บทที่ 4
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบ ASBR ที่ทำงานในช่วง Thermophilic และ Mesophilic ของการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ใช้ถังปฏิกิริยาจำนวน 2 ชุด ทำด้วยพลาสติกอะคลิลิคเป็นรูปทรงกระบอก มีปริมาตร 5 ลิตร การทดลองระบบ ASBR เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ แบ่งการทดลองเป็น 2 ระยะ คือ การทดลองระยะที่ 1 เป็นระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ที่ถังปฏิกิริยา ThASBR และ MeASBR ส่วนการทดลองระยะที่ 2 เป็นระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน โดยนำระบบมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันซึ่งถังแรกเป็นถังปฏิกิริยา ThASBR ส่วนถังที่สองเป็นถังปฏิกิริยา MeASBR (Thermo-Meso) และในช่วงท้ายของการทดลองปรับระบบเป็นแบบ Meso-Meso ซึ่งเป็นการทดลองถังปฏิกิริยา MeASBR ทั้งสองถัง ผลการทดลองสามารถสรุปได้ ดังนี้

4.1.1 การทดลองระยะที่ 1 ระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว

4.1.1.1 ถังปฏิกิริยา Thermophilic ASBR

1) สภาพแวดล้อมในการทำงานของระบบตลอดระยะการทดลอง พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 37.40-47.00 องศาเซลเซียส pH อยู่ในช่วง 7.34-8.35 สภาพด่างอยู่ในช่วง 1,970-3,611 มก./ล. ของ $CaCO_3$ กรดระเหยง่ายอยู่ในช่วง 145-676 มก./ล. ของ CH_3COOH และอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่าง อยู่ในช่วง 0.08-0.12

2) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) เท่ากับ 0.50-5.00 กก./ลบ.ม./วัน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป TCOD เฉลี่ยร้อยละ 51.42-78.98 ในรูป SCOD เฉลี่ยร้อยละ 45.28-84.19 และในรูป BOD_5 เฉลี่ยร้อยละ 86.41-92.16 โดยประสิทธิภาพการบำบัด TCOD และ BOD_5 จะลดลงเมื่อ OLR สูงขึ้น

3) ประสิทธิภาพในการบำบัดสี, SS และ Oil and Grease มีความเกี่ยวข้องกับการบำบัด TCOD เนื่องจากช่วงที่บำบัด TCOD สูงสุด คือที่ OLR เท่ากับ 1.0 กก./ลบ.ม./วัน และช่วง OLR ที่บำบัดสี, SS และ Oil and Grease สูงสุดอยู่ในช่วง OLR เท่ากับ 1.0 กก./ลบ.ม./วัน เช่นกัน โดยประสิทธิภาพการบำบัดสี และ SS ตลอดระยะการทดลองเฉลี่ยร้อยละ 32.75-51.62 และ 26.98-72.29

ตามลำดับ ส่วน Oil and Grease ในช่วงแรกไม่สามารถบำบัดได้และบำบัดได้สูงสุดร้อยละ 40.44

4) ปริมาณสารอาหารในรูป TKN และ TP ที่จุลินทรีย์ในระบบใช้เป็นอาหารเสริมในการบำบัดน้ำเสียมีในปริมาณน้อยมาก เกือบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยตลอดระยะการทดลองระบบมีการบำบัด TKN เฉลี่ยร้อยละ 2.13-23.19 และบำบัด TP เฉลี่ยร้อยละ 3.83-52.01

5) ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงขึ้นเมื่อมี OLR เพิ่มขึ้นโดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อปริมาตรถังเฉลี่ยเท่ากับ 0.06-0.18 ล./ล./วัน ของการทดลองที่ OLR เท่ากับ 0.5-5.0 กก./ลบ.ม./วัน โดยปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเฉลี่ยสูงสุด (ล./ล./วัน) ที่ OLR เท่ากับ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน

4.1.1.2 ถังปฏิกิริยา Mesophilic ASBR

1) สภาพแวดล้อมในการทำงานของระบบตลอดระยะการทดลองพบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 27.8-35.0 องศาเซลเซียส pH อยู่ในช่วง 7.52-8.18 สภาพด่างอยู่ในช่วง 1,735-3,538 มก./ล. ของ $CaCO_3$ กรดระเหยง่ายอยู่ในช่วง 125-314 มก./ล. ของ CH_3COOH และอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่าง อยู่ในช่วง 0.06-0.07

2) การทดลองที่ OLR เท่ากับ 0.5-5.0 กก./ลบ.ม./วัน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป TCOD เฉลี่ยร้อยละ 52.36-75.47 ในรูปของ SCOD เฉลี่ยร้อยละ 47.96-82.07 และในรูป BOD_5 เฉลี่ยร้อยละ 82.16-92.32 โดยประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD และ BOD_5 จะลดลงเมื่อ OLR สูงขึ้น

3) ประสิทธิภาพในการบำบัดสี, SS และ Oil and Grease มีความเกี่ยวข้องกับการบำบัด TCOD เนื่องจากช่วงที่บำบัด TCOD สูงสุด คือที่ OLRเท่ากับ 1.0 กก./ลบ.ม./วัน และช่วง OLR ที่บำบัดสี, SS และ Oil and Grease สูงสุดอยู่ในช่วง OLR เท่ากับ 1.0 กก./ลบ.ม./วัน เช่นกัน โดยประสิทธิภาพการบำบัดสี และ SS ตลอดระยะการทดลองเฉลี่ยร้อยละ 9.75-34.52 และ 39.96-71.59 ตามลำดับ ส่วน Oil and Grease ในช่วงแรกไม่สามารถบำบัดได้และบำบัดได้สูงสุดร้อยละ 74.89

4) ปริมาณสารอาหารในรูป TKN และ TP ที่จุลินทรีย์ในระบบใช้เป็นอาหารเสริมในการบำบัดน้ำเสียในปริมาณน้อยมากเกือบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยระบบมีการบำบัด TKN เฉลี่ยร้อยละ 6.28-23.24 และบำบัด TP เฉลี่ยร้อยละ 12.63-56.70

5) ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงขึ้นเมื่อมี OLR เพิ่มขึ้นโดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อปริมาตรถังเฉลี่ยเท่ากับ 0.06-0.17 ล./ล./วัน ของการทดลองที่ OLR เท่ากับ 0.5-5.0 กก./ลบ.ม./วัน โดยปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเฉลี่ยสูงสุด (ล./ล./วัน) ที่ OLR เท่ากับ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน

4.1.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว

1) ระบบทั้ง 2 ถังปฏิกิริยาสามารถรักษาระดับ pH ให้เป็นกลางถึงด่างเล็กน้อยได้ตลอดการทดลอง โดยไม่มีปัญหาเกี่ยวกับความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายที่เป็นสาเหตุให้ระบบล้มเหลว ทั้งนี้เพราะน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีสภาพด่างที่สูงจึงทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ต้านความเป็นกรดให้น้อยลงและเพิ่มสภาพด่างให้กับระบบมากขึ้น

2) สภาวะที่สามารถบำบัด TCOD ได้สูงสุดของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกิริยา ThASBR และ MeASBR มีสภาวะเหมือนกัน คือ การทดลองที่ OLR เท่ากับ 1.0 กก./ลบ.ม./วัน หรือที่ HRT 10 วัน

3) โดยภาพรวมรูปแบบการเดินระบบของถังปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า โดยส่วนใหญ่ถังปฏิกิริยา ThASBR มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD สูงกว่าถังปฏิกิริยา MeASBR อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

4.1.3 การทดลองระยะที่ 2 ระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน

ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนที่เป็นแบบ Thermo-Meso ขึ้นกับปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ (โดยเฉพาะในถังปฏิกิริยา MeASBR) และปริมาณกรดระเหยง่ายในระบบ OLR เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ซึ่งเกี่ยวกับปริมาณตะกอนและกรดระเหยง่ายในระบบ จากการทดลองได้ผลดังนี้

1) สภาพแวดล้อมในการทำงานของระบบตลอดระยะการทดลอง พบว่าการทดลองที่ถังปฏิกิริยาแรก คือ ThASBR มี pH อยู่ในช่วง 7.34-7.92 ความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายอยู่ในช่วง 216-598 มก./ล. ของ CH_3COOH และการทดลองที่ถังปฏิกิริยาที่สอง คือ MeASBR มี pH อยู่ในช่วง 7.59-7.99 ความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายอยู่ในช่วง 147-284 มก./ล. ของ CH_3COOH

2) จากการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.50-3.50 กก./ลบ.ม./วัน พบว่าระบบสามารถบำบัด TCOD สูงสุดที่ OLR รวมเท่ากับ 3.50 กก./ลบ.ม./วัน หรือ HRT รวมเท่ากับ 2.83 วัน โดยตลอดระยะการทดลองระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป TCOD เฉลี่ยร้อยละ 75.10-77.84 และในรูปของ SCOD เฉลี่ยร้อยละ 55.29-60.91 และสามารถบำบัด BOD_5 เฉลี่ยร้อยละ 93.81-95.29 สำหรับในกรณีระบบสองขั้นตอนเป็นแบบ Meso- Meso ซึ่งเป็นการทดลองที่ OLR เท่ากับ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป TCOD เฉลี่ยร้อยละ 73.31 ในรูปของ SCOD เฉลี่ยร้อยละ 53.80 และลด SS เฉลี่ยร้อยละ 60.80

3) ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบโดยรวมในการบำบัดสี, SS และ Oil and Grease ของทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน โดยตลอดระยะการทดลองระบบสามารถบำบัดสี, SS และ Oil and Grease เฉลี่ยร้อยละ 31.00-41.62, 60.69-65.13 และ 56.61-57.46 ตามลำดับ

4) ปริมาณสารอาหารในรูป TKN และ TP ที่จุลินทรีย์ในระบบใช้เป็นอาหารเสริมในการบำบัดน้ำเสียมีในปริมาณน้อยมาก เกือบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยระยะตลอดการทดลองระบบมีการบำบัด TKN เฉลี่ยร้อยละ 16.42-22.39 และบำบัด TP เฉลี่ยร้อยละ 43.39-44.26

5) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR โดยรวมทั้งระบบมีปริมาณเท่ากับ 1,379, 1,549 และ 1,955 มล./วัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อปริมาตรถังเท่ากับ 0.14, 0.15 และ 0.20 ล./ล./วัน ของการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน ตามลำดับ

6) ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ถังปฏิกิริยาแรก คือ ThASBR มีอัตราส่วนของ MLVSS : MLSS เท่ากับ 0.66 ส่วนถังปฏิกิริยาที่สอง คือ MeASBR มีอัตราส่วนเท่ากับ 0.77 ซึ่งถังปฏิกิริยา ThASBR มีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์น้อยกว่าตอนเริ่มต้นระบบเล็กน้อย ส่วนถังปฏิกิริยา MeASBR มีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์มากกว่าตอนเริ่มต้นระบบเล็กน้อย

4.1.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพบำบัดของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน

เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการทดลองที่ OLR เข้าระบบในปริมาณเท่ากัน คือ ที่ OLR เท่ากับ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน ซึ่งมีอัตราส่วนของถังแรกและถังที่สองเท่ากับ 1 : 2.4 มีค่า HRT ใกล้เคียงกัน แต่ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (TCOD) ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบสองขั้นตอนอยู่ประมาณร้อยละ 14-20 สอดคล้องกับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (มล./วัน) ที่ระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวต่ำกว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนทั้ง 2 ถังปฏิกิริยาประมาณ 3-4 เท่า ส่วนประสิทธิภาพการบำบัด SCOD มีค่าไม่ต่างกันมากนักซึ่งระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวมีการกำจัดได้น้อยกว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนประมาณร้อยละ 11-13 และจากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ที่ OLR เท่ากัน ระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนจะมีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์สูงกว่าระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว

4.1.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนที่เป็นแบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso

เมื่อนำผลการทดลองระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนที่เป็นแบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดที่ OLR เท่ากับ 3.50 กก./ลบ.ม./วัน พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD และ SS ที่เป็นแบบ Thermo-Meso จะมีประสิทธิภาพบำบัดสูงกว่าแบบ Meso-Meso ประมาณร้อยละ 4 และ 5 ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะการที่ถังแรกเป็นถังปฏิกิริยา ThASBR การทำงานของจุลินทรีย์ในขั้นตอนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และขั้นตอนการผลิตกรด (Acidogenesis) สามารถเกิดขึ้นได้เร็วกว่า ทำให้กลุ่มจุลินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenesis) สามารถนำกรดอินทรีย์และสารอื่นๆ ไปใช้ในการย่อยสลายแล้วเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพออกมาสูงกว่า สังเกตได้จากอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งสองถังปฏิกิริยาของการทดลองแบบ Thermo-Meso เกิดขึ้นสูงกว่า

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองนี้พบว่าระบบมีการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ จึงควรติดตั้งชุดอุปกรณ์ที่สามารถกักหรือดักตะกอนได้ที่ท่อน้ำออกหรือนำตะกอนที่หลุดออกจากระบบกลับมาใช้ใหม่เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณตะกอนในระบบ

2. การศึกษานี้ทำการทดลองถึงที่ OLR สูงสุดเท่ากับ 12.0 กก./ลบ.ม./วัน ของถังปฏิกิริยา ThASBR และ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน ของถังปฏิกิริยา MeASBR ซึ่งยังไม่ใช่ OLR สูงสุดที่ถังปฏิกิริยาทั้ง 2 จะรับได้ ดังนั้นควรมีการศึกษาความสามารถของถังปฏิกิริยาในการรับ OLR สูงสุด และควรติดตามปัญหาของระบบในระยะยาว โดยเฉพาะเรื่องการอุดตันของตะกอนสารอินทรีย์

3. ในการทดลองระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนน้ำเสียที่เข้าสู่ถังปฏิกิริยา ThASBR ต้องให้เป็นถังผลิตกรด ซึ่งจากการทดลองน้ำทิ้งจากระบบมีค่าเป็นกลาง จึงควรใช้ตัวอย่างน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตโดยตรงเพราะมี pH ประมาณ 4.80 ซึ่งมีลักษณะเป็นกรด แต่ควรมีการแยก Oil and Grease ออกจากน้ำเสียให้มากที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

4. เนื่องจากน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน ยังมีปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่าค่ามาตรฐานมาก จึงควรจะมีการศึกษารูปแบบการบำบัดขั้นต่อๆ ไป เพื่อให้ได้มาตรฐานน้ำทิ้ง โดยเฉพาะขั้นตอนการบำบัดสี และการบำบัด Oil and Grease เป็นต้น

4.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

จากการทดลองเดินระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของถังปฏิกิริยา ThASBR และ MeASBR พบว่ามีประเด็นที่ควรศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1. ควรทำการทดลองบำบัดน้ำเสียขั้นต้นด้วยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่การบำบัดทางชีวภาพ เช่น

1.1 การใช้โอโซนหรือ ยูวี โดยหาปริมาณและเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

1.2 การใช้สารออกซิไดซ์รุนแรง เช่น กรดหรือด่างเข้มข้น

2. ควรมีการศึกษาและหาวิธีการดึงเอา Oil and Grease ออกจากน้ำเสียให้มากที่สุด เพราะ Oil and Grease มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์และเพื่อป้องกันการเสียปริมาตรของระบบบำบัด

3. ควรทดลองใช้ระบบ ASBR แบบ Thermophilic และ Mesophilic ในการบำบัดน้ำเสียอื่นๆ ที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง เช่น น้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้น และน้ำเสียจากน้ำชะขยะ เป็นต้น โดยทดลองจาก Lab Scale ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง

4. ศึกษาสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ได้และความคุ้มค่าการเป็นเชื้อเพลิงด้วย

5. ควรมีการประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาตร์ในการก่อสร้างระบบบำบัด ASBR ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง