รายงานการวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนโดยใช้กลยุทธ์การหมักร่วม

Enhanced Efficiency for Biogas Production from Distillery Wastewater of Community Refined Liquors Plant by Using the Co-Digestion Strategy

เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์
นวิทย์ เอมเอก
ธิวาริ โอภิธากร

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณกองทุนวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
พ.ศ.2558

ชื่องานวิจัย การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนโดยใช้กลยุทธ์การหมักร่วม
ผู้วิจัย เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์ , นวิทย์ เอมเอก และ ธิวาริ โอภิธากร
หน่วยงานที่สังกัด วิทยาลัยนวัตกรรมและการจัดการ
ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน (DWCRLP) โดยหมักร่วมแบบไร้อากาศกับของเสียกลีเซอรอล (GW) และกากน้ำตาล (ML) ความเป็นไปได้ของการใช้ GW และ ML เป็นสารหมักร่วมกับน้ำกากส่าของของโรงงานสุรากลั่นชุมชน (DWCRLP) ถูกตรวจสอบโดยใช้ bio-methane potential (BMP) โดยทำการทดสอบที่ความเข้มข้นของ GW และ ML ในช่วง 1-5% (v/v) กระบวนการหมักร่วมแบบไร้อากาศของ 5% GW กับน้ำกากส่าของของโรงงานสุรากลั่นชุมชน (DWCRLP) มีศักยภาพในการปรับปรุงคุณภาพและปริมาณของก๊าซชีวภาพ ให้การผลิตมีเทนและผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเป็น 2,245 ml และ 706 ml CH_4/g VSตามลำดับ เพิ่มขึ้นประมาณ 300% ซึ่งมากกว่าการย่อยสลายของ DWCRLP เพียงอย่างเดียว สมการ modified Gompertz model สามารถทำนายผลผลิตมีเทน (Methane yield) ได้เป็นอย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการทดลอง สังเกตได้จากค่าความเชื่อมั่นทางสถิติ (R^2) > 0.95 ในระบบต่อเนื่องใช้ถังปฏิกรณ์แบบ CSTR (DWCRLP+5%GW) ผลการทดลองแสดงให้ให้เห็นว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) เท่ากับ 4 g-COD/L.day ให้ผลผลิตมีเทนสูงสุด (Maximum methane yield) เท่ากับ 858 mLCH_4/g VS-added (352 mL-CH_4/g-$COD_{removed}$) และมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ 62.28% ซึ่งใกล้เคียงกับผลผลิตมีเทนที่ได้จากการทดลองแบบกะ (Batch) (706 mLCH_4/g VS-added)

Research Title Enhanced Efficiency for Biogas Production from Distillery Wastewater of Community Refined Liquors Plant by Using the Co-Digestion Strategy
Researcher Kiattisak Panpong, Nawit Amage and Thiwari Ophithakorn
Faculty College of Innovation and Management
Year 2015

Abstract

This research aimed to improve the biogas production from distillery wastewater of community refined liquors plant (DWCRLP) by anaerobic co-digestion with glycerol waste (GW) and molass (ML). The feasibility of using GW and ML as co-substrates in the anaerobic co-digestion with the DWCRLP was investigated using bio-methane potential (BMP) tests by varying the concentration of GW and ML in the range of 1 to 5% (v/v). The anaerobic co-digestion of 5% GW with DWCRLP has the best improvement in the quality and quantity of biogas and gave the maximum methane production and methane yield of 2,245 $mLCH_4$ and 706 $mLCH_4$/g VS, respectively, these were about 300% greater than those obtained from digestion pure DWCRLP. The modified Gompertz model gave a good prediction methane yield comparing to the experimental data, which had the high regression coefficient values (R^2>0.95). Continuous system, using CSTR reactor (DWCRLP+5%GW) showed that OLR 4 g-COD/L. day had the maximum methane yield 858 $mLCH_4$/g VS-added (352 mL-CH_4/g-$COD_{removed}$) and had the composition of methane as 62.28%, similar to the methane yield from the batch experiment (706 $mLCH_4$/g VS-added).

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณสำนักงานกองทุนวิจัย มหาวิทยาราชภัฏสงขลา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2558 ที่ให้การสนับสนุนทุนสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณผู้จัดการโรงงานสุรากลั่นวิสาหกิจชุมชน ปาริฉัตต์สุราทิพย์ที่ตั้ง 200/2 หมู่ 9 ต.ควนกาหลง อ.ควนกาหลง จ.สตูล ซึ่งผลิตสุรากลั่นชุมชนตราสินค้า “จ้าวพญา” ที่ให้ความอนุเคราะห์และความสะดวกในการเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย

ทีมผู้วิจัยกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

(ลงชื่อ) .....

(.....ดร.เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์.....)

สังกัด วิทยาลัยนวัตกรรมและการจัดการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

วันที่ 2 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2560

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	**ก**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ข**
กิตติกรรมประกาศ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**ฉ**
สารบัญรูปภาพ	**ช**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
ขอบเขตการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	**5**
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 การทดลอง	**15**
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	15
วิธีการทดลอง	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	**22**
คุณสมบัติทางเคมีของน้ำกากส่าและสารหมักร่วม	22
ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำกากส่าโดยใช้กลยุทธการหมักร่วมกับของเสียกลีเซอรอล	22
สัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการผลิตก๊าซมีเทนของน้ำกากส่าโดยใช้กลยุทธการหมักร่วมกับของเสียกลีเซอรอล	26
ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำกากส่าโดยใช้กลยุทธการหมักร่วมกับกากน้ำตาล	27
สัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการผลิตก๊าซมีเทนของน้ำกากส่าโดยใช้กลยุทธการหมักร่วมกับกากน้ำตาล	30

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล (ต่อ)	
เปรียบเทียบสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตก๊าซมีเทนระหว่างการใช้ของเสียกลีเซอรอลแลกากน้ำตาลเป็นสารหมักร่วม	31
การศึกษาในแบบจำลองแบบต่อเนื่องระดับห้องปฏิบัติการ (Lab-scale) ด้วยถังปฏิกรณ์แบบ CSTR โดยใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม	33
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	**36**
สรุปผล	36
ข้อเสนอแนะ	37
บรรณานุกรม	38
ประวัติผู้วิจัย	43

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ข้อดีและข้อจำกัดเทคโนโลยีการหมักร่วม	6
2.2	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่า (Distillery wastewater: DW)	11
3.1	แสดงอัตราส่วนของน้ำกากส่าต่อสารหมักร่วมที่ใช้ในการทดลอง	20
3.2	ความถี่และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วิเคราะห์ในการทดลองแบบต่อเนื่อง	21
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่า (DW) ของเสียกลีเซอรอล(GW) และกากน้ำตาล(ML) ที่ใช้ในการทดลอง	22
4.2	คุณสมบัติทางเคมีของน้ำกากส่า (DWCRLP) หลังเติมของเสียกลีเซอรอล (GW) ที่ความ	25
4.3	ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการของ Modified Gompertz model	25
4.4	ค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการของ Modified Gompertz model	27
4.5	คุณสมบัติทางเคมีของน้ำกากส่า (DWCRLP) หลังเติมของและกากน้ำตาล (ML)ที่ความเข้มข้น 1-5% (V/V)	29
4.6	ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการของ Modified Gompertz model	29
4.7	ค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการของ Modified Gompertz model	31

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ		หน้า
2.1	ชุดวิเคราะห์ศักยภาพในการผลิตมีเทน (Biochemical Methane Potential: BMP)	8
2.2	กระบวนการผลิตสุรากลั่นชุมชน	11
3.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (A) ถังปฏิกิริยา (B) กระบอกตวง (C) สายยาง (D) เครื่องวัด pH (E) อุปกรณ์อื่นๆ	16
3.2	หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง	17
3.3	น้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน	17
3.4	ของเสียกลีเซอรอล (Glycero; waste; GW)	18
3.5	กากน้ำตาล (Molasses; ML)	18
3.6	การทดสอบศักยภาพการผลิตมีเทน (A) ถังปฏิกรณ์แบบกะ(B) การวัดปริมาตรก๊าซชีวภาพ (C) การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ	19
3.7	ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	21
4.1	ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมจากกระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่า (DWCRLP) และของเสียกลีเซอรอล (GW)	24
4.2	องค์ประกอบของก๊าซมีเทน จากกระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่า (DWCRLP) และของเสียกลีเซอรอล (GW)	24
4.3	เปรียบเทียบผลผลิตมีเทนระหว่างการหมักเดี่ยว (Single-digestion) และการหมักร่วม(Co-digstion)	26
4.4	การเปรียบเทียบผลผลิตมีเทนสะสม (Cumulative methane yield) จากการทดลอง (Experimental data) และจากการทำนาย (Model prediction) โดยใช้สมการของ Modified Gompertz model	27
4.5	ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมจากกระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่า (DWCRLP) และกากน้ำตาล (ML)	28
4.6	องค์ประกอบของก๊าซมีเทนจากกระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่า (DWCRLP) และกากน้ำตาล(ML)	28
4.7	เปรียบเทียบผลผลิตมีเทนระหว่างการหมักเดี่ยว (Single-digestion) และการหมักร่วม(Co-digestion)	30

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพ		หน้า
4.8	การเปรียบเทียบผลผลิตมีเทนสะสม (Cumulative methane yield) จากการทดลอง (Experimental data) และจากการทำนาย (Model prediction) โดยใช้สมการของ Modified Gompertz model	31
4.9	เปรียบเทียบปริมาณมีเทนสะสมระหว่างการใช้ของเสียกลีเซอรอลและกากน้ำตาลเป็นสารหมักร่วมที่สภาวะการทดลองที่ดีที่สุด(Optimal condition)	32
4.10	เปรียบเทียบปริมาณมีเทนสะสมระหว่างการใช้ของเสียกลีเซอรอลและกากน้ำตาลเป็นสารหมักร่วมที่สภาวะการทดลองที่ดีที่สุด (Optimal condition)	33
4.11	ผลการทดลองแบบต่อเนื่องของกระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียโรงงานสุรากลั่นชุมชนกับของเสียกลีเซอรอลความเข้มข้น 1%(v/v): (A) COD removed, (B) Total VFA, Alkalinity and VFA/Alkalinity ratio, (C) Methane production rate, methane composition (%) and methane yield ในระบบ CSTR	35

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นของมนุษย์ในโลกปัจจุบันและทวีความสำคัญขึ้นเมื่อโลกยิ่งพัฒนามากยิ่งขึ้น แหล่งพลังงานค่อย ๆ เปลี่ยนไปเป็นแหล่งพลังงานที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีในการผลิตมากยิ่งขึ้น จากน้ำมันปิโตรเลียมไปเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานหลายประเภทด้วยกัน แต่อาจจะมีในปริมาณค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ บางครั้งวิกฤตการณ์ของโลกอาจจะทำให้ประเทศไทยได้รับอิทธิพลอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งนี้เพราะประเทศไทยยังต้องมีการสั่งน้ำมันเข้าเป็นจำนวนมากการเพิ่มขึ้นของประชากร ส่งผลให้ความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้น ปัญหาที่ตามมาคือ การลดลงอย่างต่อเนื่องของแหล่งพลังงานน้ำมันปิโตรเลียม ดังนั้นการหาแหล่งพลังงานใหม่หรือการผลิตเชื้อเพลิงขึ้นมาทดแทน จึงได้รับความสนใจมากขึ้น พลังงานทางเลือก เช่น ก๊าซชีวภาพ (Biogas) น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Biodiesel) และแอลกอฮอล์ชีวภาพ (Bioalcohol) จึงถูกวิจัยและพัฒนาขึ้นอย่างกว้างขวาง พลังงานทางเลือกที่ได้รับความสนใจในการพัฒนาเพื่อเป็นพลังงานทดแทนและใช้อย่างกว้างขวางในระดับชุมชนและอุตสาหกรรม คือ ก๊าซชีวภาพ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน(anaerobic digestion) ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน ผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม และนำไปอัดใส่ถังด้วยความดันสูง เรียกว่าก๊าซชีวภาพอัด สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ ที่รู้จักกันในชื่อว่า compressed biomethane gas (CBG) คือ การใช้กลยุทธ์ในการจัดการของเสียเพื่อปรับเปลี่ยนของเสียเป็นแหล่งทรัพยากรสำหรับอนาคต (Lens, 2004) การบำบัดของเสียอินทรีย์เป็นทางเลือกที่เหมาะสมเพราะสามารถเปลี่ยนเป็นสินทรัพย์ได้ วิธีการหนึ่งที่สามารถบรรลุจุดมุ่งหมายดังกล่าวได้คือการใช้วิธีการบำบัดทางชีวภาพ ซึ่งเป็นตัวอย่างของการสนับสนุนลู่ทางของพลังงานสีเขียวและเป็นการบำบัดของเสียในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้การบำบัดดังกล่าวยังให้ก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้อีกด้วย ปัจจุบันก๊าซชีวภาพเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนหรือพลังงานทางเลือกที่กำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยส่วนใหญ่ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ เช่น น้ำทิ้งและกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงกากของเสียจากชุมชน ด้วยวิธีการทางชีวภาพ (Biological Treatment) ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Condition) ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) (Shafiei, et al., 2013) องค์ประกอบส่วนใหญ่ของ "ก๊าซชีวภาพ" ประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 60-65% โดยปริมาตร ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 34-39% และก๊าซอื่น ๆ ประมาณ 1% เช่น ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดังนั้นก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้แทนเชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อให้ความร้อนและผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในอนาคตอันใกล้ (Ward, et al., 2008) นอกจากได้พลังงานแล้วการย่อยสลายแบบไร้อากาศยังมีข้อดี คือ กำจัดสารอินทรีย์ได้สูง ใช้พลังงานน้อย ตะกอนส่วนเกินเกิดขึ้นน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการย่อยสลายแบบใช้อากาศ (Chowdhury et al., 2010; Serrano et al., 2013)

การใช้พลังงานของประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ ทำให้มีการขยายตัวของอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นสาเหตุทำให้อัตราความต้องการใช้พลังงานของประเทศ การขยายตัวของภาคธุรกิจการผลิตพลังงานทดแทนซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษและส่งผลดีต่อสภาพแวดล้อมของโลก ตลอดจนลดปัจจัยการเกิดภาวะโลกร้อนอันส่งผลกระทบรุนแรงอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ทั้งยังสามารถลดต้นทุนการผลิตในด้านเศรษฐกิจสาขาต่างๆ ได้นับว่าส่งผลดีต่อประเทศอย่างมหาศาล นอกจากนี้พลังงานทางเลือกยังทำให้ประเทศเราไม่ผูกขาดกับแหล่งพลังงานใดเพียงแหล่งเดียว แต่ถือเป็นโอกาสดีที่ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในแต่ละภาคส่วนจะได้มีโอกาสพัฒนา ค้นคว้าและค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนอื่นๆ มากขึ้น ตลอดจนผลักดันให้พลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทน เป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาศักยภาพของประเทศ (กษิดิศ เสนะวงศ์) ปัจจุบันการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ของประเทศไทย เช่น ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินและไฟฟ้า เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.5 ในขณะที่การใช้พลังงานทดแทนรวม เช่น ไม้ ถ่าน แกลบและก๊าซชีวภาพ มีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.3 (Jaruwongwittaya& Chen, 2010) โดยเฉพาะก๊าซชีวภาพ ซึ่งกำลังได้รับความสนใจจากทั่วโลกเนื่องจากสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลายประเภท มีศักยภาพ ให้พลังงานสูงและเปลี่ยนเป็นพลังงานอื่นได้ง่าย การปรับปรุงกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ให้เป็นพลังงานที่สะอาดและมีคุณภาพสูงขึ้นนั้น จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจเพราะสามารถพัฒนาเป็นแหล่งพลังงานที่ยั่งยืนของประเทศในอนาคตได้

โรงงานสุราเป็นตัวอย่างหนึ่งที่ใช้พลังงานจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากการบำบัดน้ำกากส่ามาทดแทนเชื้อเพลิงบางส่วนที่ใช้ภายในโรงงาน โดยเฉพาะสุรากลั่นชุมชนถึงแม้ว่าปริมาณน้ำเสียจะไม่มากเหมือนกับโรงงานสุราขนาดใหญ่ แต่คุณสมบัติของน้ำกากส่าหรือน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการกลั่นมีคุณสมบัติไม่แตกต่างกัน ถ้าสามารถนำเอาน้ำกากส่าดังกล่าวมาผลิตก๊าซชีวภาพได้จะทำให้โรงงานสุรากลั่นชุมชนสามารถลดค่าใช้จ่ายเรื่องต้นทุนพลังงานได้เป็นอย่างมาก เนื่องจากปัจจุบันโรงงานดังกล่าวใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงหลัก ดังนั้นการที่โรงงานสามารถผลิตก๊าซชีวภาพไว้ใช้เองได้พร้อมกับสามารถบำบัดน้ำเสียไปพร้อมๆ กัน จะส่งผลให้โรงงานมีศักยภาพในการแข่งขันทางการตลาดได้มากขึ้น แต่ด้วยข้อจำกัดบางประการทำให้น้ำกากส่ามีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียประเภทอื่น ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวสามารถสรุปได้จากรายงานของ Westerhom et al. (2012)ดังนี้ (i) อัตราส่วน C/N ต่ำ (< 15) เนื่องจากมีปริมาณของโปรตีนสูงซึ่งมีแนวโน้มจะถูกย่อยสลายกลายเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนได้อย่างรวดเร็วและเป็นจำนวนมากในสภาวะไร้อากาศ (ii) ปริมาณของซัลเฟตสูง เนื่องจากการใช้กรดซัลฟิวริกในการปรับค่าพีเอสระหว่างกระบวนการหมักส่งผลให้ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศเกิดการผลิตมีเทนลดลงแต่จะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงขึ้น ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์จะยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทน (iii) buffer capacity และปริมาณของ trace elements ต่ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงด้วย ทางเลือกหนึ่งที่มีความน่าสนใจในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือ การใช้กลยุทธ์การหมักร่วม (Co-digestion strategies) เนื่องจากข้อดีของหมักร่วมคือ ปรับสมดุลปริมาณสารอาหารในระบบทำให้อัตราส่วน C/N สูงขึ้น ช่วยเจือจางสารพิษที่มีผลต่อของจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนในน้ำทิ้ง ส่งผลให้ผลผลิตมีเทน (Methane yield) สูงขึ้น (Kangle et al., 2012; Hosseini et al., 2014) โดยอัตราส่วน C/N ที่เหมาะสม คือ 25-32 (Angelidaki&Ellegaard, 2003)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาความเป็นไปได้ในใช้กลยุทธ์การหมักร่วม (Co-digestion strategies) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าของของโรงงานสุรากลั่นชุมชนโดยการใช้กากน้ำตาล (Molasses) และของเสียกลีเซอรอล (Glycerol waste) จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เป็นสารหมักร่วม (Co-substrate) โดยแบ่งย่อยวัตถุประสงค์หลักออกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน

1.2.2 เพื่อคัดเลือกสารหมักร่วมที่ดีที่สุดที่ทำให้กระบวนการหมักร่วมเป็นแบบส่งเสริมกัน (Positive synergisms) ในการผลิตมีเทนจากน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงอัตราส่วนของการหมักร่วมและระยะเวลาการหมักที่เหมาะสมระหว่างน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนและสารหมักร่วม

1.2.4 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ (Kinetic Coefficients) ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.3.1 ผลการดำเนินโครงการสามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่ในการนำกลยุทธ์การหมักร่วม (Co-digestion technology) มาเป็นเครื่องมือในการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนทำให้ผลผลิตก๊าซมีเทน (Methane yield) เพิ่มสูงขึ้น

1.3.2 สามารถเผยแพร่ผลงานในรูปบทความนำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับชาติซึ่งสามารถเป็นองค์ความรู้ต่อยอดในงานวิชาการอื่นๆในอนาคตและเป็นต้นแบบของงานวิชาการที่คิดบนพื้นฐานการนำไปใช้จริงเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการพัฒนาประเทศเป็นงานวิชาการที่เพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลแก่อุตสาหกรรมผลิตก๊าซชีวภาพ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนก่อนและหลังจากการเติมหมักร่วม (Co-substrate) โดยวิเคราะห์เฉพาะในส่วนของสภาวะที่ดีที่สุด (Optimal condition) หลังจากกระบวนการหมักร่วมเปรียบเทียบกับน้ำกากส่าเริ่มต้นเท่านั้น ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ค่า COD, Total solid (TS), Volatile solid (VS), Volatile fatty acid (VFA), Alkalinity, TKN, Sulfate, โปรตีน, คาร์โบไฮเดรตและไขมัน

1.4.2 สำรวจข้อมูลเบื้องต้น โดยคำนึงถึงปริมาณ หาได้ง่าย เป็นของเสียที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจต่ำ ซึ่งของเสียที่ใช้ในการศึกษาสำหรับใช้เป็นวัสดุหมักร่วม คือ กากน้ำตาลและของเสียกลีเซอรอล ซึ่งวัสดุดังกล่าวมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ย่อยได้ง่าย และการเก็บรักษาทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก

1.4.3 นำของเสียทั้ง 2 ประเภท มาทำการทดลองหาศักยภาพในการผลิตมีเทน (Biochemical Methane Potential: BMP) เพื่อหาชนิดของของเสียและอัตราส่วนระหว่างน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนและสารหมักร่วม ที่ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงที่สุด

จากนั้นนำอัตราส่วนที่ดีที่สุดมาทำการทดลองเดินระบบแบบต่อเนื่องด้วยถังปฏิกรณ์ชนิด CSTR เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับถังปฏิกรณ์แบบกะ

1.4.4 ใช้แบบจำลอง Modified Gompertz model (MGM) ในการทำนายการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กลยุทธ์การมักร่วม กลไกการสร้างมีเทน กรรมวิธีการผลิตสุรา การหมักร่วม สารหมักร่วม ศักยภาพการผลิตมีเทน และน้ำกากส่า ร่วมถึงงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การใช้กลยุทธ์การหมักร่วมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าของโรงงาสุรากลั่นชุมชนได้ เนื่องจากการหมักร่วมช่วยปรับสมดุลปริมาณสารอาหารในระบบทำให้อัตราส่วน C/N สูงขึ้น ช่วยเจือจางสารพิษที่มีผลต่อของจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนในน้ำทิ้ง ส่งผลให้ผลผลิตมีเทน (Methane yield) สูงขึ้น

2.1.2 กลไกของการสร้างมีเทน

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่ไม่มีไนเตรทอยู่ด้วยจะมีแบคทีเรียอาศัยอยู่ในระบบร่วมกัน 3 กลุ่มใหญ่ๆได้แก่แบคทีเรียสร้างกรดแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต สาเหตุที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีแบคทีเรียหลายกลุ่มอาศัยอยู่ร่วมกันเป็นเพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตใช้สารอาหารได้จำกัดชนิดซึ่งมักเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กทำให้แบคทีเรียสร้างกรดใช้สารอินทรีย์ได้ก่อนและเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นกรดอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงต่อจากนั้นแบคทีเรียรีดิวซ์-ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนจึงใช้กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นนั้นต่อไป

2.1.3 กรรมวิธีการผลิตสุรา

สุราเป็นเครื่องดื่มที่ได้จากการผสมแอลกอฮอล์ (alcohol) น้ำ และส่วนผสมอื่นๆ เพื่อให้มีรสชาติและสีแตกต่างกันไป สุราแบ่งตามประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ (มาลี วิศวาจารย์, 2531)

- สุราที่ผลิตจากเมล็ดธัญญพืช (Grain Distilleries) ได้แก่ สุราประเภทสก็อชวิสกี้ (Scotch Whiskey) ผลิตจากเมล็ดธัญญพืชต่างๆ เช่น ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ข้าวบาเลย์ เป็นต้น
- สุราที่ผลิตจากผลไม้ (Fruit Distilleries) เช่น สัปปะรด องุ่น เป็นต้น ได้แก่ สุราประเภท ไวน์ (Wine) บรั่นดี (Brandy) แชมเปญ (Champagne)
- สุราที่ผลิตจากกากน้ำตาล (Molasses Distilleries) เช่น สุราขาว สุราผสม รัม(Rum) เป็นต้น

2.1.4 การหมักร่วม (Co-digestion)

การหมักร่วม หมายถึง การย่อยสลายของของเสียอินทรีย์ตั้งแต่สองหรือสามชนิดในเวลาเดียวกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (anaerobic digestion process) (Kangle et al., 2012). ซึ่งสารที่นำมาเติมในกระบวนการเรียกว่าสารหมักร่วม (Co-substrate) เช่น มูลสัตว์ กลีเซอรอล กากน้ำตาล เศษชีวมวลทางการเกษตร เป็นต้น ถ้ากระบวนการหมักร่วมเป็นแบบส่งเสริมกัน (positive synergisms) จะช่วยปรับปรุงอัตราส่วนคาร์บอนต่อ

ไนโตรเจน (C/N ratio) ในระบบให้มีความสมดุล ทำให้ผลผลิตมีเทน (Methane yield) สูงขึ้น เนื่องจากค่าอัตราส่วน C/N มีความสำคัญต่อเสถียรภาพของกระบวนเพราะว่าเป็นตัวกำหนดสุขภาพของจุลินทรีย์ภายในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ ถ้าอัตราส่วน C/N สูงเกินไปไนโตรเจนจะถูกใช้หมดอย่างรวดเร็วหากมีไนโตรเจนไม่เพียงพออัตราการเกิดเซลล์จุลินทรีย์จะลดลงปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้น้อยลงแต่ถ้าหากอัตราส่วน C/N ต่ำเกินไปจะทำให้ไนโตรเจนมากเกินความจำเป็นจุลินทรีย์จะย่อยสลายไนโตรเจนส่วนเกินก่อให้เกิดแอมโมเนียไนโตรเจนซึ่งอาจจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์และยับยั้งการทำงานของระบบได้ (Kangle et al., 2012; Hosseini et al., 2014)Santibáñez et al. (2011) รายงานว่า กระบวนการหมักร่วมช่วยให้ผลผลิตมีเทนเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 50-200 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการทดลองและสารหมักร่วมอีกทั้งในปัจจุบันความต้องการพลังงานของโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานมีความสำคัญ ซึ่งการใช้กลยุทธ์การหมักร่วมเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความน่าสนใจ เนื่องจากมีความเหมาะสมและมีความเป็นไปได้มากที่สุดในปัจจุบันสำหรับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวช่วยเพิ่มผลผลิตมีเทนได้ซึ่งกระบวนการหมักร่วมมีข้อดีและข้อจำกัด ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อจำกัดเทคโนโลยีการหมักร่วม

ข้อดี	ข้อจำกัด
- ปรับปรุงปริมาณสารอาหารในระบบให้สมดุล	- เพิ่มความเข้มข้นของค่าซีโอดีในน้ำทิ้ง
- เจือจางสารพิษในระบบ	- ต้องทำการกระบวนปรับสภาพสำหรับสารหมักร่วมบางชนิด
- เพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในระบบ	- ต้องมีระบบกวนผสม (Mixing)
- ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ	- มีต้นทุนเพิ่มขึ้นในเรื่องการขนส่งสารหมักร่วม
- ลดกลิ่น	

(ที่มา: Braun, 2002; Astals et al., 2011)

2.1.5 สารหมักร่วม (Co-substrates)

ของเสียกลีเซอรอล (Glycerol waste) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยของเสียกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการผลิตคิดเป็นร้อยละ 10 ของวัตถุดิบ (Yazdani&Gonzalez, 2007) ในปี 2011 ทั้งโลกมีปริมาณของของเสียกลีเซอรอลประมาณ 3,000,000 ตัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเป็น 4,600,000 ตัน ในปี 2020 โดยขึ้นกับการขยายการผลิตของการผลิตไบโอดีเซล (Viana et al., 2012) จากปริมาณที่มากทำให้อุปทาน (Supply) ของเสียกลีเซอรอลมีปริมาณเกินความต้องการใช้ (Demand) จึงเป็นของเสียที่เหลือและมีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่ำ (Siles et al.,, 2009) ทำให้ของเสียกลีเซอรอลมีความน่าสนใจที่จะไปใช้ในกระบวนการหมักร่วม เนื่องจากมีค่าซีโอดีสูง ราคาถูก สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นานโดยไม่เน่าเสียและย่อยสลายได้ง่ายภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Jingxing et al., 2008; Ma et al., 2008; Hutnan et al., 2009) นอกจากนี้ข้อดีของการใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นสารหมักร่วมในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ คือ ช่วยเพิ่มอัตราส่วน

C/N และช่วยเจือจางสารพิษในระบบได้ เนื่องจากของเสียกลีเซอรอลมีปริมาณคาร์บอนสูง (Fountoulakis, &Manios, 2009)

2.1.6 ขั้นตอนของการย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเป็นก๊าซมีเทน

กระบวนการย่อย (Hydrolysis) เป็นขั้นตอนที่หนึ่งคือกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงซ้อนที่มีโมเลกุลใหญ่ ให้สามารถละลายน้ำได้ง่าย โดยจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ออกมานอกเซลล์จุลินทรีย์ภายนอกเซลล์ (Extracellular enzymes) เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เป็น น้ำตาล กรดไขมันสายยาว และกรดอะมิโน

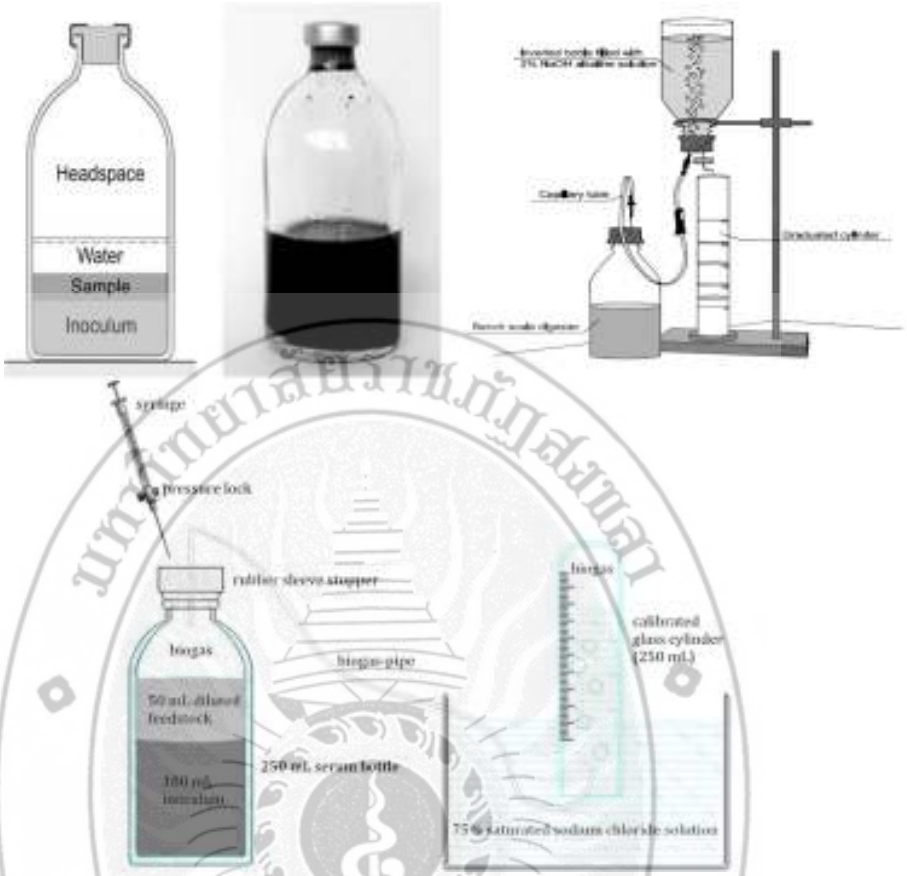
ขั้นที่สองเป็นขั้นตอนเอซิโดจีนีก (Acidogenic) หรือขั้นตอนการหมัก (Fermentation) โดยสารประกอบที่ผ่านการย่อยจากกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) จะถูกแบคทีเรียกลุ่มการหมัก (Fermentative Bacteria) ย่อยสลายเป็นกรดไขมันสายสั้นๆ(VFAs) (คาร์บอน C1-C5 เช่น กรดบิวทีริกกรดโพรพิโอนิอะซิเตท และกรดอะซิติก) แอลกอฮอล์ ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์

ขั้นที่สามเป็นขั้นตอนอะซิโตจินิก (Acetogenesis) แบคทีเรียกลุ่มอะซิโตจินิ (Acetogenic bacteria) จะเปลี่ยนสารที่ได้จากกระบวนการหมัก (Fermentation) ไปเป็น กรดอะซิเตท กรดฟอร์มิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้ (Acetogenesis) มีความสำคัญเนื่องจากเป็นการลดการสะสมกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งการสะสมกรดไขมันระเหยง่ายในปริมาณสูงสามารถยับยั้งการสร้างมีเทนได้

ขั้นสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ คือ กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) โดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) จะใช้ อะซิเตท คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนเพื่อผลิตเป็นมีเทน ขั้นตอนการสร้างมีเทนเป็นจุดสำคัญของหลายการศึกษาเนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนมีความไวต่อการยับยั้งโดยสารตัวกลางที่เป็นกรด (Li et al., 2011)

2.1.7 ศักยภาพในการผลิตมีเทน (Biochemical Methane Potential: BMP)

การวิเคราะห์ BMP สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนได้ในรูปแบบของปริมาณมีเทนสูงสุดที่ผลิตได้ต่อกรัมของกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งการวิเคราะห์ BMP จะทำในถังปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) ภายใต้สภาวะการทดลองแบบไร้อากาศ (Esposito et al., 2012) ซึ่งชุดวิเคราะห์ BMP แสดงดังภาพที่2.1สมการที่ใช้ในการคำนวณค่า BMP แสดงดังสมการที่ 1 และ 2



ภาพที่ 2.1 ชุดวิเคราะห์ศักยภาพในการผลิตมีเทน (Biochemical Methane Potential: BMP)

(**ที่มา :**ดัดแปลงจาก Angelidaki& Sanders, 2004; Esposito et al., 2012; Zhang et al., 2014)

$$BMP(\frac{mlCH_4}{gVS}) = \frac{mlCH_4 produced}{\frac{gVS(substrate)}{L} xL(substrate;in,bottle)} \quad (2.1)$$

$$BMP(\frac{mlCH_4}{gCOD}) = \frac{mlCH_4 produced}{\frac{gCOD(substrate)}{L} xL(substrate;in,bottle)} \quad (2.2)$$

นอกจากนี้การวิเคราะห์ BMP สามารถอธิบายในรูป LCH_4/kg-waste, LCH_4/L-waste, mass volatile solids added (LCH_4/kg-VS)$_{added}$ or COD added (LCH_4/kg-COD)$_{added}$ (Angelidaki& Sanders, 2004).

2.1.8 สัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ (Kinetic Coefficients)

ในการทดลองนี้ใช้ สมการ First-order kinetic model และ Modified Gompertz Model อธิบายถึงการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าของโรงงาสุรากลั่นชุมชน ภายใต้สภาวะแบบไร้อากาศ ดังแสดงในสมการที่ (2.3)-(2.5)

2.1.8.1 First-order kinetic model (FKM)

สมการ FKMใช้อธิบายถึงจลนพลศาสตร์ของกระบวนการหมักมีเทน (methane fermentation) ของสารอินทรีย์หรือของเสียอินทรีย์ทั่วไป (Zhang et al., 2014) สมการ FKM แสดงในสมการที่ (2.3) และ (2.4) ซึ่งสมการที่ (2.4) จะเขียนในรูปแบบของสมการเส้นตรง ซึ่งความชันก็คือ ค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลาย (Hydrolysis rate constant)

โดยที่ M(t) คือ ผลผลิตมีเทนสะสม ($mLCH_4$/g VS-added); Mmaxคือ ผลผลิตมีเทนสูงสุด ($mLCH_4$/g VS-added); K คือ ค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลาย (day^{-1}) และ t คือ เวลา (day)

$$M(t) = M_{\max} x(1 - e^{-kt}) \tag{2.3}$$

$$-Kt = \ln\left[1 - \frac{M(t)}{M_{\max}}\right] \tag{2.4}$$

2.1.8.2 Modified Gompertz model (MGM)

สมการ MGMเป็นอีกสมการหนึ่งที่ใช้อธิบายถึงจลนพลศาสตร์ของกระบวนการหมักมีเทน โดยที่ G (t) คือ ผลผลิตมีเทนสะสม ($mLCH_4$/g VS-added); G_0คือ ผลผลิตมีเทนสูงสุด ($mLCH_4$/g VS-added); R_{max}คือ อัตราการผลิตมีเทนสูงสุด ($mLCH_4$/g VS-day); e คือexp(1) = 2.7183; และ λ คือ ระยะเวลาปรับในการผลิตมีเทน (day) (Kafle et al., 2013) ซึ่งค่า λ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากเนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Zhang et al., 2014) ซึ่งค่าλ สามารถสามารถคำนวณได้จากสมการที่

$$G(t) = G_0 . \exp\left\{-\exp\left[\frac{R_{\max} . e}{G_0}(\lambda - t) + 1\right]\right\} \tag{2.5}$$

2.1.9 ขั้นตอนของการย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเป็นก๊าซมีเทน

กระบวนการย่อย (Hydrolysis) เป็นขั้นแรกของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงซ้อนที่มีโมเลกุลใหญ่ ให้สามารถละลายน้ำได้ง่าย โดยจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ออกมานอกเซลล์จุลินทรีย์ภายนอกเซลล์ (Extracellular enzymes) เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เป็น น้ำตาล กรดไขมันสายยาว และกรดอะมิโน

ขั้นที่สองเป็นขั้นตอนเอซิโดจีนีก (Acidogenic) หรือขั้นตอนการหมัก (Fermentation) โดยสารประกอบที่ผ่านการย่อยจากกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) จะถูกแบคทีเรียกลุ่มการหมัก (Fermentative Bacteria) ย่อยสลายเป็นกรดไขมันสายสั้นๆ(VFAs) (คาร์บอน C1-C5 เช่น กรดบิวทีริกกรดโพรพิโอนิอะซิเตท และกรดอะซิติก) แอลกอฮอล์ ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์

ขั้นที่สามเป็นขั้นตอนอะซิโตจินิก (Acetogenesis) แบคทีเรียกลุ่มอะซิโตจินิ (Acetogenic bacteria) จะเปลี่ยนสารที่ได้จากกระบวนการหมัก (Fermentation) ไปเป็น กรดอะซิเตท กรดฟอร์มิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้ (Acetogenesis) มีความสำคัญเนื่องจากเป็นกาลดการสะสมกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งการสะสมกรดไขมันระเหยง่ายในปริมาณสูงสามารถยับยั้งการสร้างมีเทนได้

ขั้นสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ คือ กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) โดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) จะใช้ อะซิเตท คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนเพื่อผลิตเป็นมีเทน ขั้นตอนการสร้างมีเทนเป็นจุดสำคัญของหลายการศึกษาเนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนมีความไวต่อการยับยั้งโดยสารตัวกลางที่เป็นกรด (Li et al., 2011)

2.1.10 น้ำกากส่า (Distillery wastewater)

น้ำกากส่า คือ ของเหลวที่เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตสุราหรือแอลกอฮอล์ มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้ม อุณหภูมิสูง ความเป็นกรดและค่าซีโอดีสูง (บุษวรรณ, 2551)โดยโรงงานสุราที่มีกำลังผลิตวันละ 50,000 ลิตรต่อวัน จะมีปริมาณน้ำทิ้งหรือน้ำกากส่าประมาณ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน การจัดการน้ำกากส่าเป็นปัญหาใหญ่ของโรงงานสุรา เนื่องจากมีปริมาณมากและยากต่อการบำบัด (สุนันท์, 2547) จึงต้องมีการจัดการอย่างเหมาะสมและถูกต้องเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจุบันมีแนวแนวทางในการจัดการน้ำกากส่าได้หลายวิธี เช่น การระเหยและการเผา เป็นวิธีการเคี่ยวน้ำกากส่าให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น จากนั้นนำไปฉีดเข้าเตาเผาภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถนำทดแทนน้ำมันเตาในระบบหอกลั่นได้ นอกจากนี้ยังน้ำกากส่าไปหมักภายใต้สภาวะไร้อากาศเพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพมาทดแทนน้ำมันเตา และการทำปุ๋ยหมักโดยการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาหมักร่วมกับน้ำกากส่า เมื่อการหมักสมบูรณ์จะได้ปุ๋ยหมักสีดำเข้ม น้ำกากส่ายังสามารถนำไปใช้ในการเกษตรได้โดยตรง โดยการปล่อยน้ำ’กากส่าเข้านาข้าว ไร่อ้อยโดยตรง ซึ่งจะใช้ใส่ในฤดูแล้งหรือขณะที่นาข้าวอยู่หลังการเก็บเกี่ยว เป็นต้น (ไพจิตรากระแจหิน, 2552) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่าดังแสดงในตารางที่ 2.2

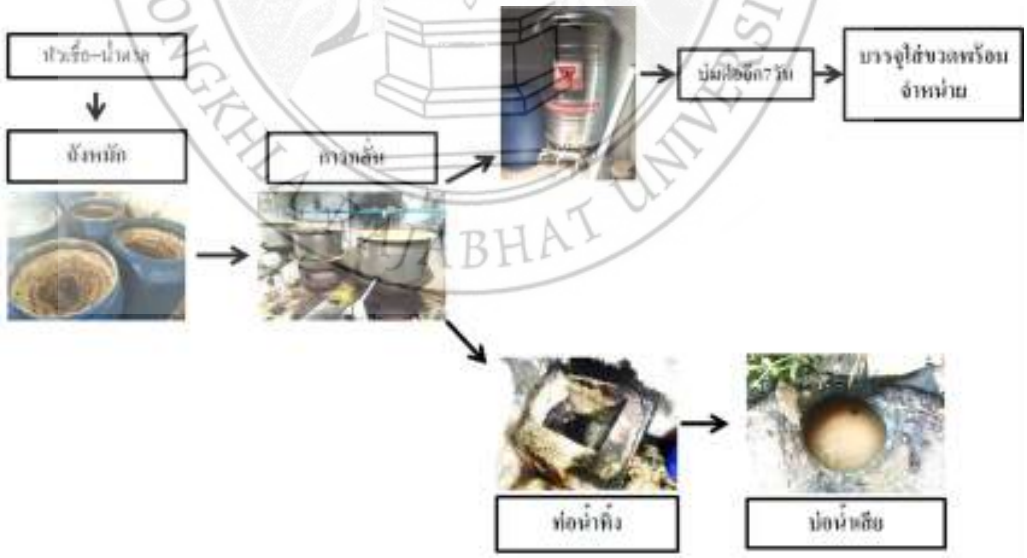
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่า (Distillery wastewater: DW)

องค์ประกอบ	DW
pH	3.6
COD (g/L)	150
VFA (g/L)	1.1-2.1
TKN (g/L)	1.4
TS (%)	12
VS (%)	10.2
Protein (g/L)	7.7
Carbohydrate(g/L)	84.5
Lipids(g/L)	0.99
Glucose (g/l)	10.3
Phenols (g/l)	0.061
Sulfate (g/l)	4-5
C/N ratio	10

ที่มา : ดัดแปลงจาก (ประภัสรา ชูสุวรรณ, 2550, Kaparaju et al, 2010, Westerholm et al., 2012)

2.1.11 วิสาหกิจชุมชน ปาริฉัตรสุราทิพย์

วิสาหกิจชุมชน ปาริฉัตต์สุราทิพย์ ที่ตั้ง 200/2 หมู่ 9 ต.ควนกาหลง อ.ควนกาหลง จ.สตูล เป็นโรงงานผลิตสุรากลั่นขนาดเล็ก ซึ่งใช้น้ำตาลโตนดเป็นวัตถุดิบหลัก ดังภาพที่ 2.2 ในการผลิต มีกำลังการผลิตประมาณ 1,000 ขวดต่อเดือน มีน้ำเสียน้อยประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน เนื่องจากไม่มีการผลิตต่อเนื่องตลอดทั้งเดือน มีการผลิตและสต๊อกสินค้า ตามการสั่งซื้อของลูกค้า



ภาพที่ 2.2 กระบวนการผลิตสุรากลั่นชุมชน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Co-digestion process	Mixture ratio	C/N ratio	Methane/Biogas yield	Reactor	OLR	Results and comment	Reference
1) Potato processing wastewater + Crude glycerol	Adding 2 mL glycerol per liter of raw wastewater	-	740 mL Biogas/mL glycerol	UASB	11.7 g COD/L. d	Glycerol was a feasible and economically interesting co-substrate to enhance the anaerobic treatment of industrial wastewaters.	Ma et al., 2008
2) Pig manure(PM)+ Glycerol waste	80:20% on weight basis (w/w)	23.4	212 ml CH_4/g COD-added	Batch	-	This mixture produced about 125% more methane than when PM was mono-digested.	Astals et al. 2011
3) Cow manure+ Molasses	95:5 % on weight basis (w/w)	-	300 mLCH_4/g VS-added	CSTR	4.5 gVS/(L-reactor.d	co-digestion with manure can be a good strategy	Fang et al., 2011
4) Pig manure(PM) + Glycerol	96:4 % on weight basis (w/w)	12.5 (PM 100% =3.1)	740 mL biogas/g VS-added	CSTR	1.90 g VS/L. d	An increase of about 400% in biogas production was obtained under mesophilic conditions.	Astals et al., 2012
5) Pig manure(PM) + Biodiesel waste(BW)	95:5 % on weight basis (w/w)	-	900 mL Biogas/L-reactor. d	CSTR	1–1.5 g COD/L. d	COD removal efficiency of 85%.	Regueiro et al., 2012
6) Glycerol waste + Pig manure(PM)	80:20% on COD basis	20	320 ml CH_4/g COD-removed	UASB	1.6 g COD/L. d	The methane content was 54% on average.	Nuchdang & Phalakornkule, 2012
7) Pig manure(PM) + Glycerol (Thermophilic condition 55°C)	97:3 % on weight basis (w/w)	-	470 mL Biogas/g VS-added (mono-digestion of pig manure as 170 mL Biogas/g VS-added)	CSTR	2.4-2.7 g COD/L. d	- The specific biogas production of the co-digester was 180% higher than the one obtained by the reference digester, which was only fed with pig manure.	Astals et al., 2013

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

Co-digestion process	Mixture ratio	C/N ratio	Methane/Biogas yield	Reactor	OLR	Results and comment	Reference
8) Fish waste(FW)+ Bread waste (BW)	20:80% on TS basis	-	458 mLCH_4/g VS-added	Batch	-	-	Kafle et al., 2013
9) Glycerol waste+ Orange peel waste	1:1 on COD basis	-	330 mLCH_4/g VS-added	CSTR	1.91 kg VS/m^3 .d	-	Martin et al., 2013
10) Thin stillage + poultry litter	60:40% (w/w)	-	-	Thermophilic CSTR	-	-Increasing the biogas volume, percent methane and COD removal,	Sharma et al., 2013
11) canned seafood wastewater (CSW) + glycerol waste (GW)	99:1%(v/v)	26	577 mLCH4/g VS-added	UASB	2 g COD/L. d	-Methane yield increased by 108% when compared with digested CSW alone	Panpong et al., 2014
12) canned seafood wastewater (CSW) + glycerol waste (GW) +*Wolffia arrhiza* (WA)	94: 1: 5%(v/v)	27	789 mLCH4/g VS-added	UASB	4 g COD/L. d	-Methane yield increased by 184% when compared with digested CSW alone	Panpong et al., 2014
13) Sewage sludge + crude glycerol	97:3% (v/v) (studied between 0,2,3 and 4%(v/v) of crude glycerol)	-	800 mL Biogas/g TVS-removed	CSTR	1.0 - 1.7 kg COD/m^3 .d	-The addition of 3% glycerol at HRT of 12.3 d resulted in the higher amount of biogas production, while the effluent quality remained good. However when 4% glycerol added, the system failed due to overloading.	Athanasoulia et al., 2014

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

Co-digestion process	Mixture ratio	C/N ratio	Methane/Biogas yield	Reactor	OLR	Results and comment	Reference
14) Molasses wastewater + Sewage sludge	7:3 based on volume	-	270 ml CH_4/g COD-removed	Two-Stage (CSTR+UASB)	13.7 g COD/L.d	- Methane content in the biogas ranged from 74.4 to 82.8. - High COD removal efficiencies of 97 at HRT 84 hr.	Lee et al., 2014
15) Activated sludge + molasses	90: 10 %(v/v)	-	275 mLCH_4/g VS-added	CSTR	2.5 g COD/L.d	-Co-digestion of molasses with A-sludge also resulted in a high methane production. - Volumetric methane production rates up to 1.01 L/ L.d	Vrieze et al., 2015

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าของโรงงานผลิตสุรากลั่นชุมชนมีเครื่องมือและอุปกรณ์ ที่ใช้ในการหาศักยภาพของก๊าซมีเทน โดยใช้วัตถุดิบ หัวเชื้อจุลลินทรีย์ น้ำกากส่าที่ได้จากโรงงานสุรากลั่นชุมชน และสารหมักร่วมกลีเซอรอล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ รวมทั้งการหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ (Kinetic Coefficients)

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 ถังปฏิกิริยาถังปฏิกิริยาในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 11 ขวด ขนาดของขวดมีขนาด 1000 มิลลิลิตร โดยที่ฝาขวดจะปิดด้วยจุกยาง และครอบด้วยฝาแคป (ภาพที่ 3.1 A) ในขวดจะประกอบไปด้วยน้ำกากส่า สารมักร่วมกลีเซอรอล และจุลินทรีย์ ในปริมาณตามสัดส่วนที่ได้ทำการศึกษา

3.1.1.2 กระบอกตวงใช้สำหรับการวัดปริมาณของมีเทนที่ได้จาการเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพดังภาพที่ 3.1 (B) ในถังปฏิกิริยาโดยการแทนที่น้ำ แก๊สมีเทนในถังปฏิกิริยาจะดันน้ำออกมาจากขวดผ่านสายยางลงสู่บิกเกอร์ แล้วนำน้ำที่ได้มาวัดค่ามีเทนกับกระบอกตวง

3.1.1.3 สายยางซิลิโคน

3.1.1.4 เครื่องวัด pH

3.1.1.5 อุปกรณ์อื่นๆ เช่น เช่น ฝาแก๊ป หลอดแก้ว จุกยาง สายยาง และเข็มทางการแพทย์

(A) ถังปฏิกิริยา

(B) กระบอกตวง

(C) สายยาง

(D) เครื่องวัดค่า pH

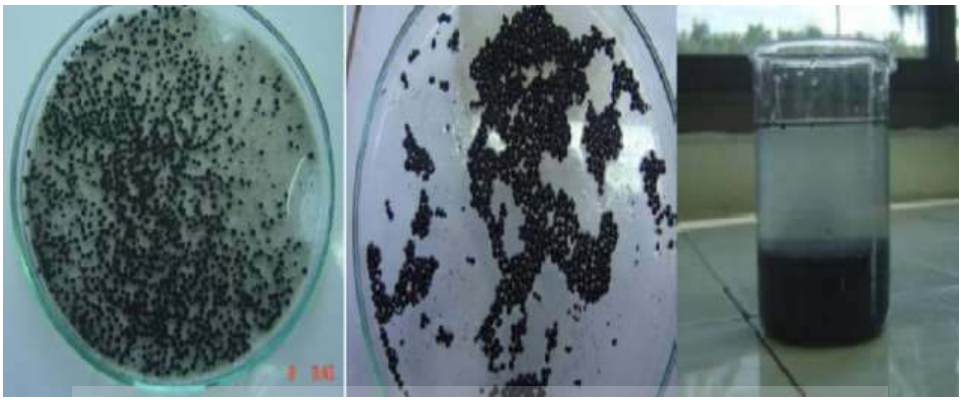
(E)) อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ฝาแก๊ป หลอดแก้ว จุกยาง สายยาง และเข็มทางการแพทย์

ภาพที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (A) ถังปฏิกิริยา (B) กระบอกตวง(C) สายยาง (D) เครื่องวัด pH (E) อุปกรณ์อื่นๆ

3.1.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2.1 หัวเชื้อจุลินทรีย์

ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ชนิดเม็ด (Granular sludge) จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี (UASB) ของบริษัทห้องเย็นโชติวัฒน์อุตสาหกรรม (KST) จำกัด อ.หาดใหญ่ จ.สงขลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.8 – 1 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2.2 น้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของวิสาหกิจชุมชน ปาริฉัตต์สุราทิพย์ ที่ตั้ง 200/2 หมู่ 9 ต.ควนกาหลง อ.ควนกาหลง จ.สตูล ดังภาพที่ 3.2 โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 °C ก่อนนำไปใช้ในการทดลอง เมื่อนำตัวอย่างน้ำเสียไปทำการทดลองต้องวางทิ้งไว้จนน้ำเสียมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิห้อง จึงนำตัวอย่างน้ำเสียไปทดสอบศักยภาพการผลิตมีเทน

ภาพที่ 3.3 น้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน
(Distellery wastewater of Community Refined Liquors Plant: DWCRLP)

3.1.2.3 สารหมักร่วม (Co-substrate)

a) ในงานวิจัยนี้ใช้ของเสียกลีเซอรอล เป็นสารหมักร่วมในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งของเสียกลีเซอรอล เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งได้จาก โรงงานผลิตไบโอดีเซล ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ดังภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.4 ของเสียกลีเซอรอล (Glycerol waste; GW)

b) ในงานวิจัยนี้ใช้กากน้ำตาล เป็นสารหมักร่วมในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งกากน้ำตาลเป็นกากน้ำตาลในท้องตลาด ซื้อจากชูสิน ฟาร์ม ที่ตั้ง ต.ทุ่งนุ้ย อ.ควนกาหลง จ.สตูล ดังภาพที่ 3.4

ภาพที่ 3.5 กากน้ำตาล (Molasses; ML)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำกากส่าและสารหมักร่วม

ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนและสารหมักร่วม (กากน้ำตาลและของเสียกลีเซอรอล) เริ่มต้นและหลังเติมสารหมักร่วม โดยอัตราส่วนของสารหมักร่วมที่ใช้ในการทดลอง คือ 0-5 เปอร์เซ็นต์ (v/v) เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการเติมสารหมักร่วม โดยองค์ประกอบทางเคมีที่ทำการศึกษา คือ pH, COD, Volatile fatty acid (VFA), Alkilinity, Total nitrogen (TN), Total phosphorus (TP), Total solid (TS), Protein, Carbohydrate and Lipids (APHA, 2012)

3.2.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำกากส่าและสารหมักร่วม ที่ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น

นำของเสียที่ใช้เป็นสารหมักร่วม (Co-substrate) ทั้ง 2 ประเภท คือ กากน้ำตาล (Molasses: ML) และของเสียกลีเซอรอล (Glycerol Waste: GW) มาทำการทดลองเพื่อหาศักยภาพในการผลิตมีเทน (Biochemical Methane Potential: BMP) โดยการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน ของเสียกลีเซอรอลและกากน้ำตาล ที่ส่งผลให้

ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นโดยทำการหมักแบบกะในขวด serum bottle ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ซึ่งใช้น้ำกากส่าและของเสียกลีเซอรอลเป็นสารอาหารให้กับจุลินทรีย์ ทำการปรับ pH ให้เหมาะสม หลังจากนั้นพ่นก๊าซไนโตรเจน 3-5 นาที เพื่อให้เป็นสภาวะแบบไร้ออกซิเจน แล้วทำการปิดด้วยจุกยางและฝาอะลูมิเนียม จากนั้นทำการเติมหัวเชื้อเริ่มต้นและสารอาหารในอัตราส่วน 80: 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (v/v) โดยน้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลองคือ น้ำกากส่าจากวิสาหกิจชุมชนปาริฉัตต์สุราทิพย์ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล ระหว่างทำการทดลองปริมาตรการผลิตก๊าซชีวภาพถูกวัดโดยวิธีการแทนที่น้ำ(Water displacement) และวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas chromatography: GC) (O-Thong et al., 2012) ชุดทดสอบศักยภาพการผลิตมีเทน (Biochemical Methane Potential: BMP) ดังแสดงในภาพที่ 3.5

(A) ถังปฏิกรณ์แบบกะ
(Batch reactor) (Angelidaki & Sanders, 2004)

(B) การวัดปริมาตรก๊าซชีวภาพ

(C) การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ

ภาพที่ 3.6 การทดสอบศักยภาพการผลิตมีเทน (A) ถังปฏิกรณ์แบบกะ (B) การวัดปริมาตรก๊าซชีวภาพ (C) การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

3.2.3 หาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ (Kinetic Coefficients)

ในการทดลองนี้ใช้ Modified Gompertz model อธิบายถึงการผลิตก๊าซชีวภาพน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนในถังปฏิกรณ์แบบกะ ภายใต้สภาวะแบบไร้อากาศ ดังแสดงในสมการที่ (3.1) (Kafle, Kim, & Sung, 2013).

$$G(t) = G_0 . \exp\left\{ -\exp\left[\frac{R_{\max} . e}{G_0} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \qquad (3.1)$$

โดยที่

G (t) คือ ปริมาณมีเทนสะสม ($mLCH_4$/g VS-added)

G_0 คือ ผลผลิตมีเทนสูงสุด ($mLCH_4$/g VS-added)

R_{max} คือ อัตราการผลิตมีเทนสูงสุด ($mLCH_4$/g VS-day)

E คือ exp(1) = 2.7183

λ คือ ระยะเวลาปรับตัว (day)

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนของน้ำกากส่าต่อสารหมักร่วมที่ใช้ในการทดลอง

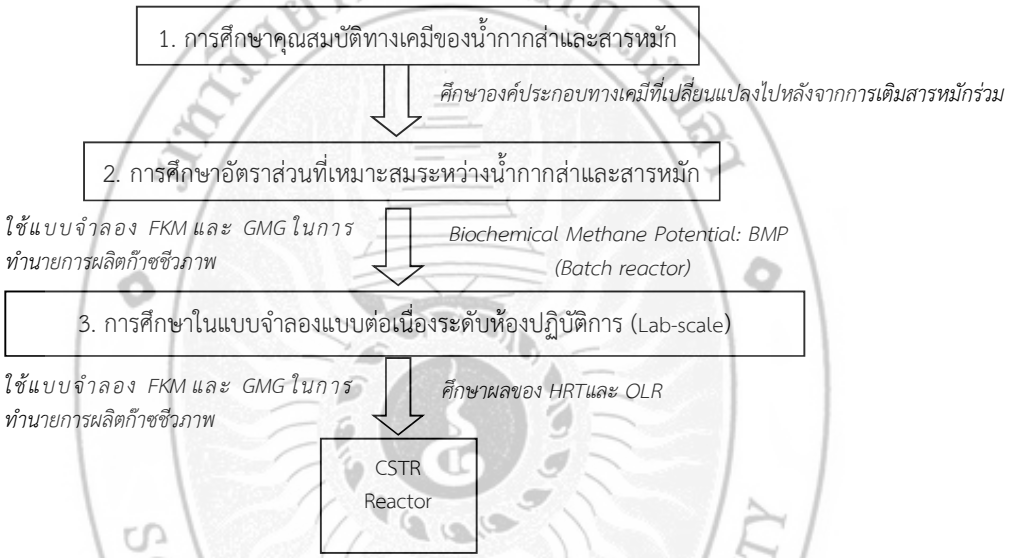
กากน้ำตาล (Molasses: ML)	**ของเสียกลีเซอรอล (Glycerol Waste: GW)**
- 100% (v/v) DWCRLP	
- 100% (v/v) Inoculum	
- DWCRLP + 1% (v/v) ML	- DWCRLP + 1% (v/v) GW
- DWCRLP + 2% (v/v) ML	- DWCRLP + 2% (v/v) GW
- DWCRLP + 3% (v/v) ML	- DWCRLP + 3% (v/v) GW
- DWCRLP + 4% (v/v) ML	- DWCRLP + 4% (v/v) GW
- DWCRLP + 5% (v/v) ML	- DWCRLP + 5% (v/v) GW
- 1% (v/v) ML	- 1% (v/v) GW
- 2% (v/v) ML	- 2% (v/v) GW
- 3% (v/v) ML	- 3% (v/v) GW
- 4% (v/v) ML	- 4% (v/v) GW
- 5% (v/v) ML	- 5% (v/v) GW

3.2.3 การศึกษาในแบบจำลองแบบต่อเนื่องระดับห้องปฏิบัติการ (Lab-scale) ด้วยถังปฏิกรณ์แบบ CSTR โดยใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

ทำการคัดเลือกอัตราส่วนที่ดีที่สุดระหว่างน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนและสารหมักร่วมทั้ง 2 ประเภท ในการทดลองแบบกะที่ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด มาดำเนินการเดินระบบด้วยถังปฏิกรณ์แบบ CSTR ขนาด 5 ลิตร ซึ่งจะศึกษาผลของ Organic loading rate (OLR) ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยจะใช้ OLR ที่แตกต่างกัน ดังนี้ 2, 4 และ 6 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ซึ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.6 ความถี่และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วิเคราะห์ในการทดลองแบบต่อเนื่อง แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ความถี่และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วิเคราะห์ในการทดลองแบบต่อเนื่อง

พารามิเตอร์	ความถี่	วิธี
1. pH	ทุกวัน	pH meter
2. COD	ทุก 2 วัน	Closed reflux method
3. VFA	สัปดาห์ละ 1 ครั้ง	Titration method
4. Alkilinity	สัปดาห์ละ 1 ครั้ง	Titration method
5. TS	สัปดาห์ละ 1 ครั้ง	Suspened solids dried at 103-105°C
6. SS	สัปดาห์ละ 1 ครั้ง	Suspened solids dried at 103-105°C
7. ปริมาณก๊าซชีวภาพ	ทุกวัน	Gas counter



ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.2.4 วิธีการวิเคราะห์

ค่าพีเอชทำการวัดโดย pH meter รุ่น Sartorius Docu-pH meter ค่า BOD, COD, TS, VS, TKN, TP, volatile fatty acid, alkalinity วิเคราะห์โดยใช้วิธีมาตรฐาน (APHA, 2012) องค์ประกอบของก๊าซมีเทน ทำการวิเคราะห์โดยใช้ gas chromatograph ยี่ห้อGC-8A Shimadzu (Thermal conductivity detectors (TCD) and fitted with 2.0 m packed column (Shin-Carbon ST 100/120 Restek) และใช้ Argon เป็น carrier gas ที่อัตราการไหล 15 ml/min (Hinman et al., 2011).

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารย์ผล

4.1 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำกากส่าและสารหมักร่วม

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีเบื้องต้นของน้ำกากส่า และของเสียกลีเซอรอลซึ่งใช้เป็นสารหมักร่วมในการทดลอง เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบทางเคมีที่ทำการวิเคราะห์ คือ ค่าสภาพความเป็นกรดด่าง (pH), ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปแบบของค่าซีโอดี (COD), กรดไขมันระเหยง่าย (VFA), ปริมาณไนโตเจน (TKN), ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมด (TS), ปริมาณของของแข็งระเหยง่าย (VS) , โปรตีน(Protein), คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate), ไขมัน (Lipids), อัตราคาร์บอนต่อไนโตเจน (C/N ratio) โดยองค์ประกอบของน้ำกากส่าและของเสียกลีเซอรอล แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4.1 ซึ่งปัญหาของน้ำกากส่า (DW) คือ ปริมาณของไนโตรเจน (TKN) สูง ซึ่งแสดงออกในรูปของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่ต่ำ (12) ส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนในระบบไร้อากาศต่ำด้วย ดังนั้นการใช้สารหมักร่วม (Co-substrate) ที่มีปริมาณคาร์บอนสูงซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนจากภายนอก (External carbon source) เช่น ของเสียกลีเซอรอล(GW) และกากน้ำตาล (ML) น่าจะช่วยปรับสมดุลสารอาหารในระบบ ในรูปแบบของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ให้สูงขึ้นได้ ส่งผลให้การผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้น

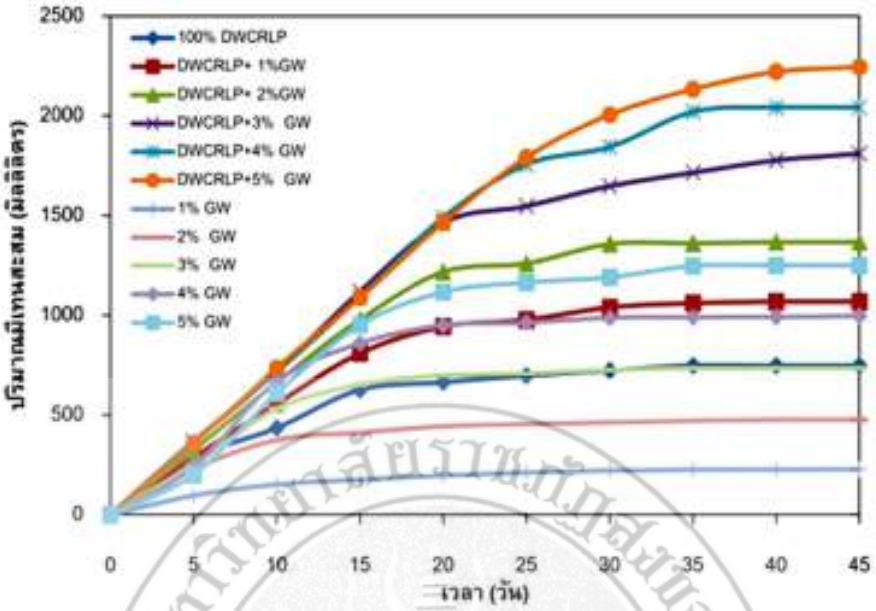
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่า (DW) ของเสียกลีเซอรอล(GW) และกากน้ำตาล (ML) ที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบ	DW	GW	ML
pH	4.6	8.8	4.95
COD (g/L)	130	1,760	1,217
VFA (g/L)	3.85	6.65	2.50
TKN (g/L)	11	1.67	2.15
TS (g/L)	21	969	915
VS (g/L)	15	910	672
Protein (g/L)	9.8	1.28	1.75
Carbohydrate(g/L)	75.85	845	1,356
Lipids(g/L)	3.55	63.76	46.78
C/N ratio	12	949	506

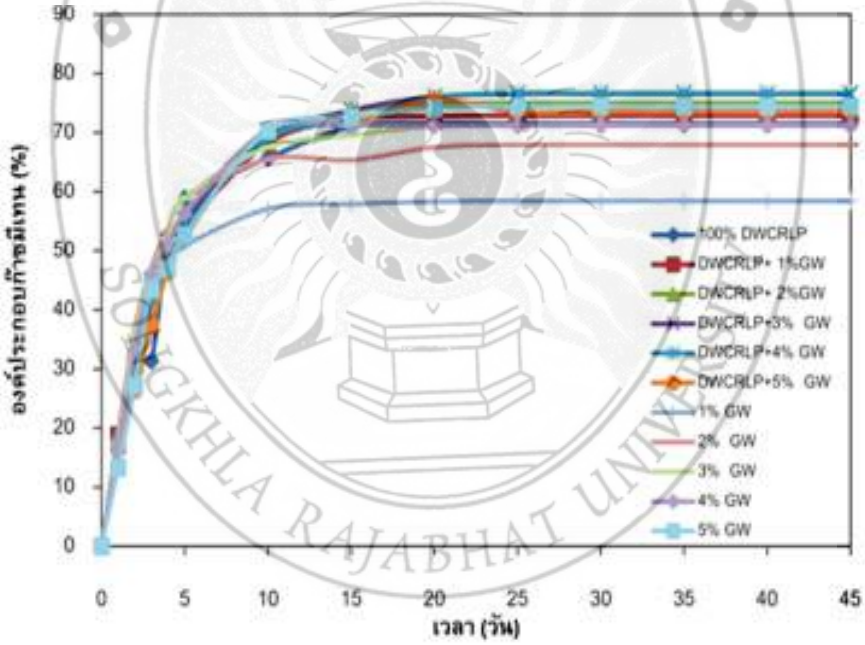
4.2 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำกากส่าโดยใช้กลยุทธการหมักร่วมกับของเสียกลีเซอรอล

ปริมาณมีเทนสะสม และองค์ประกอบก๊าซมีเทน(%) ที่ได้จากกระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่า (DWCRLP) กับของเสียกลีเซอรอล (GW) แสดงดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าการเติมความเข้มข้นของของเสียกลีเซอรอลลงไปที่ความเข้มข้น 5% ส่งผลให้อัตราส่วน C/N เพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 28 (ตารางที่ 4.2) ส่งผลให้ผลิตมีเทนสูงสุดเท่ากับ 706 ml CH_4/g VS การผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำกากส่าโดยใช้กลยุทธการหมักร่วมกับของเสียกลีเซอรอลเป็นการปรับสมดุลปริมาณสารอาหารในระบบ

เนื่องจากของเสียกลีเซอรอลเป็นแหล่งคาร์บอน (External carbon source) ที่มีศักยภาพ ทำให้อัตราส่วน C/N สูงขึ้น ช่วยเจือจางสารพิษที่มีผลต่อจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนในน้ำทิ้ง ส่งผลให้ผลผลิตมีเทนสูงขึ้น (Kangle et al., 2012; Hosseini et al., 2014) โดยอัตราส่วน C/N ที่เหมาะสม คือ 25-32 (Angelidaki & Ellegaard, 2003) นอกจากนี้การเติมของเสียกลีเซอรอลที่ความเข้มระหว่าง 2-4% (v/v) ลงไปในน้ำกากส่า สามารถเพิ่มอัตราส่วน C/N ให้สูงขึ้นและส่งผลให้ผลผลิตมีเทนสูงขึ้นเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกับการหมักเดี่ยว (Single-digestion) ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วง 14-23 เท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ดังนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเติมของเสียกลีเซอรอลลงไปในน้ำกากส่าที่ความเข้มข้น 5%(v/v) เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่า โดยตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณมีเทนสะสม ผลผลิตมีเทน และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่สัดส่วนดังกล่าวมีปริมาณมีเทนสะสม ผลผลิตมีเทน และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 2,245 มิลลิลิตร 706 ml CH_4/g VS และ 97% ตามลำดับ ในขณะที่ผลผลิตมีเทนที่ได้จากการหมักน้ำกากส่า (100% DWCRLP) มีค่าเท่ากับ 235 ml CH_4/g VS เท่านั้น Panpong et al. (2014) รายงานว่า การใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นสารหมักร่วมกับน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลในอัตราส่วน 1 : 99 (v/v) ให้ผลผลิตมีเทน 577 ml CH_4/g VS ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 108 เมื่อเทียบกับการหมักน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การหมักร่วมระหว่างมูลสัตว์กับของเสียกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นระหว่าง 3-6%(v/v) ให้ผลผลิตมีเทน 570-680 ml CH_4/g VS (Amon et al., 2006) ให้ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเติม 5%(v/v) ของของเสียกลีเซอรอล ส่งผลให้ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่า หรือ 300% เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว (100% DWCRLP) อีกทั้งการเติม 5%(v/v) ของของเสียกลีเซอรอล ยังส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 4.60 เป็น 7.10 อีกด้วย (ตารางที่ 4.2) ซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศ อยู่ในช่วง 7.0-7.2 (Esposito *et al.,* 2012) ซึ่งถือเป็นข้อดีอีกประการหนึ่งในการใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นสารหมักร่วม คือ ประหยัดต้นทุนของสารเคมีในการใช้ปรับค่าพีเอช อีกทั้งของเสียกลีเซอรอลเป็นสารอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรตกลุ่มน้ำตาลซึ่งมีโมเลกุลขนาดเล็ก ทำให้จุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทน (Methanogen) สามารถย่อยสลายได้ง่าย สังเกตได้จากการประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีของการหมักเดี่ยวของของกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 1-5% (v/v) มีค่าอยู่ในช่วง 90-97% ดังแสดงในตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.1 ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมจากกระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่า (DWCRLP) และของเสียกลีเซอรอล (GW)



ภาพที่ 4.2 องค์ประกอบของก๊าซมีเทน จากกระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่า (DWCRLP) และของเสียกลีเซอรอล (GW)

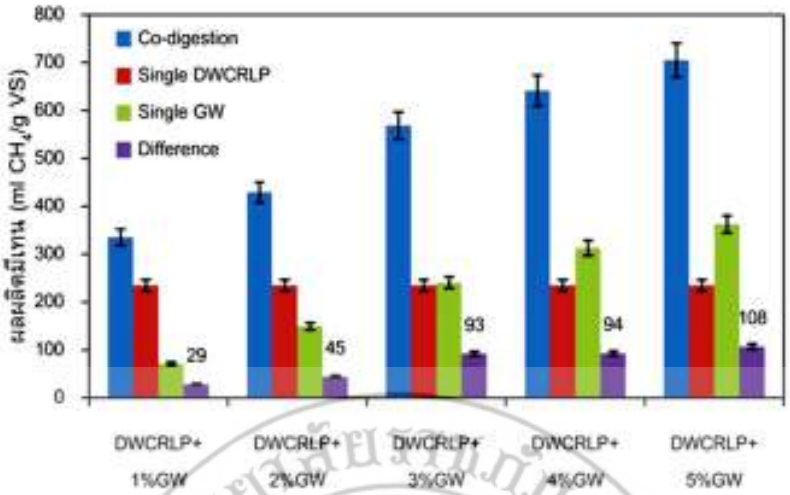
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำกากส่า (DWCRLP) หลังเติมของเสียกลีเซอรอล (GW) ที่ความเข้มข้น 1-5 % (v/v)

การทดลองที่	การทดลอง	pH	COD (g/L)	VS (g/L)	TKN (g/L)	C/N ratio
1.	100% DWCRLP	4.60	130.0	15.00	18	8
2.	DWCRLP + 1%GW	5.90	140.0	68.10	9.887	14
3.	DWCRLP +2%GW	6.40	150.0	72.20	8.993	17
4.	DWCRLP +3%GW	6.60	161.0	76.42	7.004	20
5.	DWCRLP +4%GW	6.80	170.0	82.64	6.827	23
6.	DWCRLP +5%GW	7.10	186.0	90.86	6.047	28
7.	1%GW	8.00	17.0	10.50	0.019	890
8.	2%GW	8.10	33.0	15.6	0.033	1,000
9.	3%GW	8.20	50.1	24.5	0.050	1,002
10.	4%GW	8.30	68.2	33.5	0.067	1,017
11.	5%GW	8.40	83.5	42.5	0.074	1,128

ตารางที่ 4.3 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการของ Modified Gompertz model

ตัวอย่าง	Final pH	Total biogas (ml)	CH_4 (ml)	CH_4 yield (ml CH4/g VS)	COD Efficiency (%)
100%DWCRLP	7.09	1,046	748	235	70
DWCRLP+ 1%GW	7.33	1,465	1,068	336	78
DWCRLP+ 2%GW	7.24	1,822	1,367	430	80
DWCRLP+ 3%GW	7.12	2,365	1,810	569	85
DWCRLP+ 4%GW	7.11	2,664	2,043	643	95
DWCRLP+ 5%GW	6.99	3,054	2,245	706	97
1%GW	7.28	390	227	71	90
2%GW	7.05	701	476	150	92
3%GW	7.15	1,032	735	241	96
4%GW	6.96	1,401	997	314	96
5%GW	7.08	1,680	1,250	393	95

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตมีเทนระหว่างการหมักเดี่ยว (Single-digestion) และการหมักร่วม (Co-digestion) ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ผลการทดลองพบว่าผลต่าง (Difference) ของผลผลิตมีเทนเป็นบวก ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 29-108 ml CH_4/g VS แสดงให้เห็นว่าการใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นสารหมักร่วม (Co-substrate) ช่วยส่งเสริม (Synergism) ให้ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น โดยการเติม 5% (v/v) ของของเสียกลีเซอรอลสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด Panpong (2013) รายงานว่า ผลต่าง (Difference) ของผลผลิตมีเทนเป็นบวก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 88 ml CH_4/g VS ในกระบวนการหมักร่วมของน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลกับของเสียกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 1% (v/v)



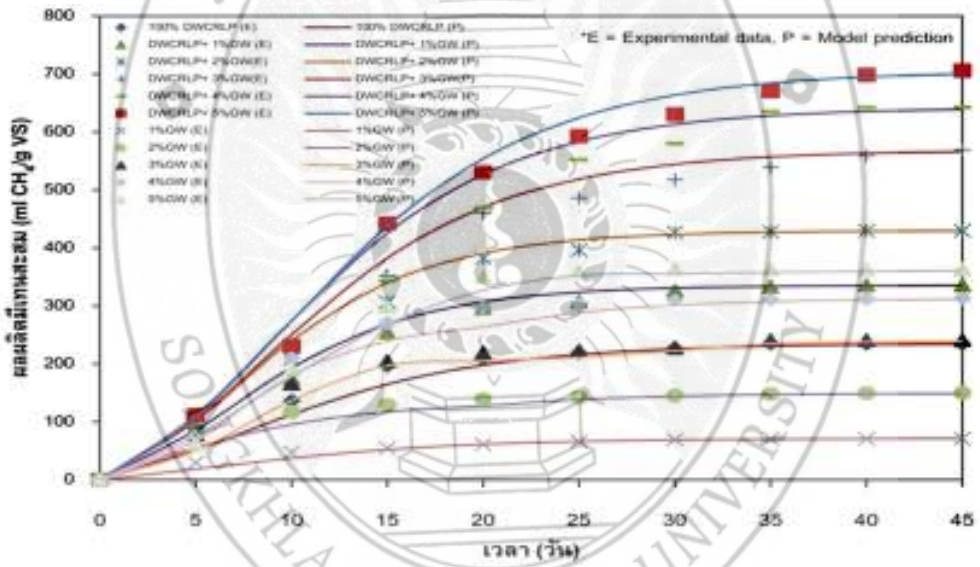
ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบผลผลิตมีเทนระหว่างการหมักเดี่ยว (Single-digestion) และการหมักร่วม (Co-digestion)

4.3 สัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการผลิตก๊าซมีเทนของน้ำกากส่าโดยใช้กลยุทธการหมักร่วมกับของเสียกลีเซอรอล

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้สมการใช้ Modified Gompertz model แสดงโดยสมการเชิงเส้น ของข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซมีเทนสะสมต่อระยะเวลา พบว่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (R^2) มากกว่า 95% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (R_{max}) ระยะปรับตัว (λ) ของจุลินทรีย์ในระบบ และผลผลิตมีเทน (G_0) ที่ได้จากการทดลองและทำนายโดยใช้สมการ Modified Gompertz model มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาและปริมาณความเข้มข้นของเสียกลีเซอรอลที่เติมลงไป ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทน (BMP) ซึ่งค่า R_{max} เพิ่มขึ้นจาก 15.68 เป็น 44.13 ml CH_4/g VS-day อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่าหรือคิดเป็น 300% เมื่อเติม 5% ของของเสียกลีเซอรอลลง (GW) ไปในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ส่งผลให้ G_0 เพิ่มขึ้นจาก 234.13 เป็น 700.33 ml CH_4/g VS ซึ่งผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่าเช่นกัน โดยมีค่า λ เพิ่มขึ้น จาก 1.00 เป็น 2.25 วัน ดังนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้สมการของ Modified Gompertz model ในการทำนายผลผลิตมีเทนในกระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่าและของเสียกลีเซอรอลได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการของ Modified Gompertz model

ตัวอย่าง	Modified Gompertz model parameter			
	G_0 (ml CH_4/g VS)	R_{max} (ml CH_4/g VS-day)	λ (day)	R^2
100%DWCRLP	234.13	15.68	1.00	0.963
DWCRLP+ 1%GW	335.37	22.38	1.20	0.995
DWCRLP+ 2%GW	429.36	28.65	1.50	0.992
DWCRLP+ 3%GW	566.31	37.95	1.75	0.995
DWCRLP+ 4%GW	639.02	42.83	2.00	0.981
DWCRLP+ 5%GW	700.33	44.13	2.25	0.994
1%GW	71.22	4.77	0.10	0.974
2%GW	149.07	9.98	0.50	0.974
3%GW	239.35	16.08	0.75	0.985
4%GW	312.07	20.90	1.00	0.985
5%GW	361.37	24.21	1.50	0.992

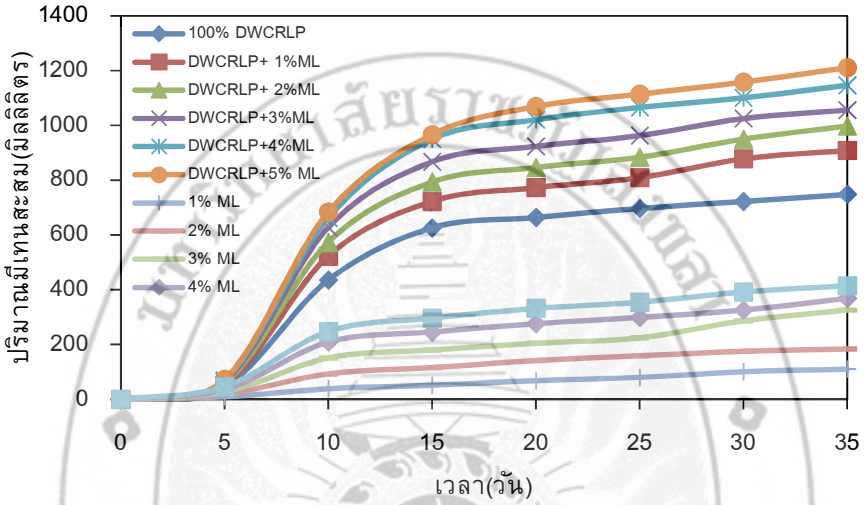


ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลผลิตมีเทนสะสม (Cumulative methane yield) จากการทดลอง (Experimental data) และจากการทำนาย (Model prediction) โดยใช้สมการของ Modified Gompertz model

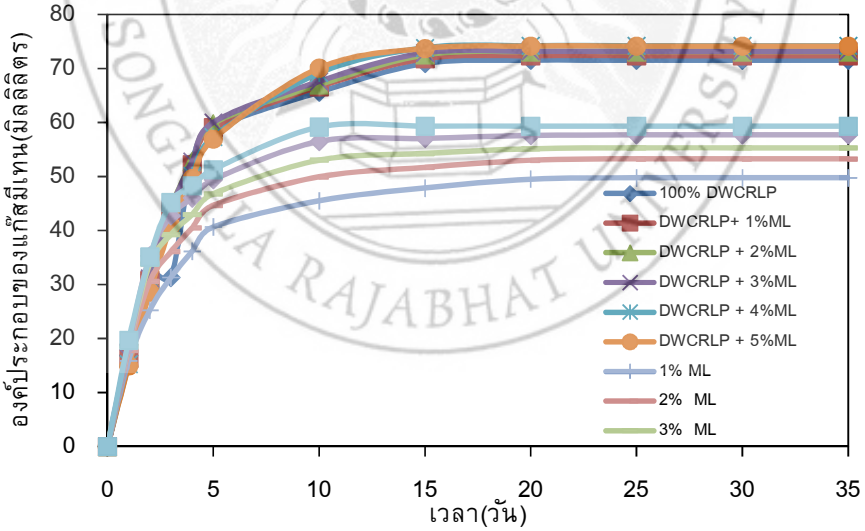
4.4 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำกากส่าโดยใช้กลยุทธการหมักร่วมกับกากน้ำตาล

ปริมาณมีเทนสะสมเพิ่มขึ้นเมื่อเติมกากน้ำตาล (ML) ความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น โดยที่สัดส่วน 5% (v/v) ให้ปริมาณมีเทนสะสมสูงสุดเท่ากับ 1,210 ml และมีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนที่ 74.17% ดังแสดงดังภาพที่ 4.5 และ 4.6 นอกจากนี้จากกระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่า (DWCRLP) กับกากน้ำตาล (ML) ที่อัตราส่วน 5% (v/v) ทำให้อัตราส่วน C/N เพิ่มขึ้นด้วย จาก 8 เป็น 14 และยังเพิ่มค่า pH, COD, VS และ TKN อีกด้วย (ตารางที่ 4.5) ส่งให้ผลผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 381 ml CH_4/g VS ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 90% เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่เติมให้ผลผลิตมีเทนเพียง

235 ml CH_4/g VS ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 70% (ตารางที่ 4.6) ดังนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กากน้ำตาลลงไปในน้ำกากส่าที่ความเข้มข้น 5%(v/v) เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่า ทำให้ผลิตมีเทนเพิ่มขึ้น 62.13% การเติมกากน้ำตาลลงไปในกระบวนการหมักร่วมน้ำกากส่ามีข้อจำกัดมากกว่าของเสียกลีเซอรอล เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนในกากน้ำตาลนั้นสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับของเสียกลีเซอรอล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหมักเดี่ยวของกากน้ำตาลเพียงอย่างเดี่ยวที่ความเข้มข้น 1-5%(v/v) ส่งผลให้อัตราส่วนของ C/N ลดลง เมื่อความเข้มข้นของกากน้ำตาลสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมจากกระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่า (DWCRLP) และกากน้ำตาล (ML)



ภาพที่ 4.6 องค์ประกอบของก๊าซมีเทนจากกระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่า (DWCRLP) และกากน้ำตาล (ML)

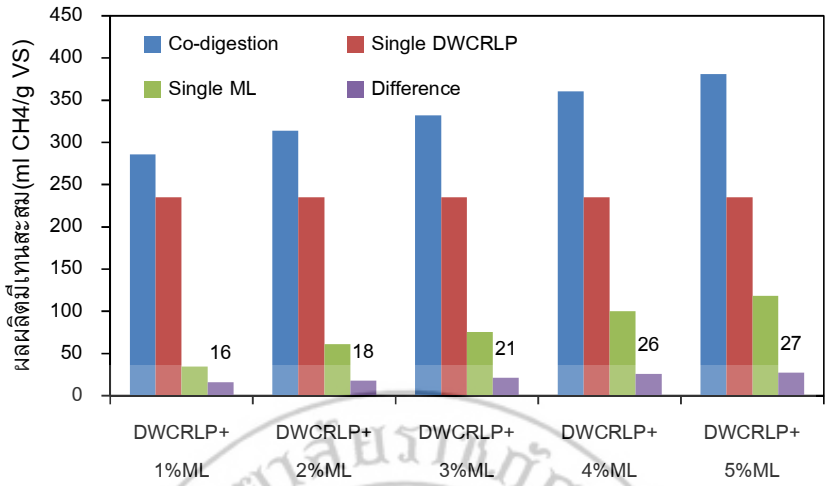
ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำกากส่า (DWCRLP) หลังเติมของและกากน้ำตาล (ML) ที่ความเข้มข้น 1-5 % (v/v)

การทดลองที่	การทดลอง	pH	COD (g/L)	VS (g/L)	TKN (g/L)	C/N ratio
1.	100%DWCRLP	4.60	130.0	15.00	18	8
2.	DWCRLP+ 1%ML	4.90	135.0	58.10	11.65	11.59
3.	DWCRLP+ 2%ML	5.35	140.0	62.20	11.73	12.00
4.	DWCRLP+ 3%ML	5.60	149.0	66.42	11.85	12.75
5.	DWCRLP+ 4%ML	5.80	155.0	72.64	12.00	13.00
6.	DWCRLP+ 5%ML	6.00	166.0	80.75	12.22	14.00
7.	1%ML	5.10	13.0	8.50	0.022	590
8.	2%ML	5.20	25.0	12.6	0.043	581
9.	3%ML	5.60	38.1	20.5	0.065	586
10.	4%ML	5.80	50.2	28.5	0.086	332
11.	5%ML	6.40	61.5	32.5	0.108	302

ตารางที่ 4.6 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการของ Modified Gompertz model

ตัวอย่าง	Final pH	Total biogas (ml)	CH_4 (ml)	CH_4 yield (ml CH4/g VS)	COD Efficiency (%)
100%DWCRLP	7.09	1,046	748	235	70
DWCRLP+ 1%ML	6.33	1,255	908	286	75
DWCRLP+ 2%ML	6.24	1,365	998	314	77
DWCRLP+ 3%ML	6.58	1,442	1,056	331	82
DWCRLP+ 4%ML	6.78	1,544	1,146	360	88
DWCRLP+ 5%ML	6.88	1,632	1,210	381	90
1%ML	5.28	221	110	35	75
2%ML	6.05	345	184	58	78
3%ML	6.15	590	326	103	80
4%ML	6.86	639	369	116	85
5%ML	7.01	698	414	130	88

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตมีเทนระหว่างการหมักเดี่ยว (Single-digestion) และการหมักร่วม (Co-digestion) ดังแสดงในภาพที่ 4.7 ผลการทดลองพบว่าผลต่าง (Difference) ของผลผลิตมีเทนเป็นบวก ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 15-27 ml CH_4/g VS แสดงให้เห็นว่าการใช้กากน้ำตาลเป็นสารหมักร่วม (Co-substrate) ช่วยส่งเสริม (Synergism) ให้ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น แต่ก็ยังน้อยมากเมื่อเปรียบกับการใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นสารหมักร่วม โดยการเติม 5% (v/v) ของกากน้ำตาลสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด (ภาพที่ 4.7)



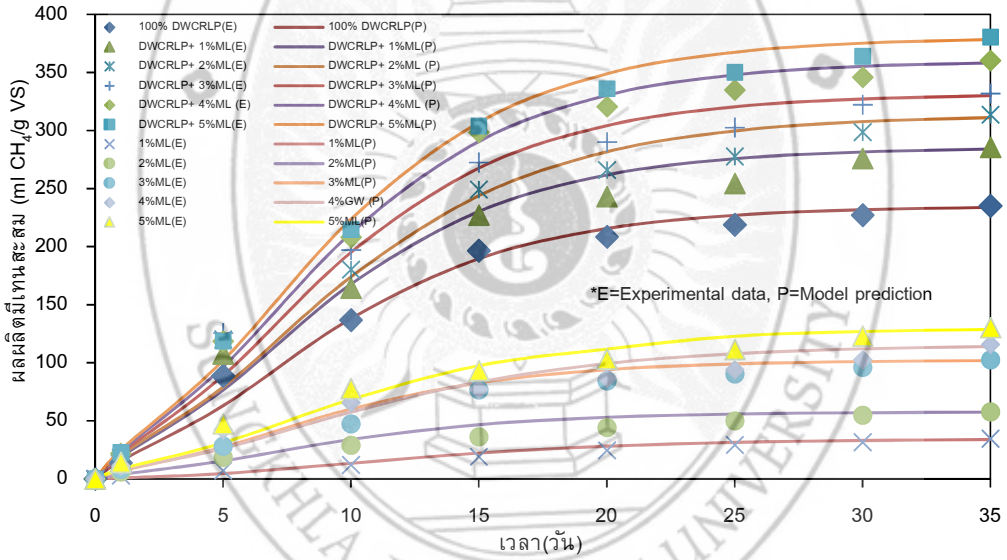
ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบผลผลิตมีเทนระหว่างการหมักเดี่ยว (Single-digestion) และการหมักร่วม (Co-digestion)

4.5 สัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการผลิตก๊าซมีเทนของน้ำกากส่าโดยใช้กลยุทธการหมักร่วมกับกากน้ำตาล

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้สมการใช้ Modified Gompertz model แสดงโดยสมการเชิงเส้น ของข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซมีเทนสะสมต่อระยะเวลา พบว่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (R^2) มากกว่า 95% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (R_{max}) ระยะปรับตัว (λ) ของจุลินทรีย์ในระบบ และผลผลิตมีเทน (G_0) ที่ได้จากการทดลองและทำนายโดยใช้สมการ Modified Gompertz model มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาและปริมาณความเข้มข้นของกากน้ำตาลที่เติมลงไป ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทน (BMP) ซึ่งค่า R_{max} เพิ่มขึ้นจาก 15.68 เป็น 25.38 ml CH_4/g VS-day อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นประมาณ 62.13% เมื่อเติม 5% กากน้ำตาล (ML) ไปในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ส่งผลให้ G_0 เพิ่มขึ้นจาก 234.13 เป็น 378.47 ml CH_4/g VS โดยมีค่า λ เพิ่มขึ้นจาก 1.00 เป็น 1.33 วัน ดังนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้สมการของ Modified Gompertz model ในการทำนายผลผลิตมีเทนในกระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่าและกากน้ำตาลได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการของ Modified Gompertz model

ตัวอย่าง	Modified Gompertz model parameter			
	G_0 (ml CH_4/g VS)	R_{max} (ml CH_4/g VS-day)	λ (day)	R^2
100%DWCRLP	234.13	15.68	1.00	0.963
DWCRLP+ 1%GW	284.01	19.04	1.00	0.980
DWCRLP+ 2%GW	311.21	19.61	1.12	0.976
DWCRLP+ 3%GW	330.05	22.13	1.15	0.984
DWCRLP+ 4%GW	358.38	24.03	1.25	0.933
DWCRLP+ 5%GW	378.47	25.38	1.33	0.996
1%GW	33.93	1.93	1.00	0.976
2%GW	57.54	3.86	1.25	0.963
3%GW	101.98	6.44	1.45	0.980
4%GW	114.08	6.84	1.48	0.954
5%GW	128.80	7.67	1.52	0.974

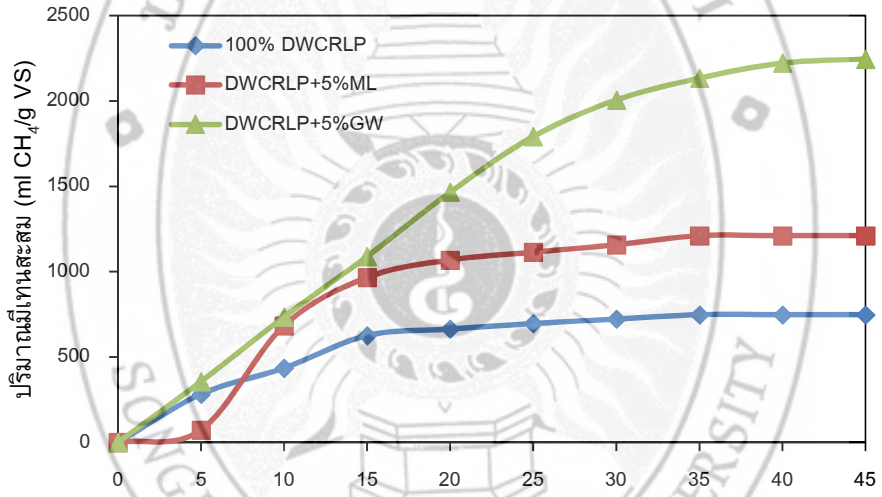


ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลผลิตมีเทนสะสม (Cumulative methane yield) จากการทดลอง (Experimental data) และจากการทำนาย (Model prediction) โดยใช้สมการของ Modified Gompertz model

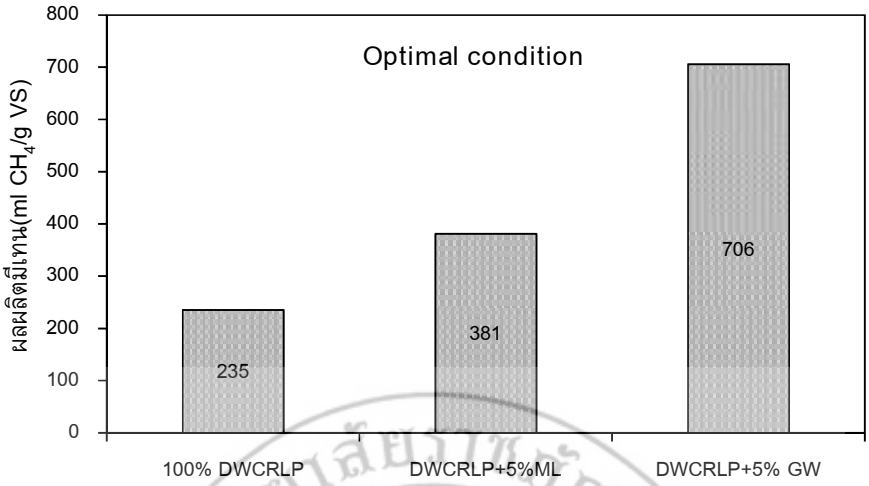
4.6 เปรียบสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตก๊าซมีเทนระหว่างการใช้ของเสียกลีเซอรอลและกากน้ำตาลเป็นสารหมักร่วม

อัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบศัยภาพการผลิตก๊าซมีเทน โดยใช้ของเสีย กลีเซอรอล (GW) และกากน้ำตาล (ML) เป็นสารหมักร่วมในกระบวนหมักร่วมกับน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชน (DWCRLP) ผลการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้น 5% (v/v) คือ อัตราส่วนที่ดีที่สุดสำหรับสารหมักร่วมทั้ง 2 ประเภท แต่การใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นสารหมักร่วมในกระบวนหมักร่วมกับน้ำ

กากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนมีความเหมาะสมมากว่าการใช้กากน้ำตาล ซึ่งแสดงออกมาในค่าของปริมาณมีเทนสะสมและผลผลิตมีเทน ดังภาพที่ 4.9 และ 4.10 โดยปริมาณมีเทนสะสมและผลผลิตมีเทนของการใช้ของเสียกลีเซอรอลและกากน้ำตาลเป็นสารหมักร่วม (Co-substrate) มีค่าเท่ากับ 2,245 และ 1,210 ml และ 706 และ 381 ml CH_4/g VS ซึ่งการใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นสารหมักร่วม ให้ปริมาณมีเทนสะสมและผลผลิตมีเทนสูงกว่าประมาณ 2 เท่า นอกจากนี้อัตราส่วน C/N เพิ่มขึ้นเป็น 28 และ 14 ซึ่งเป็น 2 เท่าเช่นกัน เมื่อเติม 5% (v/v) ของของเสียกลีเซอรอลและกากน้ำตาลเป็นสารหมักร่วม Astals et al. (2011) รายงานว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วน C/N ช่วยปรับสมดุลสารอาหารในระบบและลดปริมาณสารพิษในรูปของแอมโมเนียในโตรเจน ซึ่งเป็นพิษโดยตรงกับจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทน โดยอัตราส่วน C/N ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศอยู่ในช่วง 20-30 (Li et al., 2011) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้กากน้ำตาลเป็นสารหมักร่วม ให้ค่าอัตราส่วน C/N ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมทางทฤษฎี ส่งผลให้ผลิตมีเทนที่ได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นสารหมักร่วม ดังนั้นของเสียกลีเซอรอล จะถูกคัดเลือกเป็นสารหมักร่วมเพื่อนำไปใช้ทดลองในกระบวนการหมักแบบต่อเนื่องต่อไป



ภาพที่ 4.9 เปรียบเทียบปริมาณมีเทนสะสมระหว่างการใช้ของเสียกลีเซอรอลและกากน้ำตาลเป็นสารหมักร่วมที่สภาวะการทดลองที่ดีที่สุด (Optimal condition)



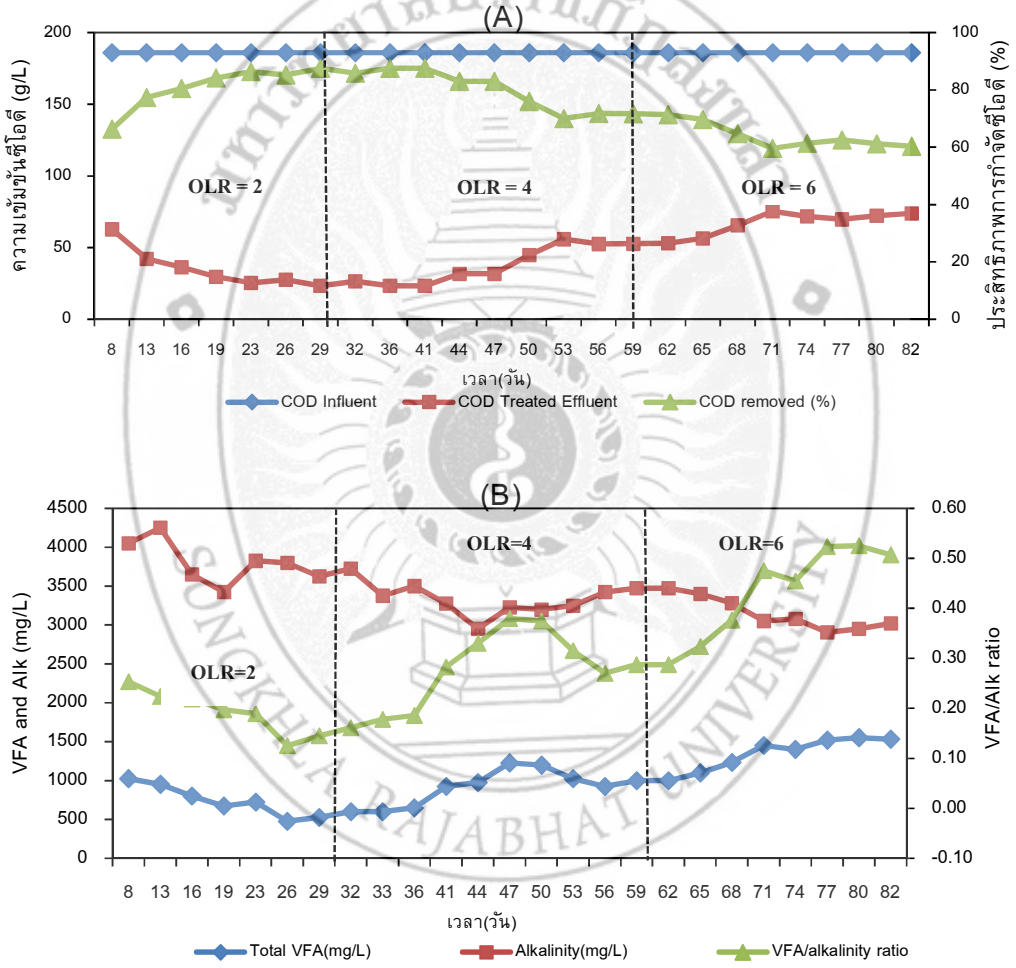
ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณมีเทนสะสมระหว่างการใช้ของเสียกลีเซอรอลและกากน้ำตาลเป็นสารหมักร่วมที่สภาวะการทดลองที่ดีที่สุด (Optimal condition)

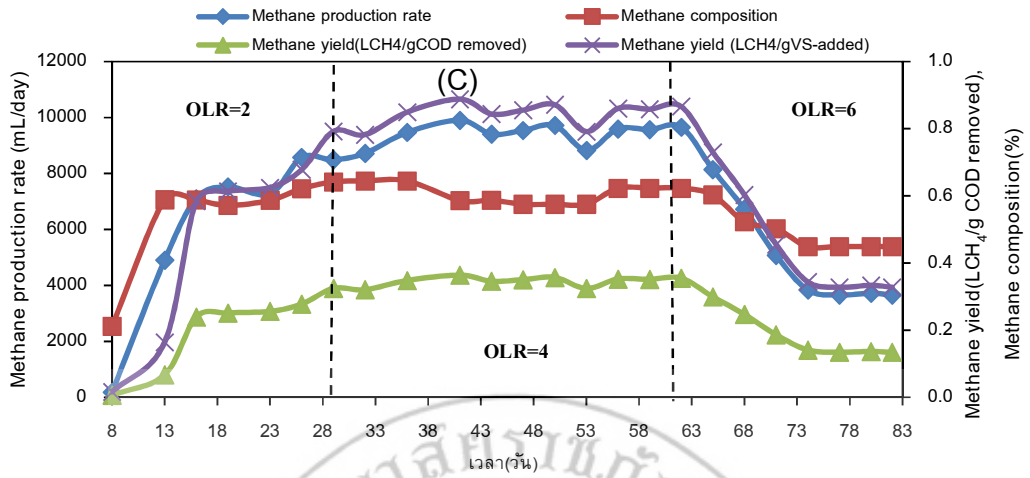
4.7 การศึกษาในแบบจำลองแบบต่อเนื่องระดับห้องปฏิบัติการ (Lab-scale) ด้วยถังปฏิกรณ์แบบ CSTR โดยใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

กระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียโรงงานสุรากลั่นชุมชนกับของเสียกลีเซอรอลความเข้มข้น 5% (v/v) คือ อัตราส่วนการหมักร่วมที่ดีที่สุดจากการทดลองแบบกะ (Batch) ที่ถูกนำมาใช้ทำการทดลองต่อในระบบต่อเนื่องโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบ CSTR ที่ระยะเริ่มต้นระบบจุลินทรีย์ใช้เวลาในการปรับตัวให้มีความคุ้นชินกับน้ำเสีย (DWCRLP+1%GW) ประมาณ 7 วัน โดยทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ CSTR ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) 0.5 และ 1 g-COD/L.day ซึ่งมีระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) 54 และ 27 วัน เมื่อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ จึงทำการเพิ่มค่า OLR เป็น 2, 4 และ 6 g-COD/L.day ตามลำดับ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบ ผลการทดลองแสดงให้ให้เห็นว่า อัตราการผลิตมีเทน (Methane production rate) เพิ่มขึ้นจาก 8.5 เป็น 9.5 L/day เมื่อทำการเพิ่ม OLR จาก 2 g-COD/L.day (HRT=14 days) เป็น 4 g-COD/L.day (HRT=7 days) แต่เมื่อทำการเพิ่ม OLR เป็น 6 g-COD/L.day (HRT=5 days) อัตราการผลิตมีเทนลดลงเหลือเพียง 3.6 L/day เท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 4.11(C) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD removal efficiency) ที่ OLR เป็น 2, 4 และ 6 g-COD/L. day คือ 85, 72 and 60% ตามลำดับ (Fig 4.11A) ที่ OLR 4 g-COD/L. day ให้ผลผลิตมีเทนสูงสุด (Maximum methane yield) เท่ากับ 858 mLCH_4/g VS-added (352 mL-CH_4/g-COD removed) และมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ 62.28% ซึ่งใกล้เคียงกับผลผลิตมีเทนที่ได้จากการทดลองแบบกะ (Batch) (706 mLCH_4/g VS-added) Nuchdang and Phalakornkule (2012) รายงานว่าผลผลิตมีเทนสูงสุดเท่ากับ 320 mLCH_4/g-COD-removed ที่ OLR 1.6 g-COD/L. day ในกระบวนการหมักร่วมของของเสียกลีเซอรอลกับมูลสุกรในถังปฏิกรณ์แบบ UASB โดยมีองค์ประกอบก๊าซมีเทนประมาณ 54%

กรดไขมันระเหยง่าย (Total VFA) มีศัยภาพในการยับยั้งกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกระบวนการ การวัดค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) เพื่อต้องการประเมินความสามารถในการรักษาพีเอชของระบบ (Buffering capacity) ดังนั้นในการ

ทดลองนี้ การเพิ่มค่า OLR ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันระเหยง่าย อยู่ในช่วง 500-1,500 mg/L (Fig 4.11B) การเพิ่ม OLR ส่งผลกระทบทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยง่ายในระบบ ทำให้ค่าพีเอชลดลง ถ้ากรดไขมันระเหยง่ายในระบบสูงมากจะค่าพีเอชลดลงมากในระดับที่เป็นพิษจนเป็นเหตุให้มีการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทน (Methanogen) (Mshandete et al., 2004) ดังนั้นกรดไขมันระเหยง่าย (Total VFA) และความเป็นด่าง (Alkalinity) ควรมีค่าอยู่ในช่วง 500 – 2,000 mg/L และ 1,000-5,000 mg/L และควรมีอัตราส่วน VFA/ alkalinity ไม่เกิน 0.4 (Halbelt, 1981; MetCalf & Eddy, 1982). ถ้าอัตราส่วน VFA/ alkalinity สูงมากกว่า 0.8 ค่าพีเอชของระบบจะลอลงอย่างรววดเร็ว ในการทดลองนี้ อัตราส่วน VFA/ alkalinity อยู่ในช่วงระหว่าง 0.1-0.5 ซึ่งมีความเหมาะสม ทำให้ระบบสามารถเดินการไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ





ภาพที่ 4.11 ผลการทดลองแบบต่อเนื่องของกระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียโรงงานสุรากลั่นชุมชนกับของเสียกลีเซอรอลความเข้มข้น 1%(v/v): (A) COD removed, (B) Total VFA, Alkalinity and VFA/Alkalinity ratio, (C) Methane production rate, methane composition (%) and methane yield ในระบบ CSTR

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำกากส่าโดยใช้กลยุทธการหมักร่วมกับของเสียกลีเซอรอล

จากผลการศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นสารหมักร่วมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนได้ โดยการเติมของเสียกลีเซอรอลลงไปที่ความเข้มข้น 5%(v/v) มีความเหมาะสมมากที่สุดเมื่อเปรียบกับความเข้มข้นที่ต่ำกว่า (1-4%v/v) ส่งผลให้ปริมาณมีเทนสะสมและผลิตมีเทนสูงสุดเท่ากับ 2,245 มิลลิลิตร และ 706ml CH_4/g VS- added ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่า หรือ 300% เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว (100% DWCRLP) ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำกากส่าโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นสารหมักร่วมเป็นการเพิ่มแหล่งคาร์บอนภายนอก (External carbon source) ช่วยปรับสมดุลปริมาณสารอาหารในระบบทำให้อัตราส่วน C/N เพิ่มสูงขึ้นจาก 8 เป็น 28 ช่วยเจือจางสารพิษในระบบที่มีผลต่อจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนในน้ำกากส่าทำให้ผลผลิตมีเทนสูงขึ้น

การศึกษาสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้สมการ Modified Gompertz modelผลการทดลองพบว่า สมการดังกล่าวสามารถทำนายผลผลิตมีเทน (Methane yield) ได้เป็นอย่างดี สังเกตได้จากค่าความเชื่อมั่นทางสถิติ(R^2) จากการทำนายมีค่ามากกว่า 95% โดยการเติม 5% ของของเสียกลีเซอรอลลง (GW) ไปในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ส่งผลให้ค่า R_{max} เพิ่มขึ้นจาก 47.07 เป็น 15.68ml CH_4/g VS-day อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่าหรือคิดเป็น 300% เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว (100% DWCRLP)

5.1.2 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำกากส่าโดยใช้กลยุทธการหมักร่วมกับกากน้ำตาล

กระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่า (DWCRLP) กับกากน้ำตาล (ML) ที่อัตราส่วน 5% (v/v) ให้ปริมาณมีเทนสะสมสูงสุดเท่ากับ 1,210 ml และมีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนที่ 74.17% ทำให้อัตราส่วน C/N เพิ่มขึ้นด้วย จาก 8 เป็น 14 ส่งให้ผลผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 381 ml CH_4/g VS ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 90% เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่เติมให้ผลผลิตมีเทนเพียง 235 ml CH_4/g VS ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 70% ดังนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กากน้ำตาลลงไปในน้ำกากส่าที่ความเข้มข้น 5%(v/v) เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่า ทำให้ผลิตมีเทนเพิ่มขึ้น 62.13%

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้สมการใช้ Modified Gompertz model แสดงโดยสมการเชิงเส้น ของข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซมีเทนสะสมต่อระยะเวลา พบว่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (R^2) มากกว่า 95% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (R_{max}) ระยะปรับตัว (λ) ของจุลินทรีย์ในระบบ และผลผลิตมีเทน (G_0) ที่ได้จากการ

ทดลองและทำนายโดยใช้สมการ Modified Gompertz model มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาและปริมาณความเข้มข้นของกากน้ำตาลที่เติมลงไป ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทน (BMP) ซึ่งค่า R_{max} เพิ่มขึ้นจาก 15.68 เป็น 25.38 ml CH_4/g VS-day เมื่อเติม 5% ของกากน้ำตาล(ML)

5.1.3 การศึกษาในแบบจำลองแบบต่อเนื่องระดับห้องปฏิบัติการ (Lab-scale) ด้วยถังปฏิกรณ์แบบ CSTR โดยใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

กระบวนการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียโรงงานสุรากลั่นชุมชนกับของเสียกลีเซอรอลความเข้มข้น 5% (v/v) คือ อัตราส่วนการหมักร่วมที่ดีที่สุดจากการทดลองแบบกะ (Batch) ที่ถูกนำมาใช้ทำการทดลองต่อในระบบต่อเนื่องโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบ CSTR ผลการทดลองแสดงให้ให้เห็นว่า ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) เท่ากับ 4 g-COD/L. day ให้ผลผลิตมีเทนสูงสุด (Maximum methane yield) เท่ากับ 858 mLCH_4/g VS-added (352 mL-CH_4/g-COD removed) และมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ 62.28% ซึ่งใกล้เคียงกับผลผลิตมีเทนที่ได้จากการทดลองแบบกะ (Batch) (706 mLCH_4/g VS-added)

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous system) โดยการขยายขนาดไปสู่ระดับ Pilot scale เพื่อพัฒนาสู่การใช้งานจริง

5.2.2 ควรทำการทดลองกับสารหมักร่วมชนิดอื่น (Co-substrate) ด้วยเพื่อทำการเปรียบผลการทดลองที่ได้

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บรรณานุกรม

บุษบา สุตรธาดา. (2551). การเลือกดัชนีการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบีที่เหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประภัสราชูสุวรรณ. (2550). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและการบำบัดกากส่าของโรงงานสราโดยการเพิ่มอัตราการไหลเวียนกลับและความเร็วไหลขึ้นของระบบ UASB. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.

ไพจิตรา กระแจหิน. (2552). การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าเพื่อผลิตไฮโดรเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.

ไพเชษฐ์ ธรรมภาณ. (2541). ผลของระยะเวลากักเก็บน้ำของถังปฏิกิริยาสร้างกรดต่อการบำบัดน้ำเสียมูลสุกรโดยกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

มาลีวิศวาจารย์. (2531). *การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ*. กรุงเทพฯ:จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุนันท์ พูลธนกิจ. (2547). การบำบัดน้ำกากส่าของเสียของโรงงานสุรา องค์การสุราโดยกระบวนการยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.

อมรรัตน์บุญมี. (2549). การบำบัดน้ำเสียโรงกลั่นเอทานอลจากกากน้ำตาลด้วยระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

Angelidaki, I. & Ellegaard, L. (2003). Co-digestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants, status and future trends. *Applied Biochemistry and Biotechnology, 109*, 95-105.

Angelidaki, I., & Sanders, W. (2004). Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 3*(2), 117-129.

Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J.L., & Guwy, A. J. (2009). Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water Science & Technology, 59*(5), 927-934.

APHA. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (22thed). Washington DC. : American Public Health Association.

Armigum, B., Sigamoney, R., & Von Blottnnitzh. (2008). Commercialization of biofuel industry in affrica : review. *Sustainable Energy Reviews*, 690-711

Astals, S., Ariso, M., Galí, A., & Mata-Alvarez, J. (2011). Co-digestion of pig manure and glycerine: Experimental and modelling study. *Journal of Environmental Management, 92*, 1091-1096.

Astals, S., Nolla-Ardèvol, V., & Mata-Alvarez, J. (2012). Anaerobic co-digestion of pig manure and crude glycerol at mesophilic conditions: Biogas and digestate. *Bioresource Technology, 110*(0), 63-70.

Astals, S., Nolla-Ardèvol, V., & Mata-Alvarez, J. (2013). Thermophilic co-digestion of pig manure and crude glycerol: Process performance and digestate stability. *Journal of Biotechnology, 166*, 97– 104.

Athanasoulia, E., Melidis, P., & Aivasidis, A. (2014). Co-digestion of sewage sludge and crude glycerol from biodiesel production. *Renewable Energy, 62*, 73-78.

Braun, R. (2002). *Potenial of co-digestion.* Retrieved fromhttp://www.novaenergie.Ch/iea-bioenergytask37/Dokumente/final.PDF

Chowdhury, P., Viraraghavan, T. & Srinivasan, A. (2010) Biological treatment processes for fish processing wastewater: A review. *Bioresource Technology*, *10*, 439–449.

Esposito, G., Frunzo, L., Liotta, F., Panico, A., & Pirozzi, F. (2012). Bio-methane potential tests to measure the biogas production from the digestion and co-digestion of complex organic substrates. *The Open Environmental Engineering Journal, 5*, 1-8.

Fang, C., Boe, K., & Angelidaki, I. (2011). Anaerobic co-digestion of desugared molasses with cow manure; focusing on sodium and potassium inhibition. *Bioresource Technology*, 102, 1005–1011.

Fountoulakis, M. S., & Manios, T. (2009). Enhanced methane and hydrogen production from municipal solid waste and agro-industrial by-products co-digested with crude glycerol. *Bioresource Technology, 100*, 3043-3047.

Halbelt, E.J. (1981). Process operation and monitoring: poisons and inhibitors. *Proceeding of the 1st ASEAN Seminar Workshop on Biogas Technology*, *Manila, Philippines*, 369-385.

Hutnan, M., Kolesarova, N., Bodok, I., Spalkova, V., & Lazor, M. (2009). Possibilities of anaerobic treatment of crude glycerol from biodiesel production. *36th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering*, *156*, 1-13.

Hosseini Koupaie, E., Barrantes Leiva, M., Eskicioglu, C., & Dutil, C. (2014). Mesophilic batch anaerobic co-digestion of fruit-juice industrial waste and municipal waste sludge: Process and cost-benefit analysis. *Bioresource Technology*, *152*, 66–73.

Jingxing, M., Mariane V.W., Marta, C., & Willy, V. (2008). Improvement of the anaerobic treatment of potato processing wastewater in a UASB reactor by co-digestion with glycerol. *Biotechnology Letter*, *30*, 861–867.

Jaruwongwittaya, T., & Chen, G. (2010). A review: Renewable energy with absorption chillers in Thailand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14*, 1437–1444.

Kaewyasri, S. (2009). Utilization of molasses, molasses distillery slop and vegetable wastes for producing liquid organic fertilizer by anaerobic fermentation. Master's Thesis, Mahidol University, Bangkok.

Kafle, G. K., Kim, S. H., & Sung K. I. (2013). Ensiling of fish industry waste for biogas production: A lab scale evaluation of biochemical methane potential (BMP) and kinetics. *Bioresource Technology, 127*, 326–336.

Kangle, K. M., Kore, S. V., Kore, V. S., & Kulkarni, G. S. (2012). Recent trends in anaerobic co-digestion: a review. *Universal Journal of Environmental Research and Technology, 2*(4), 210-219.

Kaparuju, P., Serrano, M., & Angelidaki, I. (2010). Optimalzation of biogas from wheat straw stillage in UASB reactor. *Applied Energy*, 87, 3779-3783.

Ma, J., Wambeke, M. V., Carballa, M., & Verstraete W. (2008). Improvement of the anaerobic digestion of potato processing wastewater in a UASB reactor by co-digestion with glycerol. *Biotechnology Letters, 30*(5), 861-867.

Martin, M. A., Fernandez, R., Serrano, A., & Siles, J. A. (2013). Semi-continuous anaerobic co-digestion of orange peel waste and residual glycerol derived from biodiesel manufacturing. Waste Management, *33*, 1633–1639.

Metcalf & Eddy. (1982). Wastewater engineering: Treatment disposal and reuse. New York. McGraw-Hill.

Mshandete, A., Kivaisi, A., Rubindamayugi, M., & Mattiasson, B. (2004). Anaerobic batch co-digestion of sisal pulp and fish wastes. *Bioresource Technology, 95*, 19–24.

Nuchdang, S., & Phalakornkule, C. (2012). Anaerobic digestion of glycerol and co-digestion of glycerol and pig manure. *Journal of Environmental Management, 101*(0), 164-172.

Lee, J.Y., Yun, J., Kim, T.G., Wee, D., & Cho., K.S. (2014). Two-stage biogas production by co-digesting molasses wastewater and sewage sludge. *Bioprocess Biosyst Eng*, 37, 2401–2413.

Lens, P. N. L. (2004). *Resource recovery and reuse in organic solid waste management*. London: IWA Publishing.

Li, Y., Park, S. Y., & Zhu, J. (2011). Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15*(1), 821-826.

Metcalf & Eddy. (1991). Wastewater engineering: treatment disposal and reuse (3rd ed). McGraw-Hill : New York.

Nuchdang, S., & Phalakornkule, C. (2012). Anaerobic digestion of glycerol and co-digestion of glycerol and pig manure. *Journal of Environmental Management,101*(0), 164-172.

Okudoh, V., Trois, C., Workneh, T., & Schmidt, S. (2014). The potential of cassava biomass and applicable technologies for sustainable biogas production in South Africa: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 1035-1052.

Panpong, K., Srisuwan, G., O-Thong, S. & Kongjan, P. (2014). Anaerobic co-digestion of canned seafood wastewater with glycerol waste for enhanced biogas production**.** *Energy Procedia*, 52, 328-336.

Panpong, K., Srisuwan, G., O-Thong, S. & Kongjan, P. (2014). Enhanced biogas production from canned seafood wastewater by co-digestion with glycerol waste and *wolffia arrhiza*. *Energy Procedia*, 52, 337-351.

Pérez, R. (1997). Feeding pigs in the tropics. FAO Animal Production and Health Paper – 132.

Regueiro, L., Carballa, M., Álvarez, J. A., & Lema, J. M. (2012). Enhanced methane production from pig manure anaerobic digestion using fish and biodiesel wastes as co-substrates. *Bioresource Technology*, *123*(0), 507-513.

Santibáñez, C., Varnero, M. T., & Bustamante, M. (2011). Residual glycerol from biodiesel manufacturing, waste or potential source of bioenergy: A review. *Chilean journal of agricultural research, 71*(3), 469-475.

Sarker, S., & Moller, H.B. (2014). Regulating feeding and increasing methane yield from co-digestion of C_5 molasses and cattle manure. *Energy Conversion and Management*, 84, 7–12.

Serrano, A., Siles, J. A., Chica, A. F., & Martín, M. A. (2013). Agri-food waste valorization through anaerobic co-digestion: fish and strawberry residues. *Journal of Cleaner Production*, 54, 125-132.

Shafiei, M., Kabir, M. M., Zilouei, H., Horvath, I. H., & Karimi, K. (2013). Techno-economical study of biogas production improved by steam explosion pretreatment. *Bioresource Technology, 148*, 53–60.

Sharma, D., Espinosa-Solares, T., & Huber, D.H. (2013).Thermophilic anaerobic co-digestion of poultry litter and thin stillage. *Bioresource Technology*, 136, 251–256.

Siles López, J. Á., Martín Santos M. d. l. Á., Chica Pérez A. F., & Martín A. (2009). Anaerobic digestion of glycerol derived from biodiesel manufacturing. *Bioresource Technology, 100*(23), 5609-5615.

Viana, M. M., Freitasb, A. V., Leitaoc, R. C., Pintoc, G. A. S., & Santaellad, S. T. (2012). Anaerobic digestion of crude glycerol: a review. *Environmental Technology Reviews, 1*(1), 81–92.

Vrieze, J.D., Plovie, K., Verstraete, W., & Boon, N. (2015). Co-digestion of molasses or kitchen waste with high-rate activated sludge results in a diverse microbial community with stable methane production. Journal of *Environmental Management*, 152, 75-82.

Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology, 99*, 7928-7940.

Wasterholm, M., Hansson, M., and Schnurer A. (2012). Improved biogas producton from whole stillage by co-digestion with cattle manure. *Bioresource Technology*, 114, 314-319.

Yazdani, S. S., & Gonzalez, R. (2007). Anaerobic fermentation of glycerol: A path to economic viability for the biofuels industry. *Current Opinion in Biotechnology, 18*, 213-219.

Zhang, W., Wei, Q., Wu, S., Qi, D., Wei Li, W., Zuo, Z., & Dong, R. (2014). Batch anaerobic co-digestion of pig manure with dewatered sewage sludge under mesophilic conditions. Applied Energy,175–183.

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายเกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Kiattisak Panpong
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 5 9103 99001 40 1
3. ตำแหน่งปัจจุบันอาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
   โครงการจัดตั้งมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา วิทยาเขตสตูล
   ที่อยู่ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000
   โทรศัพท์มือถือ 083-6554305 E-mail: panpong1@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา
   ปีที่จบ 2557 M.E-Ph.D. (วิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
   ปีที่จบ 2546 B.S (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
   Technology fermentation, Anaerobic digestion, Wastewater treatment process and design, Alternative and renewable energy
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

ชื่อโครงการ	ระยะเวลาดำเนินการ	แหล่งทุน	วงเงิน	สถานภาพในการทำวิจัย
การผลิตก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นโดยใช้ระบบอีจีเอสบี	2552-2553	สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.)และบริษัท วงศ์บัณฑิต จำกัด	2,000,000	ผู้ร่วมโครงการ

8. อื่นๆ

8.1 ประสบการณ์การทำงาน

27 มิ.ย 57 – ปัจจุบัน อาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา (วิทยาเขตสตูล) และโปรแกรมวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

29 ม.ค. 58 วิทยากรบรรยายในหัวข้อ “การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปอุตสาหกรรมเกษตรโดยใช้กลยุทธ์การหมักร่วม” ในงานสัมมนาวิชาการทางเทคโนโลยีชีวภาพด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ณ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

8.2 ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ (Publication)

Panpong, K., Srisuwan, G., O-Thong, S. &Kongjan, P. (2014).Anaerobic co-digestion of canned seafood wastewater with glycerol waste for enhanced biogas production.Energy Procedia, 52, 328-336.*The paper from PhD research*

Panpong, K., Srisuwan, G., O-Thong, S. &Kongjan, P. (2014).Enhanced biogas production from canned seafood wastewater by co-digestion with glycerol waste and *wolffiaarrhiza*. Energy Procedia, 52, 337-351 .*The paper from PhD research*

กัลยา ศรีสุวรรณ, วีระศักดิ์ ทองลิมป์และเกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์ (2013). ความสามารถจำเพาะในการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรียชนิดเม็ดในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ใช้กรดซัลฟิวริคและพอลิเมอร์A 704 ในกระบวนการผลิตยางสกิม. Naresuan University Engineering Journal, Vol. 8, No. 1, January-June 2013, pp. 15-20.

8.3การนำเสนอผลงานทางวิชาการในที่ประชุมวิชาการและมีการพิมพ์เป็นรูปเล่ม

(Oral presentation/proceeding)

Panpong, K., Srisuwan, G., & O-Thong, S. (2013). Co-digestion of seafood cannery wastewater with glycerol waste and *wolffiaarrhiza* to increase biogas production. 2013. International conference on alternative energy in developing countries and emerging economies (2013 AEDCEE). 30-31 May 2013. Bangkok, Thailand.

Panpong, K., Srisuwan, G., & O-Thong, S. (2013). Anaerobic co-digestion of cannery seafood wastewater with glycerol waste for enhanced biogas production.2013 International conference on alternative anergy in developing countries and emerging economies (2013 AEDCEE). 30-31 May 2013. Bangkok, Thailand.

Srisuwan, G., Panpong, K., (2007). Sulfate and organic matter removal in batch anaerobic wastewater treatment.PSU-UNS International Conference on Engineering andEnvironment - ICEE-2007, 10-11 May 2007, Phuket, Thailand.

เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์,สมศักดิ์ แก้วพลอย, ชำนาญ พูนสวัสดิ์ และทัศนี ศรีมาชัย.(2558). การประเมินศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานปลาป่น. การประชุมวิชาการระดับชาติเทคโนโลยีภาคใต้ ครั้งที่ 5. วิทยาลัยเทคโนโลยีภาคใต้ 23 มกราคม 2558.

กัลยา ศรีสุวรรณวีระศักดิ์ ทองลิมป์และเกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์. (2554).การผลิตก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตสูงโดยใช้ระบบอีจีเอสบี.การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7. 3 – 5 พฤษภาคม 2554.

เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์, กัลยา ศรีสุวรรณและวีระศักดิ์ ทองลิมป์. (2554). ผลของความเร็วน้ำไหลขึ้นต่อสมรรถนะของระบบ EGSB ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้น.ประชุมวิชาการประจำปีบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 1 (SET-04). มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์22 เมษายน 2554.

เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์, กัลยา ศรีสุวรรณและวีระศักดิ์ ทองลิมป์. (2554). ผลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อสมรรถนะของระบบ EGSBในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้น. ประชุมวิชาการประจำปีบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 1(SET-04). มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์22 เมษายน 2554.

กัลยา ศรีสุวรรณ, เกียรติศักดิ์ พันธ์พงศ์และจันทิมา ชั่งสิริพร. การกำจัดซัลเฟตในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศแบบทีละเท. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 4หาดใหญ่ สงขลา.8-9 ธันวาคม 2548.

ประวัตินักวิจัยร่วม 1

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายธิวาริ โอภิธากร
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Thiwari Ophithakorn
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 39001 0010276 6
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
   โครงการจัดตั้งมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา วิทยาเขตสตูล
   ที่อยู่ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000
   โทรศัพท์มือถือ 089-7321009 E-mail: thiwari_o@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา
   ปีที่จบ 2557 ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต(ปร.ด.) สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
   มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
   ปีที่จบ 2548 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
   มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
   ปีที่จบ 2544 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) (วิทยาศาสตร์ทั่วไป) สาขาวิชาเคมี-ฟิสิกส์
   มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
   การจัดการสิ่งแวดล้อมการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การควบคุมระบบบำบัดมลพิษน้ำอุตสาหกรรม
   แบบจำลองทางนิเวศวิทยา
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
   ไม่มี
8. อื่นๆ

8.1 ใบทะเบียน

- ใบทะเบียนผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษน้ำ ประเภทบุคคล
  โดย กรมโรงงานอุตสาหกรรม เลขทะเบียน 100-51-00562
  วันที่อนุญาต 6 พฤศจิกายน 2557วันหมดอายุ 6 พฤศจิกายน 2560

8.2 ประสบการณ์ด้านการทำงาน

เมษายน 2557– ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาวิทยาเขตสตูล มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
กันยายน 2556 – มกราคม 2557	ผู้ช่วยวิจัย เรื่อง Micropollutant Sorption on Sludge, Laboratoire de Physique Moléculaire et Structurale, UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Université Montpellier I, เมืองมองเปริเยร์ ประเทศฝรั่งเศส
พฤษภาคม 2555 – พฤษภาคม 2556	ผู้ช่วยวิจัยเรื่องการศึกษาพลวัตรระบบของออกซิเจนละลายน้ำในคลองอู่ตะเภา คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตุลาคม 2553 – สิงหาคม 2554	ผู้ช่วยวิจัยโครงการการชะโลหะหนักและแร่ธาตุจากของเสียและผลิตภัณฑ์กากขี้แป้งหลังการแยกเนื้อยางคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ตุลาคม 2553 – มกราคม 2554	ผู้ช่วยวิจัย โครงการเฝ้าระวังมลพิษทางทะเลกลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง กระบี่ พังงา ภูเก็ต และระนอง ปี 2553 สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จังหวัดกระบี่ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมร่วมกับมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
พฤษภาคม 2552 – พฤษภาคม 2553	วิศวกรฝ่ายขาย ห้างหุ้นส่วนจำกัด วอเตอร์ครีเอชั่น
พฤษภาคม 2548 – พฤษภาคม 2552	ผู้จัดการฝ่ายทรัพยากรน้ำ บริษัท แมนเอโฟรสเซนฟูดส์ จำกัด
พฤษภาคม 2545 – พฤษภาคม 2548 ภายใต้	ผู้ช่วยวิจัย เรื่อง การทอดอาหารทะเล ผัก และผลไม้ สภาวะสุญญากาศ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
เมษายน 2544 – พฤษภาคม 2545	ผู้ช่วยวิจัย เรื่องการศึกษาโลหะหนักตะกอนท้องน้ำคลองอู่ตะเภาและเทคโนโลยีเมมเบรนเพื่อการทดลอง ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

8.3 การตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

Ophithakorn, T., Suksaroj, C. and Suksaroj, T. T. 2013.Simulation Modelling of Dissolved Organic Matter Removal in a Free Water Surface Constructed Wetland. Ecological Modelling.258 : 82-90.

8.4 การนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

Ophithakorn, T., Yaeed, S. and Suksaroj, T. T. 2014.Harmful Effects of Tributyltin in Songkhla Old-Town Bay. The 3rd Annual Prince of Songkla University Phuket International Conference (PSU PIC 2014): Multidisciplinary Studies on Sustainable Development, 13–14 November 2014, Phuket, Thailand.

Ophithakorn, T., Suksaroj, C. and Suksaroj, T. T. 2013.Mathematical Modelling of Dissolved Organic Matter Removal in Free Water Surface Constructed Wetland. The 9th Asia Pacific Conference on Sustainable Energy & Environmental Technologie (APCSEET 2013), 5–8 July 2013, Narita, Japan.

Ophithakorn, T., Suksaroj, C. and Suksaroj, T. T. 2013.Organic Matter in Free Water Surface Constructed Wetland of Hat Yai Water Reclamation Plant. ASssuring Sustainability via University with Research (ASSURE 2013): towards a sustainable earth system environment in Asia Pacific and beyond International Conference, 16-18 May, 2013, Songkhla, Thailand.

Ophithakorn, T., Suksaroj, C. and Suksaroj, T. T. 2013.Reduction of dissolved organic matter in free water surface constructed wetland-the case of constructed wetlands in water reclaimation plant of Hatyai city municipality, Thailand. The 4th Environmental Technology and Management Conference (The 4th ETMC 2011): Present and Future Challenges in Environmental Sustainability, 3-4 November 2011, Bundung, Indonesia.

Ophithakorn, T. and Yamsaengsung, R. Oil Absorption during Vacuum Frying of Fish Tofu. PSU-UNS 2003 International Conference, Energy and Environment, Hat Yai, Songkhla, Thailand, December 11-12, 2003.

8.5 การนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับชาติ

Toha, J., Ophithakorn, T., Kritdatikarn, P. and Suksaroj, T. 2012.System Dynamics of Dissolved Oxygen of Klong U-taphao in the Context of Dissolved Organic Matter. The 1st Phayao Research Conference, January 12-13, Payao, Thailand.

Ophithakorn, T., Yamsaengsung, R., Tongurai, C., Jitbunjerdkul, S. 2004.Oil Absorption during Vacuum Frying of Seafood.The 2nd PSU Symposium on Graduate Research. March 12, Songkhla, Thailand.

8.6 การฝึกอบรม

19-26 เมษายน 2557 ผ่านการฝึกอบรมหลักสูตร “การวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยเชิงสำรวจด้วย SPSSรุ่นที่ 2/2557” โดย ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

11-13 มิถุนายน 2556 ผ่านการฝึกอบรมหลักสูตร “การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขอผลิตภัณฑ์ (CFP)” (21 ชั่วโมง)โดย กลุ่มงานมาตรการอื่นๆ สำนักมาตรการทางการค้ากรมการค้าต่างประเทศ

20-27 มีนาคม 2553 ผ่านการฝึกอบรมหลักสูตร “Excel กับการจัดการฐานข้อมูล รุ่นที่ 2/2553” โดย ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3-4 ธันวาคม 2552 ผ่านการฝึกอบรมหลักสูตร “การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์” โดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

19 กันยายน 2550 ผ่านการฝึกอบรมหลักสูตร “วิศวกรรมคุณค่าเชิงปฏิบัติ” โดย Energy and Creativity Consultants Co., Ltd.

15 มีนาคม 2550 ผ่านการอบรมหลักสูตร “การเงินและการบัญชีสำหรับผู้บริหารที่ไม่ใช่นักบัญชี” โดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

31 กรกฎาคม 2549 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิชาชีพระยะสั้น (80 ชั่วโมง) วิชางานบริการคอมพิวเตอร์วิทยาลัยสารพัดช่างสงขลา

20-25 มีนาคม 2549 ผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรผู้ประกอบการ :พลังงานทดแทน “น้ำมันไบโอดีเซล” โดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

10 สิงหาคม 2551 ผ่านการสอบมาตรฐาน “ผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษน้ำ” โดย กรมโรงงานอุตสาหกรรม

20 มิถุนายน 2551 ผ่านการฝึกอบรมหลักสูตร “องค์กรเครือข่ายภาครัฐและเอกชนเพื่อการพัฒนาและอนุรักษ์น้ำบาดาล” โดย สำนักทรัพยากรน้ำบาดาล ภาค 12 จังหวัดสงขลา

21 มีนาคม 2551 ผ่านการฝึกอบรมหลักสูตร “การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดสำหรับอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง” โดย สำนักเทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม

16-17 พฤศจิกายน 2549 ผ่านการอบรมหลักสูตร “ระบบทำความเย็นอุตสาหกรรม” โดย บริษัท รีฟริเจอเรชั่นเทคโนโลยีเอ็นจิเนีย จำกัด

28 กรกฎาคม 2548 ผ่านการอบรมหลักสูตร “การพัฒนาระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงานในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา” โดย สำนักเทคโนโลยีและการจัดการมลพิษโรงงาน กลุ่มการจัดการสิ่งแวดล้อม

25-26 ตุลาคม 2548 ผ่านการอบรมหลักสูตร “Workshop on Membrane Technology for Environmental Protection Based on MBR” โดย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

11-15 กรกฎาคม 2548 ผ่านการอบรมหลักสูตร “ผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษน้ำ” โดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

29 มิถุนายน 2548 ผ่านการอบรมหลักสูตร “ความรู้ทางกฎหมายและเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม” โดย สภาอุตสาหกรรม จังหวัดสงขลา

8.7 งานบริการวิชาการ

- วิทยากรบรรยาย เรื่องการใช้บึงประดิษฐ์ในการจัดการน้ำเสีย 19 กันยายน 2557 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา วิทยาเขตสงขลา
- วิทยากรบรรยาย เรื่อง การจัดการทรัพยากรน้ำในชุมชนท่องเที่ยวลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา วันที่ 9 กรกฎาคม 2557โครงการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมของชุมชนท่องเที่ยวในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ณ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่าทะเลน้อย อำเภอควนขนุนจังหวัดพัทลุง
- วิทยากรบรรยาย เรื่อง การฝึกปฏิบัติทำ EM-Ball วันที่ 9 กรกฎาคม 2557 โครงการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมของชุมชนท่องเที่ยวในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ณ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่าทะเลน้อย อำเภอควนขนุนจังหวัดพัทลุง

ประวัตินักวิจัยร่วม 2

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายนวิทย์ เอมเอก
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Nawit Amage
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน3 9011 00138 73 7
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
   มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา วิทยาเขตสตูล
   ที่อยู่ ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา

โทรศัพท์มือถือ 081-5490515
E-mail: abcohm@gmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ 2542 ปริญญาตรี บธ.บ. (การจัดการ)
มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีที่จบ 2545 ปริญญาโท M.Sc. (Engineering Business Management)
Coventry University, United Kingdom

ปีที่จบ 2556 ปริญญาเอก ปร.ด. (การจัดการ)
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

การจัดการ

7. ประสบการณ์ด้านการวิจัย

งานวิจัยเรื่อง“การพัฒนาศักยภาพผู้ประกอบการธุรกิจขนาด ย่อม กรณีศึกษาเครื่องจักสาน ตำบลบ้านแดง อำเภอตะการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี” ทุนวิจัยมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีประจำปีงบประมาณ 2552

งานวิจัยเรื่อง “การพัฒนาสมรรถนะผู้ประกอบการน้ำส้มควันไม้เพื่อการพัฒนาความยั่งยืนของเกษตรกร กรณีศึกษา บ.เคียงมูล พลังงานทดแทน อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี” ทุนวิจัยมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีประจำปีงบประมาณ 2552

งานวิจัยเรื่อง “การพัฒนาความยั่งยืนของการการเป็นผู้ประกอบการการค้าชายแดน กรณีศึกษาผู้ประกอบการตำบลช่องเม็ก อำเภอสิรินทร จังหวัดอุบลราชธานี” ทุนวิจัยมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีประจำปีงบประมาณ 2553

งานวิจัยเรื่อง “สมรรถนะการจัดส่งธุรกิจของผู้ประกอบการการค้าชายแดน กรณีศึกษาผู้ประกอบการตำบลช่องเม็ก อำเภอสิรินทร จังหวัดอุบลราชธานี” ทุนวิจัยมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีประจำปีงบประมาณ 2553

งานวิจัยเรื่อง “การพัฒนารูปแบบการสอนแบบบูรณาการครบวงจรกรณีศึกษารายวิชา การจัดส่งธุรกิจ คณะบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี”ทุนวิจัยคณะบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีประจำปีงบประมาณ 2553

การวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก เรื่อง “สมรรถนะเชิงพฤติกรรมเพื่อความสามารถในการแข่งขันและความสำเร็จของผู้ประกอบการการค้าชายแดนไทย-มาเลเซีย เพื่อรองรับประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน” โดยทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ปีงบประมาณ 2555 จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

8. ผลงานการตีพิมพ์

นวิทย์ เอมเอก, อิสรัฐ รินไธสง และอนุวัต สงสม. (2557). โมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของการพัฒนาความสามารถในการแข่งขันสำหรับผู้ประกอบการการค้าชายแดนไทย-มาเลเซีย เพื่อรองรับประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน: การทบทวนวรรณกรรม. วารสารศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ปีที่:7 ฉบับที่:2 (กรกฎาคม-ธันวาคม) พิมพ์ปี: 2558 (ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์)

Nawit Amage, Idsaratt Rinthaisong & Anuwat Songsom. (2014). “Factors influencing to behavioral competency for competitiveness and success of Thai -Malaysia border trade entrepreneurs to support AEC” Journal of Management Research, 6, No.2 (April), 2014.

นวิทย์ เอมเอก และ อาคม ใจแก้ว. (2555). สมรรถนะที่จำเป็นสำหรับผู้ประกอบการการค้าชายแดนไทย-มาเลเซีย เพื่อรองรับประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน. รายงานสืบเนื่องจากการประชุม (Proceeding) การประชุมวิชาการระดับชาติด้านการบริหารจัดการ ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Amage, N., Chaikeaw, A., and Kaewjomnong, A. (2013). Factors Influencing Competency of the Trade Along the Thai-Malaysia Border Trade Entrepreneurs to Support the ASEAN Economic Community. (Proceeding). The 6th Silpakorn University international conference on academic research and creative arts: Integration of art and science. Silpakorn University.

Amage, N., Chaikeaw, A., & Kaewjomnong, A. A proposed model of Development Competencies for Thai-Malaysian border trade entrepreneurs to Support the ASEAN Economic Community. (Proceeding). The 5th International Conference on Humanities and Social Sciences: Intercultural Transition into ASEAN Community. Prince of Songkla University.

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY