การใช้ประโยชน์น้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันในการผลิตมีเทน ด้วยการหมักร่วมกับน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

Utilization from Empty Fruit Bunch Pressed Wastewater for Methane Production Co-Digestion with Palm Oil Mill Effluent

กนกวรรณ เจียะรัตน์

Kanokwan Jearat

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University
2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การใช้ประโยชน์น้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันในการผลิตมีเทนด้วยการหมักร่วมกับน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

Utilization from Empty Fruit Bunch Pressed Wastewater for Methane Production Co-Digestion with Palm Oil Mill Effluent

กนกวรรณ เจียะรัตน์

Kanokwan Jearat

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree ofMaster of Science in Environmental Management Prince of Songkla University

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้ประโยชน์น้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันในการผลิตมีเทน ด้วยการหมักร่วมกับน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

ผู้เขียน นางสาวกนกวรรณ เจียะรัตน์

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันวดี สุขสาโรจน์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สุวิทย์ สุวรรณโณ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิดาการ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชีระวิทย์ รัตนพันธ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันวดี สุขสาโรจน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันวดี สุขสาโรจน์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นางสาวกนกวรรณ เจียะรัตน์)
นักศึกษา

ข้าพเจ้ารับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นางสาวกนกวรรณ เจียะรัตน์)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้ประโยชน์น้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันในการผลิตมีเทน ด้วยการหมักร่วมกับน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
ผู้เขียน นางสาวกนกวรรณ เจียะรัตน์
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

ขั้นตอนการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นเทคโนโลยีที่ถูกเพิ่มเข้ามาในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อสกัดน้ำมันที่เหลืออยู่ในทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบและลดปริมาณน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย จากกระบวนการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ (VFA) และ ซีโอดี (COD) สูง จึงมีความเป็นไปได้ในการนำเสียจากกระบวนการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันไปผลิตก๊าซชีวภาพ แต่เนื่องจากน้ำเสียดังกล่าวมีปริมาณความเป็นพิษค่อนข้างสูง หากนำมาเป็นสารอาหารตั้งต้นเพียงชนิดเดียว อาจทำให้เกิดความล้มเหลวของระบบหมักได้ง่าย จึงอาจลดความเป็นพิษของน้ำเสียดังกล่าวด้วยการหมักร่วมกับน้ำเสียทั่วไปของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (Palm Oil Mill Effluent; POME) เพื่อช่วยลดความเป็นพิษและอาจเพิ่มปริมาณมีเทนได้อีกด้วย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียทั่วไปจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม กับน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่อัตราส่วนการผสมที่ 2.5, 5 และ10% v/v ของน้ำเสียบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และอัตราของหัวเชื้อที่ 35, 50, และ 75% v/vด้วยระบบหมักแบบกะ (batch) ที่อุณหภูมิ 35^{O}C เมื่อได้อัตราส่วนของการหมักร่วมที่เหมาะสมแล้วจึงใช้ในการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) ที่ระยะเวลากักเก็บ 30, 25, 20, 14 และ 7วัน ที่อุณหภูมิ 35^{O}C

ผลจากทดลองจากกระบวนการหมักร่วมแบบกะ พบว่าที่อัตราส่วน 45%POME + 50%seed +5%น้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและมีเทนสะสมมากที่สุด คือ 390 mL/L และ 297 mL/L ตามลำดับ และเมื่อนำอัตราส่วนดังกล่าวมาหมักร่วมด้วยระบบหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง พบว่าที่ระยะเวลาการกักเก็บ 25 วัน เป็นระยะเวลากักเก็บที่เหมาะสมที่สุด โดยมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 18,679 mL/L และปริมาณมีเทนสะสม 6,778 mL/L มีองค์ประกอบมีเทน 62% และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี มีค่า 67% เมื่อนำกากตะกอนจากระยะเวลาการกักเก็บ 25 วัน มาวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ย พบว่ามีค่า อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) เท่ากับ 19.17 % ค่า ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) เท่ากับ 2.62 % ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5) เท่ากับ 2.80 % ค่าโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O)

เท่ากับ 11.32 % อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 7.0 และ ค่าความชื้น เท่ากับ 28.55% จึงมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการบำรุงหน้าดิน หรือเป็นปุ๋ยพืชได้

Thesis Title	Utilization from Empty Fruit Bunch Pressed Wastewater for Methane Production by Co-Digestion Palm Oil Mill Effluent
Author	Miss Kanokwan Jearat
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2558

ABSTRACT

Palm empty fruit bunch compression process was a new technology used in palm oil extraction process. It is operated in order to extract the remaining oil in oil palm empty fruit bunches that would increase palm oil product and reduce the amount of oil contaminated in wastewater. Oil palm empty fruit bunches compression process produces wastewater which may be appropriate to be used for biogas production because it contains high volatile fatty acids (VFA) and chemical oxygen demand (COD).Anyway such wastewater properties may be toxic to microorganisms in fermentation system, therefore it could be used as a co-substrate for fermentation with palm oil mill effluent (POME).The co-digestion may be useful for substrate toxicity reduction and increase methane production. The purpose of this research, therefore, is to investigate the co-fermentation of oil palm empty fruit bunch compression wastewater and palm oil mill effluent. The mixing ratio of 2.5, 5 and 10% v / v of palm empty fruit bunch compression wastewater and the mixing ratio of 35, 50, and 75% v / v of inoculums were investigated with batch experiments at 35 ^{O} C. The optimal ratios obtained from batch experiments was then used in semi-continuous fermentation at the retention time of 30, 25, 20, 14 and 7 days under temperature controlled at 35 ^{O} C.

The optimal ratios obtained from batch experiments was 50% POME + 50% seed + 5% oil palm empty fruit bunches compressing wastewater. The cumulative biogas and methane accumulation was 390 mL/ L, and 297 mL / L, respectively. This proportion was used in semi-continuous fermentation, that the optimal hydraulic retention time (HRT) found was 25 days, the biogas accumulated obtained was 18,679 mL / L, while the amount of methane accumulated was 6,778 mL / L. The percentage of methane was 62% and COD removal efficiency was 67%. The property of sludge from

fermentation with HRT 25 days contained 19.17% of organic carbon, 2.62% of total nitrogen (N), 2.80% of total phosphorus (P_2O_5), 11.32% of total potassium (K_2O). Carbon and nitrogen ratio of this sludge was 7.0 and its moisture content was 28.55%.This sludge could be used to nourish the soil or as a plant fertilizer.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผศ.ดร.ธันวดี สุขสาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ซึ่งให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของการทำงาน รายงานต่างๆและให้กำลังใจตลอดในช่วงของการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ในคณะการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณบริษัทพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด ที่ให้เงินอุดหนุน ช่วยเหลือวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยและให้การสนับสนุนตลอดมา

ขอขอบพระคุณทุนโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท ที่ให้เงินอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วย

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ นายณัฏฐาทัศน์ เจ้ยเปี้ยว (พี่อี๊ด) ที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัว พ่อ แม่ รวมทั้งเพื่อนๆ น้องๆ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ คอยให้กำลังใจ ตลอดมา ขอให้คุณความดีและคุณประโยชน์ที่ได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

กนกวรรณ เจียะรัตน์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	
รายการตาราง	(12)
รายการตารางภาคผนวก	(14)
รายการภาพประกอบ	(15)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(16)
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 บทนำ	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	34
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	34
1.5 ขอบเขตงานวิจัย	34
2วิธีการวิจัย	
2.1 วัสดุและอุปกรณ์	36
2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย	39
3ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	
3.1 การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	48
3.2 ผลการศึกษาการหมักร่วมน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่อัตราส่วนต่างๆด้วยระบบแบบกะ (Batch)	51
3.3 ผลการศึกษาการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	57
3.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนที่เหลือจากการหมัก	64
3.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์	65
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
4.1 บทสรุป	70
4.2 ข้อเสนอแนะ	71

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

สารบัญ

บรรณานุกรม 72
ภาคผนวก ก 77
ภาคผนวก ข 88
ประวัติผู้เขียน 93

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1-1 องค์ประกอบวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	7
1-2 ลักษณะของน้ำทิ้งจากขั้นตอนต่าง ๆในการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มและน้ำในบ่อรวมน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	12
1-3 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตออกมาได้จากสารอินทรีย์ของวัสดุต่าง ๆ	16
1-4 ข้อมูลพลังงานที่ได้จากก๊าซมีเทน	17
1-5 สูตรคำนวณมูลค่าเงินตามช่วงเวลา	33
2-1 ชนิดวัสดุหมัก และปริมาณน้ำเสียทั่วไปโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (POME) หัวเชื้อ (seed) และน้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มที่ใช้ในการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบแบบกะ (Batch)	37
2-2 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียในการทดลองแบบกะ	41
2-3 ชนิดของวัสดุหมัก ระยะเวลากักเก็บ และปริมาตรของเสียที่เติม-ออกในแต่ละวันในการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous)	43
2-4 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด วิธีการวิเคราะห์ ความถี่ ตัวอย่างคุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบการหมักไม่ใช้อากาศ	45
2-5 วิธีการวิเคราะห์กากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการหมักแบบไม่ใช้อากาศ	45
3-1 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.	50
3-2 ศักยภาพการย่อยสลายให้ก๊าซมีเทน	53
3-3 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแบบกะก่อนกระบวนการหมักและสิ้นสุดกระบวนการหมัก เปอร์เซ็นหัวเชื้อเริ่มต้น ที่ 35%	55
3-4 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแบบกะก่อนกระบวนการหมักและสิ้นสุดกระบวนการหมัก เปอร์เซ็นหัวเชื้อเริ่มต้น ที่ 50%	55
3-5 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแบบกะก่อนกระบวนการหมักและสิ้นสุดกระบวนการหมัก เปอร์เซ็นหัวเชื้อเริ่มต้น ที่ 75%	56
3-6 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศอัตราปกติและแบบอัตราสูง	57
3-7 คุณภาพน้ำเสียหลังการหมักที่ระยะเวลากักเก็บต่าง ๆด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	63

รายการตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
3-8 คุณสมบัติของกากตะกอนหลังกระบวนการหมัก	64
3-9 ค่าใช้จ่ายในการก่อตั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	65
3-10 ค่าใช้จ่ายของการนำกระบวนการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพิ่มเข้าสู่กระบวนการผลิต	66
3-11 ค่าใช้จ่ายของการนำกระบวนการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพิ่มเข้าสู่กระบวนการผลิต	67
3-12 รายได้จากการดำเนินโครงการ	68
3-13 ค่าของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) จากการดำเนินโครงการ	69

รายการตารางภาคผนวก

ตารางผนวก	หน้า
1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน จากการหมักร่วมน้ำเสียทั่วไป จากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่อัตราส่วนต่างๆด้วยระบบแบบกะ (Batch)..	89
2 เปอร์เซ็นต์มีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน จากการหมักร่วมน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่อัตราส่วนต่างๆด้วยระบบแบบกะ (Batch)	89
3 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแบบกะก่อนกระบวนการหมักและ สิ้นสุดกระบวนการหมัก เปอร์เซ็นหัวเชื้อเริ่มต้น ที่ 35%	90
4. ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแบบกะก่อนกระบวนการหมักและ สิ้นสุดกระบวนการหมัก เปอร์เซ็นหัวเชื้อเริ่มต้น ที่ 50%	90
5. ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแบบกะก่อนกระบวนการหมักและ สิ้นสุดกระบวนการหมัก เปอร์เซ็นหัวเชื้อเริ่มต้น ที่ 75%	91
6 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในแต่ละวัน ด้วยระบบกระบวนการหมัก แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่ระยะเวลาในการกักเก็บต่างๆ	91

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1-1 กระบวนการผลิตแบบหีบหรือสกัดผสม	4
1-2 กระบวนการสกัดแบบหีบเปียก	6
1-3 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และของเสียที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการและการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ บริษัทพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด (Production Process	9
1-4เครื่องหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	10
1-5 ผลของปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	15
1-6 การเดินระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปแบบไม่ใช้อากาศของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบริษัทพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด	26
2-1 แบบจำลองระบบหมักไม่ใช้อากาศแบบกะ (Batch) ในห้องปฏิบัติการ	37
2-2 ไดอะแกรมแสดงการเดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous)	39
2-3 ขั้นตอนการหมักร่วมน้ำเสีย ที่อัตราส่วนต่างๆด้วยระบบแบบกะ (Batch)	41
2-4การทดลองระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ แบบ CSTR (Completely stirred tank reactor)	43
3-1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสีย	48
3-2ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและมีเทนสะสมจากการหมักแบบกะ (Batch) ระยะเวลา 10 วัน	52
3-3 ประสิทธิภาพผลผลิตมีเทน (methane yield) ของแต่ละชุดการทดลอง	52
3-4 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและมีเทนสะสมที่ระยะเวลาการกักเก็บ จากการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง ระยะเวลา 30วัน	58
3-5 ปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	59
3-6 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ	60
3-7 ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA) และ สภาพด่าง (Alkalinity)	61
3-8 กากตะกอนจากระบบหมัก ที่ระยะกักเก็บ 25 วัน	64

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

OLR = Organic Loading Rate คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบในแต่ละวัน

HRT = Hydraulic Retention Time คือ ระยะเวลาที่น้ำถูกกักพักอยู่ในถังปฏิกิริยา

Inf = Influentคือ น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ

Eff = Effluentคือ น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ

MLSS = Mixed Liquor Suspended Solids คือ ปริมาณหรือความเข้มข้นโดยประมาณของตะกอน จุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยา

COD = Chemical Oxygen Demand คือ ค่าความสกปรกของน้ำ ซึ่งเป็นปริมาณออกซิ-เจนทั้งหมดที่ต้องการ เพื่อใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด

TCOD = Total Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ด้วยวิธีทางเคมีทั้งในรูปของแข็งและรูปที่ละลายอยู่ในน้ำ

SCOD = Soluble Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในรูปที่ละลายอยู่ในน้ำด้วยวิธีทางเคมี

BOD_5 = Biochemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ชนิดที่ย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ

SS = Suspended Solids คือ ส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและแขวนลอยอยู่ในน้ำได้

TKN = Total Kjeldahl Nitrogen คือ ปริมาณไนโตรเจนที่ประกอบด้วยอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญในพื้นที่ภาคใต้ของไทย เนื่องจากพื้นที่ภาคใต้มีการปลูกปาล์มน้ำมันมากกว่าภาคอื่นในประเทศ ทำให้มีโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันในพื้นที่เป็นจำนวนมาก ซึ่งกระบวนการสกัดปาล์มน้ำมันแบบทั่วไปเป็นแบบเปียกมีการใช้น้ำปริมาณมากในกระบวนการผลิต ก่อให้เกิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิต (palm oil effluent; POME) ประมาณ0.87 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด (Prasertsan*et al.,* 1996) ซึ่งลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีสีน้ำตาลเข้ม มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่สูงมากกว่า 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Lam and Lee, 2011) โดยการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตนิยมใช้การบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic treatment) ซึ่งสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและผลิตก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทน (Poh and Chonh, 2009)

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (oil palm empty fruit bunches; EFB) เป็นของเสียอีกชนิดหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการสกัดปาล์มน้ำมันแบบเปียก ด้วยปริมาณน้ำมันที่หลงเหลืออยู่ในทะลายเปล่าทำให้ปัจจุบันโรงงานสกัดน้ำมันดิบบางแห่งมีการหีบทะลายหลังจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อนำกลับน้ำมันอีกส่วนหนึ่งทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยทางบริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด เป็นโรงงานหนึ่งที่ได้เพิ่มขั้นตอนการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเข้าไปในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งน้ำเสียที่ได้จากการบีบทะลายจะมีมวลสารที่อยู่ในรูปของ ซีโอดี บีโอดี ของแข็งแขวนลอยและสารอาหารต่างๆในปริมาณที่สูงกว่าน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ จากคุณสมบัติดังกล่าวสามารถนำไปผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานได้ (บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด, 2556)แต่หากนำน้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มเข้าสู่กระบวนการหมักเพียงอย่างเดียว อาจทำให้ระบบเกิดล้มเหลวได้ง่ายเนื่องจากมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบค่อนข้างสูง จึงต้องลดความเป็นพิษด้วยวิธีการเจือจางน้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มก่อนเข้าสู่ระบบ โดยนำน้ำเสียทั่วไปของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมาเป็นสารหมักร่วม

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการนำน้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียทั่วไปจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมัน เพื่อผลิตให้ได้ก๊าซมีเทนโดยทำการศึกษาถึงองค์ประกอบของน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์ม และทดสอบ

ประสิทธิภาพการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียทั่วไปของโรงงานกับน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มเพื่อเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพ และเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทน โดยคาดว่าผลการศึกษาจะเป็นข้อมูลต่อการตัดสินใจของโรงงานที่จะนำขั้นตอนการบีบทะลายเปล่าปาล์มเข้าสู่กระบวนการผลิต เป็นแนวทางในการจัดการน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพอีกทั้งยังลดการใช้ทรัพยากรในการผลิตเชื้อเพลิงและเพิ่มคุณค่าของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันมีถิ่นกำเนิดในแถบแอฟริกาตะวันตก ชาวโปรตุเกสได้นำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกในทวีปเอเชีย โดยเริ่มปลูกที่สวนพฤกษศาสตร์ เมืองโบกอร์ ประเทศอินโดนีเซีย ประมาณปี พ.ศ.2391 จากนั้นได้แพร่กระจายพันธุ์มายังเกาะสุมาตราในช่วงปี พ.ศ.2396-2400 และเริ่มปลูกปาล์มน้ำมันครั้งแรกในสวนพฤกษศาสตร์สิงค์โปร์ประมาณปี พ.ศ.2431 ต่อมาได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าวิจัยครั้งแรกในรัฐเซลังกอร์(Selangor) และเริ่มปลูกเป็นการค้าครั้งแรกในปี พ.ศ. 2460 จนถึงปัจจุบัน อินโดนีเซีย และมาเลเซียมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันรวมกันประมาณ 42.88 ล้านไร่

สำหรับประเทศไทยมีผู้นำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกในประเทศไทยที่สถานีทดลองยางคอหงส์ จังหวัดสงขลาและสถานีกสิกรรมพลิ้ว จังหวัดจันทบุรี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2472 ในปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันที่ให้ผลผลิตแล้วประมาณ 3.75 ล้านไร่ หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.63 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ.2553 โดยร้อยละ 87.83 ของพื้นที่ปลูกทั้งหมดอยู่ในภาคใต้ และจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีพื้นที่ให้ผลผลิตมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 25.37 รองลงมาคือ กระบี่ และชุมพร (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักการเกษตร, 2554) อีกทั้งปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีศักยภาพในการผลิตน้ำมันต่อพื้นที่สูงสุด เมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น หากเปรียบราคาราคาต้นทุนการผลิตน้ำมันในกลุ่มพืชที่ให้น้ำมันที่สำคัญ 4 ชนิด คือ ปาล์มน้ำมัน ถั่วเหลือง เรพซีด และทานตะวัน จะพบว่าการผลิตน้ำมันปาล์มมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดในกลุ่มพืชน้ำมันและเป็นพืชยืนต้นที่ทนทานต่อผลกระทบจากภัยธรรมชาติมากกว่าพืชอายุสั้นอื่นๆ ลงทุนเพียงครั้งเดียวสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นาน 20 ปี และที่น่าสนใจคือพื้นที่ปลูกที่เหมาะสมในโลกจะอยู่ระหว่างเส้นละติจู 20 องศาเหนือ-ใต้ ส่วนใหญ่พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเป็นพื้นที่ประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ มาเลเซีย อินโดนีเซีย สองประเทศนี้รวมกันมีพื้นที่ปลูกที่ให้ผลผลิตแล้วจำนวน 42.88 ล้านไร่ และมี

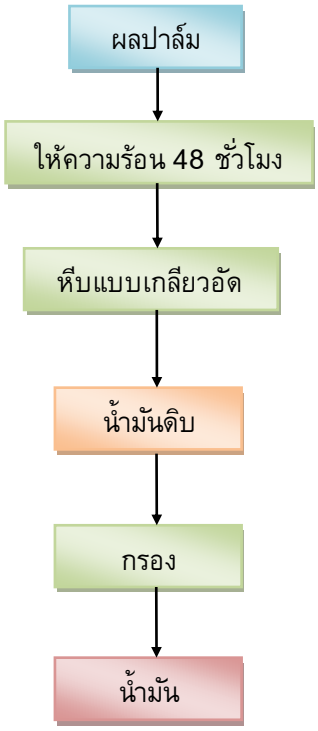
ผลผลิตปาล์มน้ำมันร้อยละ 83 ของโลก ส่งออกปาล์มน้ำมันร้อยละ90 ของผลผลิตและน้ำมันปาล์มมีส่วนแบ่งการตลาดน้ำมันร้อยละ 48 ของตลาดน้ำมันโลก (น้ำมันพืชและสัตว์) ปาล์มน้ำมันมีศักยภาพอันดับต้นๆ ในสถานการณ์ปัจจุบัน เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ผลผลิตต่อพื้นที่สูง ราคาซื้อขายในตลาดไม่สูง มีความเสี่ยงต่อการเสียหายจากภัยธรรมชาติน้อย สามารถผลิตได้ในปริมาณมาก เพื่อรองรับกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มขึ้นมากในอนาคต (ชาย โฆรวิส และคณะ,2547)

1.2.2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสามารถแบ่งออกตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1.2.2.1 กระบวนการผลิตแบบหีบหรือสกัดผสม

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มประเภทนี้ใช้น้ำในปริมาณน้อย ในกระบวนการผลิตจะใช้ความร้อนจากฟืนในการอบปาล์มโดยใช้เวลาในการอบ 48 ชั่วโมง ในขั้นตอนนี้น้ำหนักผลปาล์มจะหายไปประมาณร้อยละ 30 หลังจากนั้นผลปาล์มจะถูกส่งไปยังเครื่องหีบแบบเกลียวอัด (Screw Press) น้ำมันที่ได้จะถูกทำให้ร้อนและผ่านเข้าเครื่องกรองแบบอัดหลายชั้น (Filter Press) เพื่อขจัดสิ่งเจือปนออก (กูนูรหา ยาม ยามิรูเด็ง, 2551) สุดท้ายได้เป็นน้ำมันจากผลปาล์มและเมล็ดในรวมกัน ซึ่งน้ำมันที่ได้จะมีราคาต่ำกว่าน้ำมันบริสุทธิ์ที่ผลิตจากเนื้อเยื่อผลปาล์มเพียงอย่างเดียว (จุฑารัตน์ หนูสุข, 2546) แสดงกระบวนการผลิตแบบหีบหรือสกัดผสมดังภาพประกอบที่ 1-1



ภาพประกอบที่ 1-1 กระบวนการผลิตแบบหีบหรือสกัดผสม
ที่มา: กูนูรหายาม ยามิรูเด็ง(2551)

1.2.2.2 กระบวนการผลิตแบบหีบเปียก

กระบวนการผลิตของโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันที่มีกระบวนการผลิตแบบมาตรฐาน คือ กระบวนการผลิตแบบหีบเปียก (Standard Wet Process) เป็นการสกัดน้ำมันปาล์มแยกกันระหว่างน้ำมันจากเนื้อเยื่อผลปาล์มกับน้ำมันจากเมล็ดในซึ่งจะใช้ไอน้ำและความร้อนในการอบน้ำผลปาล์มให้เปื่อยนิ่มที่อุณหภูมิระหว่าง 120 องศาเซลเซียส ที่ความดันประมาณ 40-50 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลาประมาณ 40-60 นาที จากนั้นแยกทะลายออกโดยการป้อนเข้าเครื่องแยกผลปาล์มซึ่งเป็นทรงกระบอกกลวงหมุนด้วยความเร็วประมาณ 23 รอบต่อนาที ในส่วนของทะลายจะถูกลำเลียงเข้าสู่เตาเผา ส่วนผลปาล์มที่แยกได้จะถูกนำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์ม

โดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นรูปถังทรงกระบอก ซึ่งภายในมีใบพัดและจะมีการเติมน้ำร้อนลงไปเล็กน้อย สำหรับการกวนผลปาล์มให้เส้นใยฉีกแยกออกจากเมล็ดและเซลล์น้ำมันเกิดการแตกตัว การกวนจะเกิดขึ้นประมาณ 15-20 นาที จากนั้นจึงป้อนเข้า

เครื่องหีบแบบอัดเกลียว (Screw Press) น้ำมันที่ได้จะถูกแยกเอาสิ่งเจือปนและทำให้สะอาดยิ่งขึ้นจนได้เป็นน้ำมันปาล์มดิบเพื่อรอจำหน่ายต่อไป ซึ่งกระบวนการผลิตด้วยวิธีนี้จะมีการใช้น้ำเป็นจำนวนมากจึงส่งผลให้โรงงานประเภทนี้มีน้ำเสียเกิดขึ้นในปริมาณที่มากด้วยเช่นกันแสดงกระบวนการสกัดแบบหีบเปียกหรือสกัดแยกดังภาพประกอบที่ 1-2

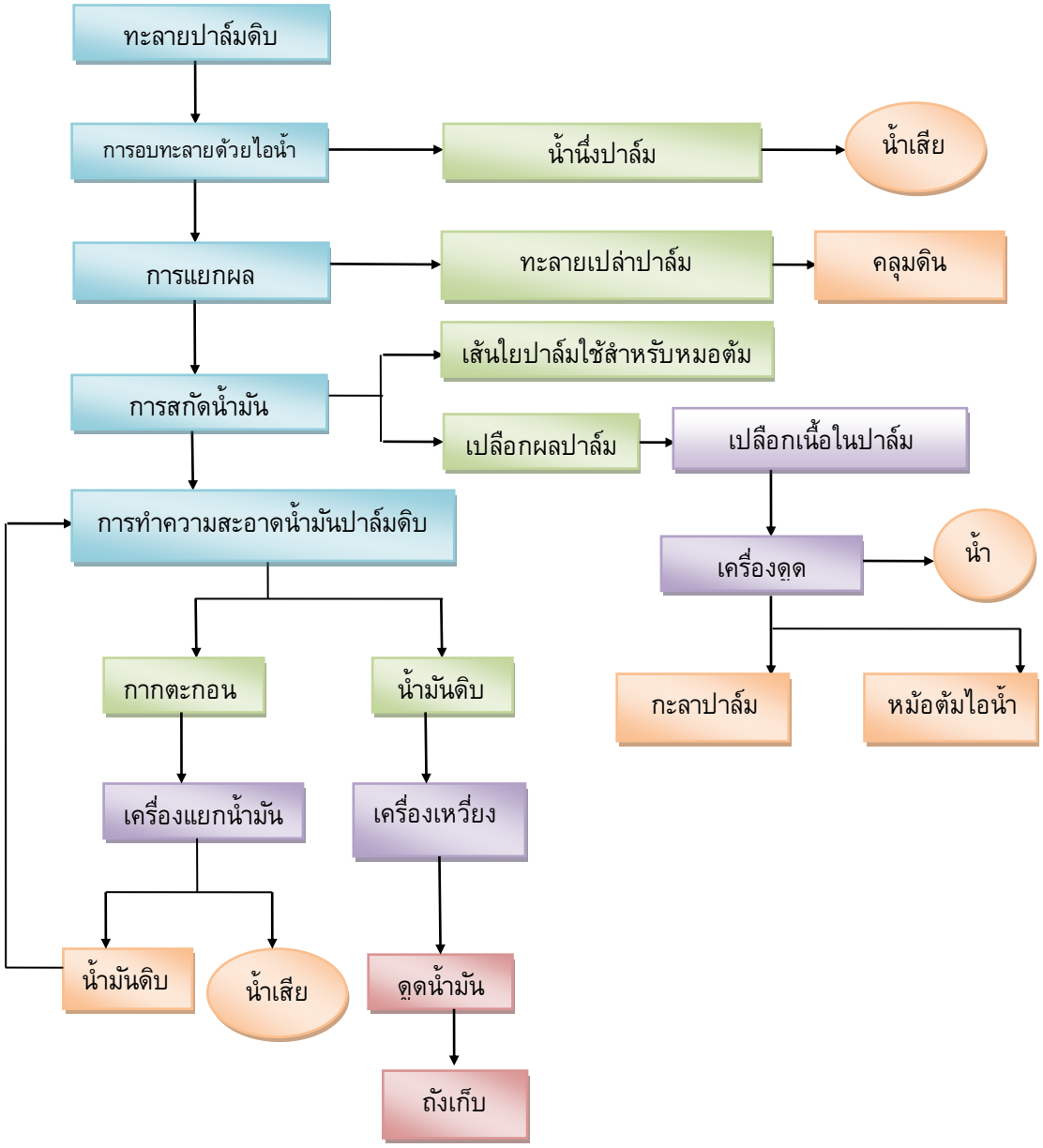
ในโรงงานที่มีกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบมาตรฐาน กระบวนการผลิตจะประกอบด้วย4 ขั้นตอน คือ

1.1 การอบทะลายด้วยไอน้ำ (Sterilization) อบที่อุณหภูมิ 130-135 องศาเซลเซียส ความดัน 2.5 – 3 บาร์ นาน 50-75 นาที การอบทลายจะช่วยหยุดปฏิกิริยาไลโปไลซีส ที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์ม และช่วยให้ผลปาล์มอ่อนนุ่มหลุดจากขั้วได้ง่าย

1.2 การแยกผล (stripping) เป็นการส่งทะลายเข้าเครื่องแยกผลปาล์มออกจากทะลาย สำหรับทะลายเปล่าจะถูกแยกออกไป จากนั้นนำผลปาล์มไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์ม เพื่อให้ส่วนเปลือกแยกออกจากเมล็ด

1.3 การสกัดน้ำมัน (oil extraction) นำส่วนเปลือกผลปาล์มมาอบที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส นาน 20-30 นาทีจากนั้นผ่านเข้าเครื่องหีบแบบเกลียวอัดคู่ จะได้น้ำมันปาล์มดิบที่มีองค์ประกอบ คือ น้ำมันประมาณ 66% น้ำ 24% และของแข็ง 10%

1.4 การทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (clarification) นำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการสกัดส่งเข้าถังกรองเพื่อแยกน้ำและของแข็งออก จากนั้นนำเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อทำความสะอาดอีกครั้ง และไล่น้ำออกเพื่อทำให้แห้ง ส่งเข้าถังเก็บน้ำมันสำหรับรอการกลั่นหรือจำหน่ายต่อไป น้ำมันปาล์มดิบที่ได้แยกเป็นสองส่วน คือ ส่วนบนมีลักษณะเป็นของเหลวสีส้มแดง(crude palm oil olein) ประมาณ 30-50% ส่วนล่างมีลักษณะเป็นไขสีเหลืองส้ม (crude palm oil stearin) ประมาณ 50-70% สำหรับกากผลปาล์มจะถูกนำมาแยกเส้นใยออก



ภาพประกอบที่ 1-2กระบวนการสกัดปาล์มน้ำมันแบบหีบเปียก

ที่มา : Wu และคณะ (2010)

1.2.3 ผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้/ของเสียจากการแปรรูปปาล์มน้ำมันและแนวทางการนำของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์

กระบวนการผลิตของโรงงานน้ำมันสกัดน้ำมันปาล์มแบบเปียกส่วนใหญ่ในการใช้น้ำเข้ามาใช้น้ำในปริมาณสูง จึงทำให้มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตดังกล่าวมีปริมาณมาก นอกจากนี้ยังมีวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มเป็นจำนวนมากได้แก่ ทะลายเปล่าปาล์ม เส้นใยปาล์มกะลาปาล์ม กากเนื้อผลปาล์ม และกากตะกอนดีแคนเตอร์เมื่อศึกษาถึงองค์ประกอบวัสดุเศษเหลือ (ตารางประกอบที่ 1-1) พบว่าความแตกต่างของวัสดุเศษเหลือขึ้นอยู่กับคุณภาพของแหล่งวัตถุดิบด้วย มีรายงานว่าประสิทธิภาพการผลิตน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทยมีประมาณ 16.8 เปอร์เซ็นต์และพบว่ากระบวนการผลิตที่แตกต่างกันย่อมทำให้ได้วัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันไปด้วย (Chavalparit และ Rulken, 2006)

ตารางประกอบที่ 1-1 องค์ประกอบวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

พารามิเตอร์	วัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม			
	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	เส้นใยปาล์ม	กะลาปาล์ม	ดีแคนเตอร์
pH	8.1	-	-	7.16
ความชื้น (%)	20.28	37.00	12.00	57.25
คาร์บอน (%)	42.8-49.6	45.20	49.70	44.69
ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (%)*	52.36	-	-	45.01
ไนโตรเจน (%)*	0.56	1.10	0.40	2.18
ไนโตรเจนฟอสฟอรัส (%)*	0.95	0.12	0.07	1.40
ไนโตรเจนโพแทสเซียม (%)*	1.73	1.48	2.20	2.55

*น้ำหนักแห้ง

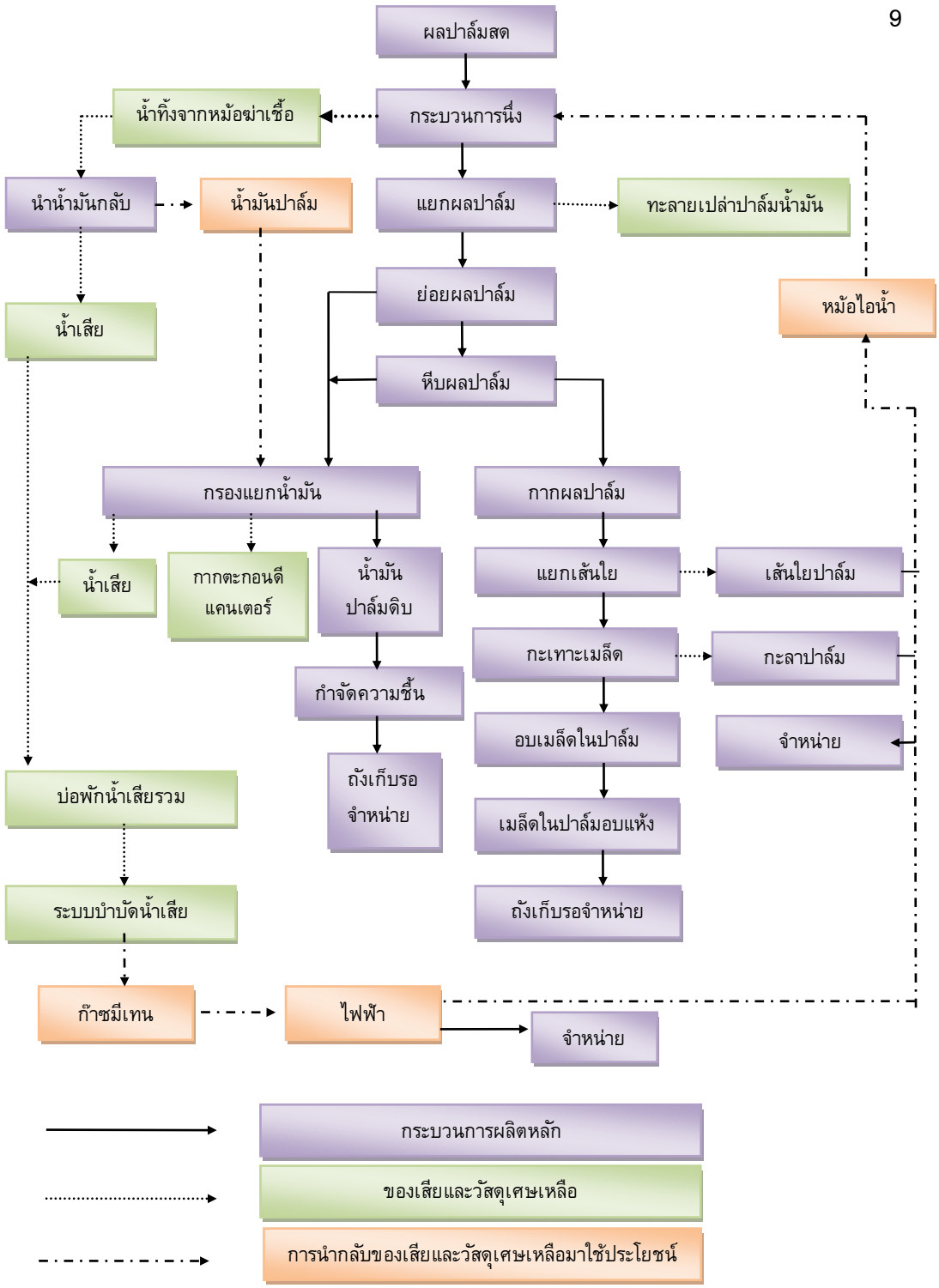
ที่มา: Chavalparitและ Rulken, 2006

1.2.3.1 แนวทางการนำของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์

การจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแต่ละโรงงาน มีความแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับ ด้านกำลังการผลิต ด้านบุคลากร และด้านเงินลงทุน เป็นต้น ในส่วนบริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด ได้มีการจัดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1-3

(1) น้ำเสียจากกระบวนการผลิต น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตจะมีมวลสารอยู่ในรูป บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และมีการปนเปื้อนของน้ำมันปาล์มในระดับสูง น้ำเสียจากโรงงานสกัดมีสารอาหารที่สูงจึงถูกนำไปผลิตก๊าซชีวภาพ (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, 2553) โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้น 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้ 25-30 ลูกบาศก์เมตรและนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นพลังงานให้กับโรงงานสกัด หรือสามารถจำหน่ายไฟฟ้าส่วนที่เหลือให้แก่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้(บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด, 2556)

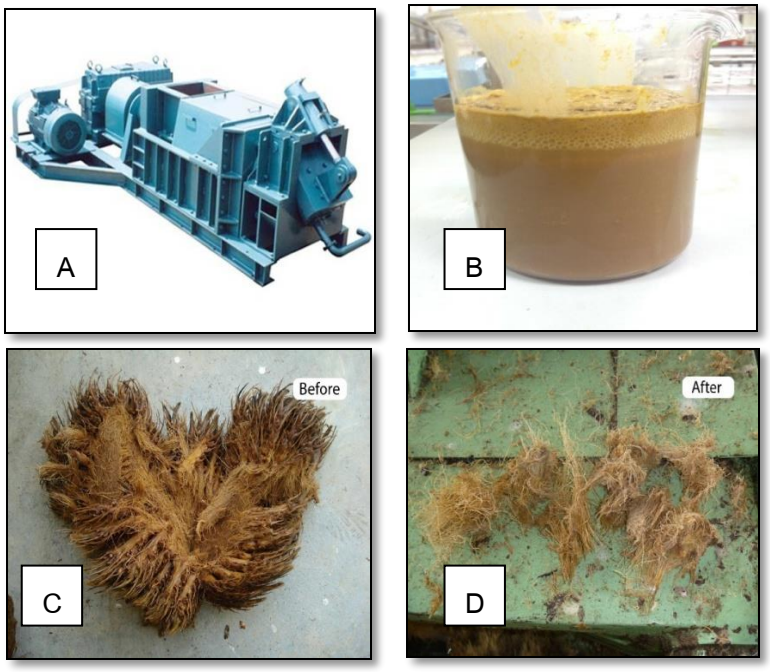
(2) ทะลายเปล่า (empty fruit bunch: EFB) เป็นส่วนของทะลายที่สลัดผลปาล์มออกแล้วในอดีตทะลายเปล่ามีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมมากเนื่องจากเป็นที่วางไข่ ของด้วงแรดซึ่งเป็นแมลงที่กัดกินยอดปาล์มและมะพร้าว ดังนั้นโรงงานจะต้องเผาทะลายเปล่า ซึ่งทำได้ยากเนื่องจากมีความชื้นสูง แต่ปัจจุบันได้ใช้ทะลายเปล่าเป็นวัสดุในการเพาะเห็ด การนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาเพาะเห็ดฟาง นับว่าเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถสร้างรายได้ให้แก่กลุ่มเกษตรกรที่สนใจในอาชีพการเพาะเห็ด แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการนำทะลายปาล์มไปเพาะเห็ดกับปริมาณทะลายปาล์มที่เกิดขึ้นต่อวัน พบว่าจำนวนทะลายที่เกิดขึ้นมีจำนวนที่มากกว่าการนำไปเพาะเห็ดฟาง เมื่อเปรียบเทียบการเพาะเห็ดฟาง โดยการใช้วัสดุที่แตกต่างกัน พบว่าเปลือกถั่วเขียวสามารถให้จำนวนดอกเห็ดมากกว่าวัสดุหมักชนิดอื่น รวมทั้งการเพาะเห็ดจากเปลือกถั่วเขียวยังมีความกว้างของดอกมากที่สุด และน้ำหนักของเห็ดที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่เท่ากันแล้วการเพาะเห็ดจากเปลือกถั่วเขียวสามารถให้ผลผลิตมากที่สุด (โกสินทร์ แสงสวงศ์, 2546)แต่เนื่องจากในแกนทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีเส้นใยที่เหนียวสามารถนำมาทดแทนเส้นใยจากเปลือกมะพร้าวได้อีกทั้งทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันยังมีองค์ประกอบของน้ำมันหลงเหลืออยู่ซึ่งหากสามารถดึงน้ำมันส่วนนั้นออกมาได้ จะทำให้มีปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น



ภาพประกอบที่1-3 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และของเสียที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการ และการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ของบริษัทพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด (Production Process)
ที่มา: บริษัทพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด (2556)

บริษัทพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด เป็นบริษัทแห่งแรกและแห่งเดียวในประเทศไทย ที่ได้เล็งเห็นประโยชน์จากการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน จึงได้นำเข้าเครื่องหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (EFB Press) ดังภาพประกอบที่ 1-4 มาใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานซึ่งนอกจากได้ผลผลิตน้ำมันที่เพิ่มขึ้น ทางโรงงานได้มีแนวคิดที่จะนำทะลายเปล่าปาล์มไปใช้ในการทำปุ๋ยหมัก โดยในส่วนนี้อยู่ระหว่างการศึกษาวิจัยของทางโรงงาน และอีกผลผลิตพลอยได้จากการบีบทะลายเปล่าปาล์ม คือ น้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่มีค่าความสกปรกที่สูง มีปริมาณ

สารอินทรีย์ในปริมาณมากซึ่งสามารถนำไปผลิตก๊าซชีวภาพได้เมื่อนำเข้าสู่กระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศของทางโรงงาน แต่จากคุณสมบัติดังกล่าว การเติมน้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มเข้าไปในปริมาณมาก อาจจะทำให้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพล้มเหลวได้ง่าย จึงต้องมีการศึกษาถึงการนำบีบทะลายเปล่าปาล์มมาใช้ประโยชน์ให้มากกว่านี้



ภาพประกอบที่ 1-4 เครื่องหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (A) น้ำเสียที่เกิดจากการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (B) ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันก่อนการหีบ (C) ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันหลังจากการหีบ (D)

ที่มา:บริษัทพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด (2556)

(3) เส้นใยเปลือกผลปาล์ม (mesocarp fiber) เป็นส่วนเปลือกนอกผลปาล์มที่หีบน้ำมันออกแล้วโดยปกติในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะใช้เส้นใยเปลือกผลปาล์มเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อผลิตไอน้ำ เพื่อนำไอน้ำไปนึ่งทะลาย และผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงานเส้นใยเปลือกผล

ปาล์มมีปริมาณธาตุอาหารใกล้เคียงกับทะลายเปล่าแต่มีปริมาณโพแทสเซียมน้อยกว่า (โพแทสเซียมประมาณ 0.5%) จึงสามารถนำไปเป็นวัสดุในการผลิตปุ๋ยหมักได้เช่นกัน

(4) กากสลัดจ์(decantor cake) เป็นเศษของเปลือกผลปาล์มหรือสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ปะปนอยู่ในน้ำมันปาล์ม สิ่งเจือปนเหล่านี้จะถูกแยกออกในขั้นตอนสุดท้ายของการสกัดน้ำมัน กากสลัดจ์มีโปรตีนและแคลเซียมค่อนข้างสูง จะใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับวัวนมนอกจากนั้นยังใช้ผสมกับทะลายเปล่า เปลือกผลปาล์ม เพื่อผลิตปุ๋ยหมักได้อีก

(5) กะลา (shell) ในปัจจุบันใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อผลิตไอน้ำ กะลาสามารถแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์ได้

1.2.3.2 ปริมาณ และองค์ประกอบน้ำเสียจากบ่อรวมของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (Palm Oil Mill Effluent ; POME)

Chavalparit และ Rulken (2006) ประมาณการปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มประมาณ 113,000 ตันต่อปี จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบใช้น้ำจะมีน้ำทิ้งออกมาในปริมาณมาก อัตราการใช้น้ำในกระบวนการผลิตเฉลี่ย 0.5-1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นประมาณร้อยละ 66.7-100 ของปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตทั้งหมด น้ำเสียส่วนใหญ่มาจากสองขั้นตอน คือ น้ำนึ่งปาล์มหรือน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ (Sterilizer condensate) และน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์หรือเครื่อง separator โดยน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อมีประมาณ 200 ลิตรต่อ 10 ตันทะลายปาล์ม ปริมาณน้ำทิ้งคิดเป็น 2.5-3.0 เท่าของปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 4 โรงงานในภาคใต้พบว่าโรงงานที่ใช้เครื่อง separator มีปริมาณน้ำทิ้งต่อตันทะลายปาล์มสดสูงกว่าโรงงานที่ใช้เครื่องดีแคนเตอร์ ในน้ำทิ้งมีมวลสารในรูป ซีโอดี บีโอดี ของแข็งแขวนลอยและน้ำมันในระดับสูง มีสีน้ำตาลเข้มถึงน้ำตาลปนดำ พีเอช4-5 (ตารางประกอบที่ 1-2) เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน พบว่ามีค่าที่สูงเพราะมีร้อยละของไนโตรเจนต่ำประมาณร้อยละสองของน้ำหนักแห้ง แต่เนื่องจากน้ำทิ้งของโรงงานน้ำมันปาล์มมีสารอาหารสูง จึงมีการนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับเลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อผลิตโปรตีนเซลล์เดียว และใช้เป็นแหล่งผลิตก๊าซชีวภาพ (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ, 2553)

ตารางประกอบที่ 1-2 ลักษณะของน้ำทิ้งจากขั้นตอนต่าง ๆในการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มและน้ำในบ่อรวมน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

พารามิเตอร์	น้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ	น้ำจากเครื่อง Decanter หรือ Separator	น้ำทิ้งจากบ่อรวม
Color	Brown	Brown-Blackish Brown	Dark Brown
pH	4.84-5.35	4.16-5.35	4.05-4.62
BOD_5	22,800-41,985	21,000-68,550	54,750-60,000
COD	45,360-80,146	38,246-105,955	80,523-115,934
Volatile Acid (as acetic acid)	998-7,125	535-1,838	3,100-5,800
Alkalinity	37.50-1,576	48-86.50	68-200
Oil and Grease	20.90-1,103	4.70-1,130	16-2,500
Total Solid (TS)	26,367-76,733	25,634-118,570	49,453-88,508
Volatile Solid (VS)	24,415-67,635	23,056-108,590	42,063-81,872
Suspended Solid (SS)	6,100-26,000	2,900-40,000	18,500-52,000
Ammonia Nitrogen	7.70-66.30	22.80-61.60	27-61
Organic Nitrogen	22.40-1,287	518.50-1,352	551-1,172

หมายเหตุ ทุกค่ามีหน่วยเป็น mg/L ยกเว้นสีและพีเอช

ที่มา: ดัดแปลงจากพูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ (2553)

1.2.4 การบำบัดคุณภาพน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Processes)

ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธี แอนแอโรบิก(Anaerobic) เป็นวิธีที่ไม่เติมออกซิเจนหรือนิยมเรียกว่า ระบบไร้อากาศ หรือถังหมัก โดยการนำสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำเสียมาเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้สารอินทรีย์ได้ถูกกำจัดหรือย่อยสลายได้ด้วยจุลชีพแอนแอโรบิก ซึ่งระบบนี้เริ่มนิยมใช้กันแพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะสามารถประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ และยังได้พลังงานที่เกิดจากระบบไร้ออกซิเจนได้แก่ ก๊าซมีเทน (Methane gas) เป็นต้น ซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้ในการหุงต้มทำอาหารได้และใช้ในการต้มน้ำในหม้อต้มน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมได้ ในอดีตเข้าใจกันว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธี แอนแอโรบิก(Anaerobic) จำเป็นต้องมีน้ำเสียที่มีความสกปรกมาก (BOD มากๆ) แต่ปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนารูปแบบของถังปฏิกิริยาขึ้นมาเรื่อยๆจนสามารถบำบัดน้ำเสียที่มี BOD ต่ำๆ เช่น น้ำเสียจากชุมชน เป็นต้น

ประโยชน์ของระบบบำบัดแบบไร้อากาศคือสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ซึ่งถ้าไปใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการเติมอากาศค่อนข้างสูงมาก และไม่ได้ประสิทธิภาพบำบัดตามที่เลือกขนาดเครื่องเติมอากาศไว้ และการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศไม่ต้องสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในการเติมอากาศ แต่ยังจะได้ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ยิ่งมีสารอินทรีย์มากก็ยิ่งมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นมากเมื่อมีสภาวะแวดล้อมเหมาะสม แต่ระบบบำบัดแบบไร้อากาศมีข้อเสียอยู่ตรงที่ขนาดของถังบำบัดต้องมีขนาดใหญ่กว่าระบบบัดแบบใช้อากาศ และต้องเป็นถังบำบัดแบบมีฝาปิดมิดชิด ไม่พยายามให้มีอากาศเข้าไปในระบบเพราะจะไปทำลายหรือทำให้ปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบเปลี่ยนแปลงไปแต่เทคโนโลยีได้พัฒนาขึ้นมามากเกี่ยวกับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ทำให้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศมีประสิทธิภาพมากขึ้นคืออาศัยหลักการให้มีจำนวนจุลชีพมากขึ้นในระบบและให้มีการกวนหรือวิธีใดๆที่ทำให้จุลชีพได้สัมผัสกับน้ำเสียมากที่สุด

ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ

กระบวนการแบบไร้อากาศเป็นระบบที่ซับซ้อน มีจุลินทรีย์อาศัยร่วมกันหลายกลุ่ม ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์มีทั้งแบบแข่งขันกันและพึ่งพากัน สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบจะถูกเปลี่ยนรูปเนื่องจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลายกลุ่มต่อกัน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่ง เป็นการพึ่งพาอาศัยกันแต่ถ้าผลิตภัณฑ์ที่เกิดมีจุลินทรีย์หลายกลุ่มที่สามารถใช้ได้เหมือนกัน ก็จะมีความสัมพันธ์แบบแข่งขันกัน จุลชีพที่อาศัยอยู่รวมกันนี้ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ และเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปต่างๆ เช่น มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น แต่สารอินทรีย์ในระบบจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์กลุ่มใดขึ้นกับปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมของระบบ ลำดับขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีที่ใช้ย่อยสลาย

มลพิษอินทรีย์ ดังภาพประกอบที่ 1-5 โดยกระบวนการแบบไร้อากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนหลักๆ ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1ไฮโดรไลซิส(Hydrolysis)

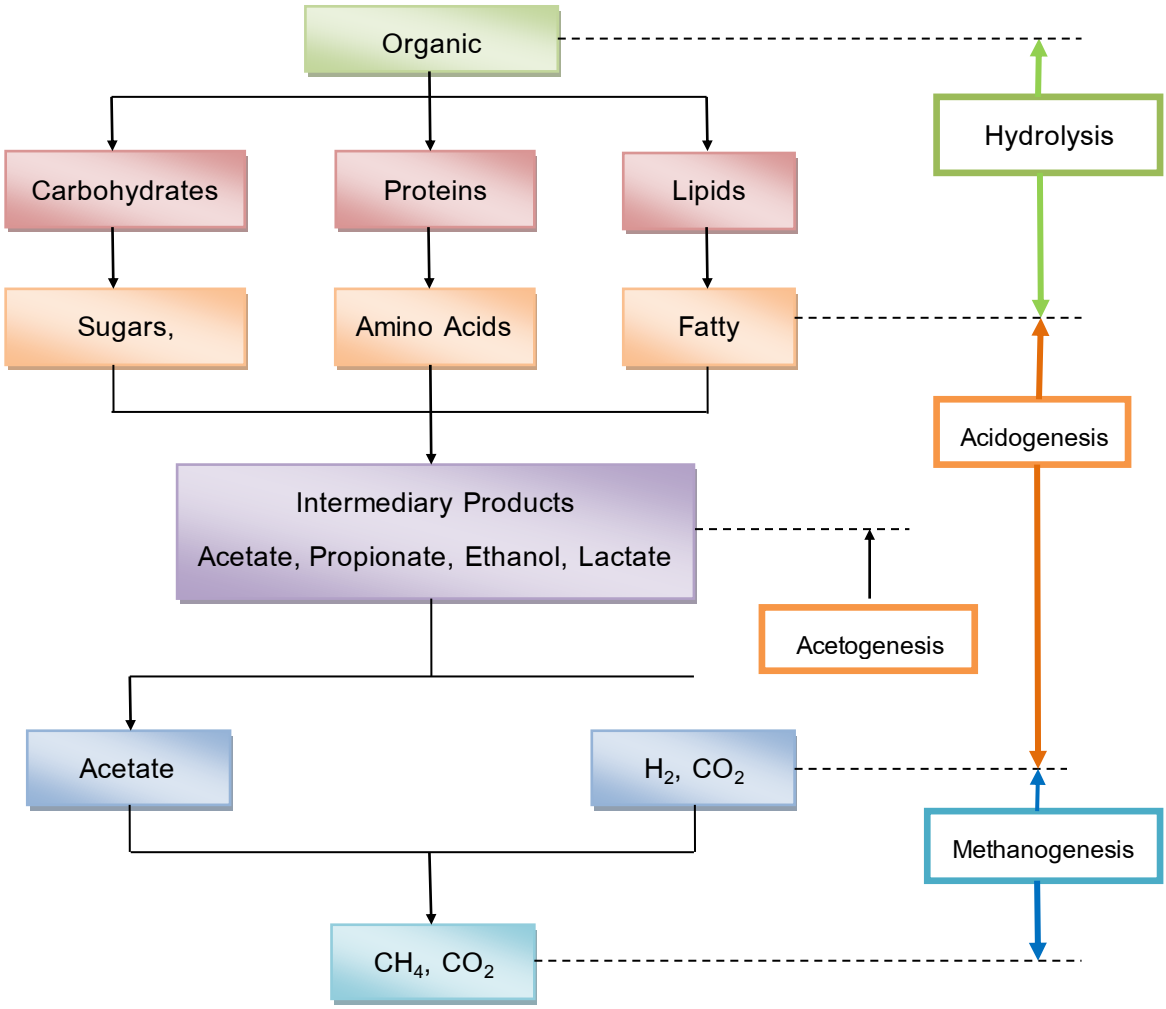
กระบวนการไฮโดรไลซิสเป็นกระบวนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน กรดไขมัน โดยในขั้นตอนนี้กลุ่มแบคทีเรีย *Hydrolytic Bacteria* จะปล่อยเอนไซม์ที่ผลิตจากภายในเซลล์ออกสู่นอกเซลล์เพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงต่ำ เช่น เอนไซม์อะไมเลสถูกใช้ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เอนไซม์ไลเปสในการย่อยไขมันให้กลายเป็นกรดไขมัน เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลผลิตจากกระบวนการไฮโดรไลซิส เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน ไขมัน จะถูกกลุ่มแบคทีเรียที่เรียกว่า Fermentative *Acidogenic Bacteria*ดูดซึมเข้าสู่ภายในเซลล์เพื่อใช้เป็นอาหารและใช้ในการผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids; VFAs) เช่น กรดโพรไพโอนิกกรดอะเซติก กรดบิวไทริก เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีโมเลกุลต่ำ และมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว นอกจากนี้ยังได้ไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก(Acetogenesis)

ขั้นตอนนี้แบคทีเรีย Acetogenic Bacteria มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนในกระบวนการสร้างกรด และกระบวนการสร้างมีเทน และปฏิกิริยานี้ถือว่ามีความสำคัญในการลดปัญหาการสะสมของกรดระเหย และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ยับยั้งการสร้างมีเทนได้ ซึ่งแบคทีเรียในกลุ่มนี้จะทำการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดโพรไพโอนิก และ กรดบิวไทริก ให้กลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ทั้งนี้เนื่องจากในการผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นมีความต้องการสับสเตรต(Substrate) เฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซิติก และไฮโดรเจน ในการสร้างมีเทน



ภาพประกอบที่1-5 ผลของปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ที่มา: Weiland (2010)

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายมลพิษสารอินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) จะใช้กรดอะซิติกและไฮโดรเจน ซึ่งเป็นผลของปฏิกิริยาจากแบคทีเรียที่สร้างกรดเพื่อจะสร้างก๊าซมีเทนขึ้น และนอกจากกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว แบคทีเรียอาจใช้สับสเตรต(Substrate) อย่างง่ายบางชนิดในการสร้างก๊าซมีเทน เช่น กรดฟอร์มิกเมทธานอล ได้เช่นกัน ซึ่งในขั้นตอนนี้จะประกอบด้วยจุลินทรีย์2 ประเภท คือ จุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนได้จากกรดอะซิติก(Acetoclastic Methanogen Bacteria) และจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนได้จากไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ (H_2-Utilizing Methanogenic Bacteria) การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะเป็นการลดค่า COD ในน้ำเสียและได้ผลผลิตเป็นก๊าซมีเทน

1.2.4.2 ทฤษฎีการผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas)ที่ผลิตได้จากระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 70% ก๊าซ CO_2ประมาณ 30% และก๊าซอื่นๆอีกเล็กน้อย คือ ก๊าซ N_2, H_2, H_2S ฯลฯ ปริมาณของก๊าซที่ผลิตออกมาได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอินทรีย์และชนิดของน้ำเสีย ตารางประกอบที่ 1-3เป็นข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณก๊าซที่ผลิตออกมาได้จากน้ำเสียประเภทต่างๆ โดยพบว่า ก๊าซที่ผลิตได้นี้สามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้คือ 0.5 ลบ.ม. ของก๊าซที่ผลิตได้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 1.0 กิโลวัตต์-ชม.

ตารางประกอบที่ 1-3 ปริมาณก๊าซที่ผลิตออกมาได้จากสารอินทรีย์ของวัสดุต่างๆ

วัสดุ	ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ (ลิตร/กก. ของสารอินทรีย์ตากแห้ง)
กากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน	600
ขยะมูลฝอยจากชุมชน	300
น้ำเสียจากโรงงานเบียร์	440
เปลือกกล้วย	450
อุจจาระหมู	400
เปลือกของต้นอ้อย	500
หญ้า	550

ตารางประกอบที่ 1-4 ข้อมูลพลังงานที่ได้จากก๊าซมีเทน

ค่าพลังงาน*	ค่าพลังงานที่เกิดขึ้น				
	ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซทั้งหมด (%)				
	50	60	70	80	100
ค่าความร้อน, กิโลจูล/ลบ.ม.ก๊าซ	17,500	21,000	24,000	28,000	35,000
ค่าพลังงานไฟฟ้า:					
กระแสไฟฟ้าที่ได้, กิโลวัตต์.ชม./ลบ.ม.	1.5	1.7	2.0	2.3	2.9
ความร้อนที่เกิดขึ้น, กิโลวัตต์.ชม./ลบ.ม.	2.5	2.9	3.4	3.9	4.9
ความสูญเสีย, กิโลวัตต์.ชม./ลบ.ม.	1.0	1.1	1.3	1.5	1.9

* 1ลบ.ม.CH_4ได้35,000 กิโลจูล และได้9.7 กิโลวัตต์.ชม.

1 ลบ.ม.CH_4สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ซึ่งระกอบด้วย1) 30% เป็นกระแสไฟฟ้า, 2.9 กิโลวัตต์.ชม. 2) 50% เป็นความร้อน4.9 กิโลวัตต์.ชม.และ 3)20%เป็นความสูญเสีย 1.9กิโลวัตต์.ชม.

(1) ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

(1.1) อุณหภูมิ

ปัจจัยสำคัญในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยที่อุณหภูมินั้นมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ 2 ช่วง คือ อุณหภูมิระหว่าง 30-40 °C (Mesophilic temperature) จุลินทรีย์ที่ทำงานในช่วงนี้เรียกว่า Mesophilic Bacteria และอุณหภูมิระหว่าง 50-60 °C (Thermophilic temperature) จุลินทรีย์ที่ทำงานในช่วงนี้ เรียกว่า Thermophilic Bacteria (Kim *et al*., 2002) แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนจะหยุดการทำงานเมื่ออุณหภูมิต่ำหรือสูงเกินไป

เนื่องจากจุลินทรีย์จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิเพียง 2-3 °C จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของก๊าซมีเทนอย่างมาก ดังนั้นการรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ จึงมีความสำคัญมากกว่าการควบคุมให้ระบบมีอุณหภูมิอยู่ในจุดที่ให้อัตราการย่อยสลายสูงสุด โดยในการเดินระบบควรมีการป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของระบบเปลี่ยนแปลงมากกว่า 10 °Cต่อวัน (เฉลิมเดช ณ ลำพูน, 2553)

(1.2) ความเป็นกรด-ด่าง(pH)

Methane Forming Bacteria นั้น ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง และเนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถทำงานร่วมกันได้ จึงต้องรักษาสภาวะที่จะทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้นั้นควรมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.5-7.5 (Acher และ Kirsop, 1991) เมื่อค่า pH ลดต่ำกว่า 6.5 จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย วิธีแก้ไขเมื่อค่า pH มีแนวโน้มว่าจะลดลง คือการเติมสารเพื่อเพิ่มความเป็นด่างลงไป เช่น เติมหินปูน สาเหตุที่ทำให้

ค่า pH ลดลงนั้น มีผลมาจากปริมาณสารอินทรีย์มากเกินไปดังนั้นทางแก้ไขที่ดีที่สุดคือ หยุดทำการป้อนชั่วคราว หรือลดอัตราการป้อน

จารุวรรณี เรืองคง (2551) ได้ศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นแบบกะที่พีเอช6 6.5 7 และ 7.5 ถังปฏิกรณ์ขนาด 10 ลิตร พบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 1.8 ลิตรต่อวัน ที่พีเอชเท่ากับ 7 และสามารถกำจัดซีโอดีและไขมันเท่ากับร้อยละ 37.5 และ 32.4 ตามลำดับ

(1.3) กรดไขมันระเหยง่าย (VFA)

กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA) เช่นกรดอะซิติก กรดบิวทิริก กรดโพรพิโอนิก กรดฟอร์มิกเป็นต้น การที่พบกรดเหล่านี้ในปริมาณมากเป็นสัญญาณเตือนถึงความล้มเหลวของระบบ เนื่องจากกรดเหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์สารตัวกลางที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ระบบที่มีการสะสมของกรดระเหยง่ายในปริมาณที่มาก ช่วงแรกกรดระเหยจะมีผลทำให้สภาพด่างของระบบลดลง ต่อมาถ้ายังไม่มีการใช้หรือบำบัดกรดระเหยง่าย ให้มีปริมาณน้อยลงอีก pH ของระบบก็จะลดต่ำลง และถ้า pH มีค่าลดต่ำลงกว่า 6.7 จะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน โดยปกติระดับเหยง่ายที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 50-500 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH ซึ่งค่าสูงสุดที่ยอมให้มีในระบบเท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

(1.4) ความเป็นพิษ

(**1.4.1) ออกซิเจน** ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของ Methane Forming Bacteria

(**1.4.2**) **แอมโมเนีย** แอมโมเนียจะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการย่อยสลาย ซึ่งก็จะมีผลกระทบต่อแบคทีเรีย ในขณะที่โปรตีนถูกย่อยสลายนั้น ไนโตรเจนจะถูกปล่อยออกมาในรูปของแอมโมเนีย ซึ่งแอมโมเนียนี้สามารถอยู่ได้ในหลายรูปแบบ เช่น แอมโมเนียอิสระหรือประจุของแอมโมเนีย โดยขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่าง ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 7.2 จะมี NH_4^+มากกว่า แต่ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7.2 จะมี NH_3มากกว่า ซึ่งจะยับยั้งการทำงานและมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์มากกว่า NH_4^+ แอมโมเนียเมื่ออยู่ในรูป NH_3จะเป็นพิษก็ต่อเมื่อมีความเข้มข้นประมาณ 100 mg/L แต่ในรูปของ NH_4^+จะเป็นพิษเมื่อมีความเข้มข้นสูงเท่ากับ 7,000-9,000 mg/L (Sterling และคณะ, 2001)

(1.4.3) ซัลไฟด์ ซัลไฟด์ถูกสร้างขึ้นมาโดยการเปลี่ยนจากซัลเฟตที่มีอยู่ในสารละลายและโดยการย่อยสลายของโปรตีน เฉพาะซัลไฟด์ที่ถูกดูดซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรียเท่านั้นที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียที่มีความเข้มข้นมากกว่า 200 mg/l แบคทีเรียจะหยุดการ

เจริญเติบโตการเติมโลหะหนัก เช่น เหล็กเพื่อไปจับตัวซัลไฟด์จะเป็นการลดความเข้มข้นลงทำให้ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นลดลง

(**1.4.4) โลหะหนัก**แบคทีเรียสร้างมีเทนมีความต้องการธาตุจำเป็น4 ชนิดคือ เหล็ก โคบอลต์ นิเกิลและซัลเฟอร์ในปริมาณที่ต่ำมาก หากในระบบมีปริมาณโลหะหนักสูงเกินไป เกิดความเป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบบำบัด (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

(1.5) ความด่าง (Alkalinity)

ความเป็นด่าง คือ ความสามารถในการต้านการเปลี่ยนแปลง ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียในถังปฏิกิริยา เมื่อปริมาณกรดในน้ำเสียเพิ่มขึ้น คือในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังปฏิกิริยา สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งจะมีผลทำให้กรด-ด่างในน้ำเสียลดลง หากค่าความเป็นด่างของน้ำเสียอยู่ในระดับต่ำจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรด (Acid forming bacteria) หรือแบคทีเรียในกลุ่มสร้างมีเทน (Methane Producing bacteria) โดยทั่วไปแล้วสภาพความเป็นด่างทั้งหมดควรมีประมาณ 1,000-5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (Metcalf และ Eddy, 2004)

ค่าสภาพด่างเป็นตัวที่บ่งชี้เสถียรภาพของระบบ เมื่อระบบบำบัดมีค่าตัวนี้สูงแสดงว่าระบบมีบัฟเฟอร์สูงสามารถรักษาระดับ pH ให้คงตัวได้นานเมื่อมีการเพิ่มของ VFA ที่เกิดขึ้นในระบบซึ่งสภาพความเป็นด่างที่มีความสำคัญคือ สภาพด่างไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) เพราะจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ เมื่อมีกรดไขมันระเหยง่ายเกิดขึ้นในระบบโดยมีเพียงเล็กน้อยจะส่งผลให้ pH ลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในกลุ่มที่สร้างมีเทนและปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คืออัตราส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยต่อระดับสภาพด่างไบคาร์บอเนต (VFA/HCO_3) คือ ถ้าอัตราส่วนนี้น้อย 0.4 ระบบบำบัดจะมีพัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบกำลังอยู่ในขั้นที่ pH จะลดลงอย่างรวดเร็ว (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์, 2540)

(1.6) อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน

แบคทีเรียที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลายนั้น ต้องการแร่ธาตุอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและแพร่ขยาย ธาตุอาหารที่จำเป็นได้แก่ คาร์บอนและไนโตรเจน ถ้ามีปริมาณไนโตรเจนน้อยเกินไป แบคทีเรียไม่สามารถสร้างเอนไซม์ออกมา ซึ่งเอนไซม์นี้มีความสำคัญในการย่อยสลายคาร์บอน แต่ถ้ามีปริมาณไนโตรเจนมากเกินไป โดยเฉพาะอยู่ในรูปของแอมโมเนียก็จะไปยังยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยทั่วไปแล้วอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20:1 และ 30:1 วัตถุที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและ

ไนโตรเจนเกิน 30:1 จะต้องมีการเติมไนโตรเจนลงไป เช่น ยูเรีย หรือมูลไก่ เป็นต้น ธาตุบางตัว เช่น ฟอสฟอรัส อาจจะมีการเติมลงไปเพื่อช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

จารุวรรณี เรืองคง (2551) ได้ศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยศึกษาผลของไนโตรเ จนที่อัตราส่วน COD/N เท่ากับ 100:1 100:0.8 100:0.5 และไม่มีการเติมแหล่งไนโตรเจน 100:0.07 โดยใช้ค่าพีเอชเริ่มต้น 7.0 ทำการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่อง ในถังปฏิกรณ์แบบปิดขนาด 10 ลิตร ใช้น้ำเสีย 5 ลิตร พบว่า อัตราส่วน COD/N เท่ากับ 100:1สามารถผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 2.8 ลิตรต่อวันและกำจัดซีโอดี บีโอดี น้ำมัน และไขมันได้ เท่ากับร้อยละ 60.2 61.7 60.0 ตามลำดับ

(1.7) อัตราการป้อนอินทรีย์สาร(Organic loading rate,OLR)

ในระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป มักจะออกแบบให้สามารถรับ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงสุดเท่าที่ประสิทธิภาพของระบบทำได้ แต่ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ หากให้ระบบมีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุดแล้ว จะทำให้ระบบมีอัตราผลิตก๊าซมีเทนลดลงเนื่องจากกรดไขมันระเหยง่ายจะถูกสร้างและสะสมไว้ในระบบมากเกินไป ในขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์และการสร้างกรดระเหยง่ายของแบ คทีเรียชนิดที่ไม่สร้างมีเทน ทำให้พีเอชของน้ำเสียในถังหมักลดต่ำลง ซึ่งทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน ประกอบกับแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะมีอัตราการเจริญช้ากว่าแบคทีเรียที่สร้างกรด ถึง 4 เท่า ทำให้ไม่สามารถเจริญและใช้กรดระเหยง่ายเพื่อผลิตมีเทนได้ทัน ส่งผลให้เกิดการสะสมของกรดไขมันดังกล่าวขึ้น (Gray, 1981) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบที่เหมาะสมของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ โดยทั่วไปควรอยู่ในช่วงประมาณ 1.5 กิโลกรัมบีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน และหากคิดภาระสารอินทรีย์ในรูปของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด จะอยู่ในช่วง 0.64-1.12 กิโลกรัมของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด/ลูกบาศก์เมตร/วัน (Loehr, 1974)

การป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบสามารถจำแนกตามลักษณะการป้อนอาหารที่มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี คือ

(1.7.1) การป้อนสารอินทรีย์แบบครั้งคราว (Batch)

เป็นการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบเพียงครั้งเดียว หลังจากนั้นจะปล่อยให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในระบบและไม่มีการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มเข้าไปอีก สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจนหมด ระบบนี้เหมาะกับวัตถุดิบที่มีปริมาณมากๆ แต่ใช้เวลานาน การหมักแบบนี้ระบบจะไม่คงที่ และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ

(1.7.2) การป้อนแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous)

เป็นลักษณะการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ โดยจะมีการป้อนเป็นช่วงๆให้สอดคล้องกับการทำงานของระบบ หลังจากนั้นจึงมีการถ่ายน้ำเสียออกก่อนที่จะเติมน้ำเสียเข้าไปใหม่อีกครั้ง ซึ่งเหมาะกับกรณีที่มีวัตถุเป็นประจำ ซึ่งปกติจะมีการเติมสารอินทรีย์ใหม่ๆทุกๆวัน การหมักแบบนี้จะส่งผลดีต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ช่วยลดปัญหาจากการที่มีสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบจำนวนมากแบบกะทันหัน (Shock load) และปริมาณที่เกิดขึ้นค่อนข้างที่จะคงที่

(1.7.3) การป้อนแบบต่อเนื่อง (Continuous)

เป็นลักษณะการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา คือ มีน้ำเสียเข้าออกจากระบบเป็นดังนั้นวัสดุหมักจะถูกย่อยสลายภายในระบบช่วงเวลาหนึ่งและถูกถ่ายออกจากระบบอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน ทำให้สัมประสิทธิ์ของระบบนี้สูง เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันเพื่อต้องการให้ระบบสามารถดำเนินการได้อย่างสม่ำเสมอ

นิพนธ์ พิสุทธิ์ไพศาลและคณะ (2550) ได้ศึกษาการผลิตแก๊สไฮโดรเจนและมีเทนจากน้ำเสียแบบสองขั้นตอน โดยใช้ upflow anaerobic sludge blanket (UASB) ใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มาจากระบบบำบัดน้ำเสีย ไฮโดรเจนจะมีการปรับค่า pH ของน้ำเท่ากับ 5.5 ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำ (HRT) คือ 6 และ 8 ชั่วโมง และมีการเปลี่ยนค่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic loading rate ; OLR) คือ 6.54 ± 0.09, 6.70 ± 0.20 และ 7.70 ± 0.24 กรัมซีโอดีต่อวันต่อลิตรถังปฏิกรณ์ ส่วนขั้นตอนการผลิตแก๊สมีเทนจะนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตแก๊สไฮโดรเจนมาปรับค่า pH ของน้ำเท่ากับ 7.0 ที่อุณหภูมิห้อง และทำการทดลองโดยการเปลี่ยนระยะเวลาในการกักเก็บน้ำคือ 10 ชั่วโมง จากการทดลองที่ HRT เท่ากับ 6 ชั่วโมง และ OLR เท่ากับ 6.70 ± 0.20 ได้ปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนสูงสุดคือ 1,802.67 ± 68.89 mL/day และค่า COD ที่ถูกกำจัดเท่ากับ 30.93 ± 0.57% ส่วนถังที่ผลิตแก๊สมีเทนได้ปริมาตรแก๊สมีเทนเท่ากับ 2,554.83 ± 98.70 mL/day และค่า COD ที่ถูกกำจัดเท่ากับ 88.22 ± 0.52%

(1.8) การกวนผสม (Mixing)

เป็นขั้นตอนที่ทำให้สารอินทรีย์และจุลินทรีย์ในระบบเกิดการคลุกเคล้าผสมกันเป็นเนื้อเดียวกัน และเกิดการกระจายการสัมผัสระหว่างสารอินทรีย์และจุลินทรีย์มากขึ้น ทำให้ระบบเกิดภาวะเสถียรและไม่ทำให้เกิดฝ้า (Scum) ที่ระดับผิว ช่วยให้อุณหภูมิภายในถังมีความสม่ำเสมอ การกระจายของสารพิษเบาบางลง และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงกว่าที่ไม่มีการกวนผสม ถ้ากวนผสมไม่เพียงพออาจมีการตกตะกอนบางส่วน ทำให้ปริมาตรใช้งานของถังปฏิกรณ์ลดลง และระยะเวลากักเก็บลงลด ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบ หากมีการกวนผสมมากเกินไป จะรบกวนการทำงานของจุลินทรีย์ การกวนต่อเนื่องตลอดเวลาอย่างช้าๆ จะให้ผลดีกว่าการกวน

เร็ว (สมฤดี ฤทธิ์ยากุล, 2551) โดยทั่วไปการกวนผสมที่นิยมใช้กันอยู่มี 3 วิธี ดังนี้ (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูรย์, 2552)

(1.8.1) การกวนผสมโดยใช้เครื่องมือกล (Mechanical mixing)ได้แก่ ใบพัด (Impeller) ซึ่งใบพัดที่เลือกใช้จะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ เช่น ใบพัดแบบ puddle หรือ turbine อย่างไรก็ตาม ในการกวนผสมเป็นเนื้อเดียวกันจะต้องใช้พลังงานค่อนข้างสูง หากถังมีขนาดใหญ่มากจะต้องใช้พลังงานมากขึ้น เพื่อให้เกิดการกวนผสมอย่างสมบูรณ์

(1.8.2) การกวนผสมโดยใช้วิธีการสูบน้ำเสียภายในถังปฏิกรณ์ให้เกิดการหมุนเวียน (Mixing by recirculation of wastewater)เป็นวิธีการที่ใช้พลังงานไม่สูง และประสิทธิภาพไม่สูงมากนัก โดยการตั้งเครื่องสูบน้ำภายในถังปฏิกิริยาออกทางด้านล่างของถังปฏิกิริยา และป้อนกลับเข้าทางด้านบนของถังปฏิกิริยา ทำให้เกิดการหมุนเวียนและการกวนผสมของน้ำเสียภายในถังปฏิกิริยา

(1.8.3) การกวนผสมโดยนำก๊าซที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียในถังปฏิกิริยามาใช้ในการกวนผสม (Mixing by production gas)อาศัยก๊าซเป็นตัวช่วยให้เกิดการกวนผสม โดยดึงก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาบางส่วน กลับเข้าสู่ถังปฏิกิริยา ทำให้เกิดการกวนผสมของน้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยา

(1.9) ระยะเวลาในการกักเก็บ (Hydraulic retention time, HRT)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมประสิทธิภาพของระบบย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ไม่ใช้อากาศ อัตราเร็วของการย่อยสลายเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักสารอินทรีย์จนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ต่อจากนั้นก็จะลดลงจนกระทั่งถึงขั้นหนึ่งที่จุลินทรีย์ถูกล้างออกจากระบบ (Wash out) ในอัตราที่เร็วกว่าจุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนขึ้น (YilmazerและYenigim, 1999) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบล้มเหลวได้ สามารถแก้ไขการที่จุลินทรีย์ถูกล้างออกจากระบบได้โดยการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักให้นานขึ้น (Wenและคณะ., 1999) นอกจากนี้ระยะเวลาเก็บกักจะเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบระบบการหมัก กล่าวคือ ระยะเวลาเก็บกักเป็นระยะเวลาที่ของเสียอยู่ในถังหมักสามารถหาได้โดยการหารปริมาตรถังหมักด้วยปริมาตรของเสียที่เติมลงในถังหมักต่อหน่วยเวลาระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ในระบบ (Solid retention time, SRT)

ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ภายในถังปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ $HRT = \frac{V}{Q}$

เมื่อ HRT = เวลากักเก็บน้ำ (day)

V = ปริมาณถัง (m^3)

Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย (m^3/day)

Fezzaniและ BenCheikh (2008) ศึกษาการย่อยร่วมกันแบบไม่ใช้อากาศระหว่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก กับของเสียที่เป็นของแข็งจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก ที่อุณหภูมิปานกลาง อัตราการป้อนสารอินทรีย์ ระหว่าง 0.67 และ 6.67 gCOD/l.day มีระยะเวลากักเก็บที่ 12, 24 และ 36 วัน ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ใช้เท่ากับ 24 56 และ 80 gCOD/l และปริมาณของเสียที่ใช้ เท่ากับ 56 g/l ผลการทดลองพบว่าการผลิตก๊าซมีเทนที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.95 ลิตร/ลิตร.วัน เมื่อเดินระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 4.67 gCOD/l (ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ใช้เท่ากับ 56 gCOD/l) และระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 12 วัน แต่ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 89 อยู่ที่การเดินระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 0.67 gCOD/l.day(ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ใช้เท่ากับ 24 gCOD/l.day) และ ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 36 วัน โดยที่การผลิตก๊าซชีวภาพจะถูกยับยั้งเมื่อเดินระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่สูงกว่า 4.67 gCOD/l.day

(1.10) หัวเชื้อ (Starter)

การหมักสารอินทรีย์แบบไร้อากาศต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายชนิดในการเปลี่ยนจากสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน และต้องมีจุลินทรีย์ที่จำเป็นในการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่อง การนำเชื้อผสมมาหมักร่วมกับสารอินทรีย์ในตอนเริ่มต้นหมักจะช่วยให้เชื้อมีการปรับตัวให้คุ้นเคยกับสารอินทรีย์ และได้เชื้อจำพวกต่าง ๆที่เหมาะสม ดังนั้น ถ้าต้องการหมักสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ สามารถนำของเหลวหรือกากตะกอนที่ผ่านการหมัก มาผสมได้เลยในตอนเริ่มต้นหมัก ของเหลวที่มีจุลินทรีย์เหมาะสมที่นำมาผสมตอนเริ่มต้น เรียกว่า “หัวเชื้อ” หรือ “starter” ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยถังปฏิกรณ์แบบกะ (Batch) สัดส่วนของของเหลวที่ใช้เป็นเชื้อกับวัสดุหมัก ควรอยู่ระหว่างประมาณ 1:10-1:5 (Gray, 1981) ในช่วงเริ่มต้นอาจเติมตะกอนที่เป็นเชื้อมากแต่ควรระวังการเกิดกรดไขมันระเหยง่ายที่มากเกินไป จนยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สร้างมีเทน เนื่องจากจุลินทรีย์สร้างกรดสามารถทำงานได้ดีกว่าจุลินทรีย์สร้างมีเทน ทำให้เกิดความเป็นกรดจนจุลินทรีย์สร้างมีเทนไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ส่วนการย่อยสลายด้วยถังปฏิกรณ์ชนิดเติมต่อเนื่อง (Continuous) จะใช้ตะกอนหัวเชื้อในสัดส่วนสูงมาก โดยค่อย ๆเติมวัสดุหมักลงไปในตะกอนหัวเชื้อทีละน้อย เพื่อให้จุลินทรีย์ปรับตัว(จิราวัฒน์ ชาลีวรรณ, 2546)

(1.11) การย่อยร่วม (Co-digestion)

ตัวย่อยร่วมนั้นมีความสำคัญในการช่วยเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนใหญ่ตัวย่อยร่วมจะเป็น วัสดุเหลือทางการเกษตร มูลสัตว์ เพราะเป็นแหล่งช่วยเพิ่มสารอาหารไนโตรเจน เพื่อใช้ในการสร้างเซลล์หรือเพิ่มตัวเชื้อในการย่อยให้มากขึ้น (Angelidaki and Ellegaard, 2003 : Bolzonella*et al*., 2006) นอกจากนี้ประโยชน์ของตัวย่อยร่วมที่ช่วยให้ระบบหมักทำงานได้ดีประกอบด้วย ช่วยเจือจางความเป็นพิษของสารอาหาร ช่วยปรับอัตราส่วนของสารอาหารให้เหมาะสม ที่จะส่งผลให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อัตราการย่อยสลายสูงขึ้น (Montusiewicz และคณะ,2011)

1.2.4.3 ระบบบัดน้ำเสียของโรงงานพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด

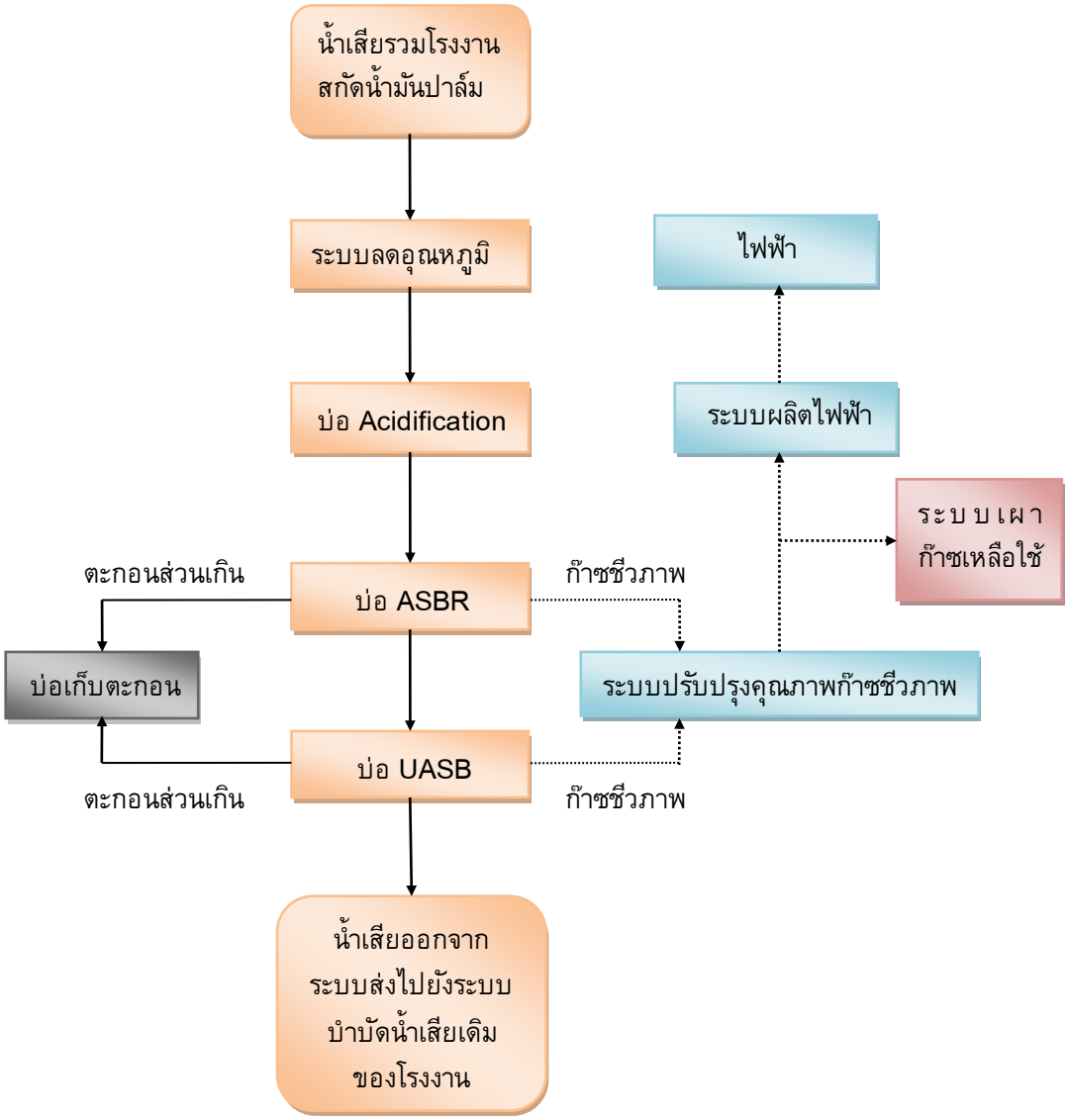
-ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

จากภาพประกอบที่ 1-6 รวบรวมและรับน้ำเสียจากเครื่อง Decanter ในโรงงาน และสูบส่งมาระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วยบ่อรวบรวมน้ำเสียและเครื่องสูบน้ำเสีย ทำการลดอุณหภูมิของน้ำเสียที่ค่อนข้างสูงถึง 90 องศาเซลเซียส ลงให้อยู่ในช่วง 35-40 องศาเซลเซียส เพื่อให้จุลินทรีย์ในบ่อผลิตก๊าซชีวภาพทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพจากนั้นนำน้ำเสียเข้าสู่ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ เริ่มจากบ่อสร้างกรด (Acidification pond 1) เพื่อลดความเป็นพิษเนื่องจากมีการย่อยสลายไขมันที่มีกรดไขมันสูง และเนื่องจาก Thermodynamic free energy of

methanationโดยใช้แบคทีเรียไร้อากาศ hydrolysis น้ำมันและสารอินทรีย์ในกระบวนการ Acidogenesis

จากนั้นน้ำเสียจะถูกส่งไปยังระบบ ASBR :ซึ่งเป็นเทคโนโลยีชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศทำงานโดยการเพาะเลี้ยง Acid bacteriaและ Methane bacteria ย่อยสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพในสภาวะที่มีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ และมีลักษณะการเดินระบบเป็นแบบ Batch เพื่อกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในระบบให้ได้มากที่สุด สุดท้ายน้ำเสียจะเข้าสู่ระบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)ทำหน้าที่ผลิตก๊าซชีวภาพ โดยแบคทีเรียไร้อากาศหลายชนิดแบ่งเป็นกลุ่ม หลัก ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ แบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดและแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน ซึ่งอยู่รวมกันเป็นเม็ดตะกอน (Granular sludge) ที่มีความหนาแน่นสูงและตกตะกอนกลับไปในถังได้ดีประกอบด้วยบ่อ UASB, ระบบท่อกระจายน้ำ ภายในบ่อ (Distribution piping)

การกักเก็บก๊าซที่ผลิต (Gas Storage)จากบ่อ ASBR และ UASB ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้ออกแบบให้มีถุงเก็บก๊าซชีวภาพภายในตัวเอง โดยไม่จำเป็นต้องมีระบบเก็บก๊าซชีวภาพต่างหากระบบเก็บก๊าซชีวภาพทำหน้าที่รักษาสมดุลอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพกับอัตราการใช้ก๊าซ ที่มีความแตกต่างกันและรักษาแรงดันในระบบให้คงที่ ซึ่งตัวช่วยในการเพิ่มแรงดันและส่งก๊าซชีวภาพยังระบบไฟฟ้าก๊าซชีวภาพคือ Blower ก่อนจะส่งก๊าซไปยังระบบผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพก๊าซ (Biogas Treatment Unit) เสียก่อน ประกอบด้วยระบบกำจัด H_2S (Biogas Cleaner) เป็นระบบชีวภาพ ใช้แบคทีเรียกำจัด H_2S ในก๊าซชีวภาพให้เหลือไม่เกินข้อกำหนดของผู้ผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบ Gas Dryer เป็นระบบ Chiller เพื่อลดความชื้นในก๊าซให้เหลือไม่เกินข้อกำหนดของผู้ผลิตเครื่องผลิตไฟฟ้า เมื่อปรับปรุงคุณภาพแล้วก๊าซจะถูกส่งไปยังระบบผลิตไฟฟ้าและออกมาในรูปกระแสไฟฟ้าส่งต่อไปยังการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อขายต่อไป



ภาพประกอบที่ 1-6 การเดินระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปแบบไม่ใช้อากาศของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบริษัทพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า
ที่มา: บริษัทพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด (2552)

1.2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

ชินพงศ์ วังใน (2006) ได้มีการศึกษาหาแนวทางการประยุกต์ใช้ถังปฏิกรณ์ไม่ใช้อากาศแบบลูกผสมที่อาศัยการทำงานร่วมระหว่างระบบกักเก็บ จุลินทรีย์แบบตรึงฟิล์มและแบบ UASB ใช้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าถังปฏิกรณ์แบบลูกผสมสามารถทำงานได้อย่างมี ประสิทธิภาพที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (OLR) และระยะเวลาการกักเก็บของเหลว (HRT) เท่ากับ 10.4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน และ 7.5 วัน ตามลำดับ โดยให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพเท่า 0.5 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกย่อยสลาย มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 60 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของค่าซีโอดี และสารแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 80 และ 64 ตามลำดับ

Choori tและ Wisarnwan (2007) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในระบบไร้อากาศ โดยทำการศึกษาในถังหมักระบบ continuous stirred tank reactors (CSTR) โดยศึกษาถึงความแตกต่างของอุณหภูมิที่ 37 และ 55 องศาเซลเซียส ป้อนน้ำเสียแบบกึ่งต่อเนื่อง พบว่า ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่ 12.25 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ระยะเวลากักเก็บ (HRT) ที่ 7 วัน มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดค่าซีโอดีลงได้ถึงร้อยละ 71.10 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 3.73 ลิตรของก๊าซ/ลิตร/วัน ซึ่งมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 71.04 และที่อุณหภูมิ55 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่ 17.01 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ระยะเวลากักเก็บ (HRT) ที่ 5 วัน มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดค่าซีโอดีลงได้ถึงร้อยละ 70.32 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 4.66 ลิตรของก๊าซ/ลิตร/วัน ซึ่งมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 69.53

Paepatungและคณะ (2009) ที่ศึกษาศักยภาพของวัสดุเศษเหลือทางเกษตรชนิดต่าง ๆ ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยพบว่ากากตะกอนดีแคนเตอร์และทะลายปาล์มเปล่า จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ฟางข้าว เปลือกสับปะรด และเศษมันสำปะหลัง มีอัตราการผลิตมีเทนจำเพาะ (*Rm*) เท่ากับ 32.86, 13.48, 10.98, 36.77 และ 36.57 มิลลิลิตร/วันตามลำดับ และมีผลผลิตมีเทนที่ได้อยู่ในช่วง 0.34-0.40ลูกบาศก์มีเทน/ของแข็งระเหยที่เติม

Poh และ Chong (2010) ได้ทำการศึกษาศักยภาพในการเกิดก๊าซมีเทนของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบ CSTR ปริมาตรใช้งาน 2 L กวนผสมที่ 100 รอบต่อนาที ที่สภาวะเทอร์โมฟิลิก ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 55 °C ที่ระยะเวลากักเก็บ 6 วัน ทำการศึกษาความเข้มข้นของ MLSS ที่ระดับต่างๆพบว่าที่ความเข้มข้นของ MLSS 14,000 mg/l มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีถึง 90% โดยองค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่ได้ 64%

Chotwattanasak และ Puetpaiboon (2011) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานบ่อหมักไร้อากาศระดับโรงงาน สำหรับการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บริษัทเอเชียน้ำมันปาล์ม จำกัด จังหวัดกระบี่ ประเทศไทย โดยทำการทดลองระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) ที่14, 10, 7 และ 6.5 วัน อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่ 2.43, 5.09, 6.50 และ 8.70 kgCOD/ m^3/day ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีและซีโอดี 93%และ 65%ตามลำดับ :ซึ่งการดำเนินการของระบบหมักเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ต้องรักษาสภาวะภายในระบบให้เหมาะสมและมีความมั่นคงทางชีวภาพ โดยรักษาค่า pH ในบ่อหมักไม่ควรจะน้อยกว่า 7.0 และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 35-45 องศาเซลเซียส พบว่าที่ HRT เท่ากับ 7 วัน อัตราภาระบรรทุก OLR เท่ากับ 6.50 kgCOD/ m^3/dayพบว่าสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 0.35 m^3CH_4 / kgCODโดยเปอร์เซ็นมีเทนเท่ากับ 67 ซึ่งก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากการย่อยสลายแบบไร้อากาศเป็นแหล่งพลังงานที่ราคาถูก สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ก๊าซในการผลิตไฟฟ้า และทางโรงงานสามารถผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไฟฟ้าและขายให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแห่งประเทศไทยรวม 7.5 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง

1.2.6งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วม

Fezzaniและ BenCheikh (2008) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียร่วมกับวัสดุเศษเหลือ ซึ่งใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนจากกระบวนการสกัดน้ำมันกอก โดยทดลองในห้องปฏิบัติการทำการหมักแบบกะ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสมีการป้อนน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกเป็นสารตั้งต้นหลักและของเสียที่เป็นของแข็งจากโรงงาน เป็น ตัวหมักร่วม (co-substrate) ที่ปริมาณแตกต่างกันคือ 28, 56, 112 และ 150 กรัมของแข็งทั้งหมด/ลิตรน้ำเสีย ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า อัตราที่เหมาะสมของของเสียที่เป็นของแข็งที่ถูกใช้เป็น co-substrate คือ 56 กรัมของแข็งทั้งหมด/ลิตรน้ำเสีย สามารถเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพจาก 11.7±2.5 ลิตร/ลิตรน้ำเสีย เป็น 30.5±2.5 ลิตร/ลิตรน้ำเสีย และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากร้อยละ 44.5±3 เป็น 83.4±2 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการลดเวลาเริ่มต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพในสภาวะคงที่จาก 65±25 วัน เป็น 28±15 วัน

สิริมา เถกิงวงศ์ตระกูล และ สุชาดา สุวรรณสะอาด (2009) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียร่วมกับการใช้วัสดุเศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยศึกษาชนิดของวัสดุเศษเหลือ คือ ทะลายปาล์มเปล่า เส้นใยปาล์ม กากตะกอนดีแคนเตอร์ ที่เติมลงในถังหมักร้อยละ 0.5 ร่วมกับน้ำเสียที่เจือจาง 20 เท่า ใช้หัวเชื้อเริ่มต้นจากโรงงานอาหารทะเล ใช้ถังหมักขนาด 1 ลิตร หมักที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าการใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ร่วมกับน้ำเสียมีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมได้สูงกว่าการใช้ ทะลายเปล่า และเส้นใยปาล์ม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,015, 684 และ 807 มิลลิลิตร ตามลำดับและพบว่ามีค่าผลผลิตมีเทนที่ได้สูงสุด คือ 0.33 มิลลิลิตรมีเทน/มิลลิกรัมของแข็งที่ถูกกำจัด และได้ศึกษาผลการหมักน้ำเสีย ที่

ระดับความเจือจางต่างๆ คือ ร้อยละ 10 20 และไม่เจือจาง ร่วมกับการใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ร้อยละ 0.5 ในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 8 วัน ผลการทดลองพบว่า การใช้น้ำเสียไม่เจือจางร่วมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ร้อยละ 0.5 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมได้สูงกว่าน้ำเสียที่เจือจางร้อยละ 10 และ 20 มีค่าเท่ากับ 15,752, 4,794 และ3,759 ตามลำดับ และมีสัดส่วนก๊าซมีเทนที่สภาวะคงที่ของน้ำเสียที่ไม่เจือจาง น้ำเสียร้อยละ 10 และ 20 มีค่าเท่ากับร้อยละ 67.71, 4.43 และไม่พบการสร้างก๊าซมีเทน ตามลำดับ และมีค่าผลผลิตมีเทนที่ได้ของการใช้น้ำเสียเจือจางร่วมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ร้อยละ 0.5 เท่ากับ 3.89 มิลลิลิตรมีเทน/มิลลิกรัมของแข็งที่ถูกกำจัด และมีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดซีโอดีสูงสุด เท่ากับ ร้อยละ 73.43

O – Thong และคณะ(2012) ทำการหมักทะลายปาล์มเปล่า (EFB) ร่วมกับน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์ม (POME) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่าประสิทธิผลมีเทนสูงสุดที่ได้จากการหมักน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์มคือ เท่ากับ 502 mL CH_4 /g VS added ซึ่งมีค่าเท่ากับ 33.2 m^3 CH_4 /ton POME และมีค่าการย่อยสลายทางชีวภาพร้อยละ 98 ในขณะที่ค่าประสิทธิผลมีเทนสูงสุดของการหมักทะลายปาล์มเปล่ามีค่าเท่ากับ 202 mL CH_4 /g VS added ซึ่งมีค่าเท่ากับ 79.1 m^3 CH_4 /ton EFB โดยมีค่าการย่อยสลายทางชีวภาพร้อยละ 38 ซึ่งการหมักทะลายปาล์มเปล่าร่วมกับน้ำเสียจากน้ำมันปาล์ม ช่วยเพิ่มการย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์และส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้นร้อยละ 25-32 สำหรับอัตราส่วนผสมเท่ากับ 0.4:1, 0.8:1 และ 2.3:1 (เทียบเป็นค่าของแข็งระเหยง่าย) เมื่อเทียบการหมักทะลายปาล์มเปล่าเพียงอย่างเดียว โดยประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้นสูงสุดในการหมักทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วย NaOHและต้มด้วยน้ำร้อนร่วมกับน้ำเสียน้ำเสียจากน้ำมันปาล์ม ซึ่งส่งผลให้มีค่าประสิทธิผลมีเทนสูงขึ้นร้อยละ 98 เมื่อเทียบกับการหมักร่วมโดยทะลายปาล์มเปล่าที่ไม่ผ่านการแช่ด่างและต้มร้อนกับน้ำเสียจากน้ำมันปาล์ม มีค่าเท่ากับ 82.7 m^3 CH_4 /ton ที่อัตราส่วนทะลายปาล์มต่อน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์ม เท่ากับ 6.8:1

Brown D. และ Li Y.(2013) นำเศษอาหารและขยะจากการตัดสนามหญ้าและสวนที่มีตลอดทั้งปีมีซึ่งมีต้นทุนต่ำที่จะนำมาใช้ในการกระบวนการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ อีกทั้งยังมีศักยภาพต่อการเป็นสารอาหารสำหรับกระบวนย่อยแบบไร้อากาศ เป้าหมายของการศึกษาครั้งนี้คือการศึกษาอัตราส่วนอาหารที่เติมเข้าสู่ระบบต่ออาหารที่ออกจากระบบ (F / E) ที่ 1, 2, และ 3 F/E ratio และอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบในการหมักระหว่าง เศษอาหาร ต่อ ขยะจากการตัดสนามหญ้าและสวน ที่ 0%, 10%, และ 20% ต่อน้ำหนักแห้งของของระเหยของเศษอาหาร จากการศึกษาทั้ง 2 การทดลองจะเลือกอัตราส่วนที่มีการผลิตก๊าซชีวภาพดีที่สุดซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนอาหารที่เติมเข้าสู่ระบบต่ออาหารที่ออกจากระบบ (F / E) ที่ให้ปริมาณมีเทนมากที่สุด ที่ 2 และ 1 ตามลำดับและเปอร์เซ็นต์ของเศษอาหารที่ดีที่สุด คือ 10% และ 20%

ตามลำดับ การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการหมักร่วมระหว่างเศษอาหารกับขยะจากตัดสนามหญ้าและสวนในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถปรับปรุงการทำงานของบ่อหมักและเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการย่อยของแข็งแบบไร้อากาศที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการหมักขยะจากตัดสนามหญ้าและสวนเพียงอย่างเดียว

O-Thongและคณะ (2013) จากการบำบัดเบื้องต้นของทะลายเปล่าปาล์ม (EFB) เพื่อปรับปรุงกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพและผลิตก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้นจากการหมักร่วมกับน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม (POME) พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดที่ผลิตได้จากน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มคือ502 mL CH_4/g VS-$_{added}$หรือ 33.2 m^3 CH_4 / ton POME และมีประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพได้ถึง98% ในขณะปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดที่ผลิตได้จาก EFB คือ202 มิลลิลิตร mL CH_4/g VS-$_{added}$หรือ 79.1 m^3 CH_4 / ton EFB มีประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพ 38% ผลจากการหมักร่วมระหว่างEFB กับ POME สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยจุลินทรีย์และส่งผลให้ปริมาณมีเทนเพิ่มขึ้นเป็น25-32% โดยอัตราส่วนการหมักร่วมระหว่าง EFB กับ POME ที่ทำการศึกษา คือ0.4: 1, 0.8: 1 และ 2.3: 1 พิจารณาจากปริมาณVS โดยชุดควบคุมที่มีการหมักEFB เพียงอย่างเดียว ผลจากการศึกษาพบว่า อัตราส่วน 0.4:1–2.3:1 สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้276-340 mL CH_4/g VS-$_{added}$สำหรับอัตราส่วนที่มากที่สุดของการหมักร่วมระหว่างEFB กับ POME ที่6.8: 1 และ 11: 1 มีปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ คือ 175-197 mL CH_4/g VS-$_{added}$การปรับปรุงการหมักร่วมด้วยการบำบัดเบื้องต้นของทะลายเปล่าปาล์มด้วยวิธีการ แช่ทะลายเปล่าปาล์มด้วยสาร NaOHในทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มที่มีความร้อน จากการทดลองดังกล่าวสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตมีเทนได้ถึง98% เมื่อเทียบกับการหมักร่วมที่ไม่มีการบำบัดเบื้องต้นของEFB ซึ่งปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดที่ผลิตได้จากการหมักร่วมระหว่างEFB บัดบัด กับ POME คือ 82.7 m^3 CH_4/ton of mixed treated EFB and POME ที่อัตราส่วน 6.8:1 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซมีเทน 392 mL CH_4/g VS-$_{added}$ซึ่งการผลิตไฟฟ้าจากส่วนผสม 1 ตันการหมักร่วมระหว่างEFB บัดบัด กับ POMEจะได้กระแสไฟฟ้า 1190 MJ หรือ 330 กิโลวัตต์ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าการบำบัดเบื้องต้นของ EFB หมักร่วมกับน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสามารถเพิ่มศักยภาพต่อการผลิตพลังงานชีวภาพ

Kougias และคณะ (2014) จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการสกัดน้ำมันมะกอก(OMW)ร่วมกับ ปุ๋ยคอกจากมูลสุกร (SM) ด้วยระบบหมักแบบกะ(Batch) และแบบต่อเนื่อง (Continuous) เพื่อหาอัตราส่วนการผสมระหว่าง OMW และ SM ที่เหมาะสม ภายใต้สภาวะอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน ผลจากการทดลองกระบวนการหมักแบบกะ พบว่า อัตราส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพต่อการผลิตมีเทน คือ 40% ของ น้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการสกัดน้ำมันolive และ 60% ของ ปุ๋ยคอกจากมูลสุกรมี

ปริมาณมีเทนที่ผลิตได้ 277 mlCH_4/g COD มีองค์ประกอบมีเทน 79% จากอัตราส่วนดังกล่าวมาทำการหมักแบบต่อเนื่อง พบว่า เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ OLR ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตมีเทน ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของ น้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการสกัดน้ำมันมะกอก จะสูงขึ้น ซึ่งมีผลต่อการยับยั้งกระบวนการผลิตมีเทน โดยพบว่าที่ OLR เท่ากับ 4.4 g volatile solid/ (L-feed.day) มีปริมาณมีเทนที่ผลิตได้ 373 ml CH_4/g VS และมีองค์ประกอบมีเทน 78% จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยคอกจากมูลสุกร (SM) เป็นตัวหมักร่วมที่ดี ต่อการหมักร่วมกับ น้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการสกัดน้ำมันมะกอก (OMW) อีกทั้งยังสามารถบำบัดสารอินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่ในน้ำเสียควบคู่ไปด้วย

1.2.6 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน จะใช้เงินลงทุนเป็นจำนวนมาก ดังนั้นหากมีการเพิ่มเติมขั้นตอนที่เกี่ยวข้องเข้าไปยังระบบผลิตก๊าซ จึงจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาความคุ้มค่าของการลงทุน เพื่อเป็นตัวช่วยต่อการตัดสินใจดำเนินโครงการต่างๆ

การวิเคราะห์โครงการเป็นวิธีการที่จะแสดงให้ทราบว่าการใช้ทรัพยากร อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดภายใต้จุดมุ่งหมายหรือความต้องการ ในรูปแบบที่สะดวกต่อการวิเคราะห์โครงการจะมีการประเมินถึงผลตอบแทน (Benefic) และค่าใช้จ่าย (Cost) ต่างๆของแต่ละโครงการ ถ้าผลตอบแทนมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่าย แสดงว่าโครงการนั้นเป็นโครงการที่มีผลตอบแทนคุ้มค่า การวิเคราะห์โครงการจึงมีส่วนช่วยต่อการตัดสินใจที่จะใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2.6.1 เครื่องมือหรือเกณฑ์ในการประเมินความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ การประเมินหาความคุ้มค่าของโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน (Cost-Benefit analysis) เครื่องมือที่ใช้มีดังนี้

1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) คือ ผลรวมของผลตอบแทนสิทธิที่ได้ปรับค่าเวลาแล้วของโครงการ หรือ ผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนลบด้วยผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน ที่เกิดขึ้นตลอดอายุของโครงการ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิอาจมีค่าเป็นบวกลบ หรือศูนย์ก็ได้ขึ้นอยู่กับขนาดมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม (Present Value Benefit : PVB) หักออกด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (Present Value Cost : PVC) เกณฑ์การตัดสินใจที่จะลงทุนในโครงการ คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่ามากกว่าศูนย์ หมายความว่ามูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนซึ่งแสดงถึง การลงทุนคุ้มค่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2)

NPV = PVB – PVC (1)

$$NPV = \sum_{t=1}^{n}((Bt - Ct)/(1 + r)t) \quad (2)$$

เมื่อ Bt = ผลประโยชน์หรือผลตอบแทนของโครงการในปีที่ t

Ct = ต้นทุนของโครงการในปีที่ t

R = อัตราคิดลดที่เหมาะสม (Discount Rate)

t = ปีของโครงการ คือ ปีที่ 1,2,3,…n

n = จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ

2) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) คือ อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการลงทุน หรือหมายถึงอัตราดอกเบี้ยใดก็ตามที่ใช้เป็นอัตราคิดลดซึ่งมีผลทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นศูนย์ เกณฑ์การตัดสินใจที่จะลงทุนในโครงการ คือ อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลด อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการสามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ (5)

$$IRR = \sum_{t=1}^{n}[(Bt - Ct)/(1 + r)t] = 0 \quad (5)$$

เมื่อ Bt = ผลประโยชน์หรือผลตอบแทนของโครงการในปีที่ t

Ct = ต้นทุนของโครงการในปีที่ t

R = อัตราคิดลดที่เหมาะสม (Discount Rate)

t = ปีของโครงการ คือปีที่ 1,2,3,…n

n = จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ

สำหรับเกณฑ์การตัดสินใจว่าโครงการดีหรือไม่ดีนั้นทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้การตัดสินใจมีอยู่ 2 แบบ คือ เกณฑ์การตัดสินใจแบบไม่ต้องปรับปรับค่าเวลา และเกณฑ์การตัดสินใจแบบปรับค่าเวลา ค่าของเงินตามช่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ย ซึ่งการคิดมูลค่าเงินตามช่วงเวลา มีสูตรดังตารางประกอบที่ 1-5

ตารางประกอบที่ 1-5 สูตรคำนวณมูลค่าเงินตามช่วงเวลา

หาค่า	ทราบค่า	สมการ
P	F	$P = F / (1+i)^n$
P	A	$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right]$
F	P	$F = P (1+i)^n$
F	A	$F = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i}\right]$
A	P	$A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}\right]$
A	F	$A = A \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1}\right]$

ที่มา: ไพบูลย์ แย้มเพื่อน (2546)

เมื่อ n = ระยะเวลาหรือช่วงเวลา

I = อัตราดอกเบี้ย

P = จำนวนเงินมีมูลค่าเริ่มต้นหรือปัจจุบัน

F = จำนวนเงินมีมูลค่าสุดท้ายหรืออนาคต

A = จำนวนเงินที่รับหรือจ่ายเท่าๆ กันทุกช่วงเวลา

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียรวมของโรงงานกับน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ด้วยกระบวนการหมักแบบกะ (Batch)

1.3.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียรวมของโรงงานกับน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันด้วยกระบวนการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) โดยใช้ถังปฏิกรณ์ CSTR (Completely stirred tank reactor)

1.3.3 เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการประยุกต์ใช้งาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบอัตราส่วนผสมการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียรวมของโรงงานกับน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

1.4.2 ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียรวมของโรงงานกับน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) โดยใช้ถังปฏิกรณ์ CSTR (Completely stirred tank reactor)

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำเสียทั่วไปจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

1.5.2 หมักน้ำเสียทั่วไปจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันร่วมกันที่อัตราส่วนต่าง ๆที่ 0, 2.5, 5 และ 10% v/v โดยใช้อัตราส่วนของกากตะกอนจุลินทรีย์ที่ 35, 50 และ 75% v/v ทำการป้อนวัสดุหมักแบบกะ (Batch) อุณหภูมิ 35±1° C

1.5.3 หมักน้ำเสียทั่วไปจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม น้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และกากตะกอนจุลินทรีย์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากหัวข้อ 1.5.2 ที่ระยะเวลากักเก็บ 30, 25, 20, 14 และ 7 วัน ด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) โดยใช้ถังปฏิกรณ์ CSTR (Completely stirred tank reactor) เดินระบบอุณหภูมิคงที่ 35±1°C

1.5.4 วิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนที่เหลือจากการหมักเพื่อศึกษาความเป็นไปได้นำมาปรับปรุงและประยุกต์ใช้เป็นปุ๋ยให้แก่พืชหรือวัสดุบำรุงดิน โดยทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์หมักของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

1.5.5 ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการดำเนินโครงการ โดยอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจ 2เกณฑ์ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองทางห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูลที่คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ และบริษัทพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด ซึ่งมีรายละเอียดการวิจัยดังนี้

2.1 วัสดุ/อุปกรณ์

2.1.1 น้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก โดยทำการเก็บตัวอย่างจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด ด้วยวิธีแบบจ้วง (Grab sampling) และเก็บรักษาโดยวิธีแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C

2.1.2 น้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบร่วม โดยทำการเก็บตัวอย่างจากบ่อน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการหีบทะลายเปล่าปาล์มโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด ด้วยวิธีแบบจ้วง (Grab sampling) และเก็บรักษาโดยวิธีแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C

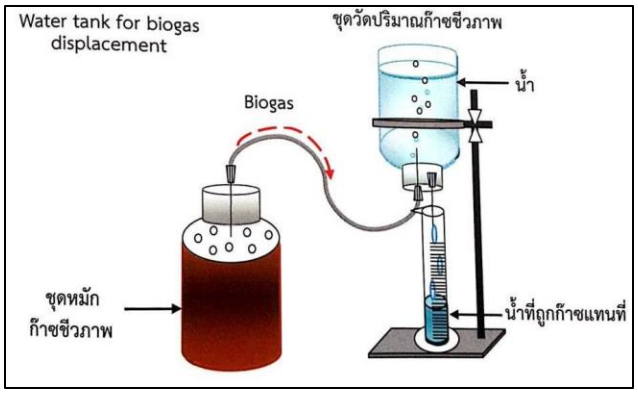
2.1.3 ตะกอนจุลินทรีย์ใช้เป็นหัวเชื้อในกระบวนการหมัก ทำการเก็บตัวอย่างจากบ่อน้ำเสียภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด และเก็บรักษาโดยวิธีแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C

2.1.4 ถังปฏิกรณ์ในการเดินระบบระดับห้องปฏิบัติการ

2.1.4.1 ถังปฏิกรณ์แบบกะ

ในระบบหมักไม่ใช้อากาศทำมาจากขวดแก้ว ขนาด 1 ลิตร ปริมาตรการหมัก (Working volume) 0.5 ลิตร ปิดปากขวดด้วยจุกยาง (Septum) พันทับด้วยพาราฟิน ทำการหมักภายใต้อุณหภูมิ 35 °C กวนผสมโดยการเขย่าขวดวันละ 1 ครั้ง ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในขวดจะถูกส่งผ่านสายยางซิลิโคนไปยังขวดแก้วบรรจุน้ำเพื่อแทนที่น้ำ (Fluid displacement method) ดังภาพประกอบที่ 2-1น้ำที่ถูกแทนที่จะไหลลงสู่ภาชนะรองรับน้ำ โดยปริมาตรน้ำที่ได้จะแสดงถึงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน เก็บก๊าซเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซต่อไปด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC) ทุกๆ 7 วัน โดยนำเปอร์เซ็นมีเทนที่วัดได้ในแต่ละช่วงไปคูณกับก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเพื่อคำนวณหาปริมาณ

ก๊าซมีเทนในแต่ละวัน ซึ่งชนิดของวัสดุหมัก และปริมาณแต่ละวัสดุหมักที่ใช้ในการทดลองแสดงตารางประกอบที่ 2-1



ภาพประกอบที่ 2-1 แบบจำลองระบบหมักไม่ใช้อากาศแบบกะ (Batch) ในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 2-1 ชนิดวัสดุหมัก และปริมาณน้ำเสียทั่วไปโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (POME) หัวเชื้อ (seed) และน้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มที่ใช้ในการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบแบบกะ (Batch) ปริมาตรรวม 500 มิลลิลิตร

ชุดที่	ชนิดของวัตถุดิบในการหมัก	ปริมาตร POME(ml.)	ปริมาตรตะกอนจุลินทรีย์(ml.)	ปริมาณน้ำหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (ml.)	C:N
1	65%POME+35%seed	325	175	-	140:1
2	62.5%POME+35%seed +2.5%น้ำบีบ	316.8	175	8.2	142:1
3	60%POME+35%seed +5%น้ำบีบ	308.75	175	16.25	135:1
4	55%POME+35%seed +10%น้ำบีบ	292.5	175	32.5	208:1
5	50%POME+50%seed	250	250	-	63:1
6	47.5%POME+50%seed +2.5%น้ำบีบ	243.75	250	6.25	116:1
7	45%POME+50%seed +5%น้ำบีบ	237.5	250	12.5	126:1

ตารางที่ 2-1 ชนิดวัสดุหมัก และปริมาณน้ำเสียทั่วไปโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (POME) หัวเชื้อ (seed) และน้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มที่ใช้ในการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบแบบกะ (Batch) ปริมาตรรวม 500 มิลลิลิตร (ต่อ)

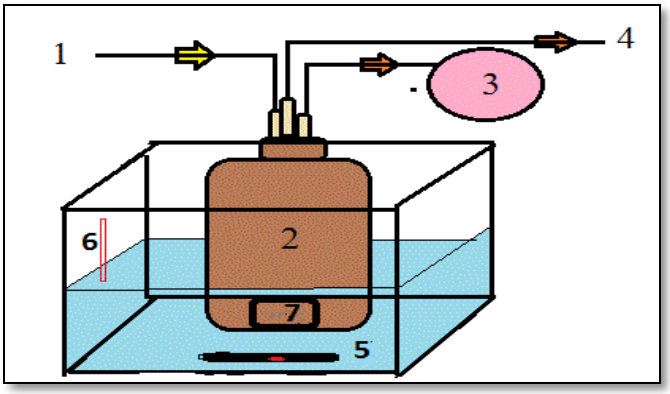
ชุดที่	ชนิดของวัตถุดิบในการหมัก	ปริมาตร POME(ml.)	ปริมาตรตะกอนจุลินทรีย์(ml.)	ปริมาณน้ำหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (ml.)	C:N
8	40%POME+50%seed +10%น้ำบีบ	225	250	25	147:1
9	25%POME+75%seed	125	375	-	74:1
10	22.5%POME+75%seed +2.5%น้ำบีบ	121.88	375	3.12	93:1
11	20%POME+75%seed +5%น้ำบีบ	118.75	375	6.25	117:1
12	15%POME+75%seed +10%น้ำบีบ	112.5	375	12.5	78:1

2.1.4.2 ถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ โดยประกอบชุดถังปฏิกรณ์ (ภาพประกอบ 2-2) เข้าระบบและเริ่มการทดลองในระบบ CSTR (completely stirred tank reactor) แบบ semi-continuous โดยควบคุมสภาวะการทดลองที่เหมาะสมสำหรับการหมักแบบไม่ใช้อากาศเดินระบบอุณหภูมิคงที่ 35±1°C โดยใช้ Heater เป็นตัวทำอุณหภูมิและอ่างน้ำเพื่อรักษาระดับของอุณหภูมิให้คงที่

การออกแบบระบบถังปฏิกรณ์ได้ศึกษาจากงานวิจัย จะเลือกเกณฑ์ที่นิยมใช้ออกแบบจากการคำนวณอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate; OLR) ที่เหมาะสมในการหมัก โดยค่าจะอยู่ในช่วง 0.64-1.12 kgVS/m^3/วัน (Loehr, 1974)

ชุดการทดลองศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการแบบกึ่งต่อเนื่อง ประกอบด้วยถังหมักแก้วสีชารูปทรงกระบอกขนาด 4 ลิตร ปริมาตรใช้จริง 3 ลิตร และระบบกักเก็บก๊าซชีวภาพ 1 ลิตร ซึ่งจะเชื่อมต่อด้วยสายบอลลูนเพื่อกักเก็บก๊าซ กวนผสมโดยใช้เครื่องปั้มน้ำขนาดเล็ก เพื่อให้มีการวนของน้ำภายในถัง โดยมีหลักการติดตั้งและการดำเนินการของแต่ละส่วนดังนี้



ภาพประกอบที่ 2-2 ไดอะแกรมแสดงการเดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) (1)สายน้ำเข้าระบบ(2) ถังปฏิกรณ์ขนาด 4 ลิตร (3) บอลลูน (gas collection balloon) (4) สายน้ำออกระบบ (5) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (heater 35±1°C) (6) เครื่องวัดอุณหภูมิ (thermometer) (7) ปั๊มน้ำ

1. ถังหมักร่วม (Digester) ถังหมักประกอบด้วยท่อสำหรับป้อนอาหารวัตถุดิบ ท่อสำหรับเก็บตัวอย่างหรือท่อออกจากระบบ และท่อสำหรับลำเลียงก๊าซที่ผลิตไปยังชุดกักเก็บก๊าซ

2. ชุดกักเก็บก๊าซ (Gas collector) เป็นชุดที่จะต่อจากท่อนำก๊าซมีลักษณะเป็นบอลลูน ซึ่งการเก็บและวัดปริมาณก๊าซชีวภาพทำได้โดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำโดยอาศัย gas counter ซึ่งระหว่างท่อนำก๊าซและ gas counter จะมีหลอดตัวยูพร้อมจุกยางสามารถใช้เป็นกระบอกเก็บก๊าซเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นใส่ในหลอดสุญญากาศเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซต่อไปด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC)

2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

2.2.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบึบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

วิเคราะห์สมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำเสียของน้ำเสียทั้งชนิด 2 ชนิด ได้แก่ พีเอช(pH) ค่าซีโอดี (COD) ค่าบีโอดี (BOD_5) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) กรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งแขวนลอย (SS) และปริมาณไนโตรเจน (TKN) ด้วยวิธีการศึกษาตาม Standard methods for the examination of water and wastewater 22th edition (APHA, AWWA and WEF, 2012)

กากตะกอนจุลินทรีย์วิเคราะห์สมบัติทางเคมี-กายภาพเบื้องต้น ได้แก่ พีเอช(pH) และ MLSS ด้วยวิธีการศึกษาตาม Standard methods for the examination of water and wastewater 22th edition (APHA, AWWA and WEF, 2012)

2.2.2 การทดลองที่ 2 ทดลองการศึกษาการหมักร่วมน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่อัตราส่วนต่าง ๆด้วยระบบแบบกะ (Batch)

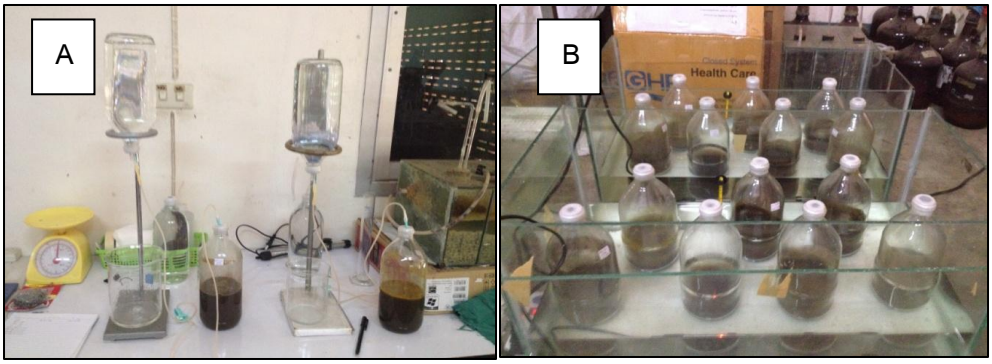
ทำการศึกษาการหมักร่วมโดยใช้น้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบหลัก และน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบร่วม ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการแบบกะ เพื่อหาอัตราส่วนผสมของน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่มีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนสูงสุด (Maximum methane yield) เพื่อนำสภาวะที่เหมาะสมที่จะได้จากการศึกษาขั้นตอนนี้ มาทดลองด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่องต่อไป

การเตรียมน้ำตัวอย่างก่อนนำมาใช้ทดลอง

นำวัสดุหมักทั้ง 3 ชนิดมาตั้งที่อุณหภูมิห้อง หลังจากที่อยู่ภายใต้อุณหภูมิเพื่อเก็บรักษาก่อนทำการทดลอง

แบ่งวัสดุหมักทั้ง 3 ชนิด ใส่ในภาชนะรองรับ จากนั้นทำการตวงปริมาตร วัตถุดิบหลักและวัตถุดิบร่วมในการหมักใช้หลักการคำนวณอัตราหมักร่วมจากหลักการแปลเปลี่ยนอัตรา COD/N ratio (Rattanapanและคณะ, 2012) โดยผสมวัตถุดิบร่วมในอัตราส่วนที่ 2.5, 5, และ 10% v/v ทำการป้อนวัสดุหมักแบบกะ หรือการเติมวัสดุหมักครั้งเดียวในระบบหมักไม่ใช้อากาศและใช้ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ 20% 35% 50% และ 75% ของปริมาตรใช้งานเพื่อหาสัดส่วนของหัวเชื้อที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซ (ตารางประกอบที่ 2-1)โดย Hobson และ Wheatly(1993) ได้แนะนำการเติมตะกอนจุลินทรีย์ควรให้มีปริมาณไม่น้อยกว่า 10% ของปริมาตรใช้งาน

จากนั้นปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7.0-7.2 ระบบหมักไม่ใช้อากาศทำมาจากขวดแก้ว ขนาด 1 ลิตร ปริมาตรหมัก (working volume) 0.5 ลิตร ซึ่งชุดควบคุมจะมีวัตถุดิบหลักผสมกับหัวเชื้อที่อัตราส่วนต่างๆ โดยรูปแบบระบบแบบกะแสดงดังภาพประกอบที่ 2-3



ภาพประกอบที่ 2-3 ขั้นตอนการหมักร่วมน้ำเสีย ที่อัตราส่วนต่าง ๆด้วยระบบแบบกะ (Batch) (A) ชุดขวดหมักจำนวน 2 ชุด ตั้งภายในอ่างน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 35±1°C (B) การวัดปริมาณก๊าซชีวภาพด้วยวิธีการแทนที่น้ำ

กระบวนการหมักแบบกะ

นำขวดหมักที่ได้บรรจุวัสดุหมักแล้ว ใส่ลงในอ่างน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 35±1°C ทำการวัดปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน ด้วยวิธีการแทนที่น้ำ เก็บก๊าซบางส่วนเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซด้วย เครื่อง CG

ตารางประกอบที่ 2-2 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียในการทดลองแบบกะ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ของแข็งทั้งหมด (TS)	Gravimetric method
ของแข็งแขวนลอย (SS)	Gravimetric method
ของแข็งระเหยง่าย (VS)	Gravimetric method
ซีโอดี (COD)	Close reflux, Titrimetric method
อุณหภูมิ	Thermometer
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH meter
Alkalinity	Direct titration method
VFA	Direct titration method
ทีเคเอ็น (TKN)	Macro-Kjeldahl method
แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_4^+-N)	Tritration method

ที่มา: APHA, AWWA and WEF (2012)

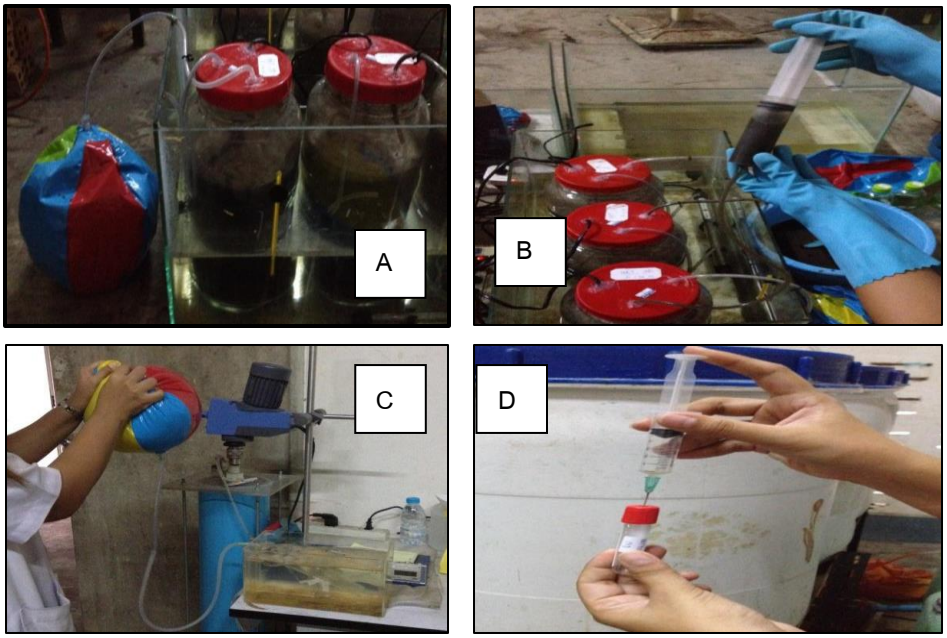
2.2.3 การทดลองที่ 3 การหมักร่วมระหว่างน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบึบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่ระยะเวลากักเก็บต่าง ๆ ด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

จากผลการทดลองที่ 2 เลือกอัตราส่วนและสภาวะที่เหมาะสมจากการเดินระบบแบบกะที่มีประสิทธิภาพในการให้ผลผลิตมีเทนสูงสุด (Maximum methane yield) โดยทำการศึกษาหาระยะเวลาการกักเก็บที่เหมาะสมที่สุดและประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ รวมทั้งอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของระบบ ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ ด้วยระบบ CSTR (Completely stirred tank reactor) แบบ semi-continuous โดยควบคุมสภาวะการทดลองที่เหมาะสมสำหรับการหมักแบบไม่ใช้อากาศเดินระบบอุณหภูมิคงที่ 35±1°C วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC) ทุกๆ 7 วัน โดยนำเปอร์เซ็นมีเทนที่วัดได้ในแต่ละช่วงไปคูณกับก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเพื่อคำนวณหาปริมาณก๊าซมีเทนในแต่ละวัน

ทำการศึกษาที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ ของการศึกษาวัสดุหมักร่วม โดยเลือกอัตราส่วนผสมระหว่างวัตถุดิบหลักและวัตถุดิบร่วมที่มีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุดจากการทดลองที่ 2 ด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่องโดยแต่ละถังปฏิกรณ์ทำการทดลองที่ระยะเวลากักเก็บ 30 25 20 14 และ 7 วัน ตามลำดับ ใช้อัตราการกวนผสมร้อยละ 100 คือ การกวน 24 ชั่วโมง ทำการถ่ายน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์วันละครั้ง ครั้งละ 100 120 150 214 และ 428 ml. ตามลำดับ (ตารางประกอบที่ 2-3) ซึ่งปริมาตรในการถ่ายน้ำทิ้งขึ้นกับระยะเวลาการกักเก็บของเหลวในระบบ โดยการถ่ายน้ำเสียออกจะถูกดูดผ่านกระบอกป้อนอาหารก่อนเติมน้ำเสียใหม่ ระหว่างทำการถ่ายมีการการกวนผสมด้วยปั๊มน้ำตลอดเวลา เพื่อให้น้ำทิ้งมีลักษณะเนื้อเดียวกัน ทำการเก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ตามตารางประกอบที่ 2-4เพื่อติดตามการทำงานของระบบ โดยพิจารณาพารามิเตอร์ที่ผันแปร เช่น pHAlkalinityซีโอดี (COD) VFA MLSS เป็นต้น เมื่อก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นก๊าซจะถูกลำเลียงไปยังบอลลูน ซึ่งสายบอลลูนที่ได้ไปต่อเข้ากับ gas counter ก๊าซที่อยู่ในบอลลูนจะเข้าแทนที่น้ำได้เป็นปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน จากนั้นเก็บตัวอย่างก๊าซภายในหลอดตัวยูเก็บใส่หลอดสุญญากาศ เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซต่อไปเมื่อวัดก๊าซเสร็จปิดสายบอลลูนหลังจากทำการถ่ายน้ำทิ้งเสร็จแล้ว ปิดสายน้ำเสียออกและเปิดสายน้ำเสียเข้าระบบ เพื่อเติมวัสดุหมักเข้าสู่ระบบเท่ากับปริมาตรน้ำทิ้งที่ถูกถ่ายออกมา ปิดสายน้ำเข้า เปิดสายบอลลูน เพื่อรวบรวมก๊าซชีวภาพต่อไป เดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงที่ โดยพิจารณาจากปริมาณก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วง ±15% (ภาพประกอบที่2-4)

ตารางประกอบที่ 2-3 ชนิดของวัสดุหมัก ระยะเวลากักเก็บ และปริมาตรของเสียที่เติม-ออกในแต่ละวันในการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous)

ชุดทดลอง	ชนิดของวัตถุดิบในการหมัก	ปริมาตรของของเหลวในการหมัก	ระยะเวลาในการกักเก็บ (HRT) วัน	ปริมาตรน้ำเสียที่เติม-ออกในแต่ละวัน
1	POME+50%seed+5% น้ำบีบ	3000	7	428
2	POME+50%seed+5% น้ำบีบ	3000	14	214
3	POME+50%seed+5% น้ำบีบ	3000	20	150
4	POME+50%seed+5% น้ำบีบ	3000	25	120
5	POME+50%seed+5% น้ำบีบ	3000	30	100



ภาพประกอบที่ 2-4 การทดลองระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ แบบ CSTR (Completely stirred tankreactor) (A) ถังปฏิกรณ์ขนาด 4 ลิตร ภายในอ่างน้ำ (B) วิธีการป้อนและเก็บตัวอย่างน้ำเสีย (C)วิธีวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นโดยอาศัย Gas counters (D) การเก็บก๊าซใส่หลอดสุญญากาศ

2.2.4 การทดลองที่ 4 การวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนที่เหลือจากการหมัก

การทดลองนี้ใช้กากตะกอนที่เหลือจากการหมักที่ระยะเวลากักเก็บที่เหมาะสมในการหมักในการทดลองที่ 3 มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารพืช เพื่อนำมาปรับปรุงและประยุกต์ใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน โดยทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์หมักของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2527)

2.3 การวัดปริมาณก๊าซชีวภาพและวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะถูกวัดปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ และทำการเก็บตัวอย่างนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในก๊าซชีวภาพ โดยทำการวิเคราะห์ทุกๆ 12 วัน ด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC) พร้อมตัววัดสัญญาณ Thermal conductivity detector (TCD) คอลัมน์ที่ใช้คือ HP-plot/Q ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ยาว 2 เมตร มีก๊าซฮีเลียมเป็น carrier gas และอุณหภูมิในตัวฉีด (Injector) ตัวตรวจวัด Detector และตู้อบให้ความร้อน เท่ากับ 250 °C

2.4 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนจากระบบการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้ง จากระบบการหมักแบบไม่ใช้อากาศจะใช้วิธีการศึกษาตาม Standard methods for the examination of water and wastewater 22th edition (APHA, AWWA และ WEF, 2012) สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยและ World Environmental Center (2535) โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งระเหยง่าย (VS) กรดไขมันระเหย (VFA) พีเอช(pH) สภาพด่าง (Alkalinity) และซีโอดี (COD) (ตารางประกอบที่ 2-4)

สำหรับกากตะกอนสำหรับที่เหลือทิ้งจากการหมักจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ปริมาณโพแทสเซียม (TK) อัตราส่วน C/N (C/N ratio) ความชื้น (Moisture) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) แสดงดังตารางประกอบที่ 2-5

ตารางประกอบที่ 2-4 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด วิธีการวิเคราะห์ ความถี่ ตัวอย่างคุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบการหมักไม่ใช้อากาศ

Parameters	Method	Frequency of monitoring
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	Gravimetric method	3 วัน/ครั้ง
ซีโอดี (COD)	Close reflux, Titrimetric method	3 วัน/ครั้ง
อุณหภูมิ	Thermometer	ทุกวัน
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH meter	ทุกวัน
Alkalinity	Direct titration method	6 วัน/ครั้ง
VFA	Direct titration method	6 วัน/ครั้ง
ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น	fluid displacement method	ทุกวัน
องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	GC-TCD	7 วัน/ครั้ง

ที่มา: APHA, AWWA and WEF (2012)

ตารางประกอบที่ 2-5 วิธีการวิเคราะห์กากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

Parameters	Method
Moisture	Gravimetric method
Total Nitrogen	Photometric method
Total Carbon	Photometric method
Total Phosphorus	Photometric method
Total Potassium	ICP-OES
Organic Carbon	Walkley&Black Method

ที่มา: APHA, AWWA and WEF (2012)

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง

เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหมักน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน แบบไม่ใช้อากาศ ในรูปของร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์

ผลจากการทดลองที่ได้จากการวิจัยสามารถนำมาเป็นข้อมูลที่ช่วยประกอบการตัดสินใจสำหรับผู้ประกอบการที่มีความสนใจการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยการใช้วิธีระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โดยการวิเคราะห์แนวทางการหาต้นทุนผลตอบแทน และความคุ้มค่าของการนำน้ำบึบทะลายเปล่าปาล์มมาใช้ในการหมักร่วมกับเสียทั่วไปของโรงงาน เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นแหล่งพลังงานหรือเชื้อเพลิง ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยอาศัยเครื่องมือทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นตัวประกอบเพื่อประเมินความคุ้มค่าหรือความเป็นไปได้ ในงานวิจัยนี้อ้างอิงข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งวิชาการที่น่าเชื่อถือและสอบถามข้อมูลทางโรงงานที่ให้การสนับสนุน

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของการนำก๊าซชีวภาพมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยมีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดข้อสมมุติในการวิเคราะห์โครงการ ดังนี้

- ระยะเวลาการดำเนินกิจการของโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ 25 ปี โดยคิดตามอายุสัญญาการขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แบบ Firm
- ระยะเวลาผลตอบแทนเริ่มต้นตั้งแต่ปีที่ 1 ถึงสิ้นสุดโครงการ
- เมื่อสิ้นสุดการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ ไม่มีการคิดค่ามูลซาก
- อัตราคิดลดที่ใช้ 10%

2) วิเคราะห์ต้นทุนของโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ โดยสามารถจำแนกต้นทุนได้ ดังนี้

2.1) ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Cost) หรือต้นทุนคงที่ เป็นค่าใช้จ่ายสำหรับการลงทุนครั้งแรก ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการก่อสร้างโรงไฟฟ้าและค่าอุปกรณ์เครื่องจักรต่างๆ ได้แก่

- ค่าลงทุนระบบก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ระบบถังหมักก๊าซชีวภาพ ถังเก็บก๊าซชีวภาพ ระบบท่อ อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ในการตรวจวัดและควบคุม
- ค่าระบบผลิตไฟฟ้า ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวภาพ อุปกรณ์ชุดควบคุมการทำงาน ระบบท่อก๊าซและระบบสายไฟฟ้า

2.2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating Cost) หรือต้นทุนแปรผันเป็นค่าใช้จ่ายในการบริหารงานทั่วไปและค่าใช้จ่ายในการผลิต ได้แก่ ค่าใช้จ่ายแรงงาน ค่าดำเนินงานและซ่อมบำรุงโดยคิดเหมาเป็นรายปี

3) วิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการ กิจการจะมีรายได้จากการขายไฟฟ้าที่ผลิตได้ขายกลับคืนรัฐโดยผ่านการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแห่งประเทศไทย ตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) และผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) ของรัฐบาล รวมทั้ง

มูลค่าซากของอาคารและที่ดินเมื่อสิ้นสุดโครงการ โดยกำหนดให้ทรัพย์สินประเภทเครื่องจักรและอุปกรณ์สิ่งของต่างๆ เมื่อหมดอายุการใช้งานให้มีซากเท่ากับศูนย์

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการวิจัย

3.1 การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

ในการทดลองส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมี-กายภาพเบื้องต้นของน้ำเสียที่ใช้ในการผลิตก๊าซมีเทน เพื่อใช้ในการออกแบบการทดลองกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้อากาศในการผลิตก๊าซมีเทนของขั้นตอนต่อไป

3.1.1 สมบัติทางกายภาพน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนผลิตสกัดน้ำมันปาล์ม น้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันและกากตะกอนจุลินทรีย์

จากการทดลองพบว่าลักษณะทางกายภาพ (ภาพประกอบที่ 3-1) ของน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์ม (Palm Oil Mill Effluent) ซึ่งได้เก็บจากบ่อแรกของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของบริษัทพิทักษ์ปาล์มออย จำกัด ลักษณะสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นเหม็น มีตะกอนแขวนลอยสีน้ำตาลเข้ม ส่วนน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่ได้เก็บจะบ่อรวบรวมน้ำเสียในขั้นตอนการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน พบว่าสีน้ำมีลักษณะสีเหลืองปนน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นเหมือนน้ำมัน มีตะกอนแขวนลอยสีน้ำตาลและมีไขมันลอยบนผิวหน้า

จากลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียทั้งสองชนิด มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน สืบเนื่องจากแหล่งที่มาของน้ำเสียแตกต่างกันจากกระบวนการผลิต โดยในส่วนน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มน้ำมัน

ภาพประกอบที่ 3-1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสีย (A) น้ำเสียทั่วไปจากกระบวนผลิตสกัดน้ำมันปาล์ม (B) น้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (C) กากตะกอนจุลินทรีย์

จากลักษณะดังกล่าวของน้ำเสียทั้งสองชนิด มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน สืบเนื่องจากแหล่งที่มาของน้ำเสียแตกต่างกันของกระบวนการผลิต นอกจากนั้นน้ำเสียทั้งสองชนิดมีค่าความสกปรกที่สูง ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำได้หากปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก โดยเฉพาะน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เป็นของเสียที่เกิดเพิ่มเติมจากขั้นตอนการผลิตหลักทางโรงงาน จากกระบวนการบีบทะลายเปล่าปาล์มที่อาศัยความร้อนเข้าไปมีส่วนช่วยของกระบวนการทำให้สารอินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่ในทะลายเปล่าปาล์มออกมาปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียเป็นปริมาณมาก ซึ่งทางโรงงานสามารถบำบัดน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการสกัดได้โดยตรงด้วยระบบบำบัดแบบไร้อากาศแบบ ASBR และ แบบ UASB ซึ่งสามารถผลิตเป็นก๊าซชีวภาพในรูปของมีเทน นำมาเป็นพลังงานทดแทนสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าได้ แต่ในส่วนของน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ทางโรงงงานมีการเก็บรวบรวมไว้ เพื่อรอถ่ายเข้าสู่ระบบบำบัด แต่การป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดจะเป็นการค่อยๆป้อนเข้าไป และทำเป็นครั้งคราว เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มจะมีค่าความสกปรกที่สูง อาจทำให้ระบบบำบัดล้มเหลวหากเติมเข้าไปในปริมาณมาก

3.1.2 สมบัติทางเคมีน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนผลิตสกัดน้ำมันปาล์ม น้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันและกากตะกอนจุลินทรีย์

ผลจากการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มและกากตะกอนจุลินทรีย์ แสดงดังตารางประกอบที่ 3-1 พบว่าน้ำเสียทั้งสองชนิดมีค่าความสกปรกที่สูง ซึ่งในรูปของ COD (Chemical oxygen demand) และ BOD (Biological oxygen Demand) โดยน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนผลิตสกัดน้ำมันปาล์มมีค่า 61,000 และ29,798 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ น้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีค่า 74,750 และ 31,339 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เมื่อเทียบค่าความสกปรกทั้งสองชนิดพบว่าน้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันจะมีค่าความสกปรกมากกว่าน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนผลิตสกัดน้ำมันปาล์ม จากคุณสมบัติดังกล่าวหากนำมาพิจารณาต่อการผลิตมีเทน พบว่า 1 กรัมของ COD ที่ถูกย่อยสลายจะได้ก๊าซมีเทน 0.351 ลิตรทำให้ได้มีเทนจากน้ำเสียกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม 21.41 ลิตร และมีเทนจากน้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 26.24 ลิตร จากทฤษฎีดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าน้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันสามารถที่จะผลิตมีเทนได้มากกว่าน้ำเสียกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม ถึงแม้น้ำเสียทั้งสองชนิดจะมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่สูง แต่น้ำเสียทั้งสองชนิดกลับเป็นแหล่งสร้างก๊าซมีเทนได้เป็นอย่างดีเมื่อหมักด้วยสภาวะแบบไร้อากาศ เนื่องจากน้ำเสียทั้งสองชนิดมีองค์ประกอบที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ง่าย ซึ่งพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่าง BOD/COD มีค่าไม่เกิน 0.5 แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียทั้งสองชนิดสามารถบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพได้ (Yusoff S. 2006)

นอกจากปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของบีโอดี หรือ ซีโอดีที่สูงได้ น้ำเสียทั้งสองชนิดก็มีองค์ประกอบของไขมันและกรดไขมันระเหยง่ายในปริมาณที่สูงเช่นเดียวกัน โดยไขมันจัดเป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่จัดเป็นมลพิษในน้ำเสีย แต่ไขมันสามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพได้ถึงแม้กระบวนการเปลี่ยนสารอาหารประเภทไขมันเป็นก๊าซชีวภาพจะทำได้ยากก็ตาม (Cavaleiro A.J.และคณะ. 2008) การนำน้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพียงอย่างเดียวเข้าสู่กระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศเพื่อผลิตมีเทนอาจส่งผลกระทบให้ระบบล้มเหลวได้ง่าย เนื่องจากปริมาณค่าความสกปรก และปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่มีปริมาณสูง อาจเกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยง่ายในปริมาณมาก ซึ่งก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนส่งผลยับยั้งต่อกระบวนการผลิตมีเทนได้ง่าย ดังนั้นการหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มสามารถเจือจางความเป็นพิษที่จะเกิดขึ้นต่อระบบ ยังสามารถช่วยปรับอัตราส่วนของสารอาหารให้เหมาะสมที่จะส่งผลให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดอัตราการย่อยสลายสูงขึ้นเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ(Montusiewicz และคณะ.,2011)

ตารางที่ 3-1 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.

พารามิเตอร์	น้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์ม	น้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	ตะกอนจุลินทรีย์
pH	4.6	4.9	-
COD (mg/L)	61,000	74,750	-
BOD (mg/L)	29,798	31,339	-
TKN (mg/L)	550	325	-
NH_3-N (mg/L)	2.75	5.25	-
Grease and oil (mg/L)	970	8,590	-
TS (mg/L)	20,010	96,320	-
SS (mg/L)	16,250	91,240	-
VFA (mg/L)	5,288	10,613	-
MLSS (mg/L)	18,000	-	7.63

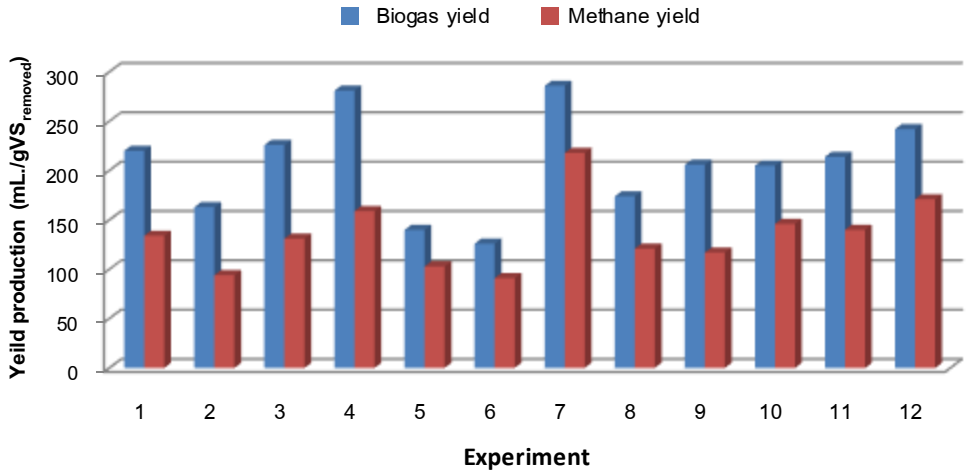
ที่มา: จากการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น

กากตะกอนจุลินทรีย์มีลักษณะสีดำ มีแขวนลอยสีดำ ค่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ (Mixed Liquor Suspended Solids; MLSS) เท่ากับ 18,000 mg/l ค่า pH เท่ากับ 7.63 จากการวิเคราะห์กากตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาใช้เป็นหัวเชื้อในระบบหมัก ทางผู้วิจัยได้นำหัวเชื้อจากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพของทางโรงงานโดยตรง ทำให้มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาเป็นหัวเชื้อในกระบวนหมัก โดยมีค่า pH เท่ากับ 7.6 และค่า MLSS เท่ากับ 18,000mg/l ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของPohและ Chong (2010) ได้ทำการศึกษาศักยภาพในการเกิดก๊าซมีเทนของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบ CSTR ปริมาตรใช้งาน 2 L กวนผสมที่ 100 รอบต่อนาที ที่สภาวะเทอร์โมฟิลิก ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 55 °C ที่ระยะเวลากักเก็บ 6 วัน ทำการศึกษาความเข้มข้นของ MLSS ที่ระดับต่างๆพบว่าที่ความเข้มข้นของ MLSS14,000 mg/l มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีถึง 90% โดยองค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่ได้ 64%

3.2 ผลการศึกษาการหมักร่วมน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่อัตราส่วนต่าง ๆด้วยระบบแบบกะ (Batch)

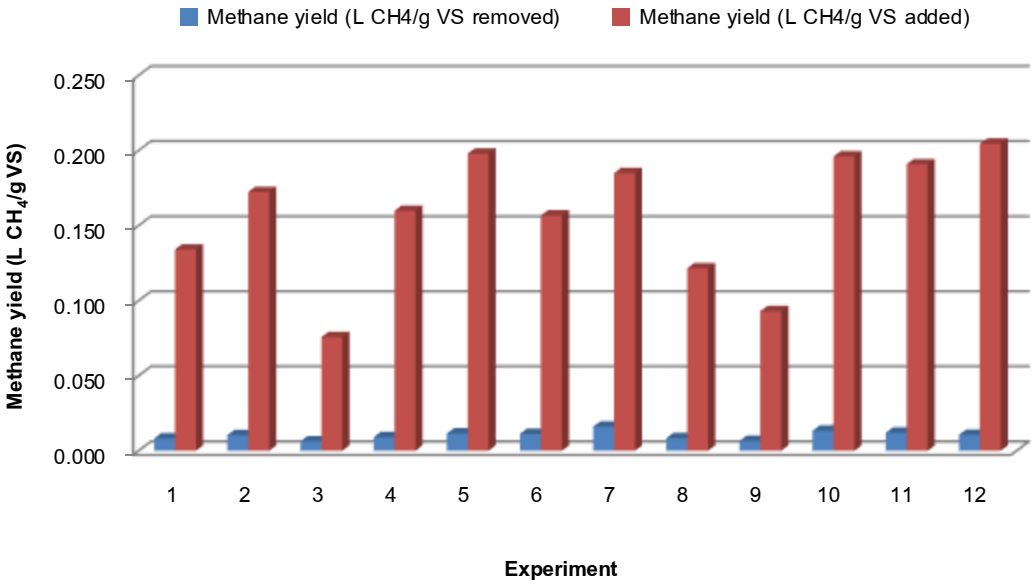
ทำการศึกษาการหมักร่วมโดยใช้น้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบหลัก และน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบร่วม ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการแบบกะ เพื่อหาอัตราส่วนผสมของน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่มีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนสูงสุด (Maximum methane yield) โดยผสมวัตถุดิบร่วมในอัตราส่วนที่ 2.5, 5, และ 10% v/v ทำการป้อนวัสดุหมักแบบกะ หรือการเติมวัสดุหมักครั้งเดียวในระบบหมักไม่ใช้อากาศ และใช้ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ 35% 50% และ 75% ของปริมาตรใช้งาน เพื่อหาสัดส่วนของหัวเชื้อที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซจากนั้นปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7.0-7.2 ระบบหมักไม่ใช้อากาศทำมาจากขวดแก้ว ขนาด 1 l ปริมาตรหมัก (working volume) 0.5 l หมักภายใต้อุณหภูมิ 35±1°C

ผลการทดลองกระบวนการหมักร่วมแบบกะ ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ ได้ใช้ระยะเวลาในการหมัก 10 วัน จึงสิ้นสุดกระบวนการหมัก จากข้อมูลตารางผนวกที่ 1-2 สามารถสรุปได้ดังภาพประกอบที่ 3-2 พบว่าชุดทดลองที่ 7 ซึ่งเป็นอัตราส่วนการผสมของ POME+50%seed+5%น้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและมีเทนสะสมมากที่สุด คือ 396±4.58 ml และ 294±3.51 ml ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดการทดลองทั้ง 12 ชุด



ภาพประกอบที่ 3-2 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและมีเทนสะสมจากการหมักแบบกะ (Batch) ระยะเวลา 10 วัน

ซึ่งประสิทธิภาพผลผลิตมีเทนสูงสุดเกิดที่สภาวะการหมักร่วมระหว่าง POME+50%seed+5%น้ำบึบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เท่ากับ 0.016L CH_4/g $VS_{removed}$ หรือ 0.18L CH_4/g VS_{added}ซึ่งค่าประสิทธิภาพผลผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นเมื่อมีการหมักร่วมกับน้ำเสียบึบทะลายเปล่าปาล์ม โดยเปรียบเทียบกับการหมัก POME และ หัวเชื้อ ที่ไม่ได้ใส่ตัวหมักร่วมดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-3



ภาพประกอบที่ 3-3 ประสิทธิภาพผลผลิตมีเทน (methane yield) ของแต่ละชุดการทดลอง

จากตารางประกอบที่ 3-2 แสดงผลผลิตมีเทนในหน่วย L CH_4/g $VS_{removed}$ เพื่อแสดงให้เห็นถึงปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในวัสดุหมัก และหน่วย L CH_4/g VS_{added} เพื่อแสดงให้เห็นถึงปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นจากวัสดุหมักทั้งหมดซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์และส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์

ตารางประกอบที่ 3-2 ศักยภาพการย่อยสลายให้ก๊าซมีเทน

ชุดที่	Condition	ปริมาณก๊าซมีเทนทั้งหมด (ml CH_4)	VS_{added} (g/L)	$VS_{removed}$ (g/L)	Methane Yield	
					L CH_4/g $VS_{removed}$	L CH_4/g VS_{added}
1	POME+35%seed (control)	124±6.43	16.123	0.992	0.125±0.006	0.0077±0.000
2	POME+35%seed +2.5%น้ำหีบ	211±18.52	20.227	2.224	0.095±0.008	0.0104±0.001
3	POME+35%seed +5%น้ำหีบ	150±9.02	22.411	1.076	0.139±0.008	0.0067±0.000
4	POME+35%seed +10%น้ำหีบ	170±17.62	17.255	0.976	0.174±0.018	0.0099±0.001
5	POME+50%seed (control)	157±21.36	15.979	1.684	0.093±0.013	0.0078±0.001
6	POME+50%seed +2.5%น้ำหีบ	233±14.64	19.728	2.416	0.096±0.006	0.0188±0.001
7	POME+50%seed +5%น้ำหีบ	294±3.51	18.460	1.360	0.216±0.003	0.0159±0.000
8	POME+50%seed +10%น้ำหีบ	140±1.53	16.587	1.144	0.122±0.001	0.0084±0.000
9	POME+75%seed (control)	138±15.72	18.992	1.064	0.130±0.020	0.0073±0.001
10	POME+75%seed +2.5%น้ำหีบ	229±39.89	17.408	1.588	0.144±0.025	0.0132±0.002
11	POME+75%seed +5%น้ำหีบ	209±8.33	17.612	1.516	0.138±0.005	0.0119±0.000
12	POME+75%seed +10%น้ำหีบ	212±13.20	19.872	1.236	0.172±0.011	0.0107±0.001

พบว่าชุดการทดลองที่ 7 มีประสิทธิภาพผลผลิตมีเทนสูงสุดเกิดที่สภาวะการหมักร่วมระหว่าง POME+50%seed+5%น้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เท่ากับ 0.216±0.003L CH_4/g $VS_{removed}$หรือ 0.0159±0.000L CH_4/g VS_{added} ซึ่งค่าประสิทธิภาพผลผลิตมีเทนเพิ่มขึ้น เมื่อมีการหมักร่วมกับน้ำเสียบีบทะลายเปล่าปาล์ม โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีการหมักร่วมระหว่าง 50%POME +50%seed ที่ไม่ได้ใส่น้ำเสียบีบทะลายเปล่าปาล์ม ที่มีค่าเท่ากับ 0.093±0.013L CH_4/g $VS_{removed}$ หรือ 0.0078±0.001 L CH_4/g VS_{added} แสดงให้เห็นว่าผลจากการหมักร่วมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตมีเทนได้ถึง 2 เท่า โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆที่ศึกษาเกี่ยวกับการหมักร่วมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมีเทน

Fezzaniและ BenCheikh (2008) ที่ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียร่วมกับวัสดุเศษเหลือ โดยทดลองในห้องปฏิบัติการทำการหมักแบบกะ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีการป้อนน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกเป็นสารตั้งต้นหลักและของเสียที่เป็นของแข็งจากโรงงาน เป็น ตัวหมักร่วม (co- substrate) ที่ปริมาณแตกต่างกันคือ 28, 56, 112 และ 150 gTS/l ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า อัตราที่เหมาะสมของของเสียที่เป็นของแข็งที่ถูกใช้เป็น co- substrate คือ 56 gTS/l สามารถเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพจาก 11.7±2.5 $l_{biogas}/l_{wastewater}$ เป็น 30.5±2.5 $l_{biogas}/l_{wastewater}$และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจาก 44.5%±3 เป็น 83.4%±2 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการลดเวลาเริ่มต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพในสภาวะคงที่จาก 65±25 วัน เป็น 28±15 วัน

เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น จากตารางประกอบที่ 3-3 ถึง ตารางประกอบที่ 3-5 พบว่า ค่า VFA มีปริมาณลดลงเมื่อมีการลดปริมาณของน้ำเสียทั่วไปของโรงงงานสกัดน้ำมันปาล์มแล้วเพิ่มปริมาณหัวเชื้อ ซึ่งปกติระดับกรดไขมันระเหยง่ายที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 50-500 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH ซึ่งค่าสูงสุดที่ยอมให้มีในระบบเท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH(เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ดังนั้น ชุดที่ 1-4 จะพบว่าปริมาณ VFA เริ่มต้นมีมากกว่าทฤษฎีเบื้องต้นที่กล่าวไว้สภาวะดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมต่อกระบวนผลิตก๊าซมีเทน นอกจากนั้น ค่าสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) เริ่มต้น ในชุดที่ 2, 3,4 และ 7 มีค่าเริ่มต้นมากกว่า 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสภาพความเป็นด่างทั้งหมดควรมีประมาณ 1,000-5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (Metcalf and Eddy, 2004) แต่เมื่อวิเคราะห์ถึงอัตราส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยต่อระดับสภาพด่างไบคาร์บอเนต (VFA/HCO_3) พบว่าทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยกว่า 0.4 ซึ่งหมายถึงระบบบำบัดมีบัฟเฟอร์ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ วิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์, 2540)

ตารางประกอบที่ 3-3 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแบบกะก่อนกระบวนการหมักและสิ้นสุดกระบวนการหมัก หัวเชื้อเริ่มต้น ที่ 35 %

Parameter	POME+35%seed (control)		POME+35%seed +2.5%น้ำบีบ		POME+35%seed +5%น้ำบีบ		POME+35%seed +10%น้ำบีบ	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
pH	7.07	8.30	7.04	8.66	7.04	8.67	7.07	8.77
COD, mg/l	43,444	42,792	43,164	34,639	49,780	31,838	63,383	57,373
SS, mg/l	26,000	16,830	28,870	17,450	24,640	14,120	25,850	17,480
TS, mg/l	45,384	29,788	37,516	35,544	38,584	33,600	50,704	38,728
VS, mg/l	16,124	15,132	20,228	18,004	22,412	17,336	17,256	16,280
Alkalinity, mg/l	4,800	5,000	6,400	8,600	5,600	7,000	6,600	8,200
VFA, mg $CaCO_3$/l	1,900	680	2,160	400	2,280	640	23,00	1,160
NH_3-N, mg/l	169	260	125	265	180	295	124	255
TKN, mg/l	309	465	304	464	368	445	305	432
C:N	140:1	92:1	142:1	74:1	135:1	71:1	208:1	133:1

ตารางประกอบที่ 3-4 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแบบกะก่อนกระบวนการหมักและสิ้นสุดกระบวนการหมัก หัวเชื้อเริ่มต้น ที่ 50 %

Parameter	POME+50%seed (control)		POME+50%seed +2.5%น้ำบีบ		POME+50%seed +5%น้ำบีบ		POME+50%seed +10%น้ำบีบ	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
pH	7.05	8.54	7.07	8.68	7.06	8.55	7.06	8.55
COD, mg/l	50,245	28,038	62,110	33,630	63,608	31,600	65,919	30,588
SS, mg/l	29,120	24,060	29,360	24,620	27,820	37,310	55,010	49,720
TS, mg/l	46,388	32,412	48,120	44,284	44,968	39,408	39,516	36,228
VS, mg/l	15,180	14,296	19,728	17,312	18,460	17,620	16,588	15,444
Alkalinity, mg/l	4,800	5,500	4,800	6,200	5,750	4,750	4,750	5,500
VFA, mg $CaCO_3$/l	1,260	250	1,300	380	1,200	325	1,100	300
NH_3-N, mg/l	240	355	227	338	231	336	221	312
TKN, mg/l	794	1,660	533	616	504	672	448	616
C:N	63:1	17:1	116:1	54:1	126:1	47:1	147:1	50:1

ตารางประกอบที่ 3-5 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแบบกะก่อนกระบวนการหมักและสิ้นสุดกระบวนการหมัก หัวเชื้อเริ่มต้น ที่ 75 %

Parameter	POME+75%seed (control)		POME+75%seed +2.5%น้ำบีบ		POME+75%seed +5%น้ำบีบ		POME+75%seed +10%น้ำบีบ	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
pH	7.09	8.79	7.09	8.68	7.05	8.64	7.07	8.59
COD, mg/l	58,082	25,034	62,340	22,813	65,741	27,478	74,903	36,947
SS, mg/l	37,520	32,370	41,960	35,330	59,260	28,490	66,050	32,470
TS, mg/l	48,792	44,280	51,476	44,528	49,660	45,980	49,720	44,524
VS, mg/l	18,992	16,648	17,008	16,500	17,212	16,496	19,872	18,836
Alkalinity, mg/l	3,750	4,750	4,750	5,000	4,500	4,500	4,400	5,200
VFA, mg $CaCO_3$/l	1,425	450	850	200	525	250	500	240
NH_3-N, mg/l	252	266	289	390	305	395	315	379
TKN, mg/l	784	840	672	728	560	616	952	1,568
C:N	74:1	30:1	93:1	31:1	117:1	46:1	78:1	23:1

จากตารางประกอบที่ 3-3 - 3-5 พบว่า ค่า $VS_{Effluent}$,ค่า $COD_{Effluent}$และ ค่า $VFA_{Effluent}$มีค่าลดลงแสดงให้เห็นว่ามีย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในระบบให้ได้เป็นก๊าซมีเทนเกิดขึ้น นอกจากนั้น พบว่า ค่า $pH_{Effluent}$ค่า$Alkalinity_{Effluent}$, NH_3-$N_{Effluent}$ และ ค่า $TKN_{Effluent}$มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ระบบหมักสิ้นสุดลง เนื่องจากในช่วงท้ายของกระบวนการความเข้มข้นของ NH_4จะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าพีเอชที่สูงมากกว่า 8 แสดงถึงความไม่สมดุลของเมทตาบอลิซึมในระบบ ทำให้เป็นพิษต่อการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน ซึ่งโดยทั่วไปสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มมีเทนควรอยู่ในช่วงพีเอช 7-8 (Elhussein, 2003)

ผู้วิจัยจึงออกแบบการทดลองต่อไป โดยการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง ซึ่งจะใช้อัตราส่วนในการหมักระหว่าง 45%POME+50%seed+5%น้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะใช้เป็นอัตราส่วนการหมักเริ่มต้น และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสรุปดังตารางประกอบที่ 3-6 ให้ระยะเวลากักเก็บอยู่ในช่วง 10-30 วัน

ตารางประกอบที่ 3-6 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศอัตราปกติและแบบอัตราสูง

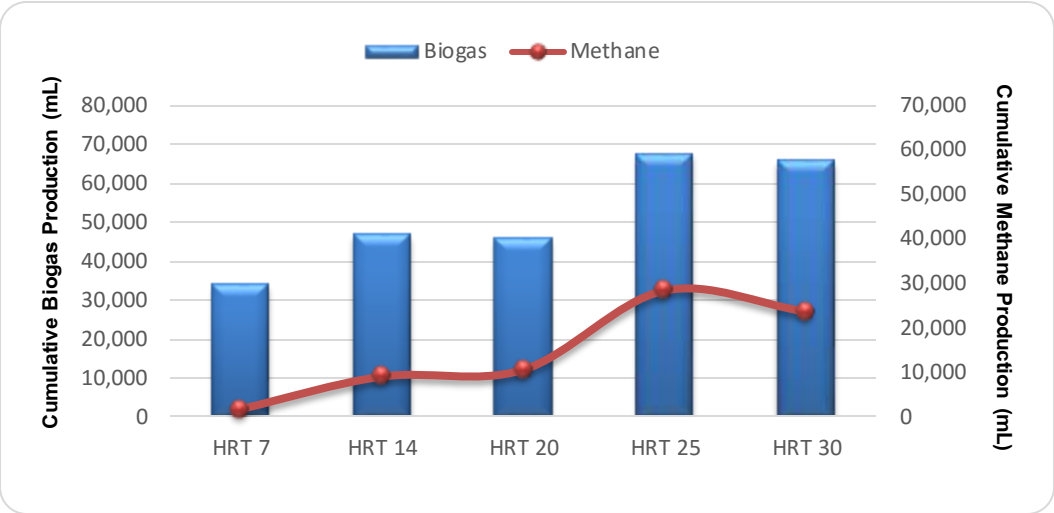
ค่าตัวแปร	อัตราปกติ	อัตราสูง
ระยะเวลาเก็บกัก,day	30 - 90	10 - 20
อัตราภาระบรรจุของแข็งระเหย,kg/m^3-day	0.5 - 1.6	1.6 - 6.4
ความเข้มข้นของของแข็งที่ย่อยแล้ว, เปอร์เซ็นต์ของแข็ง	4 - 6	4 - 6
การกำจัดของแข็งระเหยง่าย, เปอร์เซ็นต์	35 - 50	45 - 55
การเกิดก๊าซ m^3/kg ของแข็งระเหยที่เข้าระบบ	0.5 - 0.55	0.6 - 0.65
เปอร์เซนมีเทน, เปอร์เซ็นต์	65	65

ที่มา: Peavey (1986)

3.3 ผลการศึกษาการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่ระยะเวลากักเก็บต่าง ๆด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

3.3.1 ผลของระยะเวลากักเก็บต่อการผลิตมีเทนและผลผลิตมีเทน

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและปริมาณสะสม (ภาพประกอบที่ 3-4)เกิดขึ้นที่สภาวะการหมักร่วมระหว่าง POME+50%seed+5%น้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่ระยะเวลากักเก็บ 7 14 20 25 และ 30 วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 33,963 46,870 45,841, 67,558 และ 65,868 มิลลิลิตร ตามลำดับและปริมาณมีเทนสะสม 1,685 9,029 10,549 28,470 และ 23,793 มิลลิลิตรตามลำดับซึ่งที่ระยะเวลาการกักเก็บ 25 วัน มีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) เท่ากับ 2.60 g COD/ L.Day มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและปริมาณมีเทนสะสมมากกว่า ที่ระยะเวลากักเก็บอื่นๆ ตลอดการทดลองทั้งหมด 30 วัน

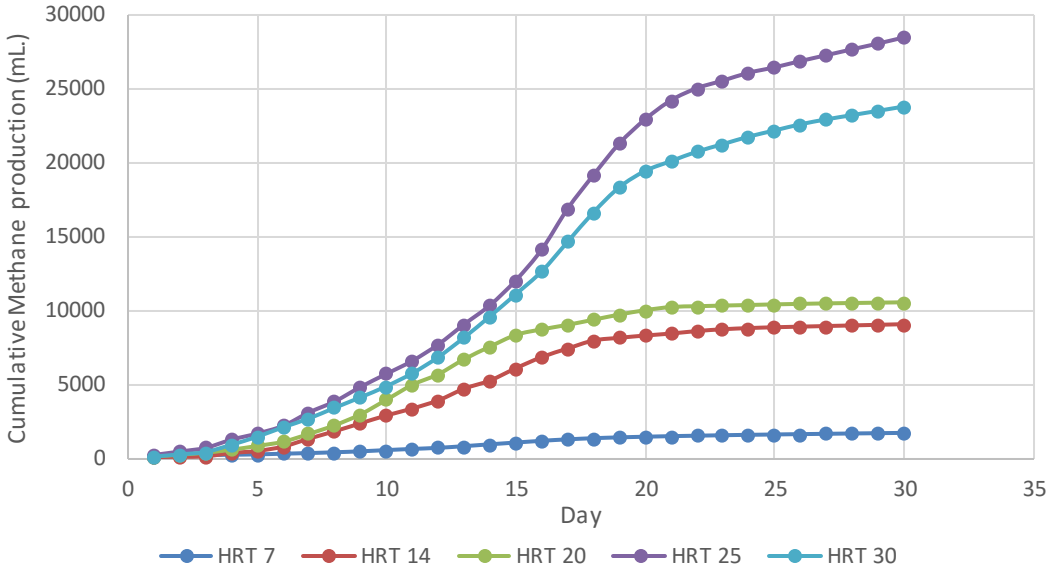


ภาพประกอบที่ 3-4 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและมีเทนสะสมที่ระยะเวลาการกักเก็บ จากการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง ระยะเวลา 30 วัน

การผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (ภาพประกอบที่ 3-4) พบว่า ระยะเวลากักเก็บ 7 และ 14 วัน ที่มีค่า OLR เท่ากับ 9.27 g COD/ L.Day และ 4.63 g COD/ L.Day จะมีการผลิตมีเทนในช่วงระยะเวลาที่สั้นและมีปริมาณมีเทนเกิดขึ้นน้อยมาก ซึ่งเกิดจากการล้มเหลวของระบบ เนื่องจากปริมาณ ซีโอดี ที่เพิ่มมากขึ้นจากการเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบ โดยระบบได้หยุดการผลิตมีเทน ในวันที่17 และ 19 ตามลำดับ ในส่วนของระยะเวลาการกักเก็บ 20 วัน จะมีค่า OLR เท่ากับ 3.25 g COD/ L.Day พบว่า มีการผลิตมีเทนในช่วงวันที่ 4-20 ของการเดินระบบและหยุดการผลิตมีเทน วันที่ 21 ซึ่งทั้ง 3 ระยะเวลาการกักเก็บ พบว่ามีเทนสูงสุดที่ผลิตได้เพียง 7% 32% และ 39% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่ระยะเวลากักเก็บดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการผลิตมีเทน ซึ่งในส่วนของระยะเวลากักเก็บ 25 และ 30 วัน พบว่ามีเทนสูงถึง 62%และ 53% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่ระยะเวลากักเก็บดังกล่าว มีความเหมาะสมต่อระบบหมักสำหรับการผลิตมีเทน ซึ่งใช้เวลาระยะเวลาจนสิ้นสุดกระบวนการหมัก 30 และ 27 วัน ตามลำดับ

การผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (ภาพประกอบที่ 3-5) พบว่า ระยะเวลากักเก็บ 7 และ 14 วันจะมีการผลิตมีเทนในช่วงระยะเวลาที่สั้นและมีปริมาณมีเทนเกิดขึ้นน้อยมาก ซึ่งเกิดจากการล้มเหลวของระบบ เนื่องจากปริมาณ ซีโอดี ที่เพิ่มมากขึ้นจากการเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบ โดยระบบได้หยุดการผลิตมีเทน ในวันที่17 และ 19 ตามลำดับ ในส่วนของ ระยะเวลาการกักเก็บ 20 วัน พบว่า มีการผลิตมีเทนในช่วงวันที่ 4-20 ของการเดินระบบและหยุดการผลิตมีเทน วันที่ 21 ซึ่งทั้ง 3 ระยะเวลาการกักเก็บ พบว่าเทนสูงสุดที่ผลิตได้เพียง 7% 32% และ 39% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่ระยะเวลากักเก็บดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการผลิตมีเทน ซึ่งในส่วนของระยะเวลากักเก็บ 25 และ 30 วัน พบว่ามีเทนสูงถึง 62%และ 53% ตามลำดับ แสดงให้

เห็นว่าที่ระยะเวลากักเก็บดังกล่าว มีความเหมาะสมต่อระบบหมักสำหรับการผลิตมีเทน ซึ่งเริ่มเข้าสู่ระยะsteady stat ในวันที่ 25 และ 22 วัน ตามลำดับ



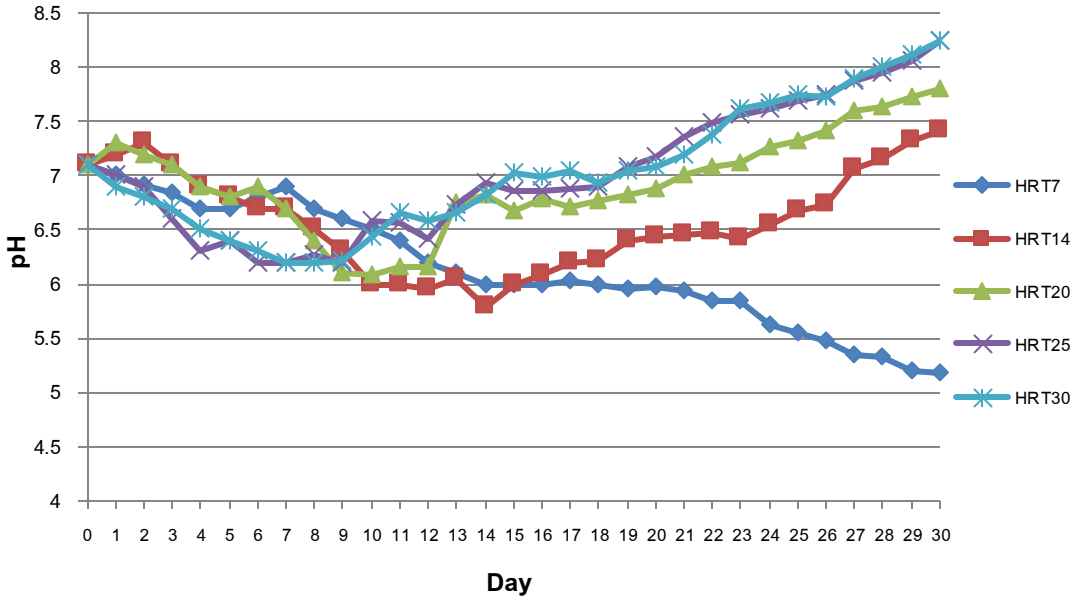
ภาพประกอบที่ 3-5 ปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

ผลจากการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับ Fezzani และ BenCheikh (2008) ศึกษาการย่อยร่วมกันแบบไม่ใช้อากาศระหว่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก กับของเสียที่เป็นของแข็งจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก ที่อุณหภูมิปานกลาง อัตราการป้อนสารอินทรีย์ อยู่ระหว่าง 0.67 และ 6.67 gCOD/l/day พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจะถูกยับยั้งเมื่อเดินระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่สูงกว่า 4.67 gCOD/l/day

3.3.2 การเปลี่ยนแปลงของระบบในกระบวนการหมักไม่ใช้อากาศแบบกึ่งต่อเนื่อง ที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ

การเปลี่ยนแปลงpH

จากการทดลองกระบวนการหมักร่วมระหว่าง POME+50%seed+5%น้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ ระหว่างกระบวนการหมักพบว่า ที่ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)(ภาพประกอบที่ 3-5)ได้ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากการสะสมของกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ภายในระบบ ในส่วนของระยะเวลากักเก็บ 14 และ 20 วัน พบว่า ในช่วง 1-3 วันแรกของการเดินระบบ ค่า pH ลดลง แต่หลังจากวันดังกล่าว pH มีการเพิ่มขึ้นอย่างเรื่อยๆ แม้ pH จะอยู่ในช่วงที่เหมาะสม แต่เนื่องภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีค่าสูง และระยะเวลาการกักเก็บที่สั้นทำให้ระบบหมักผลิตมีเทนได้ปริมาณน้อยและสิ้นสุดกระบวนการหมักอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhong W และคณะ(2013) พบว่าการเพิ่มของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) จะทำให้ pH ในระบบหมักเพิ่มขึ้น จากการเพิ่มค่า OLR อาจก่อให้เกิดการยับยั้งขั้นตอน Methanogenesis ทำให้มีเทนลดลง



ภาพประกอบที่ 3-6 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ

ส่วนระยะเวลาการกักเก็บ 25 และ 30 วัน พบว่า ค่า pH มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ทำให้ที่ระยะเวลากักเก็บดังกล่าวมีการผลิตมีเทนปริมาณมากกว่าระยะเวลากักเก็บที่อื่นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบหมักที่มีปริมาณสาอาหารหรือค่า COD ที่สูงระยะเวลากักเก็บนานจะมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบที่มีระยะเวลากักเก็บน้อย ซึ่งในส่วนของ

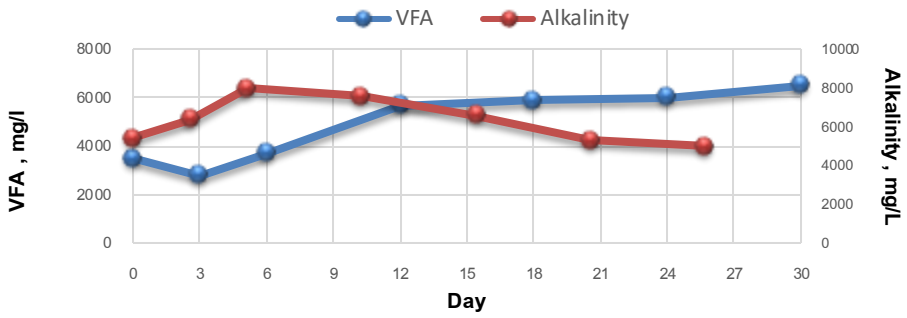
ระยะเวลาการกักเก็บ 25 และ 30 วัน สามารถเดินระบบ ได้ถึง 30 และ 28 วันตามลำดับ เมื่อ pH มีค่ามากกว่า 8.0 ระบบจึงสิ้นสุดกระบวนการหมัก

สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) และ กรดไขมันระเหยง่าย (VFA)

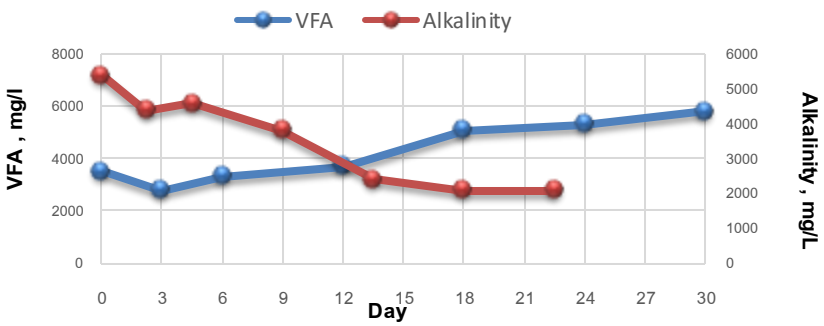
สารอาหารที่มีองค์ประกอบไขมันและสายของกรดไขมัน (LCFAs) มักจะเกิดการยับยั้งกระบวนการหมักโดยง่าย โดย LCFAs มีผลต่อกระบวนการ Methanogenesis และขั้นตอนอื่นๆ ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ (Cirneและคณะ., 2007)

จากภาพประกอบที่ 3-7 แสดงให้เห็นถึงการสะสมของ VFA ที่ระยะเวลากักเก็บ 7, 14 และ 20 วันโดยมีการเพิ่มขึ้นของ VFA เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน เกิดการสะสมของ VFA แต่ในส่วนของระยะเวลากักเก็บที่ 25 และ 30 วัน พบว่าค่า VFA มีค่าลดลง แสดงถึงการใช้สารอาหารในรูปของ VFA ของจุลินทรีย์ ที่สามารถเจริญและใช้สารอาหารเปลี่ยนแปลงเป็นก๊าซมีเทน ส่วนสภาวะความเป็นด่างพบว่า ทุกระยะเวลากักเก็บมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีผลต่อระบบบัฟเฟอร์ในถังหมักมีการลดลง ส่งผลให้กระบวนการหมักสิ้นสุดลง

(A)

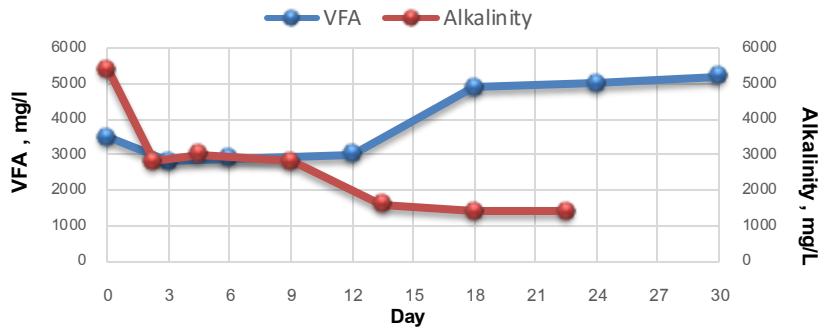


(B)

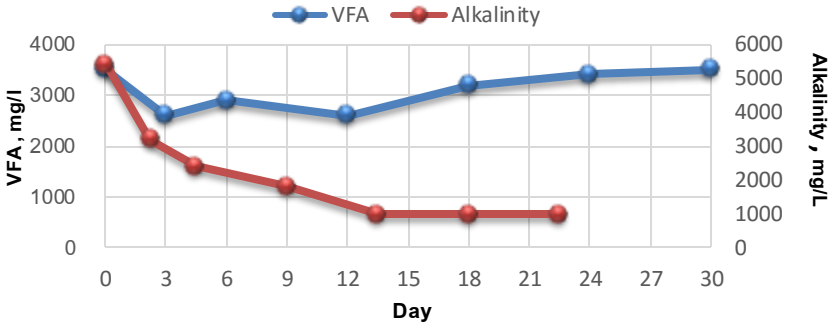


ภาพประกอบที่ 3-7 ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA) และ สภาพด่าง (Alkalinity) (A) HRT 7 (B) HRT 14 (C) HRT 20 (D) HRT 25 (E) HRT 30

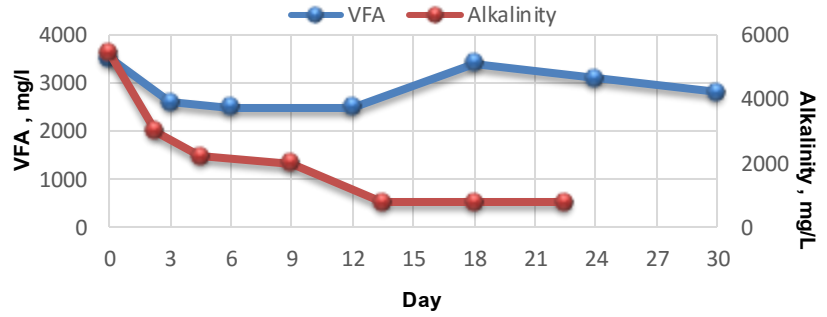
(C)



(D)



(E)



ภาพประกอบที่ 3-7ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA) และ สภาพด่าง (Alkalinity) (A) HRT 7 (B) HRT 14 (C) HRT 20 (D) HRT 25 (E) HRT 30(ต่อ)

3.3.3 ประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีหลังกระบวนการหมัก

จากการทดลองหลังกระบวนการหมัก ตารางประกอบที่ 3-6 พบว่าที่ระยะเวลากักเก็บ 25 และ 30 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ถึง 67% และ 84% ตามลำดับ เนื่องจากระยะเวลาในการกักเก็บที่นานช่วยให้มีระยะในการใช้สารอาหารของจุลินทรีย์ยาวนานขึ้นไปด้วย ต่างจากระยะเวลากักเก็บที่น้อยทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงไปด้วย โดยที่ระยะเวลา

กักเก็บ 20 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เพียง 45% และที่ระยะเวลากักเก็บ 7 และ 14 วัน ไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดเนื่องจากระยะเวลากักเก็บที่น้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fezzaniและ BenCheikh (2008) ศึกษาการย่อยร่วมกันแบบไม่ใช้อากาศระหว่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก กับของเสียที่เป็นของแข็งจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก ที่อุณหภูมิปานกลาง มีระยะเวลากักเก็บที่ 12, 24 และ 36 วัน ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ใช้เท่ากับ 24 56 และ 80 กรัมซีโอดี/ลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 89 อยู่ที่การเดินระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 0.67 gCOD/l/day (ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ใช้เท่ากับ 24 gCOD/l) และ ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 36 วัน

ตารางประกอบที่ 3-7 คุณภาพน้ำเสียหลังการหมักที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

พารามิเตอร์	ก่อนกระบวนการหมัก	หลังกระบวนการหมัก				
		HRT 7	HRT 14	HRT 20	HRT 25	HRT 30
pH	7.1	5.18	7.42	7.80	8.24	8.25
COD (mg/L)	96,000	128,000	112,000	52,800	32,000	16,000
TKN (mg/L)	392	252	560	476	588	504
NH_3-N (mg/L)	252	280	224	280	392	392
TS (mg/L)	33,172	29,756	20,748	28,632	29,572	19,332
SS (mg/L)	28,305	17,703	17,970	11,616	20,686	19,508
VFA (mg/L)	3,500	5,900	5,100	4,900	3,400	3,100
Alkalinity (mg/L)	5,400	6,600	2,400	1,600	1,000	800
C:N	131:1	106:1	92:1	102:1	75:1	49:1
COD removal efficiency (%)		-34	-17	45	67	84

3.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนที่เหลือจากการหมัก

การวิเคราะห์คุณสมบัติของกากตะกอน เพื่อเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก โดยเป็นการนำมาใช้ในด้านปรับปรุงหน้าดิน ปุ๋ยสำหรับพืช เป็นต้น ลักษณะกากตะกอน (ภาพประกอบที่ 3-8) โดยกากตะกอนที่วิเคราะห์เลือกจากระบบหมัก ที่ระยะเวลากักเก็บเหมาะสม คือ ระยะกักเก็บ 25 วัน ซึ่งให้ปริมาณมีเทนมากที่สุดเมื่อเทียบกับระยะกักเก็บอื่นๆ

ภาพประกอบที่ 3-8 กากตะกอนจากระบบหมัก ที่ระยะกักเก็บ 25 วัน

คุณสมบัติของกากตะกอน (ตารางประกอบที่ 3-8) มีค่า อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) เท่ากับ 19.17 % ค่า ไนโตรเจนทั้งหมด (N) เท่ากับ 2.62 % ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5) เท่ากับ 2.80 % ค่าโพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) เท่ากับ 11.32 % อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 7.0อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยปริมาณ ไม่เกิน 20:1และค่าความชื้น เท่ากับ 28.55% ความชื้นอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยปริมาณความชื้นต้องไม่เกิน 35-40% โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ตารางประกอบที่ 3-8 คุณสมบัติของกากตะกอนหลังกระบวนการหมัก

รายการวิเคราะห์	ปริมาณ (%w/w)
Organic Carbon	19.17
Total N	2.62
Total P_2O_5	2.80
Total K_2O	11.32
C/N Ratio	7.0
Moisture content	28.55

3.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์

3.5.1 การลงทุนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

จากการสอบถามข้อมูลจากทางโรงงานที่ได้รับการสนับสนุนงานวิจัย พบว่าทางโรงงานมีค่าใช้จ่ายในการก่อตั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในตารางประกอบที่ 3-9

เงินลงทุนเริ่มต้น ในระบบผลิต Biogas ทั้งหมด โดยรวมค่าเครื่องจักร ค่าก่อสร้าง และแรงงาน ประมาณ 86 ล้านบาท ในส่วนของค่าใช้จ่ายการดูแลระบบผลิต Biogas ต่อปี จะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 360,000 บาท ค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ ประมาณ 2,160,000 บาทต่อปี โดยประมาณการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 540,000 kwh ต่อปี อัตราค่าไฟฟ้า 4 บาทต่อ kwh นอกจากนั้นจะมีค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่นสารเคมี ครุภัณฑ์ ประมาณ 25,000 บาทต่อปี

ตารางประกอบที่ 3-9 ค่าใช้จ่ายในการก่อตั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

รายการค่าใช้จ่าย	**บาท**
ลงทุนระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (ค่าเครื่องจักร ค่าก่อสร้าง และแรงงาน)	86,000,000
ค่าใช้จ่ายการดูแลระบบผลิต Biogas ต่อปี (แรงงาน 4 คน รายละ 300 บาทต่อวัน)	360,000
ค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ ต่อปี	2,160,000
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่นสารเคมี ครุภัณฑ์	25,000
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด ในปีที่ 1	**88,545,000**

3.5.2 การลงทุนการหมักร่วมน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มกับน้ำเสียทั่วไปของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

จากกระบวนผลิตน้ำมันปาล์มดิบ ทางโรงงานมีปริมาณทะลายเปล่าปาล์มที่เกิดประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของผลปาล์มสด หากกำลังการผลิตอยู่ที่ 720ตันของผลปาล์มสดต่อวัน จะก่อให้เกิดทะลายเปล่าปาล์มประมาณ 180 ตันต่อวัน ปัจจุบันบริษัทสัดน้ำมันปาล์มดิบบางโรงงานได้นำกระบวนการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพิ่มการกระบวนการผลิต เนื่องจากในทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันยังมีน้ำมันหลงเหลืออยู่ สามารถนำกลับมาใช้ได้ ทำให้ผลผลิตของน้ำมันเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังช่วยการปนเปื้อนน้ำมันที่จะออกสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

จากกระบวนการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน หากมีทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันประมาณ 180 ตันต่อวัน จะก่อให้เกิดปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากการบีบทะลายเปล่าปาล์ม เท่ากับ 54

ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือ 1.6 $\times 10^4$ ลูกบาศก์เมตรต่อปีโดยทะลายเปล่าปาล์ม 1 กิโลกรัม สามารถนำน้ำมันกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตได้ เท่ากับ 0.00722 กิโลกรัม

โดยค่าใช้จ่ายของการนำกระบวนการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพิ่มเข้าสู่กระบวนการผลิต จะมีค่าใช้จ่ายดังตารางประกอบที่ 3-10

ตารางประกอบที่ 3-10 ค่าใช้จ่ายของการนำกระบวนการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพิ่มเข้าสู่กระบวนการผลิต

รายการค่าใช้จ่าย	**บาท**
ค่าเครื่องจักร	3,000,000
ค่าใช้จ่ายการดูแลระบบผลิต Biogas ต่อปี	416,000
ค่าไฟฟ้า ต่อปี	1,584,400
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่นสารเคมี ครุภัณฑ์	20,000
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด ในปีที่ 1	**5,020,400**

ที่มา:จากการสอบถามข้อมูลผู้ประกอบการ

จากการทดลองการหมักร่วมแบบกะพบว่าอัตราส่วนระหว่างน้ำเสียทั่วไปของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มกับน้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่เหมาะสม คือ 45%POME+50%seed+5% น้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ปริมาตรหมักรวม 0.5 L โดยอัตราส่วนข้างต้น พบว่า สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 0.294 L มากกว่าชุดควบคุมที่มีเพียง น้ำเสียทั่วไปในการหมักปริมาตร 0.250 L และหัวเชื้อจุลินทรีย์ 0.250 L โดยสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้เพียง 0.157 L แสดงให้เห็นถึงศักยภาพการผลิตมีเทนที่เพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า

เมื่อใช้น้ำบีบทะลายเปล่าปาล์ม 0.0125 l จะใช้น้ำเสียทั่วไปในการหมัก 0.238 l

ถ้าปริมาณ น้ำบีบทะลายเปล่าปาล์ม 1.6 $\times 10^7$ L/year ใช้น้ำเสียทั่วไปในการหมัก

$$= \frac{1.6 \times 10^7 \text{ L/year} \times 0.238 \text{ L}}{0.0125 \text{ L}}$$

$$= 3.0 \times 10^8 \text{ L/year}$$

ดังนั้นปริมาตรวัสดุหมักรวมทั้งสองชนิด = 3.16 $\times 10^8$ L/year

เมื่อนำอัตราส่วนข้างต้นมาทดลองการหมักเดินระบบกึ่งต่อเนื่องด้วยถังปฏิกรณ์แบบ CSTR พบว่า สามารถผลิตก๊าซมีเทน ได้ 0.95 L/d โดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบ 0.15 L/d หากปริมาณวัสดุหมัก เท่ากับ 3.16 $\times 10^8$ L/year

$$\text{สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้} = \frac{\text{ปริมาณวัสดุหมัก} \times \text{อัตราการผลิตก๊าซมีเทน}}{\text{อัตราการป้อนสารอินทรีย์}}$$

$$= \frac{3.79\times10^{8}\ \text{(l/year)} \times 0.95\ \text{(l/d)}}{0.15\ \text{(l/d)}}$$

$$= 2.0 \times10^{9}\ \text{l/year}$$

$$\text{สามารถผลิตก๊าซมีเทน} = 2.0 \times10^{6}\ \text{m}^3\text{/year}$$

ผลจากการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การนำน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาหมักร่วมกับน้ำเสียทั่วไปของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะผลิตได้ โดยหากมีโครงการดังกล่าว สามารถคำนวณรายจ่ายจากโครงการดังแสดงในตารางประกอบที่ 3-10โดยโครงการ A จะเป็นการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียทั่วไปโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเพียงอย่างเดียว และโครงการ B จะเป็นผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างน้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันกับน้ำเสียทั่วไปของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

ตารางประกอบที่ 3-11 ค่าใช้จ่ายของการนำกระบวนการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพิ่มเข้าสู่กระบวนการผลิต

รายการค่าใช้จ่าย	**โครงการ A**	**โครงการ B**
ลงทุนระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (ค่าเครื่องจักร ค่าก่อสร้าง และแรงงาน) บาท	86,000,000	87,000,000
ค่าใช้จ่ายการดูแลระบบผลิต Biogas บาทต่อปี (แรงงาน 4 คน รายละ 300 บาทต่อวัน)	360,000	776,000
ค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ บาทต่อปี	2,160,000	3,744,400
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่นสารเคมี ครุภัณฑ์ บาทต่อปี	25,000	45,000
ค่าเครื่องจักร (เครื่องหีบทะลายเปล่าปาล์ม)บาท	-	3,000,000
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด ในปีที่ 1	**86,601,000**	**94,565,400**

ที่มา: จากการสอบถามข้อมูลผู้ประกอบการ

3.5.3 การประเมินความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

จากข้อมูลโรงงานที่ได้รับการสนับสนุน พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อปี 3,600,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี โดย 1 ลูกบาศก์เมตร แปลงเป็นกระไฟฟ้าได้ 2.2 kwh ดังนั้นทางโรงงานสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 7.92×10^6 kwhต่อปี หากจำหน่ายให้แก่การการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในราคาหน่วยละ 4 บาท สามารถสร้างรายรับให้แก่โรงงานเป็นจำนวน 31,680,000 บาท

เมื่อนำกระบวนการบีบทะลายเปล่าปาล์มเข้าสู่กระบวนการผลิต นอกจะช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำมันดิบแล้ว หากนำน้ำเสียที่เกิดขึ้นดังกล่าวไปหมักร่วมกับน้ำเสียทั่วไปของทางโรงงาน ก็สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพที่เดิม ได้ถึง 2 เท่า ดังนั้นจากเดิมที่โรงงานผลิตได้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 7.92 ×106kwhต่อปี ก็จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 15.84 $\times 10^6$kwhต่อปี สร้างรายรับให้บริษัทเป็นจำนวนเงิน 63,360,000 บาทต่อปี

ตารางประกอบที่ 3-12 รายได้จากการดำเนินโครงการ

รายการ	โครงการ A	โครงการ B
ค่าไฟฟ้าที่ขายได้ บาทต่อปี (4 บาท:kwh)	31,680,000	63,360,000
น้ำมันจากทะลายเปล่าปาล์มบาทต่อปี (388 ตันต่อปี ราคาน้ำมันเฉลี่ย 30 บาทต่อกิโลกรัม)		11,664,000
รวมรายได้ที่ได้รับ(บาทต่อปี)	**31,680,000**	**75,024,000**

จากข้อมูลเบื้องต้นสามารถนำมาช่วยในการตัดสินใจต่อการสร้างโครงการ โดยใช้เครื่องมือหรือเกณฑ์ในการประเมินความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ การประเมินหาความคุ้มค่าของโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน (Cost-Benefit analysis) ซึ่งจะพิจารณาจากค่าของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) และ อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)จากตารางประกอบที่ 3-12 กำหนดให้รายได้ทั้งสองโครงการเท่ากันทุกปี ระยะเวลาในการพิจารณาโครงการ 5 ปี โดยมีอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ 10%

จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า โครงการ B ที่มีการนำน้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาหมักร่วมกับน้ำเสียทั่วไปของโรงงาน มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิมากกว่า โครงการ A โดยมีมูลค่าสุทธิของโครงการ 586,430,450 บาท และเมื่อพิจารณาค่า อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ โครงการ B มีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการสูงถึง 79.34% มากกว่า โครงการ A ที่มีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ 35.76%โครงการ A มีระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 3 ปี แต่ในส่วนของโครงการ B จะมีระยะเวลาในการคืนทุน อยู่ในช่อง 1-2 ปี

ตารางประกอบที่ 3-13 ค่าของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) และ อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) จากการดำเนินโครงการ

	โครงการ A	**โครงการ B**
ค่าใช้จ่ายโครงการ.	-88,545,000	-94,565,400
รายได้จากโครงการ		
ปีที่ 1	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 2	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 3	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 4	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 5	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 6	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 7	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 8	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 9	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 10	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 11	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 12	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 13	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 14	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 15	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 16	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 17	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 18	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 19	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 20	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 21	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 22	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 23	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 24	+31,680,000	+75,024,000
ปีที่ 25	+31,680,000	+75,024,000
อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำ	**0.10**	**0.10**
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	**฿199,015,628**	**฿586,430,450**
ผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR)	**35.76%**	**79.34%**

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

4.1.1การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

ผลจากการวิเคราะห์ทางเคมี น้ำเสียทั่วไปจากกระบวนผลิตสกัดน้ำมันปาล์ม มีค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) เท่ากับ 61,000 mg/lค่าบีโอดี (Biological Oxygen Demand; BOD) เท่ากับ 29,798 mg/l ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN) เท่ากับ 550 mg/l ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน เท่ากับ 2.75 mg/l ค่าน้ำมันและไขมัน (Grease and oil) เท่ากับ 970 mg/l ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids; TS) เท่ากับ 20,010 mg/l ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS) เท่ากับ 16,250 mg/l ค่ากรดไขมันอิสระ (Volatile Fatty Acid; VFA) เท่ากับ 5,288 mg/l และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 4.6

น้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) เท่ากับ 74,750 mg/l ค่าบีโอดี (Biological Oxygen Demand; BOD) เท่ากับ 31,339 mg/l ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN) เท่ากับ 325 mg/l ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน เท่ากับ 5.25 mg/l ค่าน้ำมันและไขมัน (Grease and oil) เท่ากับ 8,590 mg/l ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids; TS) เท่ากับ 96,320 mg/l ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS) เท่ากับ 91,240 mg/l ค่ากรดไขมันอิสระ (Volatile Fatty Acid; VFA) เท่ากับ 10,613 mg/l และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 4.9

กากตะกอนจุลินทรีย์มีลักษณะสีดำ มีแขวนลอยสีดำ ค่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ (Mixed Liquor Suspended Solids; MLSS) เท่ากับ 18,000 mg/l ค่า pH เท่ากับ 7.63

4.1.2 การศึกษาการหมักร่วมน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่อัตราส่วนต่าง ๆด้วยระบบแบบกะ (Batch)

ผลการทดลองกระบวนการหมักร่วมแบบกะ ที่อัตราส่วนการผสมต่าง ๆ ได้ใช้ระยะเวลาในการหมัก 10 วัน จึงสิ้นสุดกระบวนการหมัก พบว่าชุดทดลองที่ 7 ซึ่งเป็นอัตราส่วนการผสมของ POME+50%seed+5%น้ำหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและมีเทนสะสมมากที่สุด คือ 390 ml/lและ 297 ml/lตามลำดับ

4.1.3 การศึกษาการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่ระยะเวลากักเก็บต่าง ๆด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและปริมาณสะสม เกิดขึ้นที่สภาวะการหมักร่วมระหว่าง POME+50%seed+5%น้ำบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่ระยะเวลากักเก็บ 30, 25, 20, 24 และ 7 วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 15,024 18,679 11,896 8,120 และ 6,974 mlตามลำดับและปริมาณมีเทนสะสม 4,893 6,778 2,946 1,210 และ 251 ml ตามลำดับ ซึ่งที่ระยะเวลาการกักเก็บ 25 วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและปริมาณมีเทนสะสมมากกว่า ที่ระยะเวลากักเก็บอื่นๆ ตลอดการทดลองทั้งหมด 30 วัน

4.1.4 การวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนที่เหลือจากการหมัก

คุณสมบัติของกากตะกอน มีค่า อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) เท่ากับ 19.17% ค่า ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) เท่ากับ 2.62% ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5) เท่ากับ 2.80% ค่าโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) เท่ากับ 11.32% อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 7.0 และ ค่าความชื้น เท่ากับ 28.55%

4.1.5 การประเมินความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

จากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สรุปได้ว่า การนำน้ำเสียทะลายเปล่าปาล์มหมักร่วมน้ำเสียทั่วไปของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่สูง เมื่อพิจารณาจาก มูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ โดยมีค่าเท่ากับ 586,430,450 บาท และ 79.34% ตามลำดับ

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ เพื่อลดภาระในการบำบัดน้ำเสียและเพื่อศักยภาพในการผลิตมีเทนที่เพิ่มขึ้นโดยการกำจัดไขมันที่อยู่ในน้ำเสียจากการบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำ เพราะไขมันเป็นสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยได้ยาก และหากมีปริมาณไขมันจนมากเกิน อาจก่อให้เกิดปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในปริมาณที่มาก สามารถทำให้ พีเอช ในระบบลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์

4.2.2 ถังหมักที่ใช้สำหรับการทดลองการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง ควรออกให้มีระบบการกวนที่สมบูรณ์โดยใช้ใบพัด เนื่องจากมีปริมาณตะกอนและไขมันในวัสดุมาก จึงต้องมีการกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวมากที่สุด

บรรณานุกรม

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2549). ปาล์มน้ำมัน...จากน้ำมันพืชถึงไบโอดีเซล. ค้นเมื่อ10 สิงหาคม 2549, จาก http://www.doa.go.th

เกรียงศักดิ์ อุดม สินโรจน์. (2543). วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย (Wastewater Engineering) เล่มที่ 4. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ มิตรนราการพิมพ์: กรุงเทพ

โกสินทร์ นิลรัตน์, (2556). การผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุอินทรีย์ทางการเกษตรผสมร่วมกับมูลสุกร. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

กูนูรหายาม ยามิรูเด็ง. (2551). การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้วิธีโอโซเนชัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดตรัง. (2556). โครงการเพิ่มผลผลิตปาล์มน้ำมัน.

จารุวรรณี เรืองคง. (2551). การศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกระบวนการผลิตไบโอดีเซล.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จิรวัฒน์ ชาลีวรรณ. (2546). ผลของระยะเวลาเก็บกักต่อการเกิดก๊าซชีวภาพในการหมักแบบไร้ออกซิเจนอัตราการย่อยสูงของวัสดุเหลือทิ้ง จากอุตสาหกรรมผลไม้บรรจุกระป๋อง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทลัยเชียงใหม่.

เฉลิมเดช ณ ลำพูน. (2553). การศึกษาผลของอัตราส่วนสารอาหารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เพริศพิชญ์ คณาธารณา. (2541). การศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียจากโรงอบ/รมยาง. รายงานวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

ภานุพงศ์บางรักษ์. (2548). การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผสมน้ำหนักของ *Rhodobactercapsulatus* SS3 และการใช้ในการปลูกผักบุ้งและต้นหอม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. (2542). เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 2. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. (2551). *วิชาปาล์มน้ำมัน*.ค้นเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2551, จาก http://www.it.doa.go.th/palm/index.html.

สมฤดี ฤทธิ์ยากุล. (2551). ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และผลพลอยได้จากการหมักมูลสุกรร่วมกับสาหร่ายหนามจากทะเลสาบสงขลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2552). ระบบบำบัดน้ำเสีย การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุมและการแก้ปัญหา. สำนักพิมพ์ท้อป. กรุงเทพ.

สิริมา เถกิงวงศ์ตระกูล และสุชาดา สุวรรณสะอาด. (2552). การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียร่วมกับวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. โครงงานวิจัยคณะอุตสาหกรรมเกษตร.

ธัชกร ผลพันธิน และ ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ.(2013). การศึกษาการใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซจากน้ำเสียอุตสาหกรรม. *วารสารสมาคมส่งเสริมการวิจัย* 4(1). 13-24.

ธีระพงศ์ จันทรนิยม.(2551). กระบวนการไร้ของเสียในอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม. *วารสารหาดใหญ่วิชาการ*6(2). 159-164

นิพนธ์ พิสุทธิ์ไพศาล.(2550). การสกัดก๊าซไฮโดรเจนและมีเทนจากน้ำเสีย โดยวิธีชีวภาพโดยใช้ Upflow Anaerobic Sludge Blanket แบบสองขั้นตอน.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.กรุงเทพฯ

บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด. (2556). รายงานการจัดการของเสียในโรงงานอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน.

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล, อรัญ หันพงศ์กิตติกุล และวีระศักดิ์ ทองลิมป์. (2533). กระบวนการผลิตการใช้ประโยชน์วัสดุเศษเหลือทิ้งและคุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. ว.สงขลานครินทร์ 12(12) : 169-176.

รณชัย ไชยศรี, ปิยะรัตน์ พูนสุขและสุเมธ ไชยประพัทธ์. (2550). ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการสร้างกรดไขมันระเหยง่ายและการผลิตมีเทนจากการบำบัดน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบไร้อากาศในถังปฏิกรณ์ UASB และ UFAF. *วารสารสงขลานครินทร์ วทท.*พฤษภาคม 2550 ฉบับพิเศษ 2 : 311-323.

วิศวกรรมศาสตร์แห่งประเทศไทย, สมาคม และ World Environmental Center. (2535). คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วธิดา คะนะแนม. (2552). ผลของมูลไก่ กากตะกอนดีแคนเตอร์ และดินแดงในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายปาล์มเปล่าน้ำมัน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อรัญ หันพงศ์กิตติกูล, พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, กัลยา ศรีสุวรรณ, เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล และวีระศักดิ์ ทองลิมป์. (2537). การลดการสูญเสียน้ำมันในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม. เอกสารประกอบการประชุมสัมมนา สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

APHA, (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22st ed. APHA Washington DC

Archer, D.B., and KirsopB.H. (1991). The microbiolology and control of an anaerobic digestion. In A.W., ed. *Anaerobic Digestion*: *A Waste Treatment Technology*. Elsevier Applied Science Publisher, London.49-91

Angelidaki, I., and Ellegaard, L. (2003). Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants status and future trends. ApplBiochem Biotech 109: 95-105.

Azali, A., Nasrin, A. B., Choo, Y. M., Adam, N.M., and Sapuan, S.M. (2005). Development of gasification system fuelled with oil palm fibers and shells. Am J Applied Sci. 72-75.

Bolzonella, D., Battistoni, P., Susini, C., and Cecchi, F. (2006). Anaerobic co-digestion of waste activated sludge and OFMSW: the experiences of Viareggio and Treviso plants (Italy). Water Sci Technol. 53: 203-211.

Chavalparit, O., and Rulkens W.H.(2006). Option for environmental sustainability of the crude palm oil industry in Thailand through enhancement of industrial ecosystems. Environment. 8: 271-287.

Fezzani, B., and BenCheikh, R. (2008). Optimisation of the mesophilic anaerobic co-digestion of olive mill wastewater with olive mill solid waste in a batch digestion. Desalination. 228: 159-167.

Gray, N.F. (1981). Biological of Wastewater Treatment. Oxford Science Publication. New York.

Kim, M., Ahn, Y.H., and Speece, R.E.,(2002). Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion; mesophilicvsthermophilic. *Water Research* 36(17) : 4369-4385.

Lam M.K.,and Lee, K.T. (2011). Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME): win- win strategies toward better environmental protection. Biotechnology Advances; 29:124-41.

Lui X., Ruying L., Min J.,and Li H. (2013). Hydrogen and methane production by co-digestion of waste activatedsludge and food waste in the two-stage fermentation process: Substrateconversion and energy yield. Bioresource Technology 146 (2013) 317–323.

Metcalf and Eddy. (2004). Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse. New York.

ZulkhairiM,.Yosoff M,.AiniN., Rahman A., Suraini AA., Chong M.L., Hassan M.and Yoshihito S. (2010). The Effect of Hydraulic Retention Time and Volatile Fatty Acids on Biohydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent under Non-Sterile Condition. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 4(4). 577-587.

Montusiewicz, A.Lebiocka, M. (2011). Co-digestion of intermediate landfill leachate and sewage sludge as a method of leachate utilization. Bioresource Technol. 74:3-16.

Poh, PE. Chong, MF. (2010). Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent treatment (POME). Bioresource Technology. 100:1-9.

Prasertsan, S. Prasertsan, P. (1996). Biomass residues from palm oil mills in Thailand: An overview on quantity and potential usage. Biomass and Bioenergy.11(5):387-395.

Rattanapan, C.Suksaroj, TT.Kantachote, D.Rakkamond, T.Katemai, W. (2012). Potential from Biogas Production for Co-digastion of Domestic Wastewater and Food

Waste: In Proceeding of International environment and health conference at Vistana Hotel, Penang, Malaysia. June: 6-7.

Saletes, S., Caliman, J.P. and Raham, D. (2004). Study of mineral nutrient losses from oil palm empty fruit bunches during temporary storage. J. Oil Palm Research 16(1): 11-21.

Sterling Jr., Lacey, R.E., Engler, C.R. and Ricke, S.C.. (2001). Effects of ammonia nitrogen on H_2 and CH_4 Production during anaerobic digestion of dairy cattle manure. Bioresource Technology. 77:9-18

Sompong, O., Kanokwan, B.,andIrini, A. (2012). Thermophilic anaerobic co-digestion of oil palm empty fruit bunches with palm oil mill effluent for efficient biogas production Applied Energy. 93: 648-654.

Henze, M., Harremoes, Jes, P., Jansen, L.C., and Arvin, E. (1997). Wastewater Treatment, Biological and Chemical Processes", 2nd Edition, ,*Springer*, Berlin, Germany.

Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. ApplMicrobiolBiotechnol 2010; 85: 849-60.

Wen, C., Huang, X., and Qian, Y. (1999). Domestic wastewater treatment using an anaerobic bioreactor coupled with membrane filtration. *Process Biochemistry*. (35): 335-340.

Wu, T.Y., Mohammad, A.W., Jahhim, J.M., Anuar, N. (2007). Pollution control technologies for the treatment of palm oil mill effluent (POME) through end-of-pipe processes. J Environ Manage. 91: 1467-90.

Yilmazer, G., and Yenigum, O., (1999). Two-phase anaerobic treatment of cheese whey. *Water Science and Technolygy*. 40 (1): 289-295.

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

1. การวิเคราะห์หา COD แบบ Close Reflux, Titrimetric Method

ค่า COD หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการ เพื่อใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยที่สารอินทรีย์เกือบทั้งหมด (95-100%) จะถูกออกซิไดส์ โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรง (Strong oxidizing agent) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดทดลองชนิด borosilicate ขนาด 25×150 mm พร้อมจุก TFE
2. ที่ใส่หลอดทดลอง
3. เตาย่อย COD ที่อุณหภูมิ 150 ± 2°C
4. ปิเปตขนาด 1 และ 10 mL
5. บิวเรตขนาด 50 mL
6. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL

สารเคมี

1. สารละลาย digestion reagent

   ละลาย $K_2Cr_2O_7$ 4.913 g ซึ่งอบแห้งที่ 103 °C เป็นเวลา 2 ชม. ในน้ำกลั่น 500 mL ค่อยๆ เติม conc. H_2SO_4 167 mL เติม $HgSO_4$ลงไป 33.3 g คนให้ละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 L ด้วยน้ำกลั่น
2. กรด sulfuric เข้มข้นที่ผสม $AgSO_4$ (Sulfuric Acid reagent)

   ละลาย $AgSO_4$ 22 g ใน Conc. H_2SO_4ซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 kg (2.5 L) แล้วตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ละลาย
3. สารละลายมาตรฐาน ferrous ammonium sulfate (FAS) 0.1 N

   ละลาย Fe $(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$ 39 g ในน้ำกลั่น แล้วเติม conc. H_2SO_4ลงไป 20 mL ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นลงไปจนครบปริมาตร 1 L สารละลายนี้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลาย digestion reagent ดังนี้ คือ เติมน้ำกลั่น 10 mL สารละลาย digestion reagent 14 mL จากนั้นใช้ปิเปตต่อยๆเติม Sulfuric Acid reagent ลงไป 14 mL ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลาย ferrous ammonium sulfate (FAS) โดยใช้ ferroinจำนวน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ

$$\text{Normality of FAS solution} = \frac{\text{ml } K_2Cr_2O_7 \times 0.10}{\text{ml Fe } (NH_4)_2(SO_4)_2}$$

4. สารละลาย ferroinอินดิเคเตอร์

   ละลาย 1-10 phenantroline monohydrate 1.485 g และ $FeSO_4$. $7H_2O$ 695 mg ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 100 mL

วิธีการทดลอง

1. ล้างหลอดแก้วทดลอง และฝาจุกด้วยกรด H_2SO_4 20% ก่อนเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์
2. ปิเปตตัวอย่างน้ำมา 10 mL ใส่ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม digestion reagent ลงไป 6 mL
3. ค่อยๆเติม กรด sulfuric เข้มข้นที่ผสม $AgSO_4$ลงไป 14 mL ให้ไหลลงก้นหลอดแก้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ใต้ชั้นของน้ำตัวอย่างและ digestion reagent

   หมายเหตุ ภายหลังการเติมกรดซัลฟุริก ให้สังเกตสีของตัวอย่างดังต่อไปนี้

   - ถ้าได้เป็นสีเขียว แสดงว่า ปริมาณ $K_2Cr_2O_7$เหลืออยู่มาก ใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างน้อยเกินไปต้องเพิ่มปริมาณน้ำตัวอย่างอีก
   - ถ้าได้สีเขียวอมเหลือง แสดงว่าปริมาณน้ำตัวอย่างเหมาะสม สามารถนำตัวอย่างไปรีฟลักซ์ได้
   - ถ้าได้สีเขียวอมฟ้า แสดงว่าปริมาณน้ำตัวอย่างมากเกินไป ต้องทำการเจือจางน้ำตัวอย่างให้มีความเข้มข้นน้อยกว่านี้

   โดยจะใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำตัวอย่าง : น้ำกลั่น เท่าไหร่ก็ได้ แต่ผลรวมของปริมาตรน้ำตัวอย่าง ต้องเท่ากับ 10 mL
4. ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่น แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลายๆ ครั้งอย่างทั่วถึงก่อนจะนำตัวอย่างไป รีฟลักซ์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสะสมอยู่ที่ก้นหลอด ซึ่งอาจแตกได้ขณะทำการรีฟลักซ์
5. ให้ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่างด้วยวิธีการทดลองเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ประมาณ 1-2 หลอด
6. นำหลอดแก้วทั้งหมดที่ใส่น้ำตัวอย่างและ Blank วางบนที่ตั้งหลอดทดลอง แล้วเข้าเตาอบที่ทำให้อุณหภูมิถึง 150 ± 2 °C ก่อนหน้านี้แล้ว เมื่อครบเวลา 2 ชม. ให้นำตัวอย่างออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งเย็น
7. เทตัวอย่างจากหลอดไส่ลงในขวดชมพู่ แล้วไทเทรตกับสารละลาย FAS จนกระทั่งถึงจุดยุติจะเห็นการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ อ่านปริมาตรที่ไทเทรตตอนเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแดงทันที

   การคำนวณ $$\text{COD, mg/L} = \frac{(a-b)\times N\times 8000}{\text{ml sample}}$$

a = ml ของ Fe $(NH_4)_2(SO_4)_2$ที่ใช้ไทเทรต Blank

b = ml ของ Fe $(NH_4)_2(SO_4)_2$ที่ใช้ไทเทรต น้ำตัวอย่าง

N = Normality ของ Fe $(NH_4)_2(SO_4)_2$ที่ใช้

ตารางที่ ก-1 แสดงปริมาณของตัวอย่างน้ำและ Reagent ต่างๆ ในหลอดทดลอง

Digestion vessel	Sample (ml)	Digestion solution (ml)	H_2SO_4 reagent (ml)	Total final volume (ml)
Culture Tube :				
16 × 100 mm	2.5	1.5	3.5	7.5
20 × 150 mm	5.0	3.0	7.0	15.0
25 × 150 mm	10.0	14.0	14.0	30.0
Standard 10 ml sample	2.5	1.5	3.5	7.5

2. การวิเคราะห์ของแข็งในน้ำ

Solids หมายถึง สิ่งเจือปนในน้ำที่เหลืออยู่เมื่อระเหยน้ำออกจนหมด ไม่รวมถึงสารบางอย่างที่ระเหยไปกับน้ำ เช่น กรดอินทรีย์และกรดต่างๆที่ละลายในน้ำ สิ่งเจือปนที่เหลือเป็นของแข็งนี้มีสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งอาจจะละลายในน้ำหรือไม่ก็ได้ การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งในน้ำทำได้โดยการชั่งน้ำหนัก (gravimetric method) แล้วรายงานผลในรูปน้ำหนักสารต่อปริมาตรของน้ำตัวอย่าง

Total Solids (TS) คือ สิ่งที่เหลืออยู่ภายหลังการระเหยน้ำออกจนหมดและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C TS อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดตามลักษณะการละลาย คือ

1) Dissolved Solids (DS) หมายถึง ส่วนที่ละลายได้ในน้ำ ซึ่งส่วนมากได้แก่ กรดอนิน-ทรีย์ เช่น NaCl และสารอินทรีย์บางอย่าง เช่น น้ำตาล
2) Insoluble Solids หมายถึง ส่วนที่ไม่ละลายในน้ำ แบ่งเป็น 2 ชนิดตามขนาดของชิ้นส่วนที่
ไม่ละลาย คือ
   - Suspended Solids (SS) หมายถึง ส่วนที่ไม่ละลายในน้ำแต่มีขนาดเล็กพอที่จะแขวนลอย (suspend) อยู่ในน้ำได้ หาได้โดยการกรองตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษ

กรองใยแก้ว (glass fiber filter, GF/C) แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C

- Settleable Solids หมายถึง ตะกอนที่มีขนาดใหญ่และมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำจะตกตะกอนรวมกันที่ส่วนล่างเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก หาได้โดยนำน้ำตัวอย่างมาใส่ใน ภาชนะที่เรียกว่า Imhoff cone หรือ กระบอกตวงขนาด 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 ชม. แล้วอ่าน ปริมาตรของตะกอนที่ตกลงมา มีหน่วยเป็น มล./ลิตร

Volatile Solids (VS) and Fixed Solids (FS) หมายถึง ของแข็งที่สลายไปเมื่อเผาที่อุณหภูมิ
550-600 °C ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบอินทรีย์กลายเป็น CO_2และ H_2O ในขณะที่สารอนอนทรีย์ส่วนใหญ่จะไม่เกิดการแยกสลายที่อุณหภูมิดังกล่าว ดังนั้นน้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของสารอินทรีย์ ส่วนตะกอนที่เหลือคือของแข็งคงตัวซึ่งเป็นสารอนินทรีย์

การวิเคราะห์ของแข็งไม่ว่าจะอยู่ในรูปใดจะใช้วิธี gravimetric คือการชั่งน้ำหนักหลังจากทำให้แห้งแล้ว ดังนั้นภาชนะก่อนที่จะนำมาใช้จะต้องแห้ง ปราศจากฝุ่นละอองหรือความชื้น โดยจะต้องนำภาชนะไปทำให้แห้งในตู้อบ (oven) ที่อุณหภูมิ 180 °C ประมาณ 2 ชม. นำมาทิ้งให้เย็นใน dessicator แล้วจึงชั่งน้ำหนัก หลังการชั่งน้ำหนักครั้งที่ 1 แล้วภาชนะควรจะมีน้ำหนักคงที่ ถ้าน้ำหนักเปลี่ยนแปลงให้นำภาชนะไปอบจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ สำหรับตัวอย่างที่ต้องการหา volatile solids ต้องนำภาชนะที่ใช้ไปเผาที่อุณหภูมิ 550±50°C ในเตาเผา (muffle furnace) 1 ชม. เมื่อทำให้เย็นใน dessicator แล้วจึงจะนำมาใช้ได้

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ถ้วยกระเบื้อง (evaporating dish)
2. อ่างไอน้ำ (water bath)
3. กระดาษกรองใยแก้ว GF/C ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 mm
4. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
5. ตู้อบแห้ง
6. ตู้ดูดความชื้น
7. เครื่องดูดพร้อมปั๊มดูดอากาศ
8. Bucher’s funnel

วิธีวิเคราะห์

Total Solids (TS)

1. นำถ้วยกระเบื้องที่มีน้ำหนักคงที่แล้วจาก dessicator มาชั่ง สมมติให้น้ำหนัก = A

2. คนตัวอย่างน้ำให้เข้ากันดีแล้วตวงโดยใช้กระบอกตวง 100-200 มล. (ปริมาตรที่ใช้ขึ้นกับปริมาณของแข็งในน้ำ) ใส่ในถ้วยกระเบื้องข้อ 1 นำไประเหยบนอ่างไอน้ำจนแห้ง
3. นำถ้วยกระเบื้องที่ระเหยน้ำแห้งแล้วไปใส่ในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 103-105 °C เพื่อไล่ความชื้นนานประมาณ 1 ชม. แล้วนำไปทำให้เย็นใน desiccator
4. เมื่อเย็นแล้วจึงนำมาชั่ง สมมติ = B

$$\text{TS, mg/l} = \frac{(B-A)\times 10^6}{\text{ml sample}}$$

Suspended Solids (TSS)

1. นำกระดาษกรอง GF/C มาชั่งโดยเครื่องชั่งละเอียด สมมติได้น้ำหนัก = C กรัม นำไปวางบน evaporating dish หรือ petridish ก็ได้
2. วางกระดาษกรองลงบน Buchner's funnel ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศโดยใช้ปากคีบที่สะอาดใช้ น้ำกลั่นฉีดบนกระดาษกรองให้ทั่ว แล้วเปิดปั๊มดูดอากาศเพื่อให้กระดาษกรองแนบสนิทดีกับกรวย
3. ปิเปตตัวอย่างน้ำ 50-100 mL (ปริมาตรที่ใช้ขึ้นกับของแข็งแขวนลอยในน้ำ) ใส่ไปบนกระดาษกรอง ทีละน้อยพร้อมกับเปิดปั๊มดูดอากาศ พยายามให้ของแข็งกระจายไปทั่วๆ กระดาษกรอง
4. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่ข้างกรวยจนหมดและรอจนกว่าจะแห้งแล้วใช้ปากคีบค่อยๆหยิบกระดาษกรองออกนำไปวางบนภาชนะที่ใส่เดิม
5. นำไปอบให้แห้งในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 103-105 °C นานประมาณ 1 ชม. ทำให้เย็นใน dessicator แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก สมมติได้ = D

$$\text{SS, mg/l} = \frac{(D-C) \times 10^6}{\text{ml sample}}$$

Dissolved Solids (DS)

สามารถหาได้โดย การคำนวณ DS = TS – TSS

Total Volatile Solids (TVS)

1. นำถ้วยกระเบื้องหลังจากหา TS แล้วมาเผาใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550°C จนได้เป็นเถ้าสีขาว ลดอุณหภูมิของถ้วยกระเบื้องลงโดยนำออกจากเตาเผาไปใส่ในตู้อบก่อนแล้วจึงนำไปทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้น
   นำไปชั่งน้ำหนักสมมติได้ = E

$$\text{TVS, mg/l} = \frac{(B\text{-}E) \times 10^6}{\text{ml sample}}$$

$$\text{FS, mg/l} = TS - TVS$$

3. กรดไขมันระเหยง่ายและความเป็นด่าง (VFA and Alkalinity)

โดยวิธี Titration Method

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดพีเอช
2. บิวเรต25 ml
3. เตาไฟฟ้าและเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Hot plate and stirrer)
4. บีกเกอร์10 ml

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟิวริก 0.02 N
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 002 N

วิธีวิเคราะห์

1. นำน้ำตัวอย่าง 50 ml ที่ผ่านการเหวี่ยง centrifuge รินเฉพาะส่วนใส ตวงใส่บีกเกอร์ใบละ 50 ml
2. นำมาไทเทรตด้วยกรดซัลฟิวริก 0.02 N จนมีพีเอช เท่ากับ 4.5 บันทึกปริมาตรที่ใช้แล้วไทเทรตต่อเท่ากับพีเอชเป็น 3
3. นำไปต้มให้เดือด ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.02 N จนพีเอช เท่ากับ 4 จดปริมาตรเริ่มต้น ไทเทรตต่อจนพีเอชเท่ากับ 7 จดปริมาตรสิ้นสุด

การคำนวณ $\text{VFA (mg } CaCO_3\text{/L)} = \frac{A \times N \times 50{,}000}{\text{mlของตัวอย่างน้ำ}}$

เมื่อ A = ml ของ NaOH ที่ใช้

N = normality ของ NaOH

การคำนวณ $\text{Alkalinity, mg/l } CaCO_3 = \frac{A \times N \times 50{,}000}{\text{mlของตัวอย่างน้ำ}}$

เมื่อ A = ml ของกรดมาตรฐานที่ใช้

N = normality ของกรดมาตรฐาน

4. การวิเคราะห์ Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)

ไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์โปรตีน หากพบว่าไนโตรเจนในแหล่งน้ำมากเกินไปอาจทำให้เกิดปัญหา Euthrophication ซึ่งมีพืชน้ำมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เกิดปัญหามลพิษทางน้ำตามมา ปริมาณไนโตรเจนที่พบในน้ำ มีอยู่หลายแบบ ได้แก่ ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen) ไนโตรเจนที่อยู่ในอินทรีย์หรือออร์แกนิก-ไนโตรเจน (Organic Nitrogen) ไนไตรท์-ไนโตรเจน (Nitrate-nitrogen) และก๊าซไนโตรเจน (N_2)

TKN หมายถึง ผลบวกระหว่าง Organic Nitrogen และ Ammonia Nitrogen (TKN=NH_3-N+Organic N) ที่มีอยู่ในโปรตีนของพืชหรือสัตว์ หรือที่เกิดจากกระบวนการสิ่งมีชีวิต เช่น เกิดจากการขับถ่ายของเสีย โดยในปัสสาวะจะยูเรีย ซึ่งยูเรียจะมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย เป็นต้น การวิเคราะห์ไนโตรเจนด้วย วิธี Kjeldahl Method จะได้ผลรวมของ Organic Nitrogen และ Ammonia Nitrogen โดยหากต้องการปริมาณของ Organic Nitrogen เพียงอย่างเดียวต้องทำ การวิเคราะห์แอมโมเนียออกไปจากตัวอย่างของน้ำ แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ซึ่งค่าที่ได้นี้จะเป็นปริมาณ Organic Nitrogen

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดเครื่องย่อยสลาย (digestion apparatus) ประกอบด้วย Kjeldahl Method ขนาด 800 ml และอุปกรณ์ทำความร้อนที่ให้ความร้อนได้ถึง 365-370°C (การ digestion ต้องทำในตู้ที่ดูดควันที่มีอุปกรณ์สำหรับดักไอกรนที่เกิดขึ้นจากการ digestion)
2. ชุดเครื่องกลั่นหา แอมโมเนีย (ammonia)
3. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flasks)
4. ปิเปต(pipets)
5. กระบอกตวง (Cylinder)
6. ขดรูปชมพู่ (flask)

สารเคมี

1. น้ำกลั่นที่ปราศจาก แอมโมเนีย (ammonia)
2. สารละลายผสมอินดิเคเตอร์(indicator)

ชั่งสาร Methyl red มา 200 mg นำมาละลายใน ethyl alcohol 95% จำนวน 100 ml ชั่งสาร Methyl blue มา 100 mg นำมาละลายใน ethyl alcohol 95% จำนวน 50 ml นำสารละลายผสมให้เข้ากันสารละลายผสมนี้มีอายุ การใช้งาน 1 เดือน

3. สารละลายIndicating Boric Acid

ชั่งสาร boric acid (H_3BO_3) จำนวน 20 g ในน้ำกลั่น เติมสารละลายผสม Indicator จำนวน 10 ml แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

4. กรด H_2SO_4เข้มข้น

5. สาร Potassium Sulfate (K_2SO_4)

6. สารละลาย Copper Sulfate ($CuSO_4$)

ชั่งสาร $CuSO_4$ จำนวน 25.115 g นำมาละลายในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

7. สารละลาย Sodium Hydroxide (NaOH) + Sodium thiosulfate ($Na_2S_2O_3$)

นำสาร NaOH จำนวน 500 g และ $Na_2S_2O_3$จำนวน 25 g ละลายในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

8. สารละลาย Glutamic acid (1,000 mg/l = 95.14 mg N/l)

อบสาร Glutamic acid ที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ชั่งสารมา 1.000 g ใส่ใน volumetric flask ขนาด 1 L เติมน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 ml สารละลายนี้เก็บไว้ในตู้เย็นได้นาน 3 สัปดาห์

9. สารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 1 N

นำกรด H_2SO_4เข้มข้น มา 28 ml เจือจางให้ได้ 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่น

10. สารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 0.02 N

นำสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 1 N มา 20 ml เจือจางให้ได้ 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่น

การ Standardize สารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 0.02 N

1. เตรียมสารละลายมาตรฐาน Sodium Carbonate โดยอบสาร Na_2CO_3ที่ 250°C เป็นเวลา 4 ชม. นำมา 0.025 g เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 ml สารละลายนี้เก็บได้นาน 1 สัปดาห์

2. นำสารละลาย Sodium Carbonate ที่เตรียมได้มา 10 ml เจือจางให้ได้ 200 ml ด้วยน้ำกลั่น

3. เติมสารละลาย Indicating Boric Acid จำนวน 50 ml แล้วนำไป ไตรเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 0.02 N

11. สารละลาย Borate Buffer

นำสารละลาย 0.025 M $Na_2B_4O_7$ (9.5 g ของ $Na_2B_4O_7 \times 10H_2O$/L) มา 500 ml เติม 0.1 N NaOHจำนวน 88 ml แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 ml

การเตรียมเครื่องมือกลั่น

1. นำ Kjeldahl Flask ขนาด 800 ml เติมเม็ดบีทประมาณ 5-7 เม็ด

2. นำน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย 500 ml

3. เติมสารละลาย Borate Buffer 20 ml แล้วปรับ pH ให้ได้ 9.5 ด้วยสารละลาย NaOH 6 N

4. นำไปกลั่นล้างชุดกลั่นจนกระทั่งปราศจาก Ammonia

5. ปล่อยให้ Kjeldahl Flask คงสภาพเดิมหลังจากกลั่นเสร็จแล้วจนกว่าจะเริ่มทำการกลั่นตัวอย่างจึงถอด Kjeldahl Flask ออกและเปลี่ยน Kjeldahl Flask ที่มีตัวอย่างแทนที่

ขั้นตอนการวิเคราะห์

การเตรียมตัวอย่าง

1. ใส่ glass beads 3-4 เม็ด ลงใน Kjeldahl Flask ขนาด 800 ml แล้วเติมสาร K_2SO_4ปริมาณ 6.7 g

2. เติมตัวอย่างในปริมาณที่เหมาะสมตามตารางข้างล่าง

ตาราง ก-2 ปริมาณตัวอย่างที่ต้องใช้

อินทรีย์ไนโตรเจนในตัวอย่าง (mL/L)	ปริมาณตัวอย่าง (mL)
0-1	500
1-10	250
10-20	100
20-50	50
50-100	25

3. เจือจางน้ำตัวอย่างให้ได้ 300 mL

4. เติมสารละลาย $CuSO_4$ 10 mL

5. เติมกรด H_2SO_4เข้มข้น 10 mL เขย่า Kjeldahl Flask ให้สารเข้ากัน

6. นำไปต้มให้เหลือปริมาตรประมาณ 10-20 mL ในการต้มเมื่อน้ำระเหยไปหมดแล้วจะมีควันขาวขุ่นเกิดขึ้นให้ต้มต่อไปอีก 30 นาที ตัวอย่างที่มีสีขุ่นจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อนหรือใสจึงปิดเตาทิ้งให้เย็น

7. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 300 mL

8. เติมสารละลาย NaOH-$Na_2S_2O_3$จำนวน 50 mL

9. นำ Kjeldahl Flask ที่มีตัวอย่างไปประกอบกับชุดกลั่น แกว่งขวดให้สารละลายเข้ากัน กลั่นโดยเก็บน้ำส่วนที่กลั่นได้อย่างน้อย 200 mL ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 mL ซึ่งมีสารละลาย Indicating Boric Acid อยู่ 50 mL รวมปริมาตรทั้งหมดที่จะได้เป็น 250 mL และให้ปลายของแท่งแก้วที่นำน้ำที่กลั่นได้ จุ่มอยู่ในสารละลาย Indicating Boric Acid

10. นำส่วนที่กลั่นได้ไป ไตรเตรท (titrate) หาค่า Ammonia ด้วยสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4จนกระทั่งสีเปลี่ยนเป็นสีม่วงอ่อน โดยใช้น้ำกลั่น 200 mL ผสมกับ Indicating Boric Acid อยู่ 50 mL เป็นตัวเทียบสีจุดสิ้นสุด

11. ให้ทำ Blank โดยใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่างและวิเคราะห์เหมือนกับตัวอย่างทุกขั้นตอน

การคำนวณ

$$\text{Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), mg/l} = \frac{(A-B)\times 14{,}000\times N}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง, mL}}$$

A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4ที่ใช้สำหรับตัวอย่าง (ml)

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4ที่ใช้สำหรับ Blank (ml)

C = Normality ของสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4

5. ปริมาณความชื้น (Moisture content)

หาปริมาณความชื้นเริ่มต้นโดยวิธีอบในตู้อบ 103-105°C

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เตาอบไฟฟ้า
2. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด
3. ถ้วยกระเบื้อง

วิธีการ

1. นำถ้วยกระเบื้องไปอบที่ 105 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปใส่ในตู้ดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น
2. ชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเริ่มต้น นำตัวอย่างมาใส่แล้วชั่งน้ำหนัก
3. นำไปอบที่ ประมาณ 24 ชั่วโมง
4. นำออกจากตู้อบ แล้วใส่ในตู้ดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่หายไป บันทึกผล
5. คำนวณหาความชื้นในตัวอย่าง

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน จากการหมักร่วมน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่อัตราส่วนต่างๆด้วยระบบแบบกะ (Batch)

เปอร์เซ็น seed สัดส่วนน้ำเสีย	35%						50%									75%							
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7	วันที่ 8	วันที่ 9	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7	วันที่ 8
POME	65	54	35	30	23	12	42	65	44	31	30	18	7	0	0	94	78	34	10	4	0	0	0
POME+2.5%น้ำบีบ	68	82	80	76	32	25	59	67	37	34	29	33	27	15	4	101	68	32	32	40	31	17	6
POME+5%น้ำบีบ	58	69	49	24	27	17	75	83	51	42	32	32	39	25	11	112	44	51	42	39	21	12	4
POME+10%น้ำบีบ	89	76	66	44	11	9	53	68	44	21	14	0	0	0	0	98	73	49	16	22	23	11	8

ตารางภาคผนวกที่ 2 เปอร์เซ็นต์มีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน จากการหมักร่วมน้ำเสียทั่วไปจากกระบวนการผลิตสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำเสียจากบีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่อัตราส่วนต่างๆด้วยระบบแบบกะ (Batch)

เปอร์เซ็น seed สัดส่วนน้ำเสีย	35%						50%									75%							
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7	วันที่ 8	วันที่ 9	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7	วันที่ 8
POME	34	63	70	74	89	82	55	82	70	71	81	85	82	0	0	49	66	57	55	66	0	0	0
POME+2.5%น้ำบีบ	28	52	67	68	84	70	56	80	86	74	76	72	73	70	71	67	68	74	75	78	75	73	71
POME+5%น้ำบีบ	32	43	76	79	91	79	58	86	73	78	78	85	86	72	75	57	62	67	76	72	76	74	70
POME+10%น้ำบีบ	30	56	56	78	82	76	45	76	80	78	82	0	0	0	0	67	73	67	81	79	70	71	72

ตารางภาคผนวกที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแบบกะก่อนกระบวนการหมักและสิ้นสุดกระบวนการหมัก เปอร์เซ็นหัวเชื้อเริ่มต้น ที่ 35%

Parameter	POME+35%seed (control)		POME+35%seed+2.5%น้ำบีบ		POME+35%seed+5%น้ำบีบ		POME+35%seed+10%น้ำบีบ	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
pH	7.07	8.30	7.04	8.66	7.04	8.67	7.07	8.77
COD, mg/l	43,444	42,792	43,164	34,639	49,780	31,838	63,383	57,373
SS, mg/l	26,000	16,830	28,870	17,450	24,640	14,120	25,850	17,480
TS, mg/l	45,384	29,788	37,516	35,544	38,584	33,600	50,704	38,728
VS, mg/l	16,124	15,132	20,228	18,004	22,412	17,336	17,256	16,280
Alkalinity, mg/l	4,800	5,000	6,400	8,600	5,600	7,000	6,600	8,200
VFA, mg $CaCO_3$/l	1,900	680	2,160	400	2,280	640	23,00	1,160
NH_3-N, mg/l	169	260	125	265	180	295	124	255
TKN, mg/l	309	465	304	464	368	445	305	432

ตารางภาคผนวกที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแบบกะก่อนกระบวนการหมักและสิ้นสุดกระบวนการหมัก เปอร์เซ็นหัวเชื้อเริ่มต้น ที่ 50%

Parameter	POME+50%seed (control)		POME+50%seed+2.5%น้ำบีบ		POME+50%seed+5%น้ำบีบ		POME+50%seed+10%น้ำบีบ	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
pH	7.05	8.54	7.07	8.68	7.06	8.55	7.06	8.55
COD, mg/l	50,245	28,038	62,110	33,630	63,608	31,600	65,919	30,588
SS, mg/l	29,120	24,060	29,360	24,620	27,820	37,310	55,010	49,720
TS, mg/l	46,388	32,412	48,120	44,284	44,968	39,408	39,516	36,228
VS, mg/l	15,180	14,296	19,728	17,312	18,460	17,620	16,588	15,444
Alkalinity, mg/l	4,800	5,500	4,800	6,200	5,750	4,750	4,750	5,500
VFA, mg $CaCO_3$/l	1,260	250	1,300	380	1,200	325	1,100	300
NH_3-N, mg/l	240	355	227	338	231	336	221	312
TKN, mg/l	794	1,660	533	616	504	672	448	616

ตารางภาคผนวกที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแบบกะก่อนกระบวนการหมักและสิ้นสุดกระบวนการหมัก เปอร์เซ็นหัวเชื้อเริ่มต้น ที่ 75%

Parameter	POME+75%seed (control)		POME+75%seed+2.5%น้ำบีบ		POME+75%seed+5%น้ำบีบ		POME+75%seed+10%น้ำบีบ	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
pH	7.09	8.79	7.09	8.68	7.05	8.64	7.07	8.59
COD, mg/l	58,082	25,034	62,340	22,813	65,741	27,478	74,903	36,947
SS, mg/l	37,520	32,370	41,960	35,330	59,260	28,490	66,050	32,470
TS, mg/l	48,792	44,280	51,476	44,528	49,660	45,980	49,720	44,524
VS, mg/l	18,992	16,648	17,008	16,500	17,212	16,496	19,872	18,836
Alkalinity, mg/l	3,750	4,750	4,750	5,000	4,500	4,500	4,400	5,200
VFA, mg $CaCO_3$/l	1,425	450	850	200	525	250	500	240
NH_3-N, mg/l	252	266	289	390	305	395	315	379
TKN, mg/l	784	840	672	728	560	616	952	1,568

ตารางภาคผนวกที่ 6 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในแต่ละวัน ด้วยระบบกระบวนการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง ที่ระยะเวลาในการกักเก็บต่าง ๆ

ระยะเวลาในการกักเก็บ	ปริมาณก๊าซชีวภาพในแต่ละวัน												
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
HRT 7	1,176	888	720	384	408	360	456	432	486	312	384	288	216
HRT 14	744	840	672	456	624	1,128	960	580	480	580	312	192	120
HRT 20	672	792	880	1344	1680	840	720	672	576	552	624	504	432
HRT 25	1,008	912	816	816	960	2,232	2,088	1,536	1,368	1,142	1,080	840	760
HRT 30	768	1,008	1536	2,280	1,920	960	912	816	960	744	648	576	576

ตารางภาคผนวกที่ 6 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในแต่ละวัน ด้วยระบบกระบวนการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง ที่ระยะเวลาในการกักเก็บต่างๆ (ต่อ)

ระยะเวลาในการกักเก็บ	ปริมาณก๊าซชีวภาพในแต่ละวัน											
	14	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**
HRT 7	176	144	1,176	888	720	384	408	360	456	432	486	0
HRT 14	120	120	744	840	672	456	624	1,128	960	580	480	0
HRT 20	312	312	672	792	880	1344	1680	840	720	672	576	0
HRT 25	624	552	1,008	912	816	816	960	2,232	2,088	1,536	1,368	0
HRT 30	360	240	768	1,008	1536	2,280	1,920	960	912	816	960	0

ตารางภาคผนวกที่ 7 คุณภาพน้ำเสียหลังการหมักที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆด้วยระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

พารามิเตอร์	ก่อนกระบวนการหมัก	หลังกระบวนการหมัก				
		HRT 7	**HRT 14**	**HRT 20**	**HRT 25**	**HRT 30**
pH	7.1	5.18	7.42	7.80	8.24	8.25
COD (mg/L)	96,000	128,000	112,000	52,800	32,000	16,000
TKN (mg/L)	392	252	560	476	588	504
NH_3-N (mg/L)	252	280	224	280	392	392
TS (mg/L)	33,172	29,756	20,748	28,632	29,572	19,332
SS (mg/L)	28,305	17,703	17,970	11,616	20,686	19,508
VFA (mg/L)	3,500	5,900	5,100	4,900	3,400	3,100
Alkalinity (mg/L)	5,400	6,600	2,400	1,600	1,000	800
C:N	131:1	106:1	92:1	102:1	75:1	49:1

ประวัติผู้เขียน

ชื่อสกุล นางสาวกนกวรรณ เจียะรัตน์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5510920042

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยา)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2553

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

ทุนโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท ปี 2556
ทุนสนับสนุนงานวิจัยบัณฑิต จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

เผยแพร่ผลงานในการประชุมวิชาการ

KanokwanJearat., NutthatusCherypiew. andThunwadeeTachapattaworakulSuksaroj. 2014. Enhancing of Methane Production from Palm Oil Mill Effluent by Co-digestion with Empty Fruit Bunch Pressed Wastewater at mesophilic condition using an anaerobic batch reactor. Proceeding of Fifth TheIIER-Science plus International Conference, Singapore, 08th November 2014, ISBR: 978-93-84209-62-9.