



รายงานการวิจัย

การเพิ่มผลผลิตมีเทนโดยการหมักร่วมระหว่างซีรัมจากโรงงานน้ำยางข้นและของเสีย

กลีเซอรอลโดยใช้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

Enhance Biogas Production from Co-digestion Latex Concentrated
Wastewater and Glycerol Waste by Anaerobic Digestion

นพดล โพชกำเหนิด

Noppadon Podkumnerd

สมพงษ์ โอทอง

Sompong O-Thong

คณะศิลปศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. ๒๕๕๙



รายงานการวิจัย

การเพิ่มผลผลิตมีเทนโดยการหมักร่วมระหว่างชีรั้มจากโรงงานน้ำยางข้นและของเสีย
กลีเซอรอลโดยใช้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

Enhance Biogas Production from Co-digestion Latex Concentrated
Wastewater and Glycerol Waste by Anaerobic Digestion

นพดล โพชกำเหนิด

Noppadon Podkumnerd

สมพงษ์ โอทอง

Sompong O-Thong

คณะศิลปศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. ๒๕๕๙

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้ให้การสนับสนุน
ทุนอุดหนุนงานวิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปี ๒๕๕๙ ขอขอบคุณอาจารย์ประจำหลักสูตรรายวิชา
วิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ที่มีส่วนทำให้
งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นพดล โพชกำเหนิด

สมพงศ์ โอทอง

สิงหาคม ๒๕๖๐

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นศึกษาการเพิ่มผลผลิตมีเทนโดยการหมักรวมน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้นและกลีเซอรอลด้วยแบคทีเรียบำบัดซัลเฟต *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* 112YL โดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนที่อุณหภูมิสูง (60 °C) โดยแปรผันอัตราส่วนของกลีเซอรอลในน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้นร้อยละที่ 0 5 10 15 20 25 และ 30 คิดเป็นอัตราส่วน COD:SO₄²⁻ อยู่ที่ 8.2 13.1 16.6 20.9 25.0 29.1 และ 33.6 ตามลำดับ ในขั้นตอนแรกทำการบำบัดซัลเฟตในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นที่มีการหมักร่วมกับของเสียกลีเซอรอลด้วยแบคทีเรียสายพันธุ์ *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* 112YL ให้ผลผลิตไฮโดรเจน 300 1080 540 210 90 50 and 20 mL-H₂/L-waste มีประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟต 64.3% 74.7% 74.8% 74.4% 72.2% 67.6% และ 67.4% (v/v) ตามลำดับ เมื่อนำน้ำทิ้งจากกระบวนการบำบัดซัลเฟตไปผลิตมีเทนในขั้นตอนที่สองโดยใช้กลีเซอรอลอุณหภูมิสูงแบบไร้อากาศ พบว่าที่อัตราส่วนของกลีเซอรอลในน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้น 0% 5% 10% 15% 20% 25% และ 30% (v/v) ให้ผลได้มีเทน 0.329 0.337 0.349 0.344 0.286 0.234 และ 0.203 L-CH₄/gCOD ตามลำดับ สอดคล้องกับผลผลิตมีเทน 7.24 13.16 21.63 28.20 28.90 28.59 และ 28.16 L-CH₄/L โดยการหมักรวมน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้นและของเสียกลีเซอรอลที่อัตราส่วนกลีเซอรอล 10% ให้ผลผลิตพลังงานสูงสุด (82%) และมีประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตสูงกว่าการหมักน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้นเดี่ยวๆ

คำสำคัญ: น้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้น ของเสียกลีเซอรอล การหมักรวมน ไฮโดรเจนและมีเทน

Abstract

A two-stage anaerobic digestion process from co-digestion of latex concentrated wastewater with glycerol waste using *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* strain 112YL under thermophilic condition was investigated. The hydrogen production from co-digestion of latex concentrated wastewater with glycerol waste at mixing ratio of 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30% (v/v) of glycerol waste from first stage was 300, 1080, 540, 210, 90, 50 and 20 mL-H₂/L-waste, respectively. Co-digestion of latex concentrated wastewater with glycerol waste at mixing ratio of 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30% (v/v) of glycerol waste had COD:SO₂⁻⁴ ratio of 8.2, 13.1, 16.6, 20.9, 25.0, 29.1 and 33.6, respectively and sulfate removal efficiency from first stage was 64.3, 74.7, 74.8, 74.4, 72.2, 67.6 and 67.4%, respectively. The methane production from co-digestion of latex concentrated wastewater with glycerol waste at mixing ratio of 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30% (v/v) of glycerol waste was 7.24, 13.16, 21.63, 28.20, 28.90, 28.59 and 28.16 L-CH₄/L waste, respectively, corresponding to methane yield of 0.329, 0.337, 0.349, 0.344, 0.286, 0.234 and 0.203 L-CH₄/gCOD, respectively. The maximum energy recovery from two stage process (82%) was achieved from co-digestion latex concentrated wastewater with glycerol waste at mixing ratio of 10% (v/v) of glycerol waste. The results shown that the co-digestion achieves higher performance in terms of sulfate removal and biogas production than digestion latex concentrated wastewater alone.

Keywords: Latex concentrated wastewater, glycerol waste, co-digestion, hydrogen and methane

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 น้ำยางข้น	4
2.2 กลีเซอรอล	6
2.3 กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	10
2.4 การหมักร่วมแบบไร้อากาศ	13
2.5 การบำบัดซัลเฟตในน้ำเสียที่มีซัลเฟตสูง	15
2.6 การผลิตมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้น	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1 การเตรียมวัตถุดิบ	18
3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆของน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น และกลีเซอรอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	18
3.3 การเตรียมหัวเชื้อ	18

3.4 การศึกษาศักยภาพในการบำบัดซัลเฟตและมีเทนโดยใช้กระบวนการสองขั้นตอน	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	20
4.1 ลักษณะองค์ประกอบของชีรุ่มจากโรงงานน้ำยางข้น และกลีเซอรอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	20
4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตจากการหมักร่วมชีรุ่มและกลีเซอรอลโดยเชื้อ <i>Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum</i> 112YL	20
4.3 ศักยภาพการผลิตมีเทนจากการหมักร่วมชีรุ่มและกลีเซอรอลหลังกระบวนการบำบัดซัลเฟตที่อุณหภูมิสูง	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	29
บรรณานุกรม	30

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรอล
ตารางที่ 2.2	ข้อดีและข้อเสียของระบบการหมักร่วมแบบไร้อากาศ
ตารางที่ 4.1	องค์ประกอบของชีรุ่มจากโรงงานน้ำยางข้นและของเสียกลีเซอรอล
ตารางที่ 4.2	แสดงปริมาณซัลเฟตและซีโอดีก่อนบำบัดและหลังบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตและซีโอดีหลังกระบวนการบำบัดซัลเฟต
ตารางที่ 4.3	ปริมาณซัลเฟต ซีโอดี ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีก่อนและหลังกระบวนการผลิตมีเทน
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าพลังงานจากกระบวนการผลิตมีเทนโดยการหมักร่วมชีรุ่มโรงงานน้ำยางข้นและของเสียกลีเซอรอลหลังกระบวนการบำบัดซัลเฟต

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1	กระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นแยก 5
ภาพที่ 2.2	กระบวนการผลิตไปโอติเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน 9
ภาพที่ 2.3	แนวทางการใช้ประโยชน์จากกลีเซอรอล 10
ภาพที่ 2.4	กระบวนการกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน 13
ภาพที่ 2.5	ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้อากาศที่มี ซัลเฟตในน้ำเสีย 17
ภาพที่ 4.1	อัตราส่วนซีโอต์ต่อซัลเฟตเริ่มต้นและหลังการหมักร่วมซีรัมและ กลีเซอรอล 22
ภาพที่ 4.2	ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอต์หลัง กระบวนการบำบัดซัลเฟตโดยการหมักร่วมซีรัมและกลีเซอรอล 23
ภาพที่ 4.3	แสดงปริมาณไฮโดรเจนสะสมหลังกระบวนการบำบัดซัลเฟตโดยการ หมักร่วมซีรัมจากโรงงานน้ำยางข้นและของเสียกลีเซอรอล 25
ภาพที่ 4.4	ผลผลิตมีเทนและผลได้มีเทนจากน้ำทิ้งหลังกระบวนการบำบัด ซัลเฟต โดยการหมักร่วมซีรัมโรงงานน้ำยางข้นและกลีเซอรอล 26

ภาพที่ 4.5	ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจาก การหมักร่วมซีรัมและของเสียกลีเซอรอลหลังกระบวนการผลิตมีเทน	28
------------	---	----

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย โดยประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและมีการส่งออกยางธรรมชาติเป็นจำนวนมาก ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่มีการส่งออก ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่งมาตรฐาน และน้ำยางข้น เป็นต้น การผลิตน้ำยางข้นในประเทศไทยใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงในการปั่นแยกน้ำยางสดได้น้ำยาง 2 ส่วน คือ หางน้ำยาง และน้ำยางข้น โดยน้ำยางข้นมีองค์ประกอบเป็นเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content: DRC) ประมาณ 60% ซึ่งน้ำยางข้นจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ เช่น ถุงมือยาง ยางรถยนต์ เป็นต้น นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นมีขั้นตอนการจับหางน้ำยางซึ่งได้น้ำชีรั่มที่ไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น โดยส่วนใหญ่ชีรั่มประกอบประกอบด้วยสารอินทรีย์เป็นหลัก (คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน) และมีปริมาณซัลเฟลอยู่ในปริมาณสูง จึงจำเป็นต้องบำบัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติและน้ำมันดิบ มีอยู่ในปริมาณจำกัดและคาดว่าจะหมดไปในระยะเวลาอีกไม่นาน ประกอบกับราคาน้ำมันดิบบนตลาดโลกในปัจจุบันที่ค่อนข้างแปรปรวนในทิศทางที่สูงขึ้น นอกจากนี้การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหล่านี้ยังก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเนื่องจากการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกออกมา ทำให้เกิดกระแสการแสวงหาพลังงานทางเลือกใหม่ที่เป็นพลังงานหมุนเวียนศักยภาพสูงและเป็นพลังงานสะอาดสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานฟอสซิลได้ (ชนิษฐา หมูโสภัญ , 2553) โดยมีเทนเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสามารถผลิตได้จาก วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ผ่านกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า หรือเครื่องกำเนิดความร้อนอื่นๆ ต่อไป ซึ่งถือเป็นการผลิตพลังงานทดแทนเพื่อใช้ในประเทศควบคู่ไปกับการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นการส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อประเทศอย่างแท้จริง

แต่เนื่องจากการหมักวัตถุดิบเพียงประเภทเดียวจะให้ผลผลิตน้อย จึงต้องใช้กระบวนการในการหมักร่วมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมีเทน การหมักร่วมมีความสำคัญในการเพิ่มผลผลิตมีเทน เช่น การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารและการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการเติมกลีเซอรอลดิบที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 36.8 L/day เป็น 72.2 L/day และ 90.4 L/day หลังจากเพิ่มกลีเซอริน 30.8 และ 46.3 mL/day ตามลำดับ (สมจินตนา ลิ้มสุข และคณะ, 2554) การใช้วิธีการหมักร่วมเป็นการทำให้ของเสียมีองค์ประกอบที่

เหมาะสมเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจนและมีเทนที่ได้ผลผลิตมากขึ้น ก๊าซเซอร์รอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตมีเทนได้ เนื่องจากก๊าซเซอร์รอลจะมีแหล่งคาร์บอนอยู่ในปริมาณสูง และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ (สมจินตนา ลีมีสุข และคณะ, 2554) ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในระหว่างการผลิตมีเทน สามารถนำมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตมีเทนได้ แต่การหมักร่วมกับของเสีย ก๊าซเซอร์รอลจะไปเพิ่มอัตราส่วน $COD:SO_4^{2-}$ ซึ่งในกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายผ่าน 2 ปฏิกิริยา คือ sulfate reduction และ methanogenesis สัดส่วนของสารอินทรีย์ที่ถูกใช้แต่ละปฏิกิริยาขึ้นกับความสามารถในการแข่งขันในการใช้สารอาหารระหว่าง sulfate reducing bacteria (SRB) และ Methane producing bacteria (MPB) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในด้านการกำจัดซีโอดี คุณภาพและปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการบำบัดซัลเฟตเพื่อเพิ่มผลผลิตมีเทนจากการหมักร่วมระหว่างชีวมวลจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นและก๊าซเซอร์รอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 60 °C ด้วยจุลินทรีย์ชอบร้อนสายพันธุ์ *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* (112YL) สำหรับการบำบัดซัลเฟต และใช้กล้ายเชื้ออุณหภูมิสูงแบบไร้อากาศสำหรับการผลิตมีเทน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อทราบองค์ประกอบของชีวมวลจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นและก๊าซเซอร์รอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

1.2.2 เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและการบำบัดซัลเฟตจากการหมักร่วมชีวมวลจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นและก๊าซเซอร์รอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

1.2.3 เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตไฮโดรเจนและบำบัดซัลเฟตจากการหมักร่วมชีวมวลจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นและก๊าซเซอร์รอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

1.2.4 เพื่อศึกษาการผลิตมีเทนหลังกระบวนการบำบัดซัลเฟตจากการหมักร่วมระหว่างชีวมวลจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นและก๊าซเซอร์รอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนที่อุณหภูมิ 60 °C

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาองค์ประกอบของชีวมวลจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นและก๊าซเซอร์รอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล บำบัดซัลเฟตก่อนผลิตมีเทนจากชีวมวลโรงงานผลิตน้ำยางข้นและก๊าซเซอร์รอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเพื่อเพิ่มผลผลิตมีเทน โดยใช้กระบวนการหมัก

แบบไร้อากาศสองขั้นตอน ทำการหมักที่อุณหภูมิ 60°C ด้วยจุลินทรีย์ชอบร้อนสายพันธุ์ *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* (112YL) สำหรับการบำบัดซัลเฟต และใช้กล้ำเชื้ออุณหภูมิสูงแบบไร้อากาศ สำหรับการผลิตมีเทน

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของการวิจัย

สามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร สามารถลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการทิ้งของเสียอินทรีย์จากเกษตรกรรม สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทน โดยการเติมกลีเซอรอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลและลดปริมาณซัลเฟตก่อนการผลิตไฮโดรเจน เป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการชีวมวลจากโรงงานผลิตน้ำตาลขุ่นและกลีเซอรอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำยางข้น

น้ำยางข้น คือ น้ำยางที่มีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content : DRC) ไม่ต่ำกว่า 60% การผลิตน้ำยางข้นสามารถทำได้ 4 วิธี คือ วิธีระเหยด้วยน้ำ (evaporation) วิธีทำให้เกิดครีม (creaming) วิธีปั่นแยก (centrifuging) และวิธีแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecantation) ซึ่งวิธีที่ใช้ในการผลิตน้ำยางข้นในประเทศไทย ใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง

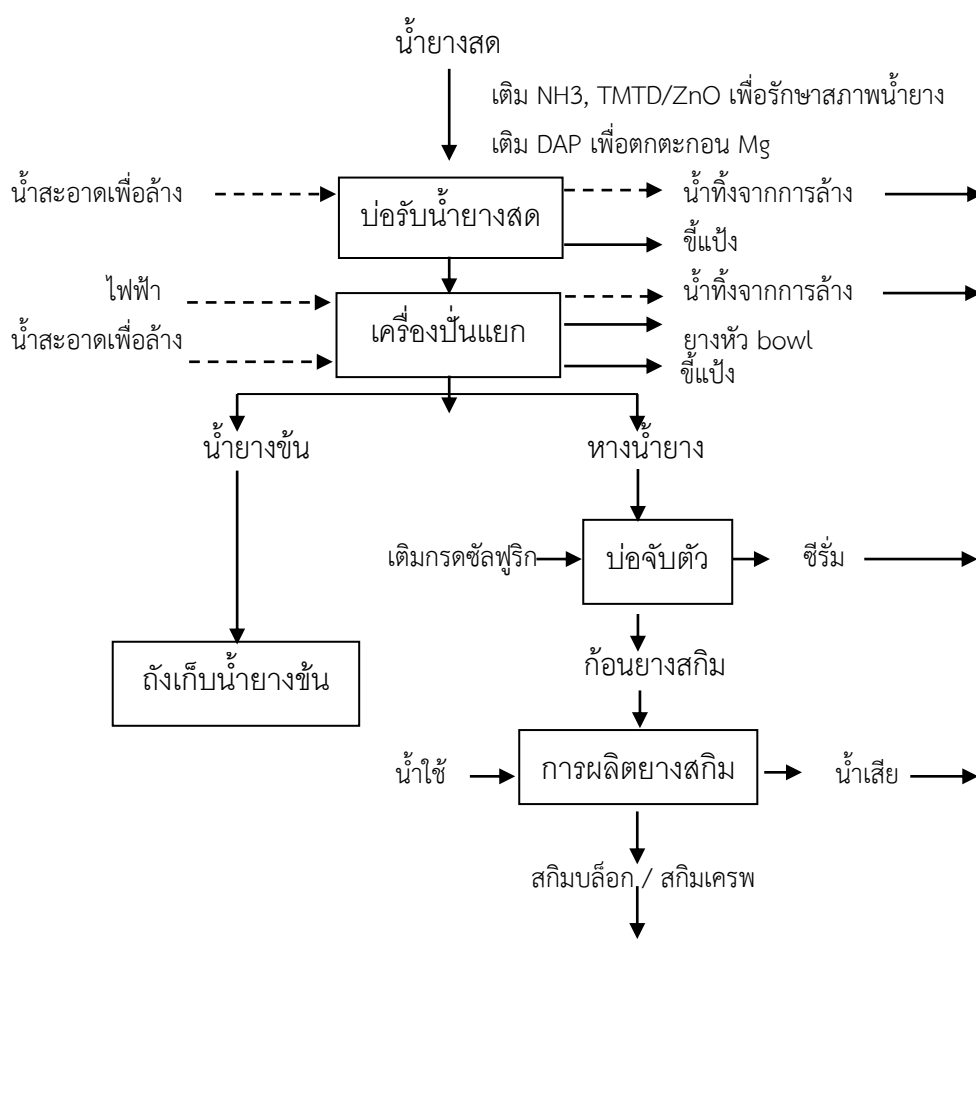
2.1.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น

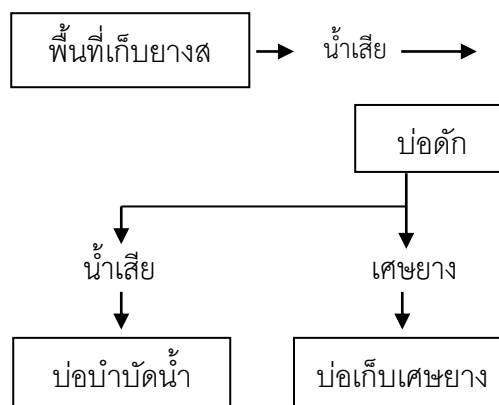
น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวข้นคล้ายน้ำมัน มีอนุภาคขนาด 0.05-0.5 ไมครอน ในน้ำยางสดมีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 25-45% ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุ ฤดูกาล และกรรมวิธีกรีดยาง โดยทั่วไปน้ำยางสดประกอบด้วยสารที่เป็นของแข็งทั้งหมด 36% เนื้อยางแห้ง 33% โปรตีนและไขมัน 1.0-1.2% คาร์โบไฮเดรตและเถ้า 1.0% ความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 g/mL และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.5-7.0 ซึ่งต้องนำมาแปรรูปให้อยู่ในรูปของน้ำยางข้น เพื่อให้เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ และมีคุณภาพที่สม่ำเสมอว่าน้ำยางสด ส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะใช้วิธีการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นเหวี่ยง โดยมีกระบวนการดังนี้

2.1.1.1 การรับน้ำยางสด น้ำยางสดจะถูกรักษาสภาพไม่ให้จับตัว ด้วยแอมโมเนีย และ TMTD/ZnO และถูกถ่ายผ่านตะแกรงกรองลงสู่รางรับน้ำยางสด จากนั้นน้ำยางสดจะไหลจากรางรับน้ำยางสดลงสู่บ่อรับน้ำยางสด

2.1.1.2 การเตรียมน้ำยางสด ต้องมีการปรับสภาพน้ำยางสดให้เหมาะสมต่อกระบวนการปั่นแยกด้วยการเติมแอมโมเนีย เพื่อให้มีปริมาณแอมโมเนียเกินกว่า 0.4% โดย

น้ำหนักรและเติม diammonium hydrogen phosphate (DAP) เพื่อให้แมกนีเซียมตกตะกอนเป็นซีแพ้ง และทิ้งไว้ 1 คืนสำหรับน้ำยางที่มีแมกนีเซียมสูง สำหรับน้ำยางที่จะนำมาปั่นแยก ควรมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm และเมื่อปั่นแล้วไม่ควรเกิน 20 ppm นอกจากนี้ ปริมาณกรด (Volatile Fatty Acid :VFA) ไม่ควรเกิน 0.05% หากเกิน ให้นำไปผสมกับน้ำยางสดที่มีค่าไม่เกิน 0.05%





ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นแยก

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2548)

2.1.1.3 การปั่นแยก อาศัยหลักการ คือ น้ำยางธรรมชาติเป็นสารละลายคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยส่วนอนุภาคของยางแขวนลอยกระจายอยู่ในเซรุ่ม และเนื่องจากอนุภาคยางเหล่านี้เบากว่าเซรุ่มจึงลอยตัวสู่ผิวหน้าน้ำยางและมีการเคลื่อนไหวแบบบราวเนียน ซึ่งอัตราการเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ดังนั้น การปั่นจะช่วยเพิ่มแรงดึงดูด และเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง ซึ่งช่วยแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกจากส่วนเซรุ่ม ในการปั่นแยกน้ำยางสดจะได้น้ำยาง 2 ส่วน คือ หางน้ำยาง และน้ำยางข้น โดยน้ำยางข้นจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 60% เครื่องปั่นยางขนาดเล็ก สามารถปั่นน้ำยางสดได้ประมาณ 150 ลิตร/ชั่วโมง ส่วนเครื่องขนาดใหญ่สามารถปั่นน้ำยางสดได้ 400-600 L/h และในการปั่นแยกยางจะมีการล้างเครื่องปั่นยางทุกๆ 2 หรือ 3 ชั่วโมง เนื่องจากการอุดตันของยางและกากซี่แปรงบริเวณหัวโบลของเครื่องปั่นยาง โดยในการล้างแต่ละครั้ง จะใช้เวลาในการล้างนานประมาณ 10-15 นาที

2.1.1.4 การไล่แอมโมเนียในหางน้ำยาง หางน้ำยางที่ได้จากกระบวนการปั่นยางจะถูกนำไปไล่แอมโมเนียออก เพื่อลดปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกในการตกตะกอนเพื่อผลิตยางสกิม เนื่องจากถ้าหางน้ำยางมีปริมาณแอมโมเนียสูง จะต้องใช้กรดในการตกตะกอนเป็นปริมาณมาก ดังนั้น จึงมีการไล่แอมโมเนียในหางน้ำยาง ด้วยการใช้กรดไล่แอมโมเนียหรือเครื่องกว

2.1.1.5 การผลิตยางสกิม หางน้ำยางที่ผ่านการไล่แอมโมเนียแล้ว จะถูกเติมด้วยกรดซัลฟูริกเพื่อให้เนื้อยางจับตัวกันในขั้นตอนนี้จะได้อ่อนยางสกิม

2.1.1.6 การดักยาง (แยกยางขายจากบ่อ) เป็นการดักจับเนื้อยางที่ปะปนมากับน้ำเสียจากขบวนการต่างๆ เช่น การตกค้ำในบารับน้ำยางสดเครื่องปั่นยาง และบ่อเก็บน้ำยางข้น ด้วย

การเติมโพลิเมอร์ต่างๆ หรือจากบ่อดักยาง ซึ่งยางที่ได้จะสามารถนำไปขายในราคาต่ำ เนื่องจากมีคุณภาพไม่ดี

2.2 ก्लीเซอรอล

2.2.1 คุณสมบัติของกลีเซอรอล

จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล 45.3 กิโลกรัม ได้กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ประมาณ 4.53 กิโลกรัม กลีเซอรอลเป็นวัสดุที่มีความโดดเด่นในการประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย จากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของทำให้กลีเซอรอลสามารถนำมาใช้ร่วมกับสารชนิดอื่นได้ทำให้ง่ายต่อการจัดการ และยังเป็นสารที่ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม คุณสมบัติทางกายภาพกลีเซอรอลสามารถละลายน้ำได้ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความหนืด และจุดเดือดสูง (ตารางที่ 2.1) (Ayoub and Abdullah, 2012)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรอล

Propoties	Values
Chamical formular	CH ₂ OH-CHOH- CH ₂ OH
Formula weight	92.09

Form and color	Colorless and liquid	
Specific gravity	1.260 ^{50/4}	
Melting point	17.9 °C	
Boiling point	290 °C	
Solubility in 100 parts		
Water	Infinity	
Alcohol	Infinity	
Ether	Insoluble	
Heat of fusion at 18.07 °C	47.49 cal/g	
Viscosity of liquid glycerol		
At 100% purity	10 cP	
At 50% purity	25 cP	
Diffusivity in	(DL x 10 ⁵ sq cm/s)	
i-Amyl alcohol	0.12	
Ethanol	0.56	
Water	0.94	
Specific heat in aqueous solution	15 °C (cal/g °C)	30 °C (cal/g °C)
(mol%)		
2.12	0.961	0.960
4.66	0.929	0.924
11.5	0.851	0.841
43.9	0.670	0.672
100	0.555	0.576

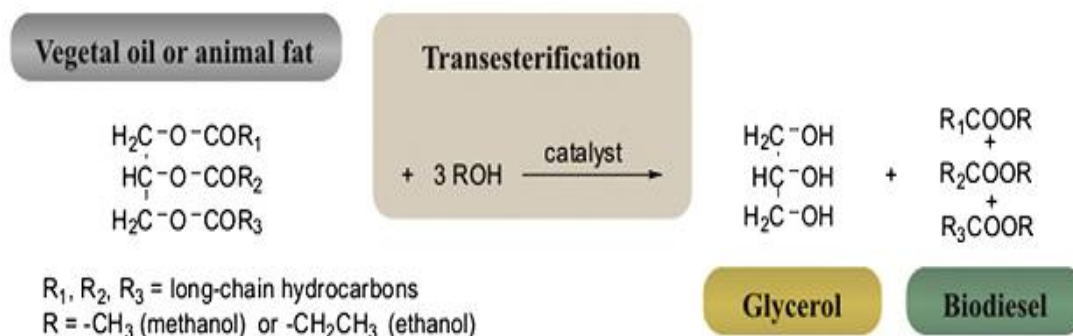
ที่มา: Ayoub and Abdullah (2012)

2.2.2 ของเสียกลีเซอรอลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ด้วยปัจจุบันทั่วโลกกำลังเผชิญวิกฤตน้ำมันเชื้อเพลิงราคาสูง และมีแนวโน้มที่จะดำเนินไปอย่างต่อเนื่องในอนาคต ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแหล่งทรัพยากรธรรมชาติด้านพลังงานจากฟอสซิลน้อย ขณะที่ความต้องการพลังงานสูงขึ้นเรื่อยๆ พลังงานที่ใช้ในประเทศส่วนใหญ่จึงต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ขาดความมั่นคงทางด้านพลังงาน ส่งผลให้เกิดความพยายามที่

จะหาแหล่งพลังงานอื่นๆเพื่อทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง การแสวงหาแหล่งพลังงานในประเทศเพื่อทดแทนการนำเข้าน้ำมันจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดการขาดดุลเงินตราต่างประเทศ การหาแหล่งพลังงานมาทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะน้ำมันดีเซลนั้นมีสัดส่วนการใช้ถึงประมาณ 44% ของปริมาณการใช้น้ำมันสำเร็จรูป โดยกลุ่มผู้ใช้น้ำมันดีเซลส่วนใหญ่อยู่ในภาคเกษตรกรรมและภาคการขนส่ง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจอย่างกว้างขวาง และส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มในประเทศไทยนั้นมีการขยายตัวเป็นอย่างมากจากความต้องการด้านพลังงานทดแทน ซึ่งรัฐบาลมีนโยบายในการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเพื่อให้สอดคล้องกับภาวะน้ำมันแพงและภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน ไบโอดีเซลจึงเป็นตัวเลือกหนึ่งที่กำหนดให้ใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยรัฐบาลไทยได้ตั้งเป้าไว้ในการส่งเสริมในการผลิตไบโอดีเซลให้ได้ 3 ล้านลิตรต่อปีภายใน พ.ศ. 2554 และเพิ่มเป็น 3.64 และ 4.50 ล้านลิตรใน พ.ศ. 2559 และ 2565 ตามลำดับ ทำให้คาดการณ์ได้ว่าปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มจะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต

ไบโอดีเซล หมายถึง เชื้อเพลิงทดแทนประเภทดีเซลจากธรรมชาติ โดยการนำเอาน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ มาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification) ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ของไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น คือ เมทิลเอสเตอ์ (ไบโอดีเซล) และกลีเซอรอลซึ่งปริมาณของกลีเซอรอลจะมีประมาณ 10% ของไบโอดีเซลที่เกิดขึ้น ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันมักจะต้องการตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ และเนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันสามารถดำเนินการแบบย้อนกลับได้การใช้แอลกอฮอล์มากเกินไปจะช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางการผลิตไบโอดีเซลมากขึ้น ส่วนกระบวนการเกิดปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันแบบย้อนกลับเกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระ (FFA) กับเมทานอล (CH_3OH) โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและจะได้ผลิตภัณฑ์คือเมทิลเอสเตอ์ (ไบโอดีเซล) และกรดไขมันอิสระ (FFA) ดังภาพที่ 2.2 หลังจากทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันนั้นยังมีสิ่งปนเปื้อน เช่น สบู่ เมทานอล ตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดสิ่งปนเปื้อนออก ก่อให้เกิดน้ำเสียเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีกลีเซอรินอิสระ (free glycerine) กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ซี ฟอสฟอรัสและสารซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ



ภาพที่ 2.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

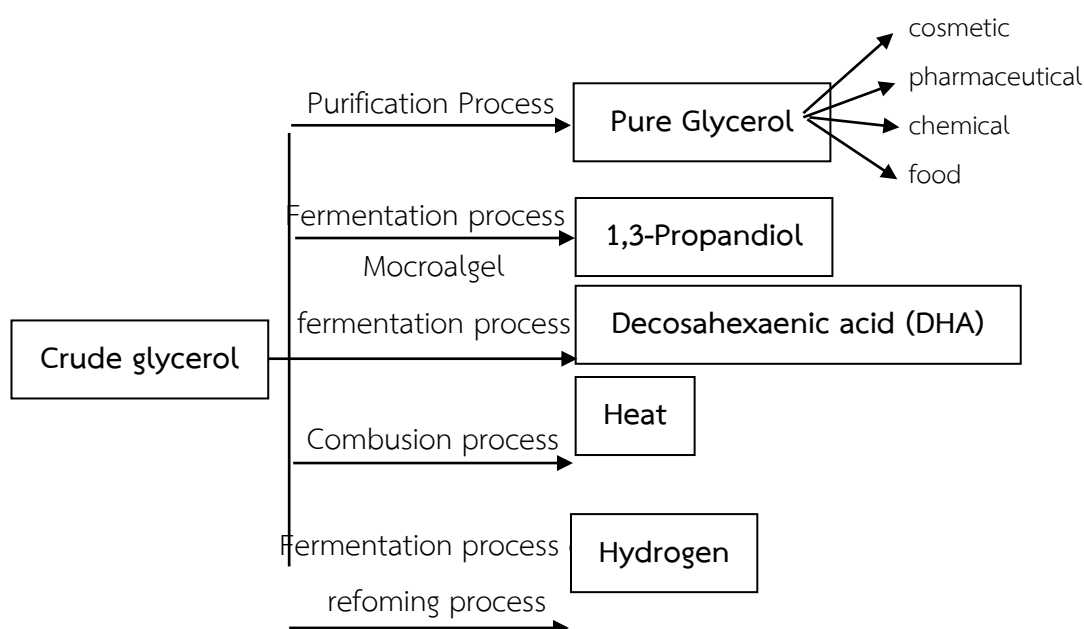
ที่มา : Leoneti et al. (2012)

2.2.3 การประยุกต์ใช้กลีเซอรอล

โดยปกติกลีเซอรอลบริสุทธิ์ (99.5%) จะถูกใช้เป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง เนื่องจากกลีเซอรอลมีจุดเดือดสูงถึง 290 °C การแยกกลีเซอรอลเพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ตามต้องการโดยการกลั่นที่อุณหภูมิสูงจะทำให้กลีเซอรอลเกิดการสลายตัวไปเป็นสารชนิดอื่นสำหรับการทำกลีเซอรอลดิบให้บริสุทธิ์นั้นเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและดำเนินการสูง ในขณะที่ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยยังไม่สูงเพียงพอที่จะได้กลีเซอรอล เป็นผลผลิตพลอยได้ในปริมาณที่คุ้มค่ากับการลงทุน ทำให้ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีโรงงานผลิตกลีเซอรอลบริสุทธิ์ในปัจจุบัน ในขณะที่ประเทศอื่นๆ เช่น ในทวีปยุโรปและอเมริกา ซึ่งผลิตไบโอดีเซลมากเป็นอันดับต้นๆ ของโลก ต่างก็มีโรงงานทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ โดยกลีเซอรอลดิบที่ผลิตได้จากทวีปเอเชียส่วนใหญ่จะถูกส่งต่อไปที่ประเทศอเมริกา

ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ได้ศึกษาการนำกลีเซอรอลดิบไปแปรรูปเป็นสารอื่นที่มีมูลค่าเพิ่ม เช่น นำไปใช้ในกระบวนการผลิตสาร 1,3-Propanediol ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยผ่านวิธีการหมักโดยใช้แบคทีเรีย นอกจากนี้ยังมีการนำกลีเซอรอลดิบไปใช้ในกระบวนการผลิตสาร Docosahexenoic acid (DHA) หรือ Omega-3 ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ ช่วยต่อต้านโรคมะเร็ง การนำกลีเซอรอลไปใช้เป็นเชื้อเพลิงก็เป็นวิธีการหนึ่งที่นำกลีเซอรอลไปใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตาม กลีเซอรอลที่นำไปเผาไหม้ให้ความร้อนโดยตรงนั้นจะสลายตัวได้สารผิดขึ้นมาชนิดหนึ่ง ได้แก่ อะโครลีน (Arolein) ซึ่งมีพิษต่อร่างกายมนุษย์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบการเผาไหม้ให้ดีเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดพิษกระจายสู่สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาพบว่ากลีเซอรอลเป็นสารตั้งต้นที่มีประสิทธิภาพชนิดหนึ่งในการนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (สุจิตา อรรถยานันทน์ และอมรชัย อภรณ์วิชานพ, 2013)

กลีเซอรอลได้รับการรายงานว่าสามารถใช้เป็นวัสดุหมักร่วมในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศเพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเติมกลีเซอรอล 6% ในการหมักมูลสุกรทางชีวภาพ สามารถเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงถึง 180% และปริมาณกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่เหมาะสมในการใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการผลิตก๊าซชีวภาพที่มีการเติมมูลวัวอยู่ที่ 5 และ 10% นอกจากนี้เมื่อนำกลีเซอรอลมาหมักร่วมกับของเสียขยะมูลฝอยสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 2094 mL CH₄/d จาก 1,400 mL CH₄/d เมื่อมีการเติมกลีเซอรอลลงไป (Leoneti et al., 2012) นอกจากนี้ Fountoulakis et al. (2009) รายงานการเติมของเสียกลีเซอรอลลงในระบบผลิต มีเทนจากของเสียชุมชนด้วย ระบบ CSTR พบว่าก่อนเติมของเสียกลีเซอรอลระบบให้ผลผลิต มีเทน 1,106 mL-CH₄/d หลังจากเติมของเสียกลีเซอรอลลงไป 1% ระบบให้ผลผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นเป็น 2,353 mL-CH₄/d



ภาพที่ 2.3 แนวทางการใช้ประโยชน์จากกลีเซอรอล

ที่มา: สุธิดา อรรถยานันท์ และ อมรชัย อภรณ์วิชานพ (2013)

และการศึกษาของ Hutnan et al. (2013) รายงานการผลิตมีเทนจากการหมักร่วม น้ำเสียชุมชนกับของเสียกลีเซอรอลพบว่าสามารถผลิตมีเทนได้สูงขึ้นและมีความเสถียรโดยให้ผลผลิตมีเทน 328 mL/gCOD และการศึกษาของ Sulaiman et al. (2009) รายงานการผลิตมีเทนโดยการหมักร่วมน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบกับของเสียกลีเซอรอลในถัง CSTR ขนาด 50 m³

พบว่า การเติมกลีเซอรอลลงไป 1% ให้ผลผลิตมีเทนสูงขึ้นและมีความเสถียร โดยมีอัตราการผลิตมีเทน $1.01 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$

2.3 กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบที่มีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ (Organic matter) ปริมาณความเข้มข้นสูง ภายในระบบจะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่มีอากาศ ซึ่งประกอบด้วย การย่อยสลายหลายขั้นตอนของการย่อยสลาย โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียหลายกลุ่ม แต่ละกลุ่มจะทำหน้าที่แตกต่างกันในแต่ละขั้นตอนของการย่อยสลาย ให้ได้ก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศจะประกอบไปด้วย 4 กระบวนการย่อย ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ทั้งที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ละลายน้ำ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เป็นต้น ให้มีขนาดโมเลกุลเล็กที่สามารถละลายน้ำได้ ผลของปฏิกิริยาจะได้สารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน เป็นต้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้ คือ แบคทีเรียกลุ่มไฮโดรไลติก (Hydrolytic bacteria) และกลุ่มเฟอร์เมนเตทีฟ (Fermentative bacteria)

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) สารประกอบอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลเล็กที่ละลายน้ำซึ่งถูกสร้างโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสจะถูกแบคทีเรียกลุ่ม (Acid forming bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มการหมัก โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะเปลี่ยน น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน กรดไขมัน ไปเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid) ซึ่งโมเลกุลมีอะตอมของคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) กรดโพรพิโอนิก ($\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$) กรดบิวทีริก ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$) เป็นต้น และสารอื่นๆ เช่น เอทานอล ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acetogenesis) กรดอินทรีย์ระเหยง่ายและแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม จะถูกแบคทีเรียกลุ่ม (Acetogenic Bacteria) เปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ซึ่งเป็นสาระสำคัญในการผลิตมีเทน ปฏิกิริยานี้ถือเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการหลีกเลี่ยงให้ไม่มีการสะสมกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและแก๊สไฮโดรเจนในปริมาณที่สูงพอที่จะยับยั้งกระบวนการผลิตมีเทน โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้เรียกว่าแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen forming bacteria) เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acetogenesis) เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มผลิตไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ด้วย ตัวที่ผลิตกรดได้อาจไม่สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ จึงถือว่าแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซไฮโดรเจนเป็นชนิดของแบคทีเรียผลิต

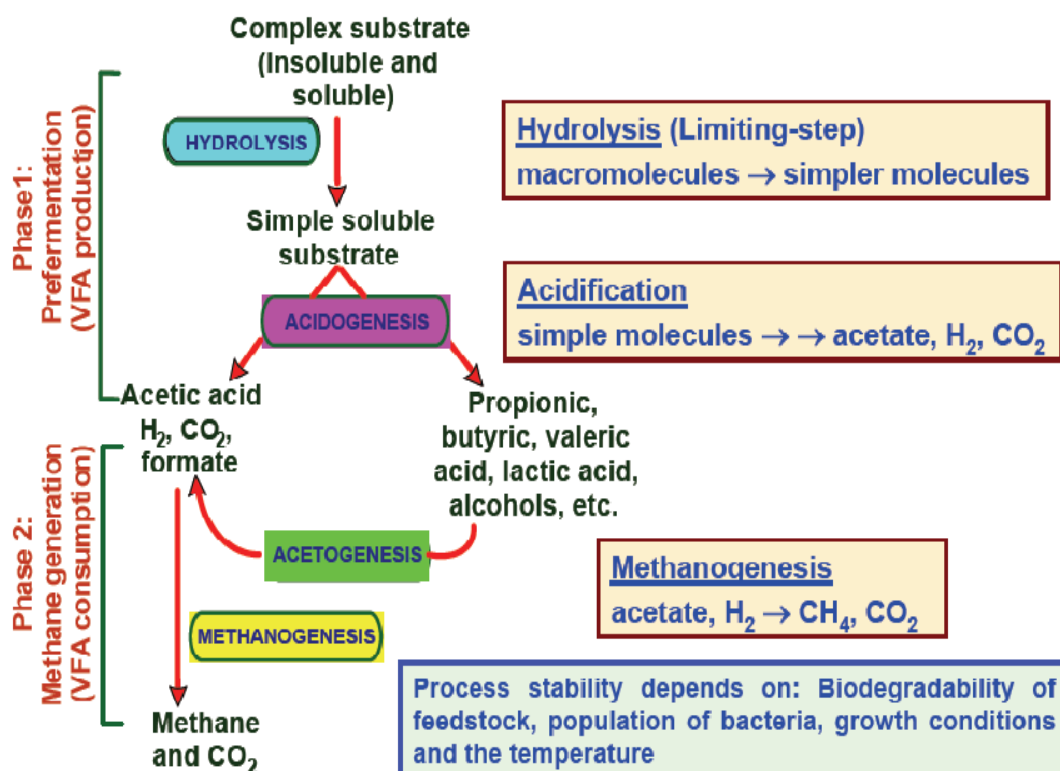
กรดด้วย แบคทีเรียกลุ่ม Acetogenic bacteria และ Acid forming bacteria ทั้ง 2 ชนิด เรียก
รวมกันว่า แบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ผลิตก๊าซมีเทน (Non-Methanogenic bacteria)

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการ (Methanogenesis) กระบวนการผลิตมีเทนเป็นขั้นสุดท้ายของ
กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจนโดยจุลินทรีย์สร้างมีเทน (Methanogens) จะ
ย่อยผลผลิตที่ได้มาจากขั้นตอนการผลิตกรด โดยสารตั้งต้นที่สำคัญที่สุดคือ กรดอะซิติก ก๊าซ
ไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลสุดท้ายคือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
และก๊าซอื่นๆในปริมาณเล็กน้อย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3)

2.3.1 กระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน

การบำบัดชีวมวลจากอุตสาหกรรมน้ำยางขั้นด้วยกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศสอง
ขั้นตอนเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการเปลี่ยนรูปของเสียอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในเชอร์รี่ให้
เป็นแก๊สเชื้อเพลิงชีวภาพ แต่เนื่องจากสารประกอบซัลเฟตในน้ำสกินเชอร์รี่จัดเป็นสารพิษสำหรับกลุ่ม
จุลินทรีย์มีเทนในระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศขั้นตอนเดียว ซึ่งเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการ
ย่อยสลายของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนลดลงและจะส่งผลให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพลดลงทั้งปริมาณและ
คุณภาพ กระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอนซึ่งเป็นการแยกขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ และ
ขั้นตอนการผลิตมีเทน โดยช่วยให้การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม คือ เชื้อจุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรด
อินทรีย์และเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทนเหมาะสมมากขึ้นเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้การ
ผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้น ซึ่งมีกลไกการย่อยแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน

กระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอนมักเป็นการแยกถึงปฏิกรณ์ออกเป็น 2 ถัง
ปฏิกรณ์ (Two-Phase Anaerobic Digestion) ซึ่งในแต่ละถังปฏิกรณ์จะมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม
ต่อเชื้อจุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่ม โดยถังปฏิกรณ์แรกเป็นถังที่เหมาะสมสำหรับการสร้างกรดอินทรีย์จะมี
เชื้อจุลินทรีย์สร้างกรดและถังปฏิกรณ์ที่สองสร้างก๊าซมีเทนเหมาะสมสำหรับเชื้อจุลินทรีย์พวกสร้างก๊าซมีเทน
ทำให้เชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดทำงานได้เต็มกำลังและใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่โดยใช้ pH เป็นตัวกำหนด
และควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์



ภาพที่ 2.4 กระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน

ที่มา : Bouallagui et al. (2005)

การย่อยแบบไม่ใช้อากาศสองขั้นตอนสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (ไฮโดรเจน และมีเทน) และการกำจัดของเสียอินทรีย์ จะประกอบด้วยกระบวนการ acidogenesis และกระบวนการ methanogenesis เนื่องจากการดำเนินงานจะใช้อุณหภูมิ, ความเป็นกรด-ด่าง และระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) ที่เหมาะสมที่แตกต่างกันเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันในเครื่องปฏิกรณ์แต่ละเครื่อง ในขั้นตอนแรกจุลินทรีย์กลุ่ม Acidogenic จะเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็น ไฮโดรเจน, กรดอินทรีย์, ตัวทำละลาย และคาร์บอนไดออกไซด์ ภายใต้สภาวะความเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5-6) ระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) มักจะสั้นลง 1-3 วัน จุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนในขั้นตอนที่สองมีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่า จุลินทรีย์กลุ่ม Acidogenic ต้องใช้ระยะเวลาในการกักเก็บ (HRT) นานกว่า (10-20 วัน) ที่สภาวะความเป็นกลางมากกว่ากรด (pH 7-8) ในการเปลี่ยนกรดอินทรีย์และตัวทำละลายที่อยู่ในน้ำทิ้งจากเครื่องปฏิกรณ์ขั้นตอนแรกไปเป็นก๊าซมีเทน (Kongjan et al., 2011) ดังนั้นกระบวนการหมักสองขั้นตอนจึงสามารถปรับสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละเครื่องปฏิกรณ์ได้อย่างอิสระ ซึ่งก็จะทำให้มีข้อได้เปรียบกว่าการดำเนินการขั้นตอนเดียวดังต่อไปนี้

- (1) ประสิทธิภาพการย่อยสลายสูงจึงเป็นผลให้ได้ปริมาณแก๊สชีวภาพสูงไปด้วย
 - (2) กระบวนการมีความเสถียรสูงทำให้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อัตราบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงได้
 - (3) แก๊สชีวภาพที่ได้จะมีความเข้มข้นของมีเทนสูงกว่า ประมาณ 65-75% ของมีเทนเทียบกับ 50-60% ของมีเทนในแก๊สชีวภาพที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายขั้นตอนเดียว
 - (4) ขนาดเครื่องปฏิกรณ์เล็กลง 40-60% จึงทำให้งบประมาณการลงทุนน้อยลง
- หลายวิจัยที่ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน ที่ผ่านมา เช่น Kongjan et al. (2011) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการสองขั้นตอนสำหรับการผลิตไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 70 °C ด้วยการผลิตก๊าซมีเทนที่อุณหภูมิ 55 °C โดยใช้ไฮโดรไลสจากฟางข้าวสาลี ในเครื่องปฏิกรณ์ยูเอเอสพี และทำการวิเคราะห์ประชากรกลุ่มจุลินทรีย์โดยใช้เทคนิค PCR-DGGE จากผลการทดลองพบว่ามีค่าผลผลิตของการผลิตไฮโดรเจนและมีเทนเท่ากับ 89 ml-H₂/gVS และ 370 ml-CH₄/gVS ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยได้เท่ากับ 81% จากการทำเนิงานที่ระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) 4 วัน (HRT 1 วันในขั้นตอนแรกและ HRT 3 วันในขั้นตอนสอง) กระบวนการสองขั้นตอนยังสามารถผลิตพลังงานรวมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเพิ่มจาก 7.5% เฉพาะขั้นตอนการผลิตไฮโดรเจนไปเป็น 87.5% ของศักยภาพการผลิตพลังงานจากไฮโดรไลส ซึ่งคิดเป็นปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ประมาณ 13.4 kg/gVS ผลการวิเคราะห์ประชากรกลุ่มจุลินทรีย์ด้วยเทคนิค PCR-DGGE ในขั้นการหมักเพื่อผลิตไฮโดรเจนพบว่าประกอบไปด้วยแบคทีเรียสายพันธุ์ *Thermoanaerobacter wieselii*, *Caldanaerobacter subteraneus* และ *Caloranaerobacter fervidus* ส่วนในเครื่องปฏิกรณ์ผลิตมีเทนจะพบกลุ่มประชากรจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทน คือ *Methanosarcina mazei* and *Methanothermobacter defluvii* ผลจากการศึกษากระบวนการสองขั้นตอนแบบไร้อากาศมีประสิทธิภาพสามารถนำมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงานและสามารถรักษาเสถียรภาพของไฮโดรไลสที่สภาวะไร้อากาศ

2.4 การหมักร่วมแบบไร้อากาศ (Anaerobic Co-digestion)

การหมักร่วมคือ การย่อยสารอินทรีย์พร้อมกัน 2 ชนิด หรือใช้ขยะอินทรีย์ที่เป็นสารตั้งต้นมากกว่าสองชนิด การหมักร่วมแบบไร้อากาศเป็นกระบวนการที่สามารถออกแบบให้การบำบัดของเสียอินทรีย์ 2 ชนิดขึ้นไปที่ได้มีลงไปสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพแบบไร้อากาศเกิดขึ้นพร้อมกัน ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในเครื่องปฏิกรณ์ในโรงงานโดยมีการปรับเปลี่ยนแก้ไขระบบเล็กน้อยและมีข้อกำหนดบางอย่างเพิ่มเติม เช่น การบำบัดของเสียอินทรีย์จากขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลเมืองร่วมกับตะกอนเยื่อกระดาษ ซึ่งให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูง การหมักแบบไร้อากาศแบบเดิมใช้สารตั้งต้นเพียงชนิดเดียว วัตถุประสงค์เดียวเพื่อบำบัด แต่เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการตระหนัก

ถึงการหมักแบบไร้อากาศว่ามีความเสถียรมากขึ้นเมื่อมีความหลากหลายของวัสดุที่ใช้ย่อยในเวลาเดียวกัน ซึ่งกรณีที่พบบ่อยที่สุด คือ สารตั้งต้นหลักที่สำคัญ (คือ กากตะกอนจากน้ำเสียหรือปุ๋ย) ย่อยร่วมกับวัสดุรองที่มีความหลากหลายของสารอินทรีย์ ทำให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นการช่วยเสริมกันของการย่อยและช่วยเพิ่มสารอาหารที่ขาดในการหมักแบบไร้อากาศเพื่อใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ (Kangle et al., 2012) ได้มีนักวิจัยหลายที่ให้ความสนใจการหมักแบบไร้อากาศจากของเสียในการผลิตก๊าซชีวภาพ เช่น

สมจินตนา ลีมสุข และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารและการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการเติมกลีเซอรินดิบที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซล โดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศในถังหมักขนาด 200 L แบบกึ่งกะ ในตอนเริ่มต้นเดินระบบใช้เศษอาหารอย่างเดียวป้อนที่อัตราการสารอินทรีย์เฉลี่ยในช่วง 0.306-1.245 g/L reactor-day (56.6-230.2 g/day) ให้ผลผลิตของมีเทนเฉลี่ย 0.456 m³CH₄/kgCOD ที่อุณหภูมิห้อง และให้ค่าผลผลิตของก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.789 m³ biogas/kg COD ในการป้อนกลีเซอรินดิบร่วมกับเศษอาหารที่อัตราป้อนเศษอาหาร 1.245 g/L reactor-day ปริมาตรก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 36.8 L/day เป็น 72.2 L/day และ 90.4 L/day หลังจากเพิ่มกลีเซอริน 30.8 และ 46.3 mL/day ตามลำดับ การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลเมืองกับกากตะกอนน้ำเสียซึ่งวัตถุดิบทั้งสองมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ดำเนินการทดลองในระบบหมักแบบไร้อากาศที่อุณหภูมิ 35 °C และพีเอช 7 โดยใช้วัตถุดิบคิดเป็นร้อยละของเสียจากครัวเรือนในเขตเทศบาลเมืองกับกากตะกอนน้ำเสีย พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเมื่อผสมของเสียจากครัวเรือนกับกากตะกอนน้ำเสียในการทดลองระบบที่ 2 ซึ่งได้ผลผลิตมีเทนสูงสุดเท่ากับ 59.7 ml จากการใช้ของเสียจากครัวเรือน 75% กับกากตะกอนน้ำเสีย 25% เมื่อครบ 98 วัน พบว่าค่าพีเอช ปริมาณซีโอดีและปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของระบบที่ 2 มีค่าดีที่สุด (Sharom et al., 2004) และยังมี การศึกษาการหมักร่วมเศษกระดาษกับมูลวัวและผักตบชวา โดยทำการเปรียบเทียบ 5 ระบบ เป็นเวลา 60 วัน โดยใช้สัดส่วนของเศษกระดาษต่างกันแต่ปริมาณมูลวัวกับผักตบชวาคงที่ ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักด้วยการแทนที่น้ำ ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงที่สุดคือ 1.11 L โดยใช้เศษกระดาษจำนวน 17.5 g มูลวัว 5 g กับผักตบชวา 5 g ในสารละลาย 250 mL (Yusuf et al., 2008) ยังมีการหมักแบบไร้อากาศของขยะมูลฝอยจากเขตเทศบาลและปุ๋ยคอกโคนมเปรียบเทียบกับหมักปุ๋ยคอกและขยะมูลฝอยเพียงอย่างเดียว พบว่าขยะมูลฝอยจากเขตเทศบาลและปุ๋ยคอกโคนมเพียงอย่างเดียวให้ผลผลิตมีเทน 62 และ 37 m³CH₄/tone ตามลำดับ การหมักร่วมของขยะมูลฝอยจากเขตเทศบาลกับปุ๋ยคอกโคนมให้ผลผลิตมีเทน 172 m³CH₄/tone dry waste (Samani et al., 2008) นอกจากนี้ยังมีการหมักแบบไร้อากาศระหว่างปุ๋ยคอกวัวกับหญ้าหมัก หัวไชเท้า และฟางข้าวโอ๊ต ในห้องปฏิบัติการด้วยระบบ CSTR ที่สามารถรองรับของแข็งระเหย

ง่ายของของเสียอินทรีย์ได้ถึง 40% และให้ผลผลิตมีเทนสูงสุด คือ 268 229 และ 231 L CH₄/kg VS จากการเติมวัสดุหมักร่วมระหว่างปุ๋ยคอกกับ หญ้าหมัก หัวไชเท้าและฟางข้าวโอ๊ต 30% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับการหมักด้วยปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว พบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 65 58 และ 16% ตามลำดับ จากงานวิจัยที่ผ่านมาของการหมักร่วมแบบไร้อากาศมีประสิทธิภาพในการให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพมากกว่าการใช้วัสดุหมักเพียงอย่างเดียว

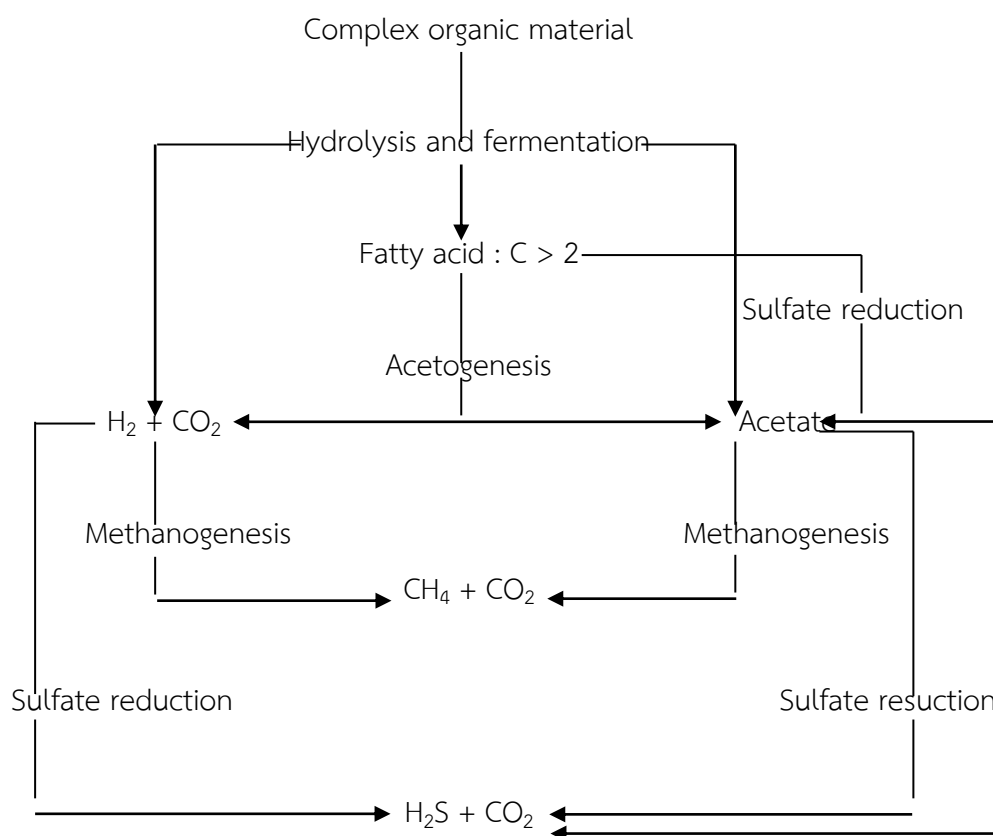
ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบการหมักร่วมแบบไร้อากาศ

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ความสมดุลของสารอาหารดีขึ้น	1. เป็นการเพิ่มปริมาณ COD ภายในระบบ
2. ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น	2. ต้องมีการบำบัดน้ำเสียขั้นเตรียมการก่อน
3. ความสามารถในการบำบัดของเสีย	3. ข้อกำหนดในการผสมเพิ่มขึ้น
4. ได้ปุ๋ยเพื่อใช้ในการปรับปรุงดิน	4. ข้อจำกัดของของเสียในการบำบัด
5. ได้พลังงานทดแทนจากชีวมวลที่ย่อยสลายได้	5. ความสามารถในการฆ่าเชื้อ
ทางการเกษตร	6. ข้อจำกัดของพื้นที่ที่ใช้ในการย่อย
	7. ขึ้นอยู่กับเศรษฐกิจของวัสดุที่ใช้หมัก

2.4 การบำบัดซัลเฟตในน้ำเสียที่มีซัลเฟตสูง

โรงงานน้ำยางในภาคใต้นิยมใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศมีข้อดีหลายอย่าง เช่น การดำเนินงานที่มีต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพสูง และยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่มีประโยชน์ แต่ซัลไฟด์จะถูกสร้างขึ้นในระหว่างการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจากน้ำเสียโรงงานยางที่มีปริมาณซัลเฟตสูง การประยุกต์ใช้ระบบที่ทันสมัย เช่น การใช้เครื่องปฏิกรณ์บำบัดซัลเฟต ได้นำมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นและน้ำยางสกิม เครื่องปฏิกรณ์บำบัดซัลเฟตเป็นขั้นตอนเพื่อลดความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเสียก่อนที่จะถ่ายโอนน้ำเสียเพื่อผลิตเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นผลพลอยได้ (Kantachote et al., 2005) การบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตในปริมาณสูงส่วนใหญ่จะใช้วิธีการแบบไม่ใช้อากาศที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 จะพบว่ามีแบคทีเรียกลุ่ม sulfate reducing bacteria (SRB) เข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งเป็นแบคทีเรียที่พบอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ จากเดิมแบคทีเรียชนิดนี้ย่อยสลายสารอินทรีย์และเกิดเป็นกรดอะซิติก แต่เมื่อมีซัลเฟตจะใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนจะรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นซัลไฟด์ SRB สามารถใช้สารอาหารได้หลายชนิดและสามารถใช้สารอาหารได้ชนิดเดียวกับ แบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน (methane producing bacteria; MPB) ในกรณีที่สารให้อิเล็กตรอนตัวสุดท้าย คือ ไฮโดรเจน

หรืออะซิเตท เช่นเดียวกับในกระบวนการบำบัดในขั้นตอนที่ 4 คือ กระบวนการสร้างมีเทน ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกาศ กระบวนการรีดิวซ์ซัลเฟตที่เกิดขึ้นเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการกำจัดสารอินทรีย์เช่นกัน เพียงแต่เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์แทนมีเทนเท่านั้นเอง แต่กระบวนการดังกล่าวก็ไม่ใช่ที่พึงประสงค์ เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น มีกลิ่นเหม็นรบกวน เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และซัลไฟด์ที่อยู่ในน้ำเสียยังมีความเป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์ผลิตมีเทน จึงจำเป็นต้องบำบัดซัลเฟตในน้ำเสียก่อนนำมาผลิตเป็นมีเทน เนื่องปริมาณซัลเฟตในน้ำที่มีปริมาณสูงจะเปลี่ยนไปเป็นซัลไฟด์หากป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตมีเทนเลยโดยไม่ผ่านการลดซัลเฟตก่อน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีและปริมาณก๊าซมีเทน



ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกาศที่มีซัลเฟตในน้ำเสีย

2.4.1 การบำบัดซัลเฟตของเชื้อ *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum*

เชื้อ *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* เป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศอย่างเด็ดขาด สร้างสปอร์ได้ จัดเป็นแบคทีเรียแกรมบวก และสามารถผลิตไฮโดรเจน

ได้ปริมาณมากจากคาร์โบไฮเดรต และเป็นแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ทำหน้าที่ดึงออกซิเจนจากสารประกอบซัลเฟต ทำให้เปลี่ยนซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

2.5 การผลิตมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้น

การนำน้ำทิ้งหลังจากกระบวนการผลิตมาบำบัดเพื่อให้ได้พลังงาน โดยน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีปริมาณสารอินทรีย์และซัลเฟตในปริมาณสูงจึงมีความจำเป็นต้องผ่านกระบวนการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ก๊าซที่เกิดขึ้นโดยแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะแบบ Anaerobic (ไม่ใช้ออกภาค) สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายผ่าน 2 ฏิกิริยา คือ sulfate reduction และ methanogenesis สัดส่วนของสารอินทรีย์ที่ถูกใช้แต่ละปฏิกิริยา ขึ้นกับความสามารถในการแข่งขันในการใช้สารอาหารระหว่าง sulfate reducing bacteria (SRB) และ Methane producing bacteria (MPB) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในด้านการกำจัดซีโอดี คุณภาพและปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิต โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนี้จะผ่านกระบวนการ บำบัด หรือการทำให้ก๊าซที่ได้มีความสะอาดและปลอดภัยมากขึ้น โดยการกำจัด ความชื้น รวมถึงก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยส่วนใหญ่ก๊าซที่ได้หลังผ่านการบำบัดแล้ว ก็จะเข้าสู่กระบวนการผลิตพลังงานในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน โดย Jawjit et al. (2010) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ยูเอเอสพี พบว่าให้ผลผลิตมีเทนอยู่ที่ $0.116 \text{ L CH}_4/\text{g COD}$ สามารถกำจัดซีโอดีได้ถึง 82%

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ทำการเก็บตัวอย่างซีรัมโรงงานน้ำยางชั้นจากบริษัทผลองอุตสาหกรรม ในบ่อบำบัดน้ำเสีย โดยทำการเก็บใส่ขวดพลาสติก และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C สำหรับกลีเซอรอล ทำการเก็บตัวอย่างกลีเซอรอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากโรงงานในจังหวัดสตูล โดยทำการเก็บใส่ขวดพลาสติกและนำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ของน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางชั้นและกลีเซอรอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

วิเคราะห์องค์ประกอบซีรัมโรงงานน้ำยางชั้นและของเสียกลีเซอรอล ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย ค่าพีเอช ความเข้มข้นน้ำตาลโดยรวมที่เหลืออยู่ COD ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ปริมาณของแข็งสารอินทรีย์ระเหยได้ (VS) เถ้า (Ash) cellulose hemicellulose lignin ไขมัน (oil) โปรตีน Sulfate คาร์โบไฮเดรต และค่าความเป็นต่าง

(alkalinity) ตามวิธีการมาตรฐาน (APHA, 1998) Nitrogen และ Carbohydrate ตามวิธีการ Kaparaju et al. (2009)

3.3 การเตรียมหัวเชื้อ

การเตรียมหัวเชื้อสำหรับการบำบัดซัลเฟต ทำการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ BA medium ปริมาตร 200 mL ในขวดน้ำเกลือขนาด 500 mL จำนวน 3 ขวด ฟัน N_2 ภายในขวดน้ำเกลือ 2-3 นาที เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะไร้อากาศ ปิดด้วยฝาจุกซิโคนและฝาจุกอะลูมิเนียมโดยใช้ Hand crimper จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave ที่ความดัน 121 bar เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้อาหารเย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมเชื้อบริสุทธิ์ *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* (112YL) 20 mL ลงในขวดอาหาร BA medium ที่เตรียมไว้ข้างต้น บ่มที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การเตรียมกล้าเชื้อสำหรับการผลิตมีเทน นำน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันมาปรับ pH ให้ได้ค่าประมาณ 7 ด้วยสารละลาย $NaHCO_3$ จากนั้นเติมน้ำทิ้งที่ทำการปรับ pH เรียบร้อยแล้ว ปริมาตร 500 mL ลงในขวดน้ำเกลือขนาด 1000 mL จำนวน 2 ขวด ปิดด้วยฝาจุกซิโคนและฝาจุกอะลูมิเนียมแบบหมุนเกลียว บ่มที่อุณหภูมิ 60 °C โดยเชื้อที่ทำการเพิ่มจำนวนเป็นเชื้อกลุ่ม Thermophilic ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ทนร้อน ทำการหมักจนกว่าจุลินทรีย์จะใช้อาหารที่เติมลงไปในการผลิตก๊าซจนหมด สังเกตจากการผลิตก๊าซที่เกิดขึ้นคงที่ ประมาณ 1-2 สัปดาห์ เป็นการกระตุ้นเชื้อจุลินทรีย์ให้มีสภาวะพร้อมสำหรับการหมักเพื่อผลิตมีเทน

3.4 การศึกษาศักยภาพในการบำบัดซัลเฟตและมีเทนโดยใช้กระบวนการสองขั้นตอน

ขั้นตอนการบำบัดซัลเฟต ทำการทดลองโดยการผสมซีรัมจากโรงงานน้ำยางชันกับกลีเซอรอลในขวดน้ำเกลือขนาด 500 mL โดยใช้ปริมาตรการทำงาน 200 mL โดยทำการแปรผันความเข้มข้นกลีเซอรอลที่ 0 5 10 15 20 25 30% โดยปริมาตร (v/v) และใช้ชุดการทดลองอาหารเลี้ยงเชื้อ BA medium (ไม่เติมกลูโคส) 160 mL อาหารเลี้ยงเชื้อ BA medium (เติมกลูโคส 2 g) 160 mL เป็นชุดควบคุมลบ (negative control) และชุดควบคุมบวก (positive control) ตามลำดับ ฟัน N_2 ภายในขวดน้ำเกลือ 2-3 นาที เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะไร้อากาศ ปิดด้วยฝาจุกซิโคนและฝาจุกอะลูมิเนียมโดยใช้ Hand crimper เติมหาล้าเชื้อที่เตรียมไว้ 20% (40 mL) บ่มที่อุณหภูมิ 60 °C (ในแต่ละชุดการทดลองเตรียม 2 ข้าง) ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ระหว่างการทดลอง ได้แก่ ปริมาตรแก๊สโดยใช้วิธีการแทนที่น้ำ วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (H_2 CH_4 CO_2) ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง

GC-TCD ทุกวัน จนกระทั่งผลผลิตไฮโดรเจนคงที่ทำการเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ ปริมาณซัลเฟตและปริมาณ COD

ทำการทดลองผลิตมีเทนต่อจากการบำบัดซัลเฟต 20% (40 mL) และเติมกล้าเชื้อผลิตมีเทนที่อุณหภูมิสูง 80% (160 mL) ลงในขวดน้ำเกลือขนาด 500 mL ใช้ N_2 ฟ้นภายในขวดน้ำเกลือ 2-3 นาที เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะไร้อากาศ ปิดด้วยฝาจุกซิลิโคนและฝาจุกอะลูมิเนียมโดยใช้ Hand crimper บ่มที่อุณหภูมิ 60 °C (ในแต่ละชุดการทดลองจะเตรียม 2 ชุด) ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ระหว่างการทดลองได้แก่ ปริมาตรแก๊สโดยใช้วิธีการแทนที่น้ำ วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (H_2 CH_4 CO_2) ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง GC-TCD ทุกวัน จนกระทั่งผลผลิตมีเทนคงที่ทำการเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ ปริมาณซัลเฟตและปริมาณ COD หลังการผลิตมีเทน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ลักษณะองค์ประกอบของชีรั่มจากโรงงานน้ำยางข้น และกลีเซอรอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ชีรั่มจากโรงงานน้ำยางข้นมีพีเอชเป็นกรด โดยมีค่าพีเอชอยู่ที่ 4.88 มีปริมาณปริมาณของสารอินทรีย์ในรูปแบบซีไอดี 34.80 g/L และมีปริมาณซัลเฟตสูง 168.5 mg/l ในขณะที่ของเสีย

กลีเซอรอลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีพีเอชตรงข้ามกับซีรัมจากโรงงานน้ำยางข้น โดยมีค่าพีเอชเป็นต่าง 9.11 และมีปริมาณสารอินทรีย์ในรูปแบบซีโอดีสูงถึง 401.10 g/L (ตารางที่ 4.1) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบแล้วจำเป็นต้องบำบัดซัลเฟตก่อนการหมักมีเทน เนื่องจากซีรัมมีปริมาณซัลเฟตสูง ซึ่งซัลเฟตอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในด้านการกำจัดซีโอดี คุณภาพ และปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิต

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของซีรัมจากโรงงานน้ำยางข้นและของเสียกลีเซอรอล

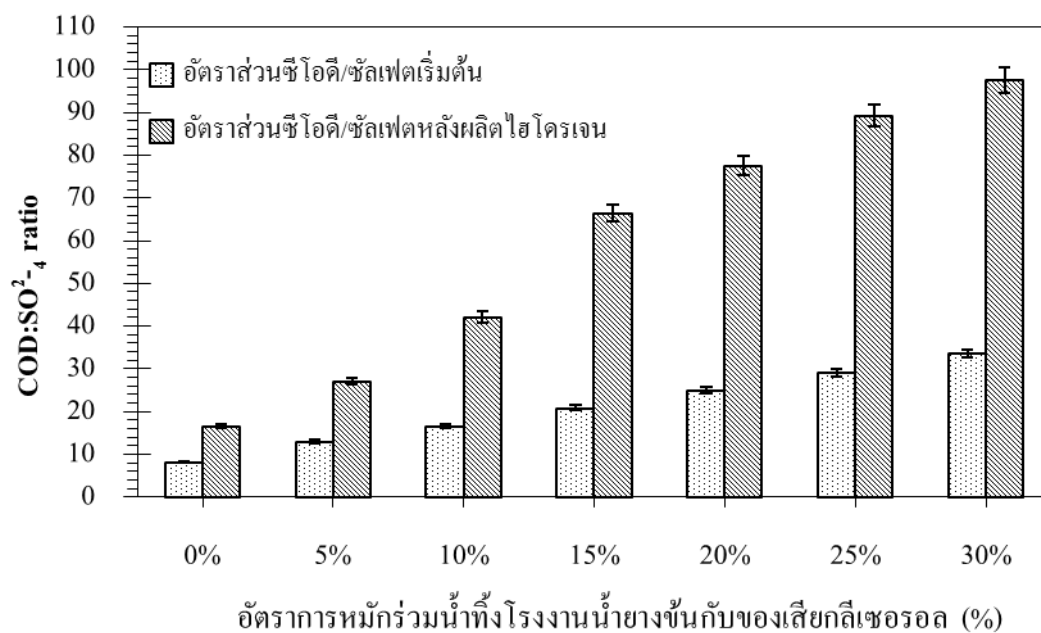
พารามิเตอร์	ซีรัม	ของเสียกลีเซอรอล
pH	4.88	9.11
TS (g/L)	54.80	899.80
VS (g/L)	34.80	825.20
COD (g/L)	34.83	401.10
Nitrogen (g/L)	6.1	ND
Carbohydrate (g/L)	1.16	ND
Lipid (g/L)	8.12	ND
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	168.5	18.95
VFA (g/L)	1.86	ND

*ND = ไม่ได้ตรวจวัด

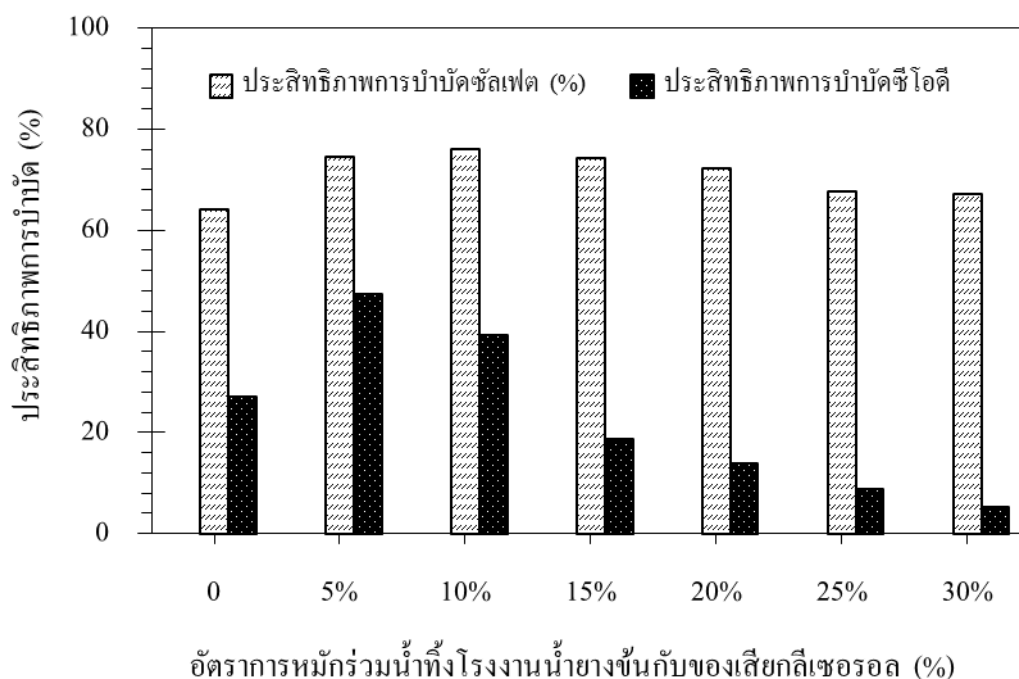
4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตจากการหมักร่วมซีรัมและกลีเซอรอลโดยเชื้อ *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* 112YL

ในการทดลองการบำบัดซัลเฟตโดยการหมักร่วมซีรัมและกลีเซอรอลที่อุณหภูมิสูง (60 °C) โดยทำการแปรผันความเข้มข้นกลีเซอรอลที่ 0 5 10 15 20 25 และ 30% (v/v) คิดเป็นอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเริ่มต้น 8.2 13.1 16.6 20.9 25.0 29.1 และ 33.6 ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นเป็น 16.7 27.1 42.2 66.4 77.5 89.2 และ 97.5 ตามลำดับ หลังการบำบัดซัลเฟต (ภาพที่ 4.1) แสดงว่าในระบบมีการปริมาณซัลเฟตลดลง ซึ่งอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตจะมีผลต่อกระบวนการผลิตมีเทน เนื่องจากอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะตัดสินว่าจุลินทรีย์รีดิวซ์ซัลเฟตหรือจุลินทรีย์ผลิตมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดีหรือไม่ โดยอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตมีค่าสูงบ่งชี้ว่าจุลินทรีย์ผลิตมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตมีค่าต่ำ เนื่องจากในระบบมีปริมาณซัลเฟตต่ำ แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเจริญเติบโตได้น้อย สอดคล้องกับการศึกษาของ Choi and Rim (1991) พบว่า

อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟตในช่วง 1.7-2.7 แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและจุลินทรีย์ผลิตมีเทนมีการแข่งขันกัน และที่อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟตสูงกว่า 2.7 จุลินทรีย์ผลิตมีเทนจะเป็นประชากรกลุ่มเด่นในระบบ เมื่อเทียบกับผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้แสดงว่ากระบวนการบำบัดซัลเฟตมีประสิทธิภาพ และปริมาณซัลเฟตในชีวมวลไม่ส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ผลิตมีเทนในขั้นตอนการผลิตมีเทน



ภาพที่ 4.1 อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟตเริ่มต้นและหลังการหมักรวมน้ำเสียและกลีเซอรอล



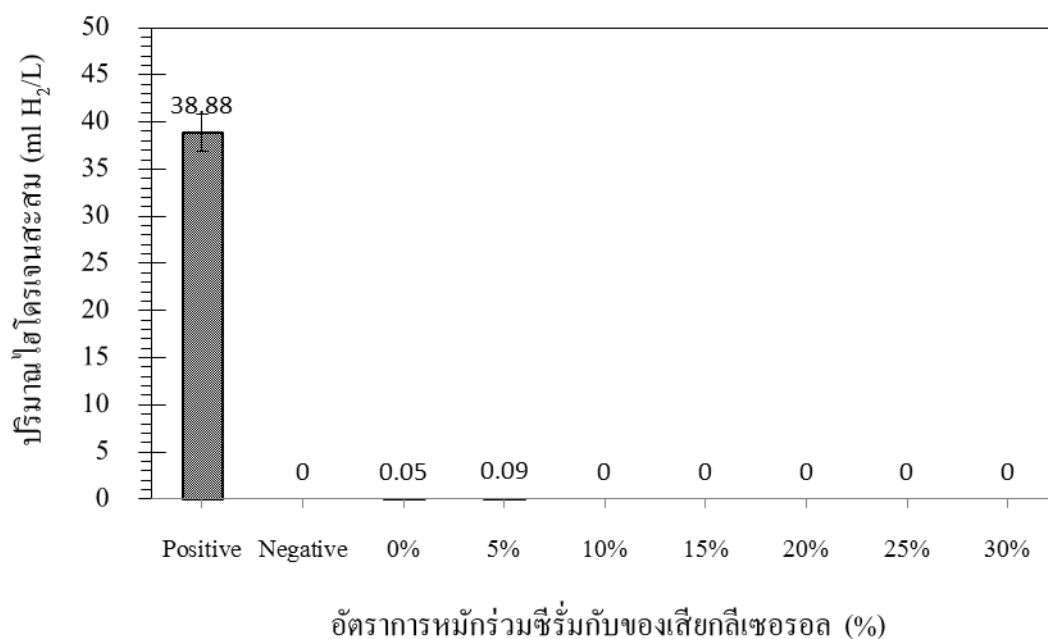
ภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีหลังกระบวนการบำบัดซัลเฟตโดยการหมักร่วมซีรัมและกลีเซอรอล

จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี โดยพบว่ากระบวนการบำบัดซัลเฟตที่มีการเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 0 5 10 15 20 25 และ 30% สามารถลดปริมาณซัลเฟตจากความเข้มข้นเริ่มต้น 4.20 4.24 4.29 4.32 4.34 และ 4.37 g/L เหลือเพียง 1.50 1.08 1.02 1.10 1.20 1.40 และ 1.43 g/L ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟตอยู่ที่ 64.3 74.7 76.1 74.4 72.2 67.7 และ 67.7 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2) ซึ่งเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟตในแต่ละความเข้มข้นของกลีเซอรอลไม่มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์สามารถใช้ซัลเฟตในการเจริญเติบโตทำให้ปริมาณซัลเฟตในระบบลดลง สอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่พบว่า ซีรัมที่มีการเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 0 5 10 15 20 25 และ 30% ปริมาณซีโอดีลดลงจากซีโอดีเริ่มต้น 34.4 55.3 70.9 89.8 108.1 126.4 และ 146.9 g/L ตามลำดับ หลังผ่านกระบวนการบำบัดซัลเฟตค่าซีโอดีลดลงเป็น 25.0 29.1 43.0 73.0 93.0 115.0 และ 139.0 g/L ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) แต่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีต่ำเพียง 27.3 47.4 39.3 18.7 14.0 9.0 และ 5.4% ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2) เนื่องจากเชื้อ *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* 112YL สามารถใช้สารอินทรีย์ในระบบหมักได้น้อย เนื่องจากคุณสมบัติของเชื้อ โดย Cann et al., (2001) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของกลุ่มเชื้อ *Thermoanaerobacterium* sp. โดยพบว่าเชื้อสามารถใช้แหล่งคาร์บอน เช่น กลูโคส ไสโลส อะราบินอส กาแลคโตส ฟรักโทส มอลโตส ซูโคส แลคโตส และแป้งเป็นสารตั้งต้นในการเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรเจน และยังสามารถลดปริมาณซัลเฟตได้ อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีต่ำ เนื่องจากเชื้อกลุ่มนี้จะรีดิวซ์ซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีลดลงด้วย เพราะ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1 กรัมสามารถวัดเป็นซีโอดีได้ถึง 2 กรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) ซึ่งส่งผลดีต่อกระบวนการผลิตมีเทน เนื่องจากในกระบวนการบำบัดซัลเฟตเราต้องการลดเพียงซัลเฟต แต่ยังคงต้องการสารอินทรีย์เพื่อให้แบคทีเรียผลิตมีเทนใช้ในการเจริญเติบโตและผลิตก๊าซมีเทน หากในระบบมีปริมาณซัลเฟตที่สูงจะทำให้ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีต่ำลง

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณซัลเฟตและซีโอดีก่อนบำบัดและหลังบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตและซีโอดีหลังกระบวนการบำบัดซัลเฟต

ความเข้มข้น กลีเซอรอล	ซีโอดี			ซัลเฟต		
	ก่อน บำบัด (g/l)	หลัง บำบัด (g/l)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	ก่อนบำบัด (g/L)	หลัง บำบัด (g/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
0%	34.4	25.0	27.3	4.2	1.5	64.3
5%	55.3	29.1	47.4	4.2	1.1	74.6
10%	70.9	43.0	39.3	4.3	1.0	76.1
15%	89.8	73.0	18.7	4.3	1.1	74.4
20%	108.1	93.0	14.0	4.3	1.2	72.2
25%	126.4	115.0	9.0	4.3	1.4	67.7
30%	146.9	139.0	5.4	4.4	1.4	67.4

นอกจากนี้ในกระบวนการบำบัดซัลเฟตยังมีการสะสมก๊าซไฮโดรเจนที่ 0.05 และ 0.09 ml ในชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมกลีเซอรอลและชุดที่มีการเติมกลีเซอรอล 5% ตามลำดับ และไม่พบการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนในชุดการทดลองอื่นๆ (ภาพที่ 4.3) ซึ่งสอดคล้องกับค่าพีเอชหลังกระบวนการบำบัดซัลเฟตที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย เนื่องมาจากในชีวมวลจากโรงงานน้ำยางชันมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างต่ำ (1.16 g/L) จุลินทรีย์ *Thermoanaerobacterium thermo-saccharolyticum* 112YL จึงใช้แหล่งคาร์บอนดังกล่าวเปลี่ยนไปเป็นไฮโดรเจนได้ปริมาณน้อย ในขณะที่เมื่อมีการเติมของเสียกลีเซอรอลลงไปส่งผลให้อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเพิ่มขึ้น แต่มีการสะสมก๊าซไฮโดรเจนน้อย อาจเนื่องมาจากกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นสูงอาจส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Sulaiman et al., 2009)

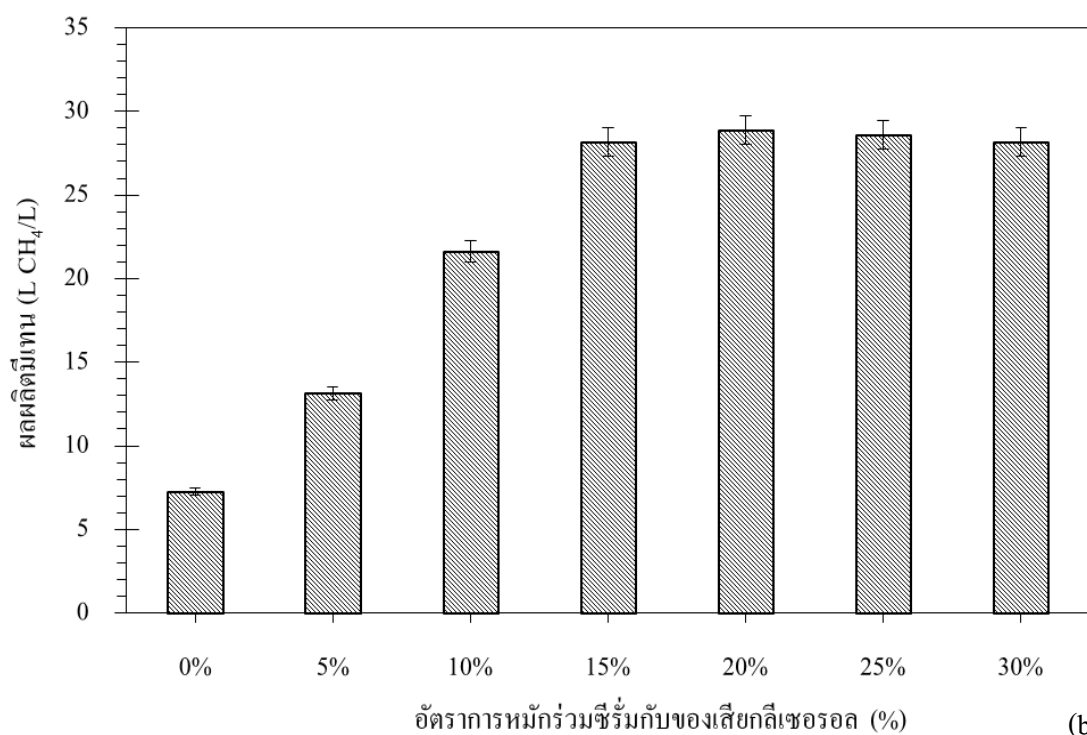


ภาพที่ 4.3 แสดงปริมาณไฮโดรเจนสะสมหลังกระบวนการบำบัดซัลเฟตโดยการหมักร่วมซีรัมจากโรงงานน้ำยางข้นและของเสียกลีเซอรอล

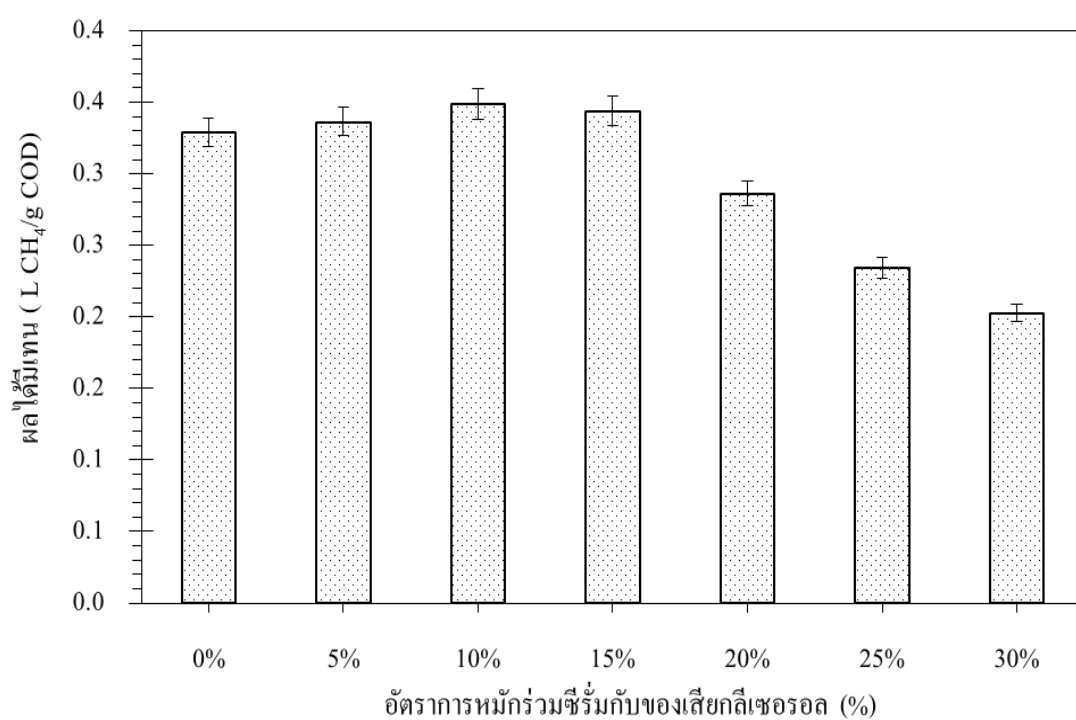
4.3 ศักยภาพการผลิตมีเทนจากการหมักร่วมซีรัมและกลีเซอรอลหลังกระบวนการบำบัดซัลเฟตที่อุณหภูมิสูง

ในการทดลองนำน้ำทิ้งหลังกระบวนการบำบัดซัลเฟตมาศึกษาศักยภาพการผลิตมีเทนที่อุณหภูมิสูง (60 °C) โดยมีอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 16.7 27.1 42.2 66.4 77.5 89.2 และ 97.5 ในชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นกลีเซอรอล 0 5 10 15 20 25 และ 30% หลังการหมัก 25 วัน ให้ผลผลิตมีเทน 7.24 13.16 21.63 28.20 28.90 28.59 และ 28.16 L-CH₄/L ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4a) คิดเป็นผลผลิตมีเทนต่อกรัมซีโอที่ถูกกำจัด 0.329 0.337 0.349 0.344 0.286 0.234 และ 0.203 L-CH₄/gCOD ตามลำดับ

(a)



(b)

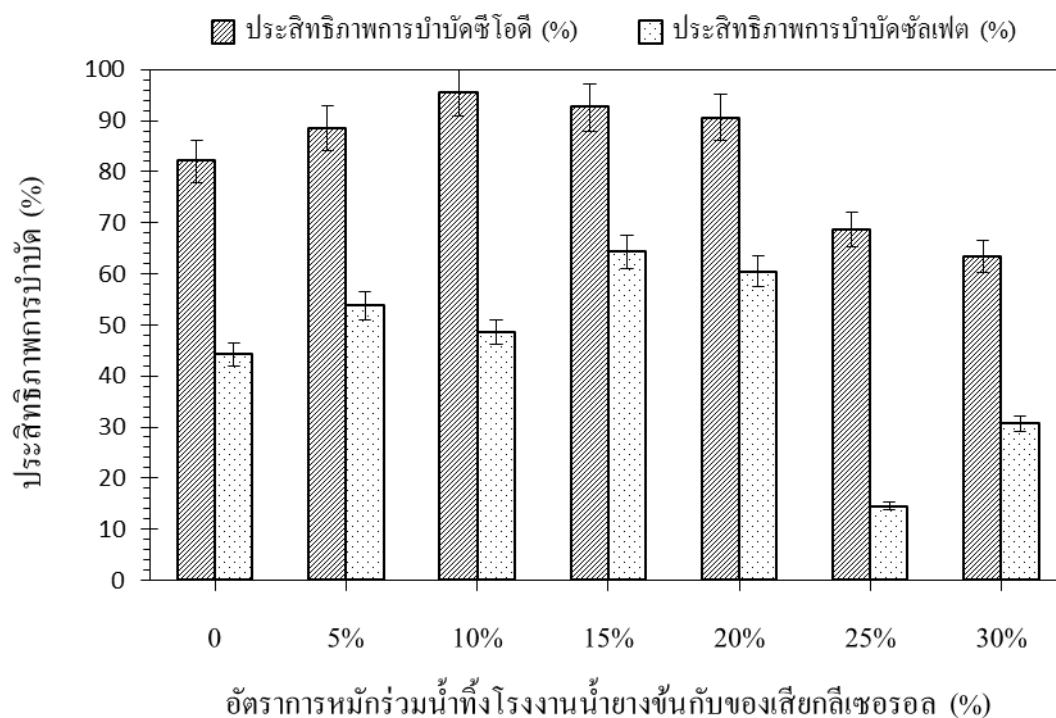


ภาพที่ 4.4 ผลผลิตมีเทน (a) และผลได้มีเทน (b) จากน้ำทิ้งหลังกระบวนการบำบัดเซลล์เฟตโดยการหมักร่วมชีร่่มโรงงานน้ำยางข้นและกลีเซอรอล

ผลการศึกษาพบว่าเมื่ออัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเพิ่มขึ้นจาก 16.7 เป็น 27.1 และ 42.2 ในตัวอย่างที่เติมกลีเซอรอล 5% และ 10% จะให้ผลได้มีเทนเพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากเมทาโนเจนสามารถเจริญเติบโตและใช้สารอินทรีย์ในการผลิตเป็นมีเทนได้ดี และให้ผลผลิตมีเทนสูงที่สุดที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 42.2 โดยให้ผลผลิตก๊าซมีเทนต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดถึง 0.409 L-CH₄/gCOD แต่เมื่ออัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเพิ่มขึ้นเป็น 66.4 77.5 89.2 และ 97.5 ในตัวอย่างที่เติมกลีเซอรอลล้อยละ 15 20 25 และ 30% ตามลำดับ พบว่าผลผลิตมีเทนลดลงเป็น 0.384 0.289 0.234 และ 0.203 L-CH₄/gCOD (ภาพที่ 4.4b) เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์ในระบบสูงเกินไป (overloading) จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้สารอินทรีย์ภายในระบบเพื่อเปลี่ยนไปเป็นมีเทนได้หมด ซึ่งจะเห็นได้ว่าของเสียกลีเซอรอลที่นำมาใช้ในการหมักร่วมกับซีรัมมีปริมาณสารอินทรีย์ในรูปแบบซีโอดีสูง (401,100 mg/L) การเติมกลีเซอรอลในการหมักจึงเป็นการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ให้กับระบบหมัก คาร์บอนเป็นธาตุอาหารหลักที่จุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์หากมีปริมาณมากเกินไปอาจทำให้ระบบผลิตมีเทนล้มเหลวได้ สอดคล้องกับงานวิจัย Amon et al. (2006) พบว่าการเติมกลีเซอรอล 6% ในการหมักรวมมูลสุกร (pig manure) และอาหารสัตว์ที่ทำจากข้าวโพด (maize silage) ส่งผลให้อัตราการผลิตมีเทนเพิ่มสูงขึ้นจาก 569 เป็น 679 L/kgVS แต่การเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นสูง 8% และ 15% ส่งผลให้ผลผลิตมีเทนลดลง โดย Baba et al. (2013) พบว่าของเสียกลีเซอรอลมีศักยภาพในการผลิตมีเทนและให้ผลผลิตมีเทนที่สูงและสามารถผสมกับของเสียอื่นๆ ที่ความเข้มข้น 0.5%-7.5% สามารถเพิ่มผลผลิตมีเทนได้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณซัลเฟต ซีโอดี ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีก่อนและหลังกระบวนการผลิตมีเทน

ความเข้มข้นกลีเซอรอล	ปริมาณซีโอดี (g/L)		ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	ปริมาณซัลเฟต (g/L)		ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟต (%)
	ก่อนหมัก	หลังหมัก		ก่อนหมัก	หลังหมัก	
0%	25.0	4.5	82.1	1.5	0.8	44.2
5%	29.1	4.5	88.5	1.2	0.6	53.8
10%	43.0	2.8	95.6	1.1	0.6	48.6
15%	73.0	5.8	92.6	1.1	0.4	64.3
20%	93.0	9.5	90.6	1.2	0.5	60.4
25%	115.0	38.2	68.7	1.4	1.2	14.5
30%	139.0	50.8	63.5	1.4	1.0	30.7



ภาพที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีจากการหมักร่วมชีรั่มและของเสียกลีเซอรอลหลังกระบวนการผลิตมีเทน

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีจากน้ำทิ้งหลังกระบวนการผลิตมีเทนโดยการหมักร่วมชีรั่มโรงงานน้ำยางข้นและของเสียกลีเซอรอล พบว่าชีรั่มที่หมักร่วมกับของเสียกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 0 5 10 15 20 25 และ 30% มีปริมาณชีโอดีลดลงจาก 25.0 29.1 43.0 73.0 93.0 115.0 และ 139.0 g/L เป็น 4.5 4.5 2.8 5.8 9.5 38.2 และ 50.8 g/L (ตารางที่ 4.3) คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีที่ 82.1 88.5 95.6 92.6 90.8 68.7 และ 63.5% ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5) สอดคล้องกับปริมาณซัลเฟตในระบบ จากการศึกษาพบว่าปริมาณซัลเฟตในชีรั่มที่มีการหมักร่วมกับของเสียกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 0 5 10 15 20 25 และ 30% มีปริมาณซัลเฟตลดลงจากความเข้มข้นเริ่มต้น 1.5 1.2 1.08 1.1 1.2 1.4 และ 1.3 g/L เป็น 0.84 0.56 0.55 0.39 0.48 1.2 และ 0.99 g/L ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟต 44.2 54.8 48.6 64.3 60.42 14.5 และ 30.7% ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5) จากผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีในระบบการผลิตมีเทนมีประสิทธิภาพสูงกว่ากระบวนการบำบัดซัลเฟตทุกชุดการทดลอง เนื่องจากเมทาโนเจนสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ชีรั่มโรงงานน้ำยางข้นที่มีการเติมของเสียกลีเซอรอล 0 5 10 15 และ 20% ให้ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีสูงกว่าชีรั่มโรงงานน้ำยางข้นที่มีการเติมของ

เสียกลีเซอรอล 25 และ 30% เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างซีโอดีต่อซัลเฟตมีมีค่าสูงกว่า ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟต ซีรัมที่มีการเติมกลีเซอรอลเข้มข้น 0 5 10 15 และ 20% ยังคงให้ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตสูง เนื่องจากในระบบยังมีปริมาณซัลเฟตอยู่เพียงเล็กน้อยจุลินทรีย์รีดิวซ์ซัลเฟตสามารถย่อยสลายซัลเฟต และปริมาณซัลเฟตในระบบไม่ส่งผลกระทบต่อเมทาโนเจนในการผลิตมีเทน ส่วนในซีรัมที่มีการเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 25 และ 30% มีประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟตต่ำสุดที่ 14.5 และ 30.7%

จากการทดลองเมื่อนำผลผลิตมีเทนสะสมไปหาค่าพลังงานที่ได้จากกระบวนการผลิตมีเทนพบว่าในซีรัมโรงงานน้ำยางข้นที่มีการเติมกลีเซอรอล 0 5 10 15 20 25 และ 30% ให้พลังงานทั้งหมดอยู่ที่ 13.7 23.9 27.2 19.2 19.0 16.6 21.0 และ 16.6 KJ/gCOD (ดังตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าพลังงานจากกระบวนการผลิตมีเทนโดยการหมักร่วมซีรัมโรงงานน้ำยางข้นและของเสียกลีเซอรอลหลังกระบวนการบำบัดซัลเฟต

ความเข้มข้น กลีเซอรอล (%)	มีเทนสะสม (L-CH ₄ /L)	Heating value (KJ)		Total energy	
		H ₂	CH ₄	KJ	KJ/g-COD
0%	10.34	0	410.45	410.45	13.7
5%	30.56	0	1212.87	1212.87	23.9
10%	46.75	0	1855.25	1855.25	27.2
15%	40.28	0	1598.72	1598.72	19.0
20%	41.29	0	1638.81	1638.81	16.6
25%	51.84	0	2057.49	2057.49	21.0
30%	40.23	0	1596.48	1596.48	16.6

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบ ซีรัมโรงงานน้ำยางข้น และกลีเซอรอลเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล พบว่าซีรัมโรงงานน้ำยางข้นและของเสียกลีเซอรอลมีองค์ประกอบซีโอดีและซัลเฟตอยู่ในปริมาณสูง โดยมีค่าซีโอดีอยู่ที่ 34,830 และ 401,100 mg/L ตามลำดับ มีค่าซัลเฟตอยู่ที่ 168.5 และ 18.95 mg/L ตามลำดับ เนื่องจากซีรัมโรงงานน้ำยางข้นมีปริมาณซัลเฟตในปริมาณสูงจึงอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในด้านการกำจัดซีโอดี คุณภาพและปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิต จำเป็นต้องกำจัดซัลเฟตก่อนการผลิตมีเทน จากการดำเนินงานการบำบัดซัลเฟตโดยการหมักร่วมซีรัมโรงงานน้ำยางข้นกับของเสียกลีเซอรอล โดยใช้เชื้อ *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* 112YL ทำการหมักที่อุณหภูมิ 60 °C ที่มีการแปรผันความเข้มข้นกลีเซอรอลที่ 0 5 10 15 20 15 และ 30% คิดเป็นอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเริ่มต้น 8.2 13.1 16.6 20.9 25.0 29.1 และ 33.6 ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นเป็น 16.7 27.1 42.2 66.4 77.5 89.2 และ 97.5 ตามลำดับ หลังการบำบัดซัลเฟต แสดงว่าในระบบมีการปริมาณซัลเฟตลดลง โดยชุดการบำบัดที่มีการเติมของเสียกลีเซอรอล 10% มีประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตสูงสุด 76.1% และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 48.6% เมื่อนำน้ำทิ้งหลังผ่านกระบวนการบำบัดซัลเฟตไปทำการผลิตมีเทนโดยเชื้อไร้อากาศอุณหภูมิสูง พบว่าการหมักร่วมซีรัมโรงงานน้ำยางข้นที่มีการเติมของเสียกลีเซอรอล 10% ให้ผลผลิตมีเทนต่อกรัมซีโอดีสูงสุด 0.349 L-CH₄/gCOD โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีอยู่ที่ 95.6% มีประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตที่ 48.6% และให้พลังงานสูงถึง 27.2 KJ/gCOD

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. โรงงานผลิตน้ำยางข้น. [www.pcd.go.th/count/waterdl.cfm?FileName= rubber tree.pdf](http://www.pcd.go.th/count/waterdl.cfm?FileName=rubber%20tree.pdf) (สืบค้นวันที่ 1 กันยายน 2558)
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2553. คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. <http://hawk.diw.go.th/-default.php> (สืบค้นเมื่อ 27 มกราคม 2558)
- ชนิษฐา หมูไสภัญ. 2553.ไบโอไฮโดรเจนพลังงานทางเลือกใหม่. วารสารศูนย์บริการวิชาการ. 18(3-4): 15.
- สมจินตนา ลิ้มสุข ปุณยวี เพียรธรรม และอนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล. 2554 . การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับกลีเซอรินดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล. วิศวกรรมสาร มข. 38(2): 101-110.
- สุธิดา อรรถยานันท์ และ อมรชัย อาภรณ์วิชานพ. 2013. ทำความรู้จักกับกลีเซอรอลว่าที่แหล่งพลังงานทดแทนในอนาคต. **Energy & Environment**. 39(226): 49-52.
- Amon, Th., Amon, B., . Kryvoruchko, V., Bodiroza, V., Pötsch, E. and Zollitsch, W. 2006. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerine supplementation. **International Congress Series**. 1293: 217-220.
- APHA AWWA and WEF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th edition. Washington DC: American Public Health Association.
- Ayoub, M. and Abdullah, Z.A. 2012. Critical review on the current scenario and significance of crude glycerol resulting from biodiesel industry towards more sustainable renewable energy industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 16: 2671–2686.

- Baba, Y., Tada, C., Watanabe, R., Fukuda, Y., Chida, N. and Nakai, Y. 2013. Anaerobic digestion of crude glycerol from biodiesel manufacturing using a large-scale pilot plant: Methane production and application of digested sludge as fertilizer. **Bioresource Technology**. 140: 342-348.
- Bouallagui, H., Touhami, Y., Ben Cheikh, R. and Hamdi, M. 2005. Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. **Process Biochemistry**. 40(3-4): 989-995.
- Choi, E. and Rim, J.M. 1991. Competition and inhibition of sulfate reducers and methane producers in anaerobic treatment. **Water Science and Technology**. 23: 1259-1264.
- Fountoulakis, M.S. and 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.
- Hutňan, M., Kolesárová, N., Bodík, I. and Czölderová, M. 2013. Long-term monodigestion of crude glycerol in a UASB reactor. **Bioresource Technology**. 130: 88-96.
- Jawjit, W., Kroeze, C. and Rattanapan, S. 2010. Greenhouse gas emissions from rubber industry in Thailand. **Journal of Cleaner Production**. 18(5): 403-411.
- Kangle, K.M., Kore, S.V., Kore, V.S. and Kulkarni, G.S. 2012. Recent Trends in Anaerobic Codigestion. **Universal Journal of Environmental Research and Technology**. 2(4): 210-219.
- Kantachote, D., Charernjiratrakul, W., Noparatnaraporn, N., Oda, K. (2008). Selection of sulfur oxidizing bacterium for sulfide removal in sulfate rich wastewater to enhance biogas production. **Journal Biotechnology**. 11(2): 1-12.
- Kaparaju, P., Serrano, M., Thomsen, A.B., Kongjan, P. and Angelidaki, I. 2009. Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept. **Bioresource Technology**. 100(9): 2562–2568.
- Kongjan, P., O-Thong, S. and Angelidaki, I. 2011. Performance and microbial community analysis of two-stage process with extreme thermophilic hydrogen and thermophilic methane production from hydrolysate in UASB reactors. **Bioresource Technology**. 102: 4028–4035.

- Leoneti, B.A., Leoneti, A.V. and de Oliveira, V.W.B.S. 2012. Glycerol as a by-product of biodiesel production in Brazil: Alternatives for the use of unrefined glycerol. **Renewable Energy**. 45: 138-145.
- Samani, Z., Macias-Corral, M., Hanson, A., Smith, G., Funk, P, Yu, H. and Longworth, J. 2008. Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure. **Bioresource Technology**. 99(17): 8288-8293.
- Sharom, Z., Malakahmad, A. and Noor, B. 2004. Anaerobic co-digestion of kitchen waste and sewage sludge for producing biogas. **2nd International Conference on Environmental Management**. Bangi.
- Sulaiman, A., Zakaria, M.R., Hassan, M.A., Shirai, Y. and Busu, Z. 2009. Co-Digestion of palm oil mill effluent and refined glycerin wash water for chemical oxygen demand removal and methane production. **American Journal of Environmental Sciences**. 5(5): 639-646.
- Yusuf, L, .Momoh, L. and Nwaogazie, L. 2008. Effect of waste paper on biogas production from co-digestion of cow dung and water hyacinth in batch reactors. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**. 12 (4): 95-98.