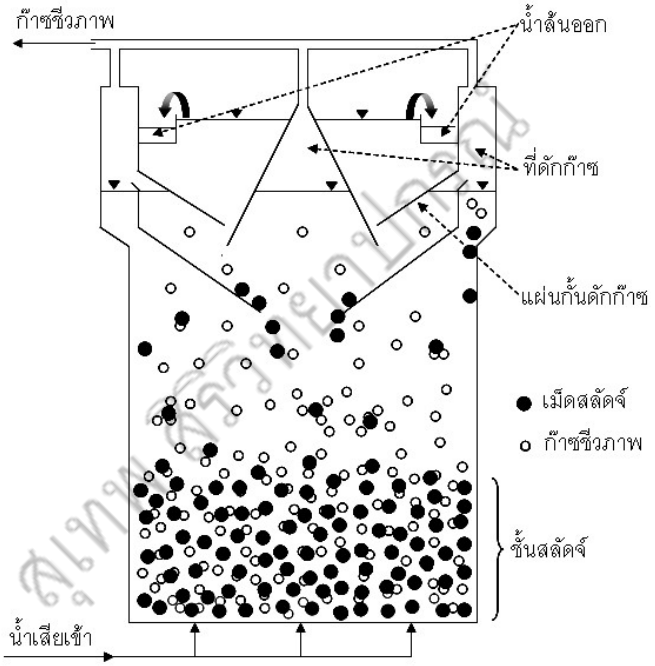


รูปที่ 9-5 แผนผังของกระบวนการแอนแอโรบิกสัมผัส

3) **ระบบชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้น** (Upflow Anaerobic Sludge-Blanket Process, UASB) เป็นระบบที่มีการไหลของน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนของถัง โดยน้ำเสียจะไหลผ่านแบคทีเรียที่ถูกเลี้ยงให้จับกันเป็นเม็ดขนาดเล็ก (Granules หรือ Particles) ภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกจะเกิด

ก๊าซมีเธนและคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นประกอบกับการไหลของน้ำจะทำให้เม็ดของจุลินทรีย์ลอยตัวขึ้นด้านบนเป็นชั้นของสลัดจ์ (Sludge Blanket) ที่ด้านบนของถังนี้จะมีชุดดักไล่ก๊าซมีลักษณะเป็นแผ่นกั้น (Degassing Baffles) ทำหน้าที่ดักก๊าซที่พาให้เม็ดจุลินทรีย์ลอยขึ้นมาจนถึง Degassing Baffles ทำให้เม็ดจุลินทรีย์เหล่านี้จมตัวลงสู่พื้นผิวของชั้นสลัดจ์อีก ก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะถูกจับไว้ในที่กักเก็บ (Gas Collection Dome) ที่ตั้งอยู่ด้านบนของถัง น้ำเสียที่ออกจากถังนี้อาจผ่านเข้าถังตกตะกอน เพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียดังกล่าวที่อาจหลุดรอดไป และหมุนเวียนกลับเข้าถังปฏิกิริยาไปรวมกับชั้นสลัดจ์ (รูปที่ 9-6)

จุดอ่อนของระบบนี้ คือ การสร้างชั้นสลัดจ์ (Sludge Blanket) เป็นเรื่องที่ยุ่งยาก เนื่องจากธรรมชาติของแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) นั้นไม่ชอบจับกันเป็นกลุ่มฟล็อก การทำให้ชั้นสลัดจ์ลอยตัวอยู่ได้นั้น จะต้องมีความเร็วของน้ำที่ไหลขึ้น (Upflow Velocities) อยู่ในช่วง 0.6 – 0.9 เมตร ต่อ ชั่วโมง ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้นแสดงในตาราง 9 – 2 9 – 3 และ 9 – 4



รูปที่ 9-6 แผนผังของระบบชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้น

ตาราง 9–2 ระยะเวลากักเก็บสำหรับระบบชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้นขนาดสูง 4 เมตร ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

อุณหภูมิ (°C)	**ระยะเวลากักเก็บเฉลี่ย (ชม.)**	**ระยะเวลากักเก็บสูงสุด สำหรับอัตราการไหลสูงสุดต่อเนื่อง 4 – 6 ชม. (ชม.)**
16 – 19	10 – 14	7 – 9
22 – 26	7 – 9	5 – 7
> 26	6 – 8	4 – 5

ที่มา ดัดแปลงมาจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

ตาราง 9–3 ค่าภาระซีโอดี (Volumetric COD Loading) ที่แนะนำ สำหรับระบบชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้นที่อุณหภูมิ 30 °C เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัด 85 – 95 เปอร์เซ็นต์

ซีโอดีของน้ำเสีย (มก./ลิตร)	สัดส่วนของซีโอดีที่เป็นส่วนที่กรองแยกได้ (Particulate)	ภาระบรรทุก (กก. ซีโอดี / ลบ.ม. – วัน)		
		ระบบที่มีสลัดจ์เป็นแบบฟล็อก	ระบบที่มีสลัดจ์เป็นเม็ดที่มีประสิทธิภาพการกำจัดของของแขวนลอยสูง	ระบบที่มีสลัดจ์เป็นเม็ดที่มีประสิทธิภาพการกำจัดของของแขวนลอยต่ำ
1,000 – 2,000	0.10 – 0.30	2 – 4	2 – 4	8 – 12
	0.30 – 0.60	2 – 4	2 – 4	8 – 14
	0.60 – 1.00	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
2,000 – 6,000	0.10 – 0.30	3 – 5	3 – 5	12 – 18
	0.30 – 0.60	4 – 8	2 – 6	12 – 24
	0.60 – 1.00	4 – 8	2 – 6	ไม่มีข้อมูล
6,000 – 9,000	0.10 – 0.30	4 – 6	4 – 6	15 – 20
	0.30 – 0.60	5 – 7	3 – 7	15 – 24
	0.60 – 1.00	6 – 8	3 – 8	ไม่มีข้อมูล
9,000 – 18,000	0.10 – 0.30	5 – 8	4 – 6	15 – 24
	0.30 – 0.60	ไม่มีข้อมูล	3 – 7	ไม่มีข้อมูล
	0.60 – 1.00	ไม่มีข้อมูล	3 – 7	ไม่มีข้อมูล

ที่มา ดัดแปลงมาจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

ตาราง 9–4 สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบระบบแยกก๊าซจากของแข็ง (Gas Solids Separator) สำหรับระบบชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้น

- ความลาดเอียงของส่วนพื้นของระบบดักตะกอน หรือ ส่วนผนังของส่วนดักก๊าซ ควรอยู่ระหว่าง 45 – 60 องศา
- พื้นที่ผิวของช่องเปิดระหว่างส่วนดักก๊าซ จะต้องไม่น้อยกว่า 15 – 20 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวของถังปฏิกิริยาทั้งหมด
- ความสูงของส่วนดักก๊าซควรอยู่ระหว่าง 1.5 และ 2 สำหรับถังปฏิกิริยาที่มีความสูง 5 – 7 เมตร
- ระดับของพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำและก๊าซควรจะอยู่ในส่วนดักก๊าซเพื่อช่วยให้การปล่อยและดักฟองอากาศเป็นไปได้ดี และเพื่อควบคุมการเกิดชั้นฝ้า (Scum Layer)
- การซ้อนทับกันของแผ่นกั้น (Baffle) ที่ติดตั้งอยู่ใต้ช่องเปิดควรจะมีอย่างน้อย 100 – 200 มิลลิเมตร เพื่อไม่ให้ฟองอากาศที่ลอยขึ้นมาเข้าไปในส่วนที่ใช้สำหรับการตกตะกอน
- โดยทั่วไป แผ่นสำหรับกั้นฝ้า (Scum Layer Baffle) ควรจะถูกติดตั้งไว้หน้าเวียร์
- เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อระบายก๊าซควรจะเพียงพอที่จะให้ก๊าซที่เกิดขึ้นระบายไปได้อย่างสะดวก โดยเฉพาะในกรณีที่เกิดฟอง (Foaming)
- ส่วนบนของที่ดักก๊าซ ควรมีการติดตั้งหัวฉีดเพื่อใช้กำจัดฟอง สำหรับกรณีที่มีฟองเกิดขึ้นมากจากการบำบัดน้ำเสีย

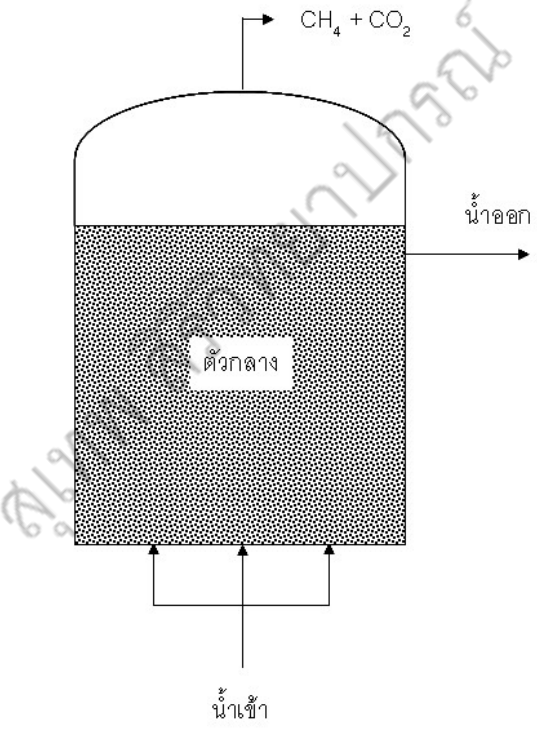
ที่มา ดัดแปลงมาจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

สถาบันวิทยาการ

9.3 ระบบบำบัดแอนแอโรบิกแบบมีตัวกลางยึดเกาะ

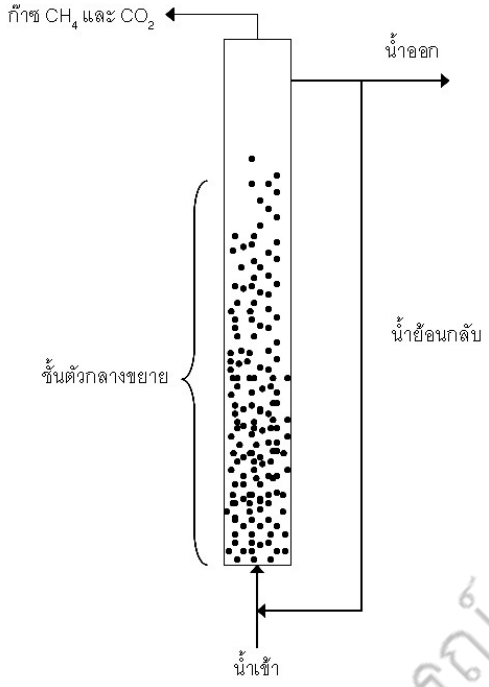
ระบบบำบัดแอนแอโรบิกแบบมีตัวกลางยึดเกาะโดยทั่วไปที่ใช้ ได้แก่ ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) และระบบชั้นขยายตัว (Expanded-bed)

1) **ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter)** มีหลักการคล้ายกับระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) คือ มีถังกลมสูง (Column) ภายในบรรจุตัวกลาง (Media) อาจเป็นหิน หรือพลาสติกก็ได้ น้ำเสียจะไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน ซึ่งจะทำให้น้ำท่วมตัวกลางตลอดเวลา แบคทีเรียจะเจริญเติบโตแบบยึดเกาะบนตัวกลางและคงอยู่ในระบบ ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ไหลเข้ามา โดยไม่มีการชะออก (Washed Out) ไปกับน้ำออก จึงทำให้มีค่า ระยะเวลากักเก็บมวลชีวภาพ (SRT) สูง ประมาณ 100 วัน ซึ่งระบบนี้สามารถที่จะทำให้ได้ค่า SRT สูงมากโดยที่ค่าระยะเวลากักเก็บน้ำ (HRT) สั้นมาก ดังนั้นระบบนี้จึงสามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิแวดล้อมปกติ (Ambient Temperature) ได้ อีกทั้งไม่ต้องมีการตกตะกอนออกจากน้ำที่บำบัดแล้วด้วย (รูปที่ 9-7)



รูปที่ 9-7 แผนผังของระบบถังกรองไร้อากาศ

2) **ระบบชั้นขยายตัว (Anaerobic Expanded Bed Filter)** เป็นระบบที่น้ำเสียไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนเช่นกัน โดยไหลผ่านชั้นตัวกลางที่เหมาะสม เช่น ทราย ถ่าน เป็นต้น ซึ่งจุลินทรีย์สามารถเติบโตบนผิวตัวกลางเหล่านั้นได้ น้ำที่บำบัดแล้วบางส่วนจะถูกนำกลับมา (Recycle) เพื่อเจือจางน้ำที่เข้าสู่ระบบ และเพื่อให้มีอัตราการไหลพอเพียงที่จะให้ชั้นตัวกลางมีการขยายตัวอยู่ได้ (รูปที่ 9-8)



รูปที่ 9-8 แผนผังของระบบชั้นขยายตัว

ปริมาณมวลชีวภาพในระบบอาจจะสูงถึง 15,000 – 40,000 มก. ต่อ ลิตร ระบบนี้เหมาะที่จะใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนโดยมีระยะเวลากักเก็บสั้น อย่างไรก็ตาม ซัลเฟต (Sulfate) ในน้ำอาจจะเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งอาจจะต้องถูกกำจัดออกจากน้ำต่อไป

ประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกแบบต่างๆ ได้แสดงไว้ในตาราง 9–5

ตาราง 9–5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกแบบต่างๆ

ระบบ	ซีโอดีในน้ำเข้า, มก. ต่อ ลิตร	ระยะเวลากักเก็บน้ำ, ชั่วโมง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์, กก. ซีโอดี ต่อลบ.ม. ต่อ วัน	การกำจัดซีโอดี, เปอร์เซนต์
สัมผัสแอนแอโรบิก	1,500 – 5,000	2 – 10	0.50 – 2.43	75 – 90
ชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้น	5,000 – 15,000	4 – 12	4.04 – 12.1	75 – 85
ถังกรองไร้อากาศ	10,000 – 20,000	24 – 48	0.97 – 4.85	75 – 85
ชั้นขยายตัว	5,000 – 10,000	5 – 10	4.85 – 9.71	80 – 85

ที่มา ดัดแปลงมาจาก Metcalf & Eddy, Inc. (1991)

9.4 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะต้องมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียดังต่อไปนี้

สุเทพ สถาพรกรณ์

1) อาหารเสริม (Nutrient requirement) ระบบแอนแอโรบิกจะประหยัดค่าอาหารเสริมมากกว่าระบบแอโรบิก ดังนี้

แอนแอโรบิก; บีโอดี : N : P = 100 : 2 : 0.2 (สูงสุด)

= 100 : 1.1 : 0.2 (ต่ำสุด)

แอโรบิก; บีโอดี : N : P = 100 : 5 : 1

2) pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.5 - 7.5 ถ้าค่า pH สูงหรือต่ำกว่านี้ ประสิทธิภาพของระบบจะลดลง โดยที่ pH ต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะสภาวะที่เป็นกรดนั้น จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียพวกที่สร้างมีเธน

3) อุณหภูมิ ปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิ 2 ช่วง คือ

Mesophilic; 30 – 38 °C

Thermophilic ; 48 – 57 °C

4) สภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobe) น้ำเสียในถังปฏิกิริยาจะต้องไม่มีออกซิเจนอยู่เลย เนื่องจากออกซิเจนเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียพวกที่สร้างมีเธน

5.) สารที่เป็นพิษ สารพิษที่มีผลต่อระบบแอนแอโรบิก ได้แก่ โลหะพวก Na^{+} K^{+} Mg^{2+} และ Ca^{2+} ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1000 mg/l

คำถามท้ายบท

1. เปรียบเทียบหลักการทำงาน ข้อดีและข้อเสียระหว่างการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจน
2. อธิบายกลไกการปฏิกิริยาแบบแอนแอโรบิกในแต่ละขั้นตอน พร้อมทั้งระบุตัวรับอิเลกตรอนและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น
3. ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะส่วนที่เป็นก๊าซ มีชนิดใดบ้างที่มีส่วนทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน และมีแนวทางการจัดการอย่างไร
4. สลัดจ์จากระบบเอเอสปริมาณ 50 ลบ.ม. ต่อ วัน มีความเข้มข้น 11 กก. ต่อ ลบ.ม. (11,000 มก. ต่อ ลิตร) จะถูกนำมาย่อยแบบแอนแอโรบิกอัตราสูง สลัดจ์จากระบบประกอบด้วยสารอินทรีย์ประมาณ 80 เปอร์เซนต์และสารอนินทรีย์ 20 เปอร์เซนต์ ในขั้นตอนแรก ประมาณ 60 เปอร์เซนต์ของส่วนที่เป็นสารอินทรีย์จะเปลี่ยนเป็นของเหลวและก๊าซในเวลา 10 วัน ในขั้นตอนที่สองเป็นการตกตะกอนใช้เวลา 3 วัน สลัดจ์ที่ย่อยแล้วจากระบบจะประกอบด้วยของแข็ง 5.0 เปอร์เซนต์ และต้องถูกเก็บไว้ 90 วัน คำนวณปริมาตรของถังย่อยทั้งสองขั้นตอน
5. ระบบชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้น มีหลักการทำงานอย่างไร มีหลักการแตกต่างจากระบบบำบัดแอนแอโรบิกแบบมีตัวกลางยึดเกาะในแง่ใดบ้าง
6. ระบุสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในแง่ของ สัดส่วนปริมาณสารอาหาร พีเอช และอุณหภูมิ
7. กลิ่นที่เกิดจากการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาจากสารพวกใดบ้าง และจากขั้นตอนใด

สุพพ สิริวัฒนาปกรณ์

บทที่ 10
การบำบัดน้ำเสียด้วยบึงประดิษฐ์

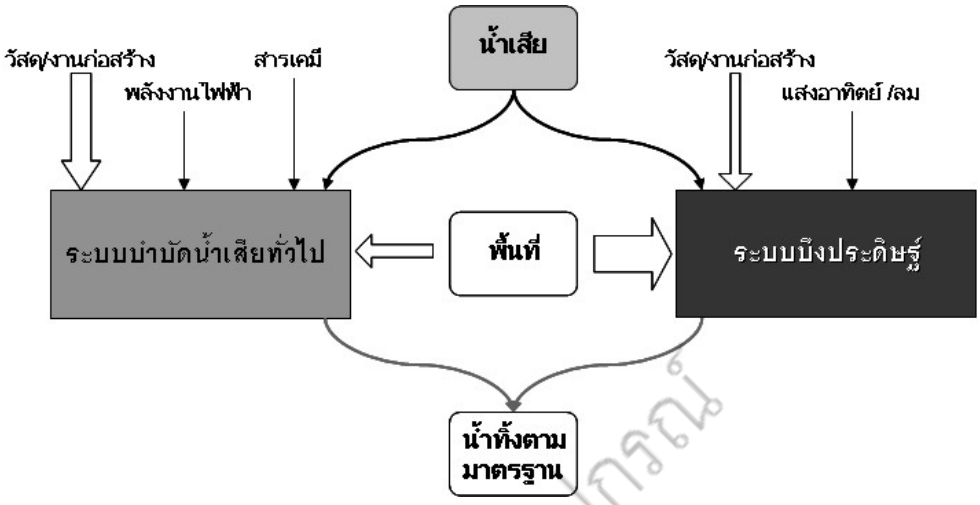
ที่ผ่านมา พื้นที่ชุ่มน้ำ[1]ตามธรรมชาติถูกใช้เป็นที่ทิ้งน้ำเสียสำหรับชุมชนขนาดเล็กรวมทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมานาน เนื่องจากสภาพธรรมชาติของพื้นที่ชุ่มน้ำมีความสามารถในการบำบัดของเสียจากการกักเก็บสารอาหาร ตะกอน และมีสภาพทางสิ่งแวดล้อมที่หลากหลายเหมาะสมกับการเติบโตของสิ่งมีชีวิตและจุลินทรีย์ต่างๆ ที่สามารถบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการที่หลากหลายได้ อย่างไรก็ตาม พื้นที่ชุ่มน้ำหลายแห่งได้รับผลกระทบจากสารมลพิษที่ปล่อยลงอย่างต่อเนื่องยาวนานทำให้เสียสภาพไปในที่สุด พื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติถึงแม้ว่าสามารถรองรับสารมลพิษได้สูงแต่ก็เป็นระบบนิเวศที่ซับซ้อน การปล่อยสารมลพิษสู่พื้นที่ชุ่มน้ำในธรรมชาติโดยตรงจึงไม่เหมาะ ดังนั้น บึงประดิษฐ์จึงถูกใช้เป็นทางเลือกสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

บึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดที่สร้างขึ้นโดยเลียนแบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) ที่มีในธรรมชาติ โดยทั่วไปจะถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย (Habitat) ของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ เป็นพื้นที่แนวกันชน หรือเพื่อปรับสภาพพื้นที่ที่เสียหายจากกิจกรรมต่างๆ เช่น การทำเหมือง เป็นต้น สำหรับงานด้านการบำบัดน้ำเสีย บึงประดิษฐ์ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้บำบัดน้ำเสียจากชุมชน (น้ำเสียที่มีความสกปรกในรูปบีโอดีเป็นหลัก) หรือจากการเกษตร (น้ำเสียที่มีธาตุอาหารเช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส) หรือน้ำฝนไหลบ่า (น้ำที่มีปริมาณตะกอนสูง) รวมทั้งน้ำทิ้งที่ได้รับการบำบัดบางส่วนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ในยุโรปและสหรัฐอเมริกา มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับระบบบึงประดิษฐ์และสร้างระบบบำบัดนำร่องมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2495 (ค.ศ. 1952) และเริ่มมีการสร้างระบบบำบัดด้วยบึงประดิษฐ์เต็มรูปแบบตั้งแต่ปี พ.ศ. 2515 (ค.ศ. 1972) สำหรับบำบัดน้ำเสียจากชุมชนขนาดเล็ก และมีการพัฒนาเพื่อให้รองรับน้ำเสียจากชุมชนขนาดใหญ่และจากอุตสาหกรรมในเวลาต่อมา (Kadlec และ Knight, 1996)

เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ บึงประดิษฐ์ในพื้นที่ขนาดเดียวกันจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าเพราะในการออกแบบบึงประดิษฐ์สามารถปรับพื้นที่ ควบคุมการระบายน้ำ เลือกชนิดของพืช และดัดแปลงสภาพและกระบวนการต่างๆ ได้หลากหลายตามความต้องการ โดยจะออกแบบให้มีพื้นที่เป็นรูปร่างต่างๆ เช่น เป็นแนวยาว หรือเป็นบึง ที่มีขนาดต่างๆ ได้ เมื่อเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป (Conventional Treatment System) (รูปที่ 10-1) ระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปใช้แหล่งหลังงานหลักจากพลังงานในกลุ่ม Fossil Fuel ซึ่งเป็นพลังงานที่อยู่ในกลุ่มใช้แล้วหมดไป (Nonrenewable) และใช้หลักการบำบัดทางชีวภาพและเคมีที่เกิดในถังปฏิกิริยาที่สร้างขึ้นจากวัสดุก่อสร้างเช่น คอนกรีต หรือ เหล็ก และอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุม รวมทั้งมีการใช้พลังงานเพื่อกวนผสม ให้อากาศ หรือสูบน้ำ เพื่อให้ระบบดำเนินไปได้อย่างที่ต้องการ เมื่อพิจารณาโดยรวมทั้งกระบวนการ จะเห็นได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปเป็นระบบที่ใช้พลังงานมาก (Energy Intensive) และพื้นที่สำหรับการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ก็ลดลงจากสภาพธรรมชาติมากด้วยเช่นกันเมื่อเทียบกับกระบวนการในลักษณะเดียวกัน ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้กระบวนการธรรมชาติที่พึ่งพาพลังงานจากแสงอาทิตย์และพลังงานจากลมเป็นหลักซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้แล้วไม่หมดไป (Renewable) ทำให้พึ่งพาพลังงานจากน้ำมัน

[1] พื้นที่ชุ่มน้ำตามนิยามของอนุสัญญาแรมซาร์ หมายถึง ลักษณะทางภูมิประเทศที่มีรูปแบบเป็น พื้นที่ลุ่ม พื้นที่ราบลุ่ม พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะ พื้นที่ฉ่ำน้ำ มีน้ำท่วม มีน้ำขัง พื้นที่พรุ พื้นที่แหล่งน้ำ ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (และที่มนุษย์สร้างขึ้น) ทั้งที่มีน้ำขังหรือท่วมอยู่ถาวรและชั่วครั้งชั่วคราว ทั้งที่เป็นแหล่งน้ำนิ่งและน้ำทั้งที่เป็นน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม รวมไปถึงพื้นที่ชายฝั่งทะเล และพื้นที่ของทะเล ในบริเวณซึ่งเมื่อน้ำลดลงต่ำสุดมีความลึกของระดับน้ำไม่เกิน 6 เมตร (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)

หรือพลังงานในกลุ่ม Fossil Fuel น้อยลง และใช้สิ่งมีชีวิตในดินตามธรรมชาติ รวมทั้งการก่อสร้างจะเน้นที่วัสดุธรรมชาติเป็นหลัก จึงเป็นระบบที่ใช้พื้นที่มากกว่า (Land Intensive) เมื่อเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปในการบำบัดในลักษณะเดียวกัน อย่างไรก็ตามบึงประดิษฐ์ยังมีข้อจำกัดอีกหลายประการดังแสดงในตาราง 10 – 1



รูปที่ 10-1 เปรียบเทียบการทำงานของระบบบึงประดิษฐ์กับระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป

ตาราง 10 – 1 ข้อดีและข้อจำกัดของระบบบึงประดิษฐ์บางประการเมื่อเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป

ข้อดี	ข้อจำกัด
- โดยทั่วไปค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและบำรุงรักษาต่ำ - สิ้นเปลืองพลังงานในการเดินระบบน้อย - ไม่ต้องมีผู้เชี่ยวชาญประจำระบบ - สามารถบำบัดธาตุอาหาร (บำบัดขั้นตติยภูมิ) ได้ดี - เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ได้หลากหลาย - อาจเพิ่มความเป็นธรรมชาติให้แก่พื้นที่ - เป็นเทคนิคการบำบัดที่ดูเป็นมิตรต่อธรรมชาติและประชาชนทั่วไปให้ความยอมรับ - สามารถใช้ประโยชน์ด้านอื่นได้ เช่น เป็นที่พักผ่อน เป็นแนวกันชน เป็นต้น	- ใช้พื้นที่มากเมื่อเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันทั่วไป - บึงประดิษฐ์ที่มีน้ำผิวดินขังอาจเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุง หรือแมลงอื่นๆ - ไม่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในปริมาณสูง - ประสิทธิภาพไม่แน่นอนขึ้นกับสภาพอากาศ - ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนปลงและการใช้งานในระยะยาวยังมีอยู่น้อย - อาจใช้เวลานานในการเริ่มเดินระบบ (Start up) เพื่อให้พืชเติบโตได้ที่

ในภาพรวม กระบวนการบำบัดหลักของบึงประดิษฐ์จะเป็นระบบกรองชีวภาพ (Biofilter) ผสมผสานกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารทางกายภาพและเคมี เพื่อกำจัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนในน้ำ โดยการจำลองการทำงานของพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติที่ประกอบไปด้วย พืช และจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยที่ราก ลำต้น ใบ และส่วน

ต่างๆ ของพืชจะทำหน้าที่เป็นที่ยึดเกาะของจุลชีพ หลากหลายประเภทได้แก่ สาหร่ายชนิดต่างๆ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Cyanobacteria) จุลินทรีย์ที่ใช้คาร์บอนอินทรีย์ (Heterotrophic Microorganism) ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งที่ละลายและแขวนลอยในน้ำ เป็นต้น ซึ่งในทางนิเวศวิทยาเรียกกลุ่มจุลชีพเหล่านี้ว่า Periphyton จุลชีพเหล่านี้นอกจากทำหน้าที่บำบัดสารปนเปื้อนในน้ำแล้วยังสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำได้ด้วย นอกจากนี้ยังถูกใช้เป็นแหล่งอาหาร (แหล่งของสสารและพลังงาน) แก่สิ่งมีชีวิตอื่นในระบบ เช่น สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังต่างๆ ปลา เป็นต้น สำหรับกรณีบึงประดิษฐ์ขนาดใหญ่ที่ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำเอื้ออำนวยต่อการเป็นแหล่งอาหารและที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตอื่นหลายประเภท (แม้ว่าสัตว์เหล่านั้นไม่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับการบำบัดน้ำเสีย เช่น นก และสัตว์เลื้อยคลานต่างๆ เป็นต้น) ทำให้บึงประดิษฐ์ขนาดใหญ่สามารถพัฒนาเป็นระบบนิเวศที่สมบูรณ์ขึ้นได้ซึ่งเกิดผลพลอยได้ที่ดีต่อสิ่งแวดล้อมในด้านอื่นด้วย

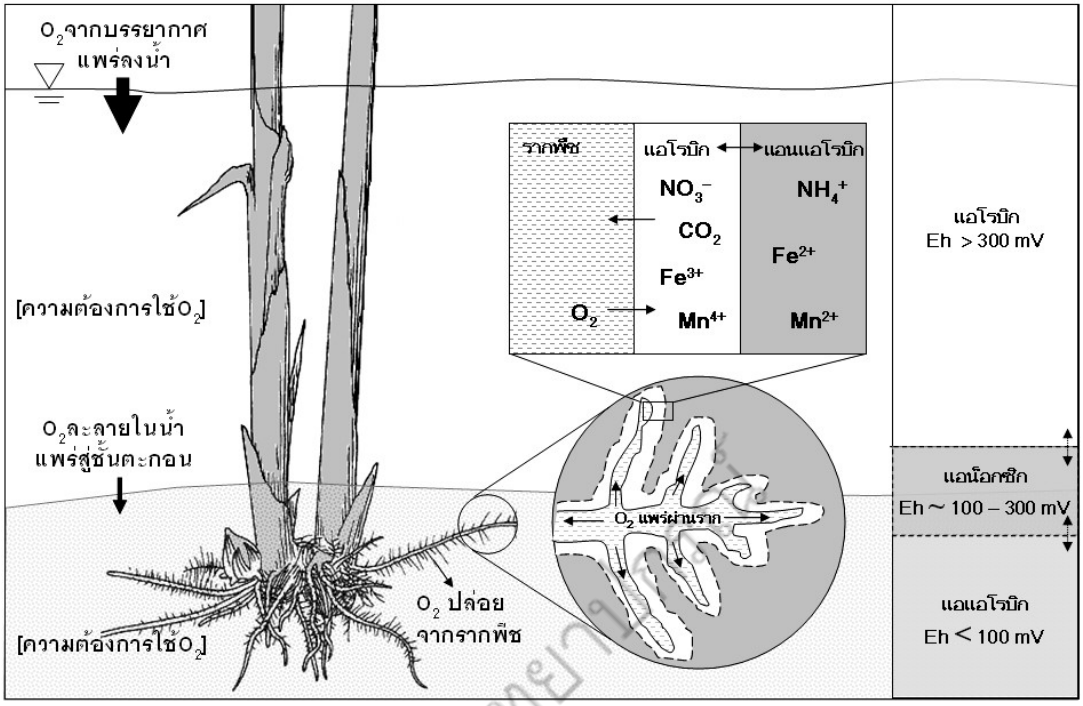
10.1 กลไกการบำบัด

จุลชีพกลุ่ม Periphyton จะดูดซับสารปนเปื้อนจากน้ำทำให้การแพร่กระจายของสารปนเปื้อนลดลง ประมาณว่าประมาณ 90 เปอร์เซนต์ของการะบวนการกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำในระบบบึงประดิษฐ์เกิดโดยกระบวนการทางชีวเคมีโดยจุลชีพในกลุ่ม Periphyton โดยการกำจัดที่เกิดจากพืชและแระบวนการทางกายภาพคิดเป็น 7 – 10 เปอร์เซ็นต์ (Bhamidimarri และคณะ 1991) โดยหน้าที่หลักของพืชนอกจากเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อพืชย่อยสลายจะเป็นแหล่งอาหาร (คาร์บอน) สำหรับจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามสำหรับกรณีที่มีโลหะหนักปนเปื้อนในน้ำ การกำจัดโลหะหนักส่วนใหญ่จะเกิดจากกระบวนการทางกายภาพและการดูดซับโดยพืช ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการกำดูดซับโลหะหนักแตกต่างกันไป กระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นในภาพรวมประกอบไปด้วย

- การตกตะกอนของของแข็งแขวนลอยในทางกายภาพ จากการที่น้ำไหลช้าลง ซึ่งตะกอนอาจจะเป็นของแข็งแขวนลอยที่ถูกพามากับน้ำ หรือตะกอนจากการตกตะกอนทางเคมีของไอออนที่ละลายในน้ำ หรือตะกอนที่จับตัวเป็นฟล็อกที่เป้นผลมาจากจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพ อัตราการตกตะกอนอาจจะวัดเป็น เซนติเมตรต่อหน่วยพื้นที่ต่อปี หรือ กรัมต่อหน่วยพื้นที่ต่อปี
- การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและเคมีของสารปนเปื้อนในน้ำเมื่อสัมผัสกับจุลินทรีย์และ แสง
- การดูดซับ การแลกเปลี่ยนไอออน กับดิน ตะกอน และพื้นผิวของพืชและซากสารอินทรีย์ต่างๆ
- การดูดซับโดยสิ่งมีชีวิตในระบบเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงาน หรือการสะสมในสิ่งมีชีวิต
- การระเหยออกของก๊าซจากน้ำสู่บรรยากาศ และการแลกเปลี่ยนก๊าซในน้ำกับบรรยากาศ

บริเวณที่เกิดการบำบัดมากที่สุดเมื่อน้ำเสียไหลผ่านบึงประดิษฐ์คือส่วนที่เป็นรากพืช (Rhizosphere) รอบๆ พืชในพื้นที่ชุ่มน้ำจะเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากยอดลงสู่ส่วนที่เป็นรากที่จมน้ำและออกซิเจนบางส่วนจะปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากบริเวณรากได้ (รูปที่ 10-2) รากฝอยของพืชจะมีจุลินทรีย์ในรูปของฟิล์มชีวภาพที่ได้รับออกซิเจนจากรากพืช (Bowmer, 1987) เติบโต ในบริเวณที่ออกซิเจนละลายมีปริมาณน้อยจะมีกลุ่มจุลชีพแบบไม่ใช้ออกซิเจนเติบโตและทำหน้าที่ช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ ปริมาณออกซิเจนละลายจะลดลงเมื่อความลึกมากขึ้นและเมื่ออยู่ห่างจากบริเวณรากฝอยมากขึ้น ในบริเวณที่ปริมาณออกซิเจนลดลงจนกระทั่งศักย์รีดอกซ์

(Redox Potential, E_h) ลดลงอยู่ในช่วง 300 – 100 มิลลิโวลต์ จะอยู่ในช่วงแอน็อกซิกซึ่งจะเกิดกระบวนการ Denitrification และถ้าค่า R_H ลดลงกว่า 100 มิลลิโวลต์ จะเข้าสู่ส่วนที่เป็นแอนแอโรบิกในที่สุด (รูปที่ 10-2)

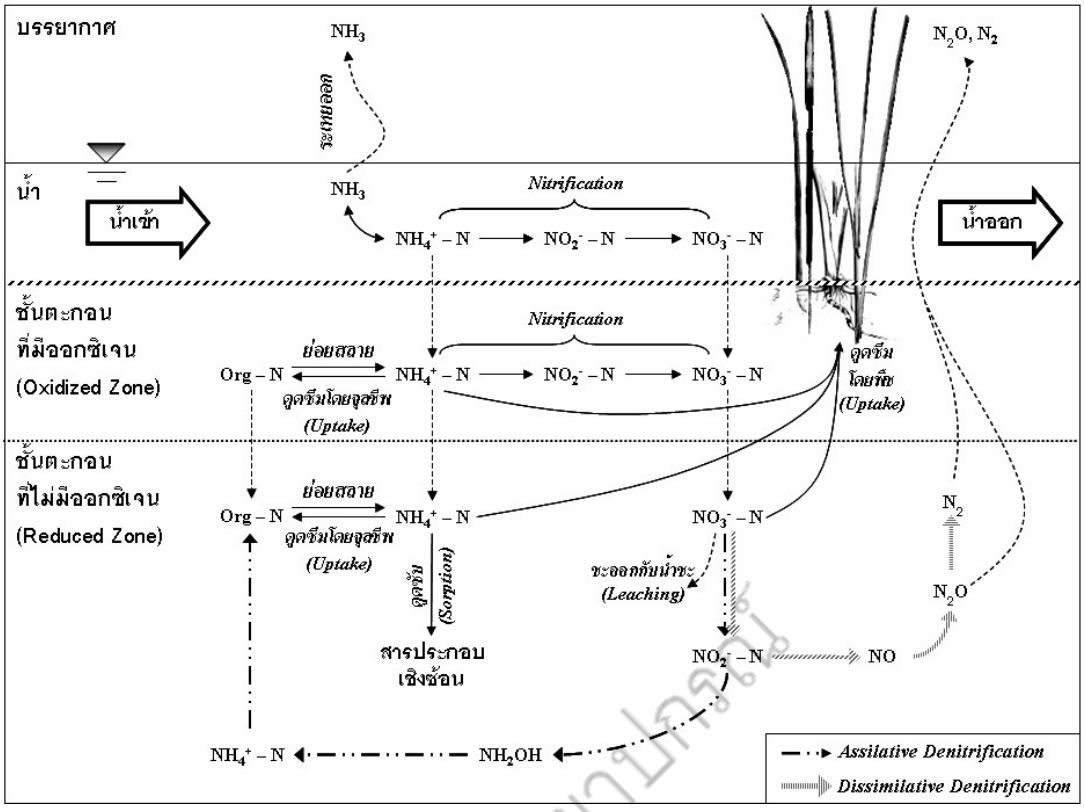


รูปที่ 10-2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนตามความลึกในบึงประดิษฐ์และในบริเวณรากพืช (Rhizosphere)

กล่าวได้ว่า คาร์บอนอินทรีย์จะถูกใช้ไปจุลชีพกลุ่ม Heterotrophic Microorganisms ไนโตรเจนจะถูกบำบัดโดยกระบวนการ Denitrification กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนออกสู่บรรยากาศ ฟอสฟอรัสจะตกตะกอนและถูกใช้ไปในกระบวนการเติบโตทางชีวภาพ (Burgoon และคณะ, 1991) ของแข็งแขวนลอยจะถูกกรองออกหรือตกตะกอนออกจากน้ำ เชื้อโรค และเชื้อไวรัสที่เป็นอันตรายจะถูกกรองโดยฟิล์มชีวภาพ และตัวกลาง เช่น ดิน เคลย์ พื้นผิวของแข็งต่างๆ เป็นต้น รวมทั้งตายไปตามธรรมชาติเนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น สัมผัสกับแสงอุลตราไวโอเลต (UV) จากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม หรือถูกกำจัดโดยโปรโตซัว (Protozoa) เป็นต้น ในระหว่างที่น้ำไหลผ่านระบบ สำหรับกลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์และไนโตรเจนในบึงประดิษฐ์จะเหมือนกับหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในเรื่องการบำบัดด้วยระบบชีวภาพแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน สำหรับกลไกการกำจัดไนโตรเจนและการกำจัดฟอสฟอรัสและโละหนักจะกล่าวเพิ่มเติมในรายละเอียดเพิ่มเติมในที่นี้

10.1.1 กลไกการบำบัดไนโตรเจนในบึงประดิษฐ์

กระบวนการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในบึงประดิษฐ์ส่วนมากอาศัยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพในธรรมชาติทั่วไปแสดงได้ดังรูปที่ 10 – 3



รูปที่ 10-3 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจน (ดัดแปลงจาก USEPA, 1988)

กระบวนการหลักในการกำจัดไนโตรเจนคือ Nitrification และ (Dissimilative) Denitrification ทำให้ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซ N_2O และ N_2 แล้วระเหยออกในที่สุดดังได้กล่าวมาแล้วเรื่องการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการทางชีวภาพ นอกจากกระบวนการหลักที่กล่าวมาแล้ว ยังมีกระบวนการการดูดซึม (Uptake) สารประกอบไนโตรเจนโดยสิ่งมีชีวิตต่างๆ ได้แก่ การดูดซึมแอมโมเนียมโดยตรงโดยพืชและจุลชีพอื่นๆ เพื่อนำไปสังเคราะห์เซลล์ใหม่ ไนเตรทบางส่วนสามารถถูกดูดซึมได้โดยพืชหรือดูดซึมผ่านกระบวนการ Assimilative Denitrification เพื่อรีดิวซ์ไนเตรทเป็น ไนไตรท์ ไฮดรอกซิลลามีน (Hydroxylamine, NH_2OH) และแอมโมเนียมในที่สุดก่อนดูดซึมไปใช้ ซึ่งทำได้โดยโดย พืช เชื้อรา หรือ แบคทีเรียในกลุ่ม Prokaryotes หลายชนิด แอมโมเนียมอาจจะสูญเสียออกทางบรรยากาศโดยตรงได้เมื่อพีเอชของน้ำสูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อน้ำมีพีเอชสูงกว่า 9.3 (pK_a ของแอมโมเนียมมีค่า 9.3) แอมโมเนียมส่วนใหญ่จะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียซึ่งละลายน้ำได้น้อย อย่างไรก็ตาม โดยปกติการเพิ่มค่าพีเอชจนสูงมากในบึงประดิษฐ์จะไม่เกิดยกเว้นบางกรณี เช่น มีการเติบโตของสาหร่ายอย่างรวดเร็ว (Algal Bloom) ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมของระบบ ดังนั้นการสูญเสียไนโตรเจนโดยกระบวนการนี้จึงไม่ใช่กระบวนการหลัก นอกจากนี้แอมโมเนียมบางส่วนอาจจะถูกดูดซับไว้กับพื้นผิวหรือโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนได้บางส่วน และไนเตรทบางส่วนอาจจะถูกกำจัดจากระบบไปพร้อมกับน้ำชะที่ชะออกจากระบบได้ นอกจากกระบวนการทั่วไปที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีกระบวนการทางชีวเคมีอื่นที่อาจเป็นกระบวนการที่สำคัญในการกำจัดไนโตรเจนได้ (Loosdrech และคณะ 1998; Tanner และ Kadlec, 2002; Sun และ Austin, 2007) เช่น

ลิขสิทธิ์ วิทยาลัยการ

- กระบวนการแอนนาม็อก (Anaerobic ammonium oxidation, ANAMMOX) เป็นกระบวนการที่ NO_2^- รับอิเลกตรอนแล้วถูกรีดิวซ์เป็น NH_2OH จากนั้น NH_2OH และ NH_4^+ ทำปฏิกิริยากันเป็น Hydrazine (N_2H_4) และ H_2O ต่อมา N_2H_4 ถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น N_2 และถ่ายเทอิเลกตรอนที่เหลือเพื่อใช้ในการรีดิวซ์ NO_2^- ต่อไป ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้น
- กระบวนการ Completely Autotrophic Nitrogen-removal Over Nitrite, CANNON) เป็นกระบวนการที่คล้ายคลึงกับ ANAMMOX แต่ต่างกันที่เกิดในขั้นตอนเดียวและเกิดในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด โดย NH_4^+ ถูกออกซิไดซ์เป็น NO_2^- แต่ไม่เปลี่ยนจนเป็น NO_3^- เพราะออกซิเจนมีจำกัด จากนั้น NO_2^- จะทำปฏิกิริยากับ NH_4^+ เป็น N_2 ซึ่งจะต่างจากกระบวนการ Nitrification ปกติที่ NH_4^+ ถูกอ็อกซิไดซ์โดยจุลชีพกลุ่ม Heterotroph ที่ใช้สารอินทรีย์ในสภาวะที่มี O_2 ไม่จำกัด

ทั้งสองกระบวนการที่กล่าวมาเป็นกระบวนการที่เกิดโดยจุลชีพกลุ่ม Autptroph ในสภาวะมีออกซิเจนจำกัดหรือไม่มีออกซิเจน ซึ่งความสำคัญของกระบวนการเหล่านี้ในการกำจัดไนโตรเจนในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายจำกัด เช่น ในบึงประดิษฐ์ จะยังต้องศึกษาต่อไป

10.1.2 กลไกการบำบัดฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์

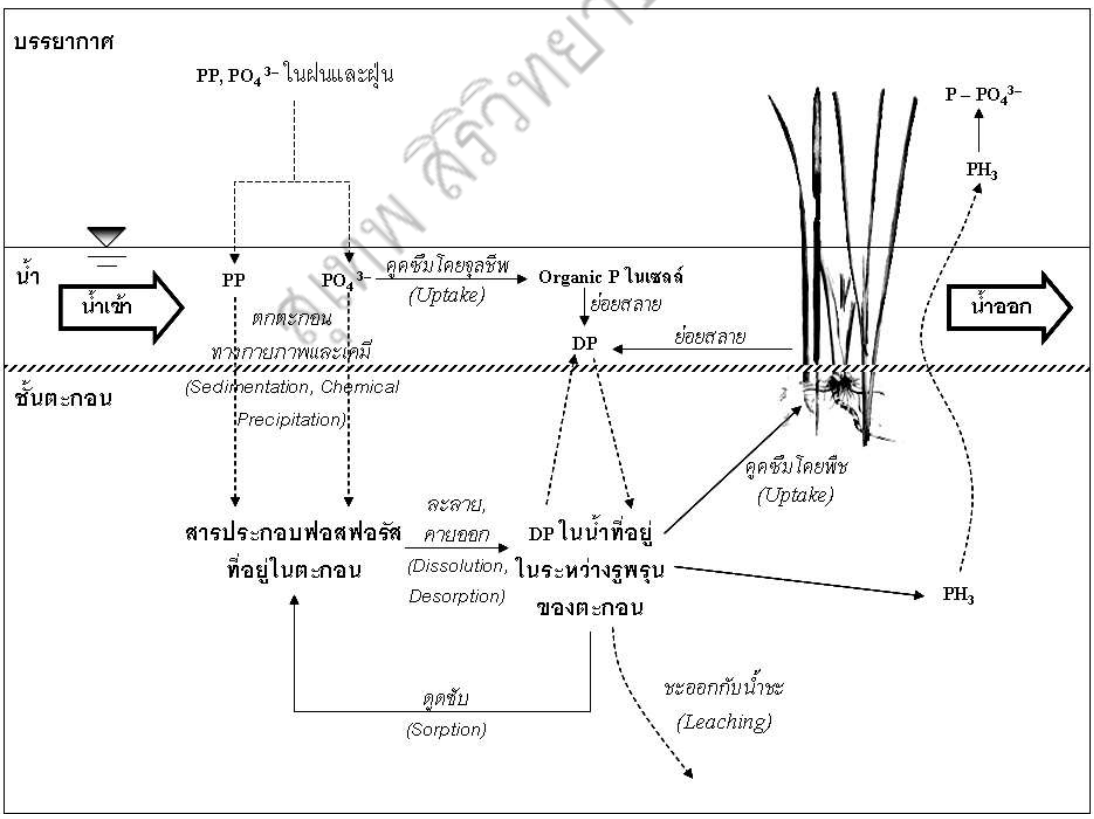
เมื่อเทียบกับไนโตรเจน กระบวนการการเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสจะซับซ้อนน้อยกว่า สารประกอบฟอสฟอรัสในธรรมชาติพบได้ทั้งในรูปของสารระกอบอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารประกอบฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ในกระบวนการทางชีวภาพส่วนมากจะอยู่ในรูปของ Soluble Reactive Phosphorus (SRP) ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารประกอบออร์โทฟอสเฟต (Orthophosphate, PO_4^{3-}) ในรูปที่พร้อมถูกนำไปใช้ (Reactive) ฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ระบบจากน้ำเสียส่วนใหญ่เป็น PO_4^{3-} สารประกอบฟอสฟอรัสอื่นที่ละลายน้ำ (Dissolved Phosphorus, DP) และที่อยู่ในรูปอนุภาค (Particulate Phosphorus, PP) และมีบางส่วนที่มาจากชั้นบรรยากาศกับน้ำฝนในรูป PO_4^{3-} และ PP ในธรรมชาติ ฟอสฟอรัสมักจะเป็นธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย การเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสในระบบบึงประดิษฐ์แสดงในรูปที่ 10-4 สรุปกลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์ ได้แก่

1) การที่ฟอสฟอรัสถูกผนวกเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของมวลชีวภาพของสิ่งมีชีวิตเนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเติบโต สาหร่ายและพืชชั้นสูงที่เติบโตในสภาวะที่มีฟอสฟอรัสสูงมักจะสะสมฟอสฟอรัสไว้ในตัวในรูปของฟอสฟอรัสอินทรีย์มากกว่าการเติบโตในสภาวะที่มีธาตุอาหารต่ำ เรียกกระบวนการนี้ว่า Luxury Uptake (Greenway, 1997) การที่พืชเหล่านี้ถูกเก็บเกี่ยวหรือตัดออกสม่ำเสมอจะทำให้ปริมาณของฟอสฟอรัสในดินไม่สะสมจนถึงระดับอิ่มตัว พืชแต่ละชนิดจะมีการสะสมของฟอสฟอรัสในตัวได้มากน้อยต่างกัน พืชที่มีท่อลำเลียง ในกลุ่ม แพงพวยน้ำ กกกลม (Scirpus sp.) สะสมฟอสฟอรัสได้มาก ในบางกรณีอาจสูงกว่า 60 เปอร์เซนต์ของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่อยู่ในน้ำที่เข้ามา ในขณะที่พืชในกลุ่ม ธูปฤาษี (Typha sp.) สะสมได้เพียง 28 เปอร์เซนต์ (Finlayson and Chick, 1983) นอกจากชนิดของพืชแล้วประสิทธิภาพของการกำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำโดยผนวกเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของมวลชีวภาพไม่ว่าจะเกิดโดยพืชที่มีท่อลำเลียง (Vascular Plants) หรือโดยจุลชีพที่อาศัยร่วมกับพืชหรือจุลชีพที่อาศัยในดินขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ฤดูกาล การไหลเวียนของน้ำ และสัมพันธ์กับการเติบโตพืชในบึงประดิษฐ์ด้วย

2) การดูดซับในดินและการตกตะกอนของฟอสเฟตกับ Fe^{3+}, แคลเซียมและอลูมิเนียมที่มีอยู่ในดิน เป็นสารประกอบต่างๆ ช่วงของการเปลี่ยนแปลงศักย์รีดอกซ์ (Redox Potential, E_h) ในดินและน้ำปกติตั้งแต่ -300 –

+300 มิลลิโวลต์ จะไม่มีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสารประกอบออร์โทฟอสเฟต แต่จะมีผลต่อไอออนที่ที่ฟอสเฟตไปรวมตัวอยู่ด้วย สำหรับ Fe^{3+}จะถูกรีดิวซ์เป็น Fe^{2+}ภายใต้ศักยรีดอกซ์ตั้งแต่ –200 มิลลิโวลต์ (Hammer, 1992) และอาจทำให้ฟอสเฟตที่เคยถูกจับอยู่กับ Fe^{3+}เดิมถูกปล่อยออกมา ในทางกลับกัน การเติมออกซิเจนในระบบทำให้ Fe^{2+}จะถูกออกซิไดซ์เป็น Fe^{3+}ทำให้ปริมาณฟอสเฟตในน้ำลดลง ดังนั้นปริมาณออกซิเจนละลายจึงมีส่วนสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัส ในน้ำผิวดินธรรมชาติ เมื่อปริมาณออกซิเจนละลายลดลง ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำจะเพิ่มขึ้น Kramer และคณะ (1972) รายงานไว้ว่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำต่ำกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรมีผลให้ฟอสฟอรัสถูกปลดปล่อยออกจากดินตะกอนได้ นอกจากศักยรีดอกซ์แล้ว พบว่าฟอสฟอรัสสามารถดูดซับในดินที่พีเอชสูง รวมทั้งถูกดูดซับโดยซากสารอินทรีย์ (Detritus) ที่เน่าเปื่อยผุพังภายในระบบได้ด้วย เนื่องจากการกำจัดฟอสฟอรัสโดยการดูดซับจะถึงจุดอิ่มตัวในที่สุด ดังนั้น การกำจัดฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์สามารถจะเกิดต่อเนื่องได้โดยอาศัยกระบวนการกำจัดทั้งสองที่ได้กล่าวแล้วร่วมกัน

นอกจากนี้ ฟอสฟอรัสอาจจะสูญเสียจากระบบได้กับน้ำชะที่ซึมออกจากระบบและในกระบวนการเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซ Phosphine (PH_3) โดยกระบวนการทางชีวภาพในตะกอน แต่เกิดได้น้อยมาก ทั้งนี้ก๊าซ Phosphine จะไม่เสถียรและถูกออกซิไดซ์ให้กลับไปอยู่ในรูปของ PO_4^{3-} ได้ในเวลาอันสั้น (Glindemanna และคณะ, 2005)



รูปที่ 10-4 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟอสฟอรัส
(ดัดแปลงจาก Kadlec และ Knight, 1996)

ศุภพ สริวิทยาปกรณ์

10.1.3 กลไกการบำบัดโลหะหนักในบึงประดิษฐ์

ในลักษณะเดียวกับการกำจัดสารปนเปื้อนอื่นๆ เมื่อโลหะหนักในน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ ไม่ว่าจะเป็นกรณีที่น้ำนิ่งขังหรือมีการเคลื่อนที่ โลหะหนักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่างๆ ซึ่งศักยรีดอกซ์จะเป็นสิ่งสำคัญในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโลหะหนักซึ่งจะมีผลต่อความเป็นพิษ ความสามารถในการดูดซับ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโลหะในระบบ สภาพรีดอกซ์ของโลหะขึ้นกับปริมาณออกซิเจนซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของจุลชีพด้วย โลหะเมื่ออยู่ในสภาพรีดอกซ์ต่างกันจะสามารถเกิดเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ต่างกันด้วย การกำจัดโลหะหนักที่เกิดจากกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในบึงประดิษฐ์ ได้แก่

1) การตกตะกอนทางกายภาพของไอออนโลหะหนักที่ถูกดูดซับโดยตะกอนแขวนลอย ฟล็อก หรือโลหะหนักที่อยู่ในรูปสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เช่น สารประกอบโลหะออกไซด์และไฮดรอกไซด์ เป็นต้น การตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับรูปแบบ ความเร็ว และลักษณะการไหลของน้ำ ในน้ำที่ค่อนข้างนิ่ง ตะกอนที่หนาแน่นกว่าน้ำจะจมลง ส่วนตะกอนแขวนลอยที่เบากว่าน้ำอาจจะรวมเป็นฟล็อกและตกตะกอนได้ในที่สุด ในบึงประดิษฐ์ฟล็อกขนาดเล็กสามารถเกิดได้ดีเมื่อพีเอชสูงขึ้น มีความปั่นป่วนน้อย มีตะกอนแขวนลอยเข้มข้นสูง ฟล็อกขนาดเล็กเป็นประโยชน์มากในการดูดซับโลหะหนักเนื่องจากมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงทำให้มีความสามารถในการดูดซับได้มาก ทั้งนี้ไอออนของโลหะในน้ำจะไม่ตกตะกอนโดยตรง แต่จะต้องผ่านกระบวนการเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ หรือตกตะกอนร่วมกับสารประกอบอื่น หรือผ่านกระบวนการดูดติดผิวก่อนจึงจะตกตะกอนลงได้

2) การดูดซับบนพื้นผิวของเคลย์หรือสารประกอบฮิวมิก ความสามารถในการดูดติดขึ้นกับลักษณะสมบัติของไอออนของโลหะ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของพื้นผิวดูดซับ รวมทั้งปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมเช่น พีเอช ศักย์รีดอกซ์ เป็นต้น สำหรับไอออนกลุ่ม Divalent Metals ในน้ำ ความสามารถในการดูดซับกับเคลย์จะเป็นไปตามลำดับดังนี้ Pb>Cu>Zn>Ni>Cd โดยทั่วไป Pb และ Cu มักจะถูกดูดซับไว้อย่างแน่นหนาส่วน Zn และ Cd จะถูกดูดซับไว้ไม่ดีนักทำให้สามารถเข้าสู่วงจรชีวภาพได้ในที่สุด (Alloway, 1990)

3) การตกตะกอนทางเคมี เป็นกระบวนการหลักของการกำจัดโลหะหนักในบึงประดิษฐ์ ไอออนของโลหะหนักจะถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปแบบที่ไม่ละลายน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับค่าคุณสมบัติการละลาย (Solubility Product) ของสารประกอบโลหะหนักแต่ละชนิด ถ้าค่าการละลายต่ำ สารประกอบชนิดนั้นจะตกตะกอนได้ง่าย ทั้งนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของไอออนของโลหะหนักและไอออนที่เป็นส่วนของสารประกอบ เช่น ไฮดรอกไซด์ไอออน ซัลไฟด์ไอออน คาร์บอเนตไอออน เป็นต้น รวมทั้งพีเอช ด้วย ในดินที่มีเหล็กและสารอินทรีย์ในสภาพศักย์รีดอกซ์ต่ำอาจจะมีสารประกอบไพไรท์ (FeS) ซึ่งถ้าสารนี้ถูกออกซิไดซ์ (หลังจากสัมผัสกับอากาศ) จะมีผลให้ค่าพีเอชลดต่ำลงอย่างมากและทำให้โลหะหนักละลายกลับไปในน้ำได้ สิ่งที่เกิดตามมาจากการเกิดสารประกอบโลหะที่ไม่ละลายน้ำคือ การดูดซับไอออนโลหะหนักบางชนิด โดยบนพื้นผิวของสารประกอบโลหะที่อยู่ในรูปไม่ละลายน้ำ เช่น สารออกประกอบออกไซด์ของเหล็ก สามารถดูดซับ Mn, Ni, Cu, Zn, Mo สารออกประกอบออกไซด์ของแมงกานีส สามารถดูดซับ Fe, Co, Ni, Zn, Pb แคลเซียมคาร์บอเนต สามารถดูดซับ , Mo, Fe, Ni, Co, Cd (Matagi และคณะ 1998)

4) การแลกเปลี่ยนไอออน พื้นผิวที่มีประจุจะมี 2 ประเภท คือ ประจุถาวร ได้แก่ การเกิดประจุลบสุทธิบนพื้นผิวของเคลย์จากการแทนที่ Al^{3+} ด้วย Mg^{2+}, Zn^{2+} หรือ K^{+} เป็นต้น และประจุที่เปลี่ยนแปลงตามค่าพีเอช เช่น ประจุบนพื้นผิวของสารประกอบออกไซด์ของเหล็ก อลูมิเนียม และแมงกานีส เป็นต้น ที่จะมีประจุสุทธิเป็นบวกที่ค่าพีเอชต่ำกว่า Iso-electric point และที่ประจุสุทธิเป็นลบที่ค่าพีเอชสูงกว่า Iso-electric point ส่วนมาก

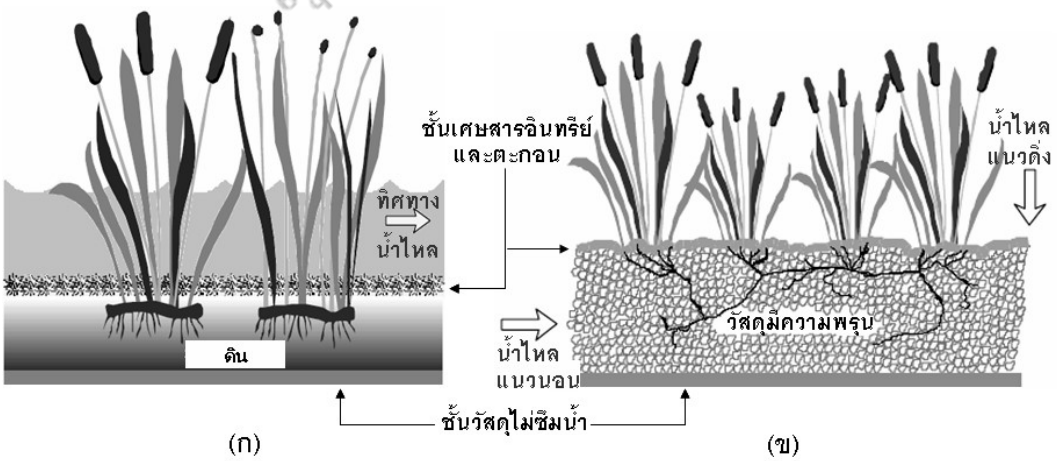
เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกจะเพิ่มตาม ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุจะเป็นไปตามลำดับในเคลย์ชนิด Montmorillonite ดังนี้ Ca>Pb>Cu>Mg>Cd>Zn (Alloway, 1990)

5) การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์ในดินธรรมชาติ เช่น Humic, Tannic และ Fulvic Acids ความสามารถของสารอินทรีย์ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนมีส่วนเกี่ยวพันธ์อย่างยิ่งกับ ปริมาณของโลหะที่เข้าสู่ระบบชีวภาพ และความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ในบึงประดิษฐ์โดยมากจะรับน้ำเสียที่มีธาตุอาหารทำให้ระบบมีสารอาหารมาก (Eutrophic) ทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์ในระบบมาก จึงมีโอกาสเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนักและช่วยลดความเป็นพิษของโลหะหนักต่อสิ่งมีชีวิตด้วย

6) การกำจัดโลหะหนักโดยสิ่งมีชีวิต พืชสามารถดูดซึมโลหะหนักผ่านทางรากเป็นหลัก อย่างไรก็ตามการที่จะระบุว่าพืชสามารถกำจัดโลหะหนักได้นั้น พืชจะต้องมีการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนใดส่วนหนึ่งที่ความเข้มข้นสูงกว่าความเข้นข้นที่พบในน้ำ เช่น ในส่วนรากและใบของกกอียิปต์และผักตบชวาสามารถสะสมโครเมียม เหล็ก ตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล ปรอท และสังกะสี เป็นต้น ธูปฤษีเป็นพืชที่มีความทนทานต่อโลหะหนักได้ดีและสามารถสะสมโลหะหนักได้ตามส่วนต่างๆ ตามลำดับดังนี้คือ ราก > หัว (Rhizomes) > ใบอ่อน > ใบเขียว ตามลำดับ (Dunbabin และ Bowmer, 1992) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และแพลงก□ตอนพืชสามารถสะสมโลหะหนักไว้ในเซลล์ได้เช่นกัน ซึ่งทำให้มีการสะสมของโลหะหนักตามห่วงโซ่อาหาร (Biomagnification) ต่อไปได้

10.2 ประเภทและการทำงานของบึงประดิษฐ์

โดยทั่วไปบึงประดิษฐ์แบ่งเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ แบบที่น้ำไหลท□วมผิวชั้นกรอง (Free Water Surface Wetland, FWS) ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ และแบบที่น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรอง (Vegetated Submerged Bed System, VSB) ซึ่งจะมีชั้นดินปนทรายสำหรับปลูกพืชน้ำและชั้นกรวดทรายกรองรองก้นบ่อเพื่อเป็นตัวกรองน้ำเสีย (รูปที่ 10–5) นอกจากนี้บึงประดิษฐ์ยังถูกออกแบบให้ใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปได้ด้วย



รูปที่ 10-5 บึงประดิษฐ์ (ก) แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรอง (ข) แบบที่น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรองในแนวดิ่งหรือแนวนอน

สุเทพ สิรกยุตปกรณ์

10.2.1 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท□วมผิวชั้นกรอง (Free Water Surface Wetland, FWS)

เป็นระบบที่ดูคล้ายและใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับพื้นที่ชุ่มน้ำในธรรมชาติ อาจมีลักษณะเป็นบ่อดิน เป็นแนวร่องน้ำ หรือคันดิน ชั้นล่างเป็นด้วยชั้นวัสดุกรองทำหน้าที่เป็นที่ยึดเกาะของรากพืชด้วย พื้นมีความลาดเอียงเล็กน้อยปูรองพื้นด้วยวัสดุที่มีความสามารถในการซึมน้ำต่ำซึ่งอาจจะเป็นวัสดุธรรมชาติ เช่น ดินเหนียวอัดแน่น หรือวัสดุสังเคราะห์จำพวก High Density Polyethylene (HDPE) เพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำเสีย ภายในชั้นกรองจะประกอบด้วยดิน ทราย กรวด เพื่อให้พืชยึดเกาะ จะมีการปลูกพืชกระจายอยู่ทั่วไป การไหลของน้ำมักจะออกแบบให้เป็นการไหลเอื่อยๆ แบบไหลตามกัน (Plug – Flow) บริเวณพื้นผิวจะมีการบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้อากาศในขณะที่ส่วนที่อยู่ลึกลงไปจะเป็นแบบใช้อากาศ ระบบนี้จะทำงานได้ดีถ้าถูกแบ่งเป็น 3 ส่วนซึ่งอาจจะอยู่ในบ่อเดียวกันหรือแยกบ่อออกจากกัน ดังนี้

- ส่วนแรก เป็นส่วนที่มีการปลูกพืชน้ำขนาดใหญ่ (Aquatic Macrophytes) ที่มีใบสูงโผล่พ้นน้ำและรากเกาะดินปลูกไว้ เช่น ธูปฤาษี กก แฝก เพื่อชะลอการไหลของน้ำช่วยให้เกิดการตกตะกอนและกรองสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้ นอกจากนี้ การไหลของน้ำผ่านลำต้นพืชอย่างช้าๆ ยังช่วยในการเติมออกซิเจนได้บ้างและทำให้เกิดการผสมกวนช่วยให้เกิดฟล็อกได้อีกด้วย
- ส่วนกลาง เป็นส่วนที่มีพื้นผิวอิสระเป็นบึงโดยจะมีพืชที่โตใต้น้ำ และบ่งส่วนเป็นพืชชนิดลอยอยู่บนผิวน้ำ เช่น สาหร่าย จอก แหน บัว เป็นต้น ทำงานเหมือนบ่อแฟคัลเททีฟ (Facultative) ตะกอนแขวนลอยบางส่วนจะจับตัวเป็นฟล็อกและจมลง เนื่องจากน้ำในส่วนนี้มีการสัมผัสอากาศและแสงแดดเต็มที่ทำให้มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายและแพลงตอนพืชที่ใช้ธาตุอาหารซึ่งมากับน้ำเสีย เป็นการเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำโดยเฉพาะในช่วงเวลากลางวัน และทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้เป็นการลดค่าบีโอดีในน้ำเสีย และยังเกิดสภาพไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) ด้วย ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้คือการเติบโตอย่างรวดเร็ว (Algal Bloom) ในบางเวลาทำให้มีปัญหาการขาดออกซิเจนตามมา รวมทั้งการเจริญเติบโตของยุง ในกรณีที่มีน้ำขัง ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะแก้ไขโดยการปรับอัตราการไหลของน้ำให้เหมาะสม ในกรณีที่ต้องการใช้พืชน้ำจำพวกผักตบชวาหรือพืชที่ลอยบนผิวน้ำชนิดอื่น จะต้องมีการเก็บเกี่ยวอย่างสม่ำสมอเนื่องจากพืชเหล่านี้มีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็ว ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ผักตบชวาปกคลุมผิวน้ำและบดบังแสงที่จะส่องลงถึงพื้นท้องน้ำ อาจจะแก้ไขโดยปลูกพืชเหล่านี้ในพื้นที่ที่จำกัดไว้เพื่อให้ง่ายต่อการบำรุงรักษา
- ส่วนสุดท้าย มีการปลูกพืชและทำหน้าที่คล้ายกับส่วนแรกคือทำให้เกิดการตกตะกอนของฟล็อกและกรองสารแขวนลอยที่ยังเหลืออยู่และอาจเกิดดิไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) เนื่องจากออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ลดลง โดยอาศัยสารอินทรีย์ที่เหลือจากส่วนที่สอง ซึ่งสามารถลดสารอาหารจำพวกสารประกอบไนโตรเจนและสารอินทรีย์ได้

บึงประดิษฐ์แบบนี้เหมาะสำหรับใช้บำบัดน้ำฝนไหลบ่า (Storm Water) หรือน้ำปนเปื้อนจากพื้นที่การเกษตร และนิยมใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งหลังจากผ่านการบำบัดขั้นที่สองแล้วหรือจากบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) เพื่อกำจัดไนโตรเจน ระบบนี้ต้องการพื้นที่ใหญ่คล้ายกับบ่อแฟคัลเททีฟ จะมีน้ำขังอยู่ตลอดปีโดยมีระดับน้ำลึกอย่างน้อย 10 – 45 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังทำให้พื้นที่มีทัศนียภาพที่สวยงามจึงเหมาะสมจะเป็นระบบทางเลือกสำหรับกรณีที่มีพื้นที่กว้างใหญ่

ประสิทธิภาพการบำบัดในบึงประดิษฐ์ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ภาระของเสียที่เข้าสู่ระบบ ฤดูกาล เป็นต้น ได้พบว่าสามารถกำจัดบีโอดีลงได้จนถึงช่วง 20 – 30 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพประมาณ 60 – 85 เปอร์เซ็นต์ สามารถของแข็งแขวนลอยได้ดีต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ได้ สำหรับแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดได้ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ สำหรับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดทั่วได้ในช่วง 50 – 60 และ 40 – 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (USEPA, 1988; USEPA, 2000; Reed และคณะ, 1998)

10.2.2 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรอง (Vegetated Submerged Bed System, VSB)

ระบบนี้อาจจะเรียกในชื่ออื่นๆ เช่น Vegetated Submerged Bed, Root Zone Method, และ Plant-Rock Filter Systems เป็นต้น โดยทั่วไปเป็นระบบขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับแบบแรกสำหรับการรับภาระสารอินทรีย์ที่เท่ากันและนิยมใช้ในกรณีที่มีอัตราการไหลของน้ำเสียต่ำ ระบบอาจจะเป็นร่องที่ขุดลงไปใต้ดินปูด้วยวัสดุกันน้ำซึมไว้ด้านล่างและปูทับด้วยชั้นวัสดุกรองลึกประมาณ 30 – 60 ซม. เพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะและพืชเจริญเติบโตได้ วัสดุกรองอาจเป็นหินหยาบหรือกรวด และดินชนิดต่างๆ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน (Reed และคณะ, 1998) เหมาะกับน้ำเสียที่มีของแข็งต่ำและมีอัตราการไหลที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

ระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้อาจจะแบ่งเป็นระบบที่มีการไหลในแนวนอนและแนวดิ่ง (เช่นระบบส่วนใหญ่ที่พบในประเทศสหรัฐอเมริกา) ระบบที่มีการไหลในแนวนอนจะมีการบำบัดภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic) เป็นหลัก อย่างไรก็ตามในบริเวณรากพืชอาจจะมีออกซิเจนที่ได้จากพืชอยู่บ้างทำให้มีจุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศเจริญเติบโตได้ ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่ภาระสารอินทรีย์ปานกลางโดยมีความเข้มข้นของบีโอดีอยู่ในช่วง 30 – 175 มก./ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) สำหรับบึงประดิษฐ์ประเภทไหลผ่านชั้นกรองในแนวดิ่ง (เช่นระบบส่วนใหญ่ที่พบในกลุ่มประเทศในยุโรป)จะมีระบบการระบายน้ำอยู่ใต้ชั้นกรองและมีระบบระบายอากาศ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้มีสภาวะไร้อากาศเกิดขึ้นในส่วนรากของพืช ระบบนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีภาระสารอินทรีย์สูงๆ ได้ โดยมีความเข้มข้นของบีโอดีที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 500 – 70,000 มก./ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

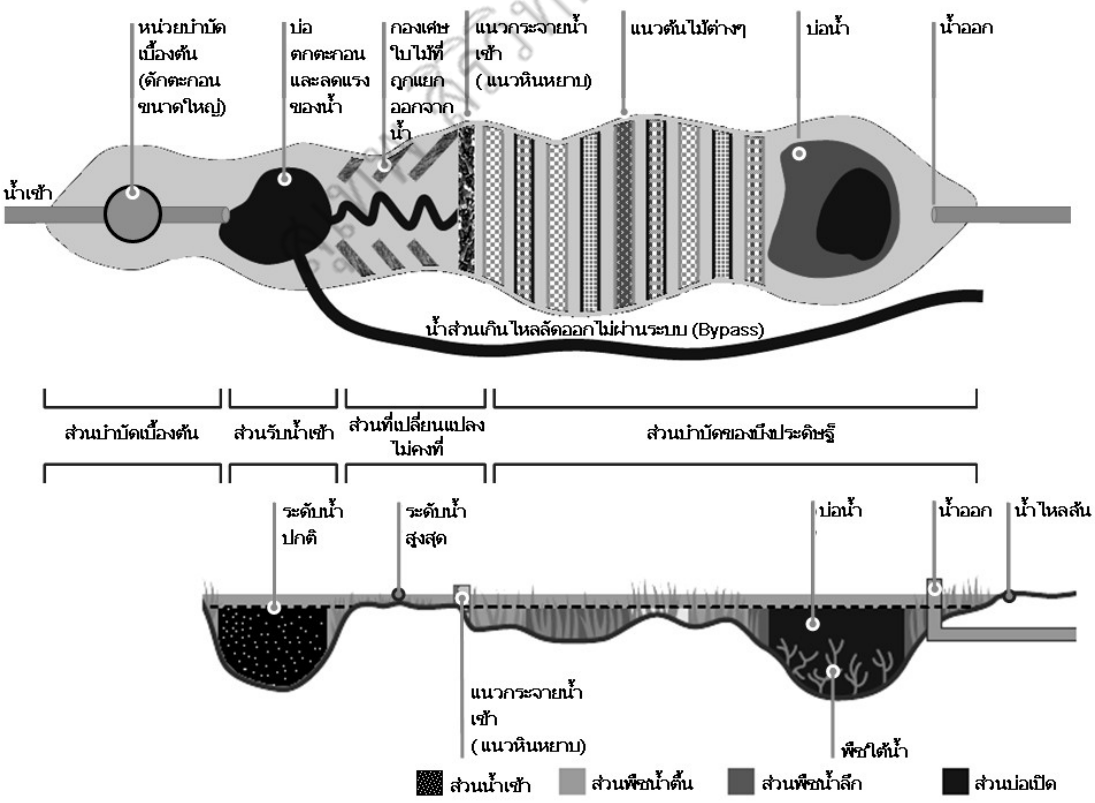
ระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูงกว่าแบบแรกเมื่อเทียบต่อขนาดเท่ากัน มีข้อดีคือเป็นระบบที่แยกน้ำเสียไม่ให้ถูกรบกวนจากแมลงหรือสัตว์ และป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคมายังคนได้ รวมทั้งป้องกันปัญหาเรื่องยุงอีกด้วย มีการใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้ในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเกรอะ (Septic Tank) และปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบ่อปรับเสถียร ระบบแอกติเวเต็ดจ์สลัดจ์ และระบบอาร์บีซี เป็นต้น พืชในระบบจะช่วยเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำเสียในระบบและยังทำหน้าที่สนับสนุนให้ก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น ก๊าซมีเทน (Methane) ที่เกิดจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic) สามารถระบายออกจากระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย วัสดุตัวกลาง (Media) นอกจากเป็นที่ยึดเกาะสำหรับรากพืชและจุลชีพในระบบแล้ว ยังช่วยให้เกิดการกระจายของน้ำเสียที่เข้าและระบายออกจากระบบ รวมทั้งใช้เป็นชั้นกรองสารแขวนลอยต่าง ๆ ด้วย

10.3 เกณฑ์การออกแบบบึงประดิษฐ์

โดยทั่วไปบึงประดิษฐ์จะถูกออกแบบเพื่อลอกเลียนการทำงานของพื้นที่ชุ่มน้ำโดยมีการพัฒนาให้กลไกการบำบัดต่างๆ สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ Mitsch (1992) ได้เสนอแนวทางสำหรับการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์ไว้ดังนี้

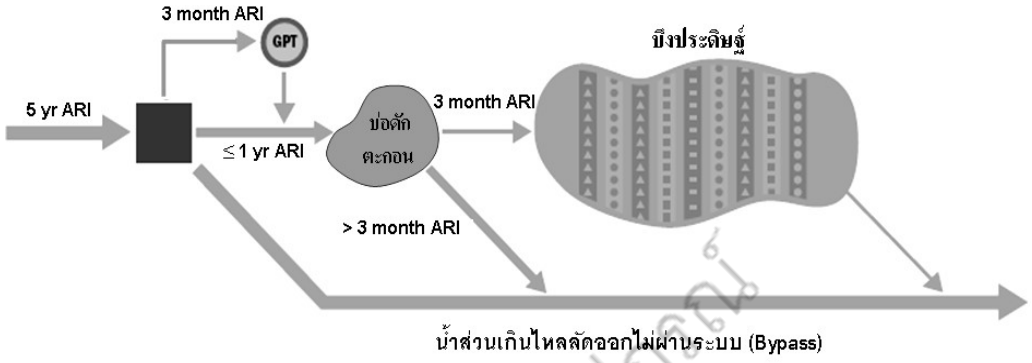
- ให้ออกแบบไม่ซับซ้อน การใช้ระบบหรืออุปกรณ์ที่ซับซ้อนมักจะเป็นสาเหตุให้ระบบล้มเหลวได้
- ออกแบบให้มีความต้องการบำรุงรักษาให้น้อยที่สุด
- ออกแบบให้ใช้พลังงานตามธรรมชาติ เช่น การไหลตามแรงโน้มถ่วง
- ออกแบบให้พร้อมรองรับสภาพอากาศที่รุนแรง เช่น สภาพฝนตกชุกหรือสภาพแล้ง เป็นต้น
- ออกแบบไม่ให้ขัดกับลักษณะภูมิประเทศ ควรนำเอาลักษณะความสูงต่ำของภูมิประเทศมาประกอบการออกแบบ
- หลีกเลี่ยงการใช้รูปแบบที่ตายตัวและการออกแบบทางวิศวกรรมที่มากเกินไป เช่น บึงสี่เหลี่ยมรูปแบบทางน้ำที่ตายตัว เป็นต้น แต่ให้ลอกเลียนรูปแบบและรูปทรงของธรรมชาติในพื้นที่
- ให้เวลาแก่ระบบเพื่อให้ทำงานจนเข้าที่ ในบางกรณี ความพยายามที่จะเร่งการทำงานของระบบหรือพยายามที่จะเข้ามาจัดการระบบมากเกินความจำเป็นมักจะไม้เป็นผล
- ให้ออกแบบเพื่อการใช้งานไม่ใช่เน้นที่รูปแบบ (Function, not Form) เช่น ถ้าการปลูกพืชในระยะแรกไม่ประสบผลสำเร็จตามที่ต้องการ แต่ในภาพรวมบึงประดิษฐ์ยังสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้แต่แรก ถือได้ว่าระบบไม่ล้มเหลว

เพื่อเป็นการลดภาระในการกำจัดเศษตะกอนของแข็งต่างๆ โดยเฉพาะกับบึงประดิษฐ์ที่ออกแบบมาเพื่อบำบัดน้ำบ่า (Runoff) ควรมีการติดตั้งหน่วยบำบัดเบื้องต้นเพื่อดักตะกอนและขยะขนาดใหญ่ที่มากับน้ำ (Gross Pollutant Detention Unit, GPT) (รูปที่ 10–6)



รูปที่ 10-6 ตัวอย่างองค์ประกอบของบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรอง

โดยหน่วยดักขยะควรจะถูกออกแบบให้มีความสามารถในการกำจัดขยะที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 มม. ที่ถูกพัดมากับน้ำจนถึงอัตราการไหลสูงสุดที่กำหนด เช่น อัตราการไหลเฉลี่ยที่เกิดในช่วง 3 เดือน (3-month Average Recurrence Interval, 3 month-ARI) โดยหน่วยดักขยะควรจะมีประสิทธิภาพช่วยลดความถี่ในการกำจัดขยะในบึงประดิษฐ์ ในพื้นที่ที่รับน้ำเข้าจะต้องมีการกระจายน้ำเพื่อให้น้ำไหลเข้าสู่บึงประดิษฐ์อย่างทั่วถึงสม่ำเสมอและการกระจายปริมาณน้ำเสียไม่ก่อให้เกิดการกัดเซาะ อาจจะทำเป็นบ่อตกตะกอนเบื้องต้นหรือหน่วยกรองตะกอนที่เป็นวัสดุหยาบๆ ตัวอย่างแนวทางการออกแบบทางชลศาสตร์สำหรับบึงประดิษฐ์แสดงในรูปที่ 10–7



รูปที่ 10-7 การออกแบบทางชลศาสตร์เพื่อรองรับอัตราการไหลเฉลี่ยที่เกิดในช่วง 3 เดือน (3-month Average Recurrence Interval, 3 month ARI)

ระดับน้ำในบึงประดิษฐ์จะถูกควบคุมโครงสร้างควบคุมการไหลที่มีการทำงานแบบง่ายๆ และปรับอัตราการไหลได้ง่าย โครงสร้างต้องออกแบบสำหรับรองรับอัตราการไหลที่สูงสุดที่กำหนดและอยู่ในตำแหน่งที่เข้าถึงได้ง่าย ตัวอย่างการควบคุมระดับน้ำในบึงประดิษฐ์โดยใช้โครงสร้างรับน้ำที่ด้านน้ำเข้าแสดงในรูปที่ 10–8 ซึ่งส่วนสำคัญคือเวียร์รูป V ปรับระดับได้เพื่อควบคุมและใช้ในการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ โครงสร้างลักษณะนี้จะติดตั้งหลังจากหน่วยดักขยะและตะกอน น้ำที่ออกจะถูกส่งให้กระจายสม่ำเสมอเข้าบึงประดิษฐ์ต่อไป เกณฑ์เบื้องต้นที่ใช้สำหรับการพิจารณาออกแบบระบบบึงประดิษฐ์แสดงในตาราง 10–2 ส่วนขนาดของตัวกลางสำหรับระบบน้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรองแสดงในตาราง 10 – 3

บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ชั้นกรองมักใช้การควบคุมระดับน้ำที่ทางน้ำออก (รูปที่ 10-9) บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระจะมีพื้นลาดชันประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และมีสัดส่วนความยาวต่อความกว้างอย่างน้อย 2:1–4:1 สำหรับน้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรองอาจจะไม่ต้องมีความชันและมีสัดส่วนเป็น 3:1 หรือต่ำกว่าเนื่องจากถ้าออกแบบให้แคบจะต้องขุดลึกกว่า

ชนิดของพืชอาจเลือกพืชในท้องถิ่นหรือพันธุ์พืชในประเทศที่มีความทนทานและเติบโตได้ดี ควรปลูกพืชหลายชนิดเพื่อลดปัญหาที่เกิดจากศัตรูพืชและโรคระบาด ตัวอย่างของพืชประเภทใต้น้ำ (Submerged Plant) ที่มีทุกส่วนของต้นอยู่ใต้น้ำที่มีความลึกลึกตั้งแต่ 20 ซม. จนถึง 2 เมตร ได้แก่ สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด ดีปลีน้ำ สันตะวาใบพาย เป็นต้น ถ้าน้ำลึกมากๆ พืชประเภทนี้จะได้รับแสงน้อยและอาจไม่สามารถเจริญเติบโตได้ สำหรับพืชที่โผล่พ้นน้ำ (Emerging Plant) ส่วนใหญ่นิยมปลูกพืชจำพวก กก แฝก ธูปฤาษี อ้อ และหญ้าทรงกระเทียม (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) เพราะพืชเหล่านี้สามารถดึงออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศได้ดีอาจสูงถึง 45 กรัมออกซิเจนต่อตร.ม.ต่อวัน ทั้งนี้ ขึ้นกับความหนาแน่นของพืชและปริมาณออกซิเจนในดินหรือ

ชั้นกรองด้วย (Reed et al., 1988) ตาราง 10 – 4 แสดงสภาพสิ่งแวดล้อมสำหรับกลุ่มพืชที่โผล่พ้นน้ำบางชนิดที่นิยมปลูกในบึงประดิษฐ์

ตาราง 10 – 2 เกณฑ์เบื้องต้นที่ใช้สำหรับการพิจารณาออกแบบระบบบึงประดิษฐ์

เกณฑ์พิจารณา	หน่วย	ประเภทของบึงประดิษฐ์		
		น้ำไหลท□วมผิวชั้นกรอง	น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรอง *แนวนอน*	น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรอง *แนวดิ่ง*
ภาระบีโอดี	กก.บีโอดี ต่อ ตร.ม. ต่อวัน	น้อยกว่า 0.01	น้อยกว่า 0.01 – 0.016	0.006 – 0.025
ภาระชลศาสตร์	ลบ.ม.ต่อ ตร.ม. ต่อ วัน	0.01 – 0.05	0.02 – 0.08*	0.04 – 0.25*
ภาระของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	กก.ของแข็ง ต่อ ตร.ม. ต่อวัน	–	0.003 – 0.02	–
เวลากักเก็บน้ำ**	วัน	4 – 15	4 – 15	2 – 6
ความสูงของน้ำ	เมตร	0.1 – 0.6 ***	–	–

* ขึ้นกับชนิดและขนาดของตัวกลางและปริมารของแข็งแขวนลอย

** รวมทุกขั้นตอนของระบบ

*** ในบริเวณที่ปลูกพืชโผล่พ้นน้ำ แปรผันตามชนิดพืชที่เลือกใช้

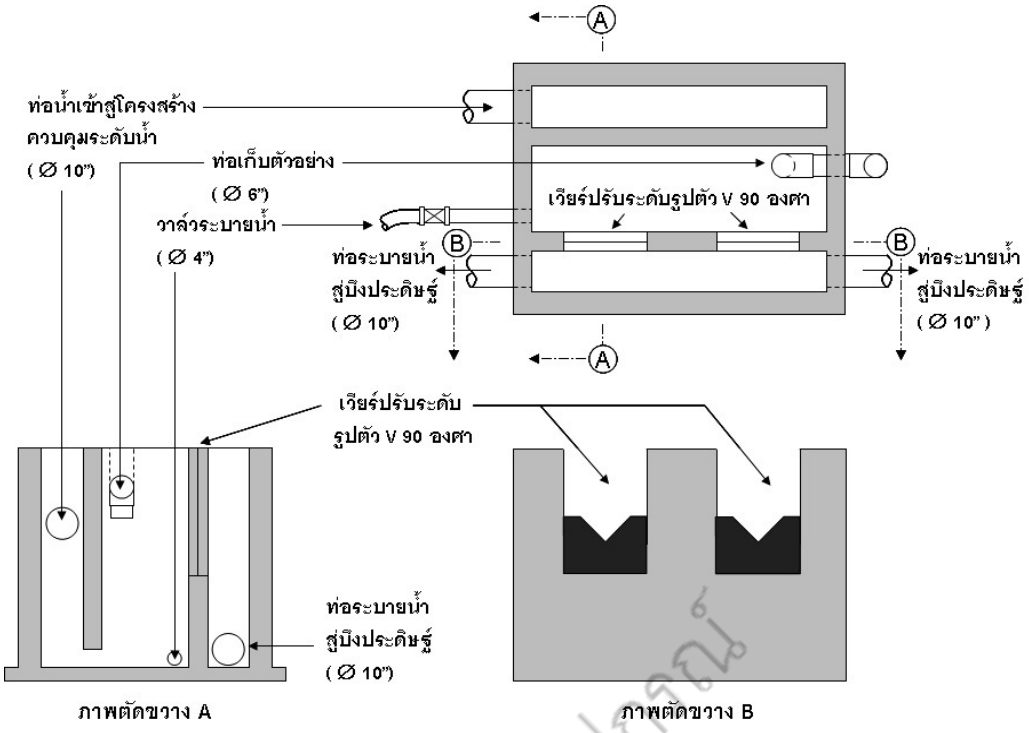
ที่มา ดัดแปลงจาก กรมควบคุมมลพิษ (2547); Metcalf and Eddy (1991); USEPA (1988)

ตาราง 10 – 3 ขนาดของตัวกลางที่ใช้สำหรับระบบน้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรอง

ส่วนของระบบ	ขนาดของตัวกลาง (d_{10})* (มม.)
ส่วนรับน้ำเสีย (Inlet Zone)	380 – 760
ส่วนที่ใช้ในการบำบัด (Treatment Zone)	190 – 250
ส่วนน้ำออก (Outlet Zone)	380 – 760
ส่วนสำหรับปลูกพืชน้ำ (Planting Media)	60 – 190

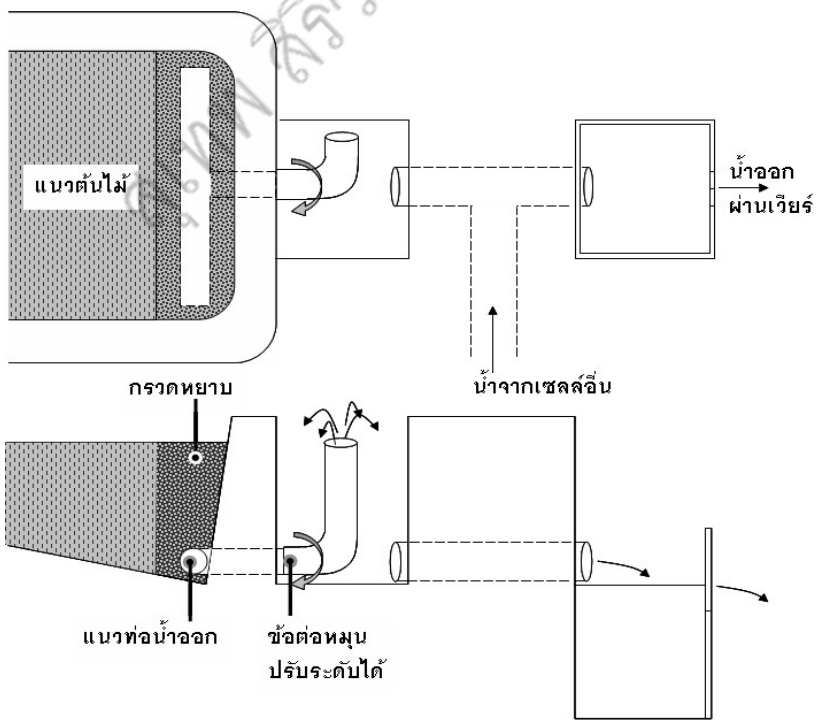
* ตัวกลางที่มีลักษณะการกระจายตัวของขนาดโดย ปริมาณของตัวกลางที่ร่อนผ่านตะแกรงหรือที่มีเล็กว่าขนาด d_{10} คิดเป็น 10 เปอร์เซนต์ของปริมาณตัวกลางทั้งหมด

ที่มา ดัดแปลงจาก USEPA (1988)



รูปที่ 10-8 ตัวอย่างโครงสร้างรับน้ำเพื่อควบคุมระดับน้ำ

(ดัดแปลงจาก Watson และ Hobson, 1989)



รูปที่ 10-9 ตัวอย่างโครงสร้างที่ทางน้ำออกเพื่อควบคุมระดับน้ำในบึงประดิษฐ์

(ดัดแปลงจาก Kadlec และ Knight, 1996)

ตาราง 10 – 4 สภาพสิ่งแวดล้อมสำหรับกลุ่มพืชที่โผล่พ้นน้ำบางชนิดที่นิยมปลูกในบึงประดิษฐ์

ชื่อสามัญ *ชื่อวิทยาศาสตร์*	ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม (^{O}C)	ความทนทานต่อความเค็มสูงสุด (ppt *)	ความลึกของการหยั่งราก (ซม.)	ช่วงความลึกของน้ำที่เหมาะสม (ซม.)	ระยะเวลาที่มีน้ำขัง (%)	พีเอชที่ทนได้
กก (Rushes) *Juncus spp.* 	16 – 25	20	–	5 – 25	50 – 100	5.0 – 7.5
ธูปฤาษี (Cattail) *Typha spp.* 	10 – 30	30	30	10 – 75	70 – 100	3.0 – 10
แฝก (Bulrush) *Scirpus spp.* 	16 – 27	20	76	10 – 20	75 – 100	4.0 – 8.5
หญ้าทรงกระเทียม (Carex) *Carex spp.* 	14 – 23	–	–	5 – 20	50 – 100	5.0 – 7.5
อ้อ (Reed) *Phragmites spp.* 	10 – 30	45	60	10 – 50	70 – 100	2.0 – 8.0

* ส่วนในพันส่วน

ที่มา ดัดแปลงจาก กรมควบคุมมลพิษ (2547); Schueler (1992); USEPA (1988 และ2000)

สุเทพ สริวฑยาปกรณ์

10.3.1 การคำนวณทางชลศาสตร์สำหรับบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท□วมผิวชั้นกรอง

บึงประดิษฐ์แบบนี้โดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ 10 – 100 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร/วัน ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ และอัตราการระเหยออกของน้ำในบริเวณนั้น เนื่องจากข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบึงประดิษฐ์มีอย่างจำกัดและขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง การออกแบบบึงประดิษฐ์ถ้าเป็นไปได้จึงควรทำโดยอาศัยข้อมูลจากระบบนำร่อง โดยการสร้างระบบนำร่องควรให้เป็นระบบที่มีขนาดใหญ่พอสมควร (พื้นที่อย่างน้อย 500 ตารางเมตร) และระบบควรมีการดำเนินการอย่างน้อย 1 – 2 ปี เพื่อให้ระบบผ่านเข้าสู่สภาวะคงที่ พารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาในการออกแบบรวมถึง ภาระทางชลศาสตร์ คุณภาพน้ำเข้าสู่ระบบ ความลึก ความหนาแน่นของพืช ในความเป็นจริงถึงแม้จะมีการศึกษาในระบบนำร่องแต่การที่จะสร้างระบบจริงให้เหมือนระบบนำร่องทั้งหมดคงจะเป็นไปไม่ได้ แต่ข้อมูลจากระบบนำร่องจะมีประโยชน์เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบจริงได้ อย่างไรก็ตาม ถ้าจะทำระบบนำร่องขึ้นมาอย่างจริงจังตามที่เสนอจะต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลาในการศึกษาระบบนำร่องอย่างมาก ดังนั้น ในการออกแบบ จึงมักจะมีการทำระบบขนาดเล็กเพียงเพื่อแสดงว่ามีการบำบัดเกิดขึ้นจริง จากนั้นข้ามไปสู่การสร้างระบบจริงโดยพิจารณาค่าพารามิเตอร์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการใช้ประสบการณ์ของผู้ออกแบบ

การไหลในบึงประดิษฐ์ทั่วไปเป็นการไหลตามพื้นที่มีชันเล็กน้อยที่ความเร็วต่ำตามแรงโน้มถ่วง ในแง่ของพลังงานจึงมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์เป็นหลัก พลังงานศักย์ที่ลดลงเป็นผลจากแรงเสียดทาน การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์มีเพียงเล็กน้อย จึงไม่คำนึงถึงการอนุรักษ์พลังงานและโมเมนตัมสำหรับการไหลในลักษณะนี้ ดังนั้น การคำนวณในเบื้องต้นจะใช้หลักการอนุรักษ์มวลสารในหนึ่งมิติดังที่อธิบายไว้โดย Kadlec และ Knight, 1996 ดังแสดงในรูปที่ 10 – 10 และอธิบายได้ด้วยสมการ (10–1)

$$\frac{\partial(h\varepsilon)}{\partial t} = -\frac{\partial(hu_x)}{\partial x} + P - ET \qquad (10\text{-}1)$$

โดย ET = อัตราการระเหยคายน้ำ (Evapotranspiration), เมตรต่อวัน

h = ความลึกของน้ำ, เมตร

P = อัตราปริมาณน้ำฝน, เมตรต่อวัน

t = เวลา, วัน

u_x = ความเร็วน้ำในแนวแกน x, เมตรต่อวัน

ε = สัดส่วนของปริมาตรน้ำต่อปริมาตรบึงประดิษฐ์, ลบ. เมตรต่อลบ. เมตร

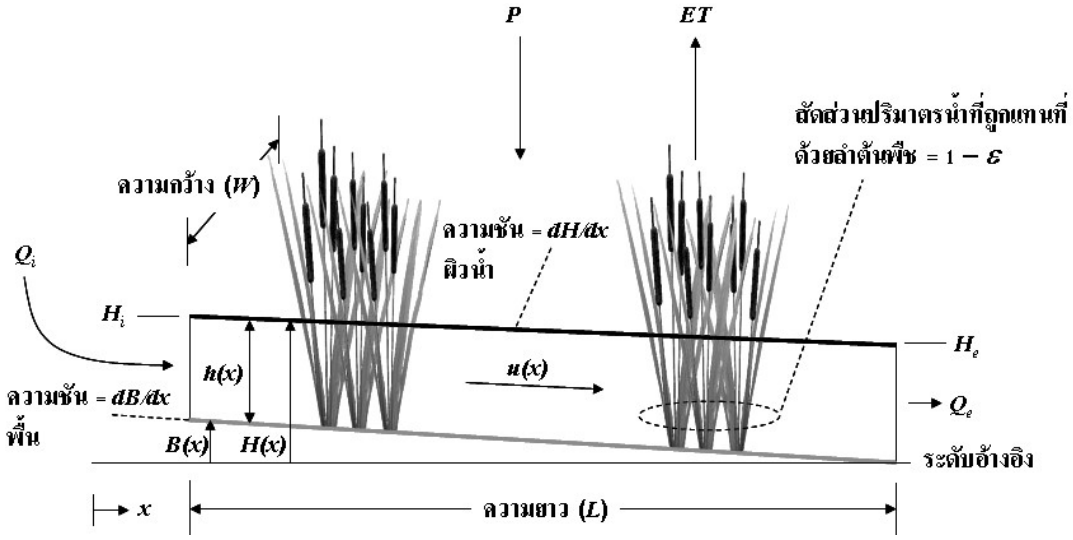
ในบึงประดิษฐ์ทั่วไป จะมีซากพืชเศษใบไม้ต่างๆ รวมทั้งลำต้นพืชจะกินปริมาตรเพียงเล็กน้อย คิดเป็น 2 – 10 เปอร์เซนต์ ดังนั้นค่า ε ในบึงประดิษฐ์ทั่วไปจึงมีค่าระหว่าง 0.90 – 0.98 โดยปกติ การไหลในบึงประดิษฐ์จะไม่เข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) แต่ถ้าคำนึงถึงค่าเฉลี่ยในระยะยาว อาจจะประยุกต์ใช้หลักสภาวะคงที่และสมการที่ (10-1) อธิบายได้เป็น

$$\frac{d(hu)}{dx} = \frac{d(Q/W)}{dx} = P - ET \qquad (10\text{-}2)$$

โดย Q = อัตราการไหลของน้ำ, ลบ. เมตรต่อวัน

W = ความกว้างของบึงประดิษฐ์, เมตร

สุเทพ สิริวัฒนภักดี



$B(x)$	=	ระดับพื้นของบึงประดิษฐ์ที่อยู่เหนือระดับอ้างอิงเปลี่ยนตามแนวแกน x, เมตร
h(x)	=	ความลึกของน้ำเปลี่ยนตามแนวแกน x, เมตร
H(x)	=	ระดับความสูงของผิวน้ำเทียบกับระดับอ้างอิงเปลี่ยนตามแนวแกน x, เมตร
H_i และ H_e	=	ระดับความสูงของผิวน้ำเข้าและออกเทียบกับระดับอ้างอิงตามลำดับ, ลบ. เมตร
L	=	ความยาวของบึงประดิษฐ์ในแนวน้ำไหล (แนวแกน x), เมตร
Q_i และ Q_e	=	อัตราการไหลของน้ำเข้าและออกตามลำดับ, ลบ. เมตรต่อวินาที
$u(x)$	=	ความเร็วน้ำในแนวแกน x, เมตรต่อวินาที
W	=	ความกว้างของบึงประดิษฐ์, เมตร
x	=	ระยะทางจากทางเข้าในแนวแกน x, เมตร
ε	=	สัดส่วนของปริมาตรน้ำต่อปริมาตรบึงประดิษฐ์, ลบ. เมตรต่อลบ. เมตร

รูปที่ 10-10 นิยามพารามิเตอร์ที่ใช้ในสมการสมดุลมวลสารและอธิบายแสดงการไหลในบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท□วมผิวชั้นกรอง (ดัดแปลงจาก Kadlec และ Knight, 1996)

เมื่อ *Integrate* สมการที่ (10-2) โดยสมมุติว่าบึงประดิษฐ์มีความกว้างคงที่ ในช่วง $Q_{x=0} = Q_i$ ถึง $Q_{x=L} = Q_e$ และ $x = 0$ ถึง $x = L$ ได้

$$\int_{Q_{x=0}=Q_i}^{Q_{x=L}=Q_e} dQ = W(P-ET)\int_{x=0}^{x=L} dx \qquad (10\text{-}3)$$

$$Q_e = Q_i + WL(P-ET) \qquad (10\text{-}4)$$

Q_e สามารถคำนวณได้จาก

$$Q_e = uWh \quad (10\text{-}5)$$

เมื่อแทนค่า Q_e จากสมการ (10-5) และ $u = \frac{1}{n}h^{2/3}S^{1/2}$ จากสมการการของ Manning (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมจากบทชลศาสตร์และอุทกศาสตร์) จะได้

$$\frac{1}{n}Wh^{5/3}S^{1/2} = Q_i + WL(P - ET) \quad (10\text{-}6)$$

โดย S = ความลาดเอียง, $-\frac{dH(x)}{dx}$ หรือ $-\frac{d(h+B)}{dx}$, เมตรต่อเมตร (รูปที่ 10-10)

n = ค่าคงที่ของ Manning (ตาราง 10-5)

ดังนั้นสมการ (10-6) เขียนได้เป็น

$$\frac{1}{n}Wh^{5/3}\left(-\frac{d(h+B)}{dx}\right)^{1/2} = Q_i + WL(P - ET) \quad (10\text{-}7)$$

ในกรณีที่ P และ ET ไม่มีนัยยะสำคัญ สมการที่ (10-7) เขียนได้เป็น

$$\frac{1}{n}Wh^{5/3}\left(-\frac{d(h+B)}{dx}\right)^{1/2} = Q_i \quad (10\text{-}8)$$

สำหรับการไหลในรางเปิดที่พื้นรางเรียบแบนและลาดเอียงเล็กน้อย การหาค่าความลึกปกติ (Normal Depth, h_n) กรณีที่ระดับน้ำไหลขนานไปกับพื้นราง ($\frac{d(h+B)}{dx} \equiv \frac{dB}{dx} \equiv S$) คำนวณได้จาก

$$\frac{1}{n}Wh_n^{5/3}S^{1/2} = Q \quad (10\text{-}9)$$

<u>ตัวอย่าง 10-1</u> บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท□วมผิวชั้นกรองมีขนาด 25 ม. × 200 ม. บึงประดิษฐ์มีความลาดเอียง 0.05 เปอร์เซ็นต์ ในบึงประดิษฐ์มีพืชอยู่หนาแน่นโดยมีค่าคงที่ของ Manning (n) เป็น 0.14 ในกรณีที่มีปริมาณน้ำไหล 250 ลบ.ม.ต่อวัน และสมมุติว่าฝนและการระเหยไม่มีนัยสำคัญ คำนวณความลึกปกติ ระยะเวลากักเก็บกรณีที่ไม่มีฝายกักน้ำ และประมาณระยะเวลากักเก็บที่สภาวะคงที่ถ้าฝายที่ด้านน้ำออกถูกตั้งไว้ที่ความสูง 20 เซนติเมตร

<u>วิธีทำ</u> อัตราการไหล 250 ลบ.ม. ต่อ วัน คิดเป็น 250 × 1/86,400 ลบ.ม. ต่อ วินาที

จากสมการ (10-9)

$$\frac{1}{n}Wh_n^{5/3}S^{1/2} = Q$$

สถาบันวิทยบริการ

$$\frac{1}{0.14} 25 \times h_n^{5/3} \times 0.0005^{1/2} = \frac{250}{86400}$$

h_n = **0.013 เมตร**

บึงประดิษฐ์มีค่าความลึกปกติเป็น 1.3 เซนติเมตร ดังนั้น ถ้ามีการปรับระดับเวียร์ที่ด้านน้ำออกให้สูงกว่าระดับที่ว่านี้ จะมีน้ำสะสมอยู่ในบึงประดิษฐ์และเพิ่มระยะเวลากักเก็บได้

ระยะเวลากักเก็บกรณีที่ไม่มีฝาย = (25 ม.×200 ม.× 0.013 ม.)/250 ลบ.ม.ต่อวัน

= 0.26 วัน

= **6.24 ชั่วโมง**

ระยะเวลากักเก็บที่สภาวะคงที่ เมื่อปรับระดับฝายที่ 20 ซม.,

= (25 ม.×200 ม.× 0.2 ม.)/250 ลบ.ม.ต่อวัน

= **4 วัน**

ตาราง 10 – 5 ค่าคงที่ของ Manning (*n*) สำหรับการไหลในรางเปิดที่ประยุกต์ใช้กับบึงประดิษฐ์

ชนิดและลักษณะของร่อง	ค่าคงที่ของ Manning (n)		
	ต่ำสุด	ค่าทั่วไป	สูงสุด
ร่องน้ำเป็นดิน			
แนวตรง รูปร่างสม่ำเสมอ มีหญ้าเตี้ยๆ มีวัชพืชอื่นแซมเล็กน้อย	0.022	0.027	0.033
ขรุขระ และคดเคี้ยว มีหญ้าเตี้ยๆ มีวัชพืชอื่นแซมเล็กน้อย	0.025	0.030	0.033
ขรุขระ และคดเคี้ยว มีพืชน้ำหนาแน่นในส่วนน้ำลึก	0.030	0.035	0.040
ร่องน้ำที่ไม่ค่อยได้รับการดูแล ไม่มีการตัดแต่งพืชอย่างสม่ำเสมอ			
พืชหนาแน่น น้ำไหลปกติ ระดับน้ำสูงประมาณต้นไม้	0.050	0.080	0.120
พืชหนาแน่น ช่วงน้ำไหลหลาก	0.080	0.100	0.140

ที่มา ดัดแปลงจาก Chow (1959)

การจะทราบการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของน้ำในบึงประดิษฐ์จะทำได้โดยการแก้สมการที่ (10-7) และ (10-8) ซึ่งอาจจะไม่สะดวก ดังนั้น ในการออกแบบอาจจะสะดวกกว่าถ้าสามารถใช้ความสัมพันธ์ระหว่างภาระ (M_L) กับอัตราส่วนระหว่างความลึกของน้ำเข้าและออกจากบึงประดิษฐ์ได้ดังแสดงในรูปที่ 10-11 โดย

$$S_1 = \frac{L}{h_e}\left(-\frac{dB}{dx}\right) = \frac{LS}{h_e} \quad (10\text{-}10)$$

และ

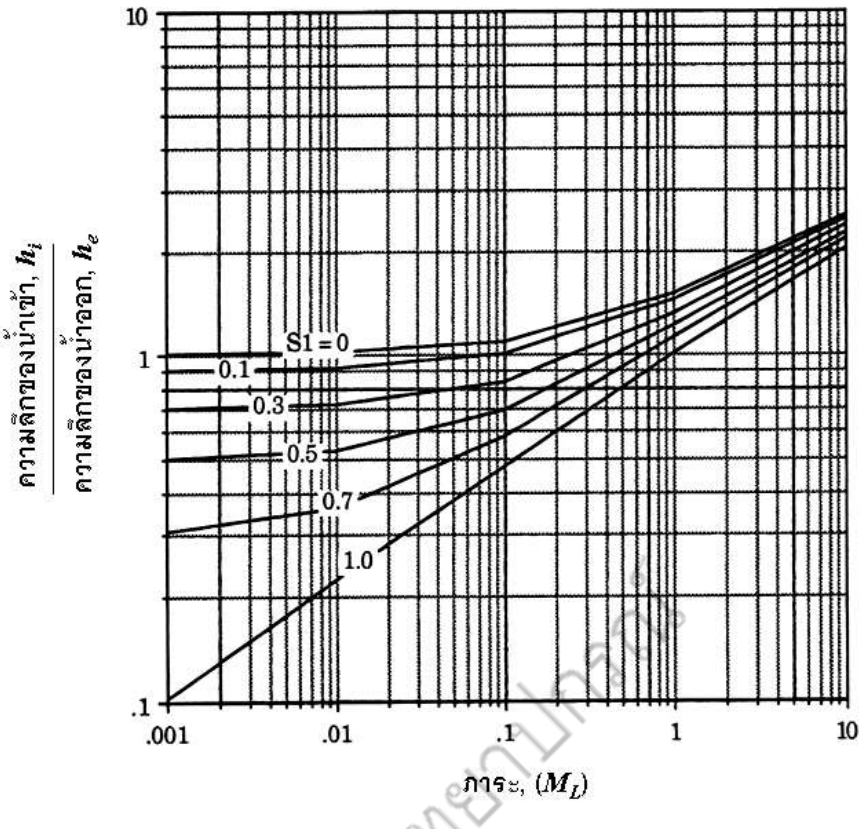
$$M_L = \frac{qL^2}{h_e^4 a} \quad (10\text{-}11)$$

โดย h_e = ระดับความลึกของน้ำออก, เมตร

q = ภาระชลศาสตร์, ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน

a = ค่าคงที่ (ใช้ค่า 1×10^7 ต่อเมตรต่อวัน สำหรับกรณีพืชหนาแน่น)

สุเทพ สังข์ยอดปกรณ์



รูปที่ 10-11 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระ (M_L) กับอัตราส่วนระหว่างความลึกของน้ำเข้าและออกจากบึงประดิษฐ์ (ดัดแปลงจาก Kadlec และ Knight, 1996)

ตัวอย่าง 10-2 บึงประดิษฐ์ถูกออกแบบให้บำบัดน้ำ 250 ลบ.ม.ต่อวัน โดยกำหนดให้มีภาระทางชลศาสตร์อยู่ที่ 0.05 ลบ.ม.ต่อ ตร.ม. ต่อ วัน จากการสำรวจพื้นที่พบว่าความยาวของบึงประดิษฐ์ที่เหมาะสมคือ 200 ม. โดยปรับพื้นให้มีความลาดเอียง 0.05 เปอร์เซ็นต์ กำหนดให้เวียร์ที่ด้านน้ำออกถูกตั้งไว้ที่ความสูง (h_e) 20 เซนติเมตร คำนวณค่า Head Loss ของบึงประดิษฐ์นี้ และวาดรูปแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของน้ำในบึงประดิษฐ์

วิธีทำ กำหนดความลาดเอียง S = 0.0005 จาก

$$S_1 = \frac{LS}{h_e} = \frac{200\times 0.0005}{0.2}$$

$$= 0.50$$

และ $$M_L = \frac{qL^2}{h_e^4 a} = \frac{0.05\times 200^2}{0.2^4\times 10^7}$$

$$= 0.125$$

เมื่อเทียบกับรูปที่ 10-11 จะได้ว่าอัตราส่วนระหว่างความลึกของน้ำเข้าและออกมีค่าประมาณ 0.95

ดังนั้นระดับน้ำเข้า h_i = 0.2× 0.95 = 0.19 ม. หรือ 19 ซม.

ความสูงของพื้นเทียบกับระดับอ้างอิง (B_i) = 0.0005×200 = 0.10 ม.

ความสูงของผิวน้ำเข้าเทียบกับระดับอ้างอิง (H_i) = 0.10+0.19

= 0.29 ม.

ดังนั้นค่า Head Loss (ΔH) = 0.29 – 0.20 = 0.09 ม.

= **9 ซม.**

รูปการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของน้ำในบึงประดิษฐ์แสดงได้ดังรูป



รูปประกอบตัวอย่างที่ 10-2

<u>หมายเหตุ</u> การไหลในลักษณะที่ความลึกของน้ำเพิ่มตามระยะทางเรียกว่า Distance Thickening Flow และเส้นแสดงระดับน้ำในรูปประกอบตัวอย่างที่ 10-2 ไม่เป็นเส้นตรงเพราะได้มาจากการประมาณคำตอบของสมการ (10-8)

10.3.2 การคำนวณทางชลศาสตร์สำหรับบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรอง

บึงประดิษฐ์แบบนี้ใช้หลักการบำบัดคล้ายกับระบบบำบัดชีวภาพแบบมีตัวกลางให้จุลชีพเติบโต การใช้งานอาจจะมีปัญหาเกิดได้จากการออกแบบที่ไม่เหมาะสม รวมทั้งจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของตัวกลาง ทำให้เกิดการอุดตันซึ่งเป็นผลมาจากตะกอนต่างๆ หรือการออกแบบทางชลศาสตร์ที่ไม่ถูกต้อง และทำให้เกิดน้ำล้นท่วมชั้นตัวกลาง ทำให้ประสิทธิภาพลดลง การคำนวณทางชลศาสตร์ในส่วนนี้จะใช้หลักอนุรักษ์มวลสาร ในหนึ่งมิติ สำหรับการไหลในตัวกลางรูพรุน ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสมการ (10-1) และอธิบายได้ดังรูปที่ 10-12 ดังนี้

$$\frac{\partial(H\varepsilon)}{\partial t} = -\frac{\partial(Hu_x)}{\partial x} + P - ET \qquad (10\text{-}12)$$

โดย H = ความสูงของผิวน้ำ, เมตร

ε = ความพรุน (ปริมาตรน้ำ/ปริมาตรน้ำและตัวกลาง), ลบ. เมตรต่อลบ. เมตร

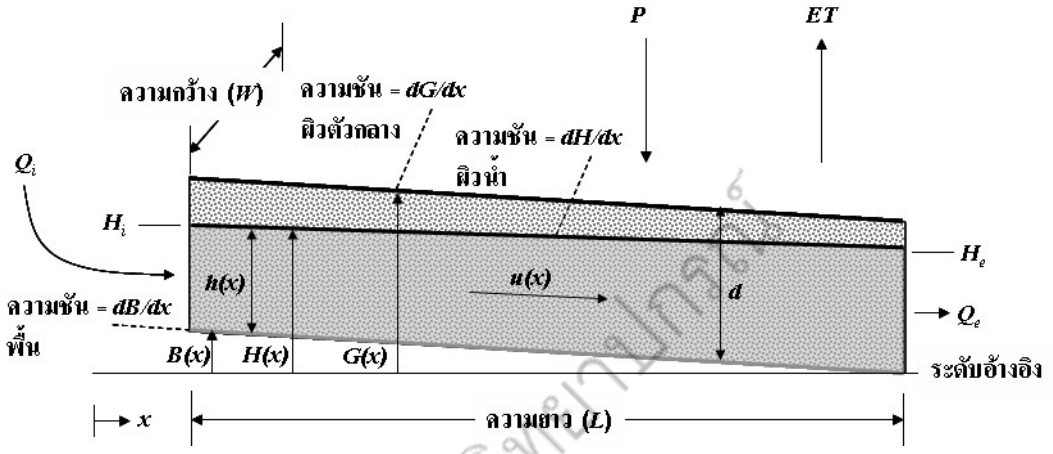
สำหรับความเร็วของน้ำในตัวกลางที่มีรูพรุนอธิบายได้ด้วยกฎของ Darcy (Bear, 1979) สำหรับการไหลในทิศทางเดียวได้ดังนี้

$$u_x = -K_x \frac{\partial H}{\partial x} \quad (10\text{-}13)$$

แทนค่าสมการ (10-13) ใน (10-12) ได้เป็น

$$\frac{\partial (H\varepsilon)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x H \frac{\partial H}{\partial x} \right) + P - ET \quad (10\text{-}14)$$

โดย K_x = ความนำน้ำ (Hydraulic Conductivity) ในแนวแกน x, เมตรต่อวัน



$B(x)$ = ระดับพื้นของบึงประดิษฐ์ที่อยู่เหนือระดับอ้างอิงเปลี่ยนตามแนวแกน x, เมตร

d = ความหนาของชั้นตัวกลาง, เมตร

$G(x)$ = ระดับความสูงของผิวน้ำที่อยู่เหนือระดับอ้างอิงเปลี่ยนตามแนวแกน x, เมตร

= $B(x) + d$

h(x) = ความลึกของน้ำเปลี่ยนตามแนวแกน x, เมตร

H(x) = ระดับความสูงของผิวน้ำเทียบกับระดับอ้างอิงเปลี่ยนตามแนวแกน x, เมตร

H_i และ H_e = ระดับความสูงของผิวน้ำเข้าและออกเทียบกับระดับอ้างอิงตามลำดับ, ลบ. เมตร

L = ความยาวของบึงประดิษฐ์ในแนวน้ำไหล (แนวแกน x), เมตร

Q_i และ Q_e = อัตราการไหลของน้ำเข้าและออกตามลำดับ, ลบ. เมตรต่อวินาที

$u(x)$ = ความเร็วน้ำในแนวแกน x, เมตรต่อวินาที

W = ความกว้างของบึงประดิษฐ์, เมตร

x = ระยะทางจากทางเข้าในแนวแกน x, เมตร

ε = ความพรุน (ปริมาตรน้ำ/ปริมาตรน้ำและตัวกลาง), ลบ. เมตรต่อลบ. เมตร

รูปที่ 10-12 นิยามพารามิเตอร์ที่ใช้ในสมการสมดุลมวลสารและอธิบายแสดงการไหลในบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรอง (ดัดแปลงจาก Kadlec และ Knight, 1996)

สุเทพ สรีวัฒนากร

โดยสมการที่ (10-14) เป็นสมการทั่วไปที่ใช้อธิบายการไหลของน้ำใต้ดินสำหรับชั้นน้ำใต้ดินแบบ Unconfined Aquifer ที่มีระดับผิวน้ำอิสระที่เรียกว่า The Dupuit-Forchheimer Equation โดยมีสมมติฐานหลัก ได้แก่ ความลาดชันของผิวน้ำมีค่าต่ำ (ต่ำกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์) (Bear, 1979) ซึ่งมักจะสอดคล้องกับการไหลในตัวกลางรูพรุน การไหลเป็นแบบลามินาร์ (Laminar Flow) ตัวกลางมีขนาดใกล้เคียงกัน และมีค่าความนำน้ำเท่ากันตลอดในแนวทางการไหล เป็นต้น ซึ่งสมมติฐานหลายข้ออาจจะไม่เป็นจริงในบึงประดิษฐ์ เช่น ความนำน้ำอาจจะเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากการมีรากพืชแทรก และความนำน้ำอาจจะเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลาจากรากพืชและจุลชีพที่เติบโตบนตัวกลาง อย่างไรก็ตาม ในเบื้องต้น จะแสดงการคำนวณบนสมมติฐานของสภาพคงตัวก่อน สมการที่ (10-13) เป็นสมการที่ใช้อธิบายการไหลในช่วงการไหลแบบลามินาร์ ซึ่งอาจจะเขียนในรูปแบบทั่วไปเพื่อคลอบคลุมช่วงการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ได้ดังนี้ (Kadlec และ Knight, 1996)

$$-\frac{dH}{dx} = \frac{1}{K_x}u_x + \omega u_x^2 \qquad (10\text{-}15)$$

โดย ω = ค่า Turbulent Factor, วัน^2/เมตร^2

ซึ่งสมการ (10-15) อาจเขียนได้เป็นรูปแบบคล้ายกับสมการ (10-13) ได้เป็น

$$u_x = -K_e\frac{dH}{dx} \qquad (10\text{-}16)$$

โดย K_e = Effective Hydraulic Conductivity, เมตรต่อวัน

เมื่อเปรียบเทียบสมการ (10-15) และสมการ (10-16) จะได้

$$\frac{1}{K_e} = \frac{1}{K_x} + \omega u_x \qquad (10\text{-}17)$$

เห็นได้ว่าค่า Effective Hydraulic Conductivity ขึ้นกับความเร็วของการไหล สำหรับในกรณีการไหลในชั้นตัวกลางนี้ ค่า ωu_x^2 จะละได้เมื่อค่า Reynolds number (N_R) ต่ำกว่า 1.0 และอาจจะไม่นำมาคิดได้โดยมีความผิดพลาดเล็กน้อยเมื่อค่า N_R อยู่ในช่วงน้อยกว่า 10 โดย N_R คำนวณจาก

$$N_R = \frac{D\rho u_x}{(1-\varepsilon)\mu} \qquad (10\text{-}18)$$

โดย D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกลาง, เมตร
ρ = ความหนาแน่นของน้ำ, กิโลกรัม/ลบ.เมตร
μ = ความหนืดของน้ำของน้ำ, กิโลกรัม/เมตร/วัน

โดยทั่วไป การไหลในชั้นดินและทรายมักจะเป็นแบบลามินาร์ ส่วนการไหลในชั้นกรวดมักจะอยู่ในช่วงการไหลที่เริ่มเปลี่ยนเป็นแบบการไหลปั่นป่วน

สุเทพ สรรพเกษตรกรณ์

ค่าความนำน้ำ Effective Hydraulic Conductivity และ Turbulent Factor ขึ้นกับปัจจัยหลายประการที่ได้กล่าวมาแล้วรวมทั้ง ขนาดของตัวกลาง การกระจายตัวของขนาดของตัวกลาง รูปร่างของตัวกลาง ความพรุน และการเรียงตัวของตัวกลางในชั้นกรอง สำหรับตัวกลางที่มีรูปร่างเป็นทรงกลม มีการเรียงตัวแบบสุ่ม และมีขนาดคงที่ การไหลอาจจะอธิบายได้ด้วยสมการต่อไปนี้ (Ergun, 1952 อ้างโดย Kadlec และ Knight, 1996)

$$-\frac{dH}{dx} = \frac{150(1-\varepsilon)^2\mu}{\rho g\varepsilon^3 D^2}u_x + \frac{1.75(1-\varepsilon)}{g\varepsilon^3 D}u_x^2 \qquad (10\text{-}19)$$

โดย g = ความเร่งเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วง, เมตร/วัน^2

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสมการ (10-15) จะได้

$$\frac{1}{K_x} = \frac{150(1-\varepsilon)^2\mu}{\rho g\varepsilon^3 D^2} \qquad (10\text{-}20)$$

$$\omega = \frac{1.75(1-\varepsilon)}{g\varepsilon^3 D} \qquad (10\text{-}21)$$

สำหรับกรณีที่ตัวกลางมีรูปร่างต่างจากทรงกลมมาก อาจใช้ความสัมพันธ์ต่อไปนี้ (Idelchik, 1986 อ้างโดย Kadlec และ Knight, 1996)

$$\frac{1}{K'_x} = \frac{127.5(1-\varepsilon)^2\mu}{\rho g\varepsilon^{3.7} D^2} \qquad (10\text{-}22)$$

โดย K'_x = ความนำน้ำในตัวกลางที่มีรูปร่างไม่เป็นทรงกลมที่มีขนาดใกล้เคียงกัน, เมตร/วัน^2

ตัวกลางโดยทั่วไปจะไม่มีขนาดเดียวแต่จะมีขนาดคละกันไป ผลของการการที่มีการกระจายตัวของขนาดหลากหลายคละกันทำให้ค่าความนำน้ำลดลง การเรียงตัวของตัวกลางจะมีผลต่อความพรุนและค่าความนำน้ำเช่นกัน ถ้าค่าความพรุนมากขึ้น ค่าความนำน้ำจะเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับตัวกลางสะอาดที่เป็นกรวดหรือหินหยาบ มีความพรุนประมาณ 0.35 และค่าความแปรปรวน (Variance) ของขนาดตัวกลางประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์สามารถอธิบายได้ด้วยสมการต่อไปนี้ (Kadlec และ Knight, 1996)

$$\frac{1}{K_e} = \frac{255(1-\varepsilon)\mu}{\rho g\varepsilon^{3.7} D^2} + \frac{2(1-\varepsilon)u_x}{\rho g\varepsilon^3 D} \qquad (10\text{-}23)$$

จากความไม่แน่นอนต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความนำน้ำที่กล่าวมา กล่าวได้ว่าความสัมพันธ์ที่ได้แสดงมาเหมาะกับการคำนวณเบื้องต้นเท่านั้น และอาจจะไม่เหมาะสมสำหรับใช้เพื่อการออกแบบในรายละเอียดในขั้นสุดท้าย ดังนั้นควรวัดค่าความนำน้ำของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำชั้นกรองก่อน

สุเทพ สริวทยาปกรณ์

การวัดค่าความนำน้ำอาจจะทำตามวิธีมาตรฐานทั่วไป เช่น ASTM D 5084[2] หรือใช้วิธีการประยุกต์ที่จะกล่าวถึงในที่นี้ซึ่งจะใช้กับตัวกลางที่มีขนาดใหญ่กว่าดินหรือทรายและมักใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ ตัวกลางจะถูกบรรจุในรางน้ำที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่พอ ส่วนที่เล็กที่สุดของพื้นที่หน้าตัดต้องมีขนาดประมาณ 10 เท่าของขนาดตัวกลางเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนที่เป็นผลจากน้ำที่ไหลตามผนัง (Edge Effect) และรางน้ำควรจะมีความยาวมากกว่า 10 เท่าของส่วนที่กว้างที่สุดของพื้นที่หน้าตัดเพื่อลดผลจากทางน้ำเข้าและน้ำออก (Entrance and Exit Effects) การวัดปริมาณการไหลอาจจะทำได้โดยการใช้นาฬิกาจับเวลาร่วมกับการวัดปริมาตรน้ำที่ไหลออก ค่า Head Loss วัดโดยการติดตั้ง Differential Manometer หรือ เครื่องวัดความดันอื่นๆ ระหว่างจุดสองจุดตามความยาวของรางน้ำ โดยปกติการวัดค่า Head Loss ในช่วงการไหลแบบลามินาร์จะน้อยมาก การวัดในลักษณะนี้จึงเหมาะกับการไหลในช่วงปั่นป่วน ดังแสดงในสมการ (10-15) ซึ่งเมื่อจัดรูปใหม่ให้เหมาะกับการทดลองที่อธิบายจะได้

$$\frac{1}{u_x}\left(-\frac{\Delta H}{\Delta L'}\right) = \frac{1}{K_x} + \omega u_x \qquad (10\text{-}24)$$

โดย ΔH = ความแตกต่างของ Head ระหว่างจุดสองจุดที่วัด Head Loss, เมตร

$\Delta L'$ = ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดที่วัด Head Loss, เมตร

ด้านซ้ายของสมการที่ (10-24) สามารถวัดได้จากการทดลอง เมื่อนำค่าด้านซ้ายมือที่การทดลองที่ความเร็วต่างๆ ทั้งหมด (แกน Y) มาวาดกราฟกับค่าความเร็วที่สัมพันธ์กัน (แกน X) และใช้การวิเคราะห์แบบ Linear Regression จะได้สมการเส้นตรงสำหรับประมาณความสัมพันธ์ที่มีค่าความชันเป็น ω และส่วนกลับของจุดตัดแกน Y เป็น K_x ตาราง 10-6 และ 10-7 แสดงค่าความนำน้ำในหน่วย SI ต่างๆ และค่าความนำน้ำของวัสดุบางชนิดตามลำดับ

ตาราง 10 – 6 ค่าความนำน้ำในหน่วย SI และคำอธิบายแสดงความเร็วในการไหล

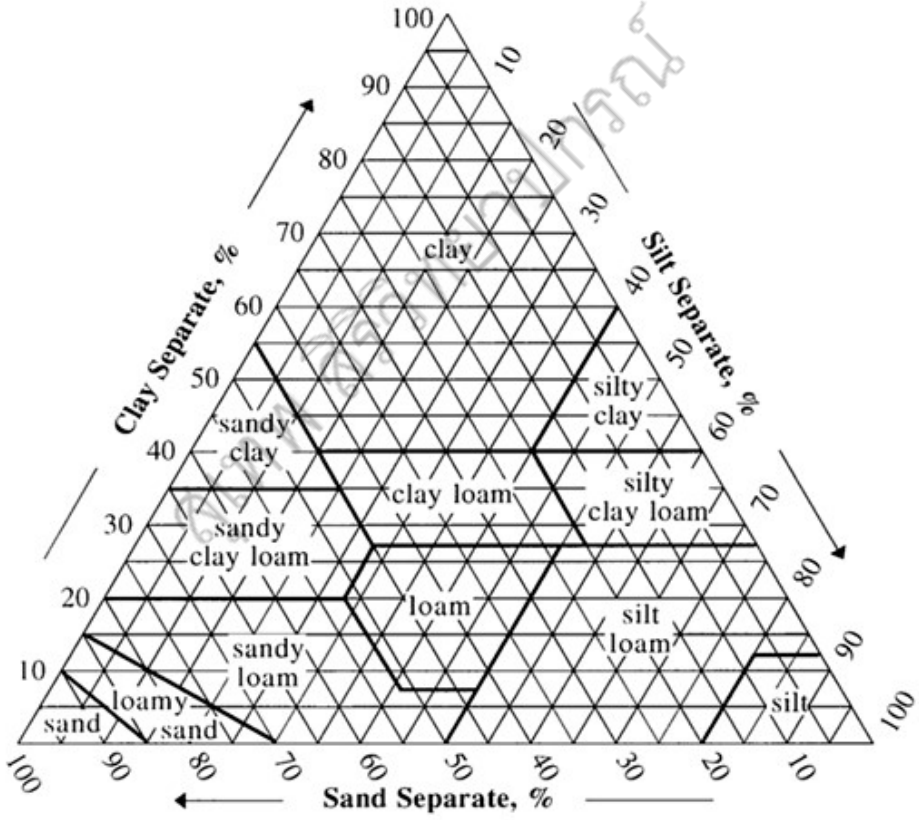
คำอธิบายความเร็วของการไหล	เมตรต่อวัน (m/d)	เมตรต่อวินาที (m/s)	มิลลิเมตรต่อวัน (mm/d)	มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (mm/hr)
แทบจะไม่เคลื่อนที่	0.000001	1.5741×10^{-11}	0.001	0.000041667
ช้ามาก	0.0001	1.5741×10^{-9}	0.1	0.0041667
ช้า	0.01	1.5741×10^{-7}	10	0.41667
ปานกลาง	1	1.5741×10^{-5}	1000	41.667
เร็ว	10	1.5741×10^{-4}	10000	416.667
เร็วมาก	100	1.5741×10^{-3}	100000	4166.667

[2] ASTM D 5084 Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter

ตาราง 10 – 7 ค่าความนำน้ำของวัสดุตัวกลางบางชนิด

ชนิดของตัวกลาง	ขนาด (มิลลิเมตร)	ความนำน้ำ (เมตรต่อวัน)
Clay	0.0005 – 0.002	$10^{-8} – 10^{-2}$
Silt	0.002 – 0.06	$10^{-2} – 1$
Fine Sand	0.06 – 0.25	1 – 5
Medium Sand	0.25 – 0.50	5 – 20
Coarse Sand	0.50 – 2.00	20 – 100
Gravel	2.0 – 64	100 – 1000

ที่มา ดัดแปลงจาก Brassington (1988)



รูปที่ 10-13 การจำแนกประเภทของดินตามปริมาณองค์ประกอบของ Sand Silt และ Clay (ดัดแปลงจาก Eswaran และคณะ (2002)).

ในกรณีที่เป็นดินธรรมชาติ ค่าขนาดของตัวกลางในตาราง 10-7 สามารถนำมาใช้ในการระบุชนิดของดินตามรูปที่ 10-13 ได้โดยจำแนกตามเนื้อดิน (Texture) ขนาดของวัสดุตัวกลางที่มีอยู่ในองค์ประกอบ เมื่อได้ชนิดของดินแล้ว สามารถประมาณค่าความนำน้ำได้ตามตาราง 10 -8

ตาราง 10 – 8 ค่าความนำน้ำของดินชนิดต่างๆ จำแนกตามขนาดของวัสดุตัวกลาง

ชนิดของดิน	ความนำน้ำ (เมตรต่อวัน)
Loamy Sand	2.4 – 6.0
Sandy Loam, Loam	1.2 – 2.4
Loamy clay	0.5 – 2.0
Silty Clay Loam	0.6 – 1.2
Clay Loam/Clay	0.02 – 0.2

ที่มา ดัดแปลงจาก Smedema และคณะ (1988)

การเปลี่ยนแปลงค่าความนำน้ำในชั้นกรองเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะกับชั้นกรองที่สร้างจากวัสดุที่มีความพรุนสูง จะมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างชัดเจนจากรากพืช อินทรีย์สาร และจุลชีพ ซึ่งอาจจะลดลงจากเดิมได้กว่า 10 เท่า สำหรับชั้นกรองที่สร้างจากดินจะมีการลดลงของค่าความนำน้ำน้อยกว่ามาก ทั้งนี้เนื่องจากค่าความนำน้ำมีค่าต่ำมาตั้งแต่แรก และอาจมีค่าใกล้เคียงกับค่าความนำน้ำของสารอินทรีย์ที่สะสมในดินที่เกิดจากกิจกรรมการบำบัด

การคำนวณอัตราการไหลและระดับน้ำในบึงประดิษฐ์แบบนี้ อาจจะใช้ชุดสมการที่ได้กล่าวไว้แล้วคือ สมการ (10-12) โดยใช้สมมติฐานที่สภาวะคงที่ และสมการ (10-15) โดยคำนึงถึงอัตราการไหลในทิศทางเดียวดังต่อไปนี้

$$\frac{d[u(H-B)]}{dx} = P - ET \qquad (10\text{-}25)$$

$$-\frac{dH}{dx} = \frac{1}{K}u + \omega u^2 \qquad (10\text{-}26)$$

อัตราการไหลและความลึกของน้ำคำนวณได้จาก

$$Q = uWh \qquad (10\text{-}27)$$

$$h = H - B \qquad (10\text{-}28)$$

โดยมีเงื่อนไขว่าระดับน้ำต้องไม่ท่วมสูงกว่าความสูงของชั้นตัวกลาง หรือ $0 < h < d$ (รูปที่ 10-12) การแก้ชุดสมการที่กล่าวมามีความยุ่งยากและซับซ้อน อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ $P - ET$ มีความสำคัญน้อย สำหรับบึงประดิษฐ์บึงประดิษฐ์รูปร่างสี่เหลี่ยมที่มีความลึกของชั้นกรองคงที่ ความลึกของน้ำ (h) คงที่ และค่าความนำน้ำไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะทางและตามอัตราการไหล รวมทั้งการไหลยังไม่เข้าสู่ช่วงการไหลแบบ

ปั่นป่วน (N_R < 10) สามารถใช้ค่า G_1 และ G_3 ที่เป็นข้อจำกัดทางการระบายน้ำและด้านภาระชลศาสตร์ตามลำดับ เพื่อตรวจสอบลักษณะการไหลได้

$$G_1 = \frac{L}{h_e}\left(\frac{dB}{dx}\right) \qquad (10\text{-}29)$$

$$G_1 = \frac{L}{h_e}(S) < 0.1 \qquad (10\text{-}30)$$

และ

$$G_3 = \frac{qL^2}{Kh_e^2} < 0.1 \qquad (10\text{-}31)$$

โดย q = ภาระชลศาสตร์, ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน

S = ความลาดเอียงของพื้น, เมตรต่อเมตร

โดยถ้า $G_1 = G_3$ จะเป็นการไหลที่ระดับน้ำขนานไปกับพื้นของชั้นกรอง

$G_1 < G_3$ จะเป็นการไหลที่ระดับน้ำจะสูงขึ้นเมื่อไหลผ่านชั้นกรอง (Distance Thickening)

$G_1 > G_3$ จะเป็นการไหลที่ระดับน้ำจะลดลงเมื่อไหลผ่านชั้นกรอง (Distance Thinning)

Kadlec และ Knight (1996) กำหนดค่า G_1 ให้มีค่าน้อยกว่า 0.1 เพื่อให้ด้านน้ำเข้าไม่มีความแตกต่างระหว่างระดับความสูงของน้ำและระดับความสูงของชั้นกรองหรือเกิดช่องว่างด้านบน (ระดับ ในรูป $G(x) - H(x)$ ในรูป 10-12) มากเกินไป ซึ่งอาจจะทำให้ชั้นกรองแห้งได้หรือทำให้พืชที่มีรากหยั่งลงไปไม่ถึงพื้นล่างชั้นกรองขาดน้ำได้ ในลักษณะเดียวกัน ค่า G_3 ถูกกำหนดให้มีค่าน้อยกว่า 0.1 เพื่อให้แน่ในว่าระดับน้ำด้านออกจะไม่สูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของความลึกของชั้นกรองเพื่อป้องกันการเกิดน้ำท่วมชั้นกรอง

ตัวอย่าง 10-3 บึงประดิษฐ์น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรองในแนวนอนถูกออกแบบให้รับอัตราการไหล 200 ลบ.ม.ต่อวัน เพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของพืชที่ใช้ ชั้นกรองถูกกำหนดให้มีความลึก 50 เซนติเมตร กำหนดสัดส่วนของความยาวต่อความกว้าง (L:W) ไว้ที่ 10 ระยะเวลากักเก็บมีค่า 5 วัน วัสดุที่ใช้เป็นกรวดหยาบมีค่าความพรุน 0.4 มีขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร และมีค่าความนำน้ำประมาณ 10^4 เมตรต่อวัน คำนวณขนาดของบึงประดิษฐ์และการสูญเสียพลังงานในการไหล (Head Loss) และกำหนดความชันของพื้นชั้นกรอง ถ้าพบว่าหลังจากดำเนินระบบ ค่าความนำน้ำของชั้นกรองลดลงครึ่งหนึ่ง คำนวณการสูญเสียพลังงาน และระบุว่าน้ำมีโอกาสท่วมหรือไม่

วิธีทำ กำหนดให้น้ำไหลใต้ชั้นกรองตลอดที่ระดับ 90 เปอร์เซนต์ของความลึกของชั้นกรอง

ระยะเวลากักเก็บ, $\theta_H = \frac{\forall}{Q} = \frac{L \times W \times (0.9)d \times \varepsilon}{Q}$

$5 = \frac{10W \times W \times (0.9)0.5 \times 0.4}{200}$

W = 23.6 .ม.

L = 236 ม.

ประมาณค่าความเร็วของน้ำจาก

$u = \frac{Q}{Wh}$

$$= \frac{200}{23.6\times(0.9)0.5} = 18.8 \text{ เมตรต่อวัน}$$

จากสมการ (10-13)

$$\frac{dH}{dL} = \frac{-u}{K}$$

$$= \frac{18.8}{10{,}000} = -0.00188$$

ดังนั้น การสูญเสียพลังงาน = -0.00188 × 236

= 0.44 เมตร

สำหรับกรณีนี้ ถ้าพยายามที่จะให้ระดับน้ำขนานไปกับระดับพื้นของชั้นกรอง ระดับความลาดเอียงของชั้นกรองควรจะมีค่าเป็น 0.188 เปอร์เซ็นต์

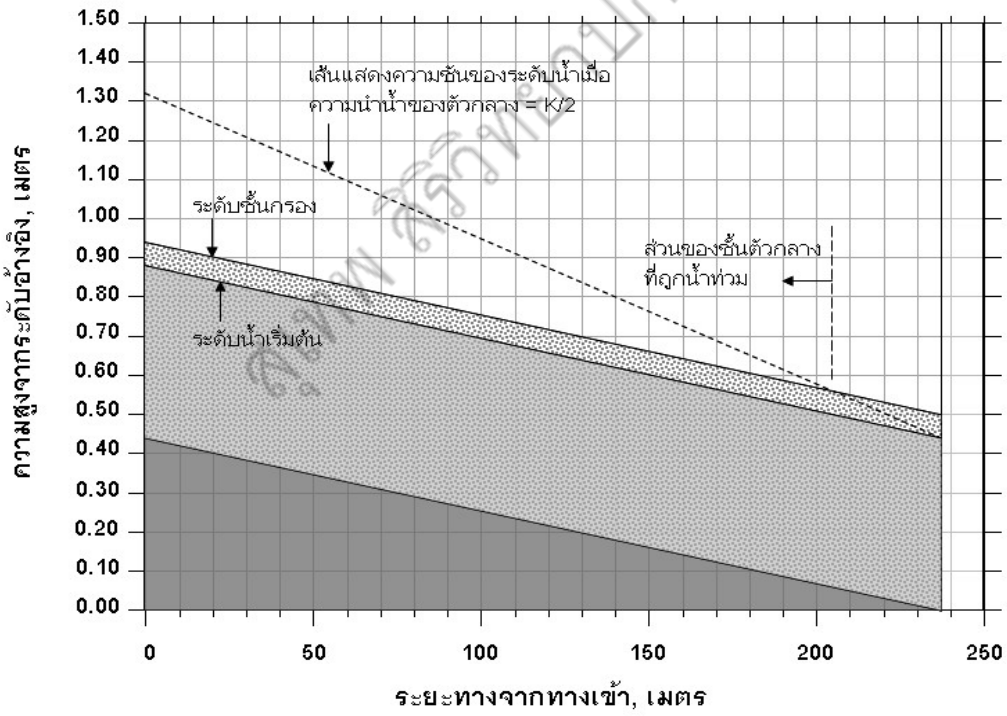
ในกรณีที่ความนำน้ำลดลง 10 เท่า

$$\frac{dH}{dL} = \frac{-u}{K}$$

$$= \frac{18.8}{5{,}000} = -0.0038$$

ดังนั้น การสูญเสียพลังงาน = -0.0038 × 236

= 0.89 เมตร



รูปประกอบตัวอย่างที่ 10-3

จากรูปแสดงว่าเมื่อค่าความนำน้ำของตัวกลางลดลงครึ่งหนึ่ง น้ำจะท่วมพื้นที่ส่วนมากของชั้นกรอง

ตัวอย่าง 10-4 บึงประดิษฐ์น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรองในแนวนอนถูกออกแบบให้รับภาระชลศาสตร์ 0.05 เมตรต่อวัน ชั้นกรองเป็นกรวดหยาบขนาดประมาณ 2.0 เซนติเมตร ที่มีความนำน้ำ 50,000 เมตรต่อวัน ออกแบบให้ชั้นกรองมี

ความลึก 0.6 เมตร ไม่มีความชัน ความสูงของระดับน้ำในชั้นกรองด้านน้ำออกเป็น 0.5 เมตร และชั้นกรองมีความยาว 350 เมตร บึงประดิษฐ์นี้ออกแบบเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่

<u>วิธีทำ</u> เนื่องจากพื้นไม่มีความชัน (S = 0) ดังนั้น G_1 = 0 < 0.1 เป็นตามเกณฑ์ที่กำหนด

คำนวณค่า G_3

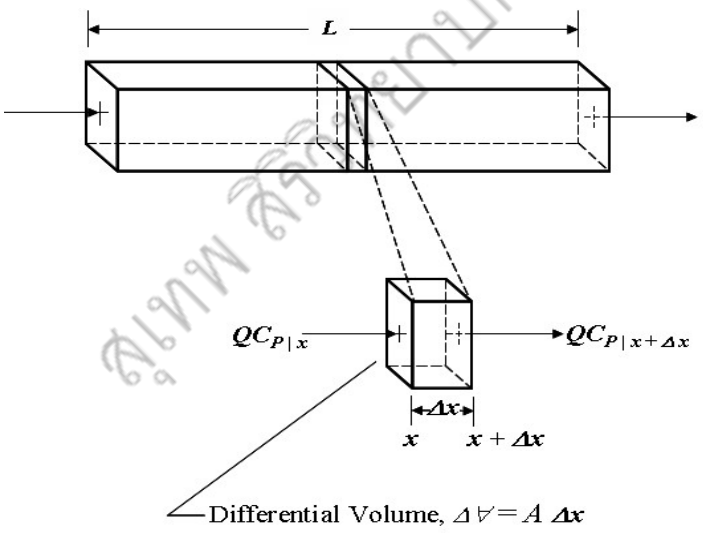
$$G_3 = \frac{qL^2}{Kh_e^2} = \frac{0.05\times 350^2}{50000\times 0.5^2}$$

$$= 0.49$$

$G_3 >$ 0.1 ดังนั้น คาดว่าน้ำจะท่วมบึงประดิษฐ์ ซึ่งอาจจะแก้ไขโดยการลดภาระชลศาสตร์โดยการเพิ่มขนาดของบึงประดิษฐ์

10.3.3 การคำนวณประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์

ประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์คำนวณได้โดยประยุกต์ใช้หลักสมดุลมวลสารในถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน รูปที่ 10–14 และ สมการที่ (10-32) แสดงสมดุลมวลสารในส่วน Differential Volume ($\Delta\forall$) ใดๆ ในถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลสาร (C_P) ในบึงประดิษฐ์



รูปที่ 10-14 สมดุลมวลสารในถังปฏิกิริยาแบบไหลตามกัน

$$\frac{\partial C_P}{\partial t}\Delta\forall = QC_P\big|_x - QC_P\big|_{x+\Delta x} + r_P\Delta\forall \qquad (10\text{-}32)$$

โดย C_P = ความเข้มข้นของมลสาร, กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$\Delta\forall$ = Differential Volume, ลูกบาศก์เมตร

Q = อัตราการไหล, ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

r_P = อัตราการเกิดปฏิกิริยาของมลสาร, กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

สุเทพ สิรกิตติกุล

จากรูปที่ 10–14

$$QC_P\big|_{x+\Delta x} = Q\left(C_P + \frac{\Delta C_P}{\Delta x}\Delta x\right) \quad (10\text{-}33)$$

แทนค่า (10-33) ใน (10-32) ได้เป็น

$$\frac{\partial C_P}{\partial t}\Delta\forall = QC_P - Q\left(C_P + \frac{\Delta C_P}{\Delta x}\Delta x\right) + r_P\Delta\forall \quad (10\text{-}34)$$

$$\frac{\partial C_P}{\partial t}\Delta\forall = -Q\frac{\Delta C_P}{\Delta x}\Delta x + r_P\Delta\forall \quad (10\text{-}35)$$

แทนค่า $\Delta\forall$ ด้วย $A\Delta x$ (ดูรูปที่ 10-14 ประกอบ) ได้

$$\frac{\partial C_P}{\partial t}A\Delta x = -Q\frac{\Delta C_P}{\Delta x}\Delta x + r_P A\Delta x \quad (10\text{-}36)$$

โดย A = พื้นที่หน้าตัด, ตารางเมตร

หาร (10-36) ตลอดด้วย A และ Δx และกำหนดให้ *limit* $\Delta x \rightarrow 0$ ได้เป็น

$$\frac{\partial C_P}{\partial t} = -\frac{Q}{A}\frac{\partial C_P}{\partial x} + r_P \quad (10\text{-}37)$$

ใช้สมมุติฐานที่สภาวะคงตัว (Steady State, $\frac{\partial C_P}{\partial t}$=0) และนิยามอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็น

$$r_P = -k_n C_P^n \quad (10\text{-}38)$$

โดย k_n = ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่ n, หน่วยขึ้นกับอันดับของปฏิกิริยา

n = อันดับของปฏิกิริยา

แทน (10-38) ใน (10-37) จากนั้น *Integrate* ในช่วง $C_P = C_{P,i}$ ถึง $C_P = C_{P,e}$ และ $x = 0$ ถึง $x = L$ ได้

$$\int_{C_{P,i}}^{C_{P,e}} \frac{dC_P}{k_n C_P^n} = -\frac{A}{Q}\int_0^L dx \quad (10\text{-}39)$$

$$\int_{C_{P,i}}^{C_{P,e}} \frac{dC_P}{k_n C_P^n} = -\frac{AL}{Q} = -\theta_H \quad (10\text{-}40)$$

โดย $C_{P,i}$ และ $C_{P,e}$ = ความเข้มข้นของมลสารที่เข้าสู่และออกจากระบบ ตามลำดับ, กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

สุเทพ สิริวัฒนาภรณ์

L = ระยะทางที่น้ำไหลผ่านส่วนบำบัดของระบบ, เมตร

θ_H = ระยะเวลากักเก็บของระบบ, เมตร

สำหรับอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (n = 0) เมื่อ *Integrate* สมการที่ (10-40) ได้

$$C_{P,e} = C_{P,i} - k_0\theta_H \quad (10\text{-}41)$$

สำหรับอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (n = 1) เมื่อ *Integrate* สมการที่ (10-40) ได้

$$C_{P,e} = C_{P,i}\exp(-k_1\theta_H) \quad (10\text{-}42)$$

โดย k_0 = ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์, กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

k_1 = ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง, ต่อวินาที

อัตราการปฏิกิริยาในการบำบัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารโดยกระบวนการทางชีวภาพสามารถอธิบายได้ด้วย Monod Equation ซึ่งเป็นอัตราการเกิดปฏิกิริยาแบบผสมของปฏิกิริยาอันดับศูนย์และอันดับที่หนึ่ง ดังที่อธิบายไว้ในเรื่องจุลชีววิทยาพื้นฐานของน้ำและน้ำเสีย ส่วนใหญ่การเกิดปฏิกิริยาในบึงประดิษฐ์สามารถอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง แต่ในบางกรณีที่ความเข้มข้นของมลสารที่เข้าสู่ระบบมีค่าสูง อัตราการเกิดปฏิกิริยาอาจอธิบายด้วยปฏิกิริยาอันดับศูนย์ได้เหมาะสมกว่าหรือก็คืออัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นค่าสูงสุดคงที่ (Mitchell และ McNevin, 2001) เนื่องจากบึงประดิษฐ์เป็นระบบธรรมชาติและไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ ของการดำเนินระบบ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงแปรผันได้มากระหว่างฤดูกาล ทั้งนี้ยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น ชนิดของพืชชนิดตัวกลาง คุณภาพและปริมาณน้ำที่เข้าสู่ระบบ เป็นต้น ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่พบจึงมักเป็นค่าเฉลี่ยหรือมีค่าอยู่ในช่วงกว้างๆ ตาราง 10 – 9 แสดงตัวอย่างช่วงค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งที่มีการรายงานไว้

ตัวอย่าง 10-5 ใช้ข้อมูลในตาราง 10–7 ประมาณประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองที่แสดงในตัวอย่าง 10 – 1 และ บึงประดิษฐ์น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรองในแนวนอน**ที่แสดงในตัวอย่าง** 10-3

วิธีทำ จากสมการ (10-42)

$$C_{P,e} = C_{P,i}\exp(-k_1\theta_H)$$

ประสิทธิภาพคำนวณจาก

$$\frac{C_{P,i} - C_{P,e}}{C_{P,i}} = 1 - \exp(-k_1\theta_H)$$

จากกรณีตัวอย่าง 10 – 1 ระยะเวลากักเก็บกรณีที่ฝายที่ด้านน้ำออกถูกตั้งไว้ที่ความสูง 20 เซนติเมตคือ 4 วัน ใช้ค่าจากตารางที่ 10-7 ค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 0.140 – 0.150 ต่อวัน จะได้

$$\frac{C_{P,i} - C_{P,e}}{C_{P,i}} = 1 - \exp(-(0.140)\times 4) = 0.43$$

และ

$$\frac{C_{P,i} - C_{P,e}}{C_{P,i}} = 1 - \exp(-(0.150)\times 4) = 0.46$$

ดังนั้นประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วง 43 – 46 เปอร์เซ็นต์

จากกรณีตัวอย่าง 10 – 3 ระยะเวลากักเก็บกำหนดเป็น 5 วัน

ใช้ค่าจากตารางที่ 10-7 ค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 0.70 – 1.96 ต่อวัน จะได้

$$\frac{C_{P,i} - C_{P,e}}{C_{P,i}} = 1 - \exp(-(0.70) \times 5) = 0.97$$

และ $$\frac{C_{P,i} - C_{P,e}}{C_{P,i}} = 1 - \exp(-(1.960) \times 5) = 0.99$$

ดังนั้นประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วง 97 – 99 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตาม ในการเดินระบบจริง ประสิทธิภาพอาจจะลดลงเพราะสภาพการไหลของน้ำในบึงประดิษฐ์จะไม่เป็นไปตามสมมุติฐานของการไหลตามกันอย่างสมบูรณ์

ตาราง 10 – 9 ตัวอย่างค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาในบึงประดิษฐ์

สารที่บำบัด	ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (ต่อวัน)	ชนิดของบึงประดิษฐ์	ที่มา
บีโอดี	0.140	ท่วมผิวชั้นกรอง	Panella และคณะ (1999)
	0.150	ท่วมผิวชั้นกรอง	Juang และ Chen (2007)
	1.104	ไหลผ่านใต้ชั้นกรอง	EPA (1993)
	0.86 – 1.84	ไหลผ่านใต้ชั้นกรอง	Wood (1995)
	1.96	ไหลผ่านใต้ชั้นกรอง	Kadlec และ Knight (1996)
	0.70	ไหลผ่านใต้ชั้นกรอง	Leonard และSwanson (2001)
ไนโตรเจนรวม (Total –N)	0.119	ท่วมผิวชั้นกรอง	Panella และคณะ (1999)
	0.160	ไหลผ่านใต้ชั้นกรอง	Tanner และคณะ (1995)
	0.117– 0.182	ไหลผ่านใต้ชั้นกรอง	Kadlec และ Knight (1996)
แอมโมเนีย	0.198	ท่วมผิวชั้นกรอง	Panella และคณะ (1999)
	0.240	ท่วมผิวชั้นกรอง	Juang และ Chen (2007)
	0.107	ไหลผ่านใต้ชั้นกรอง	EPA (1993)
ไนโตรเจนอินทรีย์	0.490	ท่วมผิวชั้นกรอง	Panella และคณะ (1999)
ไนเตรท	0.131	ท่วมผิวชั้นกรอง	Panella และคณะ (1999)
ฟอสฟอรัสรวม (Total –P)	0.104	ท่วมผิวชั้นกรอง	Panella และคณะ (1999)
	0.140	ไหลผ่านใต้ชั้นกรอง	Tanner และคณะ (1995)
ออร์โทฟอสเฟต (Inorg-P)	0.330	ท่วมผิวชั้นกรอง	Panella และคณะ (1999)
ของแข็งแขวนลอย	0.055	ท่วมผิวชั้นกรอง	Panella และคณะ (1999)
คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด	0.019	ท่วมผิวชั้นกรอง	Panella และคณะ (1999)

10.4 บึงประดิษฐ์และสภาวะโลกร้อน

บึงประดิษฐ์สามารถปล่อยก๊าซหลายชนิดที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน เช่น ก๊าซมีเธน (CH_4) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) (ไม่รวมไอน้ำซึ่งเป็นก๊าซเรือนในธรรมชาติกระจกเช่นกันที่ถูกปลดปล่อยจากการระเหยและการคายน้ำขึ้นสู่บรรยากาศ) จากการประเมินของ The Intergovernmental Panel on Climate

Change (IPCC) ประมาณว่าก๊าซไนตรัสออกไซด์ จากพื้นที่ชุ่มน้ำอาจจะมีส่วนที่ทำให้โลกร้อนขึ้นประมาณ 0.75 เปอร์เซ็นต์ (Houghton, 1995) ทั้งนี้ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากบึงประดิษฐ์ได้รับการศึกษาในแง่ของความสัมพันธ์กับกระบวนการบำบัดหลากหลาย ที่เกิดขึ้นในบึงประดิษฐ์และได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น Wrage และคณะ, 2001 พบว่าส่วนหนึ่งของก๊าซเรือนกระจกจะถูกปลดปล่อยทางกระบวนการ Nitrification และ Denitrification แต่ยังไม่สามารถประเมินได้อย่างแน่ชัดว่าผลกระทบของกระบวนการ Nitrification และ Denitrification มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ การลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น พีเอช เป็นต้น ซึ่งโดยรวม หัวข้อนี้ยังเป็นประเด็นที่จะต้องได้รับการศึกษาต่อไป

จากการรวบรวมข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรอง ทั้งในระบบที่มีการไหลแนวราบและแนวดิ่งจากการศึกษาในประเทศเยอรมันในช่วงปี ค.ศ. 2000 – 2003 (พ.ศ. 2543 – 2546) โดย Hong และ คณะ (2004) พบว่ามีการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากบึงประดิษฐ์อยู่ในช่วง 0.17 – 0.47 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวันและ 0.09 – 0.16 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน สำหรับระบบที่มีการไหลในแนวราบและแนวดิ่งตามลำดับ ซึ่งโดยเฉลี่ยก๊าซไนตรัสออกไซด์จะถูกปล่อยออกจากระบบไหลในแนวดิ่งมากกว่าระบบที่ไหลในแนวนอน สำหรับก๊าซมีเธนจากระบบที่มีการไหลทั้งสองชนิดอยู่ในช่วงกว้างมากตั้งแต่ 0.0003 – 0.11 กิโลกรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อวัน และพบว่าฟลักซ์ (Flux) ของก๊าซทั้งสองชนิดจะมีค่ามากที่สุดในท่อน้ำเข้าของระบบไหลในแนวนอน และในส่วนที่มีการเติมอากาศน้อยที่สุด และการที่ระดับน้ำของระบบบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรองมีระดับสูงขึ้น จะทำให้การปล่อยก๊าซมีเธนมีค่าสูงขึ้น ดังนั้น การทำความสะอาดท่อในระบบอย่างสม่ำเสมอเพื่อลดการอุดตันจึงมีความสำคัญมาก และจากการศึกษาในระยะที่ผ่านมาพบว่าโดย Lena และคณะ (2007) พบว่าบึงประดิษฐ์มี่ใช้บำบัดน้ำเสียในประเทศสวีเดนปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ซึ่งเมื่อคิดเทียบเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วมีค่าเป็น 431 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อวัน อย่างไรก็ตาม Hong และ คณะ (2004) กล่าวว่า ถึงแม้จะพบว่าการปล่อยก๊าซมีเธนและไนตรัสออกไซด์จากระบบบึงประดิษฐ์จะมีค่าค่อนข้างสูงแต่ไม่น่าจะมีผลกระทบในระดับโลก โดยระบุว่าถ้าน้ำเสียจากชุมชนทั้งหมดในโลกถูกนำมาบำบัดโดยระบบบึงประดิษฐ์ จะทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ไม่ใช่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Trace Gas Emission) โดยรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้นไม่ถึง 1 เปอร์เซนต์

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์อาจทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องพยายามปรับสภาพสิ่งแวดล้อมของระบบให้ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อให้ประโยชน์จากการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากบึงประดิษฐ์ถูกลดทอนลงน้อยที่สุด ถึงแม้ระบบบึงประดิษฐ์จะได้รับการพัฒนาและใช้งานมานาน 20 ถึง 30 ปีแล้ว ถึงแม้ในระยะที่ผ่านมาจะมีข้อมูลเพิ่มมากขึ้นก็ตาม แต่อาจจะยังถือได้ว่าเป็นระบบที่ยังใหม่เพราะลักษณะการประยุกต์ใช้งานและข้อจำกัดในแง่ต่างๆ (รวมถึงผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน) ยังไม่ได้ถูกศึกษาอย่างทั่วถึง อย่างไรก็ตาม พอจะสรุปได้ว่าระบบบึงประดิษฐ์ได้รับการตอบรับมากขึ้นในปัจจุบันและเป็นระบบที่ยอมรับได้ในการเพิ่มความสามารถในการรองรับมลพิษ (Assimilation) ของสิ่งแวดล้อม

คำถามท้ายบท

1. เปรียบเทียบบึงประดิษฐ์และพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติในแง่ของความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย พร้อมทั้งเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียในระบบบึงประดิษฐ์กับระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป

2. อธิบายกลไกการบำบัด ฟอสฟอรัส และไนโตรเจนในบึงประดิษฐ์
3. อภิปรายผลกระทบของบึงประดิษฐ์ที่อาจจะมีต่อสภาวะโลกร้อน
4. ประมาณค่าความนำน้ำของวัสดุตัวกลางต่อไปนี้
    1) กรวดหยาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร
    2) ทรายหยาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร
    3) ทรายละเอียดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร
5. คำนวณอัตราการไหลของน้ำในรางเปิดมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 10 เมตร มีระดับน้ำสูง 30 เซนติเมตร มีความชัน 2 เปอร์เซ็นต์ โดยที่พื้นรางเป็นกรวดหยาบและมีหญ้าขึ้นหนาแน่น
6. คำนวณอัตราการไหลในชั้นตัวกลางที่เป็นกรวดหยาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 5 ตารางเมตร มีความชัน 2 เปอร์เซ็นต์
7. บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท□วมผิวชั้นกรองมีพื้นที่ขนาด 20 ม. × 250 ม. บึงประดิษฐ์มีความลาดเอียง 0.05 เปอร์เซ็นต์ ในบึงประดิษฐ์มีพืชอยู่หนาแน่นโดยมีค่าคงที่ของ Manning (n) เป็น 0.14 ในกรณีที่มีปริมาณน้ำไหล 20 ลบ.ม.ต่อวัน และสมมุติว่าฝนและการระเหยไม่มีนัยสำคัญ คำนวณความลึกปกติ ระยะเวลากักเก็บกรณีที่ไม่มีฝายกักน้ำ และประมาณระยะเวลากักเก็บที่สภาวะคงที่ถ้าฝายที่ด้านน้ำออกถูกตั้งไว้ที่ความสูง 30 เซนติเมตร
8. บึงประดิษฐ์ถูกออกแบบให้บำบัดน้ำ 200 ลบ.ม.ต่อวัน โดยกำหนดให้มีภาระทางชลศาสตร์อยู่ที่ 0.01 ลบ.ม.ต่อ ตร.ม. ต่อ วัน จากการสำรวจพื้นที่พบว่าความยาวของบึงประดิษฐ์ที่เหมาะสมคือ 150 ม. โดยปรับพื้นให้มีความลาดเอียง 0.05 เปอร์เซ็นต์ กำหนดให้เวียร์ที่ด้านน้ำออกถูกตั้งไว้ที่ความสูง 25 เซนติเมตร คำนวณค่า Head Loss ของบึงประดิษฐ์นี้ และวาดรูปแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของน้ำในบึงประดิษฐ์
9. บึงประดิษฐ์น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรองในแนวนอนถูกออกแบบให้รับอัตราการไหล 180 ลบ.ม.ต่อวัน เพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของพืชที่ใช้ ชั้นกรองถูกกำหนดให้มีความลึก 60 เซนติเมตร กำหนดสัดส่วนของความยาวต่อความกว้างไว้ที่ 10 ระยะเวลากักเก็บมีค่า 5 วัน วัสดุที่ใช้เป็นกรวดหยาบมีค่าความพรุน 0.35 มีขนาดประมาณ 1.0 เซนติเมตร และมีค่าความนำน้ำประมาณ 10^4 เมตรต่อวัน คำนวณขนาดของบึงประดิษฐ์และการสูญเสียพลังงานในการไหล (Head Loss) และกำหนดความชันของพื้นชั้นกรอง ถ้าพบว่าหลังจากดำเนินระบบ ค่าความนำน้ำของชั้นกรองลดลงครึ่งหนึ่ง คำนวณการสูญเสียพลังงาน และระบุว่าน้ำมีโอกาสท่วมหรือไม่
10. บึงประดิษฐ์น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรองในแนวนอนถูกออกแบบให้รับภาระชลศาสตร์ 0.01 เมตรต่อวัน ชั้นกรองเป็นกรวดหยาบขนาดประมาณ 3.0 เซนติเมตร ที่มีความนำน้ำ 80,000 เมตรต่อวัน ออกแบบให้ชั้นกรองมีความลึก 0.5 เมตร ไม่มีความชัน ความสูงของระดับน้ำในชั้นกรองด้านน้ำออกเป็น 0.4 เมตร และชั้นกรองมีความยาว 250 เมตร บึงประดิษฐ์นี้ออกแบบเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่

สุพพ สิริกาญจนกรณ์

บทที่ 11
การควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย

11.1 วัตถุประสงค์

การดำเนินการและดูแลรักษาระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ควบคุมต้องมีความเข้าใจรายละเอียดการทำงานตลอดจนบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียรวมทั้งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้มีระยะเวลาการทำงานได้ดี ถูกต้อง ใช้งานได้นาน ประหยัด มีประสิทธิผลสูง และปลอดภัย ผู้ที่มีหน้าที่ควบคุม เดินเครื่อง และซ่อมบำรุง ต้องเข้าใจรายละเอียดทุกแง่มุมของขบวนการในการควบคุมและซ่อมบำรุง การเดินเครื่องที่ไม่เหมาะสมอาจนำมาซึ่งความเสียหายต่อเครื่องจักรอุปกรณ์และการบาดเจ็บต่อบุคลากรได้

11.2 การควบคุมกระบวนการของระบบบำบัดน้ำเสีย

11.2.1 **ตะแกรงดักขยะชนิดหยาบและเครื่องกวาดอัตโนมัติ** (Automatic Coarse Screens)

ตะแกรงหยาบทำหน้าที่กรองเศษขยะขนาดใหญ่ที่ลอยมากับน้ำ เช่น กิ่งไม้ สวะ ลูกมะพร้าว เป็นต้น เพื่อป้องกันอันตรายแก่เครื่องสูบน้ำและระบบบำบัดน้ำเสีย โดยขยะที่ติดอยู่จะถูกกวาดขึ้นโดยเครื่องกวาดที่ทำงานอัตโนมัติด้วยสวิชท์แรงดัน(Pressure Switch)หรือสวิชท์ระดับน้ำ(Level Switch) ซึ่งติดตั้งทางด้านหน้าและด้านหลังของตะแกรง เมื่อขยะลอยมาติดด้านหน้าตะแกรงจนเต็มทำให้ระดับน้ำหน้าตะแกรงสูงกว่าด้านหลังตะแกรงส่งผลให้แรงดันน้ำหน้าตะแกรงสูงกว่าด้านหลังตะแกรง จนถึงระดับที่ตั้งไว้สวิชท์จะส่งสัญญาณให้ชุดกวาดขยะทำงาน หรือใช้คนควบคุมโดยตรง ขยะจากเครื่องกวาดจะถูกลำเลียงโดยสายพาน (Belt Conveyor) ไปเก็บไว้ในถังเก็บเพื่อรอการขนถ่ายไปทิ้ง การออกแบบให้มีช่องทางน้ำและประตูน้ำด้านหน้าและหลังตะแกรงแต่ละชุดที่วางขนานกัน (Parallel) ทำให้สามารถปิดซ่อมแซมชุดใดชุดหนึ่งได้โดยชุดที่เหลือทำงานได้ตามปกติ

11.2.2 **ตะแกรงดักขยะชนิดละเอียดและเครื่องกวาดอัตโนมัติ** (Automatic Fine Screens)

ตะแกรงละเอียดทำหน้าที่กรองเศษขยะเล็กที่ยังเหลืออยู่ในน้ำเสีย เช่น เส้นใย ก้นบุหรี่ พลาสติก เศษยาง กระดาษ เป็นต้น เพื่อป้องกันอันตรายแก่เครื่องสูบน้ำและระบบบำบัดน้ำเสีย โดยมีเครื่องกวาดอัตโนมัติสายพานลำเลียงขยะ และประตูน้ำสำหรับปิดซ่อมบำรุง ที่มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับตะแกรงดักขยะชนิดหยาบ

11.2.3 **สถานีสูบน้ำ** (Pumping Station)

ทำหน้าที่สูบยกระดับน้ำเสียก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัดขั้นต่อไปเพื่อไม่ให้โครงสร้างของระบบต้องอยู่ลึกเกินไป โดยให้มีความสามารถในการสูบน้ำเสียได้ไม่น้อยกว่าอัตราการไหลสูงสุดในช่วงฝนตก ที่ส่งมายังโรงบำบัดน้ำเสีย การควบคุมเครื่องสูบน้ำสามารถแบ่งภาระในการสูบน้ำให้ทุกเครื่องสลับกันทำงานได้เท่าๆกัน (Alternative Selection) เพื่อเฉลี่ยการสึกหรอ ทำให้เครื่องสูบน้ำมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น ควรมีอัตราสูบและจำนวนที่เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงการปิดเปิดหลายๆครั้ง และทำให้น้ำเสียไหลผ่านระบบบำบัดน้ำเสียอย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และกลิ่นเหม็นซึ่งก่อให้เกิดการกัดกร่อนและมีอันตรายเมื่อหายใจเข้าไปเป็นปริมาณมาก เครื่องสูบน้ำสามารถสลับกันทำงานอัตโนมัติ โดยเครื่องวัดอัตราการไหลและสวิชท์ระดับน้ำ หรือใช้คนควบคุมโดยตรงก็ได้

การเคลื่อนย้ายเครื่องสูบน้ำในกรณีที่ต้องการซ่อมบำรุง ด้วยรอกผ่อนแรง (Lifting Gantry) การทำความสะอาดบ่อสูบน้ำจะต้องใช้ High Pressure Jetting เพื่อชะล้างตะกอนต่างๆ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุ เว้นแต่ในกรณีที่น้ำไหลช้าจึงสามารถส่งคนเข้าทำความสะอาด

11.2.4 ถังแยกกรวดทรายแบบเติมอากาศ (Aerated Grit Chamber)

ทำหน้าที่แยกกรวดทรายที่มากับน้ำเสียออกเพื่อป้องกันการอุดตันในท่อ ลดภาระการตกตะกอนในถังตกตะกอน และลดการสึกหรอของเครื่องจักรเนื่องจากการขัดสีตะกอนทราย การทำงานของถังแยกทรายใช้หลักการสร้างความเร็วเทียมขึ้นในถังด้วยการเป่าอากาศจากเครื่องเป่าอากาศ (Air Blower) ผ่านหัวกระจายอากาศ (Diffuser) ที่ติดอยู่ตลอดความยาวของถังทำให้เกิดน้ำไหลแบบม้วนตัว (Spiral Flow) เพื่อให้เกิดการเสียดสีของเม็ดกรวดทรายทำให้ตะกอนของเสียที่ติดอยู่หลุดออกมา และควบคุมความเร็วของน้ำให้มีค่าประมาณ 0.3 ถึง 3.0 เมตรต่อวินาที เพื่อพัดพาตะกอนของเสียที่มีน้ำหนักเบาออกไปด้านทางออกถังเข้าสู่กระบวนการบำบัดขั้นต่อไป ส่วนตะกอนกรวดทรายซึ่งมีน้ำหนักมากจะจมลงสู่ก้นถัง

ตะกอนกรวดทรายที่ก้นถังจะถูกสูบออกโดยสะพานกวาดกรวดทราย (Traveling Bridge Scraper) จะทำงานอัตโนมัติโดย Timer Switched และติดตั้ง Limited Switched ที่ด้านท้ายถังเพื่อสลับทิศการหมุนของมอเตอร์ การเริ่มการทำงานของสะพานกวาดทรายจะทำให้เครื่องสูบตะกอนทราย (Grit Pump) ที่ติดตั้งอยู่ที่สะพานกวาดทรายทำงานด้วย

กรวดทรายจะถูกสูบส่งไปยัง ถังพักตะกอนทราย(Collection Tank) ที่เชื่อมต่อกับ เครื่องแยกตะกอนทราย(Grit Separator) เพื่อรีดน้ำออกจากตะกอนทรายและสามารถขนส่งตะกอนทรายไปทิ้งได้สะดวก การทำงานของเครื่องแยกตะกอนทรายจะทำงานอัตโนมัติเมื่อถังพักตะกอนทรายเริ่มเต็มโดยสวิชท์ระดับน้ำ

11.2.5 ถังกระจายการไหล หมายเลข 1 (Distribution Box No.1)

ทำหน้าที่รับน้ำจากถังแยกกรวดทรายเพื่อกระจายการไหลของน้ำไปถังตกตะกอนขั้นแรก ซึ่งมีหลายถังในปริมาณที่เท่าๆกันทุกถัง

11.2.6 ถังตกตะกอนขั้นแรก (Primary Clarifier)

ทำหน้าที่แยกตะกอนหนัก ตะกอนแขวนลอย น้ำมันและไขมัน ออกจากน้ำเสีย เพื่อลดภาระให้แก่การบำบัดขั้นทุติยภูมิ ภายในถังมีระบบกวาดตะกอนที่ก้นถัง ระบบกวาดตะกอนลอย และมีเครื่องสูบตะกอนไปยังระบบกำจัดตะกอน น้ำใสส่วนบนจะไหลต่อไปยังกระบวนการบำบัดขั้นทุติยภูมิ

11.2.7 ถังผันน้ำทิ้ง (Diversion Chamber)

ทำหน้าที่ผันน้ำส่วนที่เกินจาก 3 เท่าของอัตราการไหลของน้ำเสียเฉลี่ยประจำวัน (3 Dry Weather Flow , 3DWF) ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ถูกเจือจางจากน้ำฝนจนค่าความสกปรกลดลงจนไม่จำเป็นต้องเข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ น้ำส่วนเกินนี้จะถูกผันเข้าสู่ถังฆ่าเชื้อโรค และระบายทิ้งลงแหล่งรับน้ำต่อไป

11.2.8 ถังกระจายการไหล หมายเลข 2 (Distribution Box No.2)

ทำหน้าที่กระจายการไหลของน้ำไปสู่ถังเติมอากาศหลายถัง ที่มีการจัดวางการไหลแบบขนาน (Parallel) โดยเท่าๆ กัน เพื่อให้ถังเติมอากาศแต่ละถังรับปริมาณความสกปรกเท่าๆกัน และสามารถผันการไหลของน้ำไม่ให้เข้าสู่ถังเติมอากาศที่ต้องการซ่อมแซมได้ โดยไม่ต้องปิดระบบทั้งหมด

11.2.9 การวัดการไหลของน้ำ

การวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ถังเติมอากาศใช้เครื่องวัดอัตราการไหลชนิดต่างๆ เช่น Magnetic หรือ Ultrasonic Flow Meter เป็นต้น และใช้สำหรับวัดตะกอนส่วนเกิน (Surplus Sludge) เพื่อใช้ใน

การควบคุมการทำงานของถังเติมอากาศ นอกจากนั้นติดตั้งฝายน้ำล้น (Weir) วัดอัตราการไหล ในถังเติมคลอรีน เพื่อปรับอัตราการสูบน้ำยาคลอรีนให้สามารถแปรผันตามอัตราการไหลของน้ำได้

11.2.10 ถังเติมอากาศ (Aeration Tank)

ถังเติมอากาศ ควบคุมการทำงานโดยวัดการละลายออกซิเจนในน้ำ น้ำเสียที่ผ่านถังเติมอากาศจะถูกส่งต่อไปยังถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย การปรับ MLSS โดยการสูบ Surplus Sludge และอัตราการไหลให้มีความสัมพันธ์กัน

เนื่องจากในน้ำเสียมีส่วนประกอบของไนโตรเจน ฉะนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะเกิด Denitrification ในถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย โดยจะมีตะกอน (Sludge) ลอยปกคลุมผิวน้ำเสียเนื่องจากการเกิดก๊าซไนโตรเจน เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงปัญหานี้บริเวณที่มีออกซิเจนน้อย (Anoxic Zone) ปริมาณการไหลในถังเติมอากาศจะถูกตรวจสอบและปรับให้ถูกต้อง ซึ่งมักจะเกิดขึ้นเสมอในช่วงเวลาที่บำบัดน้ำเสียในระบบเติมอากาศที่มีเวลาเก็บกักนาน บริเวณปากถังตกตะกอนติดตั้งฝายน้ำล้น (Weir) เพื่อป้องกันตะกอนลอยบนผิวน้ำไม่ให้หลุดไปกับน้ำเพื่อตรวจสอบบริเวณที่มีออกซิเจนน้อย (Anoxic Zone) ตำแหน่งของเครื่องทดสอบ D.O. (D.O. Probe) จะถูกติดตั้งในระหว่างการทดสอบ เครื่องทดสอบ D.O. จะมีมาตรวัดและอุปกรณ์ที่ควบคุมการติดตั้ง มาตรวัดจะสามารถปรับและเตือนได้ ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียนี้ให้คุณภาพของน้ำที่ผ่านระบบได้ตามมาตรฐานภายใต้การทำงานที่เชื่อถือได้

11.2.11 ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย (Final Clarifier)

ทำหน้าที่แยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากถังเติมอากาศ ตะกอนจุลินทรีย์จะจมลงก้นถัง ส่วนน้ำใสส่วนบนจะไหลล้นผ่านฝายรับน้ำล้น(Weir Overflow)ที่ติดตั้งโดยรอบปากถังออกไป ถังตกตะกอนมีระบบกวาดตะกอนที่ก้นถังเพื่อรวบรวมไปยังบ่อพักตะกอนและถูกสูบโดยเครื่องสูบตะกอนไปยังระบบกำจัดตะกอน บริเวณฝายรับน้ำล้น ติดตั้งแผ่นกั้นตะกอนลอยที่ผิวน้ำ(Scum Baffle) เพื่อป้องกันตะกอนลอยบนผิวน้ำไม่ให้หลุดออกไปกับน้ำ

การควบคุมให้อัตราการไหลล้นออกจากถังตกตะกอนเป็นไปอย่างทั่วถึงไม่ไหลลัดออกไปทางใดทางหนึ่ง โดยปรับระดับฝายรับน้ำล้นรอบถังให้เท่ากันโดยรอบถัง

11.2.12 การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (Chlorination)

การฆ่าเชื้อโรคโดยใช้สารละลายคลอรีนในขบวนการ Chlorination ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้ คือ ถังบรรจุคลอรีน (Storage Tank) ปั๊มสารละลายคลอนรีน (Dosing Pump) และระบบท่อต่างๆ (Connecting Pipe Work) การควบคุมการจ่ายจะทำโดยการวัดอัตราการไหลของน้ำเสีย ถังสัมผัสคลอรีน(Chlorine Contact Tank) จะมีระยะเวลากักเก็บอย่างเพียงพอไม่ควรน้อยกว่า 30 นาที และช่วงเวลาของการปฏิบัติงานจะต้องกำหนดความต้องการ Chlorination ให้ถูกต้องสำหรับการดำเนินงานในอนาคต

11.2.13 การจัดการสลัดจ์ (Sludge Handling)

ในทางทฤษฎีแล้ว ขบวนการเอาน้ำออกจากตะกอน (Sludge Dewatering Process) จะถูกออกแบบโดยทดสอบตะกอนจริงจากโรงบำบัดเพื่อหาชนิดของโพลีเมอร์ที่ดีที่สุดและอัตราการใช้สารเคมี (Dosage Rate) จะถูกกำหนดในช่วงระหว่างการติดตั้ง ระบบกำจัดตะกอนประกอบด้วย ถังพักตะกอน เครื่องสูบตะกอน เครื่องเติมสารละลายโพลีเมอร์ เครื่องรีดตะกอน (Belt Press) สายพานลำเลียง และถังพักตะกอนแห้ง ตะกอนที่รีดแล้วจะมีความแห้งเพียงพอที่จะขนส่งได้โดยรถบรรทุก (ประมาณ 16% Dry Solid) เพื่อนำไปกำจัดด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การถมที่เป็นต้น

11.2.14 ระบบควบคุม

การควบคุมขบวนการบำบัดน้ำเสียที่ทันสมัยควรจะง่ายไม่ซับซ้อนโดยใช้อุปกรณ์และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อถือได้สำหรับคนงานในส่วนต่างๆ โดยมีระบบควบคุมส่วนกลาง โรงบำบัดน้ำเสียควรจะสามารถดำเนินการโดยไม่ต้องใช้บุคลากรจำนวนมาก โดยมีระบบเตือนภัย ในกรณีที่เกิดเหตุบกพร่อง หรือในกรณีต้องซ่อมบำรุง อุปกรณ์ต่อไปนี้จะสามารถใช้ได้อย่างต่อเนื่อง คือ

1. อุปกรณ์แสดงระบบไฟฟ้าเสียหาย (Power Failure Alarm)
2. อุปกรณ์แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้า (Power Usage)
3. อุปกรณ์แสดงความแตกต่างของระดับน้ำก่อนผ่านตะแกรงและหลังจากผ่านตะแกรงแล้ว (Differential Level Across Screen) พร้อมทั้งมีสัญญาณเตือนเมื่อมีระดับน้ำแตกต่างกันมากเกินไป ในบางกรณีอาจจะติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเพื่อให้มีการทำความสะอาดตะแกรงโดยอัตโนมัติ
4. อุปกรณ์แสดงสภาวะของเครื่องสูบและมอเตอร์
5. อุปกรณ์ควบคุมและเตือนบ่อสูบน้ำ
6. มาตรวัดการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ
    6.1) อุปกรณ์วัด D.O. และการควบคุม (D.O. and Control)
    6.2) อุปกรณ์แสดงสภาวะเครื่องเติมอากาศ
7. การจัดการสลัดจ์
    7.1) อุปกรณ์วัดระดับของ Storage Tank
    7.2) อุปกรณ์วัดโพลีเมอร์
    7.3) อุปกรณ์แสดงสภาวะของโรงบำบัด
    7.4) อุปกรณ์วัดการไหลของโพลีเมอร์
    7.5) อุปกรณ์วัดการไหลของ Sludge
8. อุปกรณ์วัดตัวอย่างของน้ำเสียอัตโนมัติ
    8.1) น้ำเสียที่เข้าระบบ (Automatic Sampling Influent)
    8.2) น้ำที่ออกจากระบบ (Automatic Sampling Effluent)
9. การเติคลอรีน ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกการไหล

11.3 ระบบควบคุมกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดน้ำเสียและการควบคุมโดยระบบอัตโนมัติ (Process and Automatics Control System) ของแต่ละหน่วยกระบวนการ มีตัวอย่างแสดงในตาราง 11-1 และแผนผัง Control Diagram แสดงในรูปที่ 11-1 มีรายละเอียดดังนี้

11.3.1 สถานีสูบน้ำ

- เครื่องกวาดขยะควบคุมการทำงานโดย Differential Pressure Transmitter ตรวจสอบระดับน้ำด้านหน้าและด้านหลังของตะแกรงดักขยะ ถ้ามีความแตกต่างของระดับน้ำเกิดขึ้น จะทำให้เกิดความดันแตกต่างกันด้วย ระบบจะสั่งให้เครื่องกวาดขยะทำงาน

สุพพ สุริยาปกรณ์

- การทำงานของอุปกรณ์ทุกตัว (ON/OFF, ALARM) จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมการทำงานเพื่อแสดงสถานะการทำงาน ในกรณีที่ระบบสั่งให้อุปกรณ์ใดๆทำงานแต่อุปกรณ์นั้นไม่ทำงาน (OFF) ให้ระบบแจ้งสัญญาณเตือนเพื่อให้เจ้าหน้าที่เข้าทำการตรวจสอบในทันที
- ระบบควบคุมจะสั่งให้สายพานลำเลียงทำงานต่ออีกระยะหนึ่งหลังจากเครื่องกวาดขยะหยุดทำงาน
- เครื่องสูบน้ำจะต้องทำงานก่อนที่จะสั่งให้เครื่องกวาดขยะทำงาน
- จะใช้ตัววัดระดับน้ำ (Level Indicator) 6 ระดับในการควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำจำนวน 4 เครื่อง ดังนี้
  - ที่ระดับน้ำที่ 1 (Low Level) ระดับน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอที่จะให้เครื่องสูบน้ำทำงาน แต่เครื่องสูบน้ำยังไม่หยุดทำงาน ให้ส่งสัญญาณ เตือนน้ำแห้ง ไปยังระบบควบคุม เพื่อป้องกันความเสียหาย (Run Dry Protection)
  - ที่ระดับน้ำที่ 2 (Second Level) เครื่องสูบน้ำทุกเครื่อง หยุดทำงาน
  - ที่ระดับน้ำที่ 3 (Third Level) เครื่องสูบน้ำทำงาน 1 เครื่อง
  - ที่ระดับน้ำที่ 4 (Forth Level) เครื่องสูบน้ำ ทำงานพร้อมกัน 2 เครื่อง
  - ที่ระดับน้ำที่ 5 (Fifth Level) เครื่องสูบน้ำ ทำงานพร้อมกัน 3 เครื่อง
  - ที่ระดับน้ำที่ 6 (Sixth Level) เครื่องสูบน้ำ ทำงานพร้อมกัน 3 เครื่อง แต่ระดับน้ำสูงกว่าปกติให้ส่งสัญญาณเตือนน้ำล้น ไปยังระบบควบคุม
- การทำงานของเครื่องสูบน้ำจะทำงานแบบสลับการทำงาน (Alternative Operation Sequence) เพื่อไม่ให้เครื่องสูบน้ำเครื่องใดเครื่องหนึ่งทำงานหนักเกินไปโดยการบันทึกเวลาการทำงานที่ตู้ควบคุมและระบบควบคุมรวม (Central Control)
- ในกรณีที่มีเครื่องสูบน้ำทำงานพร้อมกันหลายเครื่องและจะทำการสั่งการหยุดเครื่อง เครื่องที่เริ่มทำงานก่อนจะต้องหยุดการทำงานก่อน
- การทำงานของอุปกรณ์ทุกตัว (ON/OFF, ALARM) จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมการทำงานเพื่อแสดงสถานะการทำงาน ในกรณีที่ระบบสั่งให้อุปกรณ์ใดๆทำงานแต่อุปกรณ์นั้นไม่ทำงาน (OFF) ให้ระบบแจ้งสัญญาณเตือนเพื่อให้เจ้าหน้าที่เข้าทำการตรวจสอบในทันที
- Flow Meter FM1 จะใช้วัดปริมาณน้ำเสียที่ออกจากสถานีสูบน้ำและส่งผลไปยังระบบบันทึกข้อมูลเพื่อแสดงผลและควบคุมอุปกรณ์ระบบอื่นต่อไป

11.3.2 ถังแยกทรายแบบเติมอากาศ

- เครื่องแยกตะกอนทรายจะทำงานโดยการควบคุมของเจ้าหน้าที่ที่จะเปิดประตูระบายตะกอนทรายและเปิดสวิทช์ให้เครื่องแยกตะกอนทรายทำงาน
- Air Blower จะทำงานโดยต่อเนื่องและเริ่มทำงานโดยรับสัญญาณจากเครื่องวัดอัตราการไหล Flow Meter FM1
- ลำดับการทำงานของ Air Blower จะสลับกันทำงานโดย Timer Switch ในกรณีที่เครื่องหยุดทำงานเครื่องที่จะเริ่มทำงานต่อไปขึ้นอยู่กับจำนวนชั่วโมงการทำงานว่าเครื่องใดมากกว่ากัน โดยเครื่องที่ทำงานน้อยกว่าจะเริ่มทำงานก่อน
- การทำงานของอุปกรณ์ทุกตัว (ON/OFF, ALARM) จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมการทำงานเพื่อแสดงสถานะการทำงาน ในกรณีที่ระบบสั่งให้อุปกรณ์ใดๆทำงานแต่อุปกรณ์นั้นไม่ทำงาน (OFF) ให้ระบบแจ้งสัญญาณเตือนเพื่อให้เจ้าหน้าที่เข้าทำการตรวจสอบในทันที

ตาราง 11-1 ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Point Schedule)

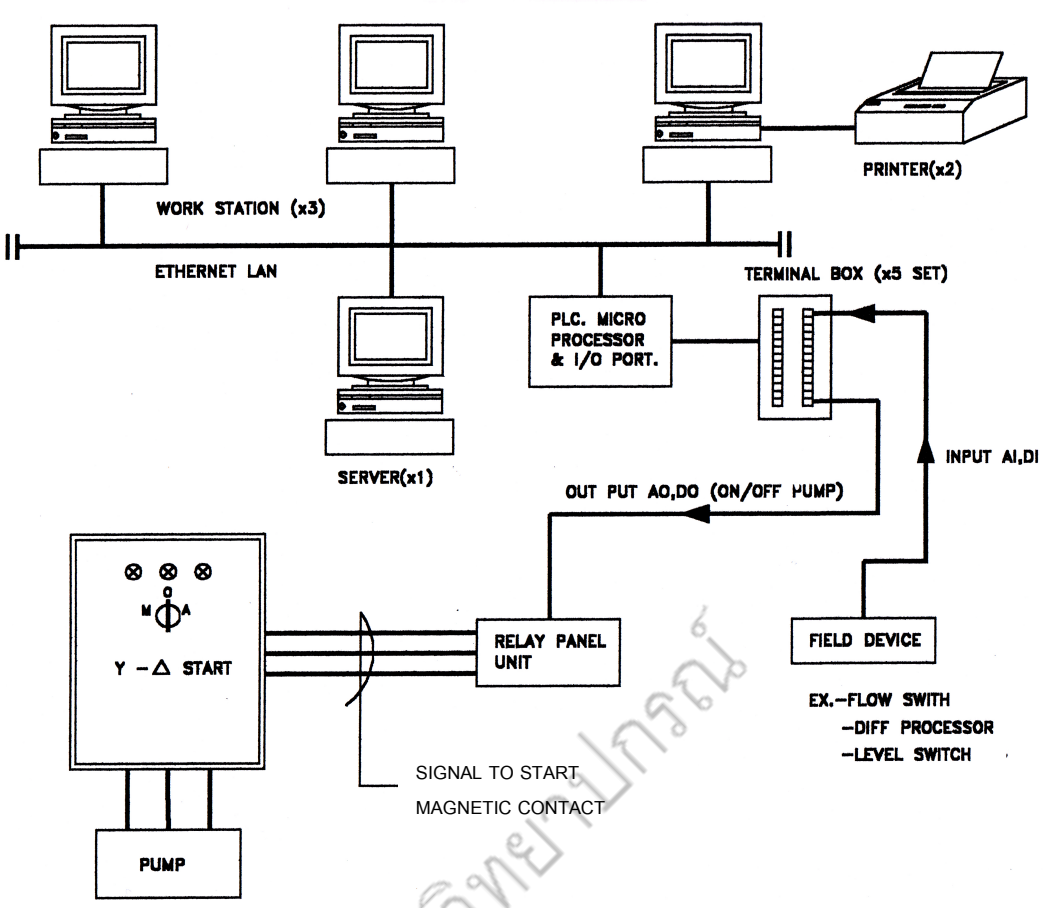
ITEM	FIELD PANEL	POINT DESCRIPTION	QTY.	TB. NO.	FUNCTION CONTROL	POINT SCHEDULE				FIELD DEVICE	CABLE
						DO	DI	AI	AO		
1	**สถานีสูบน้ำ**										
	1-RPU	AUTOMATIC COARSE SCREEN	1	TB-01	-ON/OFF CONTROL	1				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		1			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		1			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		AUTOMATIC FINE SCREEN	1	TB-01	-ON/OFF CONTROL	1				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		1			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		1			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		SUBMERSIBLE PUMP 1,2,3	3	TB-01	-ON/OFF CONTROL	3				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		3			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		3			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		SULICE GATE 1,2,3, 4	4	TB-01	-ON/OFF CONTROL	4				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		4			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		4			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		FLOW METER FM 01	1	TB-01	-FLOW RATE			1		-FLOW rate transducer	TWISTED PAIR
											WITH SHEILD
		LEVEL INDICATED	1	TB-01	-WATER LEVEL			1		-LEVEL SWITCH	TWISTED PAIR
											WITH SHEILD
		DIFF. PRESSURE SWITCH	4	TB-01	-PRESSURE LEVEL			4		-DIFF.PRESSURE SWITCH	TWISTED PAIR
2	**ถังแยกทราย**										
	2-RPU	GRIT WASH TANK	1	TB-01	-ON/OFF CONTROL	1				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		1			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		1			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		AIR BLOWER	2	TB-01	-NO/OFF STATUS	2				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
3	**ถังตกตะกอนขั้นแรก**										
	3-RPU	SCRAPPER MACHINE	2	TB-02	-ON/OFF CONTROL	2				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		SUBMERSIBLE PUMP 1,2	2	TB-02	-ON/OFF CONTROL	2				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		LEVEL INDICATED	1	TB-02	-WATER LEVEL			1		-LEVEL SWITCH	TWISTED PAIR
											WITH SHEILD
		FLOW METER FM3, FM3, FM4	3	TB-02	-FLOW RATE			3		-FLOW rate transducer	TWISTED PAIR
											WITH SHEILD
		SULICE GATE 1,2,3	3	TB-02	-ON/OFF CONTROL	3				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		3			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		3			-VFC	1.5 SQmm. THW.
4	**ถังเติมอากาศ**										
	4-RPU	BIOLOGICAL TANK	6	TB-03	-ON/OFF CONTROL	6				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		6			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		6			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		LEVEL INDICATED	1	TB-03	-WATER LEVEL			1		-LEVEL SWITCH	TWISTED PAIR
											WITH SHEILD
		DO METER DM1-DM4	4	TB-03	-DO RATE			4		-DO transducer	TWISTED PAIR
											WITH SHEILD
		SULICE GATE 1,2,3,4	4	TB-03	-ON/OFF CONTROL	4				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		4			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		4			-VFC	1.5 SQmm. THW.

สุเทพ สถิรเศรษฐกุล

ตาราง 11-1 (ต่อ)

ITEM	FIELD PANEL	POINT DESCRIPTION	QTY.	TB. NO.	FUNCTION CONTROL	POINT SCHEDULE				FIELD DEVICE	CABLE
						DO	DI	AI	AO		
5	ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย										
	5--RPU	SCRAPPER MACHINE	2	TB-03	-ON/OFF CONTROL	2				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		SUBMERSIBEL PUMP 1,2	2	TB-03	-ON/OFF CONTROL	2				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		LEVEL INDICATED	1	TB-03	-WATER LEVEL			1		-LEVEL SWITCH	TWISTED PAIR
											WITH SHEILD
		FLOW METER FM5-FM6	2	TB-03	-FLOW RATE			2		-FLOW rate transducer	TWISTED PAIR
6	ถังฆ่าเชื้อโรค										
	6--RPU	CLORINE FEED PUMP 1,2	2	TB-04	-ON/OFF CONTROL	2				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		LEVEL INDICATED	1	TB-04	-WATER LEVEL			1		-LEVEL SWITCH	TWISTED PAIR
		FLOW METER FM7	1	TB -04	- FLOW RATE			1		- Flow rate transducer	
7	ถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน										
	7--RPU	SCRAPPER MACHINE	1	TB-04	-ON/OFF CONTROL	1				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		1			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		1			-VFC	1.5 SQmm. THW.
8	ถังย่อยสลายตะกอน										
	8--RPU	SLUDGE FEED PUMP 1,2	2	TB-04	-ON/OFF CONTROL	2				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		LEVEL INDICATED	1	TB-04	-WATER LEVEL			1		-LEVEL SWITCH	TWISTED PAIR
											WITH SHEILD
		AIR BLOWER	2	TB-04	-NO/OFF STATUS	2				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
9	ระบบรีดตะกอนแห้ง										
	9--RPU	PRE-DEWATERING	1	TB-05	-ON/OFF CONTROL	1				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		1			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		1			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		DEWATERING MACHINE	1	TB-05	-ON/OFF CONTROL	1				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		1			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		1			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		LEVEL INDICATED	2	TB-05	-WATER LEVEL			2		-LEVEL SWITCH	TWISTED PAIR
											WITH SHEILD
		PREPOLYMER MACHINE	1	TB-05	-ON/OFF CONTROL	1				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		1			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		1			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		POLYMER FEED PUMP 1,2	2	TB-05	-ON/OFF CONTROL	2				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
					-NO/OFF STATUS		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
		BELT CONVOYER&SLUDGE	2	TB-05	-ON/OFF CONTROL	2				-CONTROL 24 V.ac RELAY	1.5 SQmm. THW.
		HOPPER			-NO/OFF STATUS		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.
					-TRIP ALARM		2			-VFC	1.5 SQmm. THW.

สำเนา วิทยานิพนธ์



รูปที่ 11-1 แผนผัง Control Diagram

11.3.3 ถังตกตะกอนขั้นแรก

- เครื่องกวาดตะกอน (Scraper Machine) จะทำงานอย่างต่อเนื่อง
- ระบบเครื่องสูบตะกอน จะใช้ตัววัดระดับน้ำ (Level Indicator) ในถังพักตะกอน ซึ่งมี 4 ระดับ และ Timer Switch ในการควบคุมเครื่องสูบตะกอน 2 เครื่อง ดังนี้
  - ที่ระดับน้ำที่ 1 (Low Level) ระดับน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอที่จะให้เครื่องสูบตะกอนทำงาน แต่เครื่องสูบตะกอนยังไม่หยุดทำงาน ให้ส่งสัญญาณ เตือนน้ำแห้ง ไปยังระบบควบคุม เพื่อป้องกันความเสียหาย
  - ที่ระดับน้ำที่ 2 (Second Level) เครื่องสูบตะกอนหยุดทำงานทั้งหมด
  - ที่ระดับน้ำที่ 3 (Third Level) เครื่องสูบตะกอนจะสลับการทำงานอัตโนมัติ โดย Timer Switch ในกรณีที่เครื่องหยุดทำงานทั้งสองเครื่อง เครื่องที่ทำงานน้อยกว่าจะเริ่มทำงานก่อน
  - ที่ระดับน้ำที่ 4 (Forth Level) ระดับน้ำสูงกว่าปกติให้ส่งสัญญาณเตือนน้ำล้น ไปยังระบบควบคุม
- ผู้ควบคุมสามารถตั้งเวลาที่ Timer Switch เพื่อกำหนดระยะเวลาในการเดินและหยุดการสูบตะกอนได้ตามความเหมาะสม

สุพพ สุวิทยาปกรณ์

- การทำงานของเครื่องสูบน้ำจะทำงานแบบสลับการทำงาน (Alternative Operation Sequence) เพื่อไม่ให้เครื่องสูบน้ำเครื่องใดเครื่องหนึ่งทำงานหนักเกินไปโดยการบันทึกเวลาการทำงานที่ตู้ควบคุมและระบบควบคุมรวม (Central Control)
- เครื่องวัดอัตราการไหลหมายเลข 2-4 (Flow Meter FM2-4) จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมเพื่อบันทึกผลและส่งสัญญาณควบคุมต่อไป
- ประตูน้ำในถังผันน้ำทิ้ง ควบคุมการ เปิด/ปิด จากสัญญาณอัตราการไหลของ Flow Meter
- ถ้า Flow Meter อ่านค่าได้ ไม่เกิน 3 เท่า ของ DWF ให้ส่งสัญญาณ ปิดประตูน้ำไปถังฆ่าเชื้อโรค และเปิดประตูน้ำไปถังเติมอากาศ
- ถ้า Flow Meter อ่านค่าได้ เกินกว่า 3 เท่า ของ DWF ให้ส่งสัญญาณ เปิดประตูน้ำไปถังฆ่าเชื้อโรค และเปิดประตูน้ำไปถังเติมอากาศ
- ถ้าระดับน้ำในถังผันน้ำทิ้ง สูงกว่าระดับปกติ 0.30 เมตรให้ส่งสัญญาณเตือนน้ำล้น ไปยังระบบควบคุม
- การทำงานของอุปกรณ์ทุกตัว (ON/OFF, ALARM) จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมการทำงานเพื่อแสดงสถานะการทำงาน ในกรณีที่ระบบสั่งให้อุปกรณ์ใดๆทำงานแต่อุปกรณ์นั้นไม่ทำงาน (OFF) ให้ระบบแจ้งสัญญาณเตือนเพื่อให้เจ้าหน้าที่เข้าทำการตรวจสอบในทันที

11.3.4 ถังเติมอากาศ

- เครื่องเติมอากาศ จะเริ่มและหยุดการทำงานจากสัญญาณอัตราการไหลของ FM3 และ FM4 และเครื่องจะทำงานอย่างต่อเนื่องจากการควบคุมของ Timer Switch
- เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน (DO Meter) จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมเพื่อบันทึกผลและควบคุมต่อไป
- การทำงานของอุปกรณ์ทุกตัว (ON/OFF, ALARM) จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมการทำงานเพื่อแสดงสถานะการทำงาน ในกรณีที่ระบบสั่งให้อุปกรณ์ใดๆทำงานแต่อุปกรณ์นั้นไม่ทำงาน (OFF) ให้ระบบแจ้งสัญญาณเตือนเพื่อให้เจ้าหน้าที่เข้าทำการตรวจสอบในทันที

11.3.5 ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย

- เครื่องกวาดตะกอน (Scraper Machine) จะทำงานอย่างต่อเนื่อง
- ระบบเครื่องสูบตะกอน จะใช้ตัววัดระดับน้ำ (Level Indicator) ในถังพักตะกอน ซึ่งมี 4 ระดับ และ Timer Switch ในการควบคุมการทำงานของเครื่องสูบตะกอนทั้ง 2 เครื่อง ดังนี้
  - **ที่ระดับน้ำที่ 1 (Low Level) ระดับน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอที่จะให้เครื่องสูบตะกอนทำงาน แต่เครื่องสูบตะกอนยังไม่หยุดทำงาน ให้ส่งสัญญาณ เตือนน้ำแห้ง ไปยังระบบควบคุม เพื่อป้องกันความเสียหาย**
  - **ที่ระดับน้ำที่ 2 (Second Level) เครื่องสูบตะกอนหยุดทำงานทั้งหมด**
  - **ที่ระดับน้ำที่ 3 (Third Level) เครื่องสูบตะกอนจะสลับการทำงานอัตโนมัติ โดย Timer Switch ในกรณีที่เครื่องหยุดทำงานทั้งสองเครื่อง เครื่องที่ทำงานน้อยกว่าจะเริ่มทำงานก่อน**
  - **ที่ระดับน้ำที่ 4 (Forth Level) ระดับน้ำสูงกว่าปกติให้ส่งสัญญาณเตือนน้ำล้น ไปยังระบบควบคุม**

- ผู้ควบคุมสามารถตั้งเวลาที่ Timer Switch เพื่อกำหนดระยะเวลาในการเดินและหยุดการสูบตะกอนได้ตามความเหมาะสม
- การทำงานของเครื่องสูบน้ำจะทำงานแบบสลับการทำงาน (Alternative Operation Sequence) เพื่อไม่ให้เครื่องสูบน้ำเครื่องใดเครื่องหนึ่งทำงานหนักเกินไปโดยการบันทึกเวลาการทำงานที่ตู้ควบคุมและระบบควบคุมรวม (Central Control)
- เครื่องวัดอัตราการไหลหมายเลข 5-6 (Flow Meter FM5-6) จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมเพื่อบันทึกผลและส่งสัญญาณควบคุมต่อไป
- การทำงานของอุปกรณ์ทุกตัว (ON/OFF, ALARM) จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมการทำงานเพื่อแสดงสถานะการทำงาน ในกรณีที่ระบบสั่งให้อุปกรณ์ใดๆทำงานแต่อุปกรณ์นั้นไม่ทำงาน (OFF) ให้ระบบแจ้งสัญญาณเตือนเพื่อให้เจ้าหน้าที่เข้าทำการตรวจสอบในทันที

11.3.6 ถังฆ่าเชื้อโรค

- เครื่องสูบสารละลายคลอรีนจะควบคุมอัตราการสูบสารละลายให้แปรผันตามอัตราการไหลของน้ำเสียที่วัดจากเครื่องวัดอัตราการไหลหมายเลข 7 (Flow Meter FM7) การทำงานอย่างต่อเนื่องและสลับกันอัตโนมัติจากการควบคุมของ Timer Switch
- ระบบเครื่องสูบสารละลายคลอรีน จะใช้ตัววัดระดับน้ำ (Level Indicator) ในถังเก็บสารละลายคลอรีน ซึ่งมี 2 ระดับและ Timer Switch ในการควบคุมการทำงานของเครื่องสูบสารละลายคลอรีนทั้ง 2 เครื่อง
- ที่ระดับน้ำที่ 1 (Low Level) เครื่องสูบน้ำทั้ง 2 เครื่อง จะหยุดทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากปริมาณน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอที่จะให้เครื่องสูบน้ำทำงาน (Run Dry Protection) ให้ส่งสัญญาณเตือนน้ำแห้ง ไปยังระบบควบคุมเพื่อให้เจ้าหน้าที่ควบคุมมาเติมสารละลายคลอรีน
- ที่ระดับน้ำที่ 2 (Second Level) เครื่องสูบน้ำจะสลับการทำงานอัตโนมัติ โดย Timer Switch ในกรณีที่เครื่องหยุดทำงานทั้งสองเครื่อง เครื่องที่ทำงานน้อยกว่าจะเริ่มทำงานก่อน
- การทำงานของอุปกรณ์ทุกตัว (ON/OFF, ALARM) จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมการทำงานเพื่อแสดงสถานะการทำงาน ในกรณีที่ระบบสั่งให้อุปกรณ์ใดๆ ทำงานแต่อุปกรณ์นั้นไม่ทำงาน (OFF) ให้ระบบแจ้งสัญญาณเตือนเพื่อให้เจ้าหน้าที่เข้าทำการตรวจสอบในทันที

11.3.7 ถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน

- เครื่องกวาดตะกอน (Scraper Machine) จะทำงานอย่างต่อเนื่อง
- การทำงานของอุปกรณ์ทุกตัว (ON/OFF, ALARM) จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมการทำงานเพื่อแสดงสถานะการทำงาน ในกรณีที่ระบบสั่งให้อุปกรณ์ใดๆ ทำงานแต่อุปกรณ์นั้นไม่ทำงาน (OFF) ให้ระบบแจ้งสัญญาณเตือนเพื่อให้เจ้าหน้าที่เข้าทำการตรวจสอบในทันที

11.3.8 ถังย่อยสลายตะกอน

- ลำดับการทำงานของ Air Blower จะควบคุมการทำงานโดย Timer Switch เครื่องจะสลับการทำงาน ในกรณีที่เครื่องหยุดทำงาน เครื่องที่จะเริ่มทำงานต่อไปขึ้นอยู่กับจำนวนชั่วโมงการทำงานว่าเครื่องใดมากกว่ากัน โดยเครื่องที่ทำงานน้อยกว่าจะเริ่มทำงานก่อน

- เครื่องสูบน้ำตะกอน จะทำงานโดยต่อเนื่องและเริ่มทำงานโดยรับสัญญาณจากตัววัดระดับน้ำ (Level Indicator) ในถังย่อยสลายตะกอน
- เครื่องสูบน้ำตะกอนจะทำงานพร้อมกับระบบรีดตะกอน (Interlock with Sludge Dewatering System) ลำดับการทำงานของ เครื่องสูบน้ำตะกอนจะสลับการทำงานในกรณีที่เครื่องหยุดทำงาน เครื่องที่จะเริ่มทำงานต่อไปขึ้นอยู่กับจำนวนชั่วโมงการทำงานว่าเครื่องใดมากกว่ากัน โดยเครื่องที่ทำงานน้อยกว่าจะเริ่มทำงานก่อน
- การทำงานของอุปกรณ์ทุกตัว (ON/OFF, ALARM) จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมการทำงาน เพื่อแสดงสถานะการทำงาน ในกรณีที่ระบบสั่งให้อุปกรณ์ใดๆ ทำงานแต่อุปกรณ์นั้นไม่ทำงาน (OFF) ให้ระบบแจ้งสัญญาณเตือนเพื่อให้เจ้าหน้าที่เข้าทำการตรวจสอบในทันที

11.3.9 **เครื่องรีดและเพิ่มความเข้มข้นของตะกอน**

- เครื่องรีดและเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนจะทำงานพร้อมกับ เครื่องสูบน้ำตะกอน เครื่องสูบสารละลายโพลีเมอร์ เครื่องสูบน้ำล้างเครื่องรีดตะกอนและสายพานลำเลียงตะกอน
- เครื่องสูบสารละลายโพลีเมอร์จะทำงานโดยต่อเนื่องและเริ่มทำงานโดยสัญญาณจากเครื่องรีดตะกอนและสัญญาณจากตัววัดระดับน้ำ (Level Indicator) ในถังเตรียมสารละลายโพลีเมอร์ ซึ่งมี 2 ระดับ ในการควบคุมการทำงานของเครื่องสูบสารละลายโพลีเมอร์ ทั้ง 2 เครื่อง ดังนี้
  - ที่ระดับน้ำที่ 1 (Low Level) เครื่องสูบน้ำทั้ง 2 เครื่อง จะหยุดทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากปริมาณน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอที่จะให้เครื่องสูบน้ำทำงาน (Run Dry Protection) ให้ส่งสัญญาณเตือนน้ำแห้ง ไปยังระบบควบคุมเพื่อให้เจ้าหน้าที่ควบคุมมาเติมสารละลายโพลีเมอร์
  - ที่ระดับน้ำที่ 2 (Second Level) เครื่องสูบน้ำจะสลับการทำงานอัตโนมัติ โดย Timer Switch ในกรณีที่เครื่องหยุดทำงานทั้งสองเครื่อง เครื่องที่ทำงานน้อยกว่าจะเริ่มทำงานก่อน
- เครื่องเตรียมสารละลายโพลีเมอร์จะเริ่มและหยุดการทำงานเมื่อสามารถเตรียมสารละลายโพลีเมอร์ได้ปริมาณที่ต้องการ
- เครื่องสูบน้ำล้างเครื่องรีดตะกอน จะทำงานโดยต่อเนื่องและเริ่มทำงานโดยสัญญาณจากเครื่องรีดตะกอนและสัญญาณจากตัววัดระดับน้ำ (Level Indicator) ในถังเก็บน้ำซึ่งมี 3 ระดับ ในการควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำล้างเครื่องรีดตะกอน ทั้ง 2 เครื่อง ดังนี้
  - ที่ระดับน้ำที่ 1 (Low Level) เครื่องสูบน้ำทั้ง 2 เครื่อง จะหยุดทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากปริมาณน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอที่จะให้เครื่องสูบน้ำทำงาน ให้ส่งสัญญาณเตือนน้ำแห้ง ไปยังระบบควบคุม
  - ที่ระดับน้ำที่ 2 (Second Level) เครื่องสูบน้ำจะสลับการทำงานอัตโนมัติ โดย Timer Switch ในกรณีที่เครื่องหยุดทำงานทั้งสองเครื่อง เครื่องที่ทำงานน้อยกว่าจะเริ่มทำงานก่อน
  - ที่ระดับน้ำที่ 3 (Third Level) สัญญาณเตือนน้ำล้น ระดับน้ำสูงผิดปกติ
- สายพานลำเลียงตะกอนแห้ง จะทำงานโดยต่อเนื่องและเริ่มทำงานโดยสัญญาณจากเครื่องรีดตะกอน โดยเครื่องจะหยุดการทำงานหลังจากเครื่องรีดตะกอนหยุดทำงาน 1 นาที

- การทำงานของอุปกรณ์ทุกตัว (ON/OFF, ALARM) จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมการทำงาน เพื่อแสดงสถานะการทำงาน ในกรณีที่ระบบสั่งให้อุปกรณ์ใดๆทำงานแต่อุปกรณ์นั้นไม่ทำงาน (OFF) ให้ระบบแจ้งสัญญาณเตือนเพื่อให้เจ้าหน้าที่เข้าทำการตรวจสอบในทันที

11.4 การบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย

การควบคุมการทำงานและบำรุงรักษาที่ถูกต้องสม่ำเสมอตามวัตถุประสงค์ของเครื่องมืออุปกรณ์มีประโยชน์ทำให้เครื่องจักรอุปกรณ์ได้นานและมีอายุยืนยาว ประหยัด มีประสิทธิผลสูง และปลอดภัย การทำงานควบคุมเครื่องที่ไม่เหมาะสมอาจนำมาซึ่งความเสียหาย บาดเจ็บต่อบุคลากร เครื่องจักรในระบบทำงานไม่ได้ และเสียค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น

1) **หลักเกณฑ์เกี่ยวกับการซ่อมบำรุง** กำหนดหลักเกณฑ์เกี่ยวกับการซ่อมบำรุงเครื่องมืออุปกรณ์ในแต่ละกระบวนการย่อยของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยพิจารณาจากลำดับความสำคัญของเครื่องจักรที่จะมีผลต่อคุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ซึ่งมาตรฐานของการบำรุงรักษาระบบประกอบด้วย

ก) การวางแผนการซ่อมบำรุงแบบป้องกันล่วงหน้า

ข) การซ่อมบำรุงตามสภาพจริง เช่น ความแม่นยำ และความสม่ำเสมอของเครื่องมือ

ค) การแก้ไขและปรับปรุงปัญหาที่เกิดขึ้นจริง เช่น การอุดตันของเครื่องสูบน้ำ

2) **การวางแผนการซ่อมบำรุงและระบบการจดบันทึก** จะสามารถดำเนินการโดยบุคลากรและ/หรือระบบคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง เพื่อให้การบำรุงรักษาถูกปฏิบัติอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ และสามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงล่วงหน้าได้ เมื่อเริ่มดำเนินงานจริง รูปแบบของการซ่อมบำรุงควรจะต้องแก้ไขให้เหมาะสมตามสภาพความเป็นจริงของงาน

3) **การซ่อมบำรุงในขั้นวิกฤต** ถ้างานในระบบบำบัดน้ำเสียมีปัญหาในขั้นวิกฤตจะต้องใช้การวางแผนงานอย่างละเอียดถูกต้องเหมาะสม เพื่อที่จะให้ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถที่จะทำงานต่อไปได้ ก่อนที่จะดำเนินการซ่อมบำรุงจะต้องทำการทดสอบก๊าซในท่อดักน้ำเสียก่อนที่จะเข้าไปปฏิบัติงานในท่อดักน้ำเสีย หรือในบริเวณอื่น

4) **มาตรฐานน้ำทิ้ง** การควบคุมการทำงานของโรงบำบัดน้ำเสียให้บำบัดน้ำเสียให้ได้มาตรฐานน้ำทิ้ง ซึ่งมีลักษณะสมบัติตามมาตรฐานการทดสอบที่กำหนดไว้ รวมทั้งการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้ได้ชนิดและปริมาณที่เหมาะสม การก่อสร้างและติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานเพิ่มเติมในกรณีที่จำเป็น

5) **การกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกิน** การควบคุมการทำงานและบำรุงรักษากระบวนการกำจัดตะกอนส่วนเกินให้ได้ตามที่กำหนดไว้ จัดหาอุปกรณ์และเครื่องจักรในการเก็บกัก และขนถ่ายตะกอนส่วนเกินลงรถขนถ่ายตะกอน เพื่อขนถ่ายตะกอนพร้อมบันทึกปริมาณตะกอนที่จะนำไปกำจัด

6) **คุณภาพอากาศ** อากาศบริเวณโรงบำบัดน้ำเสียต้องได้รับการควบคุมไม่ให้เกิดกลิ่นรบกวนในบริเวณใกล้เคียงกับโรงบำบัดน้ำเสีย

7) **การจัดซื้อ จัดหาสารเคมี วัสดุสิ้นเปลือง และอื่นๆ** จัดหาสารเคมี วัสดุสิ้นเปลือง และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ในการเดินระบบรวม และทำรายการแสดงปริมาณวัสดุ และราคา ทั้งนี้รายการแสดงราคาดังกล่าวจะนำมาใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาระบบ

11.5 การบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า

ขั้นตอนการเริ่มปฏิบัติงาน

1. แจ้งข้อมูลและลงความเห็นกับฝ่ายปฏิบัติการ ว่าจะเริ่มดำเนินการซ่อมบำรุงโดยระบุถึงระบบและตำแหน่งที่ต้องการซ่อม และต้องได้รับอนุญาตก่อนเริ่มดำเนินการ
2. ตรวจสอบและจดบันทึกข้อมูลของระบบควบคุม และมาตรวัดที่เกี่ยวข้อง
3. ปฏิบัติตามมาตรฐานของความปลอดภัยและข้อควรระวังของการปฏิบัติงานซึ่งประกอบด้วย
   ก) อนุญาตให้เข้า และ/หรือ อนุญาตให้ทำงานถ้าจำเป็น
   ข) ตรวจสอบการรั่วไหลของก๊าซ ถ้าจำเป็น
   ค) ปุ่ม Reset ต้องอยู่ตำแหน่ง Local, Manual หรือ Off
   ง) ต้องแยกระบบไฟฟ้าของโรงบำบัดน้ำเสียออกจากส่วนอื่นๆ และควรจะใส่กุญแจล็อคตู้ Control ด้วย
   จ) ติดป้ายเตือน และถ้าจำเป็นให้กำหนดขอบเขตแนวรั้วด้วย
   ฉ) บริเวณที่มีก๊าซอันตรายให้สวมอุปกรณ์ช่วยหายใจ จะต้องใส่แว่นตา และสวมเสื้อนิรภัยเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ
   ช) บริเวณข้อต่อหรือท่อบรรจุของเหลวที่มีพิษ จะต้องใส่แว่นตา และสวมเสื้อนิรภัยเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ
   ซ) อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆต้องมีสายดินเสมอ
4. อุปกรณ์ที่สัมผัสกับน้ำเสีย กากตะกอน (Sludge) สารเคมี ควรที่จะทำความสะอาดตามความเหมาะสมก่อนที่จะเริ่มดำเนินการซ่อมบำรุง
5. ในระหว่างการซ่อมบำรุงระบบบำบัดน้ำเสีย จะต้องไม่ให้น้ำเสียในระบบที่ยังไม่ได้รับการบำบัดไหลออกไปสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้
6. ถ้ามีข้อสงสัยควรขอคำแนะนำจากผู้บังคับบัญชา หรือศึกษาจากคู่มือการปฏิบัติการอย่างละเอียด
7. เมื่อทำการซ่อมบำรุงเสร็จแล้ว ควรทำรายงานถึงปัจจัยหรือสิ่งที่มีผลต่อความปลอดภัย หรือประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย เสนอต่อผู้บังคับบัญชา
8. ทำความสะอาดตะแกรง หรือวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดของเสียในพื้นที่ที่ได้รับอนุญาต
9. เมื่อปฏิบัติงานเสร็จแล้วช่างซ่อมบำรุงจะต้องตรวจสอบว่า ฝาครอบทุกอย่างจะต้องปิดสนิท รวมทั้งสวิทช์เกียร์ วาวล์และอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม เคลื่อนย้ายป้ายเตือนออก และปลดล็อคตู้ Control เมื่อทุกอย่างเรียบร้อย
10. ทำการตกลงกับฝ่ายปฏิบัติการ เพื่อที่จะทดสอบประสิทธิภาพของระบบบำบัดหลังจากซ่อมบำรุงแล้ว และทำการจดบันทึกไว้
11. แจ้งฝ่ายปฏิบัติการเมื่อการทดสอบประสิทธิภาพของระบบบำบัดเป็นที่พอใจ และพร้อมที่จะให้เดินระบบตามปกติ

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย

11.6 การบันทึกข้อมูลของเครื่องจักรอุปกรณ์

การบันทึกข้อมูลจะช่วยในการเลือกใช้ ปรับแต่ง ดัดแปลงแก้ไขเครื่องจักรอุปกรณ์ และการใช้งานของระบบบำบัดน้ำเสีย อีกทั้งใช้เป็นดัชนีแสดงผลการดำเนินงาน และบำรุงรักษาโรงบำบัดน้ำเสียและเครื่องจักรอุปกรณ์

การบันทึกข้อมูลเครื่องจักรอุปกรณ์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1) **การบันทึกข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรอุปกรณ์** ควรบันทึกสรุปการทำงานของเครื่องจักรอุปกรณ์วันต่อวัน โดยแนะนำให้ใช้แบบฟอร์มรายงานประจำเดือน ซึ่งนอกจากจะใช้เพื่อบันทึกข้อมูลในการทำงานวันต่อวันแล้ว ยังใช้เป็นสรุปผลการทำงานประจำเดือนอีกด้วย

2) **การบันทึกข้อมูลการซ่อมบำรุงเครื่องจักรอุปกรณ์** แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

ก. การบันทึกการซ่อมบำรุงป้องกัน เครื่องจักรอุปกรณ์แต่ละตัวจำเป็นต้องได้รับการบำรุงรักษาและควรมีใบทะเบียนประวัติเครื่องจักรอุปกรณ์แต่ละตัว โดยมีรายละเอียดชื่อเครื่องจักรอุปกรณ์ หมายเลขเครื่อง ผู้ผลิต วันที่ติดตั้ง น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ กำหนดการซ่อมบำรุงป้องกัน เป็นต้น และควรบันทึกความถี่ในการบำรุงรักษาทุกครั้งที่เข้าทำงานกับเครื่องจักรอุปกรณ์ ชื่อพนักงานซ่อม วันที่ทำงานซ่อมและรายละเอียดงานซ่อมที่ทำจริง ตลอดจนบันทึกสิ่งผิดปกติที่ตรวจพบระหว่างการซ่อมบำรุงรักษาเช่น การรั่วซึม เสียงผิดปกติ ความร้อน เป็นต้น กำหนดการซ่อมบำรุงป้องกัน(Preventive Maintenance Schedule) ดังนี้

- ตรวจเช็คเสียงผิดปกติและอุณหภูมิลูกปืนเพลาหลัก ลูกปืนไม่ควรมีเสียงดังหรือเสื้อตุ๊กตาลูกปืนอุ่นสัมผัสได้ โดยต้องทำการตรวจทุกวัน
- ตรวจสภาพลูกปืนมอเตอร์ เกียร์ทด สายพานและมู่เล่ทุกเดือน
- ตรวจน้ำมันหล่อลื่นทุก 3 เดือน
- อัดจาระบีลูกปืนมอเตอร์ปีละครั้งหรือตามคำแนะนำผู้ผลิต
- เช็คน็อตยึดโครงรับตัวกลางปีละครั้ง

ข. การบันทึกการซ่อมฉุกเฉินหรือการบันทึกการซ่อมที่เข้าดำเนินการ นอกเหนือจากงานที่ได้วางแผน/มีกำหนดการไว้แล้ว ควรมีแบบฟอร์มเก็บประวัติการซ่อมในกรณีที่เครื่องจักรอุปกรณ์เสียหรือชำรุด หรือดัดแปลงแก้ไขเครื่องจักรอุปกรณ์ เพื่อป้องกันการเสียหรือชำรุด ควรบันทึกรายละเอียดอะไหล่ชิ้นส่วนที่ใช้ จำนวนช่างซ่อมและเวลาที่ใช้ในการซ่อม หรือค่าจ้างเหมาในกรณีที่ให้ผู้รับเหมาภายนอกดำเนินการให้ วันที่และชื่อผู้รับเหมาควรบันทึกไว้ด้วย

11.7 รายงานประจำเดือน

การบันทึกสรุปรายงานทุกวันตลอดเดือน การบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียและเครื่องจักรอุปกรณ์ เพื่อนำมาสรุปผลการทำงาน ตามตาราง 11-2

- รายงานปริมาณพลังงานที่ใช้ในการทำงานของปั๊มสูบน้ำ ของแต่ละสถานีสูบส่งน้ำเสีย
- รายงานประจำวันที่ปฏิบัติงานในการดูแลระบบท่อและเครื่องจักรอุปกรณ์
- สรุปรายการค่าใช้จ่ายในการทำงาน เช่น ค่าสารเคมี ค่าน้ำมัน ค่าซ่อมแซมท่อ ค่าซ่อมแซมเครื่องจักรอุปกรณ์ ค่าบุคลากร และอื่นๆ

- สรุปปัญหาที่เกิดในการทำงาน ที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อและเครื่องจักรอุปกรณ์
- เสนอแนวทางการปรับปรุงและการแก้ไขปัญหาในระยะสั้น ระยะยาว พร้อมกับประเมินค่าใช้จ่าย

ตาราง 11-2 บันทึกประจำวันการปฏิบัติงานบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียและเครื่องจักรอุปกรณ์

สถานที่				ผู้ปฏิบัติงาน	เดือน .....พ.ศ.....	
วันที่	เวลา	สภาพการทำงาน		แนวทางการแก้ไข	ค่าใช้จ่าย (บาท)	หมายเหตุ
		ปกติ	ปัญหาและลักษณะปัญหา			
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						

สุเทพ สริวิทยาปกรณ์

<u>ค่าใช้จ่าย</u> ได้แก่ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าวัสดุ ค่าซ่อมแซม(วัสดุและแรงงาน) ค่าบุคลากร(ล่วงเวลา)

ตาราง 11-3 บันทึกประจำเดือนการปฏิบัติงานบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียและเครื่องจักรอุปกรณ์

สถานที่			ผู้รายงาน	ตำแหน่ง				ว/ด/ป .....
เดือน	สภาพการทำงาน		แนวทางการแก้ไข	ค่าใช้จ่าย (บาท)				พลังงานไฟฟ้า
	ปกติ	ปัญหาและลักษณะปัญหา		น้ำมันเชื้อเพลิง	ค่าวัสดุ	ค่าซ่อมแซม	บุคลากร	(กิโลวัตต์)
มกราคม								
กุมภาพันธ์								
มีนาคม								
เมษายน								
พฤษภาคม								
มิถุนายน								
กรกฎาคม								
สิงหาคม								
กันยายน								
ตุลาคม								
พฤศจิกายน								
ธันวาคม								
รวม								
เฉลี่ยต่อเดือน								

ลงชื่อ .....

(.....)

ตำแหน่ง .....

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

11.8 รายงานประจำปี

สรุปจากรายงานประจำเดือน โดยทำการสรุปผลของแต่ละเดือน จะเก็บรวบรวมเป็นสถิติเพื่อใช้ในการวางแผนงานบำรุงรักษาให้ปฏิบัติอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ตามตาราง 11-3

- สรุปปริมาณพลังงานที่ใช้ในการทำงานของปั๊มสูบน้ำ ของแต่ละสถานีสูบส่งน้ำเสีย แต่ละเดือน
- สรุปงานบำรุงรักษา การซ่อมแซมหรือการเปลี่ยนวัสดุทุกเดือน
- สรุปค่าใช้จ่ายทั้งหมดในรอบปี ได้แก่ ค่าสารเคมี ค่าน้ำมัน ค่าซ่อมแซมท่อ ค่าซ่อมแซมเครื่องจักรอุปกรณ์ ค่าบุคลากร และอื่นๆ ทุกเดือน
- สรุปอุปสรรคต่างๆ และแนวทางการแก้ไขปัญหาในระยะสั้นและระยะยาว พร้อมค่าใช้จ่าย
- จัดทำแผนงานและงบประมาณสำหรับปีต่อไป

11.9 การบำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำเสีย

การบำรุงรักษาอย่างถูกต้อง การใช้งานของผู้ผลิตและตรวจสอบตามเกณฑ์ของเครื่องจักรอุปกรณ์สม่ำเสมอจะทำให้เครื่องสูบน้ำสามารถใช้งานได้นาน และไม่ชำรุดบ่อย ทั้งจะยังเป็นส่วนช่วยลดงบประมาณรวมในการซ่อมบำรุงได้อีกด้วย ตามตาราง 11-4

การบำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำชนิด Submersible Centrifugal มีขั้นตอน ดังนี้

1) **ตรวจสอบสภาพปกติ**

- บันทึกการทำงานทุกวันว่าเครื่องสูบน้ำเสียได้ทำงานเมื่อระดับน้ำถึงระดับที่กำหนดหรือไม่
- บันทึกเวลาการทำงานของเครื่องสูบน้ำเสียแต่ละเครื่อง เพื่อเป็นสถิติช่วยตัดสินใจการซ่อมบำรุงตามอายุการใช้งาน
- สังเกตสิ่งผิดปกติ เช่น เสียงดัง หรือปริมาณน้ำที่สูบได้มีค่าน้อย
- ตรวจสอบว่าสวิทช์ควบคุมการทำงานอยู่ในสภาพถูกต้อง
- ตรวจสอบว่าวาล์วหรือประตูน้ำอยู่ในสภาพถูกต้อง
- ทำความสะอาดอุปกรณ์วัดระดับอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง
- ทดสอบการทำงานแบบ Manual โดยทดสอบปรับสวิทช์ เครื่อง AUTO/ON/OFF (A/O/F) ไปยังตำแหน่ง ON (O) เครื่องสูบน้ำเสียจะต้องทำงานและเมื่อปรับไปยังตำแหน่ง OFF (F) เครื่องสูบน้ำเสียจะต้องหยุดการทำงาน
- ทดสอบการหยุดทำงานฉุกเฉินของปุ่ม Emergency Stop (ES)

2) **ขั้นตอนการเริ่มทำงาน** ก่อนให้เครื่องสูบน้ำเสียทำงาน หรือเครื่องสูบน้ำเสียที่ไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานาน ต้องตรวจสอบตามขั้นตอน

- ทำความสะอาดสถานีสูบน้ำและท่อ หากมีเศษขยะ โดยเฉพาะถุงพลาสติก เศษไม้ ก้อนหิน ปูน อาจทำให้เกิดการเสียหายต่อเครื่องสูบน้ำเสียหรือเกิดการอุดตันในเส้นท่อ
- เครื่องสูบน้ำที่ไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานานหรือทำงานมานานกว่า 6 เดือน ควรทำการตรวจความสะอาดของสะพานไฟ หากมีขี้ตะกรันอยู่ให้ทำความสะอาดและหมั่นตรวจทำความสะอาดอุปกรณ์ในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

สุทธิ สรรพเกษตรกรณ์

- การตรวจทิศทางการหมุนของใบพัดมอเตอร์เมื่อเริ่มเดินเครื่องครั้งแรกไม่ว่าจะเป็นเครื่องสูบน้ำใหม่หรือเครื่องสูบน้ำที่ได้ทำการซ่อมแซม ในกรณีที่ใบพัดมอเตอร์หมุนผิดทิศทาง แสดงว่าสายไฟสลับเฟส ต้องแก้ไขโดยดูจากคู่มือการติดตั้ง และปรึกษาช่างผู้ชำนาญ
- ตรวจสอบระดับน้ำในสถานีสูบน้ำ และบันทึกระดับน้ำในสถานีสูบน้ำให้อยู่ในระดับที่ท่วมฐานตัวเรือนของเครื่องสูบน้ำเสีย เพื่อป้องกันมิให้อากาศถูกดูดเข้าเครื่องสูบน้ำเสีย ซึ่งมีผลทำให้เกิดเสียงดังและเกิดความร้อนมาก จนเป็นอันตรายต่อเครื่องสูบน้ำเสีย
- ตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ เช่น Thermal Overload และบันทึกสภาพการใช้งาน
- การตรวจสอบสวิทช์ควบคุมเครื่องสูบน้ำเสียแบบอัตโนมัติที่ตู้ควบคุม AUTO/ ON/OFF (A/O/F) ไปที่ตำแหน่ง OFF (F)
- เปิดวาล์วด้านจ่ายของเครื่องสูบน้ำเสียให้สุด
- เปิดสวิทช์ไฟฟ้า ตู้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ (MCC) ไปที่ตำแหน่ง ON (O)
- ตรวจกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้ายัง MCC
- หมุนสวิทช์ควบคุมบริเวณเครื่องสูบน้ำ A/O/F ไปยังตำแหน่ง ON (O) เครื่องจะต้องทำงาน
- หมุนสวิทช์ A/O/F ไปยังตำแหน่ง AUTO (A) เครื่องจะทำงานอัตโนมัติ
- ให้ตรวจสอบซ้ำอีกอย่างน้อยหนึ่งครั้ง
- ถ้าพบความผิดปกติให้ทำการตรวจซ่อมและปิดสวิทช์ไฟฟ้าของตู้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยหมุนสวิทช์ไปยังตำแหน่ง OFF (F)

11.10 มาตรการป้องกันมิให้เครื่องสูบน้ำเสียเกิดการเสียหาย

น้ำเสียที่ไหลเข้าสถานีสูบน้ำ อาจจะมีเศษขยะชิ้นใหญ่ ถุงพลาสติก ไขมัน ทราย ปะปนมาด้วย ซึ่งเป็นอันตรายต่อการทำงานของเครื่องสูบน้ำเสียและอาจทำให้ท่ออุดตันได้ จึงควรติดตั้งอุปกรณ์ดักขยะ เช่น ตะแกรงดักขยะ หรือแผ่นกั้นขยะ เพื่อให้น้ำไหลเข้าท่อดูดของเครื่องสูบน้ำเสียมีเศษขยะทั้งหลาย หรือทรายน้อยที่สุด

ถ้าเกิดการสะสมไขมันขึ้น ไขมันเหล่านี้อาจเป็นก้อนใหญ่และไปอุดตันท่อดูด นอกจากนี้ ไขมันยังจะไปเป็นอุปสรรคต่อการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำชนิดลูกลอยและอิเลคโทรด จึงควรป้องกันมิให้เกิดการสะสมขึ้น โดยหมั่นทำความสะอาดผนังบ่อสูบด้วยการขูดออกหรือใช้สายฉีดน้ำแรงดันสูง

ถ้ามีทรายสะสมเกิดขึ้นจะต้องรีบเอาออก เพราะจะทำให้ซ่อมบำรุงยุ่งยาก ในกรณีที่เป็นเครื่องสูบน้ำเสียแบบแช่น้ำอาจจะขัดสี กัดกร่อนจนใช้งานไม่ได้ในเวลาอันสั้น ภายใน 1 เดือน

11.11 การตรวจผลการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ จำเป็นต้องมีการบันทึกผลการทำงานทุกวัน (Performance Record) และการตรวจสอบ (Process Monitoring) จะแบ่งเป็น 2 วิธีที่ต้องทำควบคู่กันไป คือ การตรวจสอบที่เห็นได้ (Visual) และการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย (Analytical) ในห้องปฏิบัติการ

ตาราง 11-4 บันทึกประจำวันการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำเสีย

สถานที่			ผู้ปฏิบัติงาน			เดือน .....พ.ศ.....	
รายละเอียดเครื่องจักร	ยี่ห้อ		หมายเลข			วันติดตั้ง	
	อัตราการสูบน้ำ.....ลบ.ม./ชม.		แรงดันน้ำ ..... ม.			กำลังไฟ ..... กิโลวัตต์	
วันที่	เวลา	ระยะเวลาทำงาน(ชม.)	สภาพการทำงาน		แนวทางการแก้ไข	ค่าใช้จ่าย (บาท)	หมายเหตุ
			ปกติ	ปัญหาและลักษณะปัญหา			
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							

สุเทพ สริวทยาปกรณ์

ค่าใช้จ่าย ได้แก่ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าวัสดุ ค่าซ่อมแซม(วัสดุและแรงงาน) ค่าบุคลากร(ล่วงเวลา)

11.12 การตรวจสอบที่สัมผัสได้

จะเป็นการติดตามผลจากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ที่เป็นตัวชี้บอกสถานภาพในการทำงานของแต่ละกระบวนการ เพื่อนำไปประเมินผล (Evaluation) ระบบบำบัดน้ำเสีย ว่ามีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเพียงใด ซึ่งประกอบด้วย

1) **กลิ่น** ระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้รับการควบคุมที่ดีจะไม่มีกลิ่นเหม็น แต่ถ้าระบบมีการเติมอากาศไม่เพียงพอตะกอนจุลินทรีย์ก็จะเน่าเปลี่ยนเป็นสีดำ และมีกลิ่นเหม็นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

2) **ฟอง** ฟองที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ ฟองอากาศอาจจะเกิดขึ้นจากสารเคมีหรือผงซักฟอกต่าง ๆ ที่เข้ามาในระบบก็ได้ หากพบฟองขาวออกมากับน้ำออกจากถังตกตะกอนแสดงว่ามีค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศมากเกินไป ถ้าพบฟองสีขาวที่ผิวน้ำในถังเติมอากาศแสดงว่าตะกอนจุลินทรีย์มีอายุน้อย แต่ถ้าพบว่ามีฟองสีน้ำตาลที่ผิวน้ำในถังเติมอากาศแสดงว่าตะกอนจุลินทรีย์มีอายุมาก

3) **สี** สีของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศที่ดีควรเป็นสีน้ำตาลเข้มคล้ายสีของน้ำตาลแดง ถ้าพบว่าตะกอนเร่งมีสีดำคล้ำแสดงว่าขาดออกซิเจนเกิดการเน่า จำเป็นต้องเพิ่มการเติมอากาศและหากตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศมีสีที่ผิดปกติแสดงว่ามีสารแปลกปลอมเข้ามาในระบบ ในกรณีที่น้ำเสียมีสีปนออกมามาก เช่น โรงงานฟอกย้อม โรงงานอุตสาหกรรมสี จะทำให้สีของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศเปลี่ยนแปลงไปตามสีของน้ำเสียได้

4) **สาหร่ายที่เกิดขึ้น** สาหร่ายที่พบอย่างมากมายเกาะอยู่ตามผนังของถัง และส่วนต่างๆ ของกระบวนการที่มีความชื้นและแสงแดดส่องถึง แสดงว่ามีอาหารเสริม คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเหลือออกมากับน้ำออกเป็นจำนวนมาก ดังนั้นหากพบว่ามีสาหร่ายเกิดขึ้นมากก็ควรตรวจสอบค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของน้ำเสียที่เข้าและออกจากแต่ละกระบวนการมีค่าสูงเกินมาตรฐานเท่าใดและลดปริมาณการเติมให้พอเหมาะ

5) **ลักษณะของน้ำออกจากถังตกตะกอน** (Effluent) เมื่อพบว่ามีตะกอนแขวนลอยออกมากับน้ำออกจากถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายเป็นปริมาณมาก อาจจะเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น ถ้าเห็นตะกอนแขวนลอยไหลออกที่รางรับน้ำเพียงด้านใดด้านหนึ่งแสดงว่าน้ำไหลออกทางด้านนั้นมากกว่าด้านอื่น ๆ จนกระแสน้ำพัดพาเอาตะกอนหลุดออกมาด้วย ในกรณีนี้จะต้องปรับแผ่นกั้นน้ำล้น (Weir) จนกระทั่งระดับในถังตกตะกอนมีระดับราบเสมอเท่ากันทั้งถัง แต่ถ้าพบว่ามีตะกอนแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำออกตลอดทั้งถัง แสดงว่ามีตะกอนจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนได้ยาก เช่น พวกแบคทีเรียชนิดเส้นใย (Filamentous Bacteria) กรณีที่เกิดตะกอนลอยขึ้นมาจากก้นถัง แสดงว่าเกิดสภาพไม่มีออกซิเจนในถังตกตะกอน ตะกอนก้นถังจะเกิดกระบวนการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจน เกิดก๊าซดันตะกอนลอยขึ้นมา

6) **ฟองอากาศในถังตกตะกอน** หากเกิดฟองอากาศในถังตกตะกอน แสดงว่าตะกอนจุลินทรีย์ค้างอยู่ในถังตกตะกอนนานเกินไป จนทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจนและมีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) เกิดเป็นก๊าซต่าง ๆ ลอยขึ้นมาที่ผิวน้ำ ฟองอากาศจะพยุงเอาตะกอนจุลินทรีย์ในบริเวณนั้นลอยขึ้นมาส่วนบนและไหลออกไปกับน้ำออกจากถังตกตะกอนทำให้น้ำทิ้งขุ่น

7) **ตะกอนลอย** วัสดุที่ลอยน้ำหรือชั้นของตะกอนลอย ปรากฏที่ผิวน้ำในถังตกตะกอนแสดงว่าในน้ำเข้า มีน้ำมันหรือไขมันผสมอยู่มากทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ไม่สามารถตกตะกอนได้ดี จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียต่ำ สาเหตุอีกประการหนึ่งได้แก่ การเติมอากาศมากเกินไปจนทำให้ฟองอากาศกับตะกอน จุลินทรีย์ลอยขึ้นมาที่ผิวน้ำ ปกติค่าออกซิเจนที่ละลายอยู่ในถังเติมอากาศควรมีค่าระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิกรัม/ลิตร

11.13 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

การวิเคราะห์ตัวอย่างเป็นสิ่งจำเป็นในการควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อนำมาใช้ในการประเมินสภาพการทำงาน ประสิทธิภาพของกระบวนการต่าง ๆ ประสิทธิผลของระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างมีนัยสำคัญในการปรับปรุงการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย คำนวณค่าที่ใช้ควบคุมระบบต่าง ๆ ตลอดจนมีผลต่อในการวางแผน การดำเนินการต่อไป งบประมาณ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัด

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียในห้องปฏิบัติการของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ควบคุมการทำงาน เพื่อให้เข้าใจหลักการและการนำไปใช้งานโดยจะไม่เน้นในเรื่องวิธีการวิเคราะห์ผู้ควบคุมสามารถหารายละเอียดเกี่ยวกับวิธีวิเคราะห์ได้จาก “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” ความถี่จุดเก็บตัวอย่างและพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบบำบัดน้ำเสีย แสดงในตาราง 11-5 โดยคำนึงเกณฑ์ปฏิบัติจริงของการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย เพื่อใช้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย และงบประมาณค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ตลอดปี ไม่สูงเกินความจำเป็น

กรณีที่เกิดปัญหา ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ความถี่ของจุดเก็บตัวอย่างและพารามิเตอร์จะต้องมีมากขึ้น การตรวจสอบที่สำคัญแสดงในตาราง 11-5 มีดังนี้

ตาราง 11-5 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าสถานีสูบน้ำ	น้ำที่ผ่านถังแยกน้ำมันออก	น้ำที่ผ่านถังตกตะกอนขั้นแรก	น้ำที่ผ่านถังเติมอากาศ	น้ำที่ผ่านถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย	น้ำที่ผ่านถังฆ่าเชื้อโรค	ความถี่ (จำนวนครั้ง/สัปดาห์)
จุดเก็บตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6	
อัตราการไหล	MR	MR	MR	MR	MR	MR	
อุณหภูมิของน้ำ	0	0	0	0	0		1
พีเอช (pH)	0	0	0	0	0		1
ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)			0	0	0		1
ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD)	0	0	0		0	0	7
ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD)	0	0	0		0	0	3
ตะกอนแขวนลอย (SS)	0	0	0	0	0	0	3
ตะกอนแขวนลอยระเหย (VSS)	0	0	0	0	0	0	3
ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	0	0	0		0		7
ไนเตรท			0		0		7
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0	0	0		0		7

สุเทพ สถิรพยาปกรณ์

คำอธิบายประกอบตาราง 11-5

สัญลักษณ์

0-เก็บตัวอย่างน้ำเสียและวิเคราะห์

MR-วัดอัตราการไหลและบันทึกต่อเนื่อง

จุดที่ 1 เก็บที่วาล์วเก็บตัวอย่างน้ำที่ท่อน้ำเสียจากบ่อสูบน้ำเสีย หรือเก็บที่หัวถังแยกทราย

จุดที่ 2 เก็บที่บริเวณหน้าเวียร์กระจายน้ำไปถังตกตะกอนขั้นแรก

จุดที่ 3 เก็บที่จุดน้ำออกจากถังตกตะกอนขั้นแรก

จุดที่ 4 เก็บที่ถังเติมอากาศ

จุดที่ 5 เก็บที่จุดน้ำออกจากถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย

จุดที่ 6 เก็บที่จุดน้ำออกจากถังฆ่าเชื้อโรค

11.14 การบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์โรงบำบัดน้ำเสีย

การบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์อย่างสม่ำเสมอจะทำให้เครื่องใช้งานได้ยาวนาน ก่อนการแก้ไขใด ๆ บนเครื่อง ให้ตัดกระแสไฟฟ้าให้หมดก่อน ควรสังเกตและปฏิบัติตามคำแนะนำที่คู่มือนี้อย่างถูกต้อง

1) **ตะแกรงหยาบดักขยะและเครื่องกวาดขยะอัตโนมัติ** (Automatic Coarse Screen)

- **การดูแลรักษาประจำเดือน**

  ก. การตรวจสอบ ควรทำดังนี้ :

  - ตรวจสอบแผงไฟที่ตู้ควบคุม เปลี่ยนหลอดไฟถ้าไม่สว่าง
  - ตรวจสอบรอบการทำงานของเครื่อง ได้ตามที่กำหนดไว้
  - ตรวจสอบและฟังเสียงการทำงาน หล่อลื่นตามจุดต่าง ๆ ถ้าจำเป็น

  ข. การทำความสะอาด ควรทำดังนี้ :

  - ใช้น้ำฉีดล้างสิ่งสกปรกให้ออกจากตัวเครื่อง ระวังอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับไฟฟ้า

  ค. การหล่อลื่น ควรทำดังนี้ :

  - ทาจารบีอย่างบาง ๆ ที่ชุดเกียร์
  - ทาจารบีอย่างบาง ๆ ที่แกนของล้อหมุน

- **การดูแลรักษาทุกสามเดือน**
  - ตักเศษขยะชิ้นใหญ่ ๆ (ถ้ามี) ให้ออกจากบ่อ
  - ตรวจดูว่าน๊อตทุกตัว ยังแน่น และไม่เสียหาย
  - ตรวจสวิทช์ระดับสั่งหยุด (Limit Switches) ว่าอยู่ในสภาพที่ดี
  - บันทึกการตรวจซ่อม และแก้ไข

- **การดูแลรักษารายปี**
  - ตรวจเกียร์มอเตอร์ และ การหล่อลื่น
  - ตรวจการสึกหรอบนใบกวาด และ คราดโกย และ อุปกรณ์ทุกส่วน
  - ตรวจระบบการทำงานของสวิทช์ความดัน (Pressure Switch)

2) **ตะแกรงละเอียดดักขยะและเครื่องกวาดขยะอัตโนมัติ** (Automatic Fine Screen)

- **การดูแลรักษาประจำสัปดาห์**

  ก. สายพานตักขยะ ควรทำดังนี้ :

- ตรวจดูว่าขอฟันตักขยะมีการชำรุดเสียหายหรือไม่ ถ้าหักควรเปลี่ยนใหม่
- ถ้าช่องว่างใหญ่เกินไปอาจใช้แหวนหรือใส่ขอตักเพิ่ม
- ตรวจดูความสะอาดของขอฟันตักขยะไม่ให้มีดินมาติดสะสมจนมากเกินไป
- ตรวจดูความสะอาดของหัวฉีดน้ำล้างสายพานตักขยะว่ามีสิ่งอุดตันหรือไม่

ข. ซีลของแผ่นโครงด้านข้าง ควรทำดังนี้ :

- ตรวจดูว่าแผ่นซีลด้านข้างมีการสึกหรอหรือไม่ ถ้าสึกหรอควรเปลี่ยนใหม่
- ตรวจดูว่าซีลอยู่ในตำแหน่งเหมาะสมที่ด้านข้างของโครงด้านข้าง หรือไม่ถ้าไม่ต้องแก้ไขให้ถูกต้อง

ค. การดูแลรักษาทุก 2 สัปดาห์

- ทำความสะอาดหัวฉีดน้ำล้างสายพานตักขยะ

- **การดูแลรักษาทุก 1 เดือน**

ก. สานพานตักขยะ ควรทำดังนี้ :

- ตรวจดูช่องว่างระหว่างขอตักขยะกับแผ่นโครงด้านข้าง ไม่ควรให้มีช่องว่างเกิน 4.5 มม.
- ตรวจสอบว่าแผ่นโครงด้านข้างไม่มีการงอเสียหายหรือชำรุด
- ตรวจสอบความตึงของสายพานตักขยะ

ข. แปรงหมุนปัดขยะ ควรทำดังนี้ :

- ตรวจสภาพของแปรงยางว่าสึกหรอมากหรือไม่ ถ้าสึกหรอมากควรเปลี่ยนใหม่
- ตรวจสอบน๊อตที่ใช้ยึดแปรงหมุนว่าถูกขันอยู่ในสภาพแน่นหนา ใช้น้ำยาหล่อลื่อช่วยป้องกันสนิม
- ควรล้างแปรงหมุนด้วยการฉีดน้ำล้าง

ค. แปรงกวาดขยะด้านล่าง ควรทำดังนี้ :

- ตรวจสภาพของแปรงที่อยู่ด้านล่างของเครื่องทุกครั้งเมื่อทำการสูบน้ำออกหมดจากช่องทางเดินน้ำ หรือบ่อสูบว่าชำรุดหรือไม่ และรีบทำการแก้ไข

ง. ชุดปรับแรงบิด (Torque Limited) ควรทำดังนี้ :

- ควรทำความสะอาด ตะกอน ดิน ทราย ที่ทับถมด้านหน้าเครื่องออกให้หมดไม่ควรปล่อยให้มีความหนาเกิน 10 ซม.
- ตรวจสภาพของตัวโครงสร้างของเครื่องและของบ่อสูบว่ามีส่วนใดชำรุดหรือไม่

- **การดูแลรักษาทุก 2 เดือน**

ก. ตลับลูกปืน ควรทำดังนี้ :

- ตรวจสอบตลับลูกปืนและอัดจารบีทุกตัว
- ตรวจสอบน๊อตทุกตัวทำการยึดแน่นทุกตัวอย่าให้หลวมหรือคลอนไปมา จะทำให้ตลับลูกปืนสึกหรอเร็วกว่าที่ควร

ข. โซ่สายพาน ควรทำดังนี้ :

- ตรวจสอบสภาพการสึกหรอของรางโซ่สายพาน ถ้ามีการสึกหรอมากจะทำให้โซ่สายพานขอตักเดินไม่ได้แนว และอาจทำให้เกิดความเสียหายกับแปรงหมุนด้วย

สำนักวิชาการ

- **การดูแลรักษาทุก 6 เดือน**

  ชุดขับและชุดส่งกำลัง ควรทำดังนี้ :

  - ตรวจสอบและซ่อมบำรุงชุดเฟืองทดสำหรับมอเตอร์
  - ตรวจสอบความสึกหรอของชุดเฟือง ชุดขับและชุดส่งกำลังว่าสึกหรอมากหรือไม่ ถ้ามากควรเปลี่ยนใหม่
  - ตรวจโซ่ขับว่าขาดการหล่อลื่นหรือไม่ ถ้าขาดควรหล่อลื่นด้วยจารบี
  - ตรวจสอบและปรับตำแหน่งของแกนขับและเฟืองว่าอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่
  - ตรวจสอบสภาพหัวฉีดน้ำล้างสายพานตักขยะ
  - ใช้น้ำฉีดล้างทั้งด้านหน้าและด้านหลังของเครื่องตักขยะ

- การดูแลรักษาทุก 5000 ชั่วโมง หรือ ทุก 1 ปี
  - เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นชุดเฟืองทดและชุดส่งกำลัง

3) **เครื่องแยกตะกอนทราย** (Grit Separator)

- ตรวจสอบมอเตอร์ และเกียร์มอเตอร์ ตามคำแนะนำของผู้ผลิตมอเตอร์ น้ำมันเกียร์ ตรวตจสอบทุก 4 เดือน
- เปลี่ยน กระเปาะ แพคกิ้งทุก 3 เดือน
- เปลี่ยน แผ่นเหล็กกรองเกลียว เมื่อแผ่นเหล็กสึกหรอไปมากกว่า 3 มม. ตรวจสอบทุก 3 เดือน

4) **เครื่องเป่าอากาศของถังแยกทราย**

- ตรวจระบบเส้นท่ออากาศ – ทำทุก 3 ปี
- ตรวจดูว่าวาล์วไม่ถูกปิดไว้ – ทำทุกวันก่อนเดินเครื่อง
- ตรวจดูการต่อของไฟฟ้า – ทุก 3 ปี
- ตรวจดูน้ำมันเกียร์ และ การรั่วซึม – ทุกอาทิตย์
- ตรวจความดัน และ การทำงานของวาล์วลดความดัน – ทุก 3 ปี
- ตรวจดูการสึกหรอของสายพาน – ทุก 3 เดือน และควรเปลี่ยนทุกปี
- เปลี่ยนและอัดจารบีแบริ่ง – ทุก 3 เดือน
- ทำความสะอาดท่อดูดอากาศ – ทุกปี
- เปลี่ยนซีลกันน้ำมันรั่วที่แบริ่ง – ทุก 2 ปี
- เปลี่ยนเกียร์ – ทุก 5 ปี

5) **เครื่องกวาดตะกอนในถังตกตะกอน** (Sludge Scraper)

- **การดูแลรักษาทุก 2 เดือน**

  ตลับลูกปืน ควรทำดังนี้ :

  - ตรวจสอบตลับลูกปืนและอัดจารบีทุกตัว
  - ตรวจสอบน๊อตทุกตัวทำการยึดแน่นทุกตัวอย่าให้หลวมหรือคลอนไปมา จะทำให้ตลับลูกปืนสึกหรอเร็วกว่าที่ควร

- **การดูแลรักษาทุก 6 เดือน**

  ชุดขับและชุดส่งกำลัง ควรทำดังนี้ :

- ตรวจสอบและซ่อมบำรุงชุดเฟืองทดสำหรับมอเตอร์
- ตรวจสอบความสึกหรอของชุดเฟือง ชุดขับและชุดส่งกำลังว่าสึกหรอมากหรือไม่ ถ้ามากควรเปลี่ยนใหม่
- ตรวจสอบและปรับตำแหน่งของแกนขับและเฟืองว่าอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่

- **การหล่อลื่นแบริ่ง**

- แบริ่งนี้จะเป็นแบบ บอลล์แบริ่ง ซึ่งได้มีการอัดจารบีมาจากผู้ผลิตแบริ่งแล้ว อายุการใช้งานจะอยู่ที่ 15,000 ชั่วโมง หรือ 2 ปี โดยประมาณ

- **การตรวจสอบแบริ่ง (เปลี่ยนแบริ่ง ทุก 2 ปี)**
  - ถ้าแบริ่งที่ถอดออกมาแล้วมีการหมุนรอบตัวเองโดยไม่ราบเรียบ ควรเปลี่ยนแบริ่งเสียใหม่

- **การดูแลรักษาทุก 5000 ชั่วโมง หรือ ทุก 1 ปี**
  - เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นชุดเฟืองทดและชุดส่งกำลัง

6) **ปั๊มสูบตะกอน** (Sludge Feed Pump)

- **การบำรุงรักษา**
  - ปั๊มสูบตะกอนถูกออกแบบมาเพื่อให้มีการบำรุงรักษาที่น้อยที่สุด การบำรุงรักษาส่วนใหญ่จะเป็นการปรับความกดดันของแพคกิ้ง และ การหล่อลื่นชิ้นส่วนบางส่วนเท่านั้น

- **การปรับแพคกิ้ง (ทุก 3 เดือน)**
  - น็อตที่อัดประกบกระเปาะบรรจุแพคกิ้งควรจะขันให้แน่นกว่าการหมุนด้วยมือเพียงเล็กน้อย การหมุนแน่นเกินไปจะทำให้แพคกิ้ง และ แกนหมุนของปั๊ม (shaft) เสียหายได้
  - ในช่วงที่สองสามชั่วโมงแรก ของการเดินเครื่องปั๊ม ควรมีการปรับแพคกิ้งอยู่บ่อย ๆ เพื่อความกระชับของแพคกิ้งกับแกนหมุน การปรับแพคกิ้งมีรายละเอียดดังนี้ :
    1. เมื่อเริ่มปั๊มครั้งแรก ควรปรับแพคกิ้งให้มีการรั่วซึมประมาณ 50-100 หยดต่อนาที ในการเดินเครื่องในระยะเวลา 10-15 นาทีแรก
    2. หลังจาก 15 นาทีแรก เมื่อการรั่วซึมเกิดมากขึ้น ให้ขันน็อตไปอีก 1/6 รอย เพื่อการควบคุมให้การรั่วซึมอยู่ในปริมาณ 50-100 หยดต่อนาที แล้วเดินเครื่องต่อไปอีก 15 นาที
    3. หลังจากการเดินเครื่อง 30 นาทีแล้ว ขันน็อตไปอีก 1/6 รอย เพื่อควบคุมการรั่วให้เหลือเพียงแค่ 1-2 หยดต่อนาที
  - **ข้อควรระวัง** อย่าขันกระเปาะแพคกิ้งให้แน่นเกินไปจนไม่มีการรั่วซึม การขันกระเปาะแน่นเกินไป จะทำให้แพคกิ้งสึกหรอเร็ว และแกนหมุนของมอเตอร์เสียหายได้ ถ้าในกรณีที่ไม่สามารถให้การรั่วซึมเกิดขึ้นได้ ให้ติดต่อแผนกบริการของตัวแทนจำหน่าย

- **การเปลี่ยนแพคกิ้ง**
  - เมื่อการรั่วซึมไม่สามารถควบคุมได้โดยการขันกระเปาะของแพคกิ้งให้แน่นขึ้น ในกรณีนี้แพคกิ้งอาจหมดสภาพแล้วควรจะเปลี่ยนแพคกิ้งใหม่ โดยทำตามขั้นตอนดังนี้ (ไม่จำเป็นต้องถอดปั๊มทั้งตัวเพื่อทำการเปลี่ยนแค่ แพคกิ้ง)
    1. ถอดกระเปาะแพคกิ้งและแหวน ออก แล้วเลื่อนไปตามแกนขับ

2. ใช้ตะขอดึงแพคกิ้ง เพื่อดึงเอาแพคกิ้งออก
3. ตรวจดูแกนหมุนมอเตอร์ เพื่อดูการสึกหรอ ถ้าแกนหมุนสึกหรอมากควรเปลี่ยน
4. ถ้าแกนหมุนไม่สึกหรอ เปลี่ยนแหวนแพคกิ้งทั้งชุดใหม่ก่อนการเปลี่ยนให้ใช้จารบีที่เหมาะสมทาที่แหวนแพคกิ้งก่อนจัดเรียง ให้รอยต่อของแต่ละแหวนทำมุม 90 องศา ซึ่งกันและกัน

- **ข้อควรระวัง** ในการประกอบแพคกิ้ง ควรหลีกเลี่ยงเครื่องมือที่มีปลายแหลมที่จะทำให้แพคกิ้งฉีกขาดได้ และควรหลีกเลี่ยงแพคกิ้งแบบเป็นชิ้นเดียว เนื่องจากแพคกิ้งแบบชิ้นเดียวให้ประสิทธิภาพการหล่อลื่นที่เลว

- **การหล่อลื่นแบริ่ง**
  - แบริ่งนี้จะเป็นแบบบอลล์แบริ่ง ซึ่งได้มีการอัดจารบีมาจากผู้ผลิตแบริ่งแล้ว อายุการใช้งานจะอยู่ที่ 15,000 ชั่วโมง หรือ 2 ปี โดยประมาณ
- **การตรวจสอบแบริ่ง (เปลี่ยนแบริ่ง ทุก 2 ปี)**
  - ถ้าแบริ่งที่ถอดออกมาแล้วมีการหมุนรอบตัวเอง โดยไม่ราบเรียบ ควรเปลี่ยนแบริ่งเสียใหม่
- **การตรวจสอบกระบอกปั๊ม** (Stator)
  - สภาพที่เสียหายของกระบอกปั๊มจะเห็นได้ชัดเจนในกรณีที่ประสิทธิภาพในการสูบ และส่งของปั๊ม ตกลงควรเปลี่ยนกระบอกปั๊มด้วยในกรณีที่ยางภายในมีรอยชำรุด
- **การตรวจสอบสภาพของชิ้นส่วนอื่น ๆ**
  - ตรวจดูการสึกหรอ รอยแตกของทุกชิ้นส่วนก่อนการประกอบกลับไปทุกครั้ง ควรเปลี่ยนแหวน และหมันกันซึมทุกครั้งที่มีการประกอบปั๊ม

7) **เครื่องรีดน้ำออกจากตะกอน** (Sludge Dewatering Machine)

7.1) **เครื่องบีบตะกอน** (Belt Press)

- **รายการที่ต้องทำทุกวัน**
  - ตรวจดูว่าผ้าใบอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง, ทำความสะอาดใบกวาดทุกวัน ฉีดน้ำล้างตัวเครื่องให้สะอาดหลังใช้งานทุกครั้ง
- **รายการที่ต้องทำทุกอาทิตย์**
  - ทำความสะอาดเครื่องและลูกกลิ้งอย่าให้ตะกอนแห้งติดอยู่บนเครื่อง
  - ใช้น้ำฉีดล้างเครื่องจากด้านบนเพื่อล้างส่วนรีดน้ำด้านบน และท่อต่อระหว่างส่วนรีดน้ำด้านบนกับส่วนบีบด้านล่าง
  - ตรวจดูว่าผ้าใบไม่มีการอุดตันด้วยไขมัน หรือหินปูน การล้างคราบไขมันอาจทำได้โดยใช้น้ำสบู่หรือน้ำผงซักฟอก การล้างคราบหินปูนทำได้โดยใช้กรดกำมะถันอ่อน ๆ
  - ตรวจดูการตึงและการสึกหรอของใบกวาดด้วย
  - **ข้อควรระวัง** อย่าใช้น้ำฉีดโดยตรงกับส่วนที่เป็นระบบนิวเมติค และ มอเตอร์ต่าง ๆ และตรวจดูว่าสเปรย์ล้างผ้าใบทำงานได้ดี

สำนักวิชาการปกรณ์

- **รายการซ่อมแซมที่อาจต้องทำ** เมื่อผ้าใบเกิดการสึกหรอไม่เหมาะสมที่จะใช้งานแล้ว ควรเปลี่ยน การเปลี่ยนผ้าใบอาจทำได้ดังนี้

- หมุนผ้าใบด้านที่มีตะเข็บมาที่ด้านตะกอนออก เพื่อให้เห็นและทำการแกะได้ง่าย
- ทำให้ผ้าใบหย่อนยานโดยคลายความตึงที่ลูกกลิ้งปรับความตึง
- ถอดตะเข็บของผ้าใบเก่าออก และนำตะเข็บด้านหนึ่งไปยึดกับตะเข็บของผ้าใบใหม่ ตรวจดูรอยต่อและด้านของผ้าใบให้ถูกต้องก่อนเย็บติด
- ดึงอีกปลายด้านหนึ่งของผ้าใบเก่า เพื่อให้ผ้าใบใหม่เข้าไปแทนที่ อาจเดินเครื่องบ้างเพื่อช่วยดึงผ้าใบ
- เมื่อปลายด้านที่มีตะเข็บโผล่ออกมา ก็ทำการเย็บปลายทั้งสองด้านของผ้าใหม่เข้าด้วยกัน
- ทำการเดินเครื่องและปรับผ้าใบตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

7.2) **เครื่องเตรียมโพลิเมอร์ชนิดอัตโนมัติ** (Polymer Preparation Automatic Machine)

- **การดูแลรักษาประจำสัปดาห์**
  - ตรวจระดับน้ำมันเกียร์
- **การดูแลรักษาประจำเดือน**
  - หล่อลื่นโซ่ Volumetric Feed

คำถามท้ายบท

1. เครื่องจักรกลต่อไปนี้ ติดตั้งอยู่ในหน่วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียใดบ้าง

ก.) เครื่องกวาดขยะอัตโนมัติ ข.) เครื่องสูบยกระดับน้ำเสีย
ค.) เครื่องเป่าอากาศ ง.) สะพานกวาดกรวดทราย
จ.) เครื่องแยกตะกอนทราย ฉ.) เครื่องระบบกวาดตะกอนที่ก้นถังและตะกอนลอย
ช.) เครื่องวัดอัตราการไหล ซ.) เครื่องวัดการละลายออกซิเจนในน้ำ
ฌ.) ระบบจ่ายคลอรีน ญ.) เครื่องเตรียมโพลีเมอร์
ฎ.) เครื่องรีดตะกอน ฏ.) เครื่องสูบน้ำตะกอน
ฐ.) ถังพักตะกอนแห้ง

2. อธิบายระบบการทำงานอัตโนมัติของเครื่องจักรกลในระบบบำบัดน้ำเสียดังต่อไปนี้

ก.) เครื่องกวาดขยะอัตโนมัติ ข.) เครื่องสูบยกระดับน้ำเสีย
ค.) เครื่องเป่าอากาศ ง.) สะพานกวาดกรวดทราย
จ.) เครื่องแยกตะกอนทราย ฉ.) เครื่องระบบกวาดตะกอนที่ก้นถังและตะกอนลอย
ช.) เครื่องวัดอัตราการไหล ซ.) เครื่องวัดการละลายออกซิเจนในน้ำ
ฌ.) ระบบจ่ายคลอรีน ญ.) เครื่องเตรียมโพลีเมอร์
ฎ.) เครื่องรีดตะกอน ฏ.) เครื่องสูบน้ำตะกอน

สุพพ สิริวัฒนาปกรณ์

3. ในกรณีที่เกิดเหตุบกพร่อง หรือต้องซ่อมบำรุง อุปกรณ์ใดในระบบบำบัดน้ำเสียต้องยังคงใช้ได้อย่างต่อเนื่อง

4. อธิบายผลกระทบเมื่อเศษขยะ ทราย หรือไขมัน ที่ลอยมากับน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย และมาตรการป้องกัน

5. อธิบายลักษณะทางกายภาพที่สำคัญที่ใช้สำหรับประเมินผลระบบบำบัดน้ำเสีย โดยวิธีการตรวจสอบที่สัมผัสได้ และบ่งชี้ถึงอะไรบ้าง

6. การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ ต้องตรวจสอบค่าพารามิเตอร์สำคัญใดบ้าง

7. การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ ควรเก็บตัวอย่างน้ำจากหน่วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่จุดใดบ้าง

8. ข้อมูลที่สำคัญใดบ้างของเครื่องจักรกลและอุปกรณ์ที่ควรเก็บบันทึกในการทำงานปกติและการซ่อมบำรุง

9. การดำเนินการระบบบำบัดน้ำเสียต้องมีค่าใช้จ่ายอะไรบ้าง

10. ก่อนการเดินเครื่องสูบน้ำเสียที่ไม่ได้ใช้งานมาเป็นเวลานานมีขั้นตอนอย่างไร

สุเทพ สิริวิทยาบดรณ์

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2547. **โครงการพัฒนาแนวทางด้านเทคนิคและสาธิตระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์** , ฝ่ายคุณภาพสิ่งแวดล้อมและห้องปฏิบัติการ กรมควบคุมมลพิษ. ดำเนินงานศึกษาโดย สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. เอกสารหมาย คพ. 08-024 เล่มที่ 3/3, ฝ่ายคุณภาพสิ่งแวดล้อมและห้องปฏิบัติการ 168 หน้า, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. **การบำบัดน้ำเสีย**. หจก.สยามสเตชั่นเนอรี่ซัพพลายส์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2537. **คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำเสียและน้ำฝน**. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. **การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542. **เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม, เล่มที่ 2**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540. **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 3. เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2544. **รวมกฎหมายสิ่งแวดล้อมสำหรับผู้ปฏิบัติ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2546. **เกณฑ์แนะนำการออกแบบระบบรวบรวมน้ำเสียและโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำของชุมชน เล่ม1, 2, 3, และ4**. กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ.

เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2524. **การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน**. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2531. *การวางแผนโครงการบำบัดน้ำเสียชุมชน*. วารสารวิศวกรรมสาร. ปีที่ 40.ฉบับที่ 6. หน้า 71 – 72.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2531. *การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียยางข้น*. การประชุมวิชาการครั้งที่ 26. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 3-5 กุมภาพันธ์ 2531.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2536. **โครงการออกแบบปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ**. บริษัทไม้อัดไทยจำกัด. กรุงเทพมหานคร. มาราคม 2536.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2538. **โครงการออกแบบรวมก่อสร้างระบบระบายน้ำและบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองภูเก็ต**. รายงานการออกแบบรายละเอียดเล่ม 4. กรมโยธาธิการ, กระทรวงมหาดไทย.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2542. **โครงการสำรวจและออกแบบรายละเอียดระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสีย เขตควบคุมมลพิษพื้นที่ตำบลเชิงทะเล จังหวัดภูเก็ต**. รายงานความก้าวหน้า. บริษัท เอ็น เอส คอนซัลแทนต์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2545. *ระบบบำบัดน้ำเสียแอโรบิคแพคเก็ตเบด*. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 40. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 4-7 กุมภาพันธ์ 2545.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2546. *การกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการแอนน็อกซิกของเอสบีอาร์*. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 41. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3-7 กุมภาพันธ์ 2546.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2548. *การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบชั้นตัวกลางอัดบรรจุไร้อากาศ*. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 43. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 1-4 กุมภาพันธ์ 2548.

Alloway, B.J. 1990. Sorption of trace metals by humic materials in soil. In: B.J. Alloway (Ed.). *Heavy metals in soils*. Blackie, Glasgow.

Asian Development Bank. 2001. Wastewater System Performance Audit. Pollution Control Department, Thailand.

Bear, J. 1979. Groundwater Hydraulics. McGraw-Hill, New York.

Bhamidimarri, R., A. Shilton, I. Armstrong, P. Jacobsen and D. Scarlet. 1991. Constructed wetlands for wastewater treatment: the New Zealand experience. *Wat. Sci. Tech*. 24:247-253.

Bowmer, K.H. 1987. Nutrient removal from effluents by an artificial wetland: influence of rhizosphere aeration and preferential flow studied using bromide and dye tracers. *Wat. Res*. 21:591-599.

Brassington, R. 1988. **Field Hydrogeology**. Geological Society of London Handbook Series. Open University Press.

Burgoon, P.S., K.R. Reddy and T.A. DeBusk. 1991. Vegetated submerged beds with artificial substrates II: N and P removal. *J. Env. Eng*. 117(4):408 - 422.

Chow, V.T. 1959. **Open-channel hydraulics**. McGraw-Hill, New York, NY.

Daigger, G.T. 2007. *Climate Change…What Does it mean for Wastewater Treatment?*. California Association of Sanitation Agencies (CASA) 2007 52nd Annual Conference, Ensuring Clean Water for California. Mission Bay Hilton, San Diego, CA. August 17, 2007.

Daugherty, R.L. and J.B. Franzini. 1977. **Fluid Mechanics with Engineering Applications**. McGraw-Hill Inc., New York.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

Dunbabin, J.S. and K.H. Bowmer. 1992. Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial waste waters containing metals. *Science of the Total Environment*. 3:151-168.

Eswaran, H., T. Rice, R. Ahrens, and B.A. Stewart. 2002. **Soil classification: a global desk reference**. CRC Press, Boca Raton, Fla.

Finlayson, M.C. and A.J. Chick. 1983. Testing the significance of aquatic plants to treat abattoir effluent. *Wat. Res.* 17(4):415 -422.

Glindemanna, D., M. Edwardsa, J. Liuc, and P. Kuschkd. 2005. Phosphine in soils, sludges, biogases and atmospheric implications—a review. *Ecol. Eng.* 24(5):457-463.

Greenway, M. 1997. Nutrient content of wetland plants in constructed wetland receiving municipal effluent in tropical Australia. *Wat. Sci. Tech*. 35:135–142.

Hammer, D.A. 1992. **Creating freshwater wetlands**. Lewis publishers, Inc. Chelsea, MI.

Hammer, M.J. and M.J. Hammer, Jr. 1977. **Water and Wastewater Technology**. 1st ed. Prentice Hall, New Jersey.

Hong, S.K., J.A. Lee, B.S. Ihm, A. Farina, Y. Son, K. Eun-Shik, and J.C. Choe (Eds.). 2004. **Ecological Issues in a Changing World: Status, Response and Strategy**. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Houghton, J.T., J.G. Meira-Filho, B.S. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell, 1995. *Climate Change*. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Juang, D.F. and P.C. Chen. 2007. Treatment of polluted river water by a new constructed wetland. *Int. J. Environ. Sci. Tech*. 4(4):481 – 488.

Kadlec, R.H., and R.L. Knight. 1996. **Treatment wetland**. CRC Press, Boca Raton, Fla.

Lena, S., A. Lamppa, and T. Christensen. 2007. Greenhouse gas emissions from a constructed wetland in southern Sweden. *Wetlands Ecology and Management*. 15(1), 43-50.

Leonard, K.M. and G.W. Swanson. 2001. Comparison of operational design criteria for subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment. *Wat. Sci. Tech.* 43(11): 301–308.

Livenspiel, O. 1999. **Chemical Reaction Engineering**. 3rd ed. John Wiley & Son, Inc., New York.

Loosdrecht M., C. M. Van, F. A. Brandse, A. C. de Vries. 1998. Upgrading of wastewater treatment processes for integrated nutrient removal - the BCFS process. *Wat. Sci. Tech*. 37: 209-217.

Madigan, M.T., J.M. Martinko, and J. Parker. 1997. **Brock Biology of Microorganisms**. 8th ed. Prentice Hall, New Jersey.

Matagi, S. V., D. Swai, and R. Mugabe. 1998. A review of heavy metal removal mechanisms in wetlands. *Afr. J. Trop. Hydrobiol. Fish*. 8:23-35.

Metcalf & Eddy, Inc. 1991. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse**. 3rd ed. International Edition. McGraw-Hill Inc., Singapore.

Metcalf & Eddy, Inc. 2003. **Wastewater Engineering: Treatment, and Reuse**. 4th ed. International Edition. McGraw-Hill Inc., Singapore.

Mitchell, C. and D. McNevin. 2001. Alternative analysis of BOD removal in subsurface flow constructed wetlands employing Monod kinetics. *Wat. Res.* 35(5):1295-1303.

Mitsch, W. J. 1992. Landscape design and the role of created, restored and natural riparian wetlands in controlling nonpoint source pollution. *Ecological Engineering*. 1: 27-47.

Morrison, R.T. and R.N. Boyd. 1992. **Organic Chemistry**. 6th ed. A Simon and Schuster Co., New Jersey.

Panella, S., I. Cignini, M. battilotti, M. Falcucci, V. Hull, N. Milone, M. Monfrinotti, G. A. Mulas, G. Pipornetti, L. Tancioni, S. Cataudella. 1999. Ecodepuration performances of a small-scale experimental constructed wetland system treating and recycling intensive aquaculture wastewater. Tempos in Science and Nature: Structures, Relations, and Complexity. Annals of the New York Academy of Sciences. 879:427-431.

Peavy, H.S., D.R. Rowe, and G. Tchobanoglous. 1985. **Environmental Engineering**. 2nd Printing 1987. McGraw-Hill Inc., Singapore.

Qasim, S.R. 1999. **Wastewater Treatment Plants: Planning, Design and Operation**. 2nd ed. CRC Press LLC, Florida.

Reed, R.C., E.J. Middlebrooks, R.W. Crites. 1998. Natural systems for waste management and treatment. McGrawhill, New York.

Reynolds, T.D. and P.A. Richards. 1996. **Unit Operations and Processes in Environmental Engineering**. 2nd ed. PWS Publishing Co., Boston.

Sawyer, C.N., P.L. McCarty, and G.F. Parkin. 2003. **Chemistry for Environmental Engineering and Science**. 5th ed. International Edition. McGraw-Hill Inc., Singapore.

Schlesinger, W.H. 1997. **Biogeochemistry:An Analysis of Global Change**. Academic Press, New York.

Schueler, T. R. 1992. *Design of stormwater wetland systems: guidelines for creating diverse and effective stormwater wetland systems in the Mid-Atlantic Region.* Metropolitan Council of Governments, Washington, D.C.

Sirivitayaphakorn, S. 1983. *Water Pollution Control in Thailand*. Presented to Asian Productivity Organization. Japan. November 2005. p1- 8.

Sirivitayaphakorn, S. 2005. *Nitrogen Removal in Sequencing Batch Reactor with Contact Media*. Environmental Engineering Association of Thailand Conference. Chonburi. 19 – 21 January 2005.

Smedema, L.K., W.F. Vlotman, and D.W. Rycroft. 2004. **Modern Land Drainage**. Taylor & Francis Group plc, London.

Snoeyink, V.L. and D. Jenkins. 1980. **Water Chemistry**. John Wiley & Son, Inc., New York.

Sposito, G. and I. Thornton. 1983. **Applied Environmental Geochemistry**. Academic Press, London.

Sun, G. and D. Austin, 2007. Completely autotrophic nitrogen-removal over nitrite in lab-scale constructed wetlands: Evidence from a mass balance study. *Chemosphere*. 68(6):1120-1128.

Tanner, C.C., J.S. Clayton and M.P. Upsdell. 1995. Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewater in constructed wetlands—II, Removal of nitrogen and phosphorus. *Wat. Res*. 29(1): 27–34.

Tanner, C.C. and R.H. Kadlec. 2002. *Oxygen flux implications of observed nitrogen removal rates in subsurface-flow treatment wetlands*. 8th international conference on wetland system for water pollution control, Arusha, Tanzania.

Tchobanoglous, G. and E. D. Schroeder. 1985. **Water Quality: Characteristics, Modeling, Modification**. Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts.

Thut, N.R. 1989. Utilisation of artificial marshes for treatment of pulp mill effluents. In **Constructed wetlands for wastewater treatment**. D.A. Hammer, ed. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan.

United Nations. 1997. *UN Briefing Papers/The World Conferences: Developing Priorities for the 21st Century*. 112 pp. ISBN 92-1-100631-7.

United States Environmental Protection Agency. 1988. *Design manual-constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment.* EPA/625/1-88/022. Cincinnati, Ohio.

United States Environmental Protection Agency. 1993. *Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment: A technical assessment.* EPA 832/R/93/008. Office of water, Washington, D.C.

United States Environmental Protection Agency. 2000. *Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewater*. EPA/625/R-99/010, Washington, D.C.

United States Environmental Protection Agency. 2000. *Technology Fact Sheet: Oxidation Ditches*. EPA 832-F-00-013. Office of Water, Washington, D.C.

United States Environmental Protection Agency. 2006. *U.S. Emissions Inventory 2006: Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2004*. EPA 430-R-05-003. Washington, D.C.

Watson, J.T., and J.A. Hobson. 1989. Hydraulic design considerations and control structures for constructed wetlands for wastewater treatment. In **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**. D. A. Hammer (ed.). Lewis Publishers, Chelsea, MI.

Wood, A. 1995. Constructed wetlands in water pollution control: fundamentals to their understanding. *Wat. Sci Tech*. 32(3):21–29.

Wrage, N., G.L. Velthof, V.M.L. Beusichem and O. Oenema. 2001. Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide. *Soil Biol. Biochem.* 33:1723–1732.

ศูนย์วิทยทรัพยากร

ภาคผนวก ก มาตรฐานน้ำทิ้งต่างๆ เพิ่มเติม

ตาราง ก1 มาตรฐานน้ำทิ้งลงบ่อน้ำบาดาล
(ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 5 (พ.ศ. 2521)

ตาราง ก2 มาตรฐานน้ำทิ้งจากที่ดินจัดสรร
(ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม 2 ฉบับ (ฉบับที่ 5 และ 6)

ตาราง ก3 มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานและทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตที่โครงการชลประทาน
(คำสั่งกรมชลประทานที่ 883/2532 ลงวันที่ 19 ธันวาคม 2532)

ตาราง ก4 มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร
(ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไปเล่ม 118 ตอนพิเศษ 8ง หน้าที่ 11-17 วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2544)

ตาราง ก5 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง
(ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 119 ตอนที่ 43ง ลงวันที่ 28 พฤษภาคม 2545) เป็นต้น

สุเทพ สิริวิทย์ปกรณ์

ตาราง ก1 มาตรฐานน้ำทิ้งลงบ่อน้ำบาดาล

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์กำหนดสูงสุด)
1. สี (Color)	ปลาตินัมโคบอลต์	50
2. ความขุ่น (Turbidity)	หน่วยความขุ่น (JTU)[1]	50
3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5.0-9.2
4. ปริมาณสารทั้งหมด (Total Solids)	มก./ล.	2,000
5. บีโอดี (BOD)[2]	มก./ล.	40
6. น้ำมันและไขมัน (Fat , Oil and Grease)	มก./ล.	5
7. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	มก./ล.	5
8. ทองแดง (Cu)	มก./ล.	1.5
9. สังกะสี (Zn)	มก./ล.	15
10. โครเมียม (Cr)	มก./ล.	2
11. สารหนู (As)	มก./ล.	0.05
12. ไซยาไนด์ (CN)	มก./ล.	0.2
13. ปรอท (Hg)	มก./ล.	0.002
14. ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	0.1
15. แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	0.1
16. แบเรียม (Ba)	มก./ล.	1

1 Jackson Turbidity Unit

2 BOD_5

สุเทพ สรีวิทยาภรณ์

ตาราง ก2 มาตรฐานน้ำทิ้งจากที่ดินจัดสรร

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานสูงสุดตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง		วิธีการตรวจสอบ[1]
		ที่ดินจัดสรรเกิน 100 แปลงแต่ไม่เกิน 500 แปลง	ที่ดินจัดสรรเกินกว่า 500 แปลงขึ้นไป	
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5.5-9.0	5.5-9.0	ใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำ(pH Meter)
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล.	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 20	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษให้ความเห็นชอบ
3. ปริมาณของแข็ง (Solids)				
- ปริมาณสารแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 30	กรองผ่าน Glass Fiber Filter Disc
- ปริมาณตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มล./ล.	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	วิธีการจมตัวของตะกอนสู่ก้นกรวยอิมฮอฟ (Imhoff Cone) ปริมาตร 1,000 ลบ.ซม. ในเวลา 1 ชั่วโมง
- สารที่ละลายได้ทั้งหมด[2] (Total Dissolved Solids)	มก./ล	ไม่เกิน 500	ไม่เกิน 500	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. ซัลไฟด์ (Sulfide)	มก./ล.	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 1.0	การไตเตรต (Titration)
5. ไนโตรเจนในรูป ที เค เอ็น (TKN)	มก./ล.	ไม่เกิน 35	ไม่เกิน 35	วิธีการเจลดาห์ล (Kjeldahl)
6. น้ำมันและไขมัน (Fat , Oil and Grease)	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	การสกัดด้วยตัวทำละลาย

1 วิธีการตรวจมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากที่ดินจัดสรรให้เป็นไปตามวิธีการมาตรฐาน สำหรับการวิเคราะห์น้ำเสียใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง APHA : American Public Health Association, AWWA : American Water Works Association และ WPCF : Water Pollution Control Federation ร่วมกันกำหนดไว้

2 เป็นค่าที่เพิ่มจากปริมาณสารละลายในน้ำใช้ตามปกติ

สุเทพ สรวิทยาปกรณ์

ตาราง ก3 มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานและทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตที่โครงการชลประทาน

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์กำหนดสูงสุด)
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5-8.5
2. ความนำไฟฟ้า	ไมโครโมส์/ซม.	2,000
3. ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS)	มิลลิกรัม/ลิตร	1,300
4. บีโอดี (BOD_5)	มิลลิกรัม/ลิตร	20
5. สารแขวนลอย (SS)	มิลลิกรัม/ลิตร	30
6. เปอร์มังกาเนต (PV)[1]	มิลลิกรัม/ลิตร	6.0
7. ซัลไฟด์คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Sulfide as H_2S)	มิลลิกรัม/ลิตร	1.0
8. ไซยาไนด์คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	มิลลิกรัม/ลิตร	0.2
9. น้ำมันและไขมัน (Fat ,Oil and Grease)	มิลลิกรัม/ลิตร	5.0
10. ฟอร์มัลดีไฮด์ (Fformaldehyde)	มิลลิกรัม/ลิตร	1.0
11. ฟีนอลและ/หรือครีโซลส (Phenol& Cresols)	มิลลิกรัม/ลิตร	1.0
12. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	มิลลิกรัม/ลิตร	1.0
13. ยาฆ่าแมลง	มิลลิกรัม/ลิตร	ไม่มีเลย
14. สารกัมมันตรังสี	มิลลิกรัม/ลิตร	ไม่มีเลย
15. สี และกลิ่น (Color and Odor)	-	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
16. น้ำมันทาร์ (Tar)	-	ไม่มีเลย
17. โลหะหนัก		
- สังกะสี (Zn)	มิลลิกรัม/ลิตร	5.0
- โครเมียม (Cr)	มิลลิกรัม/ลิตร	0.3
- อาร์เซนิค (As)	มิลลิกรัม/ลิตร	0.25
- ทองแดง (Cu)	มิลลิกรัม/ลิตร	1.0
- ปรอท (Hg)	มิลลิกรัม/ลิตร	0.005
- แคดเมียม (Cd)	มิลลิกรัม/ลิตร	0.03
- แบเรียม (Ba)	มิลลิกรัม/ลิตร	1.0
- ซิลิเนียม (Se)	มิลลิกรัม/ลิตร	0.02
- ตะกั่ว (Pb)	มิลลิกรัม/ลิตร	0.1
- นิคเกิล (Ni)	มิลลิกรัม/ลิตร	0.2
- แมงกานีส (Mn)	มิลลิกรัม/ลิตร	0.5

1 Permanganate Value

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

ตาราง ก4 มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานสูงสุด	
		มาตรฐาน ก	มาตรฐาน ข
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5.5-9	5..5-9
2. บีโอดี (BOD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	60	100
3. ซีโอดี (COD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	300	400
4. สารแขวนลอย (SS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	150	200
5. ไนโตรเจนรวม (TKN)	มิลลิกรัมต่อลิตร	120	200

หมายเหตุ:

1. มาตรฐาน ก ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มประเภท ก และมาตรฐาน ข ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มประเภท ข และ ค

2. การแบ่งประเภทของฟาร์มสุกรจะใช้น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ (นปส.) หรือ Livestock Unit เป็นเกณฑ์ เนื่องจากฟาร์มแต่ละแห่งจะประกอบด้วยสุกรที่มีความแตกต่างกันทั้งประเภท ขนาด และช่วงอายุ ซึ่งจะทำให้เกิดของเสียและน้ำเสียในปริมาณที่แตกต่างโดยมีข้อกำหนดดังนี้

2.1 ประเภทของฟาร์มสุกร แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

(1) ประเภท ก มีน้ำหนักหน่วยปศุสสัตว์ มากกว่า 600 นปส. (เทียบเท่าจำนวนสูตร มากกว่า 5,000 ตัว)

(2) ประเภท ข มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ ตั้งแต่ 60-600 นปส.(เทียบเท่าจำนวนสุกร ตั้งแต่ 500-5,000 ตัว)

(3) ประเภท ค มีน้ำหนักปศุสัตว์ ตั้งแต่ 6-น้อยกว่า 60 นปส. (เทียบเท่าจำนวนสุกร ตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว)

2.2 หลักเกณฑ์การใช้น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์

เมื่อ น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ 1 หน่วย เท่ากับน้ำหนักสุกรรวม 500 กิโลกรัม

โดย น้ำหนักเฉลี่ยสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ เท่ากับ 170 กิโลกรัม

น้ำหนักเฉลี่ยสุกรขุน เท่ากับ 60 กิโลกรัม

น้ำหนักเฉลี่ยลูกสุกร เท่ากับ 12 กิโลกรัม

3. การบังคับใช้มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรจะเริ่มใช้บังคับกับฟาร์มสุกรประเภท ก (ขนาดใหญ่) และประเภท ข (ขนาดกลาง) ก่อน โดยกำหนดให้เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษตามมาตรา 69 ของพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมนอกเขตที่ตั้งแหล่งกำเนิดมลพิษ ทั้งนี้ให้บังคับใช้เมื่อพ้นกำหนดหนึ่งปีนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

สำหรับฟาร์มสุกรประเภท ค (ขนาดเล็ก) จะยังไม่บังคับใช้มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มดังกล่าว แต่จะใช้เสมือนเป็นมาตรฐานทางวิชาการที่จะสนับสนุนและส่งเสริมให้ฟาร์มสุกรขนาดเล็กมีการจัดการฟาร์มที่ถูกต้องก่อนที่จะมีการใช้บังคับในระยะต่อไป เนื่องจากฟาร์มประเภท ค มีเป็นจำนวนมากและมีศักยภาพในการลงทุนต่ำ จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการประชาสัมพันธ์สนับสนุนการปรับปรุงวิธีการจัดการฟาร์ม ปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ หรือช่วยเหลือในการจัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย

สำนักวิชาการ

ตาราง ก5 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5.5-9.0
2. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)	มิลลิกรัม/ลิตร	ไม่เกิน 200
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids: SS)	มิลลิกรัม/ลิตร	ไม่เกิน 60
4. น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease)	มิลลิกรัม/ลิตร	ไม่เกิน 15

เกี่ยวข้องกับประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม 2 ฉบับ เพื่อ

1) กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

2) กำหนดให้สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

โดยมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 29 พฤษภาคม 2545 ตามประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 119 ตอนที่ 43ง ลงวันที่ 28 พฤษภาคม 2545

คำนิยามที่กำหนดในการประกาศฯ

สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง หมายถึง สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทที่ 1 ตาม ประกาศกรมโยธาธิการ เรื่อง มาตรฐานความปลอดภัยของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทที่ 1 ฉบับลงวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2538 และสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทที่ 2 ตามประกาศกรมโยธาธิการ เรื่อง มาตรฐานความปลอดภัยของสถานีบริการนำมันเชื้อเพลิงประเภทที่ 2 ฉบับลงวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2538

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วจนเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งตามที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง แหล่งน้ำสาธารณะ นอกจากจะหมายถึง แหล่งน้ำต่างๆ ที่ใช้ในด้านสาธารณะประโยชน์แล้วให้หมายความรวมถึงท่อระบายน้ำสาธารณะด้วย

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง กระบวนการทำหรือปรับปรุงน้ำเสีย เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ทั้งนี้ ห้ามมิให้ใช้วิธีการทำให้เจือจาง (Dilution)

ระยะเวลาบังคับใช้มาตรฐาน

ประกาศฯ นี้ใช้บังคับกับสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้รับอนุญาตประกอบกิจการสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง นับตั้งแต่วันที่ 29 พฤษภาคม 2545 เว้นแต่

1. สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงเก่า ซึ่งตั้งอยู่ในเขตเทศบาล กรุงเทพมหานคร และเมืองพัทยา ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนด 2 ปี นับตั้งแต่วันที่ 29 พฤษภาคม 2545

2. สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงเก่า ซึ่งตั้งอยู่นอกเขตเทศบาล กรุงเทพมหานครและเมืองพัทยา ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนด 5 ปี นับตั้งแต่วันที่ 29 พฤษภาคม 2545

สำนักวิชาการ

วิธีการตรวจสอบมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

ลักษณะน้ำทิ้ง	วิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง
1.ความเป็นกรดและด่าง (pH)	ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)
2.ซีโอดี(COD)	ใช้วิธีย่อยสลายโดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion)
3. สารแขวนลอย (SS)	ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease)	ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

หมายเหตุ:

วิธีการตรวจสอบมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำเสียที่สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยกำหนดไว้หรือตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) ที่ APHA : American Public Health Association, AWWA : American Water Works Association และ WPCF : Water Pollution Control Federation ร่วมกันกำหนดไว้

วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในเก็บแบบจ้วง (Grab Sampling) จากจุดที่สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงระบายน้ำทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมนอกเขตพื้นที่ของสถานี หรือจุดที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ในกรณีที่มีการระบายน้ำทิ้งหลายจุดให้เก็บทุกจุด หน้าที่ของเจ้าของหรือผู้ครอบครองสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

1. ให้ความร่วมมือกับภาครัฐบาลในการแก้ไขปัญหามลพิษ ไม่ลักลอบปล่อยน้ำทิ้งที่ไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่แวดล้อม

2. ปฏิบัติตามกฎหมายพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

3. ในกรณีที่อยู่ในพื้นที่ที่มีระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนและเจ้าของหรือผู้ครอบครองไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียเป็นของตนเอง ให้ถือเป็นหน้าที่จะต้องส่งน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน และต้องจ่ายค่ายบริการ

4. ในกรณีที่อยู่ในพื้นที่ที่ยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน ให้ถือเป็นหน้าที่ต้องติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียของตนเอง เพื่อบำบัดน้ำเสียให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณเพิ่มเติม

ตัวอย่างที่ 1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์

ตัวอย่างที่ 2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบบ่อผึ่ง (บ่อแฟคัลเททีฟ และ บ่อบ่ม ต่ออนุกรมกัน)

ตัวอย่างที่ 3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบบ่อผึ่ง (บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ 2 บ่อ และบ่อบ่ม 1 บ่อ ต่ออนุกรมกัน คำนึงถึงความลาดเอียงของขอบบ่อ)

ตัวอย่างที่ 4 กระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบบ่อผึ่ง (บ่อหมัก บ่อแอโรบิกอัตราต่ำ และบ่อบ่ม อย่างละ 1 บ่อ ต่ออนุกรมกัน คำนึงถึงความลาดเอียงของขอบบ่อ)

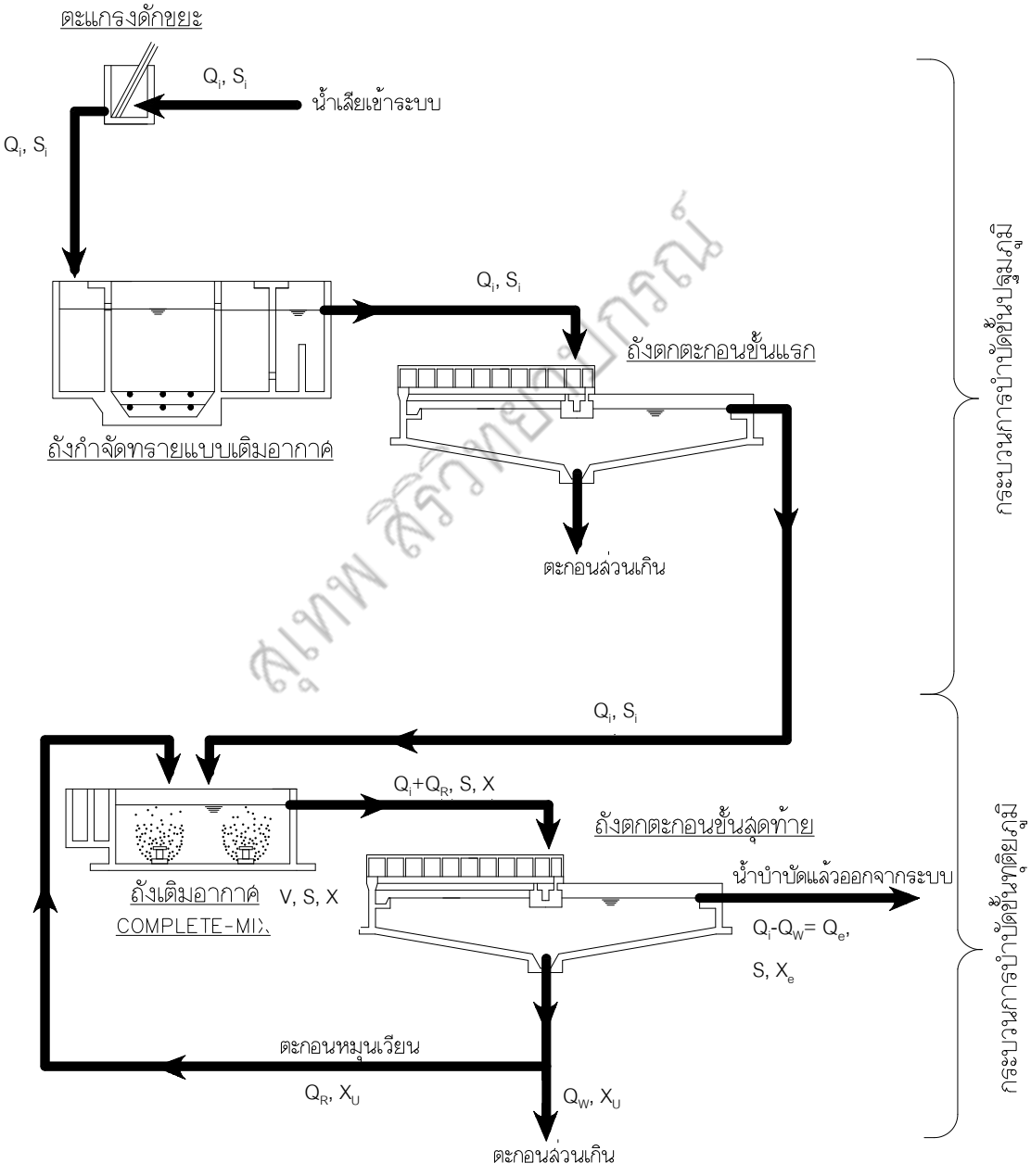
ตัวอย่างที่ 5 กระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบบ่อผึ่ง (บ่อหมัก สระเติมอากาศ และบ่อบ่ม อย่างละ 1 บ่อ ต่ออนุกรมกัน คำนึงถึงความลาดเอียงของขอบบ่อ)

ตัวอย่างที่ 6 กระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบสระเติมอากาศ

ตัวอย่างที่ 7 กระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบอาร์บีซี

สุเทพ สิริวัฒนาปกรณ์

ตัวอย่างที่ 1 คำนวณกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนพักอาศัย ด้วยระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยต่อวัน (Q_i) 10,000 ลบ.ม. ค่า BOD_5 (S_i) และของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำเสียเข้าระบบคือ 200 มก./ล. และ 150 มก./ล. ตามลำดับ โดยลดค่า BOD_5 (S) และ SS ในน้ำที่ออกจากถังตกตะกอน (X_e) ให้เหลือ 20 มก./ล. และ 25 มก./ล. ตามลำดับ ระบบมีบำบัดแสดงในรูปที่ ข-1 ประกอบด้วยกระบวนการบำบัดขั้นปฐมภูมิ ได้แก่ ตะแกรงดักขยะ ถังกำจัดทรายแบบเติมอากาศ และถังตกตะกอนขั้นแรก กระบวนการบำบัดขั้นทุติยภูมิ ได้แก่ ถังเติมอากาศ และถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย โดยสมมุติให้มีการลดค่า BOD_5 เกิดขึ้นเฉพาะในถังเติมอากาศเท่านั้น



สุเทพ สรรพยาอุดมการณ์

รูปที่ ข-1 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย Complete-Mix Activated Sludge

1. คำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล

โดยกำหนดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลดังนี้

- ปริมาณน้ำเสียชั่วโมงสูงสุด = 1.80 เท่าของปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยต่อวัน

$$= \frac{1.80 \cdot 10{,}000 \text{ ลบ.ม./วัน}}{24 \text{ ชม./วัน}}$$

$$= 750 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

2. กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นปฐมภูมิ

2.1 ตะแกรงดักขยะ โดยใช้เกณฑ์การออกแบบดังนี้

ตาราง ข-1 เกณฑ์การออกแบบตะแกรงดักขยะ

รายการ	ทำความสะอาดด้วยแรงงาน	ทำความสะอาดด้วยเครื่องจักร
ขนาดของหน้าตัดแท่งเหล็กที่ใช้เป็นตะแกรง:		
ความหนา, ซม.	0.5-1.5	0.5-1.5
ความยาว, ซม.	2.5-4.0	2.5-4.0
ระยะห่างระหว่างแท่งเหล็ก, ซม.	2.5-5.0	1.5-7.5
ความชันจากแนวดิ่ง, องศา	30-45	0-30
ความเร็วของน้ำก่อนเข้าสู่ตะแกรง, เมตร/วินาที	0.3-0.6	0.6-1.0
การสูญเสียพลังงานที่รับได้ , ซม.	15	15

ที่มา : ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (1991)

- เลือกใช้ตะแกรงดักขยะชนิดทำความสะอาดด้วยเครื่องจักร
- กำหนดขนาดช่องทางน้ำเข้า กว้าง x น้ำลึก = 0.70 ม. X 0.50 ม.
- ความเร็วน้ำไหลในช่องทางน้ำเข้าที่อัตราน้ำเสียเฉลี่ยรายวัน

$$= \frac{10{,}000 \text{ ลบ.ม./วัน}}{0.70\text{ม.} \cdot 0.50\text{ม.} \cdot 24\text{ชม./วัน} \cdot 3{,}600\text{วินาที/ชม.}}$$

$$= 0.33 \text{ ม./วินาที}$$

- กำหนดขนาดตะแกรง

ช่องกว้างของช่องตะแกรง = 5 ซม.

ความหนาของขี่ตะแกรง = 1 ซม.

$$\text{จำนวนช่องตะแกรง} = \frac{\text{ความกว้างช่องทางน้ำเข้า}}{(\text{ช่องกว้างของช่องตะแกรง} + \text{ความหนาของขี่ตะแกรง})}$$

$$= (0.70 \text{ ม.}) \cdot (100\text{ซม./ม.}) / (5 \text{ ซม.} + 1\text{ซม.})$$

$$= 11 \text{ ช่อง}$$

สถาบันวิทยาการน้ำ

- ความเร็วน้ำไหลผ่านช่องตะแกรงที่อัตราน้ำเสียชั่วโมงสูงสุด

$$= \frac{750 \text{ ลบ.ม./ชม.}}{(11 \text{ ช่อง})\cdot(5 \text{ ซม./100มม./ม.})\cdot(0.50\text{ม.})\cdot 3{,}600\text{วินาที/ชม.}}$$

= 0.76 ม./วินาที (ตามเกณฑ์ในตาราง 1)

2.2 ถังกำจัดทรายแบบเติมอากาศ โดยใช้เกณฑ์การออกแบบดังนี้

ตารางที่ ข-2 เกณฑ์การออกแบบถังกำจัดทรายแบบเติมอากาศ

รายการ	ค่า	
	ช่วง	ค่าทั่วไป
ระยะกักเก็บทางชลศาสตร์ที่อัตราการไหลสูงสุด, นาที	2-5	3
ขนาด:		
ลึก, ม.	2.1-5.0	
ยาว, ม.	7.6-20	
กว้าง, ม.	2.4-7.0	
อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความลึก	1:1-5:1	1.5:1
อัตราส่วนระหว่างความยาวและความลึก	3:1-5:1	4:1
ปริมาณอากาศที่เติม, ลบ.ม./นาที ม.ของความยาว	0.2-0.5	
ปริมาณตะกอนทราย, ลบ.ม. ตะกอนทราย /10^3 ลบ.ม. น้ำ	0.004-0.202	0.015

ที่มา : ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (1991)

- กำหนดขนาดช่องทางน้ำเข้า กว้าง x ยาว x น้ำลึก = 2.50 ม. X 8.00 ม. X 2.50 ม.

- ระยะเวลากักเก็บที่อัตราน้ำเสียชั่วโมงสูงสุด = $\frac{2.50\text{ม.}\cdot 8.00\text{ม.}\cdot 2.50\text{ ม.}\cdot 60 \text{ นาที/ชม.}}{750 \text{ ลบ.ม./ชม.}}$

= 4 นาที

- สัดส่วนถัง กว้าง : น้ำลึก = 1 : 1 , ยาว : กว้าง = 3.2 : 1

- ปริมาณอากาศที่ต้องการ โดยกำหนดอัตราการเป่าอากาศต่อความยาวถัง

= 0.40 ลบ.ม./นาที-ม.

อัตราการเป่าอากาศที่ต้องการ = (0.40 ลบ.ม./นาที-ม.)•(8.00ม.)

= 3.2 ลบ.ม./นาที

สุขภาพ สิ่งแวดล้อม ยาปกรณ์

- ปริมาณตะกอนทราย โดยกำหนด ปริมาณตะกอนทรายในน้ำเสีย

= 0.02 ลบ.ม.ตะกอนทราย/10^3ลบ.ม.น้ำเสีย

ปริมาณตะกอนทรายจากถังกำจัดทราย = $\frac{(0.02 \text{ ลบ.ม./ลบ.ม.}) \cdot (10{,}000 \text{ ลบ.ม./วัน})}{10^3}$

= 0.20 ลบ.ม./วัน

2.3 ถังตกตะกอนขั้นแรก โดยใช้เกณฑ์การออกแบบดังนี้

ตาราง ข-3 เกณฑ์การออกแบบถังตกตะกอนขั้นแรก

รายการ	ค่า	
	ช่วง	ค่าทั่วไป
ถังตกตะกอนขั้นแรก ตามด้วยระบบบำบัดขั้นทุติยภูมิ:		
ระยะกักเก็บทางชลศาสตร์, ชม.	1.5-2.5	2.0
อัตราการไหลของน้ำออกจากถังตกตะกอน, ลบ.ม./ตร.ม. วัน		
ที่อัตราการไหลเฉลี่ย	32.6-48.8	
ที่อัตราการไหลสูงสุด	81.4-122	102
ภาระบรรทุกที่เวียร์, ลบ.ม./ ม วัน	124-496	248

ที่มา : ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (1991)

- กำหนดค่าอัตราการไหลของน้ำออกจากถังตกตะกอน

รับปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยต่อวัน = 40 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน

- พื้นที่ผิวถังตกตะกอนขั้นแรกที่ต้องการ = $\frac{10{,}000 \text{ ลบ.ม./วัน}}{40 \text{ ลบ.ม./ตร.ม.-วัน}}$

= 250 ตร.ม.

- ตรวจสอบเมื่อรับปริมาณน้ำเสียชั่วโมงสูงสุด = $\frac{750 \text{ ลบ.ม./ชม.} \cdot 24 \text{ ชม./วัน}}{250 \text{ ตร.ม.}}$

= 72 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน

- กำหนดความลึกน้ำ = 4 ม. (ค่าตามเกณฑ์ 2.4-4.1 ม.)

- ตรวจสอบระยะเวลากักเก็บ = $\frac{4 \text{ ม.} \cdot 250 \text{ ตร.ม.} \cdot 24 \text{ ชม./วัน}}{10{,}000 \text{ ลบ.ม./วัน}}$

= 2.4 ชม.

- กำหนดประสิทธิภาพการกำจัด SS = 60 % (ค่าตามเกณฑ์ 50 - 70 %)

- ค่า SS เข้าถังตกตะกอนขั้นแรก = 150 มก./ล.

ศ.พ. สถิตยาภรณ์

- ค่า SS ออกจากถังตกตะกอนขั้นแรก = 150 มก./ล.·(100-60)%/100%

= 60 มก./ล.

- ปริมาณ SS ที่กำจัดจากถังตกตะกอนขั้นแรก โดยมีคุณสมบัติของตะกอนจากถังตกตะกอนขั้นแรกดังนี้

ตาราง ข-4 เกณฑ์การออกแบบถังตกตะกอนขั้นแรก

ชนิดของตะกอนสลัดจ์	ความถ่วงจำเพาะ	ปริมาณของแข็งแห้ง , %	
		ช่วง	ค่าทั่วไป
จากถังตกตะกอนขั้นแรกเท่านั้น: สำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นปานกลาง	1.03	4-12	6

ที่มา : ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (1991)

= [(150 – 60) มก./ล.)·(1,000 ล./ลบ.ม.)/(1,000,000มก./กก.)]·10,000ลบ.ม./วัน

= 0.90 กก./วัน

กำหนด Specific gravity = 1.03 และ Dry solid concentration = 6 %

ปริมาณ SS ที่กำจัด = $\frac{\text{0.90 กก.วัน}}{\text{(1.03)(6\%/100\%)(1,000 กก.น้ำ/ลบ.ม.)}}$

= 0.015 ลบ.ม./วัน

3. กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ

3.1 ถังเติมอากาศของระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ ใช้เกณฑ์การออกแบบดังนี้

ตาราง ข-5 เกณฑ์การออกแบบถังเติมอากาศของระบบเอเอสที่ใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์

θ_C	F/M	V_L	θ_H	X	$\frac{Q_R}{Q}$ [1]
(วัน)	(กก.BOD_5ต่อ กก.มวลชีวภาพ ต่อวัน)	(กก.BOD_5 ต่อ ลบ.ม. ต่อวัน)	(ชั่วโมง)	(มก. ต่อ ลิตร)	
3 – 15	0.2 – 0.6	0.3 – 2.0	3 – 5	1500 – 4000	0.25 – 1.00

กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ ดังนี้

- SS ในน้ำที่ออกจากถังตกตะกอน สามารถย่อยสลายทางชีวภาพต่อไปอีก = 55 %

- BOD_L ที่ต้องการสำหรับการย่อยสลายเซลล์ = 1.42 เท่าของความเข้มข้นเซลล์
- BOD_5 = 0.70 BOD_L
- MLVSS / MLSS = 0.85
- MLVSS ในถังเติมอากาศ , X = 3,000 มก./ล.
- MLVSS ของตะกอนหมุนเวียน X_U = 8,000 มก.SS/ล.
- Mean Cell Residence Time , θ_C = 10 วัน
- Yield Coefficient , Y = 0.60 มก.VSS/มก.BOD_5
- Endogenous Decay Coefficient , k_d = 0.06 วัน$^{-1}$
- น้ำเสียเข้าระบบมีค่า BOD_5 : N : P = 100 : 5 : 1 เพียงพอต่อการเติบโตของจุลชีพ
- อุณหภูมิ 20 °C

(1) ความสัมพันธ์ของ BOD_5 ทั้งหมดของน้ำที่ปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำ

= BOD_5 ของน้ำที่ต้องการ (S) + BOD_5 สำหรับย่อย SS ในน้ำที่ออกจากระบบ (S_x)

- ความเข้มข้น SS ในน้ำที่ออกจากระบบที่สามารถย่อยสลายต่อไปอีก

= (55%/100%) ·(25 มก./ล.)

= 13.75 มก./ล.

- BOD_L สำหรับย่อย SS ในน้ำที่ออกจากระบบ

= (1.42 มก.O_2ที่ใช้/มก.เซลล์SSที่ย่อยสลาย)·(13.75 มก./ล.)

= 19.53 มก./ล.

- BOD_5 สำหรับย่อย SS ในน้ำที่ออกจากระบบ (S_x)

= 0.70 BOD_L

= (0.70) ·(19.53 มก./ล.)

= 13.67 มก./ล.

- BOD_5 ของน้ำที่ต้องการ (S)

$$S_e = S + S_x$$

(20มก./ล.) = S + (13.67มก./ล.)

S = 6.33 มก./ล.

(2) ประสิทธิภาพ (E_S) การลดค่า BOD_5 ในรูป Soluble (ไม่รวม BOD_5 สำหรับย่อย SS) จากสมการ

$$E_S = \frac{(S_0 - S) \cdot 100}{S_0}$$

$$= \frac{[(200 - 6.33)\text{มก./ล.}] \cdot (100\%)}{(200\text{มก./ล.})}$$

= 96.84 %

(3) ประสิทธิภาพการลดค่า BOD_5 โดยรวม ของระบบ ($E_{overall}$) จากสมการ

$$E_{overall} = \frac{(S_0 - S_e)\cdot 100}{S_0}$$

$$= \frac{[(200 - 20)\text{มก./ล.}]\cdot(100\%)}{(200\text{มก./ล.})}$$

$$= 90\ \%$$

(4) ปริมาตรกักเก็บถังเติมอากาศ , V จากสมการ

$$X = \frac{\theta_C \cdot Y \cdot (S_i - S)}{\theta_H \cdot (1 + k_d \cdot \theta_C)}$$, (Metcalf,1991)

แทนค่า θH = ระยะเวลากักเก็บของน้ำในถังเติมอากาศ

$$= \frac{V}{Q}$$

$$V = \frac{\theta_C \cdot Q \cdot Y \cdot (S_i - S)}{X \cdot (1 + k_d \cdot \theta_C)}$$

$$= \frac{(10\text{วัน})\cdot(10{,}000\text{ลบ.ม./วัน})\cdot(0.60)\cdot[(200 - 6.33)\text{มก./ล.}]}{(3{,}000\text{มก./ล.})\cdot[1 + 0.06\cdot(10\text{วัน})]}$$

= 2,420.88 ลบ.ม.

(5) ปริมาณตะกอนส่วนเกินต่อวัน

- ค่า Y_{obs} จากสมการ

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + Kd\cdot\theta c}$$, (Metcalf,1991)

$$= \frac{0.60}{1 + (0.06\text{วัน}^{-1})\cdot(10\text{วัน})}$$

= 0.375

- ปริมาณ MLVSS ที่เพิ่มขึ้น , P_{Sx} จากสมการ

$P_{Sx} = Y_{obs}\cdot Q\cdot(S_0 - S)$

$= 0.375\cdot(10{,}000\text{ลบ.ม./วัน})\cdot[(200 - 6.33)\text{มก./ล.}\cdot(1{,}000\text{ล./ลบ.ม.})/(1{,}000{,}000\text{มก./กก.})]$

= 726.26 กก./วัน

- ปริมาณ MLSS ที่เพิ่มขึ้น

ปริมาณ MLSS ที่เพิ่มขึ้น = ปริมาณ MLVSS ที่เพิ่มขึ้น / 0.85

= 854.42 กก./วัน

สมพร สรวิทยาภรณ์

- ปริมาณ MLSS ส่วนเกินที่ต้องทิ้งจากระบบ

ปริมาณ MLSS ส่วนเกิน = ปริมาณ MLSS ที่เพิ่มขึ้น

- ปริมาณ SS ออกจากถังตกตะกอน · Q

= (854.42 กก./วัน)

- [(25มก./ล.)·(1,000ล./ลบ.ม.)/(1,000,000มก./กก.)

·(10,000ลบ.ม./วัน)]

= 604.42 กก./วัน

(6) อัตราการทิ้งตะกอนส่วนเกิน (Q_w)โดยกำหนดให้การระบายตะกอนทิ้งจากเส้นท่อน้ำตะกอนหมุนเวียน และปริมาณน้ำออกจากถังตกตะกอน(Q_e) เท่ากับปริมาณน้ำเสียเข้าระบบ(Q_i)

$$\theta_C = \frac{V \cdot X}{Q_w \cdot X_u + Q_e \cdot X_e}$$

$$Q_w = \frac{[(V \cdot X/\theta_C) - Q_e \cdot X_e]}{X_u}$$

$$= \frac{[(2{,}420.88\text{ลบ.ม.}) \cdot (3{,}000\text{มก./ล.})/(10\text{วัน}) - (10{,}000\text{ลบ.ม./วัน}) \cdot (25\text{มก./ล.} \cdot 0.85)]}{(8{,}000\text{มก./ล.})}$$

= 54.02 ลบ.ม./วัน

(7) ปริมาณน้ำตะกอนหมุนเวียน , Q_R จากสมการ

$$Q_R = \frac{Q \cdot X}{(X_u - X)}$$

$$= \frac{(10{,}000\text{ลบ.ม./วัน}) \cdot (3{,}000\text{มก./ล.})}{[(8{,}000 - 3{,}000)\text{มก./ล.}]}$$

= 6,000 ลบ.ม./วัน

(7) Recirculation ratio

$$\frac{Q_r}{Q_i} = \frac{(6{,}000\text{ลบ.ม./วัน})}{(10{,}000\text{ ลบ.ม./วัน})}$$

= 0.60

(8) ตรวจสอบ ระยะเวลาการเติมอากาศ (HRT,θ_H)

$$HRT = \frac{V}{Q_i}$$

$$= \frac{(2{,}420.88\text{ลบ.ม.})}{(10{,}000\text{ ลบ.ม./วัน})/(24\text{ชม./วัน})}$$

= 5.81 ชม.

(9) ตรวจสอบ F/M Ratio จากสมการ

$$F/M = \frac{S_i}{\theta_H \cdot X}$$

$$= \frac{(200\text{มก./ล.})}{[(5.81\text{ชม.})/(24\text{ชม./วัน})] \cdot (3{,}000\text{มก./ล.})}$$

$$= 0.28 \text{ วัน}^{-1}$$

(10) ตรวจสอบ Volumetric Loading จากสมการ

Volumetric Loading $= S_i \cdot Q_i / V$

= [(200 มก./ล.)·(1,000 ล./ลบ.ม.)/(1,000,000มก./กก.)]·(10,000ลบ.ม./วัน)/(2420.88ลบ.ม.)

= 0.83 กก. BOD_5/ลบ.ม. –วัน

(11) ความต้องการออกซิเจนสำหรับค่า BOD_L (ไม่เกิดขบวนการ Nitrification) จากสมการ

$$O_2 = \frac{Q \cdot (S_i - S)}{BOD_5/BOD_L} - 1.42 \cdot P_x$$

$$= \frac{(10{,}000\text{ลบ.ม./วัน}) \cdot [(200 - 6.33)\text{มก./ล.} \cdot (1{,}000\text{ล./ลบ.ม.})/(1{,}000{,}000\text{มก./กก})]}{(0.70)}$$

$$- 1.42 \cdot (726.26 \text{ กก./วัน})$$

$$= 1{,}735.43 \text{ กก./วัน}$$

(12) ความต้องการอากาศทางทฤษฎี โดยคุณสมบัติของอากาศมีดังนี้

- สัดส่วนออกซิเจนในอากาศมี 23%โดยน้ำหนัก
- น้ำหนักจำเพาะอากาศที่ระดับน้ำทะเล อุณหภูมิ 20 °C มีค่า 1.20 กก./ลบ.ม.

$$\text{ความต้องการอากาศทางทฤษฎี} = \frac{\text{ความต้องการออกซิเจน}}{\text{สัดส่วนออกซิเจนในอากาศ} \cdot \text{น้ำหนักจำเพาะของอากาศ}}$$

$$= \frac{(1{,}735.43\text{กก./วัน})}{(23\%/100\%) \cdot (1.20\text{กก./ลบ.ม.})}$$

$$= 6{,}287.79 \text{ ลบ.ม./วัน}$$

(13) ความต้องการอากาศจากเครื่องเติมอากาศ โดยกำหนด ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศชนิด Air Diffuser มีค่า 8%

$$\text{ความต้องการอากาศจากเครื่องเติมอากาศ} = \frac{\text{ความต้องการอากาศทางทฤษฎี}}{\text{ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ}}$$

$$= \frac{(6{,}287.79\text{ลบ.ม./วัน})}{(8\%/100\%)}$$

$$= 78{,}597.38 \text{ ลบ.ม./วัน}$$

สถาพร สิริวิทยากร

(14) ตรวจสอบปริมาณอากาศต่อปริมาณน้ำเสีย

$$= \frac{(78{,}597.38 \text{ลบ.ม./วัน})}{(10{,}000 \text{ลบ.ม./วัน})}$$

= 7.86 ลบ.ม./ลบ.ม. (ตามเกณฑ์ 3.75 – 15 ลบ.ม./ลบ.ม.)

(15) ตรวจสอบปริมาณอากาศต่อ BOD_5 ที่กำจัดได้

$$= \frac{(78{,}597.38 \text{ลบ.ม./วัน})}{[(200 - 6.33)\text{มก./ล.} \cdot (1{,}000 \text{ล./ลบ.ม.})/(1{,}000{,}000 \text{มก./กก.})] \cdot (10{,}000 \text{ลบ.ม./วัน})}$$

= 40.58 ลบ.ม./กก. (ตามเกณฑ์ 30 – 115 ลบ.ม./กก. , Metcalf,1991)

3.2 ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย โดยใช้เกณฑ์การออกแบบดังนี้

ตาราง ข-6 เกณฑ์การออกแบบถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย

หน่วยบำบัด	อัตราการไหลของน้ำออกจากถังตกตะกอน, ลบ.ม./ตร.ม. วัน		ภาระบรรทุกของแข็ง, กก./ตร.ม.ชม.		ความลึก, ม.
	เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	
ถังตกตะกอนต่อจากระบบเอเอส (ยกเว้นระบบยืดเวลาในถังเติมอากาศ)	16.3-32.6	40.7-49.0	4.0-6.0	9.7	0.9-6.0

ที่มา : ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (1991)

(1) พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ

กำหนดค่าอัตราการไหลของน้ำออกจากถังตกตะกอนเฉลี่ย = 24 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน

พื้นที่ผิวถังตกตะกอนขั้นแรกที่ต้องการ $= \frac{10{,}000 \text{ ลบ.ม./วัน}}{24 \text{ ลบ.ม./ตร.ม.-วัน}}$

= 416.66 ตร.ม.

(2) ตรวจสอบค่าอัตราการไหลของน้ำออกจากถังตกตะกอนสูงสุด $= \frac{750 \text{ ลบ.ม./ชม.} \cdot 24 \text{ ชม./วัน}}{416.66 \text{ ตร.ม.}}$

= 43.21 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน

สุเทพ สถิรเกียรติ์

(3) ตรวจสอบค่าภาระบรรทุกของแข็ง

เฉลี่ย = $\frac{10{,}000 \text{ลบ.ม./วัน} \cdot 3{,}000 \text{มก./ล.} \cdot 1{,}000 \text{ล./ลบ.ม.}}{416.66 \text{ ตร.ม.} \cdot 24 \text{ชม./วัน} \cdot 1{,}000{,}000 \text{มก./กก.}}$

= 3.0 กก./ตร.ม.-ชม.

สูงสุด = $\frac{750 \text{ลบ.ม./ชม.} \cdot 3{,}000 \text{มก./ล.} \cdot 1{,}000 \text{ล./ลบ.ม.}}{416.66 \text{ ตร.ม.} \cdot 1{,}000{,}000 \text{มก./กก.}}$

= 5.4 กก./ตร.ม.-ชม.

(4) ระยะเวลากักเก็บ

กำหนดความลึกน้ำ = 4 ม.

ระยะเวลากักเก็บ = $\frac{4 \text{ ม.} \cdot 416.66 \text{ ตร.ม.} \cdot 24 \text{ ชม./วัน}}{10{,}000 \text{ ลบ.ม./วัน}}$

= 4 ชม.

4. ความต้องการสารละลายโพลิเมอร์ในการรีดตะกอน

ตะกอนจากถังตกตะกอนขั้นแรก = 0.90 กก./วัน

ตะกอนจากถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย = 604.42 กก./วัน

รวมตะกอนทั้งหมด = 605.32 กก./วัน

สัดส่วนโพลิเมอร์ต่อปริมาณตะกอนที่เหมาะสม = 2 – 8 กก./10^3กก. (Metcalf&Eddy, Inc. (1991))

กำหนดสัดส่วนโพลิเมอร์ต่อปริมาณตะกอน = 5 กก./10^3กก.

ปริมาณโพลิเมอร์ที่ต้องการ = 5 กก./10^3กก. • 605.32 กก./วัน

= 3.03 กก./วัน

ความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ = 0.25%

= (0.25%/100%)•(1000 กก.น้ำ/ลบ.ม.น้ำ)

= 2.5 กก./ลบ.ม.

ปริมาณสารละลาย = $\frac{3.03 \text{ กก./วัน}}{2.5 \text{ กก./ลบ.ม.}}$

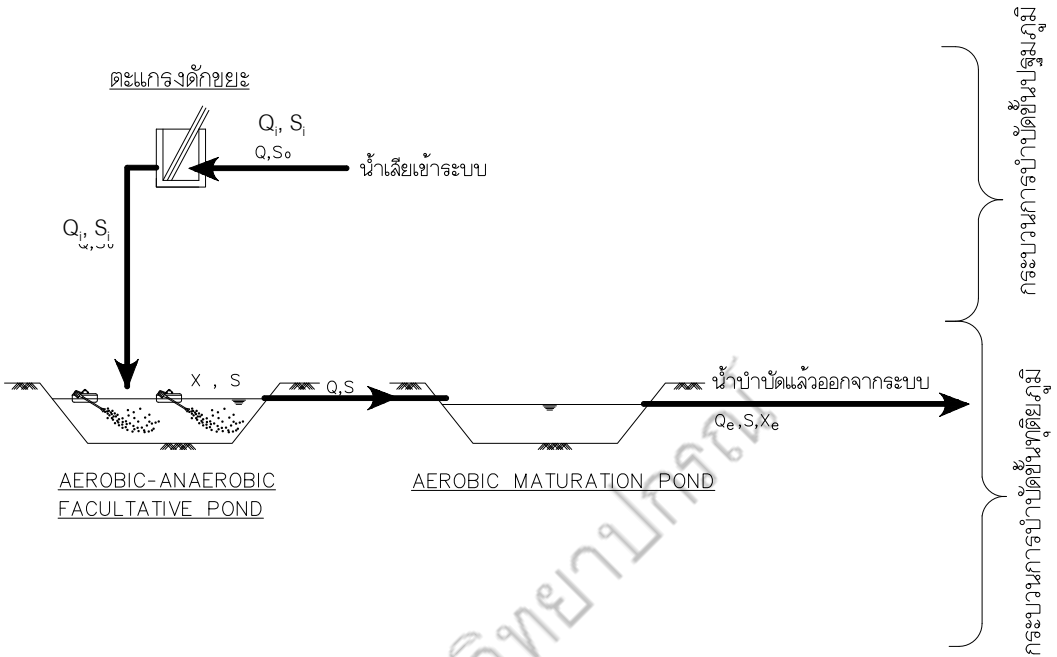
= 1.21 ลบ.ม./วัน

กำหนดองค์ประกอบของแข็งหลังผ่านเครื่องรีดตะกอน = 16.00%

คำนวณปริมาณตะกอนแห้ง = $\frac{(605.32 \text{ กก./วัน})}{(1.01) \bullet (16.00\%/100\%) \bullet (1000 \text{ กก./ลบ.ม.})}$

= 3.75 ลบ.ม./วัน

ตัวอย่างที่ 2 คำนวณกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง เพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีอัตราการไหลและคุณสมบัติเช่นเดียวกับน้ำเสียตามตัวอย่างที่ 1 โดยมีหน่วยกระบวนการบำบัด แสดงในรูปที่ ข-2 กระบวนการบำบัดขั้นปฐมภูมิได้แก่ ตะแกรงดักขยะ และกระบวนการบำบัดขั้นทุติยภูมิ ได้แก่ บ่อแฟคัลเททีฟ (Aerobic-anaerobic facultative pond) และ บ่อบ่ม (Aerobic maturation pond)



รูปที่ ข-2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง

โดยกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ ดังนี้

- ค่า BOD_5 (S_i) และ SS น้ำเสียเข้าระบบ = 200 มก./ล. และ 150 มก./ล. ตามลำดับ
- ค่า BOD_5 (S) และ SS น้ำที่ออกจากระบบ (X_e) = 20 มก./ล.และ 15 มก./ล. ตามลำดับ

1. กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นปฐมภูมิ

การคำนวณตะแกรงดักขยะ ดูรายละเอียดในตัวอย่างที่ 1

2. กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง โดยใช้เกณฑ์การออกแบบดังนี้

ศิริวิทยาปกรณ์

ตาราง ข-7 เกณฑ์การออกแบบ บ่อบ่มและบ่อแฟคัลเททีฟ

ตัวแปร	ชนิดของบ่อ	
	บ่อบ่ม	บ่อแฟคัลเททีฟ
การกวนผสม	เป็นครั้งคราว	เฉพาะส่วนบน
พื้นที่, ตรม.	8,094 – 40,470	8,094 – 40,470
(ไร่)	(5.1 – 25.3)	(5.1 – 25.3)
	หลายบ่อ	หลายบ่อ
การทำงาน	ต่ออนุกรมหรือขนาน	ต่ออนุกรมหรือขนาน
ระยะเวลากักเก็บน้ำ (ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ),วัน	5 – 20	5 – 30
ความลึก, เมตร	0.9 – 1.5	1.2 – 2.4
pH	6.5 – 10.5	6.5 – 8.5
ช่วงอุณหภูมิ, ^{o}C	0 - 30	0 – 50
อุณหภูมิที่เหมาะสม, ^{o}C	20	20
อัตราภาระบรรทุก บีโอดี, กรัม. ต่อ ตร.ม. ต่อ วัน	น้อยกว่า 3.4	5.6 – 101.5
ประสิทธิภาพการลดบีโอดี, %	60 – 80	80 – 95
ผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้น	สาหร่าย, CO_2, แบคทีเรีย, NO_3^-	สาหร่าย, CO_2, แบคทีเรีย, CH_4
ความเข้มข้นของสาหร่าย, มก ต่อ ลิตร	5 – 10	5 – 20
ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออก, มก. ต่อ ลิตร [1]	10 – 30	40 – 60

1 แข็งแขวนลอยทุกชนิด รวมทั้งสาหร่ายและแบคทีเรีย น้ำเข้ามีค่าบีโอดี 200 มก. ต่อ ลิตร และปริมาณของแข็งแขวนลอย 200 มก. ต่อ ลิตร

ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (1991)

2.1 บ่อแฟคัลเททีฟโดยมีเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำเพื่อป้องกันการเน่าเหม็น โดยกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ ดังนี้

- ค่า Specific reaction-rate constant , k ของสระแรก = 0.01 ชม.$^{-1}$ (0.25 วัน$^{-1}$)
- ค่า dispersion factor ของสระแรก , d = 0.50
- ค่า HRT, t = 360 ชั่วโมง (15 วัน)
- ความลึกน้ำ , D = 2.00 ม.

(1) ความสัมพันธ์ของ BOD_5 ทั้งหมดของน้ำที่ปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำ (S)

= BOD_5 ของน้ำที่ต้องการ (S) + BOD_5 สำหรับย่อย SS ในน้ำที่ออกจากระบบ (S_x)

- ความเข้มข้น SS ในน้ำที่ออกจากระบบที่สามารถย่อยสลายต่อไปอีก

= (55%/100%) ·(15 มก./ล.)

= 8.25 มก./ล.

- BOD_L สำหรับย่อย SS ในน้ำที่ออกจากระบบ

  = (1.42 มก.O_2ที่ใช้/มก.เซลล์SSที่ย่อยสลาย)·(8.25 มก./ล.)

  = 11.72 มก./ล.

- BOD_5 สำหรับย่อย SS ในน้ำที่ออกจากระบบ (S_x)

  = 0.70 BOD_L

  = (0.70) ·(19.53 มก./ล.)

  = 8.20 มก./ล.

- BOD_5 ของน้ำที่ต้องการ (S)

  $S_e = S + S_x$

  (20มก./ล.) = S + (13.67มก./ล.)

  S = 11.80 มก./ล.

(2) ประสิทธิภาพการลด BOD_5 จากสมการ

$$\frac{S}{S_i} = \frac{4a \exp(1/2d)}{(1+a)^2 \exp(a/2d) - (1-a)^2 \exp(-a/2d)}$$

เมื่อ a $= \sqrt{1+4\cdot k\cdot t\cdot d}$

$= \sqrt{1+4\cdot(0.01\text{ชม.})\cdot(360\text{ชม.})\cdot(0.50)}$

= 2.86

แทนค่า

$$\frac{S_1}{S_i} = \frac{\{4\cdot(2.86)\}\exp\{1/[2\cdot(0.50)]\}}{\{[1+(2.86)]^2\}\exp\{(2.86)/(2\cdot(0.50))\} - \{[1-(2.86)]^2\}\exp\{-(2.86)/(2\cdot(0.50))\}}$$

= 0.12

S_1 = 0.20·S_i

= 0.20·(200 มก./ล.)

= 24 มก./ล. > 11.80 มก./ล. ยังต้องมี การลด BOD_5 อีกขั้นหนึ่ง

ประสิทธิภาพการลด BOD_5 $= \frac{S_i - S_1}{S_i}\cdot 100\%$

$= \frac{(200-24)\text{มก./ล.}}{(200\text{มก./ล.})}\cdot 100\ \%$

= 88 %

(3) ปริมาตรกักเก็บ V = Q·t

= 10,000 ลบ.ม./วัน ·15 วัน

= 150,000 ลบ.ม.

สุเทพ สรีวทยอนกรณ์

(4) พื้นที่ผิวน้ำ $= \frac{V}{D}$

$= \frac{(150{,}000 \text{ลบ.ม.})}{(2.00 \text{ม.})}$

$=$ 75,000 ตร.ม.

(5) กำลังเครื่องเติมอากาศที่ต้องการเพื่อป้องกันการเน่าเหม็น โดยกำหนดให้

- ความต้องการออกซิเจนเพื่อป้องกันการเน่าเหม็น มีค่า 1.5 เท่าของปริมาณ BOD_5 ต่อวัน
- ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน 1.5 กก.ออกซิเจน/กิโลวัตต์-ชม.

กำลังเครื่องเติมอากาศที่ต้องการ

$$= \frac{1.5 \cdot (10{,}000 \text{ลบ.ม./วัน}) \cdot [(200 \text{มก.SBOD}_5/\text{ล.}) \cdot (1{,}000 \text{ล./ลบ.ม.})/(1{,}000{,}000 \text{มก./กก.})]}{(1.5 \text{ กก.ออกซิเจน/กิโลวัตต์-ชม.})}$$

$=$ 2,000 กิโลวัตต์

(6) ขนาดมอเตอร์เครื่องเติมอากาศที่ต้องการ

$$= \frac{\text{กำลังเครื่องเติมอากาศที่ต้องการ}}{\text{ประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศประสิทธิภาพมอเตอร์}}$$

$$= \frac{(2{,}000 \text{ กิโลวัตต์})}{(80\%/100\%) \cdot (80\%/100\%)}$$

$=$ 3,125 กิโลวัตต์

เลือกใช้ เครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ ขนาดมอเตอร์ 30 กิโลวัตต์ x 105 ชุด

$=$ 3,150 กิโลวัตต์

2.2 บ่อบ่ม (ไม่มีเครื่องเติมอากาศ)

โดยกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ ดังนี้

- ค่า Specific reaction-rate constant , k ของสระแรก = 0.0042 ชม.$^{-1}$ (0.10 วัน$^{-1}$)
- ค่า dispersion factor ของสระแรก , d = 0.25
- ค่า HRT, t = 240 ชั่วโมง (10 วัน)
- ความลึกน้ำ , D = 1.50 ม.

(1) ประสิทธิภาพการลด BOD_5 จากสมการ

จากสมการ

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{4a \exp(1/2d)}{(1+a)^2 \exp(a/2d) - (1-a)^2 \exp(-a/2d)}$$

เมื่อ $a = \sqrt{1 + 4 \cdot k \cdot t \cdot d}$

$$= \sqrt{1 + 4 \cdot (0.0042 \text{ชม.}) \cdot (240 \text{ชม.}) \cdot (0.25)}$$

$=$ 1.42

แทนค่า

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{\{4 \cdot (1.42)\} \exp\{1/[2 \cdot (0.25)]\}}{\{[1+(1.42)]^2\}\exp\{(1.42)/(2 \cdot (0.25))\} - \{[1-(1.42)]^2\}\exp\{-(1.42)/(2 \cdot (0.25))\}}$$

$$= 0.42$$

$$S_2 = 0.42 \cdot S_1$$

$$= 0.42 \cdot (24 \text{ มก./ล.})$$

$$= 10.08 \text{ มก./ล.} < 11.80 \text{ มก./ล.}$$

ประสิทธิภาพการลด BOD_5 $= \frac{S_1 - S_2}{S_1} \cdot 100\%$

$$= \frac{(24 - 10.08)\text{มก./ล.}}{(24\text{มก./ล.})} \cdot 100\ \%$$

$$= 58\ \%$$

(2) ปริมาตรกักเก็บ $V = Q \cdot t$

$$= 10{,}000 \text{ ลบ.ม./วัน} \cdot 10 \text{ วัน}$$

$$= 100{,}000 \text{ ลบ.ม.}$$

(3) พื้นที่ผิวน้ำ $= \frac{V}{D}$

$$= \frac{(100{,}000\text{ลบ.ม.})}{(1.50\text{ม.})}$$

$$= 66{,}666.67 \text{ ตร.ม. (9.88 เอเคอร์)}$$

2.3 ตรวจสอบ ภาระบรรทุก BOD_5

บ่อแฟคัลเททีฟ

$$= \frac{(10{,}000\text{ลบ.ม./วัน}) \cdot [(200\text{มก.}BOD_5/\text{ล.}) \cdot (1{,}000\text{ล./ลบ.ม.})/(1{,}000{,}000\text{มก./กก.})]}{(75{,}000 \text{ ตร.ม.})}$$

$$= 0.027 \text{ กก./ตร.ม.-วัน} = 27 \text{ ก./ตร.ม.-วัน} \quad (\text{เกณฑ์ } 5.6 - 101.5 \text{ ก./ตร.ม. – วัน})$$

บ่อบ่ม

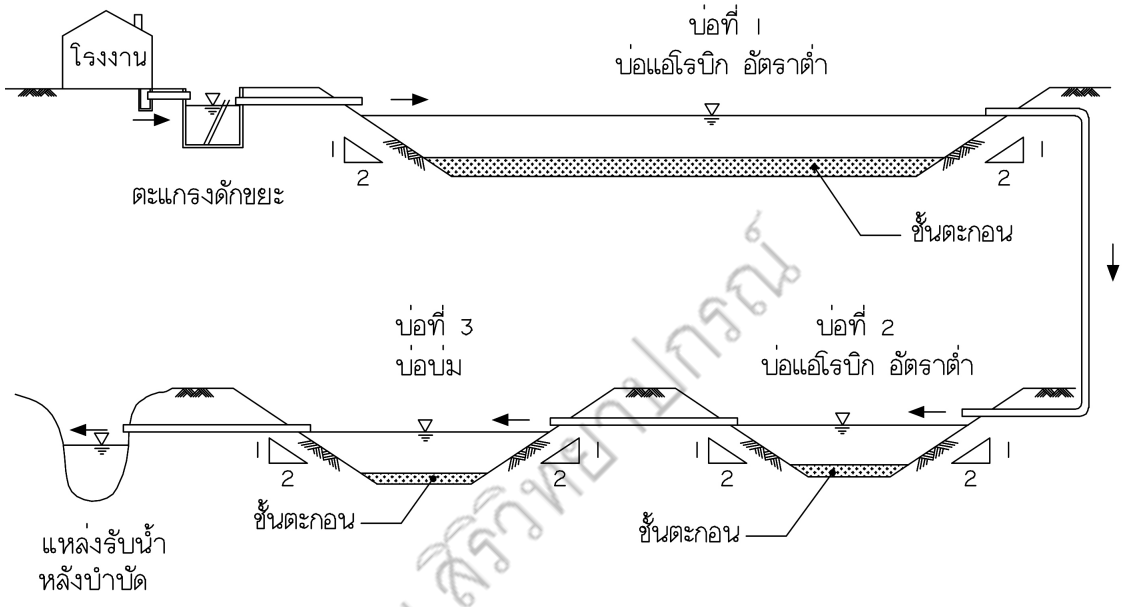
$$= \frac{(10{,}000\text{ลบ.ม./วัน}) \cdot [(24\text{มก.}BOD_5/\text{ล.}) \cdot (1{,}000\text{ล./ลบ.ม.})/(1{,}000{,}000\text{มก./กก.})]}{(66{,}666.67 \text{ ตร.ม.})}$$

$$= 0.0036 \text{ กก./ตร.ม.-วัน (32.12 ปอนด์/เอเคอร์-วัน)}$$

$$= 3.6 \text{ ก./ตร.ม.-วัน} \quad (\text{เกณฑ์น้อยกว่า } 3.4 \text{ ก./ตร.ม. – วัน})$$

สุเทพ สรรพยาบาล

<u>ตัวอย่างที่ 3</u> คำนวณกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบผึ่ง (Oxidation Ponds) เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอัตราน้ำเสียเฉลี่ยต่อวัน 100 ลบ.ม. ค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียมีค่า 400 มก./ล. และ 300 มก./ล. ตามลำดับ โดยใช้เกณฑ์การออกแบบตามตารางที่ 8-7 เพื่อลดค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยให้เหลือไม่เกินกว่า 20 มก./ล. และ 30 มก./ล. ตามลำดับ โดยมีหน่วยกระบวนการบำบัดแสดงในรูปที่ ข-3 ได้แก่ บ่อแอโรบิกอัตราต่ำ (Low Rate Aerobic Pond) จำนวน 2 บ่อ และบ่อบ่ม (Maturation Pond) จำนวน 1 บ่อ เรียงต่อกันแบบอนุกรม



<u>รูปที่ ข-3</u> กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อแอโรบิก อัตราต่ำ และบ่อบ่ม

1. **คุณลักษณะน้ำเสีย**

อัตราการไหลน้ำเสียเข้าระบบ	100	ลบ.ม./วัน
ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ	400	มก./ล.
ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าระบบ	300	มก./ล.
ค่าบีโอดีน้ำที่ออกจากระบบ	ไม่เกิน 20	มก./ล.
ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากระบบ	ไม่เกิน 30	มก./ล.

2. **บ่อที่ 1 บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ** (Low Rate Aerobic Pond)

(a) กำหนดอัตราภาระบรรทุกบีโอดีไม่เกินกว่า 10.00 ก./ตร.ม.-วัน (เกณฑ์ 6.8-67.5)

(b) คำนวณ พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ

= [อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ ·ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ] / อัตราภาระบรรทุกบีโอดี

= [(100 ลบ.ม./วัน)·(1,000 ล./ลบ.ม.)·(400 มก./ล.)/(1,000 มก./ก.)]/(10 ก./ตร.ม.-วัน)

= 4,000 ตร.ม.

สุเทพ สริวัฒนากร

(c) คำนวณขนาดบ่อ

กำหนดความลึกกักเก็บน้ำ 1.00 ม. (เกณฑ์ 0.9-1.2)

กำหนดความสูงจากผิวน้ำถึงขอบบ่อ (Free Board) 0.50 ม.

กำหนดความลึกชั้นตะกอน 0.50 ม.

คำนวณความลึกบ่อ = 1.00 + 0.50 +0.50 = 2.00 ม.

กำหนดสัดส่วนบ่อ ความกว้าง : ความยาว 1 : 1.5

กำหนดสัดส่วนความชันบ่อ ดิ่ง : ราบ 1 : 2

คำนวณ ความกว้างผิวน้ำ

พื้นที่ผิวน้ำ = ความกว้างผิวน้ำ · ความยาวผิวน้ำ

= ความกว้างผิวน้ำ · (1.5 · ความกว้างผิวน้ำ)

ความกว้างผิวน้ำ = $[\text{พื้นที่ผิวน้ำ} / 1.5)^{0.5}$

= $[(4{,}000 \text{ ตร.ม.}) / 1.5]^{0.5}$

= 51.64 ม.

คำนวณ ความยาวผิวน้ำ

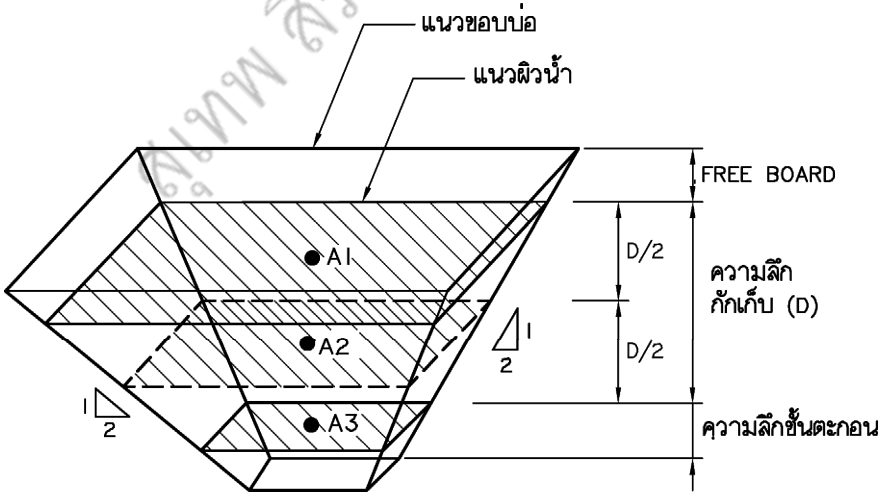
= พื้นที่ผิวน้ำ / ความกว้างผิวน้ำ

= (4,000 ตร.ม.) / (51.64 ม.)

= 77.46 ม.

คำนวณปริมาตรกักเก็บน้ำจากสมการ

$$V = [D/6] \cdot [A1+4 \cdot A2+A3]$$



เมื่อ V = ปริมาตรกักเก็บน้ำ , ลบ.ม.

D = ความลึกกักเก็บน้ำ , ม.

A_1 = พื้นที่ผิวน้ำ , ตร.ม.

A_2 = พื้นที่ที่จุดกึ่งกลางความลึกกักเก็บน้ำ , ตร.ม.

A_3 = พื้นที่ที่ก้นความลึกกักเก็บน้ำ , ตร.ม.

สุเทพ สรีวิทยาปกรณ์

คำนวณ D = 1.00 ม.

A1 = 4,000 ตร.ม.

A2 = ความกว้างกึ่งกลางความลึกกักเก็บน้ำ·ความยาวกึ่งกลางความลึกกักเก็บน้ำ

= [ความกว้างผิวน้ำ- 2·(D/2)/ความชันบ่อ] ·
[ความยาวผิวน้ำ- 2·(D/2)/ความชันบ่อ]

= [51.64 - 2·(1.00/2)/(1/2)] ม. · [77.46 - 2·(1.00/2)/(1/2)] ม.

= 3,745.83 ตร.ม.

A3 = ความกว้างที่ก้นความลึกกักเก็บน้ำ·ความยาวที่ก้นความลึกกักเก็บน้ำ

= [ความกว้างผิวน้ำ- 2·(D)/ความชันบ่อ] ·
[ความยาวผิวน้ำ- 2·(D)/ความชันบ่อ]

= [51.64 - 2·(1.00) /(1/2)] ม. · [77.46 - 2·(1.00) /(1/2)] ม.

= 3,499.63 ตร.ม.

V = [(1.00 ม.)/6] · [4,000 ตร.ม.+4·3,745.83 ตร.ม.+3,499.63 ตร.ม.]

= 3,747.16 ลบ.ม.

คำนวณ ระยะเวลากักเก็บน้ำ

= ปริมาตรกักเก็บน้ำ / อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ

= (3,747.16 ลบ.ม.) / (100 ลบ.ม./วัน)

= 37.47 วัน (เกณฑ์ 10-40)

(d) คำนวณ คุณลักษณะน้ำที่ออกจากบ่อ

กำหนดประสิทธิภาพการลดบีโอดี	70	%
ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ	400	มก./ล.

คำนวณบีโอดีน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ · (100% - ประสิทธิภาพการลดบีโอดี)/100%

= (400 มก./ล.) · [100%-(70%)]/100%

= 120 มก./ล. เกินกว่า 20 มก./ล.

กำหนดประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย	80	%
ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ	300	มก./ล.

คำนวณของแข็งแขวนลอยน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ·(100%-ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย)/100%

= (300 มก./ล.) · [100%-(80%)]/100%

= 60 มก./ล. เกินกว่า 30 มก./ล.

3. บ่อที่ 2 บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ (Low Rate Aerobic Pond)

(a) กำหนดอัตราภาระบรรทุกบีโอดีไม่เกินกว่า 10.00 ก./ตร.ม.-วัน (เกณฑ์ 6.8-67.5)

(b) คำนวณ พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ

= [อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ ·ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ] / อัตราภาระบรรทุกบีโอดี

สุเทพ สรวัฒนกรณ์

= [(100 ลบ.ม./วัน)·(1,000 ล./ลบ.ม.)·(120 มก./ล.)/(1,000 มก./ก.)]/(10 ก./ตร.ม.-วัน)

= 1,200 ตร.ม.

(c) คำนวณขนาดบ่อ

กำหนดความลึกกักเก็บน้ำ	1.00	ม. (เกณฑ์ 0.9-1.2)
กำหนดความสูง Free Board	0.55 ม. (ระดับน้ำต่ำกว่า บ่อที่ 1 0.05 ม.)	
กำหนดความลึกชั้นตะกอน	0.50	ม.
คำนวณความลึกบ่อ = 1.00 + 0.55 +0.50 =	2.05	ม.
กำหนดสัดส่วนบ่อ ความกว้าง : ความยาว	1 : 1.5	
กำหนดสัดส่วนความชันบ่อ ดิ่ง : ราบ	1 : 2	

คำนวณ ความกว้างผิวน้ำ

= [พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ / 1.5]$^{0.5}$

= [(1,200 ตร.ม.) / 1.5]$^{0.5}$

= 28.28 ม.

คำนวณ ความยาวผิวน้ำ

= พื้นที่ผิวน้ำ / ความกว้างผิวน้ำ

= (1,200 ตร.ม.) / (28.28 ม.)

= 42.43 ม.

คำนวณปริมาตรกักเก็บน้ำจากสมการ

$$V = [D/6] \cdot [A1+4 \cdot A2+A3]$$

คำนวณ D = 1.00 ม.

A1 = 1,200 ตร.ม.

A2 = [28.28 - 2·(1.00/2)·2] ม. · [42.43 - 2·(1.00/2)·2] ม.

= 1,062.50 ตร.ม.

A3 = [28.28 - 2·(1.00)·2] ม. · [42.43 - 2·(1.00)·2] ม.

= 933.08 ตร.ม.

V = [(1.00 ม.)/6] · [1,200 ตร.ม.+4·1,062.50 ตร.ม.+933.08 ตร.ม.]

= 1,063.85 ลบ.ม.

คำนวณ ระยะเวลากักเก็บน้ำ

= ปริมาตรกักเก็บน้ำ / อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ

= (1,063.85 ลบ.ม.) / (100 ลบ.ม./วัน)

= 10.64 วัน (เกณฑ์ 10-40)

(d) คำนวณ คุณลักษณะน้ำที่ออกจากบ่อ

กำหนดประสิทธิภาพการลดบีโอดี	70	%
ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ	120	มก./ล.

คำนวณบีโอดีน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ · (100%-ประสิทธิภาพการลดบีโอดี)/100%

สุเทพ สรีวิทยาปกรณ์

= (120 มก./ล.) · [100%-(70%)]/100%

= 36 มก./ล. เกินกว่า 20 มก./ล.

กำหนดประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย 80 %

ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ 60 มก./ล.

คำนวณของแข็งแขวนลอยน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ·(100%-ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย)/100%

= (60 มก./ล.) · [100%-(80%)]/100%

= 12 มก./ล. ไม่เกิน 30 มก./ล.

4. **บ่อที่ 3 บ่อบ่ม (Maturation Pond)**

(a) กำหนดอัตราภาระบรรทุกบีโอดีไม่เกินกว่า 1.65 ก./ตร.ม.-วัน (เกณฑ์ ไม่เกิน 3.4)

(b) คำนวณ พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ

= [อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ ·ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ] / อัตราภาระบรรทุกบีโอดี

= [(100 ลบ.ม./วัน)·(1,000 ล./ลบ.ม.)·(36 มก./ล.)/(1,000 มก./ก.)]/(1.65 ก./ตร.ม.-วัน)

= 2,181.82 ตร.ม.

(c) คำนวณขนาดบ่อ

กำหนดความลึกกักเก็บน้ำ 0.90 ม. (เกณฑ์ 0.9-1.5)

กำหนดความสูง Free Board 0.60 ม. (ระดับน้ำต่ำกว่า บ่อที่ 2 0.05 ม.)

กำหนดความลึกชั้นตะกอน 0.30 ม.

คำนวณความลึกบ่อ = 0.90 + 0.60 +0.30 = 1.80 ม.

กำหนดสัดส่วนบ่อ ความกว้าง : ความยาว 1 : 1.5

กำหนดสัดส่วนความชันบ่อ ดิ่ง : ราบ 1 : 2

คำนวณ ความกว้างผิวน้ำ

= [พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ / 1.5]$^{0.5}$

= [(2,181.82 ตร.ม.) / 1.5]$^{0.5}$

= 38.14 ม.

คำนวณ ความยาวผิวน้ำ

= พื้นที่ผิวน้ำ / ความกว้างผิวน้ำ

= (2,181.82 ตร.ม.) / (38.14 ม.)

= 57.21 ม.

คำนวณปริมาตรกักเก็บน้ำจากสมการ

$$V = [D/6] \cdot [A1+4 \cdot A2+A3]$$

คำนวณ D = 0.90 ม.

A1 = 2,181.82 ตร.ม.

A2 = [38.14 - 2·(0.90/2)·2] ม. · [57.21 - 2·(0.90/2)·2] ม.

= 2,013.60 ตร.ม.

สำนักวิทยบริการฯ

A3 = [38.14 - 2·(0.90)·2] ม. · [57.21 - 2·(0.90)·2] ม.

= 1,851.69 ตร.ม.

V = [(0.90 ม.)/6] · [2,181.82 ตร.ม.+4·2,013.60 ตร.ม.+1,851.69 ตร.ม.]

= 1,813.19 ลบ.ม.

คำนวณ ระยะเวลากักเก็บน้ำ

= ปริมาตรกักเก็บน้ำ / อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ

= (1,813.19 ลบ.ม.) / (100 ลบ.ม./วัน)

= 18.13 วัน (เกณฑ์ 5-20)

(d) คำนวณ คุณลักษณะน้ำที่ออกจากบ่อ

กำหนดประสิทธิภาพการลดบีโอดี	50	%
ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ	36	มก./ล.

คำนวณบีโอดีน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ · (100%-ประสิทธิภาพการลดบีโอดี)/100%

= (36 มก./ล.) · [100%-(50%)]/100%

= 18 มก./ล. ไม่เกิน 20 มก./ล. สามารถปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำได้

กำหนดประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย	70	%
ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ	12	มก./ล.

คำนวณของแข็งแขวนลอยน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ·(100%-ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย)/100%

= (12 มก./ล.) · [100%-(70%)]/100%

= 3.60 มก./ล. ไม่เกิน 30 มก./ล. สามารถปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำได้

5. คำนวณประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสีย

(a) คำนวณ ประสิทธิภาพรวมการลดบีโอดี

ประสิทธิภาพรวมการลดบีโอดี = (บีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ – บีโอดีน้ำที่ออกจากระบบ) · 100%
(บีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ)

= (400 มก./ล. – 18 มก./ล.) · 100%
400 มก./ล.

= 95.50 %

(b) คำนวณ ประสิทธิภาพรวมการลดของแข็งแขวนลอย

ประสิทธิภาพรวมการลดของแข็งแขวนลอย

= (ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าระบบ – ของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากระบบ) · 100%
(ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าระบบ)

= (300 มก./ล. – 4 มก./ล.) · 100%
300 มก./ล.

= 98.67 %

6. **คำนวณพื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสีย**

บ่อที่ 1 บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ

คำนวณความกว้างขอบบ่อ

= ความกว้างผิวน้ำ + 2 · ระยะ Free Board / ความชันขอบบ่อ

= 51.64 ม. + 2 · (0.50 ม.) / (1/2)

= 53.64 ม.

คำนวณความยาวขอบบ่อ

= ความยาวผิวน้ำ + 2 · ระยะ Free Board / ความชันขอบบ่อ

= 77.46 ม. + 2 · (0.50 ม.) / (1/2)

= 79.46 ม.

คำนวณพื้นที่ขอบบ่อ

= ความกว้างขอบบ่อ · ความยาวขอบบ่อ

= 53.64 ม. · 79.46 ม.

= 4,262.23 ตร.ม.

บ่อที่ 2 บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ

คำนวณความกว้างขอบบ่อ

= 28.28 ม. + 2 · (0.55 ม.) / (1/2)

= 30.48 ม.

คำนวณความยาวขอบบ่อ

= 42.43 ม. + 2 · (0.55 ม.) / (1/2)

= 44.63 ม.

คำนวณพื้นที่ขอบบ่อ

= 30.48 ม. · 44.63 ม.

= 1,360.32 ตร.ม.

บ่อที่ 3 บ่อบ่ม

คำนวณความกว้างขอบบ่อ

= 38.14 ม. + 2 · (0.60 ม.) / (1/2)

= 40.54 ม.

คำนวณความยาวขอบบ่อ

= 57.21 ม. + 2 · (0.60 ม.) / (1/2)

= 59.61 ม.

คำนวณพื้นที่ขอบบ่อ

= 40.54 ม. · 59.61 ม.

= 2,416.59 ตร.ม.

คำนวณพื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสียรวมทั้งสิ้น

= 4,262.23 + 1,360.32 + 2,416.59

สุเทพ สรีวิทยาปกรณ์

= 8,039.14 ตร.ม.

หมายเหตุ พื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสียยังไม่รวมพื้นที่ถนนรอบบ่อและระบบสาธารณูปการอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

7. สรุปผลการคำนวณ

สรุปผลการคำนวณหน่วยระบบบำบัดน้ำเสีย แสดงในตาราง ข-8

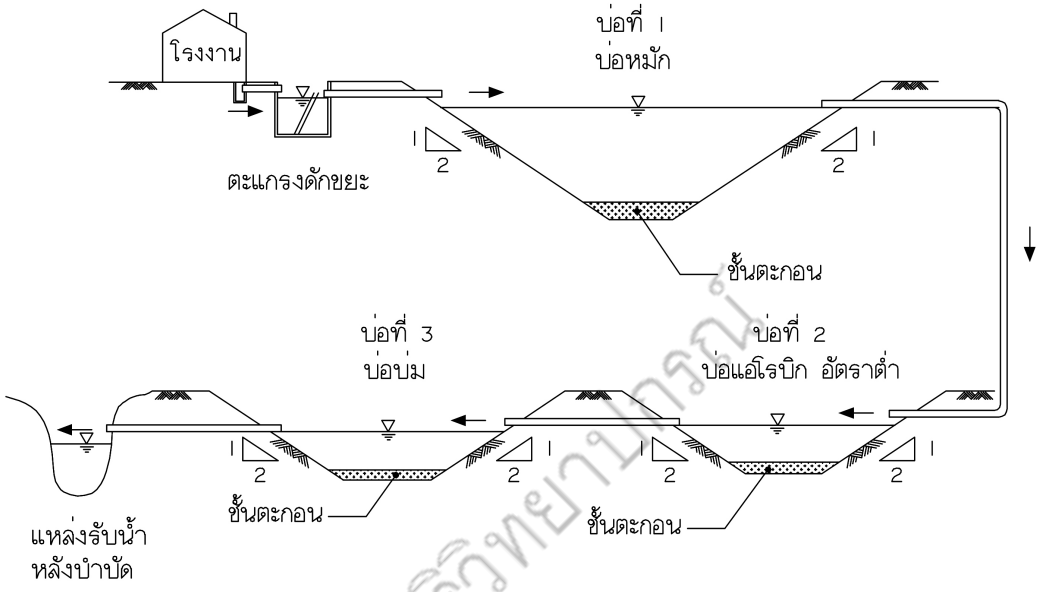
ตาราง ข-8 สรุปผลการคำนวณหน่วยระบบบำบัดน้ำเสีย ตัวอย่างที่ 3

บ่อที่	หน่วยกระบวนการ	ประสิทธิ-ภาพการลดบีโอดี (%)	บีโอดี		ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย (%)	ของแข็งแขวนลอย	
			เข้า (มก./ล.)	ออก (มก./ล.)		เข้า (มก./ล.)	ออก (มก./ล.)
1	บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ	70	400	120	80	300	60
2	บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ	70	120	36	80	60	12
3	บ่อบ่ม	50	36	18	70	12	3.6
	ประสิทธิภาพรวม	95.50%			98.80%		

บ่อที่	หน่วยกระบวนการ	ความลึกกักเก็บน้ำ (ม.)	ความลึกบ่อ (ม.)	พื้นที่ขอบบ่อ (ตร.ม.)	ปริมาตรกักเก็บน้ำ (ลบ.ม.)	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)
1	บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ	1.00	2.00	4,262.23	3,747.16	37.47
2	บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ	1.00	2.05	1,360.32	1,063.85	10.64
3	บ่อบ่ม	0.90	1.80	2,416.59	1,813.19	18.13
	รวม			8,039.14	6,624.20	66.24

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย

ตัวอย่างที่ 4 คำนวณกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบผึ่ง (Oxidation Ponds) เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอัตราน้ำเสียเฉลี่ยต่อวัน 100 ลบ.ม. ค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียมีค่า 250 มก./ล. และ 200 มก./ล. ตามลำดับ โดยใช้เกณฑ์การออกแบบตามตารางที่ 8-7 เพื่อลดค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยให้เหลือไม่เกินกว่า 20 มก./ล. และ 30 มก./ล. ตามลำดับ โดยมีหน่วยกระบวนการบำบัดแสดงในรูปที่ ข-4 ได้แก่ บ่อหมัก (Anaerobic Pond) บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ (Low Rate Aerobic Pond) และบ่อบ่ม (Maturation Pond) จำนวนละ 1 บ่อ เรียงต่อกันแบบอนุกรม



รูปที่ ข-4 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมัก บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ และบ่อบ่ม

1. **คุณลักษณะน้ำเสีย**

อัตราการไหลน้ำเสียเข้าระบบ	100	ลบ.ม./วัน
ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ	250	มก./ล.
ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าระบบ	200	มก./ล.
ค่าบีโอดีน้ำที่ออกจากระบบ	ไม่เกิน 20	มก./ล.
ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากระบบ	ไม่เกิน 30	มก./ล.

2. **บ่อที่ 1 บ่อหมัก (Anaerobic Pond)**

(a) กำหนดอัตราภาระบรรทุกบีโอดีไม่เกินกว่า 35.00 ก./ตร.ม.-วัน (เกณฑ์ 22. 6-282.0)

(b) คำนวณ พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ

= [อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ ·ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ] / อัตราภาระบรรทุกบีโอดี

= [(100 ลบ.ม./วัน)·(1,000 ล./ลบ.ม.)·(250 มก./ล.)/(1,000 มก./ก.)]/(35 ก./ตร.ม.-วัน)

= 714.29 ตร.ม.

(c) คำนวณขนาดบ่อ

กำหนดความลึกกักเก็บน้ำ 3.50 ม. (เกณฑ์ 2.4-4.9)

ศูนย์วิทยทรัพยากร

กำหนดความสูงจากผิวน้ำถึงขอบบ่อ (Free Board) 0.50 ม.

กำหนดความลึกขั้นตะกอน 0.50 ม.

คำนวณความลึกบ่อ = 3.50 + 0.50 +0.50 = 4.50 ม.

กำหนดสัดส่วนบ่อ ความกว้าง : ความยาว 1 : 1.5

กำหนดสัดส่วนความชันบ่อ ดิ่ง : ราบ 1 : 2

คำนวณ ความกว้างผิวน้ำ

พื้นที่ผิวน้ำ = ความกว้างผิวน้ำ · ความยาวผิวน้ำ

= ความกว้างผิวน้ำ · (1.5 · ความกว้างผิวน้ำ)

ความกว้างผิวน้ำ = [พื้นที่ผิวน้ำ / 1.5)$^{0.5}$

= [(714.29 ตร.ม.) / 1.5]$^{0.5}$

= 21.82 ม.

คำนวณ ความยาวผิวน้ำ

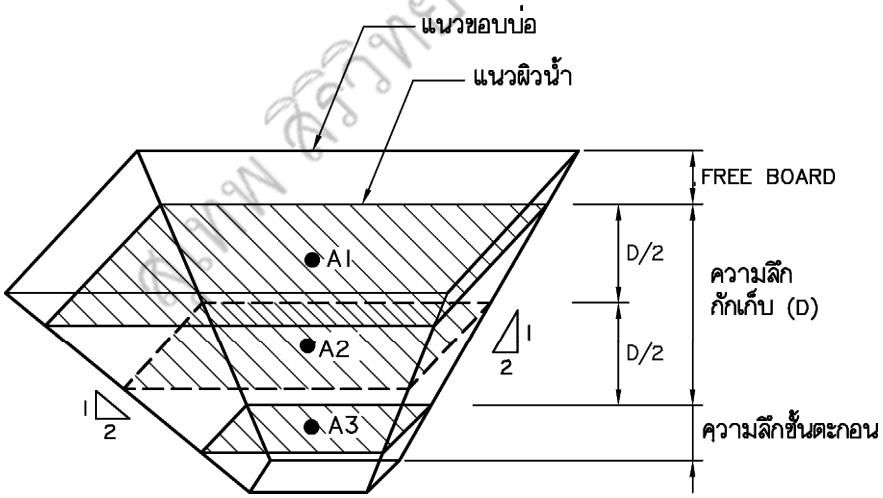
= พื้นที่ผิวน้ำ / ความกว้างผิวน้ำ

= (714.29 ตร.ม.) / (21.82 ม.)

= 32.74 ม.

คำนวณปริมาตรกักเก็บน้ำจากสมการ

$$V = [D/6] \cdot [A1+4 \cdot A2+A3]$$



เมื่อ V = ปริมาตรกักเก็บน้ำ , ลบ.ม.

D = ความลึกกักเก็บน้ำ , ม.

A_1 = พื้นที่ผิวน้ำ , ตร.ม.

A_2 = พื้นที่ที่จุดกึ่งกลางความลึกกักเก็บน้ำ , ตร.ม.

A_3 = พื้นที่ที่ก้นความลึกกักเก็บน้ำ , ตร.ม.

คำนวณ D = 3.50 ม.

A1 = 714.29 ตร.ม.

สถาพ สถาพรกรณ์

A2 = ความกว้างกึ่งกลางความลึกกักเก็บน้ำ·ความยาวกึ่งกลางความลึกกักเก็บน้ำ

= [ความกว้างผิวน้ำ- 2·(D/2)/ความชันบ่อ] · [ความยาวผิวน้ำ- 2·(D/2)/ความชันบ่อ]

= [21.82 - 2·(3.50/2)/(1/2)] ม. · [32.74 - 2·(3.50/2)/(1/2)] ม.

= 381.47 ตร.ม.

A3 = ความกว้างที่ก้นความลึกกักเก็บน้ำ·ความยาวที่ก้นความลึกกักเก็บน้ำ

= [ความกว้างผิวน้ำ- 2·(D)/ความชันบ่อ] · [ความยาวผิวน้ำ- 2·(D)/ความชันบ่อ]

= [21.82 - 2·(3.50)/(1/2)] ม. · [32.74 - 2·(3.50)/(1/2)] ม.

= 146.55 ตร.ม.

V = [(3.50 ม.)/6] · [714.29 ตร.ม.+4·381.47 ตร.ม.+ 146.55 ตร.ม.]

= 1,392.25 ลบ.ม.

คำนวณ ระยะเวลากักเก็บน้ำ

= ปริมาตรกักเก็บน้ำ / อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ

= (1,392.25 ลบ.ม.) / (100 ลบ.ม./วัน)

= 13.92 วัน

ระยะเวลากักเก็บน้ำ มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ (20-50 วัน) จึงต้องคำนวณใหม่โดยกำหนดระยะเวลากักเก็บน้ำ (HRT) ไม่น้อยกว่า 30 วัน

คำนวณปริมาตรกักเก็บน้ำ จากสมการ

V = Q · HRT

= (100 ลบ.ม./วัน) · (30 วัน)

= 3,000 ลบ.ม.

กำหนดความกว้างผิวน้ำ 30 ม.

คำนวณ ความยาวผิวน้ำ

= 1.5 · ความกว้างผิวน้ำ

= 1.5 · 30 ม.

= 45 ม.

คำนวณปริมาตรกักเก็บน้ำจากสมการ

V = [D/6] · [A1+4·A2+A3]

คำนวณ D = 3.50 ม.

A1 = (30 ม.) · (45 ม.)

= 1,350 ตร.ม.

A2 = [30 - 2·(3.50/2)/(1/2)] ม. · [45 - 2·(3.50/2)/(1/2)] ม.

= 874 ตร.ม.

A3 = [30 - 2·(3.50)/(1/2)] ม. · [45 - 2·(3.50)/(1/2)] ม.

= 496 ตร.ม.

V = [(3.50 ม.)/6] · [1,350 ตร.ม.+4·874 ตร.ม.+ 496 ตร.ม.]

= 3,116.17 ลบ.ม.

สงพ สรรพยาปกรณ์

คำนวณ ระยะเวลากักเก็บน้ำ

= ปริมาตรกักเก็บน้ำ / อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ

= (3,116.17 ลบ.ม.) / (100 ลบ.ม./วัน)

= 31.16 วัน มีค่าตามเกณฑ์ (เกณฑ์ 20-50)

(d) คำนวณ คุณลักษณะน้ำที่ออกจากบ่อ

กำหนดประสิทธิภาพการลดบีโอดี	50	%
ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ	250	มก./ล.

คำนวณบีโอดีน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ · (100%-ประสิทธิภาพการลดบีโอดี)/100%

= (250 มก./ล.) · [100%-(50%)]/100%

= 125 มก./ล. เกินกว่า 20 มก./ล.

กำหนดประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย	70	%
ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ	200	มก./ล.

คำนวณของแข็งแขวนลอยน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ·(100%-ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย)/100%

= (200 มก./ล.) · [100%-(70%)]/100%

= 60 มก./ล. เกินกว่า 30 มก./ล.

3. **บ่อที่ 2 บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ (Low Rate Aerobic Pond)**

(a) กำหนดอัตราภาระบรรทุกบีโอดีไม่เกินกว่า 10.00 ก./ตร.ม.-วัน (เกณฑ์ 6.8-67.5)

(b) คำนวณ พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ

= [อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ ·ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ] / อัตราภาระบรรทุกบีโอดี

= [(100 ลบ.ม./วัน)·(1,000 ล./ลบ.ม.)·(125 มก./ล.)/(1,000 มก./ก.)]/(10 ก./ตร.ม.-วัน)

= 1,250 ตร.ม.

(c) คำนวณขนาดบ่อ

กำหนดความลึกกักเก็บน้ำ	1.00	ม. (เกณฑ์ 0.9-1.2)
กำหนดความสูง Free Board	0.55 ม. (ระดับน้ำต่ำกว่า บ่อที่ 1 0.05 ม.)	
กำหนดความลึกชั้นตะกอน	0.50	ม.
คำนวณความลึกบ่อ = 1.00 + 0.55 +0.50 =	2.05	ม.
กำหนดสัดส่วนบ่อ ความกว้าง : ความยาว	1 : 1.5	
กำหนดสัดส่วนความชันบ่อ ดิ่ง : ราบ	1 : 2	

คำนวณ ความกว้างผิวน้ำ

= [พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ / 1.5]$^{0.5}$

= [(1,250 ตร.ม.) / 1.5]$^{0.5}$

= 28.87 ม.

คำนวณ ความยาวผิวน้ำ

= พื้นที่ผิวน้ำ / ความกว้างผิวน้ำ

สุเทพ สรรพะกาปกรณ์

= (1,250 ตร.ม.) / (28.87 ม.)

= 43.30 ม.

คำนวณปริมาตรกักเก็บน้ำจากสมการ

V = [D/6] · [A1+4·A2+A3]

คำนวณ D = 1.00 ม.

A1 = 1,250 ตร.ม.

A2 = [28.87 - 2·(1.00/2)·2] ม. · [43.30 - 2·(1.00/2)·2] ม.

= 1,109.73 ตร.ม.

A3 = [28.87 - 2·(1.00)·2] ม. · [43.30 - 2·(1.00)·2] ม.

= 977.39 ตร.ม.

V = [(1.00 ม.)/6] · [1,250 ตร.ม.+4·1,109.73 ตร.ม.+977.39 ตร.ม.]

= 1,111.05 ลบ.ม.

คำนวณ ระยะเวลากักเก็บน้ำ

= ปริมาตรกักเก็บน้ำ / อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ

= (1,111.05 ลบ.ม.) / (100 ลบ.ม./วัน)

= 11.11 วัน (เกณฑ์ 10-40)

(d) คำนวณ คุณลักษณะน้ำที่ออกจากบ่อ

กำหนดประสิทธิภาพการลดบีโอดี	70	%
ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ	125	มก./ล.

คำนวณบีโอดีน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ · (100%-ประสิทธิภาพการลดบีโอดี)/100%

= (125 มก./ล.) · [100%-(70%)]/100%

= 38 มก./ล. เกินกว่า 20 มก./ล.

กำหนดประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย	80	%
ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ	60	มก./ล.

คำนวณของแข็งแขวนลอยน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ·(100%-ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย)/100%

= (60 มก./ล.) · [100%-(80%)]/100%

= 12 มก./ล. ไม่เกิน 30 มก./ล.

4. บ่อที่ 3 บ่อบ่ม (Maturation Pond)

(a) กำหนดอัตราภาระบรรทุกบีโอดีไม่เกินกว่า 1.65 ก./ตร.ม.-วัน (เกณฑ์ ไม่เกิน 3.4)

(b) คำนวณ พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ

= [อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ ·ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ] / อัตราภาระบรรทุกบีโอดี

= [(100 ลบ.ม./วัน)·(1,000 ล./ลบ.ม.)·(38 มก./ล.)/(1,000 มก./ก.)]/(1.65 ก./ตร.ม.-วัน)

= 2,303.03 ตร.ม.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

(c) คำนวณขนาดบ่อ

กำหนดความลึกกักเก็บน้ำ 0.90 ม. (เกณฑ์ 0.9-1.5)

กำหนดความสูง Free Board 0.60 ม. (ระดับน้ำต่ำกว่า บ่อที่ 2 0.05 ม.)

กำหนดความลึกชั้นตะกอน 0.30 ม.

คำนวณความลึกบ่อ = 0.90 + 0.60 +0.30 = 1.80 ม.

กำหนดสัดส่วนบ่อ ความกว้าง : ความยาว 1 : 1.5

กำหนดสัดส่วนความชันบ่อ ดิ่ง : ราบ 1 : 2

คำนวณ ความกว้างผิวน้ำ

= [พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ / 1.5]$^{0.5}$

= [(2,303.03 ตร.ม.) / 1.5]$^{0.5}$

= 39.18 ม.

คำนวณ ความยาวผิวน้ำ

= พื้นที่ผิวน้ำ / ความกว้างผิวน้ำ

= (2,303.03 ตร.ม.) / (39.18 ม.)

= 58.78 ม.

คำนวณปริมาตรกักเก็บน้ำจากสมการ

$$V = [D/6] \cdot [A1+4 \cdot A2+A3]$$

คำนวณ D = 0.90 ม.

A1 = 2,303.03 ตร.ม.

A2 = [39.18 - 2·(0.90/2)·2] ม. · [58.78 - 2·(0.90/2)·2] ม.

= 2,129.91 ตร.ม.

A3 = [39.18 - 2·(0.90)·2] ม. · [58.78 - 2·(0.90)·2] ม.

= 1,963.30 ตร.ม.

V = [(0.90 ม.)/6] · [2,303.03 ตร.ม.+4·2,129.91 ตร.ม.+1,963.30 ตร.ม.]

= 1,917.90 ลบ.ม.

คำนวณ ระยะเวลากักเก็บน้ำ

= ปริมาตรกักเก็บน้ำ / อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ

= (1,917.90 ลบ.ม.) / (100 ลบ.ม./วัน)

= 19.18 วัน (เกณฑ์ 5-20)

(d) คำนวณ คุณลักษณะน้ำที่ออกจากบ่อ

กำหนดประสิทธิภาพการลดบีโอดี 50 %

ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ 38 มก./ล.

คำนวณบีโอดีน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ · (100%-ประสิทธิภาพการลดบีโอดี)/100%

= (38 มก./ล.) · [100%-(50%)]/100%

= 19 มก./ล. ไม่เกิน 20 มก./ล. สามารถปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำได้

สำนักวิทยาปกรณ์

กำหนดประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย 70 %

ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ 12 มก./ล.

คำนวณของแข็งแขวนลอยน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ·(100%-ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย)/100%

= (12 มก./ล.) · [100%-(70%)]/100%

= 3.6 มก./ล. ไม่เกิน 30 มก./ล. สามารถปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำได้

5. คำนวณประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสีย

(a) คำนวณ ประสิทธิภาพรวมการลดบีโอดี

$$\text{ประสิทธิภาพรวมการลดบีโอดี} = \frac{(\text{บีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ} - \text{บีโอดีน้ำที่ออกจากระบบ}) \cdot 100\%}{(\text{บีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ})}$$

$$= \frac{(250 \text{ มก./ล.} - 19 \text{ มก./ล.}) \cdot 100\%}{250 \text{ มก./ล.}}$$

= 92.40 %

(b) คำนวณ ประสิทธิภาพรวมการลดของแข็งแขวนลอย

ประสิทธิภาพรวมการลดของแข็งแขวนลอย

$$= \frac{(\text{ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าระบบ} - \text{ของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากระบบ}) \cdot 100\%}{(\text{ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าระบบ})}$$

$$= \frac{(200 \text{ มก./ล.} - 3.60 \text{ มก./ล.}) \cdot 100\%}{200 \text{ มก./ล.}}$$

= 98.20 %

6. คำนวณพื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสีย

บ่อที่ 1 บ่อหมัก

คำนวณความกว้างขอบบ่อ

= ความกว้างผิวน้ำ + 2 · ระยะ Free Board / ความชันขอบบ่อ

= 30.00 ม. + 2 · (0.50 ม.) / (1/2)

= 32.00 ม.

คำนวณความยาวขอบบ่อ

= ความยาวผิวน้ำ + 2 · ระยะ Free Board / ความชันขอบบ่อ

= 45.00 ม. + 2 · (0.50 ม.) / (1/2)

= 47.00 ม.

คำนวณพื้นที่ขอบบ่อ

= ความกว้างขอบบ่อ · ความยาวขอบบ่อ

= 32.00 ม. · 47.00 ม.

= 1,504.00 ตร.ม.

สุทัศน์ สรวิทยาปกรณ์

บ่อที่ 2 บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ

คำนวณความกว้างขอบบ่อ

= 28.87 ม. + 2 · (0.55 ม.) / (1/2)

= 31.07 ม.

คำนวณความยาวขอบบ่อ

= 43.30 ม. + 2 · (0.55 ม.) / (1/2)

= 45.50 ม.

คำนวณพื้นที่ขอบบ่อ

= 31.07 ม. · 45.50 ม.

= 1,413.69 ตร.ม.

บ่อที่ 3 บ่อบ่ม

คำนวณความกว้างขอบบ่อ

= 39.18 ม. + 2 · (0.60 ม.) / (1/2)

= 41.58 ม.

คำนวณความยาวขอบบ่อ

= 58.78 ม. + 2 · (0.60 ม.) / (1/2)

= 61.18 ม.

คำนวณพื้นที่ขอบบ่อ

= 41.58 ม. · 61.18 ม.

= 2,543.86 ตร.ม.

คำนวณพื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสียรวมทั้งสิ้น

= 1,504.00 + 1,413.69 + 2,543.86

= 5,461.55 ตร.ม.

<u>หมายเหตุ</u> พื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสียยังไม่รวมพื้นที่ถนนรอบบ่อและระบบสาธารณูปการอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

7. **สรุปผลการคำนวณ**

สรุปผลการคำนวณหน่วยระบบบำบัดน้ำเสีย แสดงในตาราง ข-9

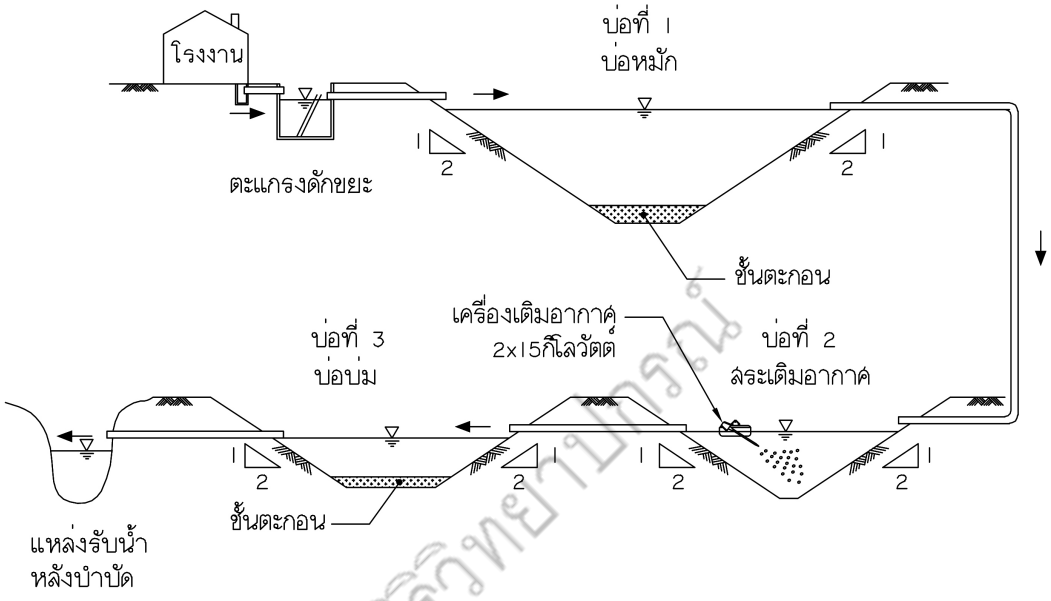
ตาราง ข-9 สรุปผลการคำนวณหน่วยระบบบำบัดน้ำเสีย ตัวอย่างที่ 4

บ่อที่	หน่วยกระบวนการ	ประสิทธิ-ภาพการลดบีโอดี (%)	บีโอดี		ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย (%)	ของแข็งแขวนลอย	
			เข้า (มก./ล.)	ออก (มก./ล.)		เข้า (มก./ล.)	ออก (มก./ล.)
1	บ่อหมัก	50	250	125	70	200	60
2	บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ	70	125	38	80	60	12
3	บ่อบ่ม	50	38	19	70	12	3.6
	ประสิทธิภาพรวม	92.40%			98.20%		

บ่อที่	หน่วยกระบวนการ	ความลึกกักเก็บน้ำ (ม.)	ความลึกบ่อ (ม.)	พื้นที่ขอบบ่อ (ตร.ม.)	ปริมาตรกักเก็บน้ำ (ลบ.ม.)	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)
1	บ่อหมัก	3.50	4.50	1,504.00	3,116.17	31.16
2	บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ	1.00	2.05	1,413.69	1,111.05	11.11
3	บ่อบ่ม	0.90	1.80	2,543.86	1,917.90	19.18
			รวม	5,461.55	6,145.12	61.45

สุเทพวิทยาลัย

<u>ตัวอย่างที่ 5</u> คำนวณกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบผึ่ง (Oxidation Ponds) เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอัตราน้ำเสียเฉลี่ยต่อวัน 100 ลบ.ม. ค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียมีค่า 400 มก./ล. และ 300 มก./ล. ตามลำดับ โดยใช้เกณฑ์การออกแบบตามตารางที่ 8-7 เพื่อลดค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยให้เหลือไม่เกินกว่า 20 มก./ล. และ 30 มก./ล. ตามลำดับ โดยมีหน่วยกระบวนการบำบัดแสดงในรูปที่ ข-5 ได้แก่ บ่อหมัก (Anaerobic Pond) สระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) และ บ่อบ่ม (Maturation Pond) จำนวนละ 1 บ่อ เรียงต่อกันแบบอนุกรม



<u>รูปที่ ข-5</u> กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมัก สระเติมอากาศ และบ่อบ่ม

1. **คุณลักษณะน้ำเสีย**

อัตราการไหลน้ำเสียเข้าระบบ	100	ลบ.ม./วัน
ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ	400	มก./ล.
ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าระบบ	300	มก./ล.
ค่าบีโอดีน้ำที่ออกจากระบบ	ไม่เกิน 20	มก./ล.
ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากระบบ	ไม่เกิน 30	มก./ล.

2. **บ่อที่ 1 บ่อหมัก (Anaerobic Pond)**

(a) กำหนดอัตราภาระบรรทุกบีโอดีไม่เกินกว่า 35.00 ก./ตร.ม.-วัน (เกณฑ์ 22.6-282.0)

(b) คำนวณ พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ

= [อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ ·ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ] / อัตราภาระบรรทุกบีโอดี

= [(100 ลบ.ม./วัน)·(1,000 ล./ลบ.ม.)·(400 มก./ล.)/(1,000 มก./ก.)]/(35 ก./ตร.ม.-วัน)

= 1,142.86 ตร.ม.

(c) คำนวณขนาดบ่อ

กำหนดความลึกกักเก็บน้ำ 3.50 ม. (เกณฑ์ 2.4-4.9)

กำหนดความสูงจากผิวน้ำถึงขอบบ่อ (Free Board) 0.50 ม.

กำหนดความลึกชั้นตะกอน 0.50 ม.

คำนวณความลึกบ่อ = 3.50 + 0.50 +0.50 = 4.50 ม.

กำหนดสัดส่วนบ่อ ความกว้าง : ความยาว 1 : 1.5

กำหนดสัดส่วนความชันบ่อ ดิ่ง : ราบ 1 : 2

คำนวณ ความกว้างผิวน้ำ

พื้นที่ผิวน้ำ = ความกว้างผิวน้ำ · ความยาวผิวน้ำ

= ความกว้างผิวน้ำ · (1.5 · ความกว้างผิวน้ำ)

ความกว้างผิวน้ำ = [พื้นที่ผิวน้ำ / 1.5)$^{0.5}$

= [(1,142.86 ตร.ม.) / 1.5]$^{0.5}$

= 27.60 ม.

คำนวณ ความยาวผิวน้ำ

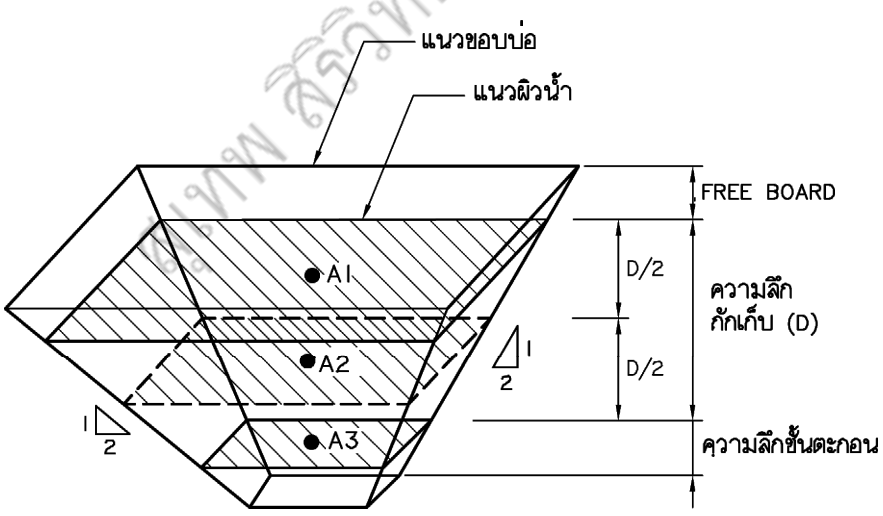
= พื้นที่ผิวน้ำ / ความกว้างผิวน้ำ

= (1,142.86 ตร.ม.) / (27.60 ม.)

= 41.41 ม.

คำนวณปริมาตรกักเก็บน้ำจากสมการ

$$V = [D/6] \cdot [A1+4 \cdot A2+A3]$$



เมื่อ V = ปริมาตรกักเก็บน้ำ , ลบ.ม.

D = ความลึกกักเก็บน้ำ , ม.

A_1 = พื้นที่ผิวน้ำ , ตร.ม.

A_2 = พื้นที่ที่จุดกึ่งกลางความลึกกักเก็บน้ำ , ตร.ม.

A_3 = พื้นที่ที่ก้นความลึกกักเก็บน้ำ , ตร.ม.

คำนวณ D = 3.50 ม.

A1 = 1,142.86 ตร.ม.

A2 = ความกว้างกึ่งกลางความลึกกักเก็บน้ำ·ความยาวกึ่งกลางความลึกกักเก็บน้ำ

= [ความกว้างผิวน้ำ- 2·(D/2)/ความชันบ่อ] ·
[ความยาวผิวน้ำ- 2·(D/2)/ความชันบ่อ]

= [27.60 - 2·(3.50/2)/(1/2)] ม. · [41.41 - 2·(3.50/2)/(1/2)] ม.

= 708.85 ตร.ม.

A3 = ความกว้างที่ก้นความลึกกักเก็บน้ำ·ความยาวที่ก้นความลึกกักเก็บน้ำ

= [ความกว้างผิวน้ำ- 2·(D)/ความชันบ่อ] ·
[ความยาวผิวน้ำ- 2·(D)/ความชันบ่อ]

= [27.60 - 2·(3.50)/(1/2)] ม. · [41.41 - 2·(3.50)/(1/2)] ม.

= 372.78 ตร.ม.

V = [(3.50 ม.)/6] · [1,142.86 ตร.ม.+4·708.85 ตร.ม.+ 372.78 ตร.ม.]

= 2,538.11 ลบ.ม.

คำนวณ ระยะเวลากักเก็บน้ำ

= ปริมาตรกักเก็บน้ำ / อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ

= (2,538.11 ลบ.ม.) / (100 ลบ.ม./วัน)

= 25.38 วัน (เกณฑ์ 20-50)

(d) คำนวณ คุณลักษณะน้ำที่ออกจากบ่อ

กำหนดประสิทธิภาพการลดบีโอดี	50	% (เกณฑ์ 80-95)
ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ	400	มก./ล.

คำนวณบีโอดีน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ · (100%-ประสิทธิภาพการลดบีโอดี)/100%

= (400 มก./ล.) · [100%-(50%)]/100%

= 200 มก./ล. เกินกว่า 20 มก./ล.

กำหนดประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย	70	%
ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ	300	มก./ล.

คำนวณของแข็งแขวนลอยน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ·(100%-ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย)/100%

= (300 มก./ล.) · [100%-(70%)]/100%

= 90 มก./ล. เกินกว่า 30 มก./ล.

3. บ่อที่ 2 สระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

(a)	กำหนดระยะเวลากักเก็บตามเกณฑ์ในช่วง	3-10	วัน
(b)	คำนวณขนาดบ่อ		
	กำหนดความลึกกักเก็บน้ำ	3.00	ม. (เกณฑ์ 1.8-6.1)
	กำหนดความสูง Free Board	0.55 ม. (ระดับน้ำต่ำกว่า บ่อที่ 1 0.05 ม.)	

สมพง สริวิทยาปกรณ์

กำหนดความลึกชั้นตะกอน 0.00 ม. (การกวนผสมตลอดความลึก)

คำนวณความลึกบ่อ = 3.00 + 0.55 +0.00 = 3.55 ม.

กำหนดสัดส่วนบ่อ ความกว้าง : ความยาว 1 : 1.5

กำหนดสัดส่วนความชันบ่อ ดิ่ง : ราบ 1 : 2

กำหนดความกว้างผิวน้ำ 16.50 ม.

คำนวณ ความยาวผิวน้ำ

= 1.5 · ความกว้างผิวน้ำ

= 1.5 · (16.50 ม.)

= 24.75 ม.

คำนวณพื้นที่ผิวน้ำ

= 16.50 ม. · 24.75 ม.

= 408.38 ตร.ม.

คำนวณปริมาตรกักเก็บน้ำจากสมการ

$$V = [D/6] \cdot [A1+4 \cdot A2+A3]$$

คำนวณ D = 3.00 ม.

A1 = 408.38 ตร.ม.

= [16.50 - 2·(3.00/2)·2] ม. · [24.75 - 2·(3.00/2)·2] ม.

= 196.88 ตร.ม.

A3 = [16.50 - 2·(3.00)·2] ม. · [24.75 - 2·(3.00)·2] ม.

= 57.38 ตร.ม.

V = [(3.00 ม.)/6] · [408.38 ตร.ม.+4·196.88 ตร.ม.+ 57.38 ตร.ม.]

= 626.64 ลบ.ม.

คำนวณตรวจสอบ ระยะเวลากักเก็บ

= ปริมาตรกักเก็บของบ่อ / อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ

= (626.64 ลบ.ม.) / (100 ลบ.ม./วัน)

= 6.27 วัน (เกณฑ์ 3-10)

(c) คำนวณ คุณลักษณะน้ำที่ออกจากบ่อ

กำหนดประสิทธิภาพการลดบีโอดี 85 %

ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ 200 มก./ล.

คำนวณบีโอดีน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ · (100%-ประสิทธิภาพการลดบีโอดี)/100%

= (200 มก./ล.) · [100%-(85%)]/100%

= 30 มก./ล. เกินกว่า 20 มก./ล.

สงวนลิขสิทธิ์กรมควบคุมมลพิษ

(e) คำนวณ ขนาดเครื่องเติมอากาศ

กำหนดกำลังเครื่องเติมอากาศที่ต้องการสำหรับการกวนผสมทั่วทั้งบ่อ (Completely mixed-flow) 15 กิโลวัตต์ต่อปริมาตรบ่อ1,000 ลบ.ม.

คำนวณกำลังเครื่องเติมอากาศที่ต้องการ

= 15 กิโลวัตต์ · 626.64 ลบ.ม. / 1,000 ลบ.ม.

= 9.40 กิโลวัตต์

คำนวณขนาดมอเตอร์เครื่องเติมอากาศ

= กำลังเครื่องเติมอากาศ/(ประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ·ประสิทธิภาพมอเตอร์)

= 9.40 กิโลวัตต์ / [(80%/100%) · (80%/100%)]

= 14.69 กิโลวัตต์

เลือกเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำขนาด 15 กิโลวัตต์ x 2 ชุด ทำงาน 1 ชุด สำรอง 1 ชุด สลับกันทำงานอัตโนมัติ

4. **บ่อที่ 3 บ่อบ่ม** (Maturation Pond)

(a) กำหนดอัตราภาระบรรทุกบีโอดีไม่เกินกว่า 1.65 ก./ตร.ม.-วัน (เกณฑ์ น้อยกว่า 3.47ก./ตร.ม.-วัน)

(b) คำนวณ พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ

= [อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ ·ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ] / อัตราภาระบรรทุกบีโอดี

= [(100 ลบ.ม./วัน)·(1,000 ล./ลบ.ม.)·(30 มก./ล.)/(1,000 มก./ก.)]/(1.65 ก./ตร.ม.-วัน)

= 1,818.18 ตร.ม.

(c) คำนวณขนาดบ่อ

กำหนดความลึกกักเก็บน้ำ	0.90	ม. (เกณฑ์ 0.9-1.5)
กำหนดความสูง Free Board	0.60 ม. (ระดับน้ำต่ำกว่า บ่อที่ 2 0.05 ม.)	
กำหนดความลึกชั้นตะกอน	0.30	ม.
คำนวณความลึกบ่อ = 0.90 + 0.60 +0.30 =	1.80	ม.
กำหนดสัดส่วนบ่อ ความกว้าง : ความยาว	1 : 1.5	
กำหนดสัดส่วนความชันบ่อ ดิ่ง : ราบ	1 : 2	

คำนวณ ความกว้างผิวน้ำ

= [พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ / 1.5]$^{0.5}$

= [(1,818.18 ตร.ม.) / 1.5]$^{0.5}$

= 34.82 ม.

คำนวณ ความยาวผิวน้ำ

= พื้นที่ผิวน้ำ / ความกว้างผิวน้ำ

= (1,818.18 ตร.ม.) / (34.82 ม.)

= 52.22 ม.

คำนวณปริมาตรกักเก็บน้ำจากสมการ

$$V = [D/6] \cdot [A1+4 \cdot A2+A3]$$

คำนวณ D = 0.90 ม.

A1 = 1,818.18 ตร.ม.

A2 = [34.82 - 2·(0.90/2)·2] ม. · [52.22 - 2·(0.90/2)·2] ม.

= 1,664.87 ตร.ม.

A3 = [34.82 - 2·(0.90)·2] ม. · [52.22 - 2·(0.90)·2] ม.

= 1,517.92 ตร.ม.

$$V = [(0.90 \text{ ม.})/6] \cdot [1,818.18 \text{ ตร.ม.} + 4 \cdot 1,664.87 \text{ ตร.ม.} + 1,517.92 \text{ ตร.ม.}]$$

= 1,499.34 ลบ.ม.

คำนวณ ระยะเวลากักเก็บน้ำ

= ปริมาตรกักเก็บน้ำ / อัตราการไหลน้ำเสียเข้าบ่อ

= (1,499.34 ลบ.ม.) / (100 ลบ.ม./วัน)

= 14.99 วัน (เกณฑ์ 5-20)

(d) คำนวณ คุณลักษณะน้ำที่ออกจากบ่อ

กำหนดประสิทธิภาพการลดบีโอดี	50	%
ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ	30	มก./ล.

คำนวณบีโอดีน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าบ่อ · (100% - ประสิทธิภาพการลดบีโอดี)/100%

= (30 มก./ล.) · [100%-(50%)]/100%

= 15 มก./ล. ไม่เกิน 20 มก./ล. สามารถปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำได้

กำหนดประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย	70	%
ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ	90	มก./ล.

คำนวณของแข็งแขวนลอยน้ำที่ออกจากบ่อ

= ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียเข้าบ่อ·(100%-ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย)/100%

= (90 มก./ล.) · [100% - (70%)]/100%

= 27 มก./ล. ไม่เกิน 30 มก./ล. สามารถปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำได้

5. คำนวณประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสีย

(a) คำนวณ ประสิทธิภาพรวมการลดบีโอดี

$$\text{ประสิทธิภาพรวมการลดบีโอดี} = \frac{(\text{บีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ} - \text{บีโอดีน้ำที่ออกจากระบบ}) \cdot 100\%}{(\text{บีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ})}$$

$$= \frac{(400 \text{ มก./ล.} - 15 \text{ มก./ล.}) \cdot 100\%}{400 \text{ มก./ล.}}$$

= 96.25 %

(b) คำนวณ ประสิทธิภาพรวมการลดของแข็งแขวนลอย

สนับสนุนโดยกรมควบคุมมลพิษ

ประสิทธิภาพรวมการลดของแข็งแขวนลอย

= (ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าระบบ – ของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากระบบ) · 100%

(ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าระบบ)

= (300 มก./ล. – 27 มก./ล.) · 100%

300 มก./ล.

= 91.00 %

6. คำนวณพื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสีย

บ่อที่ 1 บ่อหมัก

คำนวณความกว้างขอบบ่อ

= ความกว้างผิวน้ำ + 2 · ระยะ Free Board / ความชันขอบบ่อ

= 27.60 ม. + 2 · (0.50 ม.) / (1/2)

= 29.60 ม.

คำนวณความยาวขอบบ่อ

= ความยาวผิวน้ำ + 2 · ระยะ Free Board / ความชันขอบบ่อ

= 41.41 ม. + 2 · (0.50 ม.) / (1/2)

= 43.41 ม.

คำนวณพื้นที่ขอบบ่อ

= ความกว้างขอบบ่อ · ความยาวขอบบ่อ

= 29.60 ม. · 43.41 ม.

= 1,284.94 ตร.ม.

บ่อที่ 2 สระเติมอากาศ

คำนวณความกว้างขอบบ่อ

= 16.50 ม. + 2 · (0.55 ม.) / (1/2)

= 18.70 ม.

คำนวณความยาวขอบบ่อ

= 24.75 ม. + 2 · (0.55 ม.) / (1/2)

= 26.95 ม.

คำนวณพื้นที่ขอบบ่อ

= 18.70 ม. · 26.95 ม.

= 503.97 ตร.ม.

บ่อที่ 3 บ่อบ่ม

คำนวณความกว้างขอบบ่อ

= 34.82 ม. + 2 · (0.60 ม.) / (1/2)

= 37.22 ม.

คำนวณความยาวขอบบ่อ

สุพพ สรวิทยาปกรณ์

= 52.22 ม. + 2 · (0.60 ม.) / (1/2) = 54.62 ม.

คำนวณพื้นที่ขอบบ่อ

= 37.22 ม. · 54.62 ม. = 2,032.96 ตร.ม.

คำนวณพื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสียรวมทั้งสิ้น

= 1,284.94 + 503.97 + 2,032.96 = 3,821.87 ตร.ม.

หมายเหตุ พื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสียยังไม่รวมพื้นที่ถนนรอบบ่อและระบบสาธารณูปการอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

7. สรุปผลการคำนวณ

สรุปผลการคำนวณหน่วยระบบบำบัดน้ำเสีย แสดงในตาราง ข-10

ตาราง ข-10 สรุปผลการคำนวณหน่วยระบบบำบัดน้ำเสีย ตัวอย่างที่ 5

บ่อที่	หน่วยกระบวนการ	ประสิทธิ-ภาพการลดบีโอดี (%)	บีโอดี		ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย (%)	ของแข็งแขวนลอย	
			เข้า (มก./ล.)	ออก (มก./ล.)		เข้า (มก./ล.)	ออก (มก./ล.)
1	บ่อหมัก	50	400	200	70	300	90
2	สระเติมอากาศ	85	200	30	-	90	90
3	บ่อบ่ม	50	30	15	70	90	27
	ประสิทธิภาพรวม	96.25%			91.00%		

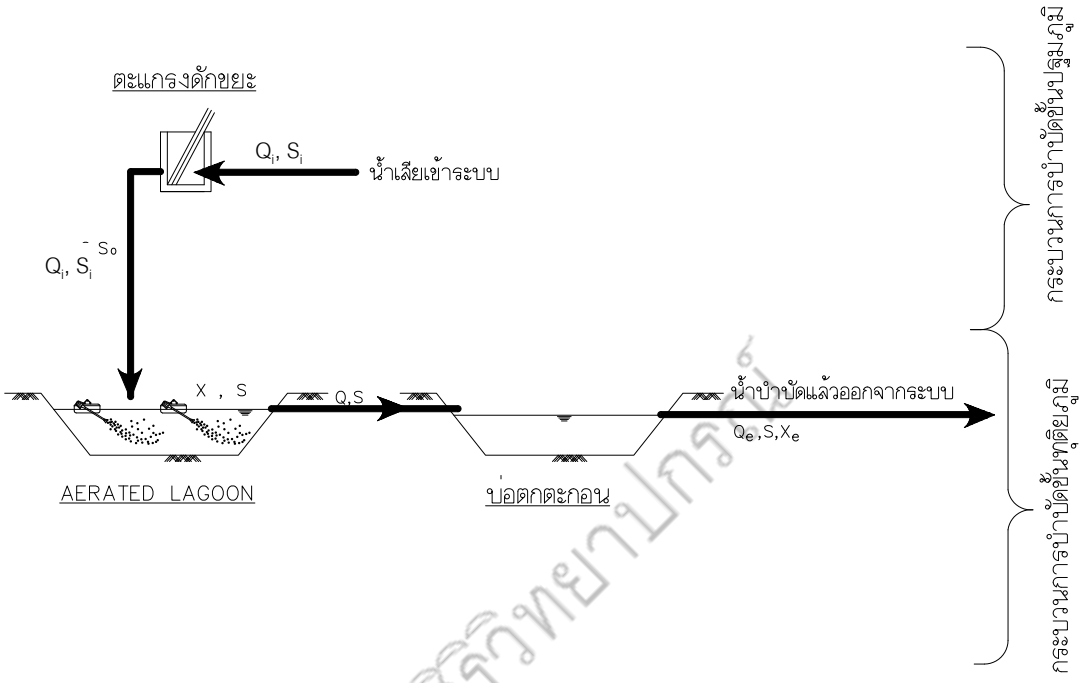
บ่อที่	หน่วยกระบวนการ	ความลึกกักเก็บน้ำ (ม.)	ความลึกบ่อ (ม.)	พื้นที่ขอบบ่อ (ตร.ม.)	ปริมาตรกักเก็บน้ำ (ลบ.ม.)	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)
1	บ่อหมัก	3.50	4.50	1,284.94	2,538.11	25.38
2	สระเติมอากาศ	3.00	3.55	503.97	626.64	6.27
3	บ่อบ่ม	0.90	1.80	2,032.96	1,499.34	14.99
			รวม	3,821.87	4,664.09	46.64

ตาราง ข-11 เปรียบเทียบผลการคำนวณหน่วยระบบบำบัดน้ำเสีย ตัวอย่างที่ 3 , 4 และ 5

บ่อที่	หน่วยกระบวนการ	ประสิทธิ-ภาพการลดบีโอดี (%)	บีโอดี		ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย (%)	ของแข็งแขวนลอย	
			เข้า (มก./ล.)	ออก (มก./ล.)		เข้า (มก./ล.)	ออก (มก./ล.)
	ตัวอย่างที่ 5						
1	บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ	70	400	120	80	300	60
2	บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ	70	120	36	80	60	12
3	บ่อบ่ม	50	36	18	70	12	3.6
	ประสิทธิภาพรวม	95.50%			98.80%		
	ตัวอย่างที่ 6						
1	บ่อหมัก	50	250	125	70	200	60
3	บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ	70	125	38	80	60	12
4	บ่อบ่ม	50	38	19	70	12	3.6
	ประสิทธิภาพรวม	92.40%			98.20%		
	ตัวอย่างที่ 7						
1	บ่อหมัก	50	400	200	70	300	90
2	สระเติมอากาศ	85	200	30	-	90	90
3	บ่อบ่ม	50	30	15	70	90	27
	ประสิทธิภาพรวม	96.25%			91.00%		

บ่อที่	หน่วยกระบวนการ	ความลึกกักเก็บน้ำ (ม.)	ความลึกบ่อ (ม.)	พื้นที่ขอบบ่อ (ตร.ม.)	ปริมาตรกักเก็บน้ำ (ลบ.ม.)	ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)
	ตัวอย่างที่ 5					
1	บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ	1.00	2.00	4,262.23	3,747.16	37.47
2	บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ	1.00	2.05	1,360.32	1,063.85	10.64
3	บ่อบ่ม	0.90	1.80	2,416.59	1,813.19	18.13
	รวม			8,039.14	6,624.20	66.24
	ตัวอย่างที่ 6					
1	บ่อหมัก	3.50	4.50	1,504.00	3,116.17	31.16
3	บ่อแอโรบิก อัตราต่ำ	1.00	2.05	1,413.69	1,111.05	11.11
4	บ่อบ่ม	0.90	1.80	2,543.86	1,917.90	19.18
	รวม			5,461.55	6,145.12	61.45
	ตัวอย่างที่ 7					
1	บ่อหมัก	3.50	4.50	1,284.94	2,538.11	25.38
2	สระเติมอากาศ	3.00	3.55	503.97	626.64	6.27
3	บ่อบ่ม	0.90	1.80	2,032.96	1,499.34	14.99
	รวม			3,821.87	4,664.09	46.64

ตัวอย่างที่ 6 คำนวณกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ เพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีอัตราการไหลและคุณสมบัติเช่นเดียวกับน้ำเสียตามตัวอย่างที่ 1 โดยมีหน่วยกระบวน การบำบัด แสดงในรูปที่ ข-6 กระบวนการบำบัดขั้นปฐมภูมิได้แก่ ตะแกรงดักขยะ และกระบวนการบำบัดขั้นทุติยภูมิ ได้แก่ สระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) และบ่อตกตะกอน โดยสมมุติให้มีการลดค่า BOD_5 เกิดขึ้นเฉพาะใน Aerated Lagoon เท่านั้น



รูปที่ ข-6 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ

โดยกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ ดังนี้

- ค่า BOD_5 (S_i) และ SS น้ำเสียเข้าระบบ = 200 มก./ล. และ 150 มก./ล. ตามลำดับ
- ค่า BOD_5 (S) และ SS น้ำที่ออกจากระบบ (X_e) = 20 มก./ล.และ 15 มก./ล. ตามลำดับ
- สัดส่วน $BOD_5 : BOD_L$ = 0.70
- สัดส่วน VSS : SS ในบ่อเติมอากาศ = 0.85
- พื้นที่อยู่ที่ระดับน้ำทะเล
- ค่า BOD_5 ที่ใช้ในการคำนวณในรูป Soluble BOD_5
- Mean Cell Residence Time , θ_C = 8 วัน
- ความลึกน้ำในบ่อ = 3.2 ม.
- Proportionality factor , f = 0.50 (Metcalf & Eddy, Inc.,1991)
- อุณหภูมิอากาศหน้าร้อน 35 $^{\circ}$C , T_a
- อุณหภูมิอากาศหน้าหนาว 15 $^{\circ}$C , T_a
- อุณหภูมิน้ำเสีย 22 $^{\circ}$C , T_i

สุเทพ สรีวิทยาปกรณ์

- First-order soluble BOD_5 removal rate constant , k_{20}
  = 2.50 วัน$^{-1}$ ที่ อุณหภูมิ 20 °C
- Temperature coefficient , θ = 1.06
- Kinetic coefficients: Y = 0.60 , K_s = 100 มก./ล., k = 6 วัน$^{-1}$, k_d = 0.06 วัน$^{-1}$
- Aeration constant : α = 0.85 , β = 1.00
- ความเข้มข้นออกซิเจนที่รักษาไว้ในน้ำ , C_L = 1.5 มก./ล.

1. กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นปฐมภูมิ

การคำนวณตะแกรงดักขยะ ดูรายละเอียดในตัวอย่างที่ 1

2. กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ

2.1 สระเติมอากาศ โดยใช้เกณฑ์การออกแบบดังนี้

ตาราง ข-12 เกณฑ์การออกแบบสระเติมอากาศ

ตัวแปร	สระเติมอากาศ
การกวนผสม	กวนผสมสมบูรณ์
พื้นที่, ตรม. (ไร่)	8,094 – 40,470
	(5.1 – 25.3)
	หลายบ่อ
การทำงาน	ต่ออนุกรมหรือขนาน
ระยะเวลากักเก็บน้ำ (ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ),วัน	3 – 10
ความลึก, เมตร	1.8 – 6.1
pH	6.5 – 8.0
ช่วงอุณหภูมิ, °C	0 – 30
อุณหภูมิที่เหมาะสม, °C	20
อัตราภาระบรรทุก บีโอดี, กรัม. ต่อ ตร.ม. ต่อ วัน	–
ประสิทธิภาพการลดบีโอดี, %	80 – 95
ผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้น	CO_2, แบคทีเรีย
ความเข้มข้นของสาหร่าย, มก ต่อ ลิตร	–
ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออก, มก. ต่อ ลิตร[1]	80 – 250

1 แข็งแขวนลอยทุกชนิด รวมทั้งสาหร่ายและแบคทีเรีย น้ำเข้ามีค่าบีโอดี 200 มก. ต่อ ลิตร และปริมาณของแข็งแขวนลอย 200 มก. ต่อ ลิตร

ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (1991)

สุเทพ สรีวิทยาปกรณ์

(1) ความสัมพันธ์ของ BOD_5 ทั้งหมดของน้ำที่ปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำ

= BOD_5 ของน้ำที่ต้องการ (S) + BOD_5 สำหรับย่อย SS ในน้ำที่ออกจากระบบ (S_x)

- ความเข้มข้น SS ในน้ำที่ออกจากระบบที่สามารถย่อยสลายต่อไปอีก

= (55%/100%) ·(15 มก./ล.)

= 8.25 มก./ล.

- BOD_L สำหรับย่อย SS ในน้ำที่ออกจากระบบ

= (1.42 มก.O_2ที่ใช้/มก.เซลล์SSที่ย่อยสลาย)·(8.25 มก./ล.)

= 11.72 มก./ล.

- BOD_5 สำหรับย่อย SS ในน้ำที่ออกจากระบบ (S_x)

= 0.70 BOD_L

= (0.70) ·(19.53 มก./ล.)

= 8.20 มก./ล.

- BOD_5 ของน้ำที่ต้องการ (S)

$S_e = S + S_x$

(20มก./ล.) = S + (13.67มก./ล.)

S = 11.80 มก./ล.

(2) พื้นที่ผิวน้ำ

สระเติมอากาศออกแบบเป็น Completely mixed-flow โดยไม่มีการหมุนเวียนตะกอน กำหนดระยะเวลากักเก็บ , HRT = 8 วัน

ปริมาตรกักเก็บ V = Q_i·HRT

= (10,000 ลบ.ม./วัน) ·(8 วัน)

= 80,000 ลบ.ม.

พื้นที่ผิวน้ำ = $\frac{\text{ปริมาตรกักเก็บ}}{\text{ความลึกน้ำในบ่อ}}$

= $\frac{80{,}000 \text{ ลบ.ม.}}{3.20 \text{ ม.}}$

= 25,000 ตร.ม.

(3) อุณหภูมิน้ำในสระเติมอากาศ จากสมการ

$$T_w = \frac{A \cdot f \cdot T_a + Q \cdot T_i}{A \cdot f + Q}$$

หน้าร้อน

$$T_w = \frac{(25{,}000 \text{ ตร.ม.}) \cdot (0.50) \cdot (35^\circ C) + (10{,}000 \text{ลบ.ม./วัน}) \cdot (22^\circ C)}{(25{,}000 \text{ตร.ม.}) \cdot (0.50) + (10{,}000 \text{ลบ.ม./วัน})}$$

= 29.22 C°

สุเทพ สถิรยาปกรณ์

หน้าหนาว $T_w = \frac{(25{,}000\ \text{ตร.ม.}) \cdot (0.50) \cdot (15^{\circ}\text{C}) + (10{,}000\text{ลบ.ม./วัน}) \cdot (22^{\circ}\text{C})}{(25{,}000\text{ตร.ม.}) \cdot (0.50) + (10{,}000\text{ลบ.ม./วัน})}$

$= 18.11\ ^{\circ}\text{C}$

(4) ค่า First-order soluble BOD_5 removal rate constant ที่เปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิอากาศ จากสมการ

$$\frac{k_T}{k_{20}} = \theta^{(T-20)}$$

$$k_T = k_{20}\theta^{(T-20)}$$

หน้าร้อน (35 °C)

$$K_{29.22} = (2.50\ \text{วัน}^{-1}) \cdot 1.06^{(29.22-20)}$$

$$= 4.28\ \text{วัน}^{-1}$$

หน้าหนาว (15 °C)

$$K_{18.11} = (2.50\ \text{วัน}^{-1}) \cdot 1.06^{(18.11-20)}$$

$$= 2.24\ \text{วัน}^{-1}$$

(5) ค่า BOD_5 ของน้ำที่ออกจากสระเติมอากาศ จากสมการ

$$\frac{S}{S_0} = \frac{1}{1 + k \cdot HRT}$$

หน้าร้อน (35 °C)

$$\frac{S}{(200\text{มก./ล.})} = \frac{1}{1 + (4.28\text{วัน}^{-1}) \cdot (8\text{วัน})}$$

$$S = 5.68\ \text{มก./ล.}$$

หน้าหนาว (15 °C)

$$\frac{S}{(200\text{มก./ล.})} = \frac{1}{1 + (2.24\text{วัน}^{-1}) \cdot (8\text{วัน})}$$

$$S = 10.57\ \text{มก./ล.} < 11.80\ \text{มก./ล.}$$

(6) ค่า VSS ที่เกิดขึ้นในสระเติมอากาศ จากสมการ

$$X = \frac{Y \cdot (S_0 - S)}{1 + k_d \cdot HRT}$$

หน้าร้อน $X = \frac{(0.60) \cdot [(200 - 5.86)\text{มก./ล.}]}{1 + (0.06\text{วัน}^{-1}) \cdot (8\text{วัน})}$

$= 78.71\ \text{มก.VSS/ล.}$

สุเทพ สรรพยอดปกรณ์

หน้าหนาว $X = \frac{(0.60)\cdot[(200 - 10.57)\text{มก./ล.}]}{1+(0.06\text{วัน}^{-1})\cdot(8\text{วัน})}$

$= 76.80$ มก.VSS/ล.

(7) ปริมาณ VSS ที่เกิดขึ้นในสระเติมอากาศ, P_X

$P_X = X\cdot Q$

หน้าร้อน

$P_X = [(78.71\text{มก./ล.})\cdot(1{,}000\text{ ล./ลบ.ม.})/(1{,}000{,}000\text{มก./กก.})]\cdot(10{,}000\text{ ลบ.ม./วัน})$

$= 787.10$ กก./วัน

หน้าหนาว

$P_X = [(76.80\text{มก./ล.})\cdot(1{,}000\text{ ล./ลบ.ม.})/(1{,}000{,}000\text{มก./กก.})]\cdot(10{,}000\text{ ลบ.ม./วัน})$

$= 768.10$ กก./วัน

(8) ความต้องการออกซิเจน ในสระเติมอากาศ สำหรับค่า BOD_L , O_2 (ไม่เกิดขบวนการ Nitrification) จากสมการ

$$O_2 = \frac{Q\cdot(S_0 - S)}{BOD_5/BOD_L} - 1.42\cdot P_X$$

หน้าร้อน O_2

$= \frac{(10{,}000\text{ลบ.ม./วัน})\cdot[(200 - 5.86)\text{มก./ล.}]\cdot(1{,}000\text{ล./ลบ.ม.})/(1{,}000{,}000\text{มก./กก.})}{0.70} - 1.42\cdot(787.10\text{ กก./วัน})$

$= 1{,}655.75$ กก./วัน

หน้าหนาว O_2

$= \frac{(10{,}000\text{ลบ.ม./วัน})\cdot[(200 - 10.57)\text{มก./ล.}]\cdot(1{,}000\text{ล./ลบ.ม.})/(1{,}000{,}000\text{มก./กก.})}{0.70} - 1.42\cdot(768.10\text{ กก./วัน})$

$= 1{,}615.44$ กก./วัน

(9) สัดส่วนความต้องการออกซิเจนต่อค่า BOD_5 ที่ถูกกำจัด

หน้าร้อน

$= \frac{(1{,}655.75\text{กก./วัน})}{[(200 - 5.86)\text{มก./ล.}\cdot(1{,}000\text{ล./ลบ.ม./}1{,}000{,}000\text{มก./กก.})]\cdot(10{,}000\text{ลบ.ม./วัน})}$

$= 0.853$

หน้าหนาว

$= \frac{(1{,}615.44\text{กก./วัน})}{[(200 - 10.57)\text{มก./ล.}\cdot(1{,}000\text{ล./ลบ.ม./}1{,}000{,}000\text{มก./กก.})]\cdot(10{,}000\text{ลบ.ม./วัน})}$

$= 0.853$

สุดาพ สิริสุขยากร

(10) ขนาดเครื่องเติมอากาศในสระเติมอากาศ โดยกำหนด

- ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน , N_0 = 1.5 กก.ออกซิเจน/กิโลวัตต์-ชม.
- ค่า Correction factor ของประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะจริงต่อสภาวะมาตรฐาน , N/N_0
- ที่สภาวะมาตรฐานระดับน้ำทะเล อุณหภูมิ 20°C ออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัว , C_{S20} = 9.08 มก./ล.
- ที่ระดับน้ำทะเล อุณหภูมิ 29°C (น้ำหน้าร้อน) ออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัว , C_{walt} = 7.67 มก./ล.

จากสมการ

$$N/N_0 = \frac{(\beta C_{walt} - C_L)}{C_{S20}} \cdot 1.024^{T-20} \cdot \alpha$$

$$= \frac{[1.00 \cdot (7.67 \text{มก./ล.}) - (1.5 \text{มก./ล.})]}{(9.08 \text{มก./ล.})} \cdot (1.024^{29.22-20}) \cdot 0.85$$

$$= 0.72$$

(11) ค่า ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะจริง

$$N = 0.72 \cdot N_0$$

$$= (0.72) \cdot (1.5 \text{ กก.ออกซิเจน/กิโลวัตต์-ชม.})$$

$$= 1.08 \text{ กก.ออกซิเจน/กิโลวัตต์-ชม.}$$

(12) ขนาดกำลังเครื่องเติมอากาศที่ต้องการสำหรับการเติมออกซิเจน

$$= \frac{\text{ความต้องการออกซิเจนในสระเติมอากาศ}}{\text{ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะจริ}}$$

$$= \frac{[(1{,}655.75 \text{กก./วัน}) / (24 \text{ชม./วัน})]}{(1.08 \text{กก./กิโลวัตต์ ชม.})}$$

$$= 63.88 \text{ กิโลวัตต์}$$

(13) ขนาดกำลังเครื่องเติมอากาศที่ต้องการสำหรับการกวนผสม เพื่อสภาพ Completely mixed-flow กำหนดให้มีค่า = 15 กิโลวัตต์ต่อปริมาตรบ่อ1,000 ลบ.ม.

ดังนั้นขนาดกำลังเครื่องเติมอากาศที่ต้องการสำหรับการกวนผสม

$$= \frac{(15 \text{ กิโลวัตต์}) (80{,}000 \text{ลบ.ม.})}{(1{,}000 \text{ลบ.ม.})}$$

$$= 1{,}200 \text{ กิโลวัตต์}$$

ซึ่งมีค่ามากกว่าขนาดกำลังเครื่องเติมอากาศที่ต้องการสำหรับการเติมออกซิเจน

ดังนั้นเลือกใช้ขนาดเครื่องเติมอากาศที่ต้องการสำหรับการกวนผสม

(14) ขนาดมอเตอร์เครื่องเติมอากาศที่ต้องการ

$$= \frac{\text{กำลังเครื่องเติมอากาศที่ต้องการ}}{\text{ประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศประสิทธิภาพมอเตอร์}}$$

$$= \frac{(1{,}200 \text{ กิโลวัตต์})}{(80\%/100\%) \cdot (80\%/100\%)}$$

$$= 1{,}875 \text{ กิโลวัตต์}$$

เลือกเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำขนาด 30 กิโลวัตต์ x 63 ชุด = 1,890 กิโลวัตต์

2.2 บ่อตกตะกอน โดยใช้เกณฑ์การออกแบบดังนี้

- ปริมาตรกักเก็บ = 1.50 วัน.
- ความลึกน้ำในบ่อไม่รวมชั้นตะกอน = 1.50 ม.
- กำหนดการขุดลอกตะกอนทุก 5 ปี

(1) พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ = (10,000ลบ.ม./วัน)•(1.50วัน)/(1.50ม.)

= 10,000 ตร.ม.

(2) อัตราการไหลของน้ำออกจากบ่อ = (10,000ลบ.ม./วัน)/(10,000ตร.ม.)

= 1.00 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน

มีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การออกแบบบ่อตกตะกอนขั้นสุดท้าย สำหรับ ระบบสระเติมอากาศ ดังในตาราง ข-13

ตาราง ข-13 เกณฑ์การออกแบบบ่อตกตะกอนขั้นสุดท้าย

หน่วยบำบัด	อัตราการไหลของน้ำออกจากบ่อตกตะกอน, ลบ.ม./ตร.ม. วัน		ภาระบรรทุกของแข็ง, กก./ตร.ม.ชม.		ความลึก, ม.
	เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	
บ่อตกตะกอนต่อจากสระเติมอากาศ	8.14-16.3	24.4-32.6	1.0-5.0	6.8	3.7-6.1

ที่มา : ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (1991)

(3) SS เข้าบ่อตกตะกอน

= SSเข้าระบบ + (VSSที่เกิดขึ้นในบ่อเติมอากาศ)/(สัดส่วนVSS:SSในบ่อเติมอากาศ)

= (150มก./ล.) + (78.71มก./ล.)/0.85

= 242.60 มก./ล.

(4) ปริมาตร ตะกอน SS ในบ่อตกตะกอนในระยะเวลา 3 ปี โดยกำหนด

ความถ่วงจำเพาะ = 1.06 และ Dry solid concentration = 15 %

ปริมาตร ตะกอน SS

$$= \frac{[(242.60\text{มก./ล.}) \cdot (1{,}000\text{ล./ลบ.ม.})/(1{,}000{,}000\text{มก./กก.})] \cdot (10{,}000\text{ลบ.ม./วัน}) \cdot (365\text{วัน/ปี}) \cdot (3\text{ปี})}{(1.06) \cdot (15\%/100\%) \cdot (1{,}000\text{กก.น้ำ/ลบ.ม.น้ำ})}$$

= 16,707.36 ลบ.ม.

(5) ความหนาชั้น ตะกอน SS ในบ่อตกตะกอนในระยะเวลา 3 ปี

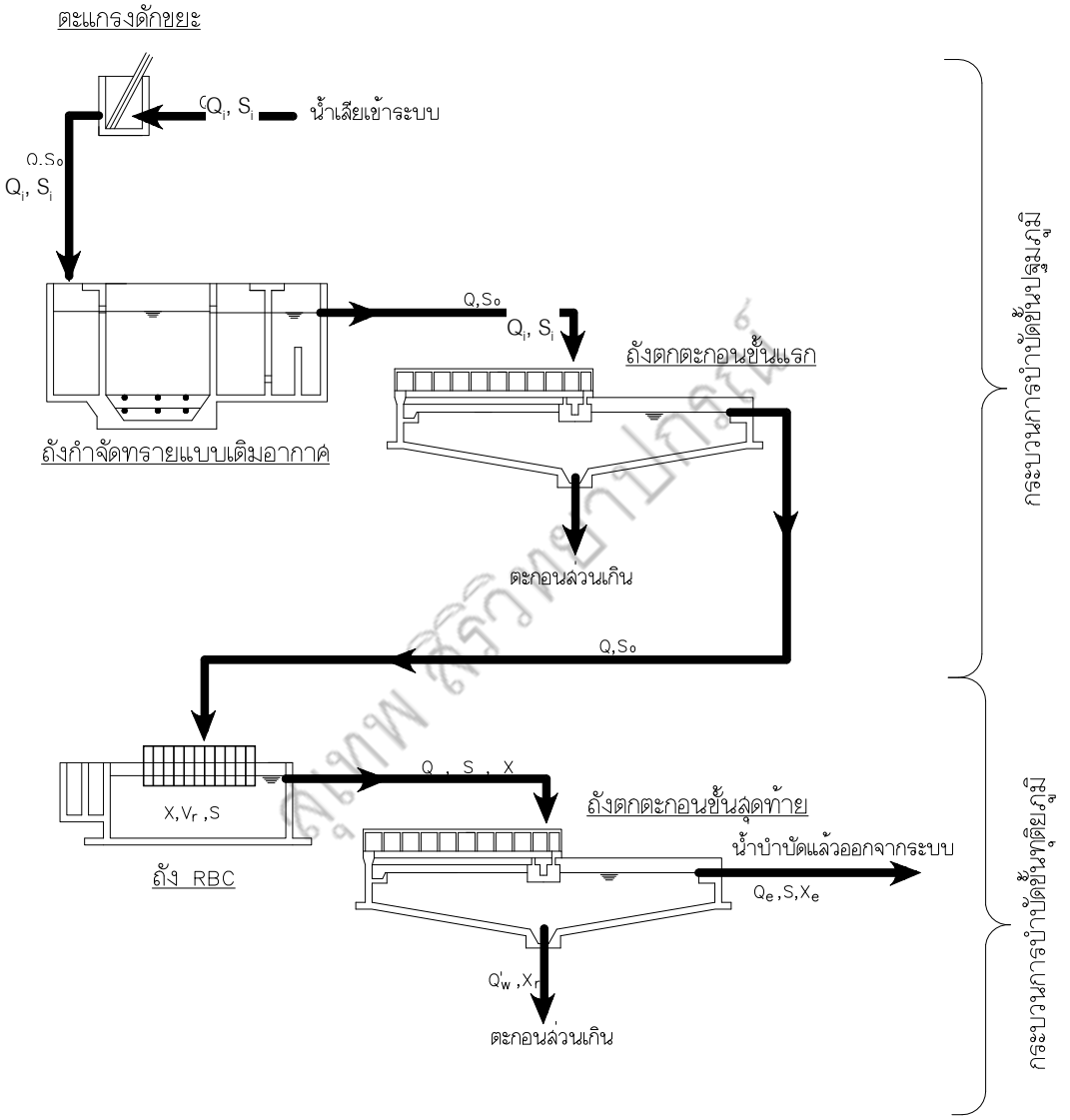
= (16,707.36ลบ.ม.)/(10,000ตร.ม.)

= 1.67 ม.

(6) ความลึกบ่อตกตะกอน = 1.50 ม. + 1.67 ม.

= 3.17 ม.

ตัวอย่างที่ 7 คำนวณกระบวนการบำบัดน้ำเสียระบบอาร์บีซี (Rotating Biological Contactor, RBC) เพื่อบำบัดน้ำเสีย ที่มีอัตราการไหลและคุณสมบัติเช่นเดียวกับน้ำเสียตามตัวอย่างที่ 1 โดยมีหน่วยกระบวนการบำบัด แสดงในรูปที่ ข-7 กระบวนการบำบัดขั้นปฐมภูมิได้แก่ ตะแกรงดักขยะ ถังกำจัดทรายแบบเติมอากาศ และถังตกตะกอนขั้นแรก กระบวนการบำบัดขั้นทุติยภูมิ ได้แก่ ถังอาร์บีซี และถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย โดยสมมุติให้มีการลดค่า BOD_5 เกิดขึ้นเฉพาะใน ถังอาร์บีซี เท่านั้น



รูปที่ ข-7 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบอาร์บีซี (RBC)

1. กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นปฐมภูมิ

การคำนวณตะแกรงดักขยะ ถังกำจัดทรายแบบเติมอากาศ และถังตกตะกอนขั้นแรก ดูรายละเอียดในตัวอย่างที่ 1

2. กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ

2.1 ถัง RBC โดยใช้เกณฑ์การออกแบบดังนี้

ตาราง ข-14 เกณฑ์การออกแบบระบบอาร์บีซี

ตัวแปร	หน่วย	เพื่อกำจัดบีโอดี
อัตราภาระบรรทุกน้ำ	ลบ.ม.ต่อ ตร.ม. ต่อ วัน	0.08 – 0.16
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์	กรัม BOD_5 ต่อ ตร.ม. ต่อ วัน	8 – 20
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุดสำหรับขั้นที่ 1 ของระบบอาร์บีซี	กรัม BOD_5 ต่อ ตร.ม. ต่อ วัน	24 – 30
อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย	กรัมแอมโมเนียไนโตรเจน ต่อ ตร.ม. ต่อ วัน	–
ระยะเวลากักเก็บน้ำ	ชั่วโมง	0.7 – 1.5
บีโอดีในน้ำทิ้ง	มก.ต่อลิตร	15 – 30
แอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้ง	มก.ต่อลิตร	–

ที่มา ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (2003)

กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ ดังนี้

- ปริมาณน้ำเสียชั่วโมงสูงสุด = 1.50 เท่าของปริมาณเฉลี่ยต่อวัน
- ปริมาณ Organic loading ชั่วโมงสูงสุด = 2.00 เท่าของปริมาณเฉลี่ยต่อวัน
- ค่า BOD_5 (S_i) และ SS น้ำเสียเข้าระบบ = 200 มก./ล. และ 150 มก./ล. ตามลำดับ
- ค่า BOD_5 (S_e) และ SS น้ำที่ออกจากถังตกตะกอน (X_e) = 20 มก./ล. และ 25 มก./ล. ตามลำดับ
- ค่า BOD_5 ที่ใช้ในการคำนวณในรูป Soluble BOD_5

(1) พื้นที่ผิวของตัวกลางที่ต้องการ

กำหนด Organic loading = 0.008 กก.BOD_5/ตร.ม.-วัน

พื้นที่ผิวของตัวกลางที่ต้องการ

$$= \frac{(10{,}000\text{ลบ.ม./วัน}) \cdot [(200\text{มก.}BOD_5\text{/ล.}) \cdot (1{,}000\text{ล./ลบ.ม.})/(1{,}000{,}000\text{มก./กก.})]}{(0.008\ \text{กก.}BOD_5\text{/ตร.ม.-วัน})}$$

= 250,000 ตร.ม.

(2) ตรวจสอบ ปริมาณ Maximum organic loading ชั่วโมงสูงสุด

= (2.00)·(0.008 กก.BOD_5/ตร.ม.-วัน)

= 0.016 กก.$SBOD_5$/ตร.ม.-วัน

(3) ตรวจสอบ Hydraulic loading

$$= \frac{\text{(10,000ลบ.ม./วัน)}}{\text{(250,000ตร.ม.)}}$$

= 0.04 ลบ.ม. /ตร.ม.-วัน (0.98 แกลลอน/ตร.ฟ.-วัน)

(4) ปริมาตรถัง RBC ที่ต้องการ

กำหนด ระยะเวลากักเก็บที่ต้องการ = 1.2 ชม.

ปริมาตรถัง RBC ที่ต้องการ = [(10,000ลบ.ม./วัน)/(24ชม./วัน)]•(1.2ชม.)

= 500 ลบ.ม.

2.2 ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย โดยใช้เกณฑ์การออกแบบดังนี้

ตาราง ข-15 เกณฑ์การออกแบบ ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย

หน่วยบำบัด	อัตราการไหลของน้ำออกจากถังตกตะกอน, ลบ.ม./ตร.ม. วัน		ภาระบรรทุกของแข็ง, กก./ตร.ม.ชม.		ความลึก, ม.
	เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	
ถังตกตะกอนต่อจากระบบอาร์บีซี	16.3-32.6	40.7-49.0	3.9-5.9	9.8	3.0-4.6

ที่มา : ดัดแปลงจาก Metcalf & Eddy, Inc. (1991)

(1) พื้นที่ผิวน้ำที่ต้องการ

กำหนดค่าอัตราการไหลของน้ำออกจากถังตกตะกอนเฉลี่ย = 24 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน

พื้นที่ผิวถังตกตะกอนขั้นแรกที่ต้องการ $= \frac{\text{10,000 ลบ.ม./วัน}}{\text{24 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน}}$

= 416.66 ตร.ม.

(2) ตรวจสอบค่าอัตราการไหลของน้ำออกจากถังตกตะกอนสูงสุด $= \frac{\text{750 ลบ.ม./ชม.} \cdot \text{24 ชม./วัน}}{\text{416.66 ตร.ม.}}$

= 43.21 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน

(3) ตรวจสอบค่า Solids loading

เฉลี่ย $= \frac{\text{10,000ลบ.ม./วัน}\cdot\text{3,000มก./ล.}\cdot\text{1,000ล./ลบ.ม.}}{\text{416.66 ตร.ม.}\cdot\text{24ชม./วัน}\cdot\text{1,000,000มก./กก.}}$

= 3.0 กก./ตร.ม.-ชม.

สูงสุด $= \frac{\text{750ลบ.ม./ชม.}\cdot\text{3,000มก./ล.}\cdot\text{1,000ล./ลบ.ม.}}{\text{416.66 ตร.ม.}\cdot\text{1,000,000มก./กก.}}$

= 5.4 กก./ตร.ม.-ชม.

(4) ระยะเวลากักเก็บ

กำหนดความลึกน้ำ = 4 ม.

ระยะเวลากักเก็บ $= \frac{4 \text{ ม.} \cdot 416.66 \text{ ตร.ม.} \cdot 24 \text{ ชม./วัน}}{10{,}000 \text{ ลบ.ม./วัน}}$

= 4 ชม.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

ภาคผนวก ค การเปลี่ยนหน่วย

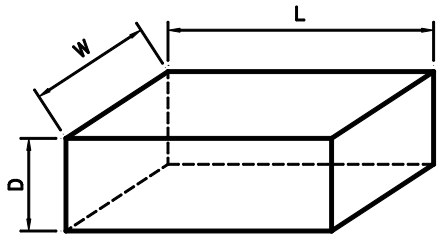
พื้นที่	1 ม.^{2}	= 10.76	ฟุต^2
	1 กม.^{2}	= 0.3861	ไมล์^{2}
	1 เอเคอร์	= 4047	ม.^{2}
		= 2.53	ไร่
		= 0.4047	เฮคแตร์
	1 ไร่	= 1600	ม.^{2}
	1 เฮคแตร์	= 10000	ม.^{2}
ปริมาตร	1 ม.^{3}	= 264.2	แกลลอน (อเมริกัน)
		= 1000	ลิตร
		= 35.31	ฟุต^3
	1 แกลลอน (อเมริกัน)	= 3.785	ลิตร
อัตราการไหล	1 ล้านแกลลอน/วัน (mg/d)	= 3785	ม.^{3}/วัน
	1000 ม.^{3}/วัน	= 183.47	แกลลอน/นาที
	1 ฟุต^3/วินาที	= 449	แกลลอน/นาที
		= 2447	ม.^{3}/วัน
		= 0.646	ล้านแกลลอน/วัน
ความยาว	1 นิ้ว	= 2.54	ซม.
	1 ฟุต	= 0.3048	ม.
	1 ไมล์	= 1.609	กม.
	1 ม.	= 3.281	ฟุต
		= 1.094	หลา
กำลังงาน	1 แรงม้า	= 550	ฟุต-ปอนด์/วินาที
		= 0.746	กิโลวัตต์
	1 บีธียู/วินาที	= 1.0551	กิโลวัตต์
พลังงาน	1 บีธียู	= 252	แคลอรี่
		= 1.0551	กิโลจูล
	1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง	= 3600	กิโลจูล

สุเทพ สิริวิทยากร

อุณหภูมิ	1 $^{\circ}$ ฟ.	= 0.555 ($^{\circ}$ ฟ. - 32)	$^{\circ}$ ซ.
		=0.555 ($^{\circ}$ ฟ. + 459.67)	$^{\circ}$ เคลวิน
แรงดัน	1 บรรยากาศ	= 14.7	ปอนด์/ นิ้ว^2
		= 760	มม. ปรอท
		= 33.9	ฟุต น้ำ (ที่ 4 $^{\circ}$ ซ.)
		= 1.0133 x 10^2	กิโลนิวตัน/ม.^{2}
	1 กก./ตร.ซม.	= 14.22	ปอนด์/นิ้ว^2
		= 0.968	บรรยากาศ
		= 10.0	เมตร น้ำ (ที่ 4 $^{\circ}$ ซ.)
	1 ปอนด์/ นิ้ว^2	= 0.70	เมตร น้ำ (ที่ 4 $^{\circ}$ ซ.)
	1 ปาสคาล	= 1	นิวตัน/ม.^{2}
	1 กิโลปาสคาล, KPa	= 0.1015	เมตร น้ำ (ที่ 4 $^{\circ}$ ซ.)
น้ำหนัก	1 ปอนด์	= 453.6	กรัม
	1 เมตริกตัน	= 1000	กิโลกรัม
	1 กิโลกรัม	= 1000	กรัม
		= 2.2046	ปอนด์
	1 ออนซ์	= 28.3495	กรัม
อัตราภาระบีโอดี/อัตราภาระของแข็ง			
	1 ก./ม.^{3}-วัน	= 0.06243	ปอนด์/10^3ฟุต-วัน
	1 ก./ม.^{2}-วัน	= 8.921	ปอนด์/เอเคอร์-วัน
	1 กก./ม.^{2}-วัน	= 0.2048	ปอนด์/ฟุต^2-วัน
	1 กก./เฮคแตร์-วัน	= 0.8921	ปอนด์/เอเคอร์-วัน
ภาระชลศาสตร์	1 ม.^{3}/ม.^{2}-วัน	= 24.54	แกลลอน (อเมริกัน)/ฟุต^2-วัน
		= 1.069	ล้านแกลลอน (อเมริกัน)/เอเคอร์-วัน
	1 ม.^{3}/ม.^{3}-วัน	= 7.481	แกลลอน (อเมริกัน)/ฟุต^3-วัน
ความเข้มข้น	1 มก./ลิตร	= 8.345	ปอนด์/ล้านแกลลอน (อเมริกัน)

สุทัศน์ สิริวัฒนาภรณ์

ภาคผนวก ง สูตรการคำนวณปริมาตรของบ่อรูปทรงต่าง ๆ

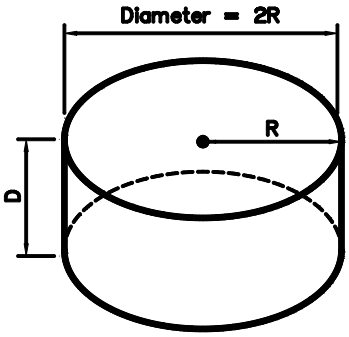


Surface area = W x L

Circumference = 2W + 2L

Volume = W x L x D

Rectangular basin

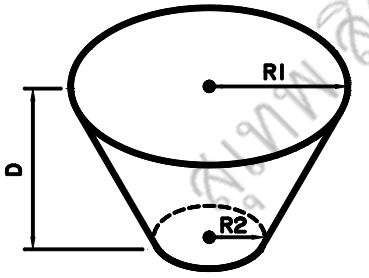


Surface area = ¶ x R^2 = 3.14 x R x R

Circumference = 2 x ¶ x R = 6.28 x R

Volume = ¶ x R^2 x D

Circular basin

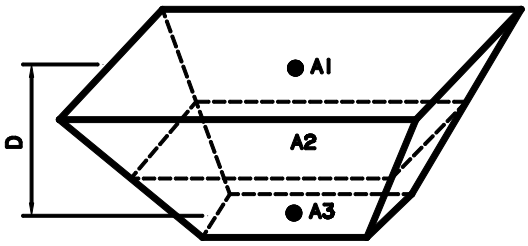


$Area_1$ = ¶ x R_1^2

Volume = (D/3) x $[A_1 + A_2 + (A_1 \times A_2)^{1/2}]$

$Area_1$ = ¶ x R_2^2

Conical basin



Volume = (D/6) x $(A_1 + 4A_2 + A_3)$

เมื่อ A_1 = surface area

A_2 = area of midsection

A_3 = bottom area

D = depth

Prismoidal basin

สถาพรวิทยาบารุง

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

ดัชนี

ก

กัดกร่อน Crown Corrosion 53
กรด
- กรดคาร์บอกซิลิก 38
- กรดคาร์บอนิก 28
- กรดซัลฟิวริก 28, 53
- กรดฟอร์มิก 38
- กรดอะซิติก 38
- กรดอะมิโน 40
- กรดอินทรีย์ 39, 52
- กรดอินทรีย์ระเหย 41

การกระจายการไหล 161
กระบวนการ
- กระบวนการ Flocculation 33
- กระบวนการบำบัดน้ำเสีย 117, 120
- กระบวนการทางกายภาพ 117, 119, 131
- กระบวนการหน่วยทางเคมี 118, 119
- กระบวนการหน่วยชีวภาพ/ชีวเคมี 118, 119
- กระบวนการแอน็อกซิก 194, 195,197

กลูโคส 39
กลิ่น 108
กองทุนสิ่งแวดล้อม 3
ก๊าซ
- ก๊าซเรือนกระจก 2, 6
- ก๊าซละลายน้ำ 25, 26, 27
- ก๊าซ CH_4 7, 9, 52
- ก๊าซ CO_2 6, 7, 52, 57
- ก๊าซ H_2S 52
- ก๊าซ N_2 52
- ก๊าซ NH_3 20, 56, 57
- ก๊าซ NO_2 7

การกำจัดสลัดจ์ขั้นสุดท้าย 119, 251
การบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย 260, 270
การบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า 261
การรองรับมลพิษ 2
การไล่ก๊าซ 20

ข

ของแข็งแขวนลอย 106, 107
ของแข็งจมตัวได้ 106, 107
ของแข็งละลายน้ำ 106, 107
ข้อจำกัดด้านสิ่งแวดล้อม 115
ข้อมูลการบันทึกเครื่องจักรอุปกรณ์ 262
ไขมัน 39

ค

คลอรีน 27, 124, 251
ความเข้มน้ำฝน 88, 90, 93
ความถี่น้ำฝน 90
ความดัน
- ความดันน้ำ 69, 72
- ความดันความสูง 69, 79
- ความดันจลน์ 71, 79
- ความดันชลศาสตร์ 71, 79
- ความดันศูนย์สัมบูรณ์ 70
- ความดันสูญเสีย 73, 75, 79

ความเร็วน้ำในท่อ 71
คาร์บอนไดออกไซด์ 6, 27, 52, 202, 203
คาร์บอนเครดิต 7, 9, 10
คาร์บอเนต 29

สุเทพ สรีวทยาภรณ์

คาร์โบไฮเดรต	29, 53	เครื่องสูบน้ำ	79, 80
ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ	25	โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	51
คอลลอยด์	32	โคแอกกูเลชัน	32, 33

จ

จลน์ศาสตร์เคมี	21, 22, 23, 24	จลน์ศาสตร์จุลชีววิทยา	62, 63

ซ

ซีโอดี	45, 67	ซัลไฟด์	13, 27
ซัลเฟอร์	12	โซ่อาหารในน้ำ	2, 57, 58

ด

ดีไนตริฟิเคชัน	194, 196	ดีดีที	41

ต

ตกตะกอน	19, 132, 139,160	ต้องการพลังงาน	115
ตรวจวัดสารอินทรีย์ในน้ำ	42	ต้องการบุคลากร	116
บีโอดี	42, 43, 45	ตะกอนสลัดจ์ MLSS	60, 155
ซีโอดี	45	ตะแกรงละเอียด	249
ทีโอซี	47	ตะแกรงหยาบ	131, 249
ตรวจผลการทำงาน		เติมออกซิเจน	156, 158, 169
ระบบบำบัดน้ำเสีย	266, 267, 268	เติมอากาศ	158, 159
ต้องการสารเคมี	115		

ถ

ถังกรองไร้อากาศ	210, 211	ถังเติมอากาศ	9, 120, 251
ถังกระจายการไหล	250	ถ่านกัมมันต์	22
ถังผันน้ำทิ้ง	120, 250	ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์	61
ถังแยกกรวดทรายเติมอากาศ	120, 250	ถังปฏิกิริยาแบบทีละเท	61
ถังตกตะกอนขั้นแรก	120, 136, 250	ถังปฏิกิริยาแบบไหลต่อเนื่อง	61
ถังตกตะกอนสุดท้าย	120, 251		

สุเทพ สรรพยาปกรณ์

ท

ทริคคลิงฟิลเตอร์	184, 185	ท่อดักน้ำเสีย	91, 94, 96
สัดส่วนหมุนเวียนน้ำ	188	ท่อระบายน้ำ	83, 91
แบบอัตราต่ำ	187, 188	ทำให้ลอย	142
แบบอัตราปานกลาง	187, 188		
แบบอัตราสูง	187, 188		
แบบอัตราสูงพิเศษ	188		
แบบอัตราสูงแบบหยาบ	188		

ธ

ธาตุ	11, 12	ธาตุอาหาร	52, 212

น

น้ำเสียชุมชน	101, 105	ไนเตรท	53
น้ำเสียในประเทศไทย	2, 3	ไนไตรท์	53
น้ำไหลไม่เต็มท่อ	85	ไนโตรเจนในน้ำ	47
โมโนกราฟ Hazen Williams	78	ไนโตรโซโมแนซ	53
โมโนกราฟ Manning	84	ไนโตรแบคเตอร์	53
ไนตริฟิเคชัน	154, 155		

บ

บึงประดิษฐ์	10, 213	ประเภทและการทำงาย	221
กลไกการบำบัด	215	ประสิทธิภาพ	243
การบำบัดไนโตรเจน	216	สภาพสิ่งแวดล้อม กลุ่มพืช	228
การบำบัดฟอสฟอรัส	218	สภาวะโลกร้อน	246, 247
การบำบัดโลหะหนัก	220	บ่อ	
การคำนวณชลศาสตร์	229, 234	บ่อเติมอากาศ	174, 179
เกณฑ์การออกแบบ	223, 224, 225, 246	บ่อบ่ม	173, 174
ขนาดของตัวกลาง	226	บ่อผึ่งแดด	60, 172, 175, 175
ความเร็วของน้ำไหล	238, 239, 240	บ่อแฟคัลเททีฟ	172, 174
น้ำท่วมผิวกรอง	222	บ่อแอโรบิกอัตราต่ำ	172, 174
น้ำไหลผ่านใต้ชั้นกรอง	223	บ่อแอนแอโรบิกหรือบ่อหมัก	172, 174

สุเทพ สิริวิทยากรณ์

บีโอดี	42, 43, 45	ไบคาร์บอเนต	27
แบคทีเรีย	51, 52, 54, 56	บำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำเสีย	265, 266
แบคทีเรียใช้อากาศ	51, 52	บำบัดแบบเติบโตแบบเกาะติด	145
แบคทีเรียไม่ใช้อากาศ	51, 52	บำบัดแบบเติบโตแบบแขวนลอย	145
แบคทีเรีย Autotrophic	52, 53		
แบคทีเรีย E. Coli	51, 54		
แบคทีเรีย Facultative	52		
แบคทีเรีย Filamentous	51, 53		
แบคทีเรีย Heterotrophic	52, 53		
แบคทีเรีย Nitrifying	45, 152		

ป

ประชุม Earth Summit	1	ปริมาณน้ำฝน	88, 89, 94, 95
ปฏิกิริยาอันดับศูนย์	21	ปริมาณน้ำเสีย	102, 105
ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง	22	ปริมาณตะกอนสลัดจ์	166
ปฏิกิริยาอันดับสอง	23	โปรตีน	39
ปฏิกิริยาแบบอิ่มตัว	24	โปรโตซัว	56, 57
ปฏิบัติการหน่วย	131	ปัจจัยเลือกหน่วยบำบัด	114, 115, 116

ผ

แผ่นหมุนชีวภาพอาร์บีซี	191, 192, 194

พ

พิธีสารเกียวโต	2, 6	พีเอชต่ำ	29
พลังงานทดแทน	6	แพลงตอนพืช	57
พลังงานสูญเสีย	128	แพลงตอนสัตว์	58
พีเอช	17, 29, 30, 59		

ฟ

ฟอสฟอรัสในน้ำ	48	ฟีนอล	41
ฟอสเฟต	57, 219	ฟื้นตัวธรรมชาติ	2

ภ

ภาระบรรทุกน้ำ	188	ภาระบรรทุกแอมโมเนีย	194
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์	165, 174, 188		

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

ม

มลพิษทางน้ำ 101
มาตรฐานน้ำทิ้ง 109, 110, 111
มั่นคงของระบบ 116
แม่น้ำแม่กลองเน่า 2, 3
โมโนด 64

ย

ยูโทรฟิเคชั่น 57

ร

รวบรวมน้ำเสีย 91, 94, 95, 96, 98
ระยะเวลาเก็บกัก 65, 163
ระยะเวลาอายุตะกอน 66, 67, 166
รา Molds 55
รา Yeast 55
รายงานประจำเดือน 262
รายงานประจำปี 265
ระบบควบคุม 252
  เครื่องรีดตะกอน 259
  ถังฆ่าเชื้อโรค 258
  ถังตกตะกอนขั้นแรก 256
  ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย 257
  ถังเติมอากาศ 257
  ถังแยกทรายเติมอากาศ 253
  ถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน 258
  ถังย่อยสลายตะกอน 258
  สถานีสูบน้ำ 252
ระบบบำบัดน้ำเสียรวม 3, 5
ระบบฆ่าเชื้อโรค 196, 251
ระบบบำบัดขั้นต้น 119, 121
ระบบบำบัดขั้นที่สอง 119, 122
ระบบบำบัดขั้นที่สาม 119, 123
ระบบบำบัดและกำจัดสลัดจ์ 119, 124, 125
ระบบบำบัดน้ำเสียใช้ออกซิเจน 8, 52, 60
ระบบบำบัดน้ำเสียใช้ออกซิเจนแบบผสม 198, 199
ระบบบำบัดไม่ใช้ออกซิเจน 8, 201
  ชีวเคมีปฏิกิริยา 202, 203
  แบบอัตราปกติ 204, 205
  แบบอัตราสูง 205
  แบบสัมผัส 207, 211
  แบบตัวกลางยึดเกาะ 210, 211
  แบบ UASB 207, 211
ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ 52, 60, 145, 162
  แบบกวนสมบูรณ์ 148, 155
  แบบคลองวนเวียน 149, 155
  แบบเติมอากาศเป็นขั้น 150, 155
  แบบยืดเวลาในถังเติมอากาศ 149, 155
  แบบปรับเสถียรสัมผัส 152, 155
  แบบเติมอากาศลดหลั่น 152, 155
  แบบไหลตามกัน 147, 155
  แบบ Deep Shaft Reactor 154, 155
ระบบ SBR 191, 192, 193
ระบบ SBR กำจัดไนโตรเจน 193, 194
แรงแวนเดอวาลล์ 32

ว

วัดการไหลของน้ำ 87, 88, 250
วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย 269
ไวรัส 55
เวียร์ราวเปิด 87
เวียร์สามเหลี่ยม 88

สุเทพ สรีวิทยาปการ

ส

สถานีสูบน้ำ 249
สี 108
สังเคราะห์แสง 173, 176
สภาพกรด Acidity 18, 28, 29, 31
สภาพด่าง Alkalinity 28, 29, 30, 31
สภาวะโลกร้อน 9
สมการ Hazen Williams 77
สมการ Manning 83
สมการ Monod 64
สมดุลเคมี 20
สัมประสิทธิ์จลน์ศาสตร์ 169
สัมประสิทธิ์การผลิตจุลินทรีย์ 63
สัมประสิทธิ์การตายจุลินทรีย์ 63
สัมประสิทธิ์อัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุด 64
สระเติมอากาศ 174, 179
สามารถรองรับมลพิษ 2
สารประกอบอินทรีย์ 34, 39
ไฮโดรคาร์บอน 35
แอลกอฮอล์ 36
อัลดีไฮด์และคีโตน 38
คาร์บอกซิลิก 38
สารประกอบอนินทรีย์ 14
สารอาหาร 52, 62
สาหร่าย 56, 57
เสถียรภาพรับ Shock Load 148

ห

หลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity) 58
เหล็ก 53
แหล่งคาร์บอน 34, 39
แหล่งน้ำเสีย 101,105

อ

ออกแบบหน่วยบำบัด 127
อนุมูลอิสระ 11, 12
ออกซิเดชัน-รีดัคชัน 19, 202
อัตรา
อัตราการตาย 63
อัตราการเติบโตสุทธิ 63, 66
อัตราการย่อยสลายธาตุอาหาร 64
อัตราการสร้างเซลล์ 63
อัตราน้ำล้น 134, 188, 194
อัตราน้ำเสีย การแปรผัน 102, 103
อัตราน้ำเสีย การไหล 103, 105
อัตราน้ำเสีย ปริมาณ 105
อัตราไหลของน้ำในรางเปิด 87, 88
อัตราส่วนสารอินทรีย์ต่อจุลินทรีย์ (F/M) 60, 165
ออกซิเจนละลายน้ำ 58, 59
อุณหภูมิ 59, 108
อาคารดักน้ำเสีย 91, 95, 96
อาคารยกระดับน้ำเสีย 97
แอโรบิก 52, 63, 117
แอนแอโรบิก 52, 57, 63, 117
แอลกอฮอล์ 36
ไอออน 11, 12

ฮ

ไฮดรอกซิล 36, 37
ไฮโดรคาร์บอน 35
ไฮโดรเจน 17
ไฮโดรไลซีส 202

สุเทพ สรีวิทยเกษกรณ์

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์



รองศาสตราจารย์ สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

ประวัติการศึกษา

มัธยมศึกษา	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา พญาไท พ.ศ. 2512
ปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (โยธา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2516
ปริญญาโท	Master of Engineering (Environmental Engineering) Asian Institute of Technology (AIT) พ.ศ. 2519
ประกาศนียบัตร	การอบรมเชิงปฏิบัติการชั้นสูงเทคโนโลยีที่เหมาะสม ระบบประปาและน้ำทิ้ง USAID พ.ศ. 2523
ประกาศนียบัตร	การอบรมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม Asian Productivity Organization, Tokyo พ.ศ. 2526

ตำแหน่งการงาน รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการทำงาน

กรรมการสภามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	พ.ศ. 2545 – พ.ศ. 2549
กรรมการประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์	พ.ศ. 2543 – พ.ศ. 2549
หัวหน้าโครงการจัดตั้งภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	พ.ศ. 2536 – พ.ศ. 2538
กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิสถาบันวิจัยและพัฒนา	พ.ศ. 2538 – พ.ศ. 2542
กรรมการบริหารโครงการบัณฑิตศึกษา วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม	พ.ศ. 2522 – ปัจจุบัน

ประสบการณ์ ประสบการณ์กว่า 30 ปี ในฐานะอาจารย์มหาวิทยาลัยและวิศวกรที่ปรึกษา
คำนวณ ออกแบบรายละเอียดก่อสร้าง เช่น

- โครงการผลิตน้ำประปาและระบบจ่ายน้ำ นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน 27,000 ลบ.เมตร ต่อวัน พ.ศ. 2550
- วิศวกรพิเศษแก้ปัญหากลิ่นเหม็นของระบบบำบัดน้ำเสีย โครงการพืชสวนโลก พ.ศ. 2549
- โครงการแก้ปัญหาน้ำท่วม เทศบาลตำบลบางเมือง สมุทรปราการ พ.ศ. 2549
- คณะทำงานประเมินโครงการบริหารการจัดการระบบบำบัดน้ำเสียของกรมควบคุมมลพิษ ธนาคารพัฒนาแห่งเอเชีย พ.ศ.2544
- ระบบสุขาภิบาล สนามกีฬาเชียงใหม่ 700 ปี พ.ศ. 2538
- โครงการออกแบบรวมก่อสร้างระบบระบายน้ำและบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองภูเก็ต 36,960 ลบ.เมตรต่อวัน พ.ศ. 2537
- โครงการขยายโรงผลิตน้ำประปานครราชสีมาและระบบจ่ายน้ำ 113,000 ลบ.เมตรต่อวัน พ.ศ. 2529

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์