บทที่ 8

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการวิจัย

8.1 สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของการประยุกต์กระบวนการตะกอนเร่งแบบสัมผัส-ย่อยสลาย ในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย รวมทั้งศึกษาถึงค่าพารามิเตอร์จลน์ต่างๆ ของระบบ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียใหม่หรือปรับปรุงระบบบำบัดเดิมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตัวแปรอิสระในการทดลองในครั้งนี้ ได้แก่ ค่าอายุตะกอน ซึ่งจะทำการแปรค่าอายุตะกอนทั้งหมด 4 ค่า คือ 3, 6, 10 และ 16 วัน โดยตัวแปรอื่นๆ ที่ต้องควบคุมให้คงที่ ได้แก่ อัตราการไหลเข้าและลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ, อัตราการหมุนเวียนตะกอน, อัตราการหมุนเวียนน้ำตะกอนภายในระบบ รวมทั้งเวลาเก็บกักในถังปฏิกรณ์ต่างๆ ผลการทดลองในการวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปเป็นข้อๆ ได้ ดังนี้

1. ค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (MLSS) จะแปรผันตรงกับค่าอายุตะกอน โดยมีค่า MLSS เพิ่มขึ้นเมื่ออายุตะกอนเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นจะเพิ่มในลักษณะของ Log Curve คือ มีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ลดลงเรื่อยๆ เมื่ออายุตะกอนมากขึ้น

2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตะกอนแขวนลอย(MLSS) กับค่าตะกอนแขวนลอยระเหย (MLVSS) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$MLVSS = 0.863 \quad MLSS$$

3. ค่าดัชนีชี้ความสามารถในการตกตะกอน (SVI) จะแปรผกผันกับค่าอายุตะกอน โดยค่า SVI จะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุตะกอนลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งหมายถึงความสามารถในการตกตะกอนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุตะกอนเพิ่มขึ้นนั่นเอง

4. ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีรวมของระบบทั้งหมดที่ค่าอายุตะกอน 3, 6, 10 และ 16 วัน เท่ากับ 94.3, 94.7, 97.0 และ 97.0% ตามลำดับ ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกันในทุกชุดการทดลองแสดงให้เห็นว่า อายุตะกอนจะไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีรวมของระบบทั้งหมด

5. ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในถังแอนแอโรบิกที่ค่าอายุตะกอน 3, 6, 10 และ 16 วัน เท่ากับ 87.3, 90.7, 95 และ 95.3% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการกำจัดซีโอดีส่วนใหญ่ของระบบจะเกิดขึ้นในถังแอนแอโรบิก โดยมีแนวโน้มว่าจะแปรผันตรงกับค่าอายุตะกอน

6. ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียรวมของระบบทั้งหมดที่ค่าอายุตะกอน 3, 6, 10 และ 16 วัน เท่ากับ 68.9, 76.7, 84.0 และ 88.5% ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นของระบบ เท่ากับ 67.8, 76.3, 82.3 และ 86.7 % ตามลำดับ โดยมีค่าแปรผันตรงกับอายุตะกอนอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าประสิทธิภาพรวมของระบบนี้จะรวมผลของการเกิดไนตริฟิเคชันในระบบและการใช้แอมโมเนียเป็นอาหารเสริม (Nutrient) ในการสร้างเซลล์เข้าด้วยกัน

7. ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด (ทีเคเอ็น + ไนไตรท์ + ไนเตรท) ของระบบที่อายุตะกอน 3, 6, 10 และ 16 วัน เท่ากับ 66.96, 75.83, 80.40 และ 84.70% ตามลำดับ ซึ่งจะมีค่าแปรตามอายุตะกอนเช่นเดียวกัน

8. ประสิทธิภาพในการเกิดไนตริฟิเคชันในถังคอนแทคที่ค่าอายุตะกอน 3, 6, 10 และ 16 วัน เท่ากับ 20.9, 37.3, 53.7 และ 64.9% เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ออกจากถังแอนแอโรบิก ตามลำดับ โดยจะมีค่าแปรผันตรงกับค่าอายุตะกอน การกำจัดแอมโมเนียในถังคอนแทคนี้จะถือว่าเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันเท่านั้น ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าค่อนข้างต่ำอันเนื่องมาจากมีเวลาเก็บกักในถังคอนแทคต่ำเกินไป (4 ชั่วโมง)

9. ประสิทธิภาพในการเกิดไนตริฟิเคชันในถังสเตบิไลเซชันที่ค่าอายุตะกอน 3, 6, 10 และ 16 วัน เท่ากับ 0, 0, 23.4 และ 43.7% เมื่อเปรียบเทียบกับแอมโมเนียในตะกอนเวียนกลับ ตามลำดับ โดยการกำจัดแอมโมเนียในถังสเตบิไลเซชันนี้จะเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าต่ำมากอันเนื่องมาจากมีเวลาเก็บกักต่ำเกินไป (2 ชั่วโมง)

10. ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียอันเนื่องมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน จะเห็นได้ว่าแปรตามค่าอายุตะกอนอย่างเห็นได้ชัด อันเนื่องมาจากที่ค่าอายุตะกอนสูง การทิ้งตะกอนจะน้อยลง ทำให้ปริมาณของ Nitrifier ในระบบมีมากขึ้น

11. อัตราส่วนระหว่างปริมาณซีโอดีที่เข้าสู่ระบบต่อปริมาณแอมโมเนียที่ถูกใช้ในการสร้างเซลล์ (Assimilation) เท่ากับ 100 : 2.28 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากทุกชุดการทดลอง

12. อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังแอนนอกซิก 1 ที่อายุตะกอน 3, 6, 10 และ 16 วัน เท่ากับ 0.053, 0.051, 0.046 และ 0.042 มก.NO_3^-/มก.MLVSS-วัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าแปรผกผันกับค่าอายุตะกอน อันเนื่องมาจากเมื่อค่าอายุตะกอนเพิ่มขึ้นอัตราการใช้สารอาหารต่อมวลจุลินทรีย์จะลดลงเป็นผลให้อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันลดลง โดยปัจจัยที่จำกัดอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน ได้แก่ ปริมาณสารอาหารที่เข้าสู่ถังแอนนอกซิก 1

13. อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังแอนนอกซิก 2 มีค่าต่ำมากเกือบถึงศูนย์ในทุกชุดการทดลอง อันเนื่องมาจากมีปริมาณไนเตรทที่เข้าสู่ถังแอนนอกซิก 2 มีค่าต่ำ กล่าวคือ ปัจจัยที่จำกัดอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังแอนนอกซิก 2 ได้แก่ ปริมาณไนเตรทที่เข้าสู่ถัง

14. ที่อายุตะกอน 3, 6, 10 และ 16 วัน อัตราการคายฟอสฟอรัส (Phosphorus-Release)ในถังแอนแอโรบิกเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 136, 193, 205 และ 206% ตามลำดับ โดยมีอัตราการจับฟอสฟอรัส (Phosphorus-Uptake) เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในถังแอนแอโรบิก เท่ากับ 55.1, 86.1, 82.1 และ 83.1% ตามลำดับ

15. ในถังแอนนอกซิก 2 จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Secondary Release ขึ้น กล่าวคือ เกิดการคายฟอสฟอรัสออกมาของจุลินทรีย์โดยที่ไม่มีการดูดซึมสารอาหารเข้าสู่เซลล์

16. ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบโดยรวมที่อายุตะกอน 3, 6, 10 และ 16 วัน เท่ากับ 38.7, 73.2, 63.2 และ 65.3% ตามลำดับ

17. เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพโดยรวมในการกำจัดฟอสฟอรัสที่ค่าอายุตะกอน 6, 10 และ 16 วัน แม้จะไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอายุตะกอนกับประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบได้อย่างชัดเจนนัก แต่จะเห็นว่าประสิทธิภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอายุตะกอนลดลง อันเนื่องมาจากที่ค่าอายุตะกอนต่ำจะมีการทิ้งตะกอนออกจากระบบมากกว่า ซึ่งเป็นการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากระบบได้มากกว่า แต่เมื่อพิจารณาที่อายุตะกอน 3 วัน ประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างมากทั้งนี้คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการทิ้งตะกอนที่มากเกินไป

ทำให้ปริมาณของ Poly-P Bacteria ซึ่งปกติเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ช้ามีปริมาณลดลงอย่างมาก ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ทันกับจุลินทรีย์กลุ่มอื่น ๆ ในระบบได้

18. ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในถังคอนแทคในทุกชุดการทดลอง จะมีค่าอยู่ในช่วง 2.78-6.14 มก./ล. ซึ่งยังมีค่าสูงอยู่ในทุกชุดการทดลอง อันเป็นผลมาจากการเกิด Secondary-Release ในถังแอนนอกซิก 2 กล่าวคือ เกิดการคายฟอสฟอรัสของจุลินทรีย์โดยที่ไม่มีการดูดซึมสารอาหารเข้าสู่เซลล์ ทำให้ขาดอาหารสำรองที่ต้องใช้ในการย่อยสลายในถังคอนแทค ทำให้ไม่สามารถจับฟอสฟอรัส (Phosphorus Uptake) ที่คายออกมาได้หมด

19. อัตราส่วนระหว่างปริมาณการดูดซึมสารอาหารต่อปริมาณการคายฟอสฟอรัสเท่ากับ 24.6 มก.ซีโอดี/มก.ฟอสฟอรัส อัตราส่วนระหว่างปริมาณการใช้สารอาหารต่อปริมาณการจับฟอสฟอรัสในถังคอนแทคเท่ากับ 15.66 มก.ซีโอดี/มก.ฟอสฟอรัส และอัตราส่วนระหว่างปริมาณการใช้สารอาหารต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดในระบบเท่ากับ 87.6 มก.ซีโอดี/มก.ฟอสฟอรัส

20. เมื่อพิจารณาเฉพาะประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ จะเห็นว่าที่ค่าอายุตะกอน 6 วัน จะมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่ว่าการตกตะกอนของสลัดจ์เกิดขึ้นได้ไม่ดีนัก โดยมีค่า SVI สูงอยู่ในช่วง 180-200 มล./ก. และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบจะเห็นว่าที่ค่าอายุตะกอน 10 วันขึ้นไป จะมีประสิทธิภาพที่น่าพอใจ อีกทั้งการตกตะกอนยังเกิดขึ้นได้ดีในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสยังลดลงไม่มากนัก

สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบนั้นจะมีค่าสูงใกล้เคียงกันในทุกค่าอายุตะกอน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอายุตะกอนไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการกำจัดซีโอดีของระบบ ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าอายุตะกอนที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบระบบนี้ไม่ควรต่ำกว่า 10 วัน

21. ค่าพารามิเตอร์จลน์และสมการต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบระบบ สามารถสรุปได้ดังนี้

พารามิเตอร์	ค่าหรือสมการที่ใช้	หน่วย
Y_T	0.464	มก.MLVSS/มก.COD
kd	0.0712	วัน$^{-1}$
K_{OT}	21.14	วัน$^{-1}$
γ_T	21.61	วัน$^{-1}$
K_{ST}	$589.58\ \theta_C^{0.3391}$	มก.COD/ลิตร
Y_{AN}	0.1169	มก.MLVSS/มก.COD
kd_{AN}	0.169	วัน$^{-1}$
K_{OAN}	12.42	วัน$^{-1}$
γ_{AN}	11.61	วัน$^{-1}$
K_{SAN}	$162.09\ \theta_C^{-0.0351}$	มก.COD/ลิตร
Y_N	0.20	มก.NVSS/มก.NH_3-N
kdn.*	0.05	วัน$^{-1}$
Nitrifier Fraction	3.36	%
μ_{NC}	$1.9575\ \theta_C^{-0.8563}$	วัน$^{-1}$
U_{DN1}	$0.0633\ \theta_C^{-0.1413}$	มก.NO_3^-/มก.MLVSS-วัน
U_{DN1}	$0.0559\ U_T^{0.2071}$	มก.NO_3^-/มก.MLVSS-วัน
U_{DN2}	$0.0031 \ln \theta_C - 0.0051$	มก.NO_3^-/มก.MLVSS-วัน
U_{DN2}	$-0.0167\ U_T + 0.0085$	มก.NO_3^-/มก.MLVSS-วัน
N_C	$N_i - \frac{[(1/\theta_C+0.1436)x(M_S+M_C)]}{8.1806\ Q_i}$	มก./ล.
N_{AN}	$\frac{(N_i+N_C)}{2} - \frac{(1/\theta_C+0.0473)x(M_S+M_{AX2}+M_{AN})}{19.6886\ Q_i}$	มก./ล.
P_C	$P_{AN} - [(1/\theta_C+0.0811)M_C/4.5658\ Q_i]$	มก./ล.

พารามิเตอร์	ค่าหรือสมการที่ใช้	หน่วย
P_{AN}	$\frac{(1/\theta_C+0.1332)x(M_{AX2}+M_{AN})}{8.959\ Q_i}+\frac{(P_i+P_C)}{2}$	มก./ล.
α_S	$-0.0173 \ln \theta_C +0.2884$	-
α_{AX2}	$0.0092 \ln \theta_C +0.1901$	-
α_{AN}	$-0.0071 \ln \theta_C +0.1466$	-
α_{AX1}	$0.003 \ln \theta_C +0.1275$	-
α_C	$0.012 \ln \theta_C +0.2474$	-

*** ค่า Y_N และ kdn. เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากการศึกษาที่ผ่านมา**

จากค่าพารามิเตอร์จลน์และสมการต่าง ๆ ข้างต้น สามารถนำไปคำนวณออกแบบระบบ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

8.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการวิจัย

1. ควรศึกษาถึงผลของเวลากักน้ำ (HRT) ในถังปฏิกรณ์ต่าง ๆของระบบ เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอาหาร ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย

2. ควรศึกษาถึงค่าอัตราส่วนความเข้มข้นสารอาหารต่อปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในระบบที่มีการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ

3. ควรศึกษาถึงประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ของการทำงานของระบบ ในกรณีที่ใช้น้ำเสียชุมชนจริงแทนน้ำเสียสังเคราะห์

4. ควรศึกษาผลกระทบของการเติมสารอาหารชนิดต่าง ๆ ที่มีลักษณะเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (SCVFA) ลงในน้ำเสียชุมชนต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ เช่น Acetic Acid, Propionic Acid, Sodium Acetate เป็นต้น