

ประจำปีงบประมาณ 2552

- 1

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โดยได้รับเงิน
อุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถของระบบในการรับน้ำเสีย ประสิทธิภาพการบำบัดและการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและน้ำเสียกลีเซอรอล ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศแบบลูกผสม (Anaerobic Hybrid Reactor, AHR) น้ำเสียเอทานอลที่ใช้ในการศึกษารุ่นนี้มีค่าซีโอดี 21,235 มก./ล. พีเอช 4.13 และ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 610 มก./ล. ขณะที่น้ำเสียโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการศึกษามีค่าซีโอดี 24,000 มก./ล. พีเอช 3.98 ในการศึกษาทำการศึกษาผลอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) ที่มีต่อประสิทธิภาพและเสถียรภาพการทำงานของระบบ AHR ในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล ทำการเดินระบบที่ OLR ตั้งแต่ 0.5 – 4.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ในขณะที่การศึกษาการบำบัดน้ำเสียผสมระหว่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังและน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลที่อัตราส่วน 80 : 20 โดยทำการเดินระบบที่ OLR ตั้งแต่ 0.5 – 4.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ผลการศึกษาพบว่า ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบ AHR สามารถรองรับ OLR ได้สูงสุดที่ 4.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน และมีระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT) ต่ำสุดที่ 4.6 วัน ที่ OLR ดังกล่าว ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (Methane Yield) พีเอชและอัตราส่วนปริมาณกรดระเหยทั้งหมดต่อความเป็นด่าง (TVA/Alk. Ratio) อยู่ที่ ร้อยละ 90-95, 0.25 – 0.32 ลบ.ม./กก.ซีโอดี ที่กำจัด, 6.98 – 8.00 และ 0.21 – 0.39 ตามลำดับ ในขณะที่การบำบัดน้ำเสียผสมแบบ AHR สามารถรองรับ ORL สูงสุดที่ 4.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ที่ HRT 4.6 วัน และระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (Methane Yield) พีเอชและอัตราส่วนปริมาณกรดระเหยทั้งหมดต่อความเป็นด่าง (TVA/Alk. Ratio) อยู่ที่ ร้อยละ 90 - 95, 0.25 – 0.26 ลบ.ม./กก.ซีโอดี ที่กำจัด, 6.6 – 6.8 และ 0.40 – 0.70 ตามลำดับ

คำสำคัญ: น้ำเสียไบโอดีเซล/น้ำเสียเอทานอล/ศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน/
ระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศ/ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบลูกผสม

Abstract

The objectives of this study were to determine the reactor capacity, the treatment efficiency and the biogas production from anaerobic hybrid reactor (AHR) in treating bioethanol wastewater and casawa wastewater. Bioethanol wastewater used in this study contained 21,235 mg/L of COD with pH of 4.13 and 610 mg/L of total nitrogen. In the other hand, casawa wastewater contained 24,000 mg/L of COD with pH of 3.98 and . This research studied the effect of organic loading rates (OLRs) on the performance and stability of AHR. The OLRs bioethanol wastewater were varied in the range of 0.5 – 4.5 kg_{COD}/m³.d. While the mixture of waste water treatment plant cassava and wastewater from the ethanol plant, the ratio of 80: 20 by a system the OLRs were varied at 0.5 – 4.5 kg_{COD}/m³.d. The result showed that AHR treating bioethanol wastewater reached the organic loading rates (OLR) as high as 4.0 kg_{COD}/m³.d and decreased hydraulic retention time (HRT) as low as 4.6 days. For this condition, the performance and stability of AHR in term of COD removal efficiency, methane yield, pH and total volatile acid/alkalinity ratio (TVA/Alk. ratio) were 90 – 95 %, 0.25 – 0.32 m³CH₄/kgCOD_{remove}.d, 6.98 – 8.00 and 0.21 – 0.39, respectively. In addition of waste water treatment plant cassava and wastewater from the ethanol plant, the ratio of 80: 20, AHR reached the maximum OLR at 2.5 kg_{COD}/m³.d and HRT at 10 days. The performance and stability of AHR for COD removal efficiency, methane yield, pH and TVA/Alk ratio of this condition were 90-95 %, 0.25 - 0.26 m³CH₄/kgCOD_{remove}.d, 6.60 – 6.80 and 0.40 – 0.7, respectively.

Keywords: Anaerobic Hybrid Reactor/Anaerobic Wastewater Treatment/

Biochemical Methane Potential/Biodiesel Wastewater/ Bioethanol Wastewater

เรื่อง	สารบัญเรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ		2
บทคัดย่อ		3
Abstract		4
สารบัญเรื่อง		5
สารบัญตาราง		7
สารบัญรูป		8
1.บทนำ		10
1.1 ความสำคัญและที่มาของการทำงานวิจัย		10
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ		12
1.3 หน่วยงานที่น่าผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์		12
1.4 ทฤษฎี สมมติฐานหรือกรอบแนวความคิดของงานวิจัย		12
1.5 วัตถุประสงค์ของโครงการ		12
1.6 ขอบเขตของการวิจัย		13
1.7 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ		13
2. วิธีดำเนินงานวิจัย		14
2.1 ถึงปฏิบัติการ		14
2.2 วัสดุตัวกลาง		15
2.3 เชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น		15
2.4 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง		15
2.5 วิธีการทดลอง		15
3. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์		17
3.1 น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง Native starch มีปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อน (Chemical Oxygen Demand, COD) ประมาณ 24,000 มก./ล. ค่าพีเอชของน้ำเสียอยู่ที่ 3.98		17
3.2 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อน (Chemical Oxygen Demand, COD) ประมาณ 21,000 มก./ล. ค่าพีเอชของน้ำเสียอยู่ที่ 4.13		18

3.3 ศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (Biochemical Methane Potential,BMP)	19
จากน้ำเสียผสมโรงงานผลิตแยมมันสำปะหลังและน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง	
3.4 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ ของน้ำเสียเอทานอลต่อประสิทธิภาพการบำบัดและการผลิตก๊าซชีวภาพ	20
3.4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเอทานอลที่ OLR และ HRT ต่างๆ	21
3.4.2 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียเอทานอลที่ OLR และ HRT ต่าง ๆ	28
3.5 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆของน้ำเสียผสมระหว่างน้ำเสียแยมมันสำปะหลังต่อน้ำเสียเอทานอล (80:20)	34
3.5.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเอทานอลที่ OLR และ HRT ต่างๆ	35
3.5.2 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียเอทานอลที่ OLR และ HRT ต่าง ๆ	40
4. สรุปผลการทดลอง	45
4.1 สรุปผลการทดลองหารสัดส่วนของน้ำเสียโรงงานผลิตแยมมันสำปะหลังต่อน้ำเสียโรงงานผลิตเอทานอล	
4.2 การบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ AHR จากน้ำเสียของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง	46
4.3 การบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ AHR	46
5. เอกสารอ้างอิง	47

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1. พารามิเตอร์และความถี่ของการตรวจวิเคราะห์	16
2. ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	17
3. ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง	18
4. แสดงปริมาณมีเทนที่อัตราส่วนผสมน้ำเสียแป้งมันสำปะหลังและน้ำเสียเอทานอลต่างๆ	19
5. อัตราบรรทุกสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (OLR) และระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) จากกระบวนการผลิตเอทานอลด้วยระบบ AHR	20
6. ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ AHR ในการบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของ 33 กระบวนการผลิตเอทานอล	33
7. อัตราบรรทุกสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (OLR) และระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลที่สัดส่วน 80:20 ด้วยระบบ AHR	34
8. ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ AHR ในการบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลที่สัดส่วน 80:20	45

รายการรูป

รูป	หน้า
1. องค์ประกอบของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบลูกผสมที่ใช้ในการทดลอง	14
2. สภาวะแวดล้อมในการเดินระบบ AHR ที่ในการบำบัดน้ำเสียเอทานอล ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	24
3. ระดับพีเอชของน้ำเสียเอทานอลในระบบAHRที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	25
4. ระดับค่าความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างและกรดระเหยทั้งหมดของ น้ำเสียเอทานอลในระบบAHRที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	25
5. อัตราส่วนกรดระเหยทั้งหมดต่อค่าความเป็นด่างของน้ำเสียเอทานอล ในระบบAHRที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	26
6. ประสิทธิภาพการทำงานของระบบAHRในการบำบัดน้ำเสียเอทานอล ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	26
7. ประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ของระบบ AHR	27
8. ความเข้มข้นชีโอดีของน้ำเสียขาเข้าและขาออกจากระบบ AHR ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	27
9. สัดส่วนของก๊าซต่าง ๆ ในก๊าซชีวภาพที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียเอทานอล ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ	31
10. ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน ที่ผลิตได้จากการบำบัดน้ำเสียเอทานอล ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ	31
11. ความสัมพันธ์ของประสิทธิผลในการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่ได้จาก การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลกับระยะเวลาในการทดลองที่ อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ	32
12. ระดับพีเอชของน้ำเสียผสมในระบบ AHR ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	37
13. ระดับค่าความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างและกรดระเหยทั้งหมดของน้ำเสียผสม ภายในระบบ AHR ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	38
14. อัตราส่วนกรดระเหยทั้งหมดต่อค่าความเป็นด่างของน้ำเสียผสมในระบบ AHR ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	38
15. ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ AHR ในการบำบัดน้ำเสียผสม ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	39

16. ความเข้มข้นซีไอดีของน้ำเสียผสมขาเข้าและขาออกจากระบบ AHR ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	39
17. ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน ที่ผลิตได้จากการบำบัดน้ำเสียผสม ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ	43
18. ความสัมพันธ์ของประสิทธิผลในการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่ได้ จากการบำบัดน้ำเสียจากระบวนการผลิตผสมกับระยะเวลาในการทดลอง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ	44

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

จากสถานการณ์ราคาน้ำมันในตลาดโลกที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างไม่มีการชะลอตัวในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ทำให้ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศผู้นำเข้าน้ำมันได้รับผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ส่งผลให้เกิดปัญหาทั้งในส่วนระบบเศรษฐกิจ และความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ ทำให้ภาครัฐมองเห็นความสำคัญของพลังงานทดแทนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานนิวเคลียร์ หรือแม้แต่พลังงานชีวมวล ทั้งนี้พลังงานทดแทนที่ได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนและส่งเสริมอย่างเป็นรูปธรรมในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ได้แก่พลังงานชีวมวล พลังงานชีวมวลเป็นพลังงานทดแทนที่ได้จากผลผลิตทางการเกษตร และของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตร โดยที่อาจอยู่ในรูปแบบของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ เช่น ไม้ฟืน ใบโอ๊คเชล ก๊าซชีวภาพ และเอทานอล และสำหรับข้อดีของพลังงานชีวมวลคือ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Renewable) และเอทานอลซึ่งเป็นพลังงานชีวมวลรูปแบบหนึ่งของพลังงานทดแทนที่ได้รับการส่งเสริมอย่างจริงจังจากภาครัฐ ไม่ว่าจะเป็นนโยบายส่งเสริมการผลิตเอทานอล การส่งเสริมการใช้แก๊สน้ำมันก๊าซโซฮอลล์ และประกอบกับในช่วงปลายปี พ.ศ. 2549 ที่ทางรัฐบาลมีแนวความคิดที่จะทำการยกเลิกน้ำมันเบนซิน 95 และให้มีแต่การใช้แก๊สน้ำมันก๊าซโซฮอลล์นั้น ทำให้ผู้ประกอบการเอกชนสนใจที่จะลงทุนในการตั้งโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อป้อนเข้าสู่ภาคพลังงานเป็นจำนวนมาก โดยปัจจุบันข้อมูลจากกรมโรงงานพบว่ามีโรงงานผลิตเอทานอลที่ไม่ได้นำไปใช้เป็นเครื่องจักรที่ทำการขึ้นทะเบียนเรียบร้อยแล้วถึง 24 โรงด้วยกัน และในจำนวนนี้มีโรงงานที่ระบุว่าเป็นการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงถึง 19 โรงงานด้วยกัน [กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550]

โดยในการผลิตเอทานอลสามารถทำได้จากทั้งกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี และกระบวนการหมักทางชีวภาพ แต่ในการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นพลังงานจะทำการผลิตโดยกระบวนการหมักทางชีวภาพ เนื่องจากจะมีต้นทุนและความซับซ้อนในการผลิตน้อยกว่าการสังเคราะห์ทางเคมี ซึ่งในการผลิตเอทานอลด้วยกระบวนการหมักทางชีวภาพ เราสามารถใช้วัตถุดิบได้หลากหลายชนิด เช่น น้ำอ้อย กากน้ำตาล กล้วย ข้าว แป้ง หรือแม้แต่เศษวัสดุทางการเกษตร อาทิ ฟางข้าว ก็สามารถนำมาผลิตเอทานอลได้เช่นกัน แต่สำหรับประเทศไทยมีการใช้วัตถุดิบในการผลิตเอทานอลอยู่ 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทน้ำตาล ประกอบด้วย อ้อยและกากน้ำตาล ประเภทแป้ง ประกอบด้วย แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าว และประเภทลิกโนเซลลูโลส ประกอบด้วยผลผลิตพลอยได้ทางเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ไม่ว่าจะเป็นฟางข้าว กากอ้อย ชังข้าวโพด แต่โดยส่วนใหญ่จะผลิตเอทานอลมาจากวัตถุดิบ 2 ประเภทแรกคือกลุ่มน้ำตาลและแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2549)

ในกระบวนการผลิตเอทานอลด้วยกระบวนการหมักทางชีวภาพนั้น นอกจากเอทานอลที่ผลิตได้แล้ว สิ่งที่ได้จากกระบวนการผลิตอีกสิ่งหนึ่งคือของเสีย จะมีทั้งที่เป็นรูปของของแข็งและของเหลว สำหรับกากของแข็งที่ได้นั้นสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นปุ๋ยหรืออาหารสัตว์ต่อไปได้ เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่จะเป็นเซลล์จุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักและกากวัตถุดิบที่เป็นวัสดุทางธรรมชาติ แต่ในส่วนของน้ำเสียจะต้องทำการบำบัดต่อไป น้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตส่วนใหญ่หรือเกือบทั้งหมดจะมาจากขั้นตอนหลังกระบวนการหมักคือ ในช่วงของการกระบวนการกลั่นเอทานอล และน้ำที่ได้จากการรีดของแข็งที่ได้จากการผลิต ซึ่งน้ำเสียที่ได้จะมีค่าความสกปรกสูงมาก แต่จะแตกต่างกันตามชนิดวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต เช่น น้ำอ้อย กากน้ำตาล และมันสำปะหลัง จะมีค่าความสกปรกอยู่ที่ 25-45, 22.5-130 และ 81.1 ก.ซีโอดี/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำเสียที่ได้จะพบว่าน้ำเสียจากวัตถุดิบประเภท น้ำอ้อย กากน้ำตาล และมันสำปะหลังจะมีปริมาณ 12.5-20, 10-20 และ 16 ลิตร/ลิตร เอทานอล (Wilkie et al., 2000) ด้วยปริมาณและค่าความสกปรกของน้ำเสียที่ได้หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติย่อมจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในชั้นรุนแรงอย่างแน่นอน

ในขณะที่ปัจจุบันโรงงานผลิตเอทานอลที่ขอขึ้นทะเบียนใหม่ส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิตมากกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น แม้ว่าประเทศไทยจะมีกากน้ำตาลและอ้อยในปริมาณมาก แต่กากน้ำตาลและน้ำอ้อยเหล่านี้จะถูกใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูงกว่าเอทานอล สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง ทำให้กากน้ำตาลและน้ำอ้อยมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการส่งผลให้ราคากากน้ำตาลและน้ำอ้อยมีราคาสูงขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเอทานอลสูงขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เมื่อทำการพิจารณามันสำปะหลัง จะเห็นได้ว่าประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลังอยู่ทั่วประเทศ ทำให้ง่ายต่อการหาซื้อและขนส่ง และมันสำปะหลังเป็นพืชที่มีความทนต่อสภาวะแวดล้อมสูงกว่าอ้อยมาก จึงทำให้ราคามันสำปะหลังมีการแกว่งขึ้นลงไม่มากนัก หากพิจารณาถึงต้นทุนวัตถุดิบ จะพบว่าการผลิตเอทานอลด้วยมันสำปะหลังจะถูกกว่าการผลิตด้วยกากน้ำตาลถึง 1.26 บาท/ลิตร (สาวตรี ระวังพิช, 2550) จึงทำให้มีปริมาณน้ำเสียที่จะเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมากขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งหากไม่มีการจัดการดูแลที่ดีเพียงพอจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างใหญ่หลวง ในขณะเดียวกันผู้ประกอบการผลิตแป้งมันสำปะหลังก็สนใจที่จะผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลังเช่นกัน เพื่อใช้เป็นแหล่งระบายแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตได้ในกรณีที่ราคาจำหน่ายแป้งมันสำปะหลังมีปัญหา ในทางตรงกันข้ามผู้ผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลังก็สนใจที่จะผลิตแป้งมันสำปะหลังใช้เอง เพื่อลดต้นทุนในการผลิตและเป็นการเพิ่มผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการอีกด้วย

จากสิ่งที่ได้กล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าในอนาคตเราจะได้พบเห็น โรงงานผลิตเอทานอลและโรงผลิตแป้งมันสำปะหลังอยู่ในพื้นที่โรงงานเดียวกัน สิ่งที่จะตามมาคือในโรงงานจะมีน้ำเสียเกิดขึ้นสองชนิด และแม้ว่าในปัจจุบันเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง มีการศึกษาพัฒนาอยู่ตลอดเวลาและอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ โดยปัจจุบันในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจาก กระบวนการผลิตจะเป็นเทคโนโลยีการบำบัดแบบไร้อากาศ ซึ่งนอกจากจะสามารถ

บำบัดน้ำเสียที่มีความสกปรกได้สูงแล้ว ยังให้ก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้ด้วย แต่น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลังยังมีการศึกษาไม่มากนัก จากมุมมองในฐานะผู้ประกอบการหรือผู้ลงทุน มีคำถามตามมาว่า จำเป็นหรือไม่ที่โรงงานจะต้องสร้างระบบบำบัดน้ำเสียถึง 2 ระบบ เพื่อรองรับน้ำเสียที่เกิดขึ้นจาก 2 กระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน เราสามารถที่จะนำน้ำเสียทั้งสองชนิดเข้าสู่ระบบบำบัดเดียวกันได้หรือไม่ อย่างไร ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาวิจัยอย่างมากในการนำระบบไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม เพราะหากเราสามารถรวมน้ำเสียที่เกิดขึ้นเป็นน้ำเสียระบบเดียวกันได้ นอกจากในด้านการลงทุนการก่อสร้างระบบบำบัดที่ลดลงแล้ว ยังทำให้สามารถนำพื้นที่ที่จะต้องใช้ในการก่อสร้างระบบบำบัดไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นอีกด้วย

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.2.1 ทราบข้อมูลความสามารถในการรับภาระน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศแบบลูกผสม ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลและแป้งมันสำปะหลัง

1.2.2 ทราบข้อมูลประสิทธิภาพในการบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพของระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศ แบบลูกผสม ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลและแป้งมันสำปะหลัง

1.2.3 สามารถนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลเพื่อลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

1.3 หน่วยงานที่น่าผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลงานวิจัยจะถูกส่งไปตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ และถ่ายทอดไปยังภาคอุตสาหกรรมเพื่อนำไปใช้งาน ต่อไป

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ใช้หลักการการจัดการของเสียโดยการบำบัดและใช้ประโยชน์จากของเสีย เพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและพลังงาน

1.5 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.5.1 เพื่อศึกษาความสามารถในการรับภาระน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศแบบลูกผสม ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลและแป้งมันสำปะหลัง

1.5.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพของระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศ แบบลูกผสม ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลและแป้งมันสำปะหลัง

1.6 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.6.1 ศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลด้วยแป้งมันสำปะหลัง และการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch

1.6.2 ทำการทดสอบ Biochemical Methane Potential (BMP) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง และน้ำเสียผสมระหว่าง น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native starch ที่อัตราส่วนโดยปริมาตรน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง: น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native starch ที่ 1:0, 1:4, 2:3, 1:1, 3:2 และ 4:1

1.6.3 ทำการศึกษาหาระยะเวลาในการกักเก็บทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศแบบลูกผสม

1.6.4 เพื่อทำการศึกษาหาระยะเวลาในการกักเก็บทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน ของน้ำเสียผสมระหว่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลังและน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศแบบลูกผสม โดยเลือกใช้อัตราส่วนที่ทำให้ค่า Methane Yield จากการทดสอบ BMP ดีที่สุด

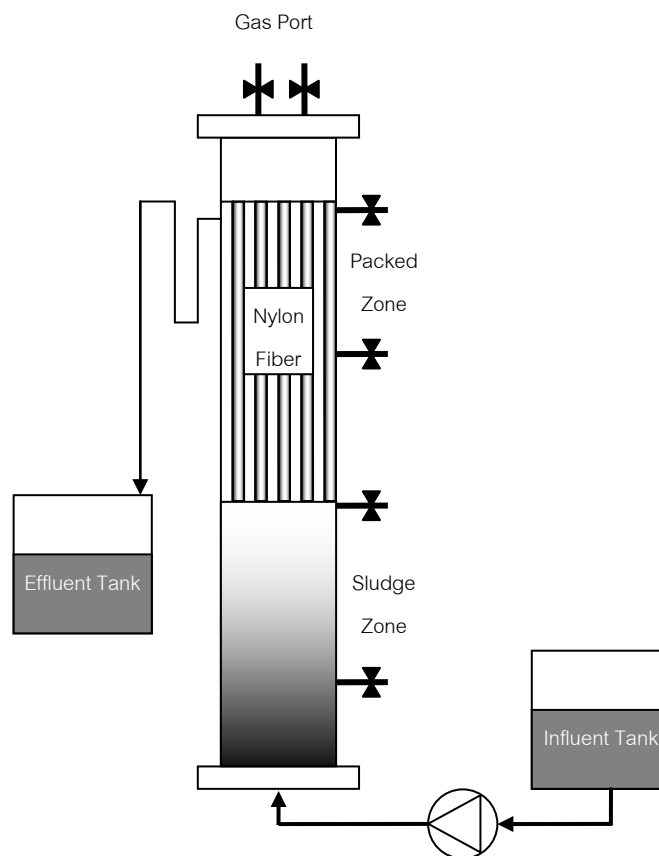
1.7. แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

กิจกรรม	เดือน			
	1-3	4-6	7-9	10-12
1. ทบทวนเอกสาร				
2.เตรียมการทดลอง				
3.ทำการเก็บตัวอย่างและนำมาวิเคราะห์				
4.เขียนรายงาน				

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ถังปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์ที่ใช้จะเป็นถังปฏิกรณ์ชนิดไร้อากาศแบบลูกผสม (Anaerobic Hybrid Reactor) ทำด้วยอะคริลิกใส มีปริมาตรรวม 6 ลิตร และมีปริมาตรใช้งาน 5.55 ลิตร มีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีความสูง 86.5 ซม. และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.4 ซม. โดยมีความสูงของบริเวณใช้งานจริงอยู่ที่ 80 ซม. ถังปฏิกรณ์แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ บริเวณที่ไม่มีวัสดุตัวกลางเป็นบริเวณที่ตะกอนจะมีลักษณะแขวนลอย (Sludge Zone) ที่ส่วนล่างของถัง ในส่วนบนจะเป็นบริเวณที่มีตัวกลางอยู่ ดังรูปที่ 1 ทำการป้อนน้ำเสียเข้าด้านล่างของถังโดยปั๊มชนิดรีดสาย และไหลออกทางด้านบนของถัง



รูปที่ 1 องค์ประกอบของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบลูกผสมที่ใช้ในการทดลอง

2.2 วัสดุตัวกลาง

ในการทดลองใช้เชือกที่ทำจากเส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) เป็นวัสดุตัวกลาง เชือกไนลอน จะทำการมัดเป็นพุ่ม พุ่มละ 25 เส้นและมีความยาว 40 ซม. ยึดติดกับตะแกรงให้มีระยะห่างเท่ากัน จำนวน 8 พุ่มต่อถังปฏิกรณ์

2.3 เชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศชนิดตรึงฟิล์มของบริษัท ชลเจริญ จำกัด โดยส่วนที่นำมาจะเป็นส่วนที่แขวนลอยอยู่ในระบบบำบัด

2.4 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมาจากน้ำเสียที่จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง โรงงานผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง บริษัท ไทยวุ้น จำกัด และน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native starch ของบริษัท ชลเจริญ จำกัด จังหวัดชลบุรี โดยทำการเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อควบคุมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียในรูปซีโอดี ให้คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการทดลอง

2.5 วิธีการทดลอง

การศึกษาแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

2.5.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native starch ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ พีเอช, ของแข็งแขวนลอย, ซีโอดี, บีโอดี, ทีเคเอ็น, สภาพความเป็นด่าง, กรดไขมันระเหยทั้งหมด, ซัลเฟต

2.5.2 ทำการศึกษา Biochemical Methane Potential (BMP) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง และน้ำเสียผสมระหว่าง น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลังร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native starch ในขวด serum vial ขนาด 125 มิลลิลิตร ภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศ โดยมีอัตราน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native starch ที่ 100:0 , 20:80, 40:60, 50:50, 60:40, 80:20 และ 0:100

2.5.3 การเริ่มต้นระบบบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพแบบลูกผสม (Anaerobic Hybrid Reactor, AHR)

2.5.3.1 การเริ่มต้นระบบ AHR นำเชื้อตั้งต้นมาใส่ภายในถังปฏิกรณ์ ให้มีความเข้มข้น 5 กรัม/ลิตรน้ำเสีย แล้วทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบทุกวัน โดยใช้หลักการเพิ่ม Organic Loading Rate (OLR) และลด hydraulic Retention Time (HRT)

2.5.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ชนิดไร้อากาศแบบผสมในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งใช้ถังปฏิกรณ์ในการศึกษาจำนวน 2 ใบ ใบที่ 1 (R1) ใช้ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง ใบที่ 2 (R2) น้ำเสียผสมระหว่าง น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch ในอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองในข้อที่ 13.4.2 โดยทำการศึกษาที่ระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT) และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) ต่างๆ โดยทำการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย ขาเข้าและขาออกตามตารางที่ 4

ก) การเก็บตัวอย่าง จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียบริเวณขาเข้า และขาออกจากถังปฏิกรณ์

โดยน้ำเข้าจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในถังที่จะทำการป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์

ข) การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย แบ่งเป็นการวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดขึ้นและการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียที่เข้าและออกจากถังปฏิกรณ์ การวิเคราะห์ก๊าซจะทำการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดและร้อยละของก๊าซมีเทน การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีจะวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ พีเอช ซีโอดี สภาพความเป็นด่าง กรดอินทรีย์ระเหย

2.7.1.1. แผนการวิเคราะห์ และความถี่ในการเก็บตัวอย่างในจุดเก็บน้ำตัวอย่างขาเข้า และขา

ออกจากถังปฏิกรณ์แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์และความถี่ของการตรวจวิเคราะห์

พารามิเตอร์	จุดที่เก็บ		ความถี่ในการเก็บ	วิธีวิเคราะห์
	น้ำเข้า	น้ำออก		
พีเอช	/	/	ทุกวัน	pH Meter
ซีโอดี	/	/	ทุกวัน	Closed Reflux
สภาพความเป็นด่าง	/	/	ทุกวัน/ทุก 3 วัน หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะเสถียร	Titration Method
กรดระเหยง่าย	/	/	ทุกวัน/ทุก 3 วัน หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะเสถียร	Titration Method
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	-	/	ทุกวัน/ทุก 3 วัน หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะเสถียร	Biogas Counter
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	-	/	ทุกวัน/ทุก 3 วัน หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะเสถียร	GC (TCD)

3. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

3.1 น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง Native starch มีปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อน (Chemical Oxygen Demand, COD) ประมาณ 24,000 มก./ล. ค่าพีเอชของน้ำเสียอยู่ที่ 3.98 รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าตรวจวัด	ค่าผิดพลาด
pH	-	3.98	± 0.01
Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L as O ₂	24,972	± 52
Total Solid (TS)	mg/L	14,198	± 67
Total Volatile Solid (TVS)	mg/L	12,352	± 75
Total Dissolved Solid (TDS)	mg/L	10,335	± 58
Total Suspended Solid (TSS)	mg/L	3,863	± 29
Total Volatile Suspended Solid (TVSS)	mg/L	3,776	± 32
Alkalinity	mg/L as CaCO ₃	na	na
Total Volatile Acid	mg/L as CaCO ₃	1,507	± 7
TKN	mg/L as N	424.02	± 6.95

3.2 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง มีปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อน (Chemical Oxygen Demand, COD) ประมาณ 21,000 มก./ล. ค่าพีเอชของน้ำเสียอยู่ที่ 4.13 รายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าตรวจวัด	ค่าผิดพลาด
pH	-	4.13	± 0.06
Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L as O ₂	21,235	± 440
Soluble COD		15,580	±170
Biochemical Oxygen Demand (BOD ₅)	mg/L as O ₂	11,195	±875
Total Solid (TS)	mg/L	15,710	±127
Total Volatile Solid (TVS)	mg/L	12,513	±156
Total Dissolved Solid (TDS)*	mg/L	11,783	
Total Suspended Solid (TSS)	mg/L	3,926	±732
Total Volatile Suspended Solid (TVSS)	mg/L	3,613	±983
Alkalinity	mg/L as CaCO ₃	103	± 4.35
Total Volatile Acid	mg/L as Acetic acid	1,560	± 3.72
TKN	mg/L as N	608.89	±50.47
Ethanol	mM (mg/L)	2.56 (117.93)	
% Sucrose**	% by mass	1.8	

* Calculation method

** Refractometer

3.3 ศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (Biochemical Methane Potential, BMP) จากน้ำเสียผสมโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังและน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง

ในการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง และน้ำเสียผสมระหว่าง น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลังร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native starch ในขวด serum vial ขนาด 125 มิลลิลิตร ภายใต้อากาศไม่ใช้อากาศ โดยมีอัตราน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native starch ที่ 100:0 , 20:80, 40:60, 50:50, 60:40, 80:20 และ 0:100 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 จากตารางพบว่าที่อัตราส่วน น้ำเสียเอทานอล : แป้งมันสำปะหลัง ที่ N:E 20:80 เป็นอัตราส่วนที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณมีเทนที่อัตราส่วนผสมน้ำเสียแป้งมันสำปะหลังและน้ำเสียเอทานอลต่างๆ

ตัวอย่าง	Day						Biogas (ml.)
	1	2	3	7	8	9	
N100	13.78	8.02	6.68	11.70	3.60	1.65	43.78
N:E 20:80	14.52	16.20	10.99	10.30	3.47	1.62	55.48
N:E 40:60	13.99	16.20	10.66	9.64	3.20	1.59	53.69
N:E 50:50	14.72	13.01	10.61	9.48	3.12	1.52	50.94
N:E 60:40	14.50	16.98	10.31	10.04	3.19	1.65	55.02
N:E 80:20	15.65	17.19	11.66	11.12	3.30	1.62	58.92
E 100	14.43	13.26	8.97	7.81	2.36	1.21	46.83

3.4 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ ของน้ำเสียเอทานอลต่อประสิทธิภาพการบำบัดและ การผลิตก๊าซชีวภาพ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ นอกจากการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียในเบื้องต้นแล้ว ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศแบบลูกผสมในการบำบัดความสกปรกในน้ำเสียและประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) ที่ระดับต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ดังแสดงในตารางที่ 5 การศึกษานี้ได้ติดตามประสิทธิภาพการทำงานของระบบจากตัวชี้วัดได้แก่ค่าซีโอดี พีเอช ค่าความเป็นด่าง ปริมาณกรดระเหย ของน้ำเสียที่ออกจากระบบ รวมทั้งปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ และ องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ระบบสามารถผลิตได้ ผลของการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 5 อัตราบรรทุกสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (OLR) และระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) จากกระบวนการผลิตเอทานอลด้วยระบบ AHR

ระยะเวลาดำเนินระบบ (วัน)	อัตราการป้อนน้ำเสีย (มล./วัน)	COD ขาเข้า (มก./ล.)	OLR (กก.ซีโอดี/ลบ.ม. วัน)	HRT (วัน)
1-5	131	21,230	0.5	42.5
6-12	261	21,230	1.0	21.2
13-19	392	21,230	1.5	14.2
20-47	523	21,230	2.0	10.6
48-65*	710	19,560	2.5	7.8
63-77	873	19,070	3.0	6.4
78-90	1047	18,550	3.5	5.3
91-114	1197	18,554	4.0	4.6
115-160	1469	17,002	4.5	3.8

หมายเหตุ * ตั้งแต่วันที่ 48 เป็นต้นมาทำการเดินระบบโดยใช้น้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดสัลดิจโดยการตั้งทิ้งไว้เพื่อทำการตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนหน้าวันที่ 48 ใช้น้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตโดยไม่มีการตกตะกอนสัลดิจ

3.4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเอทานอลที่ OLR และ HRT ต่างๆ

ผลของการตรวจวัดสถานะแวดล้อมภายในถังปฏิกรณ์ (รูปที่ 2-5) และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (รูปที่ 6 -11) ในการดำเนินระบบบำบัดน้ำเสียเอทานอลแบบ AHR ได้อธิบายผลการทดลองในแต่ละ OLR และ HRT ดังต่อไปนี้

ก) ที่ OLR 0.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 42.5 วัน

ในการเดินระบบที่ OLR 0.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ทำการเดินระบบตั้งแต่วันที่ 1-5 ของการทดลอง พบว่าระบบสามารถทำการกำจัดชีโอได้เป็นอย่างดีถึงร้อยละ 96.53 โดยค่าชีโอดีของน้ำเสียค่าออกมีค่าเพียง 736 มก./ล. ในขณะที่ชีโอดีที่ป้อนเข้าระบบมีค่าถึง 21,233 มก./ล. ในส่วนของการทำงานของระบบพบว่าระบบมีการทำงานที่ดีอยู่ โดยค่าพีเอชในระบบมีค่าอยู่ที่ 7.42 – 7.50 ค่าความเป็นด่างอยู่ที่ 1,210 – 1,226 มก./ล ค่ากรดระเหยทั้งหมดอยู่ที่ 258 – 289 มก./ล และค่าอัตราส่วนกรดระเหยทั้งหมดต่อค่าความเป็นด่าง (TVA/Alk ratio) อยู่ในช่วง 0.204 – 0.245

ข) ที่ OLR 1.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 21.2 วัน

ที่ OLR 1.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ที่ทำการเดินระบบตั้งแต่วันที่ 6-12 ระบบมีการทำงานที่ดี โดยดูจากค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างอยู่ที่ และกรดระเหยทั้งหมด ที่ระบบสามารถรักษาระดับอยู่ได้ โดยค่าที่ได้อยู่ในช่วง 7.57 – 7.97, 1,282 – 1,395 มก./ล และ 110 – 471 มก./ล ตามลำดับ ทำให้การกำจัดชีโอดีทำได้ถึงร้อยละ 97.28 – 97.96 จึงพบว่ามีชีโอดีในน้ำเสียขาออกจากระบบอยู่ที่ 433 – 457 มก./ล.

ค) ที่ OLR 1.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 14.2 วัน

OLR นี้ ทำการเดินระบบตั้งแต่วันที่ 13 – 19 ของการทดลอง ในช่วงเวลาดังกล่าวระบบยังคงสามารถที่จะทำการกำจัดสารอินทรีย์ได้ถึงร้อยละ 94.81 – 97.80 ทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียขาออกมีค่ามากกว่า 7.0 ค่าความเป็นด่างมากกว่า 1,000 มก./ล ในขณะที่ปริมาณกรดระเหยทั้งหมดกลับมีแนวโน้มที่ลดลง โดยปริมาณกรดระเหยทั้งหมดต่ำสุดที่ได้ในการทดลองที่ OLR นี้อยู่ที่ 46 มก./ล ส่งผลให้ค่า ชีโอดีของน้ำเสียขาออกมีค่าที่ต่ำ โดยค่าชีโอดีที่ได้ตลอดในช่วงนี้มีค่าอยู่ในช่วง 467 – 1102 มก./ล.

ง) ที่ OLR 2.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 10.6 วัน

เมื่อทำการเพิ่ม OLR จาก 1.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน เป็น 2.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ที่วันที่ 20 – 47 ของการทดลอง พบว่า ในช่วงสามวันแรกที่ทำกรเปลี่ยน OLR คือวันที่ 20 - 22 ของการทดลองค่าความเป็นต่างของระบบมีการลดลงต่ำกว่าค่าที่ได้เมื่อเดินระบบที่ OLR 1.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน โดยมีค่าความเป็นต่างที่ได้ที่ OLR 2.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน อยู่ที่ 1,010 มก./ล แต่ในขณะที่ชีวปริมาณกรดระเหยทั้งหมดยังคงมีแนวโน้มที่ต่ำลงอยู่ ทำให้ค่าพีเอชของระบบยังคงสามารถที่จะรักษาค่าให้มากกว่า 7.5 ได้ และเมื่อทำการเดินระบบต่อไปค่าความเป็นต่างของระบบสามารถเพิ่มขึ้นจากเดิม ในขณะเดียวกันปริมาณกรดระเหยทั้งหมดก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ส่งผลให้ค่าพีเอชตลอดช่วงที่ทำการศึกษาที่ OLR นี้ไม่มีการเปลี่ยนมากนัก เช่นเดียวกับค่าชีโอดีของน้ำเสียออกที่ไม่มีความแตกต่างจากที่ OLR 1.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน โดยค่าชีโอดีของน้ำเสียออกที่ OLR 2.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน จะอยู่ในช่วง 335 – 671 มก./ล. โดยการกำจัดชีโอดีมีค่าร้อยละ 96.83 – 98.42

จ) ที่ OLR 2.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 7.8 วัน

ตั้งแต่วันที่ 48 - 65 ของการทดลอง ได้ทำการเดินระบบที่ OLR 2.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน พบว่า ประสิทธิภาพการทำงานของระบบยังคงทำงานได้ดีอยู่ มีการกำจัดชีโอดีได้ร้อยละ 94.80 – 96.43 ค่าชีโอดีของน้ำเสียออกมีค่าอยู่ในช่วง 698 - 1016 มก./ล. ในขณะที่ค่าพีเอช ค่าความเป็นต่าง และปริมาณกรดระเหยทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 7.92 – 8.42, 1,895 – 2,195 มก./ล และ 360 – 786 มก./ล ตามลำดับ แต่จากสังเกตพบในช่วงท้ายของการทดลองที่ OLR นี้พบว่าที่บริเวณกันถังมีการสะสมของตะกอนที่มาจากน้ำเสียเป็นจำนวนมากจนทำให้เกิดการยกตัวของชั้นตะกอนในถังปฏิกรณ์ (ดังรูปที่ 4.7) ส่งผลให้เกิดการอุดตันของระบบป้อนน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ ดังนั้นในการทดลองที่ OLR ต่อไป น้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้าระบบได้ทำการตกตะกอน (Sludge) ก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตันของตะกอนที่มาน้ำเสียเพื่อให้ดำเนินการทดลองต่อไปได้ ซึ่งตะกอนของน้ำเสียเอทานอล (Sludge, S) นี้มีการย่อยสลายยาก และมีค่า BMP ค่อนข้างต่ำ ดังผลการทดลองในหัวข้อ 4.1.1

ฉ) ที่ OLR 3.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 6.4 วัน

เมื่อทำการปรับ OLR เป็น 3.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน เมื่อวันที่ 63 – 77 ของการทดลอง ค่าชีโอดีของน้ำเสียออกมีค่าสูงกว่าที่ OLR 2.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน เล็กน้อย โดยค่าชีโอดีของน้ำเสียออกตลอดช่วงการทดลองที่ OLR นี้ อยู่ในช่วง 807 – 1,341 มก./ล. ในขณะที่การทำงานของระบบยังสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี ค่าชีโอดีกำจัดได้ร้อยละ 92.96 – 95.77 โดยค่าพีเอชของระบบอยู่ในช่วง 7.58 –

7.98 ค่าความเป็นด่างของระบบอยู่ที่ 1,980 -2,458 มก./ล และปริมาณกรดระเหยทั้งหมดอยู่ที่ 342 – 628 มก./ล

ข) ที่ OLR 3.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 5.3 วัน

ที่ OLR 3.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ทำการเดินระบบตั้งแต่วันที่ 78 – 90 ของการทดลอง พบว่า การกำจัดชีโอดีของระบบยังทำงานได้ดีเช่นเดียวกับที่ OLR ก่อนหน้านี้ โดยค่าชีโอดีตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลองที่ OLR นี้ มีค่าอยู่ในช่วง 723 – 953 มก./ล. เนื่องมาจากการทำงานของระบบยังไม่ต่างที่ OLR ก่อนหน้านี้ ทั้งในส่วนพีเอช ค่าความเป็นด่าง ปริมาณกรดระเหยทั้งหมด และสัดส่วนของปริมาณกรดระเหยทั้งหมดต่อค่าความเป็นด่างด้วย

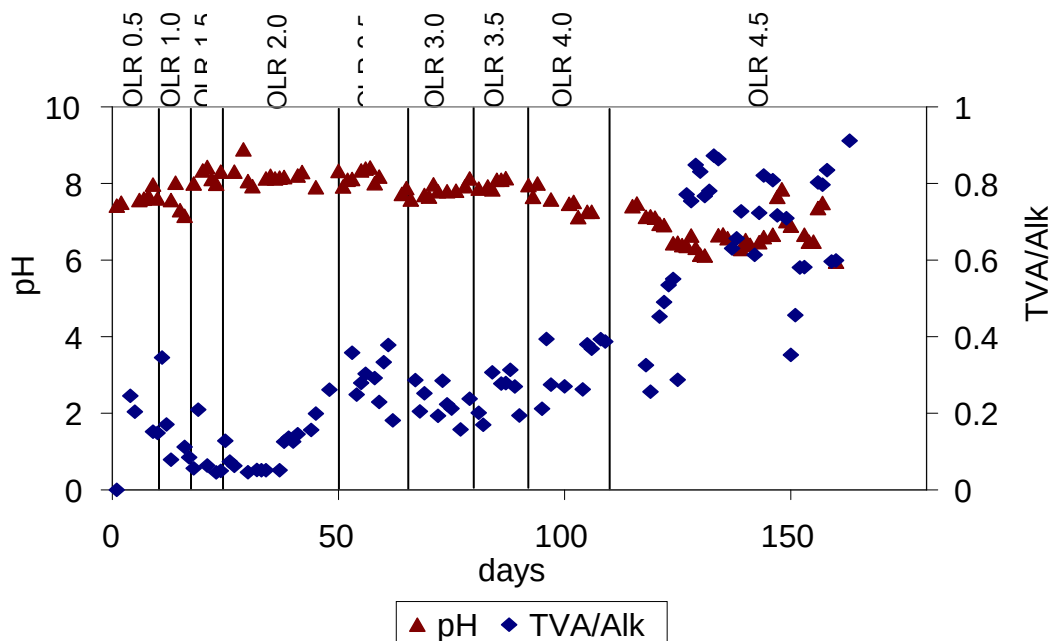
ช) ที่ OLR 4.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 4.6 วัน

เมื่อทำการปรับ OLR เป็น 4.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ตั้งแต่วันที่ 91 จนถึงวันที่ 114 ของการทดลอง ในช่วงเวลาดังกล่าวพบว่าปริมาณกรดระเหยทั้งหมดมีแนวโน้มที่จะเพิ่ม โดยปริมาณกรดระเหยทั้งหมดสูงสุดที่ได้คือ 900 มก./ล. ในส่วนของค่าความเป็นด่างก็มีการเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยเพิ่มจาก 2,044 มก./ล มาอยู่ในระดับที่ 2,135 มก./ล. ทำให้ระดับพีเอชของระบบมีค่าลดลง จาก 8.00 ที่ OLR 3.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน มาอยู่ที่ 7.33 ส่งผลให้ค่าชีโอดีของน้ำเสียขาออกมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น มาอยู่ในช่วง 1,855 – 2,530 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีของระบบอยู่ที่ร้อยละ 90.40 – 95.25

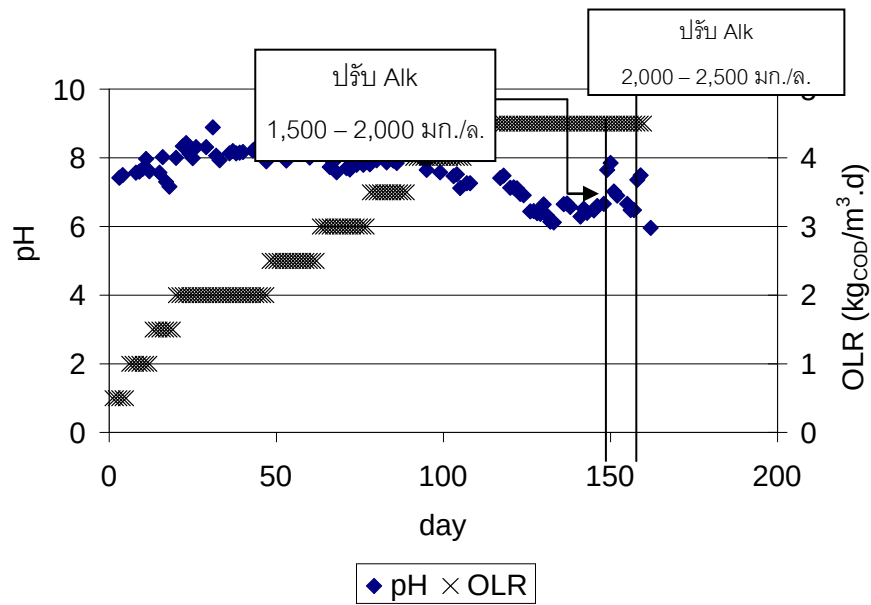
ฅ) ที่ OLR 4.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 3.8 วัน

เมื่อเพิ่ม OLR เป็น 4.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ตั้งแต่วันที่ 115 ของการทดลอง ระบบไม่สามารถเข้าสู่สภาวะเสถียรได้ เมื่อเข้าสู่ที่ OLR ดังกล่าวค่าชีโอดีของน้ำเสียขาออกมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการสะสมของกรดระเหยทั้งหมด โดยปริมาณกรดระเหยทั้งหมดมีค่าสูงสุดถึง 1,359 มก./ล. ขณะเดียวกันค่าความเป็นด่างของระบบก็มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง จนต่ำกว่า 1,500 มก./ล. และอัตราส่วนของกรดระเหยทั้งหมดต่อค่าความเป็นด่างที่ได้มีค่ามากกว่า 0.4 ซึ่งเป็นสถานะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทน นอกจากนี้ยังทำให้พีเอชของระบบมีค่าลดลงจาก 7.48 มาอยู่ที่ 6.12 ทำให้แบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทนไม่สามารถที่ทำการกำจัดกรดระเหยทั้งหมดที่สร้างขึ้นมาได้ทัน ส่งผลให้ค่าชีโอดีของน้ำเสียขาออกมีค่าที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยประสิทธิภาพกำจัดชีโอดีอยู่ที่ร้อยละ 71.15 ในวันที่ 146 ของการทดลองได้มีการปรับค่าความเป็นด่างของระบบให้อยู่ในช่วง 1,500 – 2,000 มก./ล เพื่อให้อัตราส่วนของกรดระเหยทั้งหมดต่อค่าความเป็นด่างมีค่าน้อยกว่า 0.4 พบว่าในสองสามวันแรกที่ทำกรปรับค่าความเป็นด่างให้แกระบบ ระบบ

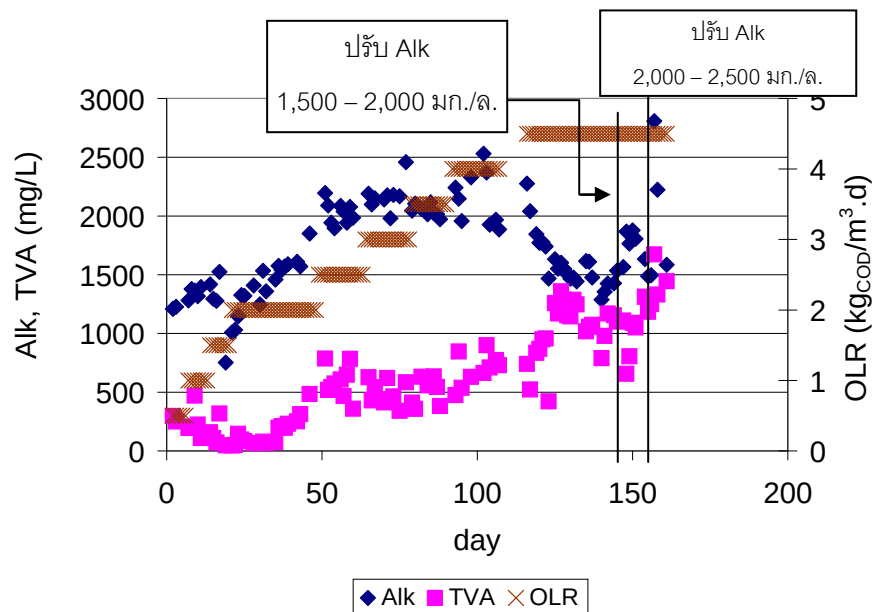
สามารถทำงานได้ดีขึ้น ค่าซีโอดีของน้ำเสียขาออกไม่มีการเพิ่มขึ้น ค่าพีเอชไม่มีการลดลง แต่ปริมาณ
 กรดระเหยทั้งหมดของระบบคงที่โดยมีค่าไม่ลดลง ทำให้หลังจากเดินระบบต่อได้เพียงสามวัน
 อัตราส่วนของกรดระเหยทั้งหมดต่อค่าความเป็นด่างมีค่ามากกว่า 0.4 อีกครั้ง ทำให้ประสิทธิภาพใน
 การกำจัดซีโอดีตอนนี้อยู่ที่ร้อยละ 88.78 เนื่องจากหลังจากปรับค่าความเป็นด่างครั้งแรกได้เพียงสาม
 วันค่าความเป็นด่างของระบบกลับลดลงมาอีกครั้ง จึงได้ทำการปรับค่าความเป็นด่างเป็น
 ครั้งที่สองในวันที่ 155 ของการทดลอง โดยให้ค่าความเป็นด่างของระบบมาอยู่ในช่วง 2,000 – 2,500
 มก./ล ซึ่งผลหลังจากปรับค่าความเป็นด่างที่ได้ก็มีลักษณะเช่นเดียวกับหลังการปรับค่าความเป็นด่าง
 ของระบบครั้งแรก โดยค่าการกำจัดซีโอดีลดลงมาเหลือเพียงร้อยละ 56.11



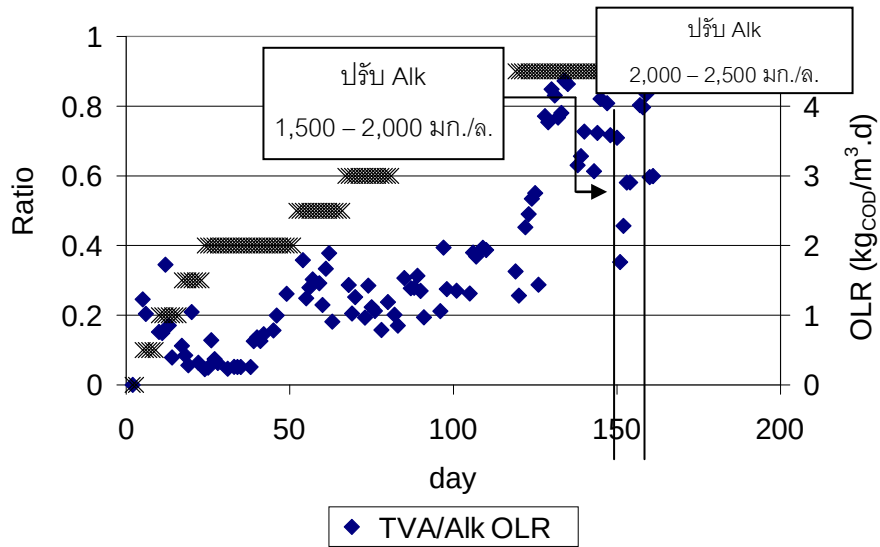
รูปที่ 2 สภาวะแวดล้อมในการเดินระบบ AHR ที่ในการบำบัดน้ำเสียเอทานอล
 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



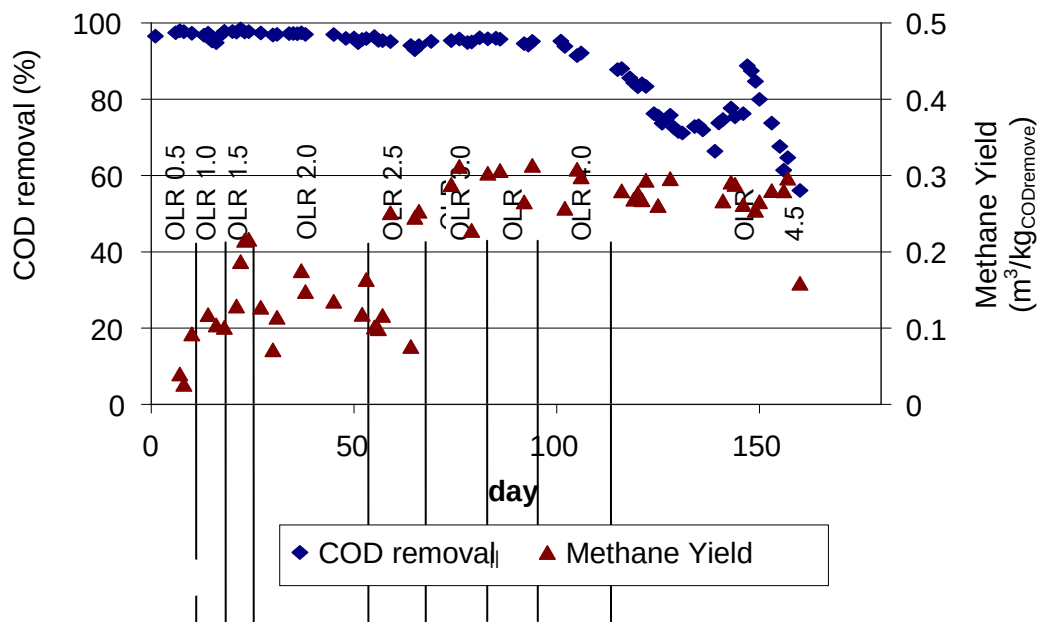
รูปที่ 3 ระดับฟิเอชของน้ำเสียเอทานอลในระบบ AHR ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



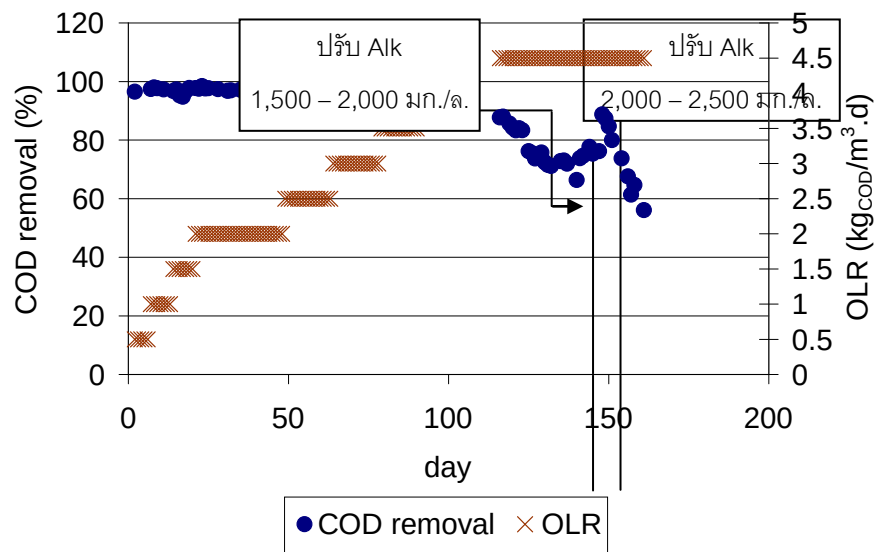
รูปที่ 4 ระดับค่าความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างและกรดระเหยทั้งหมดของน้ำเสียเอทานอล
ภายในระบบ AHR ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



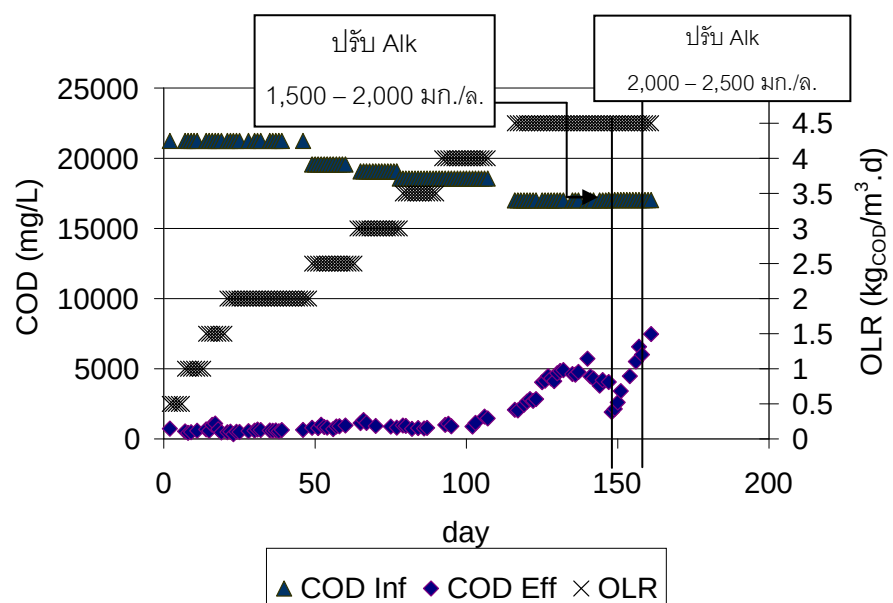
รูปที่ 5 อัตราส่วนกรดระเหยทั้งหมดต่อค่าความเป็นด่างของน้ำเสียเอทานอลในระบบ AHR ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ AHR ในการบำบัดน้ำเสียเอทานอล ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล
ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ของระบบ AHR



รูปที่ 8 ความเข้มข้นชีโอดีของน้ำเสียเข้าและขาออกจากระบบ AHR
ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

3.4.2 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียเอทานอลที่ OLR และ HRT ต่าง ๆ

ก) ที่ OLR 1.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 21.2 วัน

ที่ OLR 1.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ระบบสามารถทำการกำจัดชีโอดี ถึงร้อยละ 98 และนอกจากนี้ องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในระบบมีมากถึงร้อยละ 64 - 65 แต่ในขณะเดียวกันปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวันกลับมีไม่มาก ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนได้ 448 และ 255 มล./วัน ตามลำดับ เมื่อทำการคิดเป็นค่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซ หรือ Gas Yield พบว่าค่าที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำคือมีค่า Biogas Yield อยู่ที่ 0.083 ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่กำจัดและ Methane Yield เพียง 0.053 ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่กำจัด เนื่องจากในช่วงนี้ เป็นช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบ จุลินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบยังอยู่ในสภาวะปรับตัว ทำให้สารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบถูกใช้ในการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์และการเกิดกระบวนการยีสเกาะผิววัสดุของจุลินทรีย์ มากกว่าที่จะนำมาใช้ในการผลิตก๊าซ จึงทำให้ในช่วงนี้การผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนยังมีไม่มากนัก ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองหนึ่งที่ได้จากการศึกษาของ Xie และคณะ (2008) ที่มีข้อสังเกตหนึ่งที่ว่าเมื่อเริ่มเดินระบบ Methane Yield ในช่วงเริ่มต้นจะมีค่าน้อยกว่า Methane Yield ที่ได้หลังจากเดินระบบนานขึ้นและมี OLR ที่สูงขึ้น

ข) ที่ OLR 1.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 14.2 วัน

ที่ OLR 1.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน นี้ ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีนั้นไม่ได้แตกต่างกันมากนัก โดยประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีที่ OLR นี้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 95 - 98 และมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 61 - 62 ซึ่งทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีและองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ OLR นี้จะไม่แตกต่างจากที่ OLR 1.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน แต่ในส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพเริ่มมีปริมาณที่มากขึ้น โดยการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ยที่ OLR นี้ อยู่ที่ 0.176 และ 0.108 ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่กำจัดตามลำดับ หรือคิดเป็นปริมาณการผลิตชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ยอยู่ที่ 1,219 และ 718 มล./วัน การที่ระบบสามารถผลิตก๊าซได้มากขึ้น เนื่องจากเมื่อเดินระบบได้มาเป็นระยะเวลาหนึ่ง แบคทีเรียในระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะเสถียร จุลินทรีย์นำสารอาหารไปสร้างเซลล์ส่งผลให้สารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบถูกใช้ในการผลิตก๊าซมีเทนมากขึ้น ทำให้ปริมาณการผลิตก๊าซมากขึ้นด้วย

ค) ที่ OLR 2.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 10.6 วัน

ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีที่ OLR นี้ อยู่ในช่วงร้อยละ 97 - 98 เช่นเดียวกันองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพนี้ก็ไม่ได้แตกต่างจากที่ได้จาก OLR ก่อนหน้านี้ โดยองค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่ได้ในช่วงการทดลองนี้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 61 - 67 ในขณะที่การผลิตก๊าซที่ OLR นี้จะมีการผลิตที่มากขึ้นจากที่ OLR ก่อนหน้า โดยปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ที่ OLR นี้จะเฉลี่ยที่ 2,319 และ 1,522 มล./วัน ตามลำดับ หรือเมื่อคิดเป็น Gas Yield ของก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนจะอยู่ได้ 0.232 และ 0.152 ลบ.ม./กก.ชีโอดี ที่กำจัด

ง) ที่ OLR 2.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 7.8 วัน

แม้ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีที่ OLR นี้ ที่ร้อยละ 95 - 96 องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ OLR นี้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 63 - 68 และมีการตกตะกอนน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเพื่อกำจัดตะกอนจากน้ำเสียที่เข้าไปอุดตันในระบบแล้วก็ตาม การผลิตก๊าซชีวภาพนั้น ปริมาณการผลิตที่ได้ต่อวันที่สูงขึ้น โดยปริมาณก๊าซชีวภาพได้ 2,926 มล./วัน ก๊าซมีเทนได้ 1,868 มล./วัน ก็ไม่ได้ทำให้ Gas Yield ทั้งในส่วน of ก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนมีค่าเพิ่มขึ้นจากที่ OLR 2.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน โดย Gas Yield ที่ได้ที่ OLR นี้ทั้งในส่วนก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ยอยู่ 0.222 และ 0.148 ลบ.ม./กก.ชีโอดี ที่กำจัด เนื่องจากค่าพีเอชของระบบที่ได้มีค่าสูงกว่าค่าที่เหมาะสมในการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนคือมากกว่า 7.5 ทำให้การผลิตก๊าซยังไม่สามารถทำงานได้เต็มความสามารถของระบบ

จ) ที่ OLR 3.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 6.4 วัน

ที่ OLR 3.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีอยู่ที่ร้อยละ 93 - 96 ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ย 7,033 และ 4,733 มล./วัน องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพอยู่ที่ร้อยละ 63 - 67 เมื่อคิดเป็น Gas Yield ของก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนมีค่าเฉลี่ยที่ 0.460 และ 0.300 ลบ.ม./กก.ชีโอดี ที่กำจัด ตามลำดับ ค่า Gas Yield ที่ได้ถือได้ว่ามีค่าที่สูง เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีคือ 0.500 และ 0.350 ลบ.ม./กก.ชีโอดี ที่กำจัด ตามลำดับ เนื่องจากที่ OLR นี้ ค่าพีเอชของระบบลดลงมาต่ำกว่า 8.0 ส่งผลให้แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนสามารถทำงานได้มากขึ้น ส่งผลให้ Gas Yield ของระบบมีค่าที่สูงขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

จ) ที่ OLR 3.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 5.3 วัน

ที่ OLR นี้ ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีที่ได้อยู่ที่ร้อยละ 95 - 96 การผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ยอยู่ที่ 8,535 และ 5,648 มล./วัน มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพอยู่ที่ร้อยละ 95 - 98 และมี Gas Yield ของก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนมีค่าเฉลี่ยที่ 0.473 และ 0.306 ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่กำจัดตามลำดับ

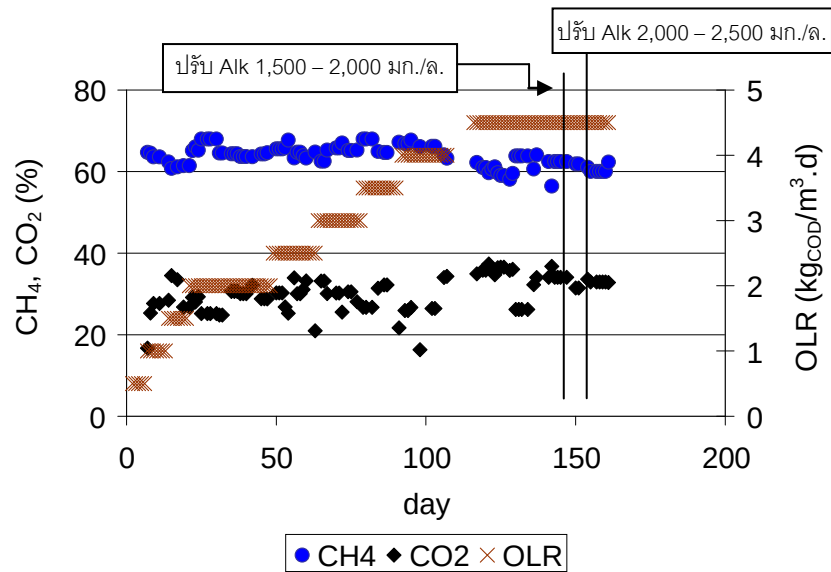
ข) ที่ OLR 4.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 4.6 วัน

ที่ OLR 4.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน เป็น OLR ที่การทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนสามารถทำงานได้ดีที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ โดย Gas Yield ของก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุดที่ได้อยู่ที่ 0.486 และ 0.324 ลบ.ม./กก.ชีโอดี ที่กำจัด ตามลำดับ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.451 และ 0.288 ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่กำจัด ตามลำดับ Gas Yield ที่ได้มาจากประสิทธิภาพการทำงานในการกำจัดชีโอดีของระบบที่ดี กล่าวคือระบบสามารถกำจัดชีโอดีได้ถึงร้อยละ 90.41 – 95.25 ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ยที่ 9,452 และ 6,182 มล./วัน ตามลำดับ และองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพอยู่ที่ร้อยละ 63 - 68

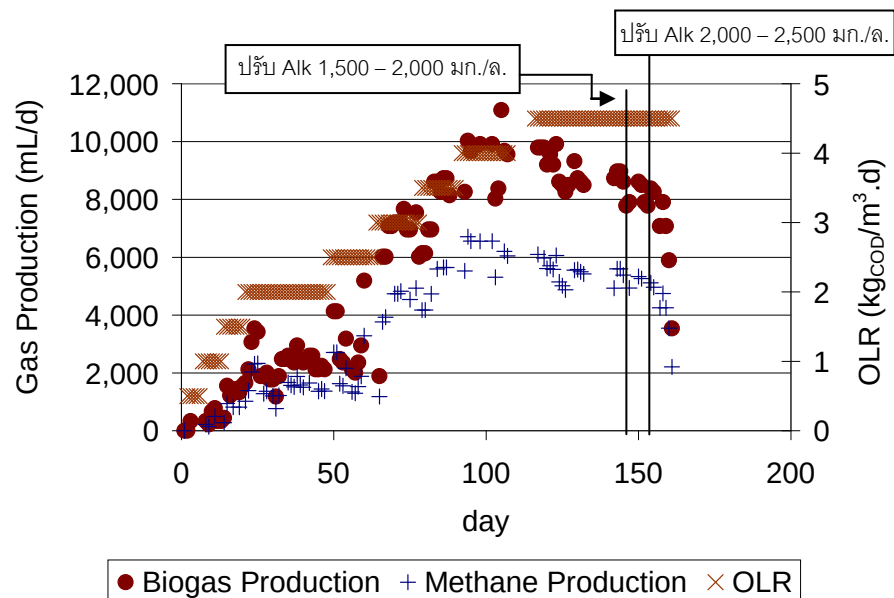
ค) ที่ OLR 4.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 3.8 วัน

เมื่อดำเนินระบบมาถึงที่ OLR 4.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ระบบมีค่าพีเอชที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีมีค่าที่ลดลง จากร้อยละ 88 เมื่อเริ่มต้นการทดลองที่ OLR นี้ มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ร้อยละ 75 ก่อนจะทำการปรับค่าความเป็นด่างให้ระบบในครั้งแรก ส่งผลให้ระบบไม่สามารถที่ทำการผลิตก๊าซชีวภาพได้มากขึ้น ในทางตรงข้ามระบบทำการผลิตก๊าซชีวภาพได้ลดลง แม้จะมีการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากขึ้นก็ตาม เมื่อมีการปรับค่าความเป็นด่างให้ระบบอีกครั้งที่สอง ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ระบบผลิตได้ก็ยังคงลดลงอย่างต่อเนื่อง จนส่งผลให้ Gas Yield ของระบบทั้งในส่วน Biogas Yield และ Methane Yield มีแนวโน้มที่ลดลงเช่นกัน

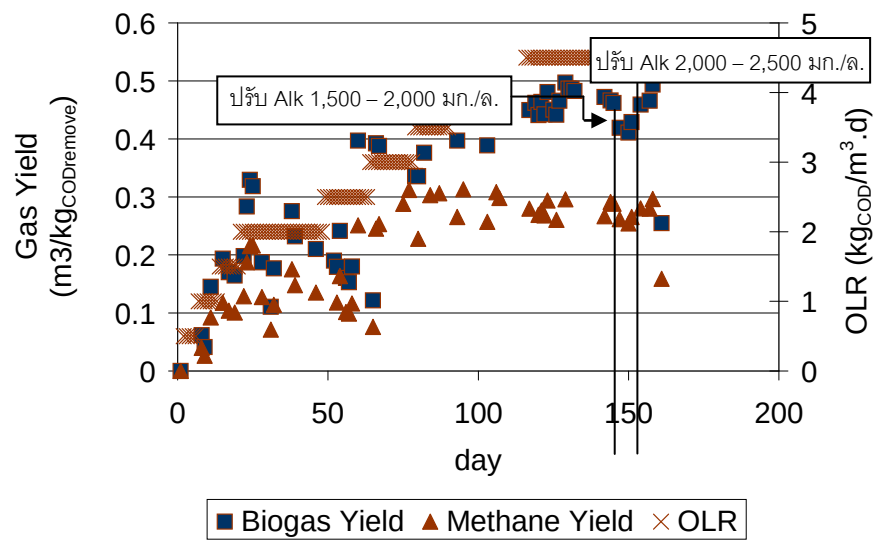
ตารางที่ 4.3 แสดงผลสรุปรวมของระบบ AHR ในการบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียเอทานอล โดยระบบสามารถรับน้ำเสียได้ OLR 4.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 4.6 วัน โดยที่ระบบกำจัดชีโอดีได้ร้อยละ 90 ขึ้นไป ได้ผลิตมีเทนสูงถึง 0.324 ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่กำจัด ในก๊าซชีวภาพมีองค์ประกอบของมีเทนสูงกว่าร้อยละ 60



รูปที่ 9 สัดส่วนของก๊าซต่าง ๆ ในก๊าซชีวภาพที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียเอทานอล ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ



รูปที่10 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน ที่ผลิตได้จากการบำบัดน้ำเสียเอทานอล ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลกับระยะเวลาในการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ AHR ในการบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพ จากน้ำเสียของ
กระบวนการผลิตเอทานอล

OLR (kg _{COD} /m ³ .d)	HRT (d)	pH	TVA/Alk	COD Removal (%)	CH ₄ Content (%)	Methane Production (mL/d)	Methane Yield (m ³ /kg _{CODremove})
0.5	42.5	7.42 - 7.50	0.204 - 0.245	96.53	ND	ND	ND
1.0	21.2	7.57 - 7.97	0.079 - 0.345	97.28 - 97.69	63.61 - 64.72	141 - 494	0.026 - 0.092
1.5	14.2	7.16 - 8.02	0.056 - 0.209	94.81 - 97.80	60.75 - 62.35	277 - 944	0.101 - 0.118
2.0	10.6	7.90 - 8.89	0.046 - 0.262	96.84 - 98.42	61.43 - 67.97	762 - 2326	0.072 - 0.216.
2.5	7.8	7.92 - 8.42	0.181 - .378	94.80 - 96.43	63.29 - 67.72	1,299 – 3,286	0.099 - 0.251
3.0	6.4	7.58 - 7.98	0.158 - 0.287	92.97 - 95.77	62.52 - 67.02	1,180 – 4,931	0.076 - 0.312
3.5	5.3	7.85 - 8.14	0.170 - 0.313	94.86 - 96.10	64.69 - 67.97	4,171 – 5,648	0.228 - 0.306
4.0	4.6	6.98 - 8.00	0.212 - 0.394	90.41 - 95.25	63.25 - 67.75	5,309 – 6,708	0.257 - 0.324

ND : Not determine

3.5 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆของน้ำเสียผสมระหว่างน้ำเสียเป้งมันสำปะหลังต่อน้ำเสียเอทานอล (80:20)

การผลิตก๊าซชีวภาพ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ นอกจากการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียในเบื้องต้นแล้ว ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศแบบลูกผสมในการบำบัดความสกปรกในน้ำเสียและประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกระบวนการผลิตเป้งมันสำปะหลังต่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลที่สัดส่วน 80:20 ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) ที่ระดับต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ดังแสดงในตารางที่ 7 การศึกษานี้ได้ติดตามประสิทธิภาพการทำงานของ ระบบ จากตัวชี้วัดได้แก่ค่าซีโอดี พีเอช ค่าความเป็นด่าง ปริมาณกรดระเหย ของน้ำเสียที่ออกจากระบบ รวมทั้งปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ และองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ระบบสามารถผลิตได้ ผลของการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 7 อัตราบรรทุกสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (OLR) และระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) จากกระบวนการผลิตเป้งมันสำปะหลังต่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลที่สัดส่วน 80:20 ด้วยระบบ AHR

ระยะเวลาดำเนินระบบ (วัน)	อัตราการป้อนน้ำเสีย (มล./วัน)	COD ขาเข้า (มก./ล.)	OLR (กก.ซีโอดี/ลบ.ม. วัน)	HRT (วัน)
1-5	130	24,200	0.5	42.5
6-10	260	24,200	1.0	21.2
11-16	390	24,200	1.5	14.2
17-22	520	24,200	2.0	10.6
23-29	710	24,200	2.5	7.8
30-36	870	24,200	3.0	6.4
37-42	1050	24,200	3.5	5.3
43-56	1190	24,200	4.0	4.6
57-64	1470	24,200	4.5	3.8

3.5.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเอทานอลที่ OLR และ HRT ต่างๆ

ผลของการตรวจวัดสถานะแวดล้อมภายในถังปฏิกรณ์ (รูปที่ 12-15) และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (รูปที่ 16-21) ในการดำเนิน กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังค่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลที่สัดส่วน 80:20 ได้อธิบายผลการทดลองในแต่ละ OLR และ HRT ดังต่อไปนี้

ก) ที่ OLR 0.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 42.5 วัน

ในการเดินระบบที่ OLR 0.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ทำการเดินระบบตั้งแต่วันที่ 1-5 ของการทดลอง พบว่าระบบสามารถทำการกำจัดชีโอได้เป็นอย่างดีถึงร้อยละ 97 โดยค่าชีโอดีของน้ำเสียค่าออกมีค่าเพียง 950 มก./ล. ในขณะที่ชีโอดีที่ป้อนเข้าระบบมีค่าถึง 24,200 มก./ล. ในส่วนของการทำงานของระบบพบว่าระบบมีการทำงานที่ดีอยู่ โดยค่าพีเอชในระบบมีค่าอยู่ที่ 7.20 – 7.80 ค่าความเป็นด่างอยู่ที่ 1,520 – 1,780 มก./ล ค่ากรดระเหยทั้งหมดอยู่ที่ 209 - 420 มก./ล และค่าอัตราส่วนกรดระเหยทั้งหมดต่อค่าความเป็นด่าง (TVA/Alk ratio) อยู่ในช่วง 0.18 – 0.28

ข) ที่ OLR 1.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 21.2 วัน

ที่ OLR 1.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ที่ทำการเดินระบบตั้งแต่วันที่ 6-10 ระบบมีการทำงานที่ดี โดยดูจากค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างอยู่ที่ และกรดระเหยทั้งหมด ที่ระบบสามารถรักษาระดับอยู่ได้ โดยค่าที่ได้อยู่ในช่วง 7.20 – 7.80 , 1,580 – 1,780 มก./ล และ 290 - 490 มก./ล ตามลำดับ ทำให้การกำจัดชีโอดีทำได้ถึงร้อยละ 96 จึงพบว่ามีชีโอดีในน้ำเสียขาออกจากระบบอยู่ที่ 870 - 970 มก./ล.

ค) ที่ OLR 1.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 14.2 วัน

OLR นี้ ทำการเดินระบบตั้งแต่วันที่ 11 – 16 ของการทดลอง ในช่วงเวลาดังกล่าวระบบยังคงสามารถที่จะทำการกำจัดสารอินทรีย์ได้ถึงร้อยละ 96 ทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียขาออกมีค่ามากกว่า 7.0 ค่าความเป็นด่างมากกว่า 1,500 มก./ล ชีโอดีของน้ำเสียขาออกมีค่าที่ต่ำ โดยค่าชีโอดีที่ได้ตลอดในช่วงนี้มีค่าอยู่ในช่วง 560 – 970 มก./ล.

ง) ที่ OLR 2.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 10.6 วัน

เมื่อทำการเพิ่ม OLR จาก 1.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน เป็น 2.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ที่วันที่ 17 – 22 ของการทดลอง พบว่า ระบบสามารถที่จะรักษาค่าพีเอชให้มากกว่า 7.5 ได้ และเมื่อทำการเดินระบบต่อไป ค่าความเป็นด่างของระบบก็ยังคงค่อนข้างสูงคือมากกว่า 1,500 มก./ล. โดยการทำจัดชีโอดีมีค่าร้อยละ 96

จ) ที่ OLR 2.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 7.8 วัน

ตั้งแต่วันที่ 23-29 ของการทดลอง ได้ทำการเดินระบบที่ OLR 2.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน พบว่า ประสิทธิภาพการทำงานของระบบยังคงทำงานได้ดีอยู่ มีการกำจัดชีโอดีได้ร้อยละ 95 ค่า ชีโอดีของน้ำเสียออกมีค่าอยู่ในช่วง 900 – 1,200 มก./ล. ในขณะที่ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่าง และปริมาณกรดระเหยทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 6.90 – 7.20, 1,560 – 1,770 มก./ล และ 350 – 490 มก./ล ตามลำดับ

ฉ) ที่ OLR 3.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 6.4 วัน

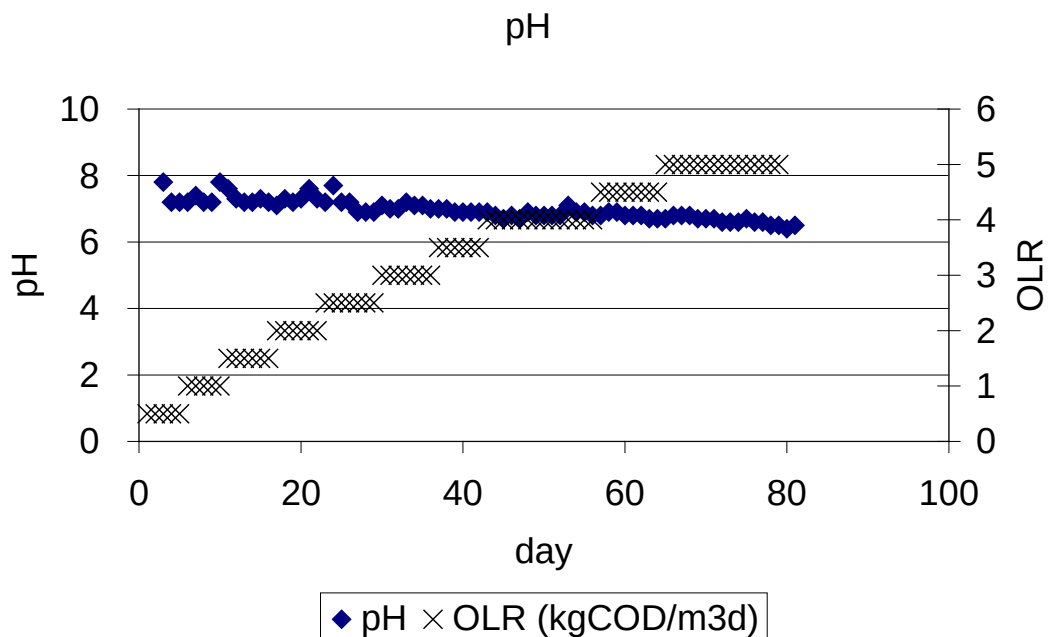
เมื่อทำการปรับ OLR เป็น 3.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน เมื่อวันที่ 30 – 36 ของการทดลอง ค่าชีโอดีของน้ำเสียออกมีค่าสูงกว่าที่ OLR 2.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน เล็กน้อย โดยค่าชีโอดีของน้ำเสียออกตลอดช่วงการทดลองที่ OLR นี้ อยู่ในช่วง 1,200 – 1,290 มก./ล. ในขณะที่การทำงานของระบบยังสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี ค่าชีโอดีกำจัดได้ร้อยละ 95 โดยค่าพีเอชของระบบอยู่ในช่วง 7.0 – 7.10 ค่าความเป็นด่างของระบบอยู่ที่ 1,560 – 1,690 มก./ล และปริมาณกรดระเหยทั้งหมดอยู่ที่ 420 - 630 มก./ล

ช) ที่ OLR 3.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 5.3 วัน

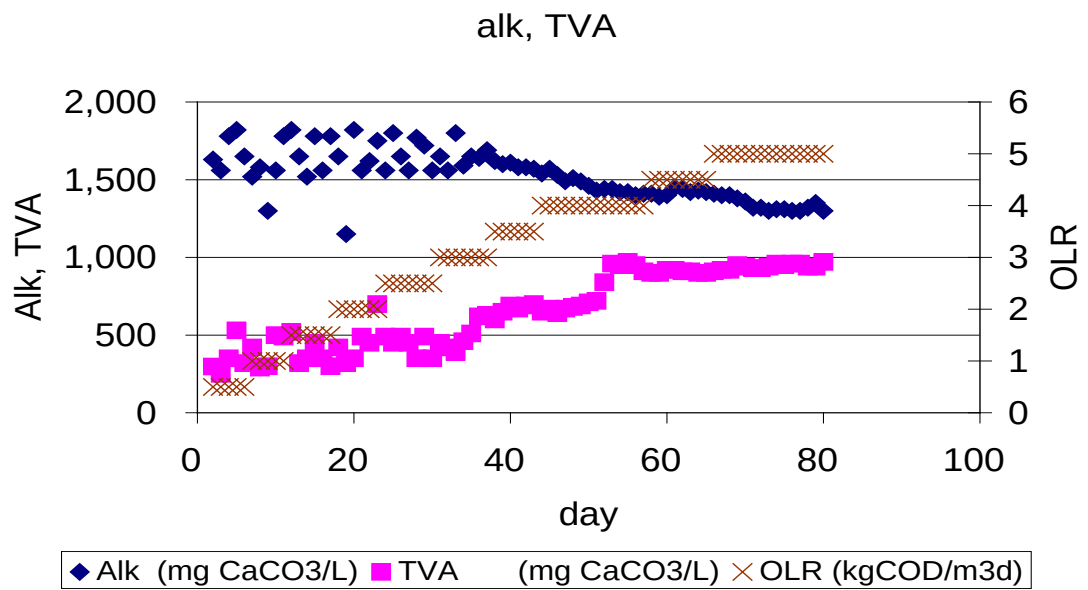
ที่ OLR 3.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ทำการเดินระบบตั้งแต่วันที่ 37 – 42 ของการทดลอง พบว่า การกำจัดชีโอดีของระบบยังคงทำงานได้ดีเช่นเดียวกับที่ OLR ก่อนหน้านี้ โดยค่าชีโอดีตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลองที่ OLR นี้ มีค่าอยู่ในช่วง 600 – 700 มก./ล. เนื่องมาจากการทำงานของระบบยังไม่ต่างที่ OLR ก่อนหน้านี้ ทั้งในส่วนพีเอช ค่าความเป็นด่าง ปริมาณกรดระเหยทั้งหมด และสัดส่วนของปริมาณกรดระเหยทั้งหมดต่อค่าความเป็นด่างด้วย

ซ) ที่ OLR 4.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 4.6 วัน

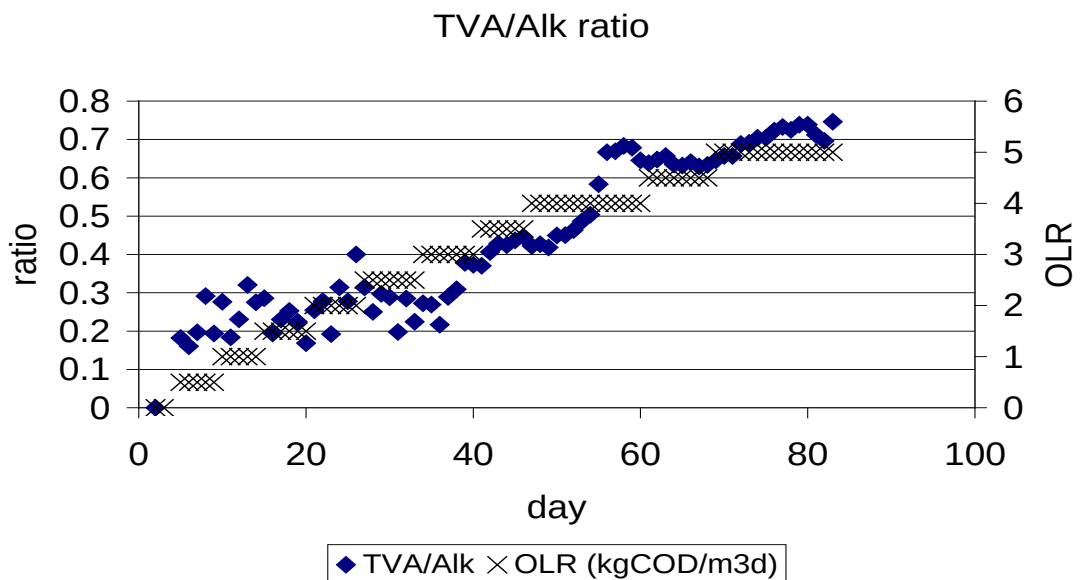
เมื่อทำการปรับ OLR เป็น 4.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ตั้งแต่วันที่ 43 จนถึงวันที่ 56 ของการทดลอง ในช่วงเวลาดังกล่าวพบว่าปริมาณกรดระเหยทั้งหมดมีแนวโน้มที่จะเพิ่ม โดยปริมาณกรดระเหยทั้งหมดสูงสุดที่ได้คือ 970 มก./ล. ในส่วนของค่าความเป็นด่างอยู่ที่ 1,500 มก./ล. ทำให้ระดับพีเอชของระบบมีค่าลดลง จาก 6.80 ที่ OLR 3.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน มาอยู่ที่ 6.60 ส่งผลให้ค่าชีโอดีของน้ำเสียออกมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น มาอยู่ในช่วง 1400 –1,900 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีของระบบอยู่ที่ร้อยละ 90



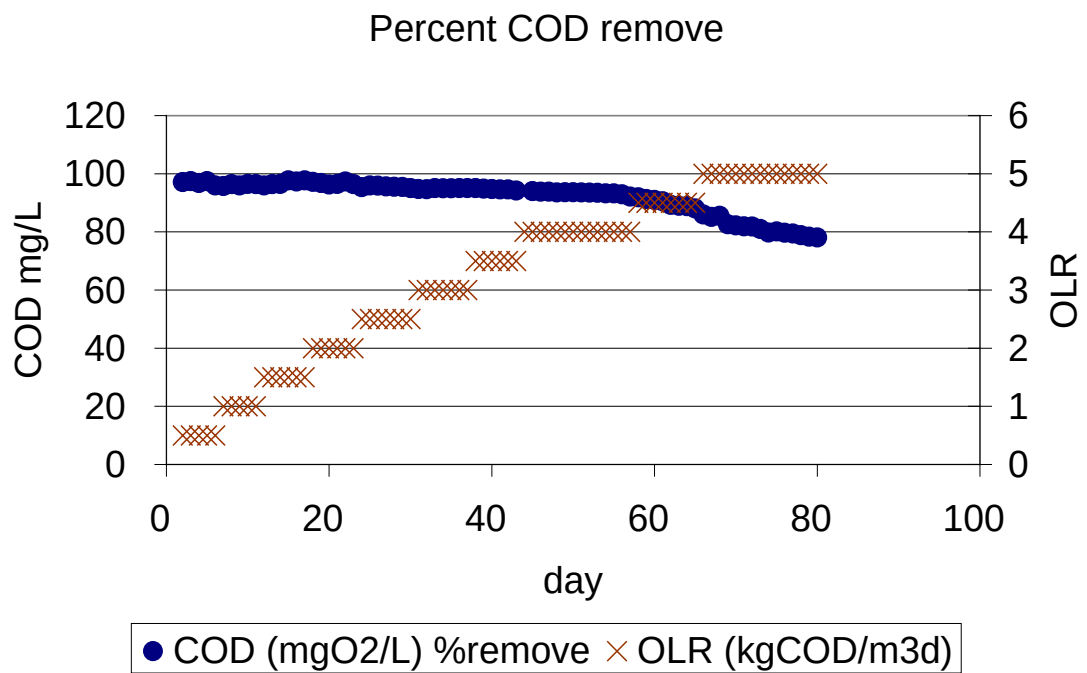
รูปที่ 12 ระดับพีเอชของน้ำเสียผสมในระบบ AHR ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



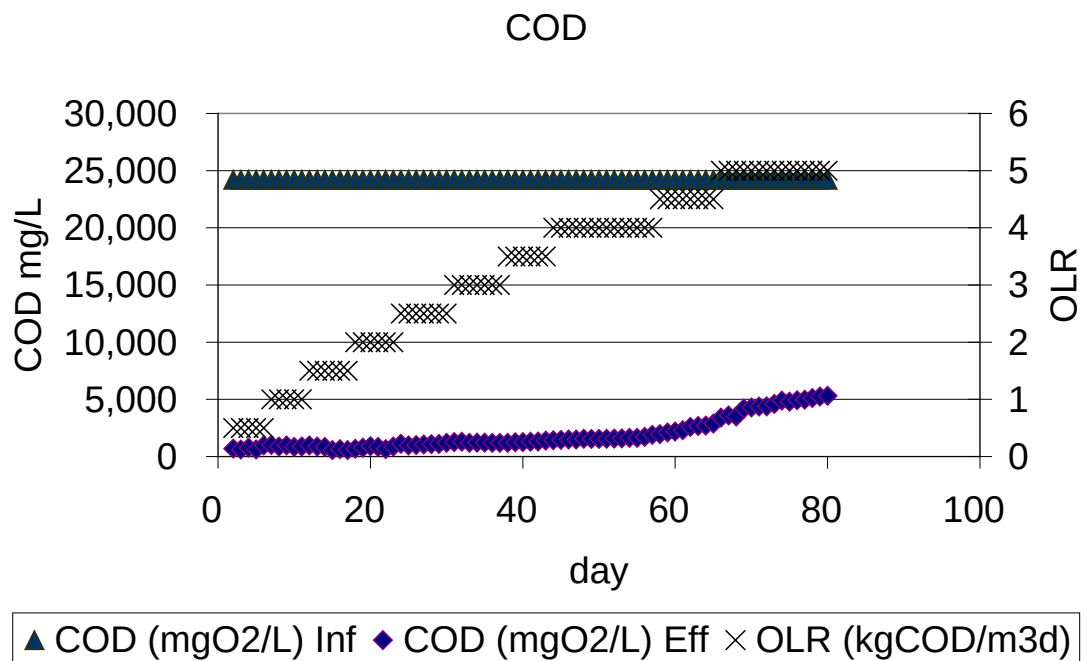
รูปที่ 13 ระดับค่าความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างและกรดระเหยทั้งหมดของน้ำเสียผสม
ภายในระบบ AHR ที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 14 อัตราส่วนกรดระเหยทั้งหมดต่อค่าความเป็นด่างของน้ำเสียผสมในระบบ AHR
ที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 15 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ AHR ในการบำบัดน้ำเสียผสม
ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 16 ความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียผสมขาเข้าและขาออกจากระบบ AHR
ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

3.5.2 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียเอทานอลที่ OLR และ HRT ต่าง ๆ

ก) ที่ OLR 1.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 21.2 วัน

ที่ OLR 1.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ระบบสามารถทำการกำจัดชีโอดี ถึงร้อยละ 96 และนอกจากนี้ องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในระบบมีมากถึงร้อยละ 64 - 65 แต่ในขณะเดียวกันปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวันกลับมีไม่มาก ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนได้ 1,100 และ 700 มล./วัน ตามลำดับ เมื่อทำการคิดเป็นค่าประสิทธิผลการผลิตก๊าซ หรือ Gas Yield พบว่ามีค่า Biogas Yield อยู่ที่ 0.20 ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่กำจัดและ Methane Yield เพียง 0.12 ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่กำจัด เนื่องจากในช่วงนี้ เป็นช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบ จุลินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ยังอยู่ในสภาวะปรับตัว ทำให้สารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบถูกใช้ในการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์และการเกิดกระบวนการยีสต์เกาะผิววัสดุของจุลินทรีย์ มากกว่าที่จะนำมาใช้ในการผลิตก๊าซ จึงทำให้ในช่วงนี้การผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนยังมีไม่มากนัก ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองหนึ่งที่ได้จากการศึกษาของ Xie และคณะ (2008) ที่มีข้อสังเกตหนึ่งที่ว่าเมื่อเริ่มเดินระบบ Methane Yield ในช่วงเริ่มต้นจะมีค่าน้อยกว่า Methane Yield ที่ได้หลังจากเดินระบบนานขึ้นและมี OLR ที่สูงขึ้น

ข) ที่ OLR 1.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 14.2 วัน

ที่ OLR 1.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน นี้ ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีนั้นไม่ได้แตกต่างกันมากนัก โดยประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีที่ OLR นี้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 96 และมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 61 - 62 ซึ่งทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีและองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ OLR นี้จะไม่แตกต่างจากที่ OLR 1.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน แต่ในส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพเริ่มมีปริมาณที่มากขึ้น โดยการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ยที่ OLR นี้ อยู่ที่ 0.22 และ 0.13 ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่กำจัดตามลำดับ หรือคิดเป็นปริมาณการผลิตชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ย อยู่ที่ 1,700 และ 900 มล./วัน การที่ระบบสามารถผลิตก๊าซได้มากขึ้น เนื่องจากเมื่อเดินระบบได้มาเป็นระยะเวลาหนึ่ง แบคทีเรียในระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะเสถียร จุลินทรีย์นำสารอาหารไปสร้างเซลล์ส่งผลให้สารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบถูกใช้ในการผลิตก๊าซมีเทนมากขึ้น ทำให้ปริมาณการผลิตก๊าซมากขึ้น

ค) ที่ OLR 2.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 10.6 วัน

ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีที่ OLR นี้ ในช่วงร้อยละ 96 เช่นเดียวกันองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพนี้ก็ไม่ได้แตกต่างจากที่ได้จาก OLR ก่อนหน้านี้ โดยองค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่ได้ในช่วงการทดลองนี้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 61 - 65 ในขณะที่การผลิตก๊าซที่ OLR นี้จะมีการผลิตที่มากขึ้นจากที่ OLR ก่อนหน้า โดยปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ที่ OLR นี้จะเฉลี่ยที่ 2400 และ 1,400 มล./วัน ตามลำดับ หรือเมื่อคิดเป็น Gas Yield ของก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนจะอยู่ได้ 0.24 และ 0.15 ลบ.ม./กก.ชีโอดี ที่กำจัด

ง) ที่ OLR 2.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 7.8 วัน

ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีที่ OLR นี้ ที่ร้อยละ 95 องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ OLR นี้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 66 - 67 ปริมาณการผลิตที่ได้ต่อวันที่สูงขึ้น โดยปริมาณก๊าซชีวภาพได้ 3,930 มล./วัน ก๊าซมีเทนได้ 2,680 มล./วัน ก็ไม่ได้ทำให้ Gas Yield ทั้งในส่วน of ก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนมีค่าเพิ่มขึ้นจากที่ OLR 2.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน โดย Gas Yield ที่ได้ที่ OLR นี้ทั้งในส่วน ก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ยอยู่ 0.30 และ 0.24ลบ.ม./กก.ชีโอดี

จ) ที่ OLR 3.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 6.4 วัน

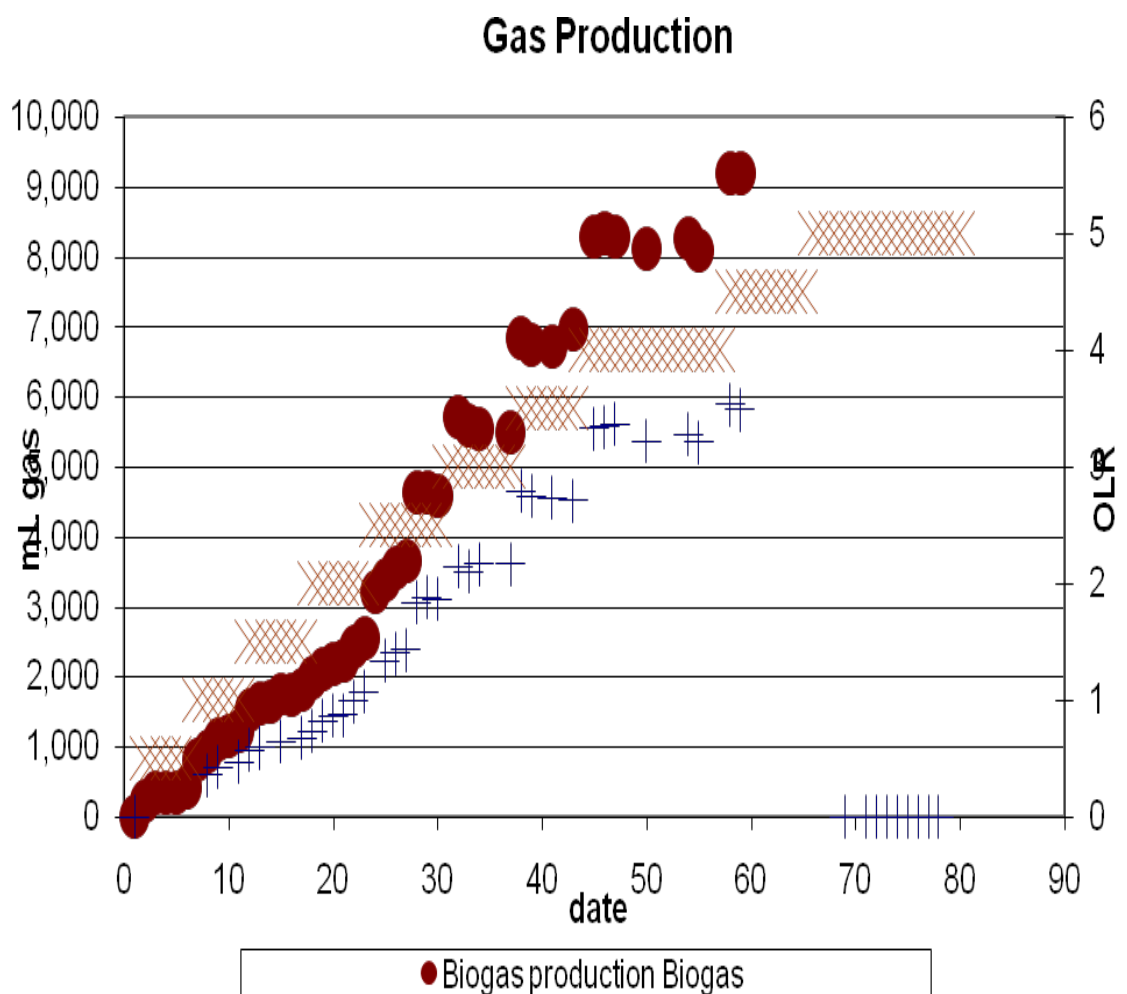
ที่ OLR 3.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีอยู่ที่ร้อยละ 95 ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ย 5,610 และ 3,596 มล./วัน องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพอยู่ที่ร้อยละ 65 - 67 เมื่อคิดเป็น Gas Yield ของก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนมีค่าเฉลี่ยที่ 0.36 และ 0.22 ลบ.ม./กก.ชีโอดี ที่กำจัด ตามลำดับ

ฉ) ที่ OLR 3.5 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 5.3 วัน

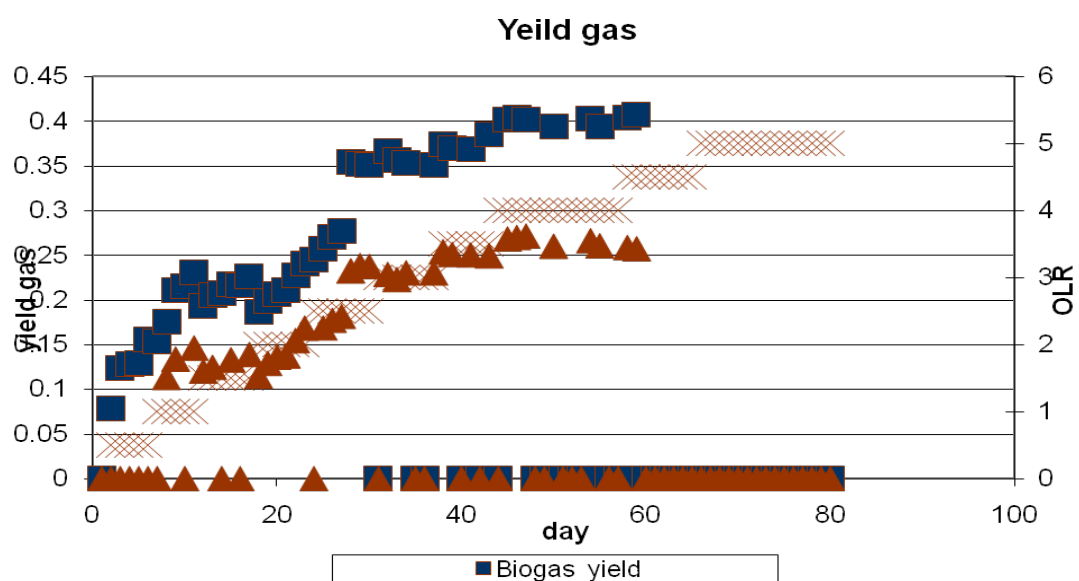
ที่ OLR นี้ ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีที่ได้อยู่ที่ร้อยละ 93 การผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ยอยู่ที่ 7,200 และ 4,670 มล./วัน มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพอยู่ที่ร้อยละ 65 - 68 และมี Gas Yield ของก๊าซมีเทนมีอยู่ที่ 0.24 - 0.25 ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่กำจัด

ข) ที่ OLR 4.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 4.6 วัน

ที่ OLR 4.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน เป็น OLR ที่การทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนสามารถทำงานได้ดีที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ โดย Gas Yield ก๊าซมีเทนที่ได้อยู่ที่ 0.26 – 0.27 ประสิทธิภาพการทำงานในการกำจัดชีโอดีของระบบที่ดี กล่าวคือระบบสามารถกำจัดชีโอดีได้ถึงร้อยละ 90 ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ยที่ 8,500 และ 5,600 มล./วัน ตามลำดับ และองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพอยู่ที่ร้อยละ 63 - 68



รูปที่ 17 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน ที่ผลิตได้จากการบำบัดน้ำเสียผสม
ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่ได้จากการบำบัด
น้ำเสียจากกระบวนการผลิตผสมกับระยะเวลาในการทดลองที่อัตราภาระบรรทุก
สารอินทรีย์ต่าง ๆ

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ AHR ในการบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพ
จากน้ำเสียกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังค่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลที่สัดส่วน
80:20

OLR (kg _{COD} /m ³ .d)	HRT (d)	pH	TVA/Alk	COD Removal (%)	CH ₄ Content (%)	Methane Production (mL/d)	Methane Yield (m ³ /kg _{CODremove})
0.5	42.5	7.2-7.8	0.18-0.28	97	-	-	-
1.0	21.2	7.2-7.8	0.18-0.32	96	64-65	600-770	0.11-0.15
1.5	14.2	7.1-7.3	0.17-0.25	96	61-62	960-1,070	0.12-0.14
2.0	10.6	7.2-7.3	0.20-0.40	96	61-65	1,230-1,790	0.11-0.17
2.5	7.8	6.9-7.2	0.20-0.30	95	66-67	2,230-3,140	0.17-0.24
3.0	6.4	7.0-7.1	0.27-0.38	95	65-68	3,500-3,620	0.22-0.23
3.5	5.3	6.8-6.9	0.37-0.45	93	65-68	4,510-4,670	0.24-0.25
4.0	4.6	6.6-6.9	0.42-0.69	90	66-68	5,370-5,620	0.26-0.27

4. สรุปผลการทดลอง

การทดลองการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลด้วยมันสำปะหลัง และ
จากน้ำเสียกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังค่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลที่สัดส่วน
80:20
น้ำ ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศแบบลูกผสม ได้ผลสรุปดังนี้

4.1 สรุปผลการทดลองหารสัดส่วนของน้ำเสียโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังค่อน้ำเสียโรงงานผลิตเอ ทานอล

จากการศึกษาพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมัน
สำปะหลังค่อน้ำเสียต่อจากกระบวนการผลิตเอทานอลด้วยมันสำปะหลัง อยู่ที่ 80 : 20

4.2 การบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ AHR จากน้ำเสียของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง

ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังที่ผ่านการตกตะกอนแล้ว ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศแบบลูกผสม ที่ภาระการรับสารอินทรีย์และ HRT ต่างๆ ได้แสดงดังตารางที่ 5 จากผลการศึกษาพบว่าระบบสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุดได้ที่ 4.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 4.6 วัน โดยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 90 – 95 ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ที่ 8024 – 11092 มล./วัน องค์กรประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพอยู่ที่ร้อยละ 63 – 68 เมื่อคิดเป็นประสิทธิผลในการผลิตก๊าซมีเทน (Methane Yield) อยู่ที่ 0.257 - 0.324 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่กำจัด/วัน โดยที่พีเอชและอัตราส่วนปริมาณกรดระเหยทั้งหมดต่อความเป็นด่าง (TVA/Alk. Ratio) ระบบอยู่ที่ 6.98 – 8.00 และ 0.212 – 0.394 ตามลำดับ

4.3 การบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ AHR

จากน้ำเสียกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังค่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลที่สัดส่วน 80:20

ในการบำบัดน้ำเสียกลีเซอรอลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศแบบลูกผสม ที่ภาระการรับสารอินทรีย์และ HRT ต่างๆ ได้แสดงดังตารางที่ 8 จากผลการศึกษาพบว่าระบบสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุดได้ที่ 4.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน และ HRT 4.6 วัน โดยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 90 ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ที่ 8,200 มล./วัน องค์กรประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพอยู่ที่ร้อยละ 66 -68 เมื่อคิดเป็นประสิทธิผลในการผลิตก๊าซมีเทน (Methane Yield) อยู่ที่ 0.27 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่กำจัด/วัน โดยที่พีเอชและอัตราส่วนปริมาณกรดระเหยทั้งหมดต่อความเป็นด่าง (TVA/Alk. Ratio) ระบบอยู่ที่ 6.6 – 6.9 และ 0.37 – 0.45 ตามลำดับ

5. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550a, “แผนอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน ในช่วงปี 2551 –2554”, แผนพลังงานทดแทน ปี 2551-2554, 11 กันยายน 2550 , ชั้น 11 อาคาร 7 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550b, **ไบโอดีเซล**, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, หน้า 15.

กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551, รายงานพลังงานของประเทศไทย 2551/2008 (เบื้องต้น/preliminary), กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, หน้า 7.

กรมวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยพืชไร่, 2550, **การผลิตเอทานอลจากพืช** [online], Available: <http://www.doa.go.th/fieldcrops/cas/eth/e002.pdf> [2007, August 20].

กล้าณรงค์ ศรีรอด, สิริพล โกสินทรเสนีย์, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, สุทธิพันธุ์ แก้วสมพงษ์, ปฐมา จาดกานนท์ และ สิทธิโชค วัลลภาทิตย์, 2548, “การพัฒนาการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อลดต้นทุนการผลิตและปลอดจากผลกระทบสิ่งแวดล้อม”, รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ **ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ**, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543, **วิศวกรรมกรำจัดน้ำเสีย (เล่มที่ 4)**, มหาวิทยาลัยรังสิต, หน้า 1-437.

ชินพงศ์ วั่งโน, 2538, การกระจายตัวของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์แบบมีตัวกรองภายใต้สภาวะไร้อากาศ ที่มีทิศทางการป้อนสารอาหารต่างกัน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 6-19.

เบญจพร สุธารักษ์, 2541, **ประสิทธิภาพการทำงานของถังปฏิกรณ์บำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศชนิด ลูกผสม (แบบมีตัวกรองร่วมกับแบบตะกอนลอย**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ประทีน กุลละวณิชย์, 2548, ผลของความเร็วและความเข้มข้นของสารอาหารต่อการเกิดฟิล์มชีวบนวัสดุตัวกลางในช่วงเริ่มต้นระบบของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบลูกผสม, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

มนวดี ถกธรวัช, 2549, ผลของการเติมอาหารเสริมที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเหลือที่เหลืออกกระบวนการผลิตไบโอดีเซล, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการประเมินเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากผลผลิตทางการเกษตร [Online], Available: www.eng.su.ac.th/me/pdf/renewableenergy/Ethanol-Tech-Final-Revised-1.pdf [2007, August 20].

สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546, การดูแลระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ, 12-13 พฤษภาคม 2546, ห้องประชุมสัตตบงกช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549, ระบบบำบัดน้ำเสีย : การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุม และการแก้ปัญหา, สำนักพิมพ์ท็อป, กรุงเทพฯ.

สาวตรี ระงับพิษ, 2550, “การประเมินวงจรชีวิตการผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลัง”, **Engineering Today**, ปีที่ 5, ฉ. 55, หน้า 54-58.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, **Sale of Petroleum Products (Barrel/day)** [Online], Available: http://www.eppo.go.th/info/2petroleum_stat.html [2007, February 28].

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2523, “มาตรฐานอุตสาหกรรม กลีเซอรินดิบ”, **ราชกิจจานุเบกษา ฉบับพิเศษ**, เล่ม 97 ตอนที่ 75, กระทรวงอุตสาหกรรม.

เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2518, การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย, 317 หน้า.

อลิสรา วงศ์กิตติวิมล, 2543, การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยถังปฏิกรณ์ไฮบริดแบบไม่ใช้ออกซิเจน, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Annachhatre, A.P. and Bhamidimarri, S.M.R., 1992, "Microbial Attachment and Growth in Fixed Film Reactors: Process Start up Consideration", **Biotechnology Advance**, Vol. 10, No. 1, pp. 69-91.

APHA. (1995). **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 19th ed. APHA/AWWA/WPCF, Washington, DC, pp. 2.23-5.16.

Bitton, G., 1994, **Wastewater Microbiology**, New York, John Wiley and Sons, pp. 229-245.

Blonskaja, V., Menert, A. and Vilu, R., 2002, "Use of Two-stage Anaerobic Treatment for Distillery Waste", **Advance in Environmental Research**, Vol.7, pp. 671-678.

Bryant, M.P., 1979, "Microbial Methane Production-Theoretical Aspect", **Journal of Animal Science**, Vol. 48, No. 2, pp.193-201.

Bushs, J., Mozes, N., Wandrey, C. and Rouxhet, P.G., 1988, "Cell Adsorption Control by Culture Conditions: Influence of Phosphate on Surface Properties, Flocculation and Adsorption Behavior of *Corynebacterium glutamicum*", **Applied Microbiology and Biotechnology**, Vol. 29, No. 1, pp. 119-128.

Chaiprasert, P., Suvajittanont, W., Suraraksa, B., Tanticharoen, M. and Bhumiratana, S., 2003, "Nylon Fibers as Supporting Media in Anaerobic Hybrid Reactor: It's Effects on System's Performance and Microbial Distribution", **Water Research**, Vol. 37, pp. 4605-4612.

Chaplin, M., 2003, **Enzymes and Enzyme Technology** [online], Available: <http://www.lsbu.ac.uk/biology/enzyme/practical1.html> [2007, September 30].

Chung, Y.C., and Choi, Y.S., 1993, "Microbial Activity and Performance of an Anaerobic Reactor Combining a Filter and a Sludge Bed", **Water Science and Technology**, Vol. 27, No. 1, pp. 187-194.

Goodwin, J.A.S., Wase, D.A.J. and Forster, C.F., 1992, "Pre-granulation Seeds for UASB Reactors: How Necessary are They?", **Bioresource Technology**, Vol. 41, No. 1, pp. 71-79.

Grobicki, A. and Stuckey, D.C., 1991, "Performance of the Anaerobic Baffled Reactor under Steady-State and Shock Loading Conditions", **Biotechnology and Bioengineering**, Vol. 37, pp. 344-355.

Guiot, S.R., and Van der Berg, L., 1984, "Performance and Biomass Retention of an Upflow Anaerobic Reactor Combining a Sludge Blanket and a Filter", **Biotechnology and Bioengineering**, Vol. 6, No. 3, pp. 161-164.

Guiot, S.R., and Van der Berg, L., 1985, "Performance of an Upflow Anaerobic Reactor Combining a Sludge Blanket and a Filter, Treating Sugar Waste", **Biotechnology and Bioengineering**, Vol. 27, No. 6, pp. 200-206.

Hickey, R.F., Wu, W.M., Veiga, M.C. and Jones, R., 1991, "Start-up, Operation, Monitoring and Control of High-rate Anaerobic Treatment Systems", **Water Science and Technology**, Vol. 24, No. 8, pp. 207-255.

Hulshoff Pol, L.W., de Zeeuw, W.J., Velzeboer, C.T.W. and Lettinga, G., 1983, "Granulation in UASB Reactor", **Water Science and Technology**, Vol. 15, No. 8/9, pp. 291-304.

Jiménez, M.A., Borja, R. and Martín, A., 2003, "Aerobic-Anaerobic Biodegradation of Beet Molasses Alcoholic Fermentation Wastewater", **Process Biochemistry**, Vol. 38, pp. 1275-1284.

Jeganathan, J., Nakhla, G. and Bassi, A., 2007, "Oily Wastewater Treatment Using a Novel Hybrid PBR-USSB System", **Chemosphere**, Vol. 67, pp. 1492-1501.

Lalov, G.I., Guerginov, I.I., Krysteva, A.M. and Fartsov, K., 1999, "Treatment of Waste Water from Distilleries with Chitosan", **Water Research**, Vol. 34, No. 5, pp. 1503-1506.

Xie, L., Luo, G., Zhou, Q, Sang, W. and Sun, J., 2008, "Thermophilic Anaerobic Treatment of Cassava Ethanol Wastewater in Continuously Stirred Tank Reactor (CSTR)", **The 2nd International Conference Bioinformatics and Biomedical Engineering**, pp. 3001-3004.

McCarty, P.L., 1964, "Anaerobic Waste Treatment Fundamentals I: Chemistry and Microbiology", **Public Works**, Vol. 95, pp. 107-112.

Murrey, W.D. and Van den Berg, L., 1981, "Effects of Nickel, Cobalt and Molybdenum on Performance of Methanogenic Fixed Film Reactors", **Applied and Environmental Microbiology**, Vol.42, No.3, pp. 502-505.

Oleszkiewicz, J.A., and Thadani, V.J., 1988, "Effect of Biofilter Media on the Performance of Anaerobic Hybrid Reactor", **Environmental Technology Letters**, Vol. 9, pp. 89-100.

Olthof, M. and Oleszkiewicz, J., 1982, "Anaerobic Treatment of Industrial Wastewater", **Chemical Engineering**, Vol. 89, No. 23, pp. 121-126.

Sastry, C.A. and Vickineswaty, S., 1995, "Anaerobic Waste Treatment Plants", **In Waste Treatment Plants**, Edited by Sastry, C.A., Hashim, M.A. and Agamothu, P., New Delhi, Narosa Publishing House, pp. 179-204.

Sastry, C.A., and Vickineswaty, S., 1995, "Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed-Film Reactor-A Literature Review", **Water Science and Technology**, Vol. 15, No. 8, pp. 1-100.

Smolder, G.J.F., Van der Meij, J., van Loosdrecht, M.C.M. and Heijnen, 1994, “Model of the Anaerobic Metabolism of Biological Phosphorus Removal Process: Stoichiometry and pH Influence”, **Biotechnology and Bioengineering**, Vol. 43, No. 6, pp. 461-470.

Speece, R.E., 1996, **Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater**, Archaea Press, Tennessee, pp. 27

Strydom, J.P., Mostert, J.F. and Britz, T.J., 1995, “Anaerobic Treatment of a Synthetic Dairy Effluent using a Hybrid Digestion”, **Water SA**, Vol. 21, No. 2, pp. 125-130.

Suehara, K., Kawamoto, Y., Fujii, E., Kohda, J., Nakano, Y. and Yano, T., 2005, “Biological Treatment of Wastewater Discharged from Biodiesel Fuel Production Plant with Alkali-Catalyzed Transesterification”, **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Vol. 100, No. 4, pp. 437-442.

Wilkie, C.A., Riedesel, J.K., and Owens, M.J., 2000, “Stillage Characterization and Anaerobic Treatment of Ethanol Stillage from Conventional and Cellulosic Feed stocks”, **Biomass and Bioenergy**, Vol. 19, pp. 63-112.

Yang, Y., Tsukahara, K., and Sarayama, S., 2008, “Biodegradation and Methane Production from Glycerol-Containing Synthetic Wastes with Fixed-Bed Bioreactor under Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Condition”, **Process Biochemistry**, Vol. 43, pp. 362-367.

6. การผลิตนักศึกษา

นักศึกษาปริญญาโท 1 คน

7. สิ่งตีพิมพ์

Katakunpausarn, W., Buddhawong, S. and Chaiprasert, P. (2009), "Cassava Ethanol Stillage Treatment Using An Anaerobic Hybrid Reactor," Biotechnology: A Solution to the Global Economic Crisis, The 21st Annual Meeting and International Conference of Thai Society for Biotechnology, 23-24 September, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand.

ลงชื่อ _____
(หัวหน้าโครงการ)

วันที่ _____