บทที่ 5
อภิปรายผล สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 ลักษณะน้ำเสียและน้ำทิ้ง

จากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณซีโอดีในน้ำเสียของมหาวิทยาลัยฯ พบว่า มีค่าไม่สูงมากนัก (รูปที่ 4-4) ทั้งนี้เนื่องจากระบบท่อระบายน้ำของมหาวิทยาลัยฯ เป็นแบบท่อรวม จึงมีปริมาณน้ำฝนปนอยู่ส่วนหนึ่งด้วย ซึ่งปริมาณของน้ำฝนที่ปนกับน้ำเสีย ทำให้ค่าซีโอดีต่ำในวันที่มีฝนตกและมีปริมาณสูงขึ้นในช่วงที่มีการระบายน้ำเสียจากมหาวิทยาลัยฯ ลงสู่คลองเปิดด้านหลังอาคารโภชนาการ ส่วนปริมาณทีเคเอ็นในน้ำทิ้งที่มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องมาจากระบบบำบัดสามารถบำบัดทีเคเอ็นได้อย่างสมบูรณ์ (รูปที่ 4-9)

ปริมาณฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากระบบฯ ชนิดไร้อากาศมีมากกว่าในน้ำเสีย โดยเฉพาะในช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยา 48 ชั่วโมง (Pre-test) และ 24 ชั่วโมง เนื่องจากในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Conditions) โพลีฟอสเฟตที่เก็บสะสมไว้ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ที่สะสมฟอสฟอรัสได้ ถูกขับออกมาภายนอกเซลล์ เป็นเหตุให้ฟอสเฟตในน้ำทิ้งมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีอยู่ในน้ำเสีย ส่วนในวัฏจักรอื่นๆ ฟอสเฟตในน้ำทิ้งมีปริมาณไม่แตกต่างจากในน้ำเสีย โดยเฉพาะช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยาที่สั้นลง (15 และ 5 ชั่วโมง) ซึ่งน่าจะมาจากระยะเวลาทำปฏิกิริยาที่ไม่เพียงพอให้เกิดการขับโพลีฟอสเฟตออกภายนอกเซลล์จุลินทรีย์ดังกล่าว

5.2 ระบบบำบัดแบบสลับเป็นกะชนิดเติมอากาศ

5.2.1 ประสิทธิภาพของระบบ

จากการที่ระบบบำบัดน้ำเสียชนิดเติมอากาศ มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและทีเคเอ็นต่ำในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ แสดงให้เห็นว่าระบบอาจมีปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียไม่เพียงพอ ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจวัดปริมาณจุลินทรีย์ในระบบที่มีค่าลดลงในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ โดยการตายของจุลินทรีย์ในช่วงเริ่มต้นการเดินระบบ เป็นปรากฏการณ์ปกติสำหรับการเดินระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป ที่อยู่ในช่วงการคัดเลือกกลุ่มจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อสภาวะควบคุมของการเดินระบบ และเป็นการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์นอกเหนือจากสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียที่เข้าระบบ

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยาที่ต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีต่างกัน โดยช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยา 7 ชั่วโมงและ 5 ชั่วโมง ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีไม่แตกต่างกันมากนัก และช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยาทั้งสามช่วงเวลา ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นค่อนข้างสูง (รูปที่ 4-12 และ รูปที่ 4-13)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ที่ช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยา 7 ชั่วโมง (วัฏจักรที่ 9-13) ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นสูงมาก (ร้อยละ 100) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดขบวนการ Nitrification อย่างสมบูรณ์ ส่วนช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง (วัฏจักรที่ 14-18) ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีและทีเคเอ็นค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 82.7 และ 71.7 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบเกิดขบวนการ Nitrification ค่อนข้างสมบูรณ์เช่นเดียวกัน และสำหรับช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีและทีเคเอ็นเฉลี่ย ร้อยละ 40.7 และ 82.0 ตามลำดับ โดยระบบสามารถบำบัดซีโอดีได้ต่ำกว่าช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยาอื่นๆ แต่ยังสามารถบำบัดทีเคเอ็นได้ดี (รูปที่ 4-12 และ 4-13) อย่างไรก็ตาม ในสองวัฏจักรสุดท้าย (วัฏจักรที่ 22 และ 23) เนื่องจากปริมาณทีเคเอ็นในน้ำเสียมีปริมาณน้อยมาก (2.24-4.48 มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังจากเติมอากาศเพียง 3 ชั่วโมง ทำให้ระบบสามารถบำบัดทีเคเอ็นได้หมด จึงเป็นเหตุทำให้ค่าเฉลี่ยของการบำบัดทีเคเอ็นที่ช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง (ร้อยละ 82) มีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพที่ช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง (ร้อยละ 71.7)

5.2.2 ความเข้มข้นและลักษณะรูปร่างของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ

ปริมาณของแข็งรวมและความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบสลับเป็นกะชนิดเติมอากาศในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ (Pre-test) มีค่าลดลงมาก ซึ่งน่าจะมีสาเหตุจากการเติมอากาศที่มากเกินไป (20 ชั่วโมง) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนฟุ้งกระจายขึ้นไปเกาะติดอยู่บริเวณผนังเหนือระดับน้ำของถังปฏิกิริยา ประกอบกับมีการสูญเสียตะกอนบางส่วนในช่วงระบายน้ำทิ้งหลังจากทำการเติมตะกอนเข้าไปในระบบในวันที่ 34 ของการเดินระบบ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบฯ มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบฯ ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยจากผลการศึกษาของ ลักขณา (2541) ชี้ให้เห็นว่า ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (MLVSS) ในระบบบำบัด มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและไนโตรเจนในน้ำเสีย

ผลการตรวจตัวอย่างตะกอนโดยวิธี Scanning Electron Microscopy (SEM) พบว่า ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดฯ ชนิดเติมอากาศ จับกันเป็นกลุ่มเช่นเดียวกับในระบบบำบัดฯ ชนิดไร้อากาศ โดยจุลินทรีย์ส่วนใหญ่มีลักษณะรูปร่างแบบกลมและแบบแท่ง (รูปที่ 4-16) และพบจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยในปริมาณน้อยมาก ซึ่งจุลินทรีย์ชนิดนี้ส่วนใหญ่จะรบกวนการทำงานของระบบ ทำให้ตะกอนจมตัวได้ไม่ดี ดังนั้น การพบจุลินทรีย์ดังกล่าวในปริมาณน้อย จึงถือได้ว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

5.2.3 สรุปผลการศึกษาสำหรับระบบบำบัดแบบสลับเป็นกะชนิดเติมอากาศ

จากการทดลองโดยใช้แบบจำลองถังปฏิกิริยาระบบบำบัดแบบสลับเป็นกะ (Sequencing Batch Reactor) ชนิดเติมอากาศ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีและทีเคเอ็นในน้ำเสียมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ โดยมีช่วงเวลาการเติมอากาศที่แตกต่างกัน คือ 7, 5, และ 3 ชั่วโมง พบว่า ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และไนโตรเจนได้ โดยผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1) ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีเฉลี่ย ที่ช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยา 7, 5, และ 3 ชั่วโมง เท่ากับ ร้อยละ 79.8, 82.7 และ 40.7 ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลาเติมอากาศ 5 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีสูงที่สุด

2) ประสิทธิภาพการบำบัดค่าทีเคเอ็นเฉลี่ย ที่ช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยา 7, 5, และ 3 ชั่วโมง เท่ากับ ร้อยละ 100, 71.7 และ 82.0 ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลาเติมอากาศ 7 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดค่าทีเคเอ็นสูงที่สุด

3) จากการทดลองบำบัดน้ำเสียจากมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ พบว่า ช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการเดินระบบ คือ 5 ชั่วโมง และพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีของระบบ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาเติมอากาศ ซึ่งลำดับช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเดินระบบ มี 3 ช่วง คือ ช่วงเวลาเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง ช่วงเวลาการตกตะกอน 50 นาที และช่วงเวลาระบายน้ำทิ้ง 10 นาที

4) จากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพระบบ พบว่า ช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยาที่ต่างกัน คือ 7, 5 และ 3 ชั่วโมง ไม่ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5) ตะกอนจุลินทรีย์มีการเพิ่มจำนวนหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ และมีรูปร่างกลมและแท่งเป็นส่วนใหญ่ โดยจากการย้อมสีแกรมพบว่าเป็นแบคทีเรียชนิดแกรมลบ

5.3 ระบบบำบัดแบบสลับเป็นกะชนิดไร้อากาศ

5.3.1 ประสิทธิภาพของระบบ

การบำบัดทีเคเอ็นที่เกิดขึ้นในระบบฯ ชนิดไร้อากาศนี้ น่าจะมาจากกระบวนการระเหยของแอมโมเนีย (Ammonia Volatilization) โดยแอมโมเนียจะถูกขับออกจากน้ำไปสู่บรรยากาศได้ก็ต่อเมื่อพีเอช มากกว่า 7 (Metcalf & Eddy, 2003) ซึ่งแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนรูปจาก NH_4^+ ไปเป็น NH_3 หรือเรียกว่า การเปลื้องแอมโมเนีย (Ammonia Stripping) ดังสมการที่ 5-1 ซึ่งในการทดลองนี้แอมโมเนียในน้ำเสียสามารถระเหยไปสู่ช่องว่างเหนือระดับน้ำในถังปฏิกิริยา (Head Space ของถังปฏิกิริยาเท่ากับ 5 ลิตร)

$$NH_4^+ \underset{\text{pH ต่ำ}}{\overset{\text{pH สูง}}{\rightleftharpoons}} NH_3 + H^+ \qquad \text{---------- (5-1)}$$

ช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับการเดินระบบฯ ชนิดไร้อากาศ ในการทดลองครั้งนี้ คือ 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ ศิริเพ็ญ (2545) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและทีเคเอ็นของระบบฯ ที่ได้ (ร้อยละ 87.5 และร้อยละ46.6) มีค่าต่ำกว่าประสิทธิภาพการบำบัดที่ได้จาก ศิริเพ็ญ (2545) ดังนั้น อาจต้องมีการนำระบบฯ ชนิดเติมอากาศ มาใช้ร่วมด้วย เพื่อให้ระบบฯ มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้น หรือใช้การเพิ่มตัวกลางพลาสติกเข้าไปในระบบฯ โดยอาจเลือกใช้กับระบบฯ ชนิดเติมอากาศหรือไร้อากาศก็ได้ เช่นเดียวกับในการทดลองของ จันทนา (2540) และทัศนา (2548) เพื่อให้จุลินทรีย์เกาะและรวมตัวกันเป็นกลุ่ม (Floc) เป็นการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ เนื่องจากตัวกลางจะทำหน้าที่เป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ และยังเป็นการลดการสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ในระหว่างการระบายน้ำทิ้งออกจากระบบ จึงเป็นการเพิ่มอายุของตะกอน ทำให้ระบบสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้น

5.3.2 ความเข้มข้นและลักษณะรูปร่างของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ

จากการที่ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูง ซึ่งน่าจะเป็นผลให้ตะกอนจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนค่อนข้างมาก แต่จากผลการตรวจวัดความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ ในระบบที่มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง (รูปที่ 4-23) แสดงให้เห็นแนวโน้มของการหลุดออกของตะกอนในระบบระหว่างการระบายน้ำทิ้งเช่นเดียวกับในระบบบำบัดฯ ชนิดเติมอากาศ อย่างไรก็ตาม การที่ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวน ทำให้ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์โดยรวมในระบบมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง

การศึกษาลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบไม่ย้อมสีแกรม สามารถระบุลักษณะรูปร่างของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบได้อย่างคร่าวๆ ว่าเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ผสมระหว่างชนิดกลมและเส้นใย (รูปที่ 4-24) ส่วนแบบย้อมสีแกรมทำให้ทราบแนวโน้มชัดเจนขึ้นว่า ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแบบกลม และมีบางส่วนเป็นจุลินทรีย์แบบเส้นใย (รูปที่ 4-25) และจากการที่แบคทีเรียย้อมติดสีแดง ทำให้สามารถระบุได้ว่าเป็นแบคทีเรียแกรมลบ (Gram Negative Bacteria) อย่างไรก็ตาม หากแบคทีเรียแกรมบวกมีอายุมากเซลล์จะแก่ตัว และผนังเซลล์อาจเกิดการรั่ว ทำให้ย้อมติดสีแดงก็เป็นได้

ผลการตรวจตัวอย่างตะกอนโดยวิธี Scanning Electron Microscopy (SEM) พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดฯ ชนิดไร้อากาศ จับกันเป็นกลุ่ม โดยกลุ่มจุลินทรีย์ในระบบบำบัดฯ ได้แก่ จุลินทรีย์รูปร่างแบบกลม แบบแท่ง และมีจุลินทรีย์แบบเส้นใยในปริมาณมากกว่าระบบบำบัดฯ ชนิดเติมอากาศ (รูปที่ 4-25) อย่างไรก็ตาม กลุ่มจุลินทรีย์แบบเส้นใยดังกล่าวนี้ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาตะกอนลอยแต่อย่างใด โดยสังเกตได้จากลักษณะการตกตะกอนในแต่ละรอบวัฏจักรการเดินระบบ

5.3.3 สรุปผลการศึกษาสำหรับระบบบำบัดแบบสลับเป็นกะชนิดไร้อากาศ

จากการศึกษาการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะชนิดไร้อากาศ พบว่ามีปัจจัยสำคัญคล้ายคลึงกับการเดินระบบฯ ชนิดเติมอากาศ ได้แก่ 1) การสร้างความคุ้นเคยระหว่างตะกอนจุลินทรีย์กับน้ำเสียที่จะบำบัด และ 2) การทำ Pre-test ระบบเพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ก่อนที่จะดำเนินการทดลองตามรูปแบบการทดลองที่ได้วางไว้ ผลการศึกษาสรุปได้ ดังนี้

1) ลำดับช่วงเวลาในการเดินระบบฯ เหมือนกับที่ใช้กับระบบฯ ชนิดเติมอากาศ คือ มี 3 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยา 2) ช่วงตกตะกอน และ 3) ช่วงระบายน้ำทิ้ง แต่แตกต่างกันที่ไม่มีการเติมอากาศในช่วงที่ 2 โดยระยะเวลาที่เหมาะสมในแต่ละช่วงสำหรับการบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยฯ โดยระบบฯ ชนิดไร้อากาศ ได้แก่ 24 ชั่วโมง 50 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ ซึ่งการเดินระบบตามช่วงเวลาดังกล่าว พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและทีเคเอ็น ร้อยละ 87.5 และ 46.6 ตามลำดับ

2) จากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน (24, 15 และ5 ชั่วโมง) ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3) กลุ่มแบคทีเรียในระบบมีทั้งแบบกลม แท่ง และแบบเส้นใย ทำหน้าที่ประสานกันในการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้จากผลการย้อมสีแกรมพบว่า เป็นแบคทีเรียชนิดแกรมลบ

5.4 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการทดลอง และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป คือ

1) สามารถใช้ระบบบำบัดแบบสลับเป็นกะเพื่อบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยฯ ได้ โดยหากต้องการใช้แบบชนิดเติมอากาศ ควรเติมอากาศเป็นเวลา 5 ชั่วโมง จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีและทีเคเอ็นเฉลี่ยร้อยละ 83 และร้อยละ 72 หรือหากต้องการใช้แบบชนิดไร้อากาศ ควรเลือกใช้ช่วงเติมน้ำเสียและทำปฏิกิริยา เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีและทีเคเอ็นเฉลี่ยร้อยละ 88 และร้อยละ 47 ตามลำดับ

2) ควรมีการเก็บสะสมตะกอนที่หลุดมากับน้ำทิ้ง และสูบตะกอนเหล่านี้กลับคืนถังปฏิกิริยา เพื่อลดการสูญเสียตะกอนในระบบ

3) การทำ Pre-test ระบบ ก่อนการเก็บข้อมูล หรือการทำให้ตะกอนคุ้นเคยกับสภาพน้ำเสียที่จะบำบัด เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการดำเนินการระบบ เพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State Conditions)

4) ควรทำการศึกษาประสิทธิภาพการเดินระบบฯ ชนิดไร้อากาศร่วมกับเติมอากาศ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ