

บทที่ 6

ความสำคัญของงานวิจัยในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบัน ปัญหามลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำเสียชุมชนกำลังเป็นที่สนใจและต้องการแก้ไข เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารทางชีวภาพ (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) ที่ถูกปล่อยทิ้งปนมากับน้ำเสีย ทำให้เกิดปัญหาพิษน้ำเจริญเติบโตเร็วผิดปกติ หรือที่เรียกว่า Eutrophication ส่งผลเสียต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายบางชนิดยังผลิตสารพิษออกมาปนเปื้อนในแหล่งน้ำส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยและบริโภคแหล่งน้ำดังกล่าว

การกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพสามารถทำได้ในระบบบำบัดน้ำเสียทั้งวิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ แต่วิธีการกำจัดทางชีวภาพจะเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย และยังสามารถประยุกต์ระบบบำบัดทางชีวภาพที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนอยู่ก่อนแล้ว ให้สามารถกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพเพิ่มขึ้นได้อีกด้วย

การบำบัดน้ำเสียแบบที่ละเท ทำให้ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ได้เป็นอย่างดี และลดค่าใช้จ่ายในการสร้างถังคอกตะกอน แต่มีข้อเสียคือ ไม่สามารถรับน้ำเสียอย่างต่อเนื่องได้ภายในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบไซคลิกแอกติเวเตดสแต็คซ์เพื่อแก้ไขจุดข้อดังกล่าว โดยระบบไซคลิกแอกติเวเตดสแต็คซ์สามารถรับน้ำเสียได้อย่างต่อเนื่อง และลดอุปสรรคในการกวนผสมในขณะที่มีการเติมน้ำเสีย (Fill-Mix) ของระบบที่ตกลงได้ เนื่องจากภายในถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่ 1 ที่มีรูปแบบการไหลตามยาวจะทำหน้าที่กวนผสมในขณะที่มีการเติมน้ำเสียและเวียนกลับคอกตะกอน และยังทำหน้าที่เป็นถังคักพันธุสำหรับแบคทีเรียชนิดสร้างฟล็อก เนื่องจากภายในถังปฏิกรณ์ชีวภาพนี้มีอัตราส่วนอาหารต่อมวลของจุลินทรีย์สูงอยู่เสมอ นอกจากนี้ระบบยังมีความยืดหยุ่นต่อภาระทางชีวศาสตร์สูง เนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียในแต่ละรอบของการทำงานได้

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบไซคลิกแอกติเวเตดสแต็คซ์ ในการกำจัดซีไอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยสร้างแบบจำลองในระดับห้องปฏิบัติการของระบบดังกล่าวขึ้น การศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิต่างกัน และวัฏจักรการทำงานของระบบ

พบว่า ระบบมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรการทำงานพอสมควร ที่วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ ระบบจะมีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดซีโอดี ในโคโรเจน และฟอสฟอรัส ที่วัฏจักรการทำงาน 4 ชม./รอบ ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดไนโตรเจน และที่วัฏจักรการทำงาน 8 ชม./รอบ ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดฟอสฟอรัส อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพโดยรวมที่วัฏจักรการทำงานต่าง ๆ ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากันมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ค่าอายุตะกอนที่เหมาะสมในการดำเนินการของระบบเพื่อให้สามารถกำจัดกำจัดซีโอดี ในโคโรเจน และฟอสฟอรัส ได้อย่างมีประสิทธิภาพมีค่าเท่ากับ 10 ถึง 16 วัน การป้อนน้ำเสียเข้าระบบในช่วงลดตะกอนจะไม่มีผลในการลดประสิทธิภาพของระบบเนื่องจากน้ำเสียจะถูกกักเก็บในถังปฏิกริยาส่วนที่ 2 ทำให้ระบบมีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับการป้อนน้ำเสียด้วยถังปฏิกริยาแบบทีละเท กล่าวคือ ระบบสามารถรับน้ำเสียได้อย่างต่อเนื่อง (ยกเว้นช่วงระบายน้ำเสียทิ้ง) และมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงภาระทางขดศาสตร์สูง โดยการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการป้อนน้ำเสียเมื่อค่าภาระทางขดศาสตร์เปลี่ยนแปลง โดยประสิทธิภาพของระบบเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

การทดลองได้ทำการศึกษาดารามิเตอร์จลนในการกำจัดสารอาหารของระบบ พบว่าระบบมีค่าพารามิเตอร์จลนสำหรับกระบวนการกำจัดสารอาหาร ดังนี้ $Y_T = 0.49$ มก.MLVSS/มก.COD $k_d = 0.09$ วัน⁻¹ $K_s = 2.43$ มก./ล $k = 0.45$ วัน⁻¹ และค่า $\mu_{max} = 0.22$ วัน⁻¹ พารามิเตอร์จลนสำหรับกระบวนการไนตริฟิเคชันมีดังนี้ ค่า $Y_n = 0.20$ มก.MLVSS/มก.NH₃-N ค่า $k_n = 0.06$ วัน⁻¹ อัตราส่วนของแบคทีเรียไนตริฟายในระบบเท่ากับ ร้อยละ 3.44 จากค่าพารามิเตอร์จลนจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ สามารถนำค่าดังกล่าวมาใช้ในการออกแบบระบบได้ ดังนี้

การออกแบบระบบป้อนน้ำเสียจะใช้การสมดุลมวล (Goronszy, 1986) ดังนี้

6.1 สารอินทรีย์คาร์บอนเข้าระบบ

การสารอินทรีย์ที่เข้าระบบประกอบด้วยสัดส่วนของแข็งที่ข่อยสลายได้ และค่าบีโอดีละลายเข้าระบบ ดังนี้

$$\text{BOD(equiv)} = f(S_0 + f_d f_x X_1) \quad \dots\dots\dots(6.1)$$

$$\text{Net BOD}_t = f(S_0 + f_d f_x X_1 - S_1) \quad \dots\dots\dots(6.2)$$

6.2 สมดุลย์มวล

การทำสมดุลย์มวลสำหรับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณได้ จะใช้แบบจำลองเดียวกับแบบจำลองสำหรับระบบที่มีปริมาณคงที่ โดยทำสมดุลย์มวลของการผลิต volatile solids ดังนี้

$$\Delta X_v = a[f_1 S_0 + f_2 f_d X_1 - S_0] + f_3(1-f_1)X_1 + f_4(1-f_1)f_d X_1 - b f_p X_p X_v t \quad \text{.....(6.3)}$$

โดยมีค่า $f_p = a[f_1 S_0 + f_2 f_d X_1 - S_0] / Y[f_1 S_0 + f_2 f_d X_1 - S_0] + f_3(1-f_1)X_1 + f_4(1-f_1)f_d X_1$ (6.4)

อัตราส่วนของเอ็มแอตเอดเอตที่ข่อยสลายได้ ดังนี้

$$X_d = x' / (1 + x' b \theta_c) \quad \text{.....(6.5)}$$

หาค่าสัดส่วนที่ข่อยสลายได้ของ volatile primary solids จากสมการการข่อยสลายแบบ exponential

$$(1 - f_d) = e^{-x' b \theta_c} \quad \text{.....(6.6)}$$

โดยค่า θ_{nc} คือค่าอายุตะกอน (เดิมอากาศ)

การผลิตของแข็งสุทธิเท่ากับ

$$\Delta X = (1-f_1)X_1 + 0.11Y[f_1 S_0 + f_2 f_d X_1 - S_0] + \Delta X_v \quad \text{.....(6.7)}$$

หาค่าความสัมพันธ์ของค่าอายุตะกอนได้ดังนี้

$$\theta_c = \frac{-[Y - bX_p(f_p X'_v + X'_v)]}{2YbX'_p} + \frac{\sqrt{[Y - bX_p(f_p X'_v + X'_v)]^2 + 4X_p b X'_p Y}}{2YbX'_p} \quad \text{.....(6.8)}$$

โดยที่ $Y = a[f_1 S_0 + f_2 f_d X_1 - S_0] + f_3(1-f_1)X_1 + f_4(1-f_1)f_d X_1$ (6.9)

6.3 คำนวณปริมาณของถังปฏิกริยาทั้งหมดจาก

6.3.1 ปริมาณน้ำตะกอนในขณะปัดน้ำเสีย (V_u) จาก

$$F/M = (QS_p)/(XV_u) \quad \dots\dots\dots(6.10)$$

6.3.2 ปริมาณของตะกอนที่สะสมในถังปฏิกริยา (V_s) จาก

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณตะกอนที่สะสม} &= \text{ปริมาณตะกอนที่ผลิต} - \text{ปริมาณตะกอนออกจากระบบ} \\ &= \Delta X - QTSS_{out} \quad \dots\dots\dots(6.11) \end{aligned}$$

6.3.3 ปริมาณการเติมน้ำเสีย (V_w) จาก

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณการเติมน้ำเสีย} &= \frac{\text{อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบต่อวัน}}{\text{ปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบต่อรอบ}} \quad \dots\dots\dots(6.12) \end{aligned}$$

6.3.4 ปริมาณ free board (V_f) เท่ากับ ร้อยละ 5 ของปริมาณการเติมน้ำเสีย

ดังนั้นสามารถหาปริมาณรวมทั้งระบบจาก

$$V_t = V_u + V_s + V_w + V_f \quad \dots\dots\dots(6.13)$$

6.4 คำนวณค่าอายุตะกอนสำหรับกำจัดไนโตรเจน จาก

$$\theta_n = 1/(\mu_n(1-f_n)-b_n) \quad \dots\dots\dots(6.13)$$

6.5 อัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน จาก

$$U_n = 1.04 f_n X_v 1.05^{(T-20)} \quad \dots\dots\dots(6.14)$$

6.6 อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน จาก

$$U_{dn} = 1.3 X_d X_v 1.09^{(T-20)} \quad \dots\dots\dots(6.15)$$

6.7 ความต้องการออกซิเจนสำหรับปฏิกิริยาจาก

$$O_2/d = a'BOD_T + 1.4bf_sX_pX_d(1.04)^{(T-20)} + 4.33 \text{ NOD} - 2.8 \text{ DEN} \dots\dots\dots(6.16)$$

6.8 การออกแบบตัดส่วนถังปฏิกริยา

จากข้อ 6.3-6.7 แสดงการค

ส่วน จากงานวิจัยของ Goronszy (1994) สามารถสรุปตัดส่วนของถังปฏิกริยาแต่ละส่วนดังนี้
 ส่วนที่ 1 มีขนาดร้อยละ 10 ของปริมาตรทั้งหมดมีแผ่นกั้นเพื่อให้มีรูปแบบการไหล
 ตามยาว เกิดการกวนผสมระหว่างน้ำเสียและตะกอนแบบที่เร็วในขณะที่ป้อนน้ำเสียเข้าระบบ

ส่วนที่ 2 มีขนาดร้อยละ 10 ของปริมาตรทั้งหมดมีแผ่นกั้นระหว่างถังปฏิกริยาส่วนที่
 2 และ 3 โดยมีช่องเปิดทางด้านล่างของถังปฏิกริยา

ส่วนที่ 3 มีขนาดร้อยละ 80 ของปริมาตรทั้งหมด โดยจะมีการเวียนกลับตะกอนจาก
 ถังปฏิกริยาส่วนนี้เข้าถังปฏิกริยาส่วนที่ 1 อยู่ตลอดเวลา สำหรับน้ำเสียชุมชนจะมีอัตราส่วนการ
 เวียนกลับตะกอนเท่ากับ ร้อยละ 20

ทั้งนี้ ถังปฏิกริยาทั้งสามส่วนจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำขึ้นลงทำกันตลอดช่วงการ
 ป้อนน้ำเสีย จึงเปรียบเสมือนป้อนน้ำเสียภายในถังปฏิกริยาแบบที่ต่อเนื่องหนึ่ง

สัญลักษณ์

a = ค่าสัมประสิทธิ์อัตราของระบบ, มก.วีเอสเอส/มก. COD

a' = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ออกซิเจน, มก.O₂/มก. COD

b = ค่าสัมประสิทธิ์การสลายตัว, วัน⁻¹

$b_{n_T} = b_{20} * 1.04^{T-20}$

b' = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ออกซิเจนสำหรับการสลายตัว, วัน⁻¹

c = ของน้ำออก

f_v = ตัดส่วนทางชีวภาพของ volatile solids

f_g = ตัดส่วนของ f_x ที่ถูกย่อยสลายไป

f₁ = อัตราส่วนของ primary volatile solids ที่ย่อยสลายได้

f₂ = อัตราส่วนของวีเอสเอส

f₃ = อัตราส่วนของ BOD, COD ที่ย่อยสลายได้

- K_d = อัตราการสลายตัวของจุลินทรีย์ในระบบ, วัน⁻¹
 K_p = อัตราการสลายตัวของ primary volatile solids, วัน⁻¹
 U_m = อัตราการเกิดในครีฟิเคชัน
 U_m = อัตราการเกิดดีในครีฟิเคชัน
 S_0 = ความเข้มข้นน้ำเสียเข้าระบบ, มก./ล.
 S_e = ความเข้มข้นน้ำเสียออกจากระบบ, มก./ล.
 S_r = ความเข้มข้นน้ำเสียที่ถูกกำจัด, มก./ล.
 t = เวลา
 T = อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส
 X = เอ็มแอลเอตเอส, มก./ล.
 X_d = อัตราส่วนการย่อยสลายได้ของตะกอน
 ΔX_v = ความเข้มข้นของ volatile solids ที่ผลิตได้, มก./ล.
 θ_c = อายุตะกอน, วัน
 θ_m = อายุตะกอน (เต็มอากาศ), วัน
 μ_{max} = อัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุดของ nitrifier
 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส, วัน⁻¹
 $\mu_{(T)} = \mu_{20} * 1.123^{T-20}$
 NOD = อัตราความต้องการออกซิเจนของไนครีฟิเคชัน
 DEN = Equivalent ของออกซิเจนของดีไนครีฟิเคชัน

6.9 วัฏจักรการทำงานของระบบ

จากงานวิจัยของ Goronszy (1994) พบว่าในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
 คาสต์สำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชน จะเลือกระยะเวลาในการบำบัดที่เหมาะสมเท่ากับ 4 ชม./รอบ โดย
 มีระยะเวลาการเติมอากาศ-เดิมน้ำเสีย (FA) 2 ชั่วโมง ระยะเวลาการตกตะกอน-เดิมน้ำเสีย (FS) 1
 ชั่วโมง ระยะเวลาระบายน้ำใต้อ่าง (D) 0.5 ชั่วโมง และระยะพัก-เดิมน้ำเสีย (FI) 0.5 ชั่วโมง การ
 ควบคุมระบบจะรักษาอัตราส่วนการเดิมน้ำเสียเข้าระบบให้อยู่ในช่วง 0.3-0.5 ของปริมาตรในการ
 บำบัดน้ำเสียทั้งหมด ดังนั้น เปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียแต่ละรอบขึ้นอยู่กับภาวะ
 ทางชลศาสตร์ที่จะเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย กล่าวคือ ถ้าภาระทางชลศาสตร์ลดลงระบบจะชั้ระยะ

เวลาในการรับน้ำเสียออกไป 2 หรือ 4 ชม./รอบ ทำให้ระบบมีระยะเวลาบำบัดน้ำเสียรวม 6 หรือ 8 ชม./รอบตามลำดับ ถ้าภาระทางขดศาสตร์เพิ่มขึ้นจะลดระยะเวลาการบำบัดน้ำเสียลงเป็น 2 ชม./รอบ โดยลดระยะเวลาการเติมอากาศลงให้เหลือเท่ากับ 0.5 ชม./รอบ

จากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์จลน์ของระบบสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จะใช้ในการออกแบบระบบได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบระบบคาสต์

ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่าที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา	ค่าที่ได้จากการทดลอง
อายุตะกอน	θ_c	วัน	7-20	10-16
อายุตะกอน (เติมอากาศ)	θ_{c_m}	วัน	$\theta_c \cdot r_{L_m}$	$\theta_c \cdot r_{L_m}$
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เข้าระบบ	F/M	มก.ซีไอดี/มก.วีเอสเอส-วัน	0.10	0.1-0.3
สัมประสิทธิ์ยึดค้ของการกำจัดซีไอดี	Y_T	มก.วีเอสเอส/มก. COD	-	0.49
ค่าสัมประสิทธิ์การสลายตัว	b	วัน ⁻¹	-	0.09
อัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุดของแบคทีเรียในระบบ	μ_{max}	วัน ⁻¹	-	0.22
สัมประสิทธิ์ยึดค้ของการกำจัดไนโตรเจน	Y_n	มก.วีเอสเอส/มก. TKN	0.10-0.30	0.20
อัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุดของแบคทีเรียพวกไนครีฟาย	$\mu_{n,max}$	วัน ⁻¹	0.3-3.0	-
ค่าสัมประสิทธิ์การสลายตัวของNitrifier	bn	วัน ⁻¹	0.03-0.06	0.06
อัตราส่วนของ ไนครีฟาย	N_f	ร้อยละ	2-5	3.44
อัตราการเกิดไนครีฟิเคชัน	U_n	มก.NH ₃ -N/มก.MLSS-ชม.	0.029-0.036	0.015-0.046
อัตราการเกิดดีไนครีฟิเคชัน	U_{dn}	มก. NO ₃ -N/มก.MLVSS-ชม.	0.5-1.5	0.33-2.01
เอ็มแอลเอสเอสที่ระดับน้ำสูงที่สุด	X_{max}	มก./ล.	3500	3000-3500
อัตราส่วนการเติมอากาศ	r_{L_m}	-	0.5	0.33-0.5
อุณหภูมิ	T	องศาเซลเซียส	15-20	29
ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ออกซิเจนสำหรับการสลายตัว	b'	วัน ⁻¹	0.6	-