การออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนและการประเมินการใช้งานในการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อกุ้ง

เฟื่องฟ้า มีโภคา

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
สิงหาคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ เฟื่องฟ้า มีโภคา ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ญาณิศา ละอองอุทัย)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ญาณิศา ละอองอุทัย)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันเช็ง สิทธิกิจโยธิน)

..... กรรมการ
(ดร. ศรีสุดา นิเทศน์ธรรม)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานพลังงานและสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)
วันที่ 9 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษางานนิพนธ์นี้เป็นผลสำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ในการสนับสนุนทั้งข้อมูล วิธีการจากบุคลากรหลายท่าน ซึ่งไม่อาจกล่าวถึงได้ทั้งหมด สำหรับบุคคลท่านแรกที่ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณ คือ อาจารย์นพรุจ เขียวนาค อาจารย์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลภาคตะวันออก ชลบุรี ที่อนุเคราะห์ให้คำปรึกษาแนะนำเกี่ยวกับข้อมูลเครื่องมือในการทำการวิเคราะห์และออกแบบชุดการทดลองตรวจวัดแก๊สชีวภาพ

ขอขอบพระคุณ คุณชูศักดิ์ หมื่นอินทร์กูด ที่ให้การอนุเคราะห์ในเรื่องของตัวอย่างตะกอนเลนจากฟาร์มกุ้งที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ญาณิศา ละอองอุทัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นที่ปรึกษางานนิพนธ์ ผู้ซึ่งให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการค้นคว้าข้อมูลที่ถูกต้องตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ส่งผลให้งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. ศรีสุดา นิเทศน์ธรรม และ รองศาสตราจารย์ ดร. วันเช็ง สิทธิกิจโยธิน คณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการคัดกรอง และแนะนำแก้ไขงานนิพนธ์ ทำให้งานนิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียนตลอดจนเพื่อนที่กรุณาให้ความช่วยเหลือให้กำลังใจและสนับสนุนในการทำงานนิพนธ์จนเสร็จสิ้นได้ด้วยดี

คุณค่าและคุณประโยชน์ของงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จตราบเท่าทุกวันนี้

เฟื่องฟ้า มีโภคา

56920952: สาขาวิชา: การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม; วศ.ม. (การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม)
คำสำคัญ: ถังหมักปฏิกรณ์ชีวภาพ/ ตะกอนเลนบ่อกุ้ง/ การหมักแบบกะ/ การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน/ แก๊สชีวภาพ

เฟื่องฟ้า มีโภคา: การออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนและการประเมินการใช้งานในการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อกุ้ง (BIOREACTOR DESIGNED FOR ANAEROBIC DIGESTION AND THE EVALUATION OF THIS DIGESTER FOR BIOGAS PRODUCTION FROM SHRIMP POND SEDIMENT.) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: ญาณิศา ละอองอุทัย, Ph. D., 110 หน้า. ปี พ.ศ. 2560

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพและประเมินการใช้งานในการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อกุ้งและศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อกุ้งโดยการหมักแบบไร้ออกซิเจน การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการหมักแบบกะในถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 35 และ 40 ลิตร โดยกำหนดให้มีอุณหภูมิ 3 สภาวะ คือ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส หมักจนเข้าสู่สภาวะคงที่ เก็บผลอย่างต่อเนื่อง (Real time) และทำการบันทึกค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณแก๊สชีวภาพ พบมีแก๊สชีวภาพสะสมเท่ากับ 1.9 7.2 และ 6.8 ลิตร มีปริมาณมีเทนร้อยละ 42.85 35.77 และ 40.17 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 7.3 6 และ 7.8 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าทั้ง 3 สภาวะที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการผลิตแก๊สชีวภาพและให้แก๊สชีวภาพในปริมาณที่สูง เนื่องจากมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วงที่เหมาะต่อการเจริญของเมทาโนเจนและยังสามารถลดปริมาณของสารอินทรีย์และปริมาณของแข็งจากตะกอนเลนบ่อกุ้งได้ การประเมินการผลิตแก๊สชีวภาพพบว่าสามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้ 201.6 หน่วย โดยคิดเป็นการจ่ายไฟให้กับเครื่องยนต์ขนาด 2 แรงม้า 1.5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ได้ 322.58 ชั่วโมง 13.44 วัน ใช้กับเครื่องยนต์เติมอากาศ 6 เครื่อง จะลดค่าใช้จ่ายได้ เป็นเงิน 633.47 บาทต่อเดือน 7,601.66 บาทต่อปี ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปใช้พิจารณาถึงอุปกรณ์/ ระบบในการผลิตแก๊สชีวภาพและรูปแบบการผลิตเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และประโยชน์การใช้งานในฟาร์มเลี้ยงกุ้งต่อไป

56920952: MAJOR: ENERGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT;
M.Eng. (ENERGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT)
KEYWORD: BIOREACTOR/ SHRIMP POND SEDIMENT/ BATCH/ ANAEROBIC/
BIOGAS

FHUANGPHA MEEPOKA: BIOREACTOR DESIGNED FOR ANAEROBIC DIGESTION AND THE EVALUATION OF THIS DIGESTER FOR BIOGAS PRODUCTION FROM SHRIMP POND SEDIMENT. ADVISORSY COMMITTEE: YANISA LAOONG-U-THAI, Ph. D., 110 P. 2018

This research objective was to design bioreactor for anaerobic digestion and to evaluate of this digester for biogas production of shrimp pond sediment by studied the effects of temperature on the amount of biogas. In this study, batch reactors were performed in different temperature in 35 and 40 litters reactor. Temperature, pH and biogas production rate were recorded and analyzed along with gas composition and chemical properties of shrimp pond sediment. Experiments were studied in three conditions including 27, 30 and 34°C Into a steady state. The results found that biogas accumulation was 1.9, 7.1 and 6.8 L while CH_4 percentage were 42.85, 35.77 and 40.17% with average pH at 7.3, 6 and 6.5 respectively. The 3^{th} condition (34°C) showed the most suitable for biogas production for shrimp pond sediment due to optimal pH value in the range suitable for the growth of methanogen and high biogas production rate, It can also reduce the amount of organic matter and solids from the sediment of shrimp pond sediment. The evaluation of biogas production has the potential to replace 201.6 units of sesame power. This means that the power supply for a 2 hp. 1.5 kWh engine is 322.58 hours (13.44 days). Use with 6 Aeration turbine, the cost can be reduced to 633.47 baht/ month or 7,601.66 baht/ year. The data from this study can be used to select the equipment/ system to produce biogas and production model to analyze possibility of economics and usefulness in shrimp farms.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

สมมติฐานของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 3

2 ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

ลักษณะและที่มาของตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้ง 4

แก๊สชีวภาพ 4

กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน 5

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ 10

ถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับจุลินทรีย์ 14

การเลี้ยงจุลินทรีย์แบบกะ 15

การใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวภาพ 16

กรณีศึกษาจากวรรณกรรม 17

3 ขั้นตอนการดำเนินงาน 20

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง 20

ขั้นตอนการดำเนินงาน 21

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการศึกษา	37
ถังหมักและชุดตรวจวัดปริมาณแก๊สที่ได้จากการออกแบบ	37
คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของตะกอนเลนบ่อกุ้งก่อนและหลังการทดลอง	40
ผลการศึกษาติดตามกระบวนการหมักแก๊สชีวภาพ	43
ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นและองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ	46
วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อกุ้ง	48
5 บทสรุป	53
สรุปผลการศึกษา	53
ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุง	54
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก	62
ภาคผนวก ข	90
ประวัติย่อของผู้วิจัย	110

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3-1 ตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการศึกษา 21

3-2 อัตราการทดแทนการใช้พลังงานของแก๊สชีวภาพ 36

4-1 พื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งที่นำมาศึกษาและวิเคราะห์ตัวอย่าง 41

4-2 คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของตะกอนเลนบ่อกุ้งก่อนและหลังการทดลอง 42

4-3 อุณหภูมิภายในและภายนอกถังหมักแก๊สชีวภาพที่ใช้กำหนดช่วงอุณหภูมิการทดลอง 43

4-4 องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพจากการหมักตะกอนเลนบ่อกุ้งที่ทำการวิเคราะห์ 48

4-5 ปริมาณของตะกอนเลนบ่อกุ้งกับการประมาณปริมาณแก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะผลิตได้เทียบเป็นพลังงานทดแทนแก๊สชีวภาพ 50

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 ลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ 9

2-2 ระบบถังย่อยอัตรามาตรฐาน 16

3-1 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ถังปฏิกรณ์ชีวภาพและชุดตรวจวัดปริมาณแก๊ส ชุดเคาน์เตอร์ 22

3-2 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ฝาปิดถังปฏิกรณ์ชีวภาพ 23

3-3 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ตัวถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 35 ลิตร 24

3-4 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ชุดตรวจวัดปริมาณแก๊สเคาน์เตอร์ 25

3-5 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ อ่างน้ำสำหรับวางชุดวัดปริมาณแก๊สเคาน์เตอร์ 26

3-6 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ขาตั้งสำหรับชุดวัดปริมาณแก๊สเคาน์เตอร์ 27

3-7 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ปริซึมสามเหลี่ยมของชุดวัดปริมาณแก๊สเคาน์เตอร์ 28

3-8 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างภาคสนาม 29

3-9 ชุดการทดลอง 32

3-10 รูปแบบจำลองกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ 33

3-11 รูปแบบกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนจำลองชุดตรวจวัดปริมาณแก๊สชุดเคาน์เตอร์ 34

4-1 ถังหมักปฏิกรณ์แก๊สชีวภาพและชุดตรวจวัดปริมาณแก๊สที่ได้จากการออกแบบ 37

4-2 ชุดการทดลองการหมักแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อกุ้ง 39

4-3 ตัวอย่างภาคพื้นที่ที่ทำการสำรวจบ่อเลี้ยงกุ้งด้วยโปรแกรม iMeasure 41

4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส 44

4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส 45

4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สชีวภาพในแต่ละวัน (ก) และปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม (ข) กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส 47

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาที่พบจากการเลี้ยงกุ้งคือปัญหาด้านการจัดการกับของเสียจากตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้งที่ไม่เหมาะสม ก่อให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ชายฝั่งทะเลและป่าชายเลน (สวรรยา ธรรมอภิพล, 2555) สาเหตุเนื่องจากการเพาะเลี้ยงรวมทั้งการล้างบ่อและฉีดตะกอนเลนออกสู่สิ่งแวดล้อมหรือการนำเอาตะกอนเลนออกจากบ่อ เพื่อตากหรือตักทิ้งไว้ในบ่อพักข้างเคียงเป็นการเตรียมบ่อไว้สำหรับเลี้ยงกุ้งครั้งต่อไป บ่อที่ใช้พักตะกอนเลนจะไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้จนกว่าจะเกิดการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในตะกอนเลนบ่อกุ้ง (ประสิทธิ์ ศรีนคร, ขวัญตา ตันติกำธน, อรรถวิโรจน์ เขียวนาค, จิระพล ศรีเสริฐผล และกนต์ธร ชำนิประศาสน์, 2554) ของเสียจากตะกอนเลนทำให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ในปริมาณสูงทำให้เกิดการเน่าเสีย ปัจจัยทางสภาพแวดล้อม อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการหมักก่อให้เกิดแก๊สมีเทน (จริยาวดี สุริยพันธุ์, 2557) ตะกอนเลนในบ่อเลี้ยงกุ้งมีลักษณะเป็นโคลนเหลวและเหนียว สีดำเข้มมีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย (Suthii parithat, 2014) ตะกอนเลนที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งทะเลประมาณ 3,000-6,000 ลิตรต่อไร่ การเลี้ยงกุ้งจะใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงประมาณ 3-4 เดือน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนกุ้งที่ถูกปล่อยลงบ่อและการเลี้ยง (Biao, Zhuhong, & Xiaorong, 2004) งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาคุณสมบัติของตะกอนเลน ปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพจากการหมักแบบไร้ออกซิเจน รวมถึงองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพเพื่อนำของเสียที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงกุ้งมาผลิตเป็นเป็นที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

บ่อหมักหรือถังหมักปฏิกรณ์แก๊สชีวภาพ (Bioreactor) มีส่วนในการผลิตแก๊สชีวภาพ ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการหมักทำให้จุลชีพที่หายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำงานได้ดีขึ้นส่งผลให้เกิดการผลิตแก๊สชีวภาพในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาออกแบบชุดถังปฏิกรณ์ชีวภาพและผลิตแก๊สชีวภาพโดยใช้ตะกอนเลนบ่อ

กุ้งเป็นสารตั้งต้น โดยทำการตรวจวัดปริมาณแก๊สรวม อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เกิดจากปฏิกิริยาการหมักแบบไร้ออกซิเจน อย่างไรก็ตามการศึกษาประยุกต์ใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนในการบำบัดตะกอนเลนยังมีอยู่อย่างจำกัด นอกจากนี้ยังศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์จากการวิเคราะห์ผลผลิตแก๊สที่ได้จากกระบวนการหมัก ให้อยู่ในรูปของค่าพลังงานไฟฟ้าและวิเคราะห์ความเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยคาดว่าเทคโนโลยีดังกล่าวจะมีศักยภาพและสามารถนำไปพัฒนาในการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียที่เกิดจากตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้งได้และสามารถนำชุดถังปฏิกรณ์ไปใช้งานได้จริงในฟาร์มเลี้ยงกุ้ง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับใช้เป็นชุดทดลองในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนสำหรับตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้ง
2. เพื่อตรวจวัดปริมาณแก๊สชีวภาพจากแบบจำลองถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบต่อเนื่อง (Real time) เพื่อประโยชน์ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงภายในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ รวมถึงวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ
3. ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการนำของเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้งมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน

สมมติฐานของการวิจัย

1. สามารถติดตามตรวจวัดกระบวนการเกิดแก๊สชีวภาพ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิภายในถังหมักปฏิกรณ์ชีวภาพได้อย่างต่อเนื่องจากชุดถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่ออกแบบ
2. ตะกอนเลนบ่อกุ้งสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ ด้วยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนและสามารถนำมาใช้ทดแทนด้านพลังงานได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้ต้นแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อลี้ยงกุ้งสำหรับปรับใช้ในฟาร์มเลี้ยงกุ้ง
2. เข้าใจถึงกระบวนการและปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียอินทรีย์
3. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาด้านพลังงานทดแทนจากกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนจากตะกอนเลนบ่อกุ้งในการผลิตแก๊สชีวภาพ

ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพด้วยโปรแกรม AutoCAD และเลือกวัสดุสำหรับสร้างถังปฏิกรณ์ชีวภาพเพื่อบรรจุตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้งปริมาตร 30 ลิตร

2. ชุดถังปฏิกรณ์ชีวภาพต้องประกอบไปด้วย ถังหมักขนาด 35 และ 40 ลิตร และชุดตรวจวัดการเกิดแก๊สชีวภาพ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณแก๊สชีวภาพ ชุดตรวจวัดปริมาณแก๊สเคาน์เตอร์ (Counter) สำหรับติดตามผลแบบต่อเนื่อง (Real time) ตลอดระยะเวลาการทดลอง

3. ปริมาณตะกอนเลนที่ใช้ในการหมักปริมาตร 30 ลิตร จากฟาร์มเลี้ยงกุ้งในภาคตะวันออกของ คุณชูศักดิ์ หมื่นอินกูด หมักในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

3.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids: TS) ปริมาณของแข็งระเหยได้ (Total volatile solids: TVS) ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ทั้งหมด (Total fixed solids: TFS) ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/ N ratio) การตรวจวัดและวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ มีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนโตรเจน (N_2) และไฮโดรเจน (H_2)

3.2 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

3.3 อัตราการผลิตแก๊สชีวภาพ

3.4 องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ

4. เปรียบเทียบการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยการเปรียบเทียบแก๊สชีวภาพต่อหน่วยพลังงาน เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทนี้ได้กล่าวถึงความเป็นมา ความสำคัญของตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้ง ทฤษฎีและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแก๊สชีวภาพ ระบบการผลิตแก๊สชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน และกรณีศึกษาจากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะและที่มาของตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้ง

ตะกอนเลนในบ่อเลี้ยงกุ้งเป็นของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้ง ซึ่งประกอบไปด้วย ซากแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ สิ่งขับถ่ายจากตัวกุ้ง อินทรียวัตถุที่เกิดจากการเพาะเลี้ยง การใช้สารเคมียาปฏิชีวนะที่ไม่เหมาะสมจนกระทั่งถูกสะสมอยู่ในรูปของตะกอนดินทั้งหมด รวมกันเป็นของเสียอยู่ภายในบ่อเลี้ยงกุ้ง มีลักษณะเป็นโคลนเหลวและเหนียว สีดำเข้มมีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย (Suthii parithat, 2014) ตะกอนเลนที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งทะเลประมาณ 3,000-6,000 ลิตรต่อไร่ การเลี้ยงกุ้งใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงประมาณ 3-4 เดือน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนกุ้งที่ถูกปล่อยลงบ่อและปริมาณการให้อาหารในแต่ละครั้ง หลังจากจับกุ้งจำหน่ายแล้วเกษตรกรจะทำความสะอาดพื้นบ่อ โดยการนำเอาตะกอนเลนออกจากบ่อเพื่อตากหรือตักไว้ในบ่อพักข้างเคียง เพื่อเตรียมบ่อไว้สำหรับเลี้ยงกุ้งครั้งต่อไป บ่อที่ใช้พักตะกอนเลนจะไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้จนกว่าจะเกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในตะกอนเลนบ่อกุ้ง (ประสิทธิ์ ศรีนคร และคณะ, 2554) นอกจากนี้ผลของการเพาะเลี้ยงกุ้งใกล้พื้นที่แหล่งน้ำทางการเกษตรส่งผลให้ความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ในแหล่งน้ำสูงซึ่งเกี่ยวข้องกับการสะสมของ ๆ เสีย (Biao et al., 2004)

แก๊สชีวภาพ

แก๊สชีวภาพ (Biogas) คือ แก๊สที่เกิดขึ้นจากแบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องการอากาศหรือออกซิเจน โดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Anaerobic digestion) ทำให้เกิดแก๊สผสมที่ติดไฟได้ (วิสาขา ภู่จินดา และตรีวิวัฒน์ แก้วดวงเล็ก, 2558) โดยทั่วไปจะหมายถึงมีเทนที่ได้จากการหมัก (Fermentation) ของอินทรียวัตถุ สามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ เช่น น้ำเสีย เศษอาหาร ฟางข้าว มูลสัตว์ โคลนจากน้ำเสีย ขยะประเภทของแข็งจากชุมชนหรือของเสียแก๊สชีวภาพจากอาหารสัตว์

ภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน โดยการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นมีเทน (CH_4) ร้อยละ 50-70 และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 30-50 ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ไนโตรเจน (N_2) ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) กระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนนี้เป็นที่นิยมในการเปลี่ยนรูปแบบของของเสียประเภทสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปแบบของพลังงานทดแทน เนื่องจากมีเทนเป็นแก๊สที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูง จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานทดแทน นอกจากนี้ยังเป็นการลดคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ ที่เป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์แก๊สเรือนกระจก (Greenhouse effect) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (ประสิทธิ์ ศรีนคร และคณะ, 2554; กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

1. กลุ่มของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง (ประสิทธิ์ ศรีนคร, 2555) การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) คือ การทำงานของแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ไปเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็ก โดยแบ่งแบคทีเรียเป็น 2 กลุ่ม ใหญ่ ๆ คือ

1.1 แบคทีเรียที่สร้างกรด (Acid former bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้เจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 4.0-6.5 และส่วนใหญ่เป็นกลุ่ม Facultative anaerobic bacteria สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้โดยใช้สารอินทรีย์ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสามารถเพิ่มขึ้นจำนวนได้เป็น 2 เท่า ภายในเวลา 24 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแบคทีเรียกลุ่มนี้ คือ กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ คีโตน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และแอมโมเนีย เป็นต้น

1.2 แบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methane former bacteria) เจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.0-7.8 ส่วนใหญ่เป็นกลุ่ม Obligate anaerobic bacteria ดำรงชีวิตอยู่ในสภาวะไร้ออกซิแจนเท่านั้น จะย่อยกรดอินทรีย์ไปเป็นแก๊สมีเทน (กลิ่นประทุม ปัญญาปิง, ภัทรา วงษ์พันธ์กมล และลดาวัลย์ วัฒนะจีระ, 2556) และมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงทางสภาพแวดล้อมได้น้อยกว่าแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรด เจริญเติบโตช้าโดยเฉลี่ยต้องใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน ในการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า แบคทีเรียกลุ่มนี้ต้องใช้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนในการเจริญเติบโตจนมีผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สมีเทน

2. กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) กระบวนการเกิดแก๊สชีวภาพ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553,2554) กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ไร้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) ด้วยแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ผลิตกรดและกลุ่มที่สร้างมีเทน (Methane producing bacteria) โดยทั่วไปจะหมายถึงมีเทนที่ได้จากการหมัก (Fermentation) มาช่วยย่อยโดยที่จุลินทรีย์ต่าง ๆ ทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก โดยกระบวนการหมักย่อยในสภาวะไร้อากาศแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) ดังภาพที่ 2-1

2.1 ไฮโดรลิซิส (Hydrolysis) เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ทำให้สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่มีโครงสร้างซับซ้อนทั้งที่ละลายและไม่ละลายน้ำ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันถูกย่อยสลายเป็นสารประกอบโมเลกุลอย่างง่าย เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน เป็นต้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระยะเวลากักเก็บ องค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ชีวภาพ แบคทีเรียกลุ่มที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้ คือ แบคทีเรียกลุ่มไฮโดรไลติค (Hydrolytic bacteria) และกลุ่มเฟอร์เมนเตทีฟ (Fermentative bacteria)

2.2 แอซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) หรือ Fermentation เป็นการย่อยสลายภายในเซลล์ การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะใช้สารที่ได้จากการย่อยสลายโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสเป็นสารตั้งต้น จะถูกแบคทีเรียประเภทสร้างกรดกลุ่ม Facultative bacteria ใช้เป็นแหล่งพลังงาน ส่งผลให้เกิดกรดระเหยง่าย (Volatile fatty acid) เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดโพรริโอนิก (Prorionic acid) กรดเวเลอริก (Valeric acid) และ กรดแลคติก (Lactic acid) เกิดเป็น กรดคาร์บอนแอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไฮโดรเจน ในขั้นตอนนี้จะได้จากการย่อยสลายสารตั้งต้นในขั้นตอนแรก สำหรับแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด แบคทีเรียกลุ่มนี้จะเปลี่ยนสารอาหารดังกล่าวเป็นกรดอินทรีย์ โดยกรดที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีสัดส่วนของกรดอะซิติกสูงสุด และเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในขั้นตอนนี้ แบคทีเรียที่สร้างกรดมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี เนื่องมาจากการอยู่ร่วมกันของแบคทีเรียหลายสปีชีส์ กรณีที่แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรด สร้างกรดมากเกินไปจะส่งผลต่อระบบผลิตแก๊สชีวภาพโดยรวม เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะถูกยับยั้งการทำงาน เนื่องจากเกิดกรดที่สร้างจากกระบวนการ Acidogenesis มากเกินไปทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของระบบลดลงเกิดความไม่เหมาะสมกับการดำรงชีพของกลุ่มแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน สำหรับแบคทีเรียในขั้นตอนการสร้างกรด คือ แบคทีเรียในกลุ่มของ (Fermentative bacteria) ที่สามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ต่อมา

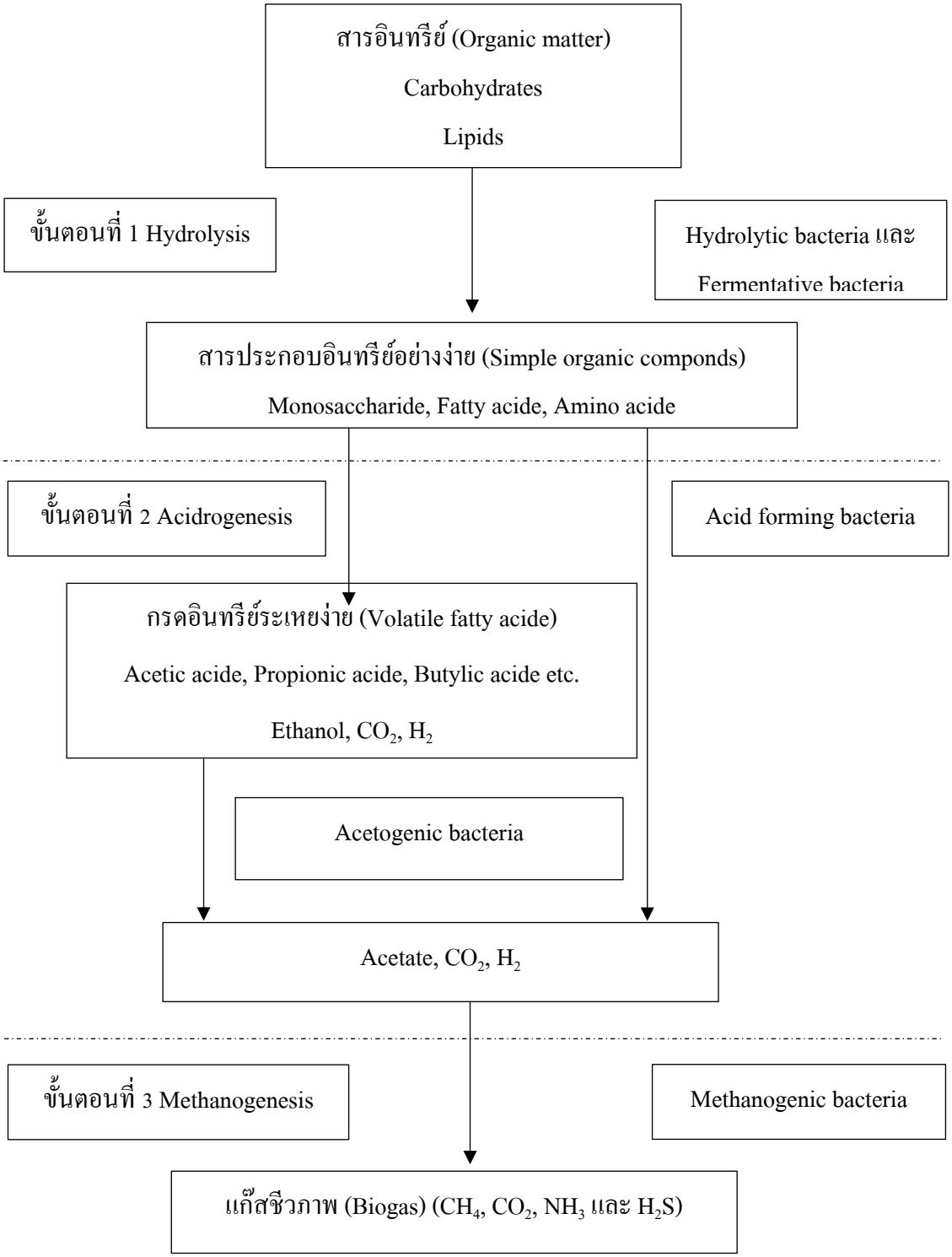
กรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดจากกลุ่มแบคทีเรียผลิตกรด จะถูกแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนิค (Acetogenic bacteria) เปลี่ยนกรดระเหยง่ายให้เป็น อะซิเตต ฟอร์เมต แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตมีเทน การที่แบคทีเรียสร้างมีเทนต้องการสลายสารอาหารที่มีความเฉพาะเจาะจงสูง โดยสารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ประกอบด้วย กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมธิลานิน แต่ไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมเกินกว่าสองอะตอม เช่น กรดโพรพิออนิก กรดบิวทิริก เป็นสารอาหารที่ผลิตแก๊สมีเทนโดยตรงได้ ดังนั้นในกรณีที่ไขมันระเหยง่ายที่สร้างขึ้นอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม แบคทีเรียที่สร้างมีเทนไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบ เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของแบคทีเรีย จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์เหล่านั้นให้มีอะตอมของคาร์บอนที่ลดลง เพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปได้ แบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่สามารถย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม ให้เป็นกรดอะซิติก ได้แก่ แบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจน (Hydrogen producing acetogenic bacteria) ผลผลิตที่ได้ประกอบไปด้วยกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน โดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีในภายใต้สภาวะ Low hydrogen partial pressure

2.3. เมทาไนเซชัน หรือ เมทาโนเจเนซิส (Methanization/ Methanogenesis) เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนกรดให้กลายเป็นมีเทน โดยแบคทีเรียกลุ่ม Mathanogenic bacteria ทำหน้าที่เปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นมีเทน ปฏิกิริยาการสร้างมีเทน คือ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนกรดแอซิติกหรือไฮโดรเจนเป็นมีเทนภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554) แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน (Methanogen) จะเป็นแบคทีเรียกลุ่มอาร์เคียที่มีอัตราการเจริญช้ามากและยังเป็นแบคทีเรียที่สามารถใช้สารตั้งต้นเพียงบางชนิด คือ สารที่มีคาร์บอน 1 หรือ 2 คาร์บอนเท่านั้น ยกตัวอย่าง เช่น เมทานอล กรดฟอร์มิก กรดแอซิติก รวมทั้งไฮโดรเจน ส่วนกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนที่มากกว่า 2 อะตอมแบคทีเรียที่สร้างมีเทนไม่สามารถที่ใช้สารตั้งต้นในการเปลี่ยนให้เป็นมีเทนได้ ดังนั้นแบคทีเรียกลุ่มนี้จึงต้องอาศัยแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ ที่เปลี่ยนกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ให้เป็นกรดแอซิติกหรือไฮโดรเจนก่อนที่แบคทีเรียกลุ่มนี้จะสร้างมีเทนจะสามารถย่อยสลาย

นอกจากนั้นแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนยังเป็นแบคทีเรียที่ไวต่อสภาพแวดล้อมอย่างมาก เช่น ไม่อาจทนต่อออกซิเจนแม้มีปริมาณของออกซิเจนเพียงเล็กน้อยหรือไม่อาจเจริญได้ดีเมื่ออยู่ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) นอกเหนือจากช่วง 6.8-7.2 การสร้างมีเทน (Methanogenesis) กรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ที่เกิดจากกระบวนการสร้างกรดและถูกเปลี่ยนเป็นมีเทน โดยการเกิดแก๊สมีเทนเกิดได้ 2 แบบ

แบบแรก คือ การเปลี่ยนจากกรดอินทรีย์ไปเป็นแก๊สมีเทนซึ่งแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนนี้จะมีปริมาณเป็นร้อยละ 70 ของแก๊สมีเทนสามารถเกิดขึ้นได้ในระบบ

แบบที่สองเกิดจากการรีดิวซ์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจนให้กลายเป็นแก๊สมีเทน แบคทีเรียสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมากทำให้ช่วงความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดนี้แคบ โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะหรือการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์ใหม่ต่ำ ต้องการสารอาหารที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียสร้างที่มีเทน จึงขึ้นอยู่กับแบคทีเรียที่สร้างกรดโดยแบคทีเรียทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์ ดังนั้นเมื่อพิจารณากลุ่มของแบคทีเรียที่อยู่ร่วมกันในระบบการหมักแบบไม่ใช้อากาศ พบว่ากลุ่มของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะเป็นกลุ่มแบคทีเรียหลักในการควบคุมความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดในระบบ เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้มีอัตราการเจริญเติบโตช้าที่สุด และมีข้อจำจัดทางด้านสภาพแวดล้อมมากกว่าแบคทีเรียกลุ่มอื่น ๆ



ภาพที่ 2-1 ลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ (Breure & Andel, 1987)

3. จุลินทรีย์ในระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน การที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้ได้เป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ระบบจำเป็นต้องทำงานร่วมกับแบคทีเรีย 4 กลุ่ม ด้วยกันคือ

3.1 Hydrolytic bacteria แบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเดี่ยวที่ละลายน้ำได้

3.2 Fermentative acidogenic bacteria (Acidogenic) หรือเรียกได้อีกอย่าง คือ Acid forming bacteria ทำหน้าที่ย่อยสลายน้ำตาลกรดอะมิโนและไขมันซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการไฮโดรไลซิสเป็นกรดอินทรีย์ อะซิเตท คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน โดยอะซิเตทเป็นผลิตภัณฑ์หลักของการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่มีความสำคัญต่อการผลิตมีเทน

3.3 Acetogenic bacteria หรือ Acetate-H_2 producing bacteria แบคทีเรียกลุ่มนี้จะย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการอะซิโตเจเนซิสเป็นอะซิเตท ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

3.4 Methanogenic bacteria แบคทีเรียกลุ่มนี้แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ กลุ่มแรก คือ Hydrogenotropic methanogen หรือ Hydrogen utilizing chemolithotrophs ทำหน้าที่เปลี่ยนไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นมีเทน กลุ่มที่ 2 คือ Acetotrophic methanogens หรือ Acetate splitting Bacteria ทำหน้าที่เปลี่ยนอะซิเตทเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

เนื่องจากการหมักแบบไร้อากาศในการผลิตแก๊สชีวภาพ ประกอบด้วยการทำงานของแบคทีเรีย 4 ประเภทที่ทำงานต่อเนื่องกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องรักษาสภาวะแวดล้อมให้มีความเหมาะสมที่ทำให้แบคทีเรียเหล่านี้สามารถทำงานและอยู่ร่วมกันได้ นอกจากจะต้องรักษาระบบให้อยู่ในสภาพที่ไร้อากาศ การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตแก๊สชีวภาพยังมีปัจจัยต่าง ๆ เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิในการเดินระบบ (Operating temperature) แบคทีเรียกลุ่มเมทาโนเจนมีความอ่อนไหวต่อสภาพอากาศไม่ทนต่ออุณหภูมิที่สูงหรือต่ำมากได้ หากอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส แบคทีเรียจะหยุดทำงาน อุณหภูมิในการเดินระบบแบ่งเป็น 2 ระดับ ตามสปีชีส์ของเมทาโนเจน ได้แก่

กลุ่มที่ชอบอุณหภูมิต่ำ เมโซฟิลิก (Mesophilic) อุณหภูมิที่เหมาะที่เมโซฟิลิก ทำงานได้ดี คือ ประมาณ 20-45 องศาเซลเซียส แต่ที่เหมาะสมที่สุด คือ ช่วง 37-41 องศาเซลเซียส โดยในช่วงอุณหภูมิระดับนี้แบคทีเรียส่วนใหญ่ในถังหมักจะเป็นเมโซฟิลิก

แบคทีเรียกลุ่มเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่ช่วงอุณหภูมิสูง อุณหภูมิที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 50-52 องศาเซลเซียส

แบคทีเรียกลุ่มเมโซฟิลิกมีความหลากหลายทางสปีชีส์มากกว่าเทอร์โมฟิลิกและยังทนต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสภาพแวดล้อมได้ดีกว่ากลุ่มเทอร์โมฟิลิก ทำให้การหมักแก๊สชีวภาพที่ใช้อุณหภูมิในช่วงเมโซฟิลิกมีประสิทธิภาพมากกว่า แต่ขณะเดียวกันการหมักแก๊สในระบบที่ใช้อุณหภูมิในช่วงเทอร์โมฟิลิกจะช่วยในการเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้อัตราการผลิตแก๊สสูงขึ้น ข้อเสีย คือ การที่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกเพื่อเพิ่มความร้อนให้ระบบ ทำให้อาจได้พลังงานสุทธิที่ต่ำกว่า

2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแก๊สชีวภาพ คือ ระหว่าง 6.7–7.8 ดังนั้นค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดลง ซึ่งถ้าหากความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดลงต่ำกว่า 5 กระบวนการหมักก็จะหยุดชะงักอีกนัยหนึ่งก็คือแบคทีเรียตาย การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทำให้แบคทีเรียกลุ่มเมทาโนเจนไม่เติบโตหากความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของ (NH_4) จะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เพิ่มโดยอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบผลิตเริ่มมีความเสถียร ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) จะอยู่ระหว่าง 6.8-8

3. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/ N Ratio) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตแก๊สชีวภาพ คือ ตั้งแต่ 8-30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพคือประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วน คาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก ไนโตรเจนจะถูกแบคทีเรียกลุ่มเมทาโนเจนนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนให้กับตัวเองและจะหมดลงอย่างรวดเร็วส่งผลให้ได้ปริมาณแก๊สน้อย แต่ถ้าหาก C/ N Ratio ต่ำมาก ๆ ส่งผลทำให้ไนโตรเจนในระบบมีมากและรวมตัวเป็นแอมโมเนีย ซึ่งจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูงถึง 8.5 ก็จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียทำให้แบคทีเรียกลุ่มเมทาโนเจนลดลง หาก C/ N ratio อยู่นอกเหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณแก๊สที่ไดเป็นแก๊ส อื่น ๆ เช่น ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบสูงขึ้น

4. อินทรียวัตถุในดิน (Soil organic matter) แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นสารฮิวมิก (Humic substances) เป็นส่วนที่มีโครงสร้างซับซ้อนคงทนต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ โครงสร้างหลักประกอบด้วย Aromatic compound ทำให้สลายตัวได้ยากมีสารประกอบจำพวกโปรตีน เพปไทด์ กรดอะมิโน และพอลีแซ็กคาไรด์ ส่วนที่ไม่ใช่สารฮิวมิก (Nonhumic subsubstances) คือ สารประกอบที่มีโครงสร้างโมเลกุลไม่ซับซ้อนย่อยสลายได้ง่าย จำพวก

คาร์โบไฮเดรต ลิปิด กรดอะมิโนและกรดอินทรีย์ สารประกอบเหล่านี้จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ง่าย แต่ที่ยังพบมากในดินเพราะส่วนใหญ่เข้าไปยึดเกาะกับอนุภาคดินเหนียว อินทรียวัตถุมีสีน้ำตาลเข้มไปจนถึงดำถ้ามีในปริมาณสูงจะมีสีคล้ำ สีที่เข้มขึ้นอาจมีส่วนทำให้อุณหภูมิในดินสูงขึ้นด้วย อินทรียวัตถุในดินส่วนมากมีประจุลบทำให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินได้ดี สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญที่สุดสำหรับจุลินทรีย์จำพวก Heterotroph ปริมาณอาหารจึงมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ เช่น การตรึงไนโตรเจน ดีไนตริฟิเคชัน และการเกิดแก๊สมีเทน (ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร, 2554)

5. ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention time) ระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับประเภทและปริมาณของ สารอินทรีย์ที่เติมเข้าระบบซึ่งมีลักษณะคุณสมบัติ และรูปแบบของระบบ/ ถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะไม่เพียงพอที่แบคทีเรียจะผลิตแก๊สชีวภาพ แบคทีเรียถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไปส่งผลต่อจำนวนแบคทีเรียในระบบที่ลดลง ทำให้ไม่สามารถย่อยสารอินทรีย์ได้หมดและอาจส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดลง ในทางตรงกันข้ามหากเก็บไว้นานจะทำให้เกิดตะกอนที่แบคทีเรียได้ย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วสะสมอยู่ ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาการกักเก็บส่วนใหญ่จะอยู่ที่ 14-60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ คือ ปริมาณของสารอินทรีย์ อุณหภูมิ ประเภทและขนาดของถังหมัก (Digester) ระยะเวลาและปริมาณของสารอินทรีย์ในการกักเก็บนั้นแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไหร่ โดยไม่มีการเติมอาหาร เพิ่มเข้าในระบบ เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บนั้น คือ ระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยสารอาหารให้หมด เมื่อระบบยังมีย่อยสารอินทรีย์อยู่นั่นหมายความว่าแบคทีเรียจะยังไม่ตายจากการขาดอาหาร

6. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content: TSC) ปริมาณของแข็งของสารอินทรีย์ในการผลิตแก๊สชีวภาพสามารถแบ่งเป็นสองระดับ คือ ปริมาณของแข็งสูง สูงกว่าร้อยละ 20 และมีปริมาณของแข็งต่ำ ต่ำกว่าร้อยละ 15 ถังหมักที่ออกแบบสำหรับ เติมสารอินทรีย์ที่มีปริมาณของแข็งสูง จะต้องใช้พลังงานมากในการสูบน้ำตะกอน (Slurry) เนื่องจากในระบบมีปริมาณของแข็งมากความเข้มข้นของน้ำในถังหมักสูงกว่า ทำให้พื้นที่น้อย ส่วนถังหมักที่มีปริมาณของแข็งต่ำจะใช้พลังงานน้อยกว่าและเปลืองพื้นที่มาก เนื่องจากปริมาตรต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปสูง ดังนั้นการที่น้ำตะกอนมีความใสกว่าก็ทำให้การหมุนเวียนและกระจายตัวของแบคทีเรียและสารอินทรีย์ดีขึ้นและการที่แบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่วถึง ก็ช่วยให้เกิดการย่อย

และการผลิตแก๊สได้เร็วขึ้น ความเข้มข้นของของแข็ง (Solids concentration) ปริมาณของของแข็งในระบบการหมักมีความสำคัญต่อการเกิดแก๊ส ถ้าระบบมีความเข้มข้นของของแข็งมากหรือน้อยเกินไปจะทำให้ปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้นลดลง (พลกฤษณ์ คุ้มกล่ำ, 2557)

7. การกวน (Mixing) การกวนตะกอน น้ำและสารอินทรีย์เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่ง เพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ส่งผลทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้เกิดแก๊สเร็วและมากขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย (Scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง การกวนระบบมีความยุ่งยากและค่าใช้จ่ายสูง

8. สารอาหาร (Nutrient) สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโต นอกเหนือไปจากคาร์บอนและไฮโดรเจนแล้ว ยังมีไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และธาตุอื่น ๆ ในปริมาณน้อยมาก ๆ แต่ขยะอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ในระดับที่สมดุลพอเพียง เพราะฉะนั้นในการหมักจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใด ๆ ลงไป

9. อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic loading rate: OLR.) อัตราการป้อนขึ้นอยู่กับชนิดและวัตถุ ถ้าให้อัตราการป้อนมากเกินไปจะทำให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์สาร ทำให้เกิดความเป็นกรดมากขึ้นซึ่งส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย สำหรับการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (กาญนิถา ครองธรรมชาติ และสมชาย ดารารัตน์, 2546) ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (Loading) ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เราเติมใส่ถังหมักในแต่ละวัน ซึ่งถ้าหากว่าปริมาณที่เราเติมนั้นมากเกินไป ก็จะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดลงมาก ส่งผลให้กระบวนการ Acidogenesis ในช่วงแรกผลิตกรดขึ้นมามาก จนทำให้ระบบล้มเหลวเนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มเมทาโนเจน (Methanogen) ตายหมด หากสิ่งนี้เกิดขึ้นจริงจะต้องเริ่มต้นระบบใหม่หมด แต่ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยแก๊สที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย ทำให้ระบบทำงานไม่เต็มตามกำลังการผลิตเนื่องจากถังหมักมีขนาดใหญ่เกินไปโดยไม่จำเป็น วิธีการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบโดยการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ

9.1 การป้อนสารอินทรีย์แบบครั้งเดียว (Batch operation) เป็นการเลี้ยงจุลินทรีย์แบบปิดปริมาณสารอาหารเริ่มต้นจำกัด เป็นการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบเพียงครั้งเดียว ในขณะเริ่มขั้นตอนการหมัก หลังจากนั้นจะปล่อยให้เกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในระบบและไม่มีการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มเข้าไปอีก สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจนหมดหรือปล่อยให้ระบบเกิดการย่อยสลายไปจนถึงระยะเวลาที่ต้องการหรือจนหยุดกระบวนการแล้วจึงถ่ายสารออก ระบบนี้เหมาะกับวัตถุดิบที่มีปริมาณมาก ๆ แต่ใช้เวลาในการหมักนานแบบนี้ระบบจะไม่คงที่และ

ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจะไม่สม่ำเสมอ ระบบนี้เหมาะสำหรับการหมักวัตถุดิบครั้งละมาก ๆ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ได้มานาน ๆ ครั้ง

9.2 การป้อนแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous operation) เป็นลักษณะการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบโดยมีการป้อนเป็นช่วง ๆ ให้สอดคล้องกับการทำงานของระบบ ซึ่งเหมาะกับกรณีที่มีวัตถุเป็นประจำซึ่งมีการเติมสารอินทรีย์ใหม่ ๆ ทุก ๆ วัน การหมักแบบนี้จึงส่งผลดีต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ลดปัญหาจากการที่สารอินทรีย์เข้าสู่ระบบจำนวนมากแบบกะทันหัน (Shock load) และปริมาณที่เกิดขึ้นค่อนข้างที่จะคงที่ (กาญนิถา ครองธรรมชาติ และสมชาย ดารารัตน์, 2546) ระบบนี้จึงมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบแบบกะซึ่งให้ปริมาณสม่ำเสมอ

9.3 การป้อนแบบต่อเนื่อง (Continuous operation) เป็นลักษณะการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบแบบต่อเนื่อง คือ ปล่อยให้สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายระยะหนึ่งและถ่ายออกจากระบบอย่างต่อเนื่อง ทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานระบบนี้สูงเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันเพื่อต้องการให้ระบบสามารถดำเนินการได้อย่างสม่ำเสมอแต่จะมีความยุ่งยากหากนำไปปรับใช้กับการผลิตแก๊สชีวภาพในชนบท

ถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับจุลินทรีย์

ถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (Bioreactor) หรือ ถังหมัก (Fermenter) ถูกใช้ครั้งแรกด้วยผลงานวิจัย (Chain, 1954; Weizmann, 1915) ในกระบวนการผลิตแอซีโทนโดยการใช้ *Clostridium acetobutylicum* ภายใต้เวสเซลขนาดใหญ่ในสภาวะปลอดเชื้อครั้งแรก แต่ไม่สำเร็จเนื่องมาจากการปนเปื้อน (Hasting, 1971) ต่อมามีการสร้างเวสเซลรูปทรงกระบอกจากสแตนเลสสตีล เพื่อรองรับการสเตอรีไรเซชันด้วยไอน้ำซึ่งประสบความสำเร็จไม่พบการปนเปื้อน ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแอโรบิก ถูกใช้ครั้งแรกในยุโรปสำหรับการผลิตยีสต์อัดก้อน (Becze & Liebmann, 1944) ผลิตภัณฑ์การหมักอื่น ๆ นอกเหนือจากยีสต์ขนมปัง คือ เอทานอล กลีเซอรอล กรดแอซิติก กรดซิตริก เอนไซม์และกรดอินทรีย์อื่น ๆ (Johnson, 1971) ต่อมามีการผลิตเพนิซิลินในสภาวะปลอดเชื้อด้วยเทคนิคการเลี้ยงจุลินทรีย์ในอาหารเหลว พร้อมระบบการให้อากาศและการกวน (Callahan, 1944)

1. หน้าที่ทำงานทั่วไปของถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ต้องสามารถรองรับสภาพการเพาะเลี้ยงจิลินทรีย์และป้องกันการปนเปื้อน ออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน มีการควบคุมอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (สุชาดา จันทร์ประทีป นภาธร, 2556)

2. การจำแนกถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับจุลินทรีย์ ถังปฏิกรณ์ชีวภาพ คือ เวสเซลที่เกิดจากกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ในสภาวะที่เหมาะสมด้วยสับสเตรต สารอาหารและแหล่งคาร์บอน (สุชาดา จันทร์ประทีป นภาธร, 2556) ภาวะที่เหมาะสมของการเจริญเติบโตและการผลิต เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำ การกวน อัตราการไหล การจัดแบ่งประเภทถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ตามลักษณะการไหลแบบอุดมคติ

2.1 ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบกวนต่อเนื่อง (Continuous stirred tank reactor, CSTR) ได้แก่ การปฏิบัติการแบบแบตช์ แบบเฟด-แบตช์ และแบบต่อเนื่อง จะมีโครงสร้างเป็นทรงกระบอกแนวตั้งมีการกวนและให้อากาศ จะมีขนาดหนึ่งถึงมากกว่าพันลิตร รูปทรงใช้สำหรับผลิตแอลกอฮอล์ ชีวมวลและการบัดน้ำเสีย

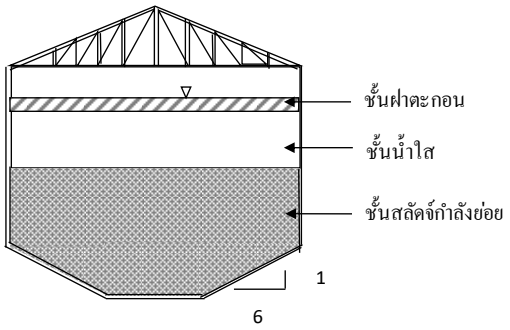
2.2 ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบทูบูลาร์ (Tubular reactor) เป็นการไหลแบบท่อ (Plug flow) นอกจากนี้การจัดแบ่งประเภทของถังปฏิกรณ์ชีวภาพตามสถานะของการปฏิบัติการ เช่น สถานะคงตัว (Steady state) ความเข้มข้นของสับสเตรทและผลิตภัณฑ์จะคงที่ หรือสถานะไม่คงตัว (Unsteady state) ความเข้มข้นของสับสเตรทและผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (Unsteady state) ความเข้มข้นของสับสเตรทและผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาด้วยการหมักแบบกะ คือ อาหารเหลวและหัวเชื้อจุลินทรีย์จะถูกเติมในช่วงแรกของการหมัก

3. รูปแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบพื้นฐาน สำหรับสภาวะที่ปราศจากการปนเปื้อน ต้องเลือกวัสดุที่ทนต่อการสเตอริไลซ์ สำหรับปฏิกรณ์ชีวภาพขนาดเล็ก (ปริมาตร 1-30 ลิตร) สามารถเลือกแก้วทนแรงดัน/ สแตนเลส เนื่องจากมีพื้นผิวเรียบไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ทนต่อการกัดกร่อนและง่ายต่อการมองเห็นสิ่งที่อยู่ภายในแบ่งออกเป็น เวสเซลแก้วก้นกลมหรือแบนขอบด้านบนประกอบด้วยเพลตสแตนเลส (Brown & Peterson, 1950) เวสเซลแก้วทรงกระบอกประกอบด้วยเพลตสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สามารถทนต่อแรงดันในการทำงาน (สุชาดา จันทร์ประทีป นภาธร, 2557)

การเลี้ยงจุลินทรีย์แบบกะ (batch-cultivation)

เป็นการเพาะเลี้ยงแบบปิดซึ่งมีปริมาณเริ่มต้นของสารอาหารที่ถูกกำหนดไว้และปริมาณสารอาหารจะแปรผันไปตามระยะเวลาของการเลี้ยงเชื้อ เมื่อถ่ายหัวเชื้อเริ่มต้นลงในระบบแล้ว เซลล์จะเพิ่มจำนวนและผ่านระยะเวลาการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน การเพาะเลี้ยงแบบกะเป็นวิธีเพาะเลี้ยงที่ง่ายที่สุด มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนต่ำการเพาะเลี้ยงแบบในถังปฏิกรณ์ชีวภาพจำเป็นต้องใช้สารอาหารในปริมาณสูงและหัวเชื้อตามสัดส่วนที่เหมาะสม

กระบวนการบำบัดหรือย่อยสลัดจ์แบบไร้ออกซิเจนจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เรียกว่า Mesophilic คือ ตั้งแต่ 20-45 องศาเซลเซียส เหมาะกับประเทศไทยซึ่งมีสภาพอากาศร้อน การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงเลือกวิธีการหมักแบบกะและรูปแบบการย่อยอัตรามาตรฐาน (ประสิทธิ์ ศรีนคร และคณะ, 2554) เนื่องจากเหมาะสมกับตะกอนเลนในบ่อเลี้ยงกุ้งที่จะนำมาใช้ในการหมักมากที่สุด ระบบนี้เป็นถังเดียวที่จะเกิดทั้งการย่อยแบบไร้ออกซิเจนด้วยจุลชีพในสลัดทำให้เกิดแก๊สมีเทน ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 ระบบถังย่อยอัตรามาตรฐาน (ประสิทธิ์ ศรีนคร และคณะ, 2554)

การใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวภาพ (ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์ และโกวิท สุวรรณหงส์, 2555)

1. ด้านพลังงาน เมื่อพิจารณาในด้านเศรษฐกิจแล้ว การลงทุนผลิตแก๊สชีวภาพจะลงทุนต่ำกว่าการผลิตเชื้อเพลิงชนิดอื่น สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงแหล่งอื่น ๆ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน แก๊สหุงต้ม ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ หรือให้ความอบอุ่นแก่สัตว์ตามฟาร์มต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในภาคอุตสาหกรรม เช่น หม้อไอน้ำ และเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้า แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถนำไปใช้ดังนี้

1.1 ให้ค่าความร้อน 3,000-5,000 กิโลแคลอรี ความร้อนนี้จะทำให้น้ำ 130 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เดือดได้

1.2 ใช้กับตะเกียงแก๊ส 60-100 วัตต์ ลุกไหม้ได้ 5-6 ชั่วโมง

1.3 ผลิตกระแสไฟฟ้า 1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

1.4 ใช้กับเครื่องยนต์ 2 แรงม้า ได้นาน 1 ชั่วโมง

1.5 ใช้เป็นแก๊สหุงต้มสำหรับครอบครัวขนาด 4 คน สามารถหุงต้มได้ 3 มื้อ

2. ด้านสิ่งแวดล้อม เป็นการกำจัดของเสียจากการเพาะเลี้ยง ลดการเน่าเสียของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ลดมลภาวะและการระบาดของแมลงที่เป็นพาหนะนำโรค ลดการเกิดกลิ่นเหม็นใน

สถานประกอบการ/ โรงงาน ลดค่าใช้จ่ายสำหรับค่าไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียที่ต้องใช้ระบบเติมอากาศ (Aerated lagoon และ Activated sludge process) ลดการใช้พื้นที่ของระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อเทียบกับระบบบ่อเปิด (Open pond) ลดค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายกากอินทรีย์เหลือทิ้ง (Solid waste) ในกรณีที่นำ Solid waste ไปหมักในระบบแก๊สชีวภาพถ้ามีการรวบรวมและนำแก๊สชีวภาพมาใช้ประโยชน์ จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยเรือนกระจก (Greenhouse gas) สู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน

3. ด้านการเกษตร กากตะกอนที่เหลือจากกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ ยังสามารถนำมาใช้และจำหน่ายเป็นปุ๋ยได้ ซึ่งจะมีคุณภาพที่ดีกว่า ปุ๋ยคอก (มูลสัตว์สด) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีกว่าปุ๋ยเคมีในการปรับปรุงสภาพของดิน เนื่องจากในขณะที่มีการหมัก เกิดการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์

กรณีศึกษาจากวรรณกรรม

Wang, Wu, Tong, Li, & Wu (2018) ได้ศึกษารายละเอียดการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตแก๊สชีวภาพขนาดใหญ่และระดับครัวเรือนในมณฑลซานซี ประเทศจีน เพื่อเปรียบเทียบผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมในด้านการใช้พลังงานในระยะเวลา 2 ปี โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบกวนต่อเนื่องขนาด 600 ลูกบาศก์เมตร ร่วมกับระบบทำความร้อนและไฟฟ้าและระบบบำบัดแก๊สชีวภาพ ที่อุณหภูมิประมาณ 35 องศาเซลเซียส มูลสุกร (22.58 ตันต่อวัน) ผลิตแก๊สชีวภาพได้ 679 ลูกบาศก์เมตรของแก๊สชีวภาพ 21.77 ตันของการย่อยต่อวันโดยเฉลี่ย แก๊สชีวภาพที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบกวนต่อเนื่องผลิตแก๊สชีวภาพได้ร้อยละ 60 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าร้อยละ 36 ให้ความร้อนร้อยละ 45 ผลิตไฟฟ้าได้ 917 กิโลวัตต์ต่อวัน ระบบครัวเรือนใช้บ่อหมักแก๊สชีวภาพขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร หมักที่อุณหภูมิห้อง ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพ 0.08 ลูกบาศก์เมตร และ 0.04 ตันของการย่อยสลายต่อวันโดยเฉลี่ย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแก๊สชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้จากการเพิ่มขนาดถังหมักเท่ากับ 1.88 เท่า ของการผลิตในหน่วยครัวเรือน ผลผลิตสุทธิไม่แตกต่างกันมากระหว่างทั้งสองระบบ

ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์ และโกวิท สุวรรณหงส์ (2555) ได้ศึกษาการนำชีวมวลในท้องร่องมาใช้ประโยชน์ในการผลิตแก๊สชีวภาพเพื่อใช้ทดแทนแก๊สหุงต้ม โดยทำการสำรวจและเก็บตัวอย่าง แก๊สในร่องสวน จำนวน 5 จุด ในระยะเวลาการหมัก 40 วัน พบว่า มีแก๊สสะสมในตะกอนดินโคลน 50-52 ลิตรต่อตารางเมตร โดยพบแก๊สมีเทนร้อยละ 62.5-65.5 โดยปริมาตร ผลที่ได้จากการนำหมักตะกอนดินโคลนต่อมูลสัตว์ในอัตราส่วน 1 : 1 กับการผลิตแก๊สที่มีความจุของหลุมหมักแก๊สขนาด 4,000 ลิตร พบว่า สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ร้อยละ 56.4 โดยปริมาตร

ปัทมาวดี สิทธิวรเดช และรัชพล สันติวรากร (2555) ศึกษาแนวทางและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตและใช้แก๊สชีวภาพจากเศษอาหารและมูลสัตว์ในมหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่า มีปริมาณเศษอาหารและมูลสัตว์โดยเฉลี่ยวันละ 989.88 และ 1,716.57 กิโลกรัม เมื่อทดลองผลิตแก๊สชีวภาพ พบว่า สัดส่วนที่มูลสัตว์และเศษอาหารที่เหมาะสมในการผลิตเท่ากับ 1 : 1 จะได้ปริมาณแก๊สชีวภาพโดยเฉลี่ย 0.3 ลิตรต่อลิตรสารข้นเหลวต่อวัน โดยใช้บ่อหมักแก๊สชีวภาพขนาด 500 ลูกบาศก์เมตร พบว่า การผลิตแก๊สชีวภาพเพื่ออัดบรรจุถังทดแทนแก๊สหุงต้ม LPG เป็นรูปแบบที่มีความเป็นไปได้และเหมาะสมกับชุมชนมหาวิทยาลัยขอนแก่น

ประสิทธิ์ ศรีนคร และคณะ (2554) ได้ศึกษาการบำบัดตะกอนเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลโดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนเพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยใช้ตะกอนเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีวิธีการเลี้ยงแตกต่างกัน 2 แบบ คือ การเลี้ยงกุ้งแบบใช้และไม่ใช้จุลินทรีย์ Effective microorganism (EM) ทำการหมักเพื่อบำบัดตะกอนเลนระยะเวลา 31 วัน ในขณะทำการศึกษา พบว่า การบำบัดตะกอนเลนแบบไม่ใช่จุลินทรีย์ในการเลี้ยงสามารถลด TS TDS TSS TVS BOD และ COD ได้ร้อยละ 89 60 95 89 86 และ 85 ตามลำดับ และการเลี้ยงกุ้งแบบใช้จุลินทรีย์สามารถลดได้ ร้อยละ 81 52 99 80 95 และ 95 ตามลำดับ การบำบัดตะกอนเลนยังสามรถผลิตแก๊สชีวภาพจากการหมักตะกอนเลนแบบไม่ใช้จุลินทรีย์ EM เกิดแก๊สชีวภาพได้เร็วว่าแบบใช้จุลินทรีย์ EM โดยจะมีแก๊สชีวภาพสะสม 13,155 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ 1,125 ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิที่เหมาะสมของการบำบัดตะกอนเลนบ่อกุ้งแบบไม่ใช้จุลินทรีย์ EM อยู่ที่ 6-7.5 และ 22-28 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิที่เหมาะสมแบบใช้จุลินทรีย์ EM อยู่ที่ 6-7 และ 28-31 องศาเซลเซียส องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนแบบไม่ใช้จุลินทรีย์ EM สูงกว่าแบบใช้จุลินทรีย์ EM ของ CH_4 CO_2 และ N_2 ปริมาณเท่ากับร้อยละ 44.34 4.94 และ 17.23

ปริพัฒน์ จึงชัยชนะ และสุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ (2555) ศึกษาการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากไบโอแก๊สจากขยะพื้นที่ตลาดไทย ตลาดไทยสามารถรองรับสินค้าทางการเกษตรในแต่ละวันไม่ต่ำกว่า 15,000 ตันต่อวัน ศึกษาโดยนำขยะจากชุมชนมาผลิตแก๊สชีวภาพด้วยเทคโนโลยีการผลิตแก๊สชีวภาพแบบ (Dry fermentation) จากนั้นนำแก๊สที่ได้มาเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลการศึกษาข้อมูลจากปริมาณขยะปี พ.ศ.2553 พบว่า อัตราเฉลี่ยปริมาณขยะเท่ากับ 94.19 ตันต่อวัน สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 17,807 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 12,643-24,929 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

นพวรรณ เสมวิมล และเกษม จันทร์แก้ว (2556) ศึกษาปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักกากตะกอนภายใต้สภาวะไร้อากาศ โดยการหมักตะกอนในขวดแก้วสีชาขนาด

2.5 ลิตร บรรจุตะกอนสดที่คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 200 กรัม แล้ววัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักโดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ (Fluid displacement) ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณแก๊สที่ปลดปล่อยออกมาจากการหมักตะกอนจากโรงงานแป้งมันและบ่อบำบัดโครงการแหลมผักเบี้ย ฯ มีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สสูงสุดในวันที่ 1 และ 2 อยู่ที่ 142.6 มิลลิลิตรต่อวัน พบแก๊สรวมทั้งหมด 649.97 มิลลิลิตร ในระยะเวลา 9 วัน และ 360.23 มิลลิลิตร ในระยะเวลา 10 วัน คิดค่าเฉลี่ยเป็น 72.2 36.02 มิลลิลิตรต่อวัน โดยคิดเป็นปริมาณแก๊สที่ถูกปลดปล่อยออกมาต่อน้ำหนัก ตะกอนแห้ง 1 กรัม ได้เท่ากับ 3.25 และ 1.80

อรรถวิโรจน์ เขียวนาค (2553) ได้ศึกษาและวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการผลิตแก็สแก๊สชีวภาพและสามารถอธิบายตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ และการบำบัดตะกอนเลนในบ่อเลี้ยงกุ้ง ด้วยวิธีหมักตะกอนเลนบ่อกุ้ง เปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลอง อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อัตราการเกิดแก๊สชีวภาพและคุณสมบัติทางชีวเคมีของตะกอนเลนในบ่อเลี้ยงกุ้งผลที่ได้ สามารถทำนายปริมาณและปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดแก๊สชีวภาพจากบ่อเลี้ยงกุ้งปริมาณ 80 ลิตร โดยการหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบกะที่อุณหภูมิห้องระยะที่ใช้ในการทดลอง 35 วัน เกิดแก๊สชีวภาพ 13,255 และ 19,010 ลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถผลิตแก๊สชีวภาพเฉลี่ย 424.35 และ 633.667 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน ค่าอินทรียวัตถุ 73.5 และ 96.9 กรัมต่อลิตร ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 31-45 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.5-7.5

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการศึกษาระบบการผลิตแก๊สชีวภาพ เริ่มจากการออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ลำดับการทำงานของระบบกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนในชุดทดลองตัวอย่างถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เพื่อติดตามความเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ และปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพ รูปแบบการวิจัยในการศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้ง เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลองและพัฒนาเพื่อนำผลการทดลองมาใช้เป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์ในการใช้งานจริง โดยสุ่มตัวอย่าง ต.หัวไผ่ อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี เพื่อเป็นกลุ่มตัวอย่างในการศึกษา สถานที่ในการวิเคราะห์ คือ ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยบูรพา

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

1.1 กาวซิลิโคนใช้สำหรับกันการรั่วซึม

1.2 ขวดน้ำขนาด 1.5 ลิตร และ 600 มิลลิลิตร ใช้สำหรับเก็บและตัวอย่างแก๊สชีวภาพ

1.3 คอมพิวเตอร์ (Computer) ใช้บันทึกและเก็บข้อมูลค่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ (T)

1.5 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (PH meter) และแท่งอิเล็กโทรดใช้สำหรับวัดและอ่านค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในถังหมักแก๊สชีวภาพ

1.6 ชุดเครื่องแปลงสัญญาณ (NIDAQ 4 CANAL) ใช้สำหรับเป็นตัวแปลงสัญญาณจากแท่งอิเล็กโทรดสำหรับวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ เป็นสัญญาณอะนาล็อก

1.7 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) หัวโพรบสำหรับวัดอุณหภูมิอากาศในถังหมักแก๊สชีวภาพ

1.8 ท่ออะคริลิกและแผ่นอะคริลิกหนา 0.3 เซนติเมตร

2. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี Gas chromatography (GC) ใช้สำหรับวิเคราะห์แยกองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ

3. กระบอกตวง (Cylinder)
4. เครื่องชั่ง (Balance) ทศยม 4 ตำแหน่ง
5. โถดูดความชื้น (Desiccator)
6. ถ้วยระเหย (Crucible)
7. บีกเกอร์ (Beaker)
8. ตู้อบ (Hot air oven) ควบคุมอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส
9. เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace) ควบคุมอุณหภูมิ อุณหภูมิต่ำกว่า 1,100 องศาเซลเซียส
10. สายยางขนาด 1 หุน

ขั้นตอนการดำเนินงาน

เพื่อออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่เหมาะสมต่อการหมักแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้งและนำผลจากการทดลองที่ได้ไปเป็นแนวทางในการศึกษาทางด้านการผลิตแก๊สชีวภาพและพลังงานชีวมวล ซึ่งตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในการศึกษา ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรศึกษา	ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการหมัก
ตัวแปรควบคุม	• อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิในช่วง (30 ± 5 องศาเซลเซียส) • ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ก่อนเข้าถังหมักอยู่ในช่วง 6.5-7.8 • ตะกอนเลนบ่อกุ้งปริมาตร 30 ลิตร
ตัวแปรวัด	• อุณหภูมิภายในถังหมัก • ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ภายในถังหมัก • ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการหมัก

การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 เป็นขั้นตอนการออกแบบถังหมักปฏิกรณ์แก๊สชีวภาพ

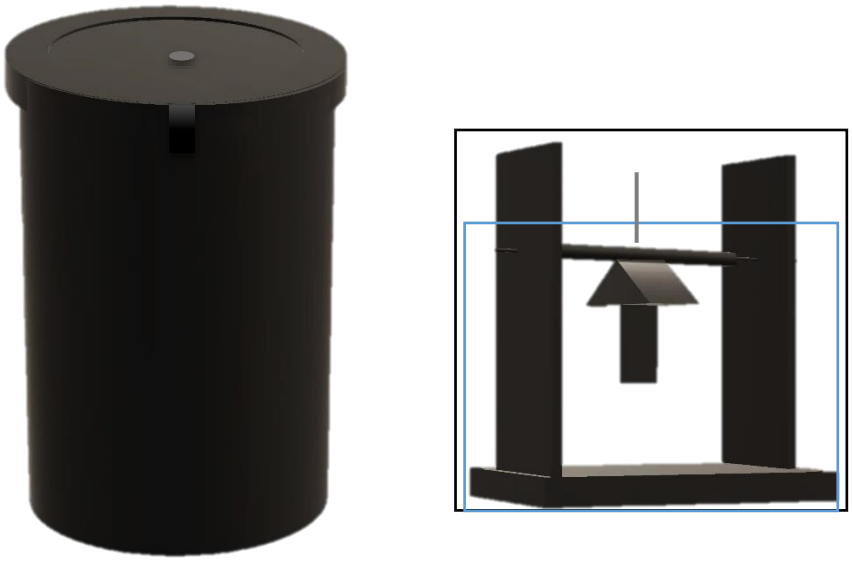
ขั้นที่ 2 ขั้นตอนการหมักและวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีระหว่างการทดลองและหลังทำการทดลอง

โดยการเก็บและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้งจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งเบื้องต้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (TVS) ปริมาณของแข็ง

ที่คงอยู่ทั้งหมด (TFS) ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/ N ratio) ก่อนและหลังทำการทดลอง โดยใช้ตะกอนเลนบ่อกุ้งปริมาตร 30 ลิตรในการหมักจนสิ้นสุดกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ จากนั้นทำการตรวจวัดและวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ มีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนโตรเจน (N_2) และไฮโดรเจน (H_2) ที่ได้จากการหมัก

ขั้นที่ 3 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อกุ้ง

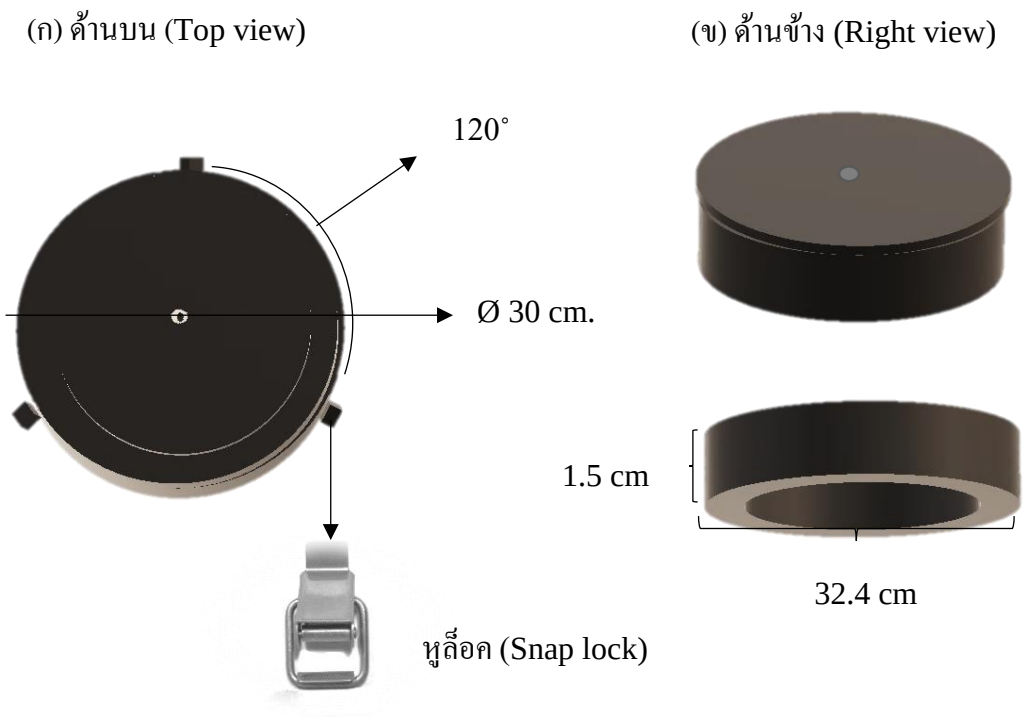
1. การออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ในการออกแบบโครงสร้างถังปฏิกรณ์ขนาดทดลอง (Lab scale) โดยใช้โปรแกรม AutoCAD และ paint 3D ในการออกแบบโครงสร้าง 2 และ 3 มิติ จำลองการสร้างถังหมักปฏิกรณ์ชีวภาพซึ่งภาพรวมของชุดถังปฏิกรณ์ประกอบไปด้วย ถังปฏิกรณ์ชีวภาพพร้อมฝาปิด กำหนดคุณสมบัติของถังปฏิกรณ์โดยใช้อะคริลิกใสที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร เป็นโครงสร้างถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 35 ลิตร ดังภาพที่ 3-1 (ก) และชุดตรวจวัดปริมาณการเกิดแก๊สชุดเคาน์เตอร์ (Counter) ดังภาพที่ 3-1 (ข)



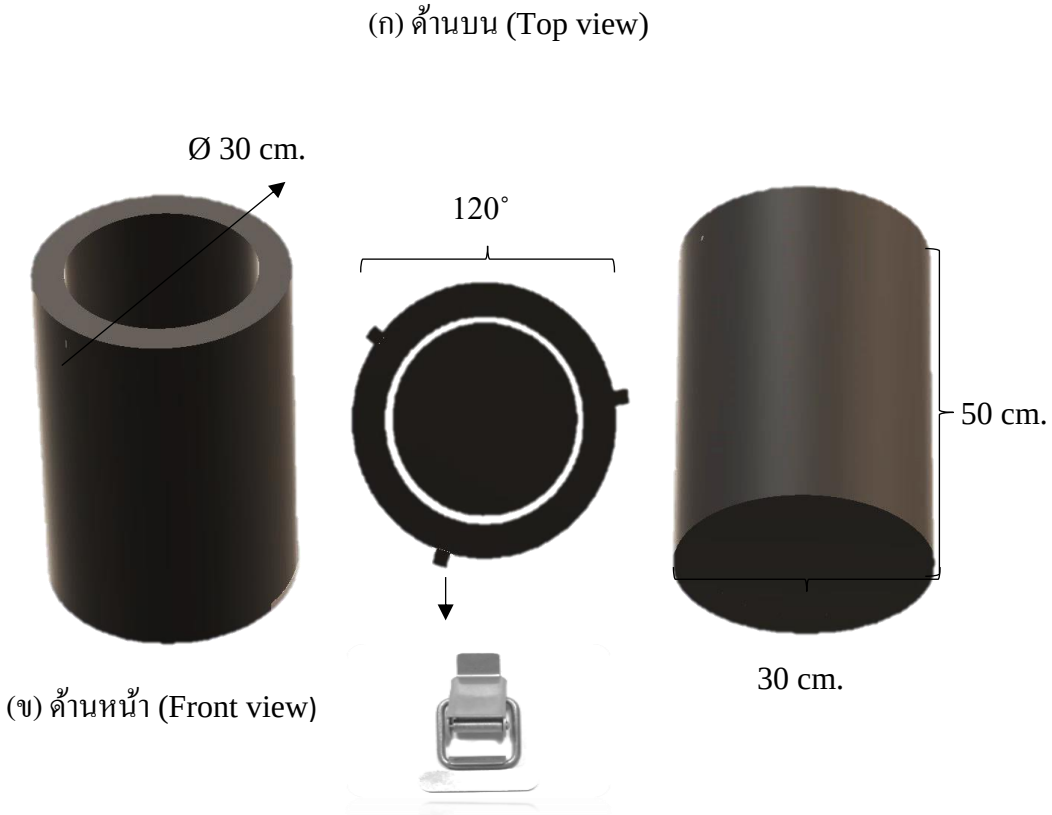
(ก) (ข)

ภาพที่ 3-1 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ถังปฏิกรณ์ชีวภาพและชุดตรวจวัดปริมาณแก๊สชุดเคาน์เตอร์ (Counter)

1.1 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ถังปฏิกรณ์ชีวภาพและฝาปิดถัง การออกโครงสร้าง 3 มิติ ฝาปิดถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ดังภาพที่ 3-2 ด้านบน (Top view) กำหนดให้ฝาปิดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร และใส่หูล็อคแบบ (Snap lock) เพื่อให้การปิดสามารถปิดได้แน่นมากขึ้น สำหรับหูล็อคที่ใช้ล็อคระหว่างฝาปิดและตัวถังปฏิกรณ์ ทั้ง 3 จุด มีระยะห่างแต่ระจุดประมาณ 120 องศา ดังภาพที่ 3-2 (ก) ฝาถังด้านข้าง (Right view) กำหนดให้มีขนาด 32.4×1.5 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-2 (ข) และโครงสร้าง 3 มิติ ตัวถังปฏิกรณ์ชีวภาพกำหนดให้ตัวถังหมักมีขนาด 35 ลิตร ดังภาพที่ 3-3 มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ด้านหน้า (Front view) มีขนาด 30×50 เซนติเมตร ก้นถังมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-3 (ข) และปากถังด้านบน (Top view) มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 30 เซนติเมตร ระยะห่างสำหรับใส่หูล็อกจากจุดศูนย์กลางห่างแต่ระจุดประมาณ 120 องศา ดังภาพที่ 3-3 (ก)



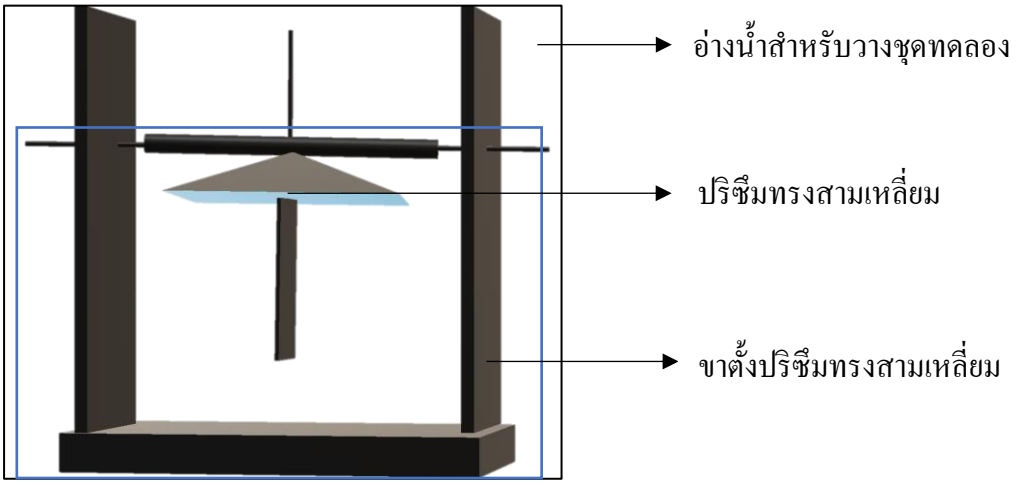
ภาพที่ 3-2 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ฝาปิดถังปฏิกรณ์ชีวภาพ



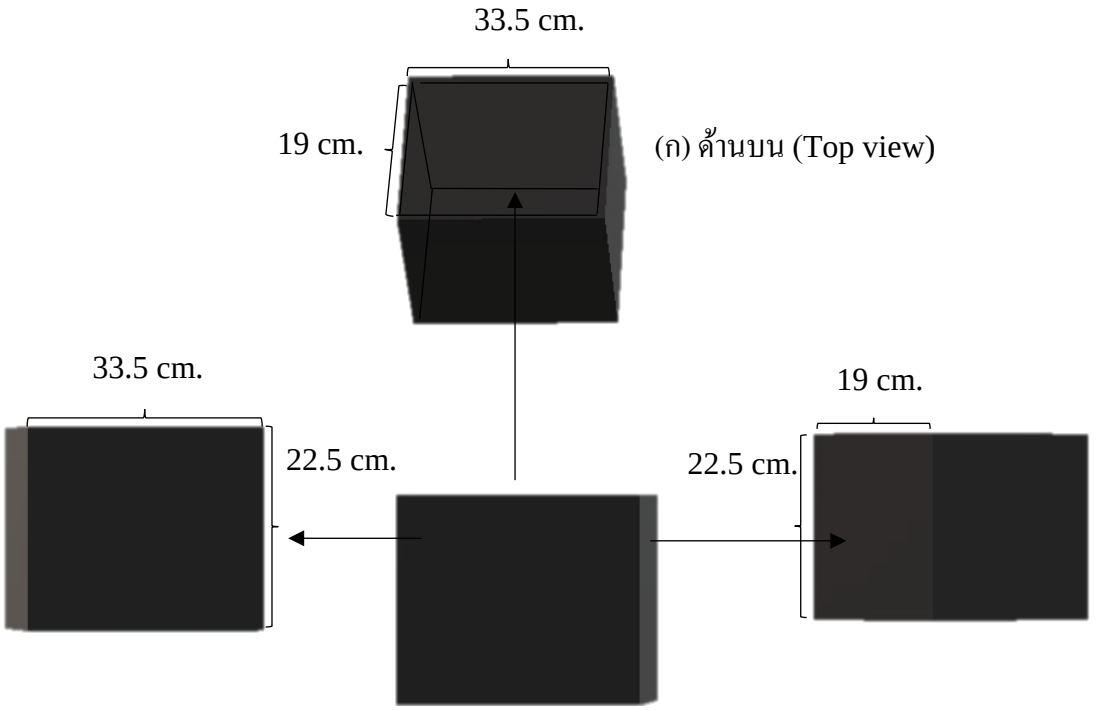
ภาพที่ 3-3 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ตัวถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 35 ลิตร

1.2 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ชุดตรวจวัดปริมาณแก๊สเคาน์เตอร์ (Counter) ประกอบไปด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ อ่างใส่น้ำสำหรับวางชุดตรวจวัดปริมาณแก๊สเคาน์เตอร์ Counter ขาตั้งปริซึมทรงสามเหลี่ยมและปริซึมทรงสามเหลี่ยมสำหรับวัดปริมาตรแก๊สชีวภาพ ดังภาพที่ 3-4 การออกแบบอ่างน้ำเพื่อใช้วางชุดการทดลอง เพื่อวัดปริมาณแก๊สกำหนดให้มีขนาด 33.5×19×22.5 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-5 ด้านบน (Top view) กำหนดให้ปากของอ่างน้ำ มีขนาด 19×33.5 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-5 (ก) ด้านหน้า (Front view) มีขนาด 22.5×33.5 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-5 (ข) และด้านข้าง (Right view) มีขนาด 19×22.5 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-5 (ค) จากภาพที่ 3-6 ขาตั้งสำหรับยึดปริซึมทรงสามเหลี่ยมกำหนดให้ด้านบน (Top view) ฐานของขาตั้งมีขนาด 17×17 เซนติเมตร ตรงส่วนกลางฐานเจาะรูสำหรับใส่สายยางขนาด 1 หุน ซึ่งสายยางดังกล่าวจะเชื่อมต่อกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ดังภาพที่ 3-6 (ก) ด้านหน้า (Front view) กำหนดให้ขาตั้งตั้งฉากกับตัวฐาน

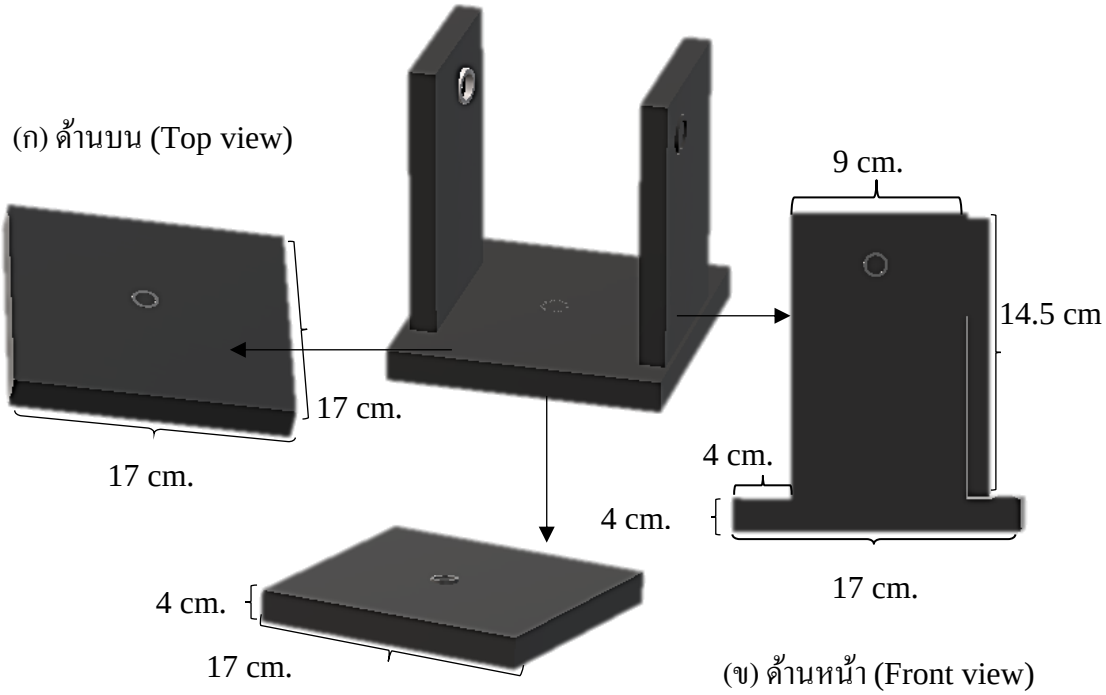
ทั้งสองข้างลักษณะคล้ายกับขาปิ่นโตส่วนปลายของขาตั้งเจาะรูเพื่อใช้ยึดกับปริซึมทรงสามเหลี่ยม ดังภาพที่ 3-6 (ข) ความสูงจากพื้นของฐาน 17×18.5 เซนติเมตร และด้านข้าง (Right view) ของตัวฐานกำหนดให้มีขนาด 4×17 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-6 (ค) จากภาพที่ 3-7 ปริซึมทรงสามเหลี่ยมที่ใช้ในการดักจับแก๊สมีโครงสร้าง ดังภาพที่ 3-7 (ข) มีลักษณะเป็นปริซึมทรงสามเหลี่ยมแบบฐานโล่งติดแผ่นอะคริลิกตรงส่วนกึ่งกลางตามแนวแกนแบ่งครึ่งอย่างชัดเจน แผ่นอะคริลิกนี้ใช้สำหรับบังคับทิศทางของแก๊สที่ถูกส่งผ่านสายยาง เมื่อแก๊สจากถังหมักถูกส่งผ่านทางสายยาง จะกระทบกับแผ่นอะคริลิกดังกล่าว แก๊สจะถูกแบ่งด้วยแผ่นอะคริลิกโดยที่แก๊สจะผ่าน เข้าด้านใดของปริซึมก่อนก็ได้แล้วแต่ฟองแก๊สที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว ฟองแก๊สที่เกิดคล้ายกับการให้ออกซิเจนในตู้ปลา แต่ในการทดลองจะบังคับให้ออกในทิศทางเดียวเพื่อป้องกันการกระจายตัว เมื่อปริซึมทรงสามเหลี่ยมเกิดการเคลื่อนไหวซ้าย-ขวา คล้ายนาฬิกาลูกตุ้ม แท่งพลาสติกขนาดเล็กที่มีลวดหรือแม่เหล็กขนาดเล็กตรงส่วนปลายจะเกิดการเคลื่อนไหวตัดผ่านตัวเซ็นเซอร์ ตัวปริซึมทรงสามเหลี่ยมนี้จะถูกเชื่อมต่อกับท่อพลาสติกแบบกลวงเพื่อให้ปริซึมทรงสามเหลี่ยมมีลักษณะเบาและลอยตัวอยู่ในน้ำจึงใช้แท่งเหล็กใส่ในท่อพลาสติกกลวงเพื่อยึดติดกับขาตั้งที่ฐานยึดติดอ่างน้ำสำหรับวางชุดตรวจวัด เป็นการบังคับให้ปริซึมทรงสามเหลี่ยมจมอยู่ในน้ำป้องกันการเคลื่อนที่ขณะที่ปริซึมทรงสามเหลี่ยมเกิดการเคลื่อนไหวขณะพลิกซ้าย-ขวา และป้องกันการลอยขึ้นเหนือน้ำ ดังภาพที่ 3-7 (ก)



ภาพที่ 3-4 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ชุดตรวจวัดปริมาณแก๊สเคาน์เตอร์ (counter)

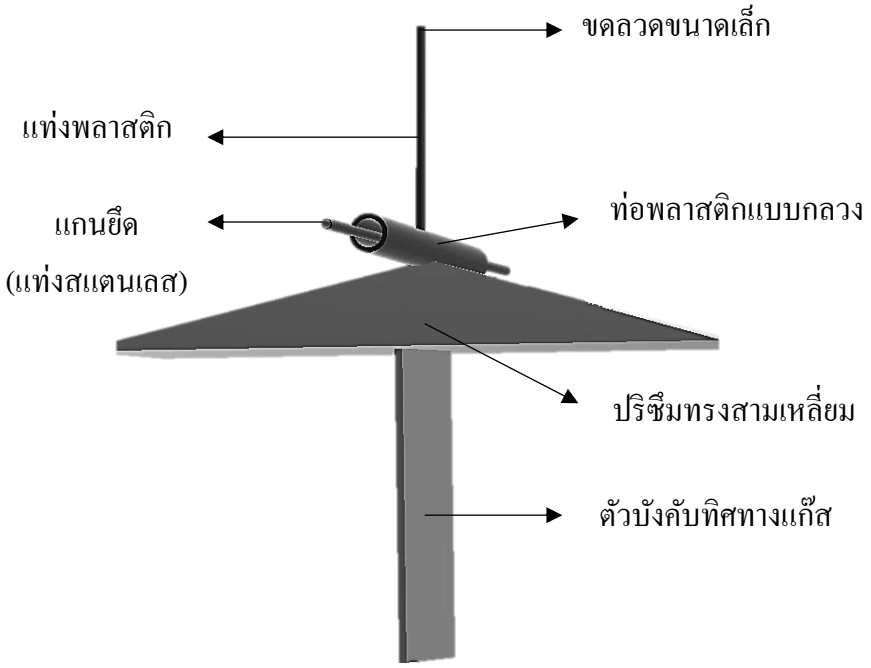


ภาพที่ 3-5 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ อ่างน้ำสำหรับวางชุดวัดปริมาณแก๊สเคาน์เตอร์ (Counter)

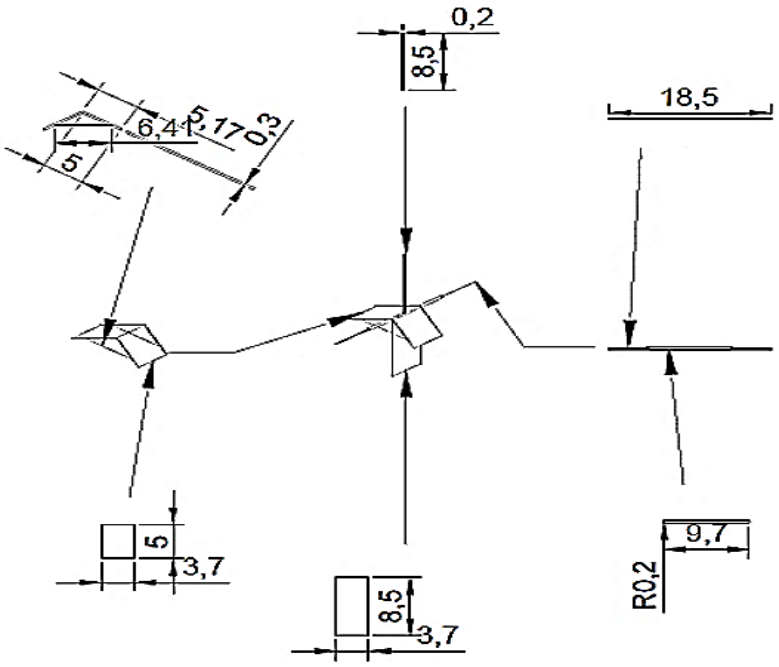


(ค) ด้านข้าง (Right view)

ภาพที่ 3-6 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ขาตั้งสำหรับตั้งชุดวัดปริมาณแก๊สเคาน์เตอร์ (Counter)



(ก)

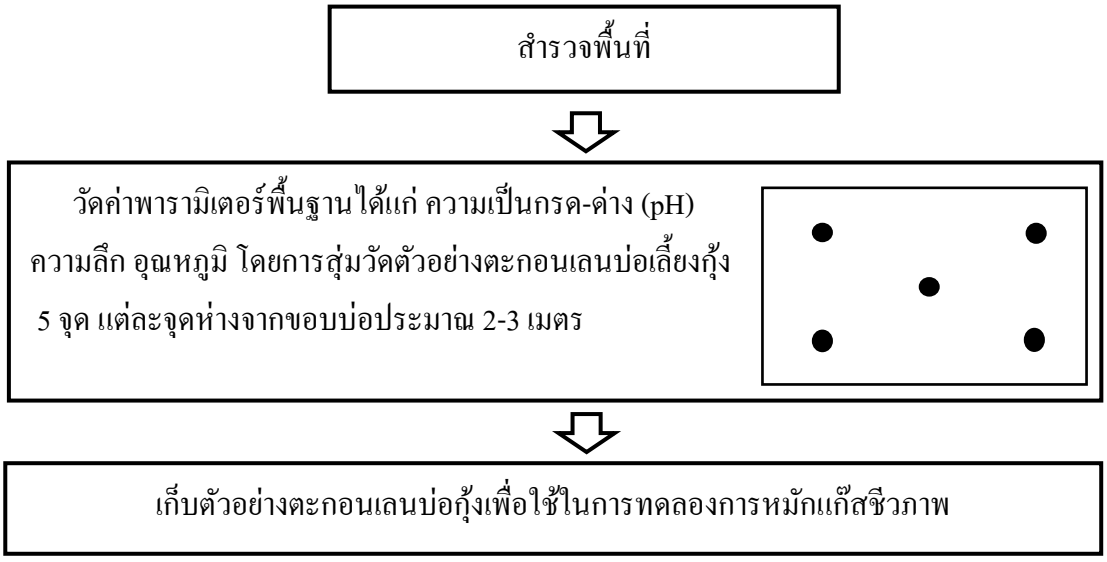


(ข)

ภาพที่ 3-7 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ปริซึมทรงสามเหลี่ยมของชุดวัดปริมาณแก๊สเคาน์เตอร์ (Counter)

2. การหมักและวิเคราะห์ตัวอย่างระหว่างการทดลองและหลังทำการทดลอง

2.1 การเก็บและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้ง การเก็บตัวอย่างภายในพื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งแบบสุ่มเก็บตัวอย่าง โดยการวัดความลึกของตะกอนเลน ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ (T) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ทำการตรวจวัดจากบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยจะสุ่มเก็บตัวอย่างตะกอนเลนบ่อกุ้งจำนวน 5 จุด ดังภาพที่ 3-8



ภาพที่ 3-8 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างภาคสนาม

เก็บตัวอย่างตะกอนเลนบ่อกุ้งเพื่อบรรจุลงถังหมักปริมาตร 30 ลิตร จากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (TVS) ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ทั้งหมด (TFS) ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/ N ratio) โดยพารามิเตอร์ทั้งหมดนี้ จะทำการวัดตัวอย่างจากตะกอนเลนก่อนและหลังการหมักโดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

2.1.1 การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ใช้วิธีระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (TVS) ใช้วิธีเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ทั้งหมด (TFS) ใช้วิธีเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส (Total solid content and Volatile solid content) (คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย, 2545) เผาจานระเหยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น 15-20 นาที แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก (B) ตวงตัวอย่าง 50-100 มิลลิลิตร ลงในจานระเหย แล้วนำไปตั้งบนเครื่องอังไอน้ำ

ปล่อยให้น้ำระเหยจนแห้ง แล้วนำจานระเหยนี้เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำจานระเหยใส่ในโถดูดความชื้นแล้วปล่อยให้เย็น 15-20 นาที และชั่งน้ำหนัก (A) การคำนวณจากสมการที่ (3-1)

$$\text{การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด TS (mg/l)} = \frac{(A-B)\times 10^6}{\text{ปริมาตร (มิลลิลิตร)}} \qquad (3\text{-}1)$$

เมื่อ

A = น้ำหนักของตัวอย่างและจานระเหย (g)

B = น้ำหนักของจานระเหย (g)

ของแข็งระเหย (TVS) และ ของแข็งคงตัว (TFS) (คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย, 2545) เผาจานระเหยและของแข็งที่ได้จากการหา TS (A) ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้จานระเหยเย็นลงแล้วจึงใส่ในโถดูดความชื้น 15-20 นาที แล้วจึงชั่งน้ำหนัก (B) คำนวณได้จากสมการที่ (3-2) และ (3-3)

$$\text{ของแข็งระเหย TVS (mg/l)} = \frac{(A-B)\times 10^6}{\text{ปริมาตร (มิลลิลิตร)}} \qquad (3\text{-}2)$$

$$\text{ของแข็งคงตัว TFS (mg/l)} = \frac{(B-C)\times 10^6}{\text{ปริมาตร (มิลลิลิตร)}} \qquad (3\text{-}3)$$

เมื่อ

A = น้ำหนักของจานระเหยและของแข็ง (g)

B = น้ำหนักของจานระเหยและของสารอนินทรีย์ (g)

C = น้ำหนักของจานระเหย (g)

2.1.2 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter)โดยส่งตัวอย่างตะกอนเลนบ่อกุ้งก่อนและหลังการทดลองแห้งบดละเอียด 50 กรัม เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่โครงการพัฒนาวิชาการดิน-ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิธีการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter) โดยวิธีของ (Walkley, 1947) ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ในขวดแก้วก้นแบนขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายในสารโพแทสเซียมไดโครเมต ($K2Cr_2O_7$) 1.0 N 10 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) 15 มิลลิลิตร เขย่าขวดแก้วเบา ๆ เป็นเวลา 1-2 นาที ตั้งทิ้ง 30 นาที เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น หยดอินดิเคเตอร์ออร์โธฟีแนนโทรลีน

5 หยดไทเทรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous ammonium sulfate; FAS) 0.5 N เพื่อหาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมต ที่เหลือจากปฏิกิริยาจนกระทั่งสีของสารละลายดินเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ บันทึกปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทและเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ ทำ Blank เช่นเดียวกันกับวิธีวิเคราะห์ดิน คำนวณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุโดยการคำนวณจากสมการที่ (3-4) (3-5) และ (3-6)

$$\% \text{ Organic carbon} = ((b-t)\, n/\, b) \times (100/\, 77) \times 3 \times (100/\, 1000) \times (10/\, w) \qquad (3\text{-}4)$$

$$\% \text{ Organic matter} = \% \text{ Organic carbon} \times 1.724 \qquad (3\text{-}5)$$

หรือ $$\% \text{ Organic matter} = (b-t)n/\, b \times 100/\, 77 \times 100/\, 58 \times 3 \times 100/\, 1000 \times 10/\, w \qquad (3\text{-}6)$$

เมื่อ

n = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท (N)

b = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับ Blank (ml)

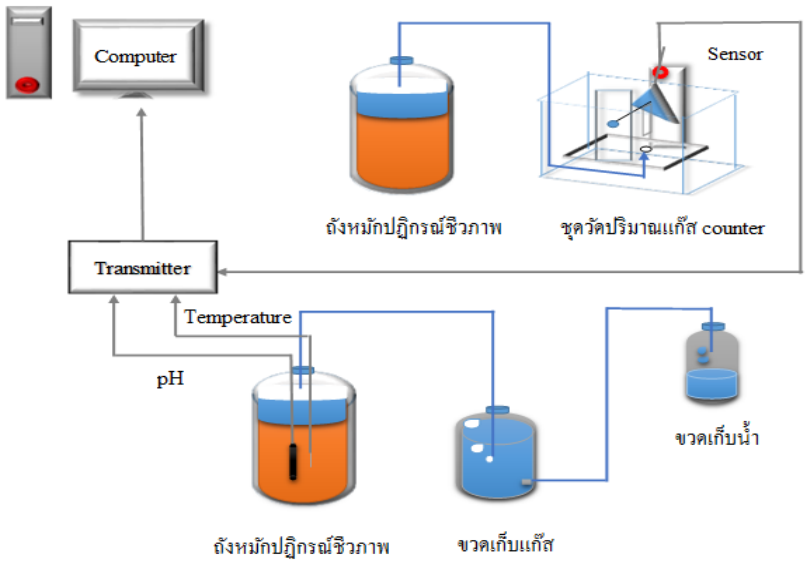
t = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (ml)

w = น้ำหนักดิน (g)

2.1 3 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/ N ratio) โดยส่งตัวอย่างตะกอนเลนบ่อกุ้งก่อนการทดลองแห้งบดละเอียด 50 กรัม เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่โครงการพัฒนาวิชาการดิน-ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม วัดค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ด้วยวิธี Kgeldahl method ของ AOAC Official method ของตัวอย่างได้โดยการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total carbon) หารด้วยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total kgeldahl nitrogen) การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดจะใช้เทคนิค Dry combustion โดยวิธี Medium temperature resistance furnace method สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดทำได้ โดยการชั่ง Boat เมื่อคงที่แล้วใส่ตัวอย่างดินที่ต้องการวิเคราะห์ลงไป ชั่งน้ำหนักดิน (ไม่ควรเกิน 1 กรัม) จากนั้นนำตัวอย่างดินไปออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง Total organic carbon analyzer (TOC Analyzer) ค่าที่ได้เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานจะเป็นปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจากสมการที่ (3-7)

$$\text{อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน} = \frac{\text{ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (mg/ g compost)}}{\text{ปริมาณไนโตรเจน (mg/ g compost)}} \quad (3\text{-}7)$$

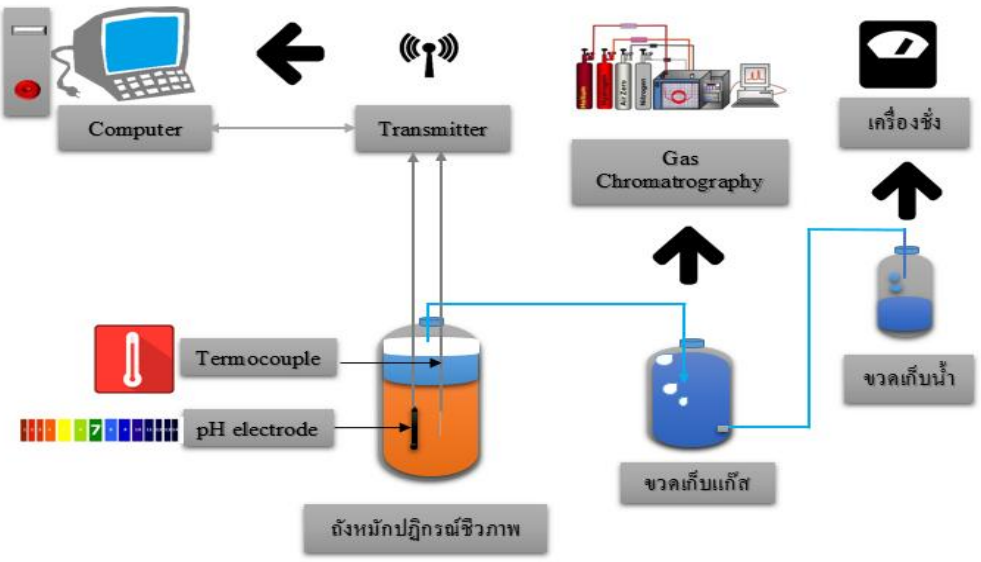
2.2 กระบวนการหมัก นำตะกอนเลนบ่อกุ้งปริมาตร 30 ลิตร ที่ทำการตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นจะถูกบรรจุลงในถังหมักปฏิกรณ์แก๊สชีวภาพปริมาตร 35 ลิตร ครั้งเดียวตลอดการทดลอง จำลองการหมักแบบกะโดยสภาวะไร้ออกซิเจน เพื่อให้ภายในถังหมักเกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ของตะกอนทำให้เกิดแก๊สชีวภาพ และทำการติดตามการหมักตะกอนเลนโดยการติดตั้งระบบชุดการทดลองโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นศูนย์กลางในการบันทึกข้อมูลค่าพารามิเตอร์ บันทึกค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิภายในถังหมักโดยติดตามผลการทดลองวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิที่เกิดภายในถังหมักทุก ๆ 1 นาที โดยใช้เทอโมคัปเปิลซึ่งเป็นแท่งอิเล็กโทรดสำหรับวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ติดตั้งภายในถังหมัก จากนั้นข้อมูลที่ได้จากการตรวดวัดจะถูกเก็บบันทึกผ่านคอมพิวเตอร์ผ่านตัวแปลงสัญญาณข้อมูล (Transmitter) เปลี่ยนสัญญาณอะนาล็อคเป็นดิจิตอลทุก ๆ 1 นาที และตรวจวัดปริมาณแก๊สที่ได้จากการทดลองของชุดเคาน์เตอร์ โดยการทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกเป็นการหมักเพื่อวัดปริมาณการเกิดแก๊สรวมภายในถังหมักจากชุดเคาน์เตอร์โดยนับรอบจากการทดลองเมื่อชุดตรวจวัดปริมาณแก๊สเคาน์เตอร์เคลื่อนที่ผ่านเซ็นเซอร์ โดยที่ชุดการทดลองนี้ไม่สามารถเก็บตัวอย่างแก๊สได้ ชุดที่สองเป็นการหมักเพื่อเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ ดังภาพที่ 3-9



ภาพที่ 3-9 ชุดการทดลอง

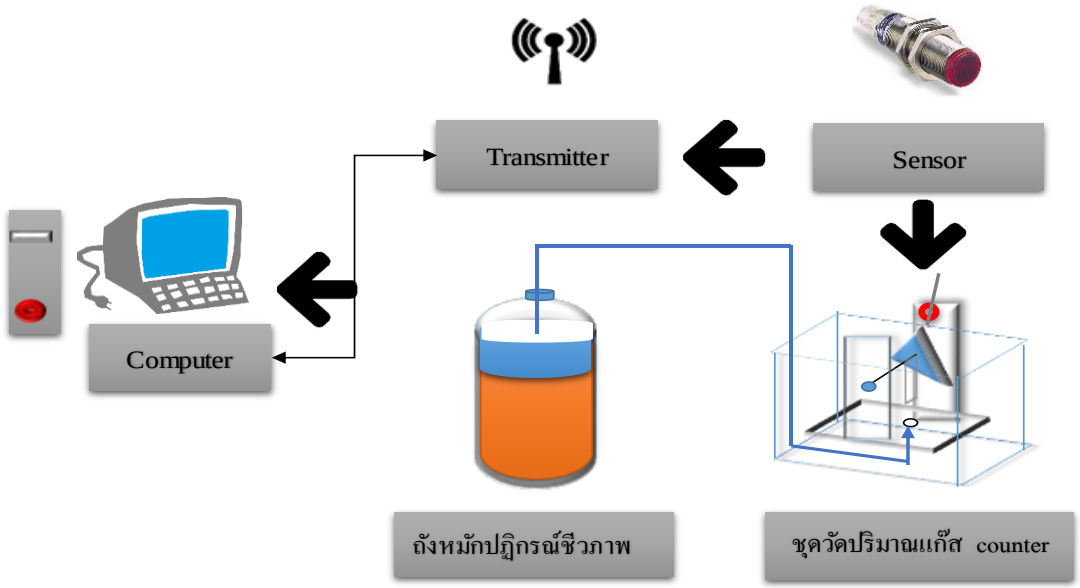
2.2.1 การทดลองในห้องปฏิบัติการของกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด ตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้งที่ใช้ในการหมัก ถังละ 30 ลิตร ชุดแรกเป็นการหมักตะกอนเลนเพื่อวัดปริมาณแก๊สที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนโดยหลักการแทนที่น้ำ ชุดที่สองเป็นการหมักเพื่อวัดปริมาณแก๊สโดยใช้ชุดเคาน์เตอร์ (counter) นับรอบ

2.2.1.1 กระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ (นพวรรณ เสมวิมล และเกษม จันทร์แก้ว, 2556) การทดลองสร้างแบบจำลองการผลิตแก๊สชีวภาพจากชุดการทดลองถังปฏิกรณ์ชีวภาพ โดยใช้ถังหมักขนาด 35 ลิตรและใช้ตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้งปริมาตร 30 ลิตร ในการทดลอง ภายในถังหมักตัดตั้งแท่งอิเล็กโทรดวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และแท่งอิเล็กโทรดสำหรับวัดอุณหภูมิ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันตลอดช่วงเวลาการหมักแบบต่อเนื่องทุก ๆ 1 นาที โดยบันทึกข้อมูล ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิของตะกอนเลนภายในถังหมัก เก็บตัวอย่างแก๊สรวมสะสมโดยใช้หลักการการแทนที่น้ำ จำลองการหมักแบบกะโดยสภาวะไร้ออกซิเจน เมื่อเกิดแก๊สชีวภาพจากกระบวนการหมักตะกอนเลน แก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในถังหมักจะลอยตัวเกิดแรงดันภายในถังหมักเข้าไปแทนที่น้ำในถังน้ำ เมื่ออากาศเข้าไปแทนที่น้ำภายในถังเก็บน้ำ อากาศจะลอยตัวอยู่ด้านบนของขวดเก็บแก๊สเมื่อปริมาณอากาศในขวดเก็บแก๊สเพิ่มขึ้นทำให้เกิดแรงดันภายในถังเก็บแก๊ส ทำให้น้ำจากขวดเก็บแก๊สเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในถังเปล่าขนาด 1.5 ลิตร ดังภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-10 รูปแบบจำลองกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ

2.2.1.2 ระบบการตรวจวัดปริมาณแก๊สโดยใช้ชุดเคาน์เตอร์ (Counter) (อรรถวิโรจน์ เขียวนาค, 2553) การทดลองสร้างแบบจำลองการผลิตแก๊สชีวภาพจากชุดการทดลองถังปฏิกรณ์ชีวภาพ โดยใช้ถังหมักขนาด 35 ลิตรและใช้ตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้งปริมาตร 30 ลิตร ในการทดลอง ภายในถังหมักตัดตั้งแท่งอิเล็กโทรดวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และแท่งอิเล็กโทรดสำหรับวัดอุณหภูมิ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันตลอดช่วงเวลาการหมักแบบต่อเนื่องทุก ๆ 1 นาที โดยบันทึกข้อมูล ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิของตะกอนเลนภายในถังหมัก แก๊สที่เกิดขึ้นจะตรวจวัดโดยการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดปริมาณแก๊ส โดยใช้ชุดตรวจวัดแก๊สเคาน์เตอร์ (Counter) นับจำนวนรอบที่เกิดขึ้น เป็นตัวตรวจวัดปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพ ดังภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 รูปแบบกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนจำลองชุดตรวจวัดปริมาณแก๊สชุดเคาน์เตอร์ (Counter)

2.2.2 การวัดพารามิเตอร์หลังกระบวนการหมักอธิบายดังหัวข้อ 2.1.1 2.1.2 และ 2.1.3

2.2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สแก๊สชีวภาพ โดยทำการเก็บตัวอย่างแก๊สรวมที่ได้จากการทดลองโดยใช้ขวดเก็บแก๊สและวิเคราะห์ปริมาตรแก๊สรวมในแต่ละวันจากการทดลองโดยการวัดปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยแก๊ส แล้วนำตัวอย่างของแก๊สรวมที่ได้จากการทดลอง ไปวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สโดยเครื่อง GC-2014 SHIMADZU

(Gas Chromatography) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณมีเทน (CH_4) ไฮโดรเจน (H_2) ไนโตรเจน (N_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยขอนแก่น

3. วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อกุ้ง การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อกุ้ง คำนวณจากปริมาณตะกอนเลนและปริมาณแก๊สที่ผลิตได้เทียบกับพลังงานที่ได้จากแก๊สชีวภาพและราคาต้นทุนการผลิตถังปฏิกรณ์ชีวภาพ โดยการประเมินความเป็นไปได้ในการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยการสำรวจการขึ้นกุ้ง ในช่วงเดือนมกราคม-เดือนตุลาคม จำนวน 12 บ่อ จากการสำรวจพื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้โปรแกรม iMeasure ซึ่งโปรมแกรมนี้จะสามารถคำนวณพื้นที่ โดยกำหนดพิกัดจุดที่ต้องการ สำรวจปริมาณตะกอนเลนโดยคำนวณจากการวัดความลึกของตะกอนบ่อกุ้งจากบ่อที่ใช้ทดลอง โดยการสุ่มวัดตัวอย่างจำนวน 3 บ่อเลี้ยงเพื่อหาค่าเฉลี่ย และสุ่มวัดความสูงของตะกอนเลนบ่อกุ้งจากบ่อจำนวน 5 จุดต่อหนึ่งบ่อ จำนวน 3 บ่อ ดังภาพที่ 3-7 โดยการคำนวณตะกอนเลนบ่อกุ้งทำได้โดยการคำนวณ จากสมการที่ (3-9)

$$\text{ปริมาณตะกอน} = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง} \tag{3-9}$$

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สที่เกิดจากการทดลองด้วยการหมักตะกอนเลนบ่อกุ้ง ปริมาตร 30 ลิตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นคิดเป็นปริมาตรเพื่อหาความสัมพันธ์ด้านพลังงานที่ได้จากการทดลอง โดยเปรียบเทียบอัตราการทดแทนพลังงานการใช้พลังงานของแก๊สชีวภาพ แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 อัตราการทดแทนการใช้พลังงานของแก๊สชีวภาพ

พลังงานทดแทน	อัตราการทดแทนต่อแก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร
LPG	0.46 กิโลกรัม
น้ำมันดีเซล	0.60 ลิตร
น้ำมันเตา	0.55 ลิตร
ไฟฟ้า	1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ไม้ฟืน	1.5 กิโลกรัม
น้ำมันเบนซิน	0.60 ลิตร

หมายเหตุ: แก๊สชีวภาพประกอบด้วยแก๊สมีเทนร้อยละ 50-70 และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 20-50 แก๊สอื่น เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) แอมโมเนีย (NH_3) และไอน้ำ (H_2O) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

พลังงานที่คำนวณได้จะนำมาเทียบกับพลังงานที่ใช้กับกังหันน้ำที่ใช้ทั่วไปในฟาร์มเลี้ยงกุ้ง ขนาด 2 แรงม้า โดยแก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถใช้กับเครื่องยนต์ขนาด 2 แรงม้า ได้ 1 ชั่วโมง หากนำมาคำนวณความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ดังสมการ (3-10) (3-11) และ (3-12)

$$\frac{\text{ปริมาณแก๊สชีวภาพ (ลบ.ม.) 1.2 กิโลวัตต์/ ลบ.ม.}}{\text{ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้กับกังหัน 1 ตัว (กิโลวัตต์)}} = \text{ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับกังหันน้ำ 1 ตัว} \quad (3\text{-}10)$$

$$(\text{ปริมาณตะกอน} \times \text{ปริมาณแก๊สชีวภาพ} \times \text{ปริมาณไฟฟ้า} \times \text{ราคาต่อหน่วยไฟฟ้า-ต้นทุนถังปฏิกรณ์ชีวภาพ}) = \text{ราคากระแสไฟฟ้าที่นำไปใช้ (บาท)} = \text{ประหยัดพลังงาน (บาท)} \quad (3\text{-}11)$$

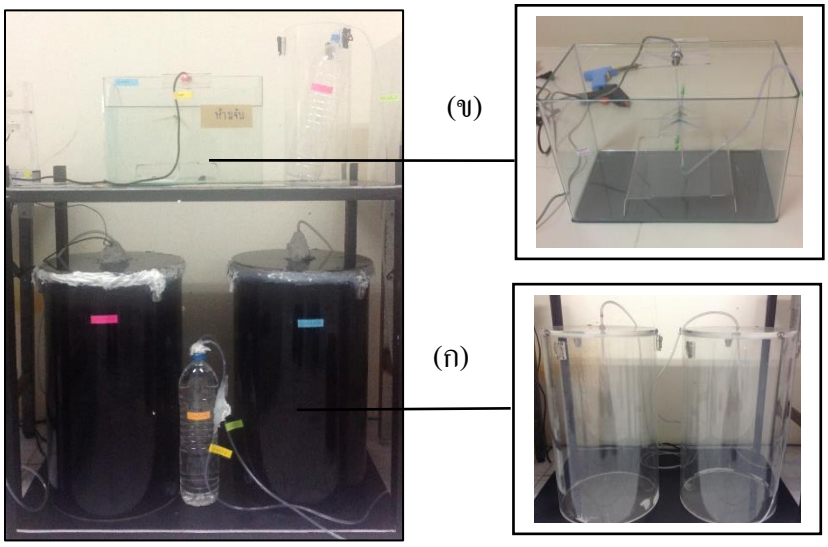
$$\frac{\text{ราคาไฟฟ้าที่นำไปใช้ (บาท)}}{\text{ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับกังหัน 1 ตัว} \times \text{ราคาต่อหน่วยไฟฟ้า (บาท)}} = \text{จำนวนกังหันที่ใช้งาน (ตัว)} \quad (3\text{-}12)$$

บทที่ 4
ผลการศึกษา

ผลการวิจัยการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้ง วัตถุประสงค์ของการดำเนินการวิจัยเพื่อออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพและติดตามการเปลี่ยนแปลงภายในถังปฏิกรณ์ด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนและการตรวจวัดปริมาณแก๊สชีวภาพจากชุดการทดลอง ซึ่งมีการติดตามอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพและพัฒนาต่อไป

ถังหมักและชุดตรวจวัดปริมาตรแก๊สที่ได้จากการออกแบบ

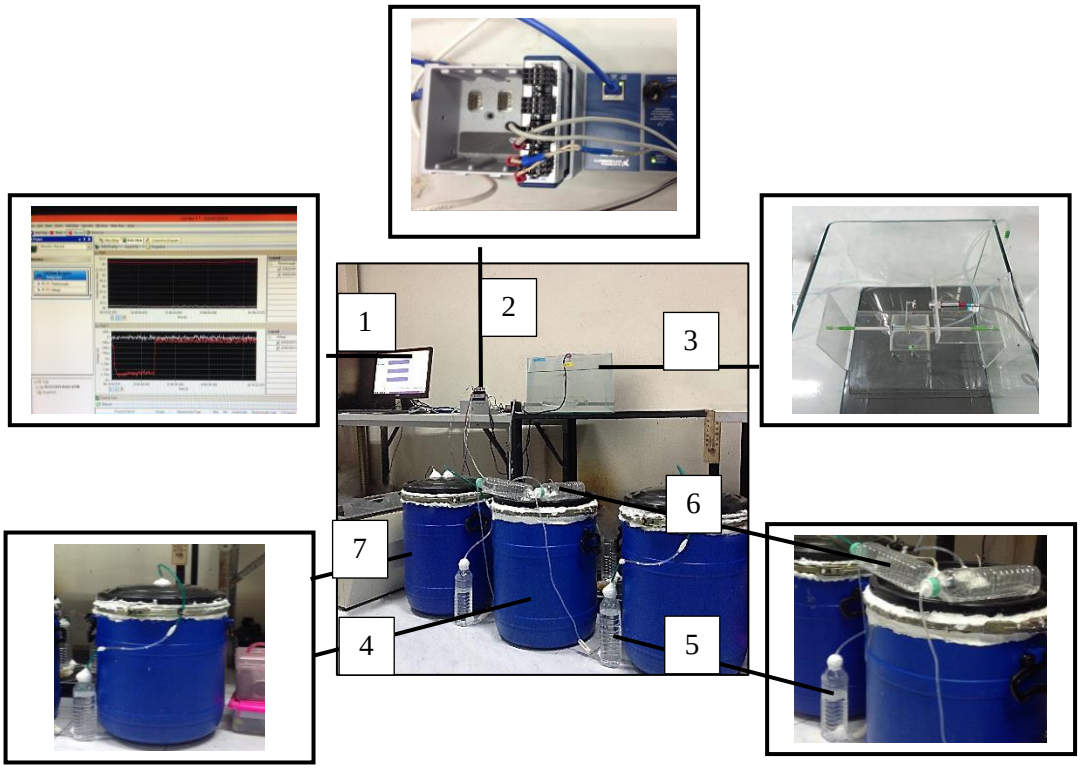
ถังหมักปฏิกรณ์ชีวภาพที่ออกแบบนี้มีลักษณะเป็นถังปิดรูปทรงกระบอกมีความจุประมาณ 35 และ 40 ลิตร สร้างจากวัสดุอะคริลิกพร้อมฝาปิดและมีหูล็อก 3 จุด แบบ Snap lock เพื่อให้ฝาปิดมีความแน่นมากยิ่งขึ้น ตรงกลางฝาปิดถูกเจาะเพื่อใส่หัวอิเล็กโทรดสำหรับทดลองและเป็นช่องทางออกของแก๊ส ดังภาพที่ 4-1 (ก) และชุดวัดปริมาณแก๊ส Counter ที่ประกอบไปด้วยอ่างน้ำและอุปกรณ์สำหรับวัดปริมาณแก๊สชีวภาพที่ประกอบไปด้วยปริซึมทรงสามเหลี่ยมพร้อมขาตั้ง ดังภาพที่ 4-1 (ข)



ภาพที่ 4-1 ถังหมักปฏิกรณ์ชีวภาพและชุดวัดปริมาณแก๊ส (Counter) ที่ได้จากการออกแบบ

เมื่อทำการทดลองหมักตะกอนเลนบ่อกุ้งโดยใช้ถังหมักปฏิกรณ์ชีวภาพที่ได้จากการออกแบบ ดังภาพที่ 4-1 (ก) เพื่อวัดปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน ด้วยวิธีการหมักแบบกะ โดยที่แบบที่ 1 วัดปริมาณแก๊สชีวภาพด้วยหลักการแทนที่น้ำ แบบที่ 2 วัดปริมาณแก๊สชีวภาพโดยใช้ชุด Counter ที่ได้จากการออกแบบ เมื่อทำการทดลอง พบว่า เมื่อหมักตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้ง 1 สัปดาห์ ไม่พบแก๊สชีวภาพเกิดขึ้นจากการตรวจวัดปริมาณแก๊สชีวภาพทั้งสองแบบ เมื่อเปิดถังหมัก พบว่า มีฟองอากาศเกิดขึ้นในตะกอนเลนจึงสันนิษฐานว่ามีแก๊สเกิดขึ้นจากกระบวนการหมักจริง เนื่องจากการทดลองของ (ประสิทธิ์ ศรีนคร, 2555) เกิดแก๊สในวันถัดมาของการทดลองจึงทำการทดลองซ้ำ พบว่า หลังจากทำการหมักไม่พบแก๊สชีวภาพเกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ทำการทดลองทั้งสองแบบไม่สามารถตรวจวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นคือไม่สามารถเก็บตัวอย่างแก๊สที่เกิดขึ้นได้และเมื่อทำการหมักต่อ พบว่า เกิดแรงดันภายในถังและทำให้ก้นถังหมักปฏิกรณ์ชีวภาพเกิดลอยรั่ว

จากการทดลองทั้งสองครั้งคาดว่าวัสดุอะคริลิกที่ใช้เป็นต้นแบบในการทำถังหมักปฏิกรณ์ชีวภาพไม่ทนต่อแรงดัน สาเหตุเนื่องมาจากการออกแบบทางโครงสร้างที่ไม่เหมาะสม เพราะตัวถังไม่ได้หล่อจากวัสดุที่เป็นชิ้นเดียว ตัวถังเกิดจากการเชื่อมต่อของอะคริลิกโดยตัวถังที่เป็นอะคริลิกที่เป็นทรงกระบอกปิดก้นถังด้วยอะคริลิกแบบแผ่นเรียบเชื่อมต่ออัดด้วยกาวร้อน คาดว่าทำให้ตัวถังมีโครงสร้างที่ไม่สามารถรับน้ำหนักของปริมาณตะกอนเลนในปริมาณมากได้ เมื่อทำการทดลองซ้ำ เนื่องจากปฏิกิริยาการหมักทำให้เกิดแรงดันอากาศขึ้นภายในถังหมัก เป็นสาเหตุให้โครงสร้างส่วนที่เชื่อมต่อของส่วนประกอบของถังหมัก เมื่อเกิดปฏิกิริยาการหมักทำให้เกิดแรงดันภายในถังหมักทำให้แก๊สเกิดการขยายตัวออกส่งผลให้เกิดรอยรั่วของถังหมัก พบน้ำหมักซึมออกมาตามรอยต่อของตัวถัง เมื่อทำการตรวจวัดจึงไม่พบแก๊สชีวภาพในขวดเก็บแก๊ส และไม่พบการเปลี่ยนแปลงของชุดตรวจวัดปริมาณแก๊สชีวภาพชุดเคาน์เตอร์ หลังจากตรวจพบปัญหาดังกล่าวจึงเลือกวัสดุที่มีความยืดหยุ่นเป็นพลาสติกที่ขึ้นรูปแบบมีฝาปิดมีเกลียวรัด ทำจากวัสดุ PE ถังขนาด 40 ลิตร ดังภาพที่ 4-2 ใช้เป็นถังหมักปฏิกรณ์ชีวภาพเมื่อทำการหมัก พบว่ามีแก๊สชีวภาพเกิดขึ้นจากการทดลองถังหมักสามารถทนต่อแรงดันจากแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในถังหมักได้ เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติ คือ ความยืดหยุ่น



หมายเหตุ: 1) คอมพิวเตอร์ใช้ในการแสดงผลข้อมูล 2) เครื่องแปลงสัญญาณทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากโพรบวัดอุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 3) ชุดวัดปริมาณแก๊สชีวภาพแก๊ส Counter ที่ได้จากการออกแบบสร้างจากอะคริลิก 4) ถังหมักปฏิกรณ์แก๊สชีวภาพสำหรับชุดวัดปริมาณแก๊สชีวภาพแก๊ส Counter 5) ขวดวัดปริมาณแก๊สชีวภาพโดยใช้วิธีการแทนที่น้ำ 6) ขวดเก็บแก๊สโดยใช้วิธีการแทนที่น้ำ 7) ถังหมักปฏิกรณ์แก๊สชีวภาพสำหรับชุดเก็บแก๊สโดยวิธีการแทนที่น้ำ

ภาพที่ 4-2 ชุดการทดลองการหมักแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อกุ้ง

เมื่อทำการทดลองด้วยวิธีการหมักแบบกะโดยที่

แบบที่ 1 เพื่อวัดปริมาณแก๊สชีวภาพด้วยหลักการแทนที่น้ำ สามารถเก็บตัวอย่างแก๊สที่ได้จากกระบวนการหมักซึ่งเข้าไปแทนที่น้ำจากการทดลองสามารถเก็บตัวอย่างแก๊สชีวภาพและวัดปริมาตรน้ำที่ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ได้จากการหมักมาแทนที่ในแต่ละวันได้

แบบที่ 2 เพื่อวัดปริมาณแก๊สชีวภาพโดยใช้ชุดเคาน์เตอร์ที่ได้จากการออกแบบ เมื่อทำการหมักพบว่า มีแก๊สชีวภาพเกิดขึ้นจากกระบวนการหมักแก๊สชีวภาพ ชุดวัดปริมาณแก๊สเคาน์เตอร์สามารถตรวดวัดปริมาณแก๊สชีวภาพได้ แต่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างแก๊สที่เกิดขึ้นได้และ พบว่า

มีข้อเสียที่เกิดจากเครื่องมือวัดดังกล่าว คือ

1. ไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลของแก๊สให้สม่ำเสมอเนื่องจากปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาไม่เท่ากัน ทำให้แก๊สไหลเข้าเครื่องตรวจวัดในปริมาณที่มาก เกิดฟองแก๊สมาก ในบางช่วงทำให้ปริซึมทรงสามเหลี่ยมค้างไม่เกิดการพลิกซ้าย-ขวา ควบคุมการทำงานไม่ได้

2. การพลิกของปริซึมสามเหลี่ยมไม่สัมพันธ์กับเซ็นเซอร์ เนื่องจากเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ช้า อาจเป็นไปได้ว่าปริซึมทรงสามเหลี่ยมมีขนาดเล็กเกินไปทำให้มีน้ำหนักเบา เมื่อแก๊สไหลผ่านสายยางช่วงการเคลื่อนไหวของปริซึมจึงเกิดขึ้นถี่และเร็ว เนื่องจากเซ็นเซอร์ตรวจจับได้ช้าทำให้การทำงานของปริซึมทรงสามเหลี่ยมกับเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวทำงานไม่สัมพันธ์กัน ทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านค่าการทดลองที่ตัวเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวได้

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของตะกอนเลนบ่อกุ้งก่อนและหลังการทดลอง

คุณสมบัติของตะกอนเลนบ่อกุ้งก่อนและหลังการทดลองด้วยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตะกอนเลนบ่อกุ้ง ยังใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษา อัตราการผลิตแก๊สชีวภาพและปริมาณตะกอนเลนจากบ่อตัวอย่าง โดยในการเก็บตัวอย่างการทดลองของตะกอนเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้ง จำนวน 3 บ่อ โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองจำนวน 5 จุด โดยวัดตัวอย่างพารามิเตอร์พื้นฐาน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิและวัดความลึกของตะกอนเลนบ่อกุ้ง โดยมีขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 3-8 ก่อนทำการเก็บตัวอย่างตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้งเพื่อทำการทดลอง พบว่า ตะกอนเลนบ่อกุ้งแต่ละบ่อมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยแต่ละบ่อเริ่มต้นอยู่ที่ 9.23 8.31 และ 6.80 ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทน อุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 31.87 32.38 และ 36.33 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์จำพวก Methanogens เติบโตและผลิตมีเทนได้ดี ความลึกของตะกอนเลนเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดบ่อเลี้ยงกุ้ง 3 บ่อ เฉลี่ยอยู่ที่ 4.57 5.15 และ 6.41 เซนติเมตร ดังตารางภาคผนวก ข-1 โดยแต่ละบ่อมีพื้นที่ 1.64 1.66 และ 1.84 ไร่ มีตะกอนเลนบ่อกุ้งประมาณ 119.83 136.87 และ 188.61 ลูกบาศก์เมตร ดังตารางที่ 4-1 จากการสำรวจพื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้โปรแกรม iMeasure ซึ่งโปรมแกรมนี้จะสามารถคำนวณพื้นที่ด้วยภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้ GPS กำหนดพิกัดจุดที่ต้องการคำนวณ ดังภาพที่ 4-3

ภาพที่ 4-3 ตัวอย่างภาคพื้นที่ที่ทำการสำรวจบ่อเลี้ยงกุ้งด้วยโปรแกรม iMeasure

ตารางที่ 4-1 พื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งที่นำมาศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่าง

พื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้ง				
บ่อที่	พื้นที่ (ตร.ม.)	พื้นที่ (ไร่)	ความลึกเฉลี่ย (ซม.)	ปริมาณตะกอน (ลบ.ม.)
1	2,624	1.64	4.57	119.83
2	2,656	1.66	5.15	136.87
3	2,944	1.84	6.41	188.61
		รวม		445.31

จากการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของตะกอนเลนบ่อกุ้ง พบว่าก่อนทำการหมักอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/ N ratio) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.13-8.69 สามารถนำไปผลิตแก๊สชีวภาพได้ จากการทดลองที่ช่วงอุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแก๊สชีวภาพ สาเหตุที่ทำการตรวจวัดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแค่ก่อนการทดลองเนื่องจากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนใช้บอกคุณสมบัติเริ่มต้นในการผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งถูกแบคทีเรียใช้เป็นแหล่งพลังงานเปลี่ยนรูปแบบไปอยู่ในรูปขององค์ประกอบของเซลล์ ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการผลิตแก๊สชีวภาพที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 8-30 (ประสิทธิ์ ศรีนคร และคณะ, 2554) เมื่อเทียบกับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของมูลสุกร เท่ากับ 14-16 และ มูลไก่ เท่ากับ 17-29 (วิเชียร, 2541; มุกดา, 2545) นอกจากนี้ยัง พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการลดปริมาณค่าของแข็ง TS VS TFS และ OM ดังตารางที่ 4-2 จะเห็นได้ว่าตะกอนเลนบ่อกุ้งมีปริมาณของของแข็งค่อนข้างสูงก่อนและหลังการทดลองมีค่าลดลงอย่างเห็น

ได้ชัด พบปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ในปริมาณที่ต่ำและหลังการทดลองมีค่าลดลงเล็กน้อย และลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส เนื่องจากกระบวนการหมักแก๊สชีวภาพต้องอาศัยการทำงานร่วมของแบคทีเรียหลายกลุ่ม แบคทีเรียจะใช้อินทรียวัตถุเป็นแหล่งอาหารสารอินทรีย์จะถูกแปลงสภาพให้อยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายสะสมอยู่ในรูปแบบของแก๊ส หลังการทดลองของแข็งระเหยได้ (TVS) ปริมาณจึงลดลงเล็กน้อย ทำให้ระยะเวลาในการหมักตะกอนเลนไม่เท่ากันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ประเภท และปริมาณของสารอินทรีย์ (ประสิทธิ์ ศรีนคร และคณะ, 2554) แต่จุลชีพจำพวกแบคทีเรียอาร์เคีย *Archaea* สามารถนำธาตุอาหารจำพวกของแข็งที่จำเป็นต่อการดำรงชีพดังกล่าวไปใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งมีแนวโน้มลดลงไปในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 4-2 คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของตะกอนเลนในบ่อกุ้งก่อนและหลังการทดลอง

คุณลักษณะของตะกอนเลนบ่อกุ้ง	ช่วงอุณหภูมิในการทดลอง								
	27 องศาเซลเซียส			30 องศาเซลเซียส			34 องศาเซลเซียส		
	ก่อน	หลัง	เปลี่ยนแปลง (%)	ก่อน	หลัง	เปลี่ยนแปลง (%)	ก่อน	หลัง	เปลี่ยนแปลง (%)
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	8.08	7.36	8.91	6.87	6.02	12.37	7.96	7.74	2.76
2. ของแข็งทั้งหมด (g/l)	581.88	445.65	23.41	699.62	448.16	35.94	575.17	533.65	7.22
3. แข็งระเหยได้ทั้งหมด (g/l)	0.34	0.33	2.94	0.33	0.26	21.21	37.29	33	11.50
4. ของแข็งคงตัวทั้งหมด (g/l)	581.54	445.32	23.42	669.29	447.90	33.08	537.88	500.56	6.94
5. อินทรียวัตถุ (g/l)	1.21	1.03	14.88	1.17	0.98	16.24	4.8	1.61	66.46
6. อัตราส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน	1.76			1.94			8.69		

ผลการศึกษาติดตามกระบวนการหมักแก๊สชีวภาพ

เมื่อทำการหมักโดยบรรจุตะกอนเลนบ่อกุ้งปริมาตร 30 ลิตร ลงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 40 ลิตร ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิในช่วง (30±5 องศาเซลเซียส) เมื่อทำการทดลองอุณหภูมิภายในถังหมักในสภาวะที่ 1 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ย 27.07 30.22 และ 34.47 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายนอกถังที่ไม่ได้ถูกควบคุม ที่สภาวะ 1 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ย 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4-3 จึงนำสภาวะทั้ง 3 ช่วง คือ อุณหภูมิ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส มาใช้ในการศึกษาสภาวะของอุณหภูมิที่มีอิทธิพลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่มีผลต่อกระบวนการเกิดแก๊สชีวภาพ ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยผลที่ได้จากการทดลองเป็นดังนี้

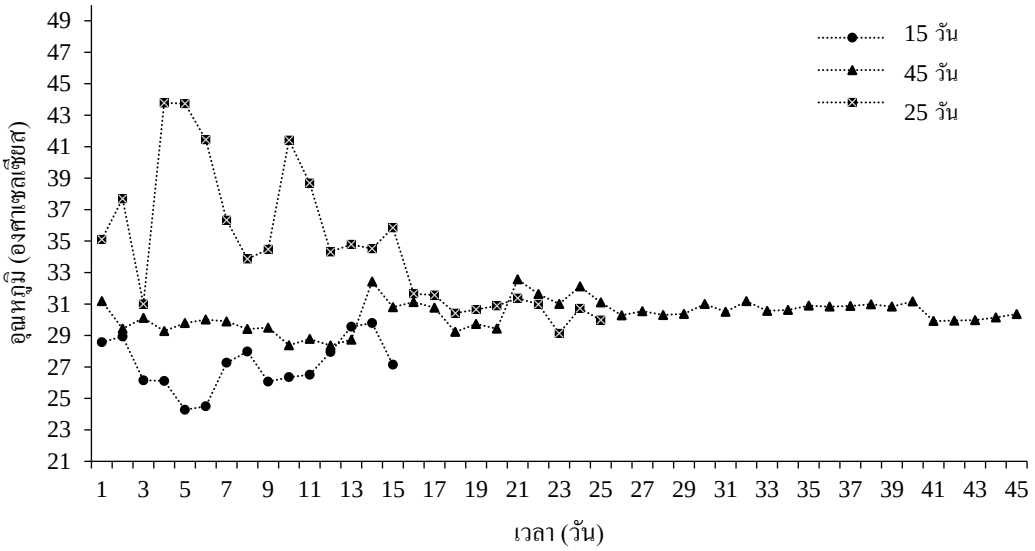
ตารางที่ 4-3 อุณหภูมิภายในและภายนอกถังหมักแก๊สชีวภาพที่ใช้กำหนดช่วงอุณหภูมิการทดลอง

	อุณหภูมิภายในถังหมัก (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิภายนอกถังหมัก (องศาเซลเซียส)		
สภาวะ	1	2	3	1	2	3
	24.28	28.36	29.14	26	31	35
	27.14	29.74	34.58	28	29	34
	29.79	32.56	39.69	27	30	34
เฉลี่ย	27.07	30.22	34.47	27	30	34

อุณหภูมิ

ก่อนทำการทดลองอุณหภูมิของตะกอนเลนบ่อกุ้งเริ่มต้นอยู่ที่ 28.57 31.18 และ 35.11 องศาเซลเซียส เมื่อทำการหมักโดยกำหนดให้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส สภาวะที่ 1 ที่ช่วงอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการหมัก 15 วัน โดยที่อุณหภูมิภายนอกถังหมักอยู่ในช่วง 26-28 องศาเซลเซียส เมื่อทำการหมักอุณหภูมิภายในถังหมักจะลดลงในวันที่ 3-5 และจะขึ้นลงสลับกันตลอดการทดลอง เฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมักอยู่ที่ 26.97 องศาเซลเซียส สภาวะที่ 2 ที่ช่วงอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จนสิ้นสุดกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพจนเข้าสู่สภาวะคงที่ซึ่งใช้ระยะเวลาในการหมัก 45 วัน อุณหภูมิภายนอกถังหมักอยู่ในช่วง 29-31 องศาเซลเซียส เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 30.22 องศาเซลเซียส สภาวะที่ 3 อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส จนสิ้นสุดกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพจนเข้าสู่สภาวะคงที่ซึ่งใช้ระยะเวลาในการหมัก 25 วัน

อุณหภูมิภายนอกถังหมักอยู่ในช่วง 30-34 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในถังหมักจะลดลงในช่วงแรกและจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 4-5 ลดลงอย่างรวดเร็วและอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 9 อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกัน เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 34.47 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 สภาวะช่วงอุณหภูมิ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิภายในถังหมักมีการลดลงของอุณหภูมิในช่วง 1-3 วันแรก มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน หลังจากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก ดังภาพที่ 4-4 ซึ่งอุณหภูมิในการหมักจะได้รับอิทธิพลจากภูมิอากาศภายนอกถังหมักที่ส่งผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ จากการทดลองที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส เหมาะสมต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้อัตราการผลิตแก๊สชีวภาพสูงขึ้น อุณหภูมิที่จุลินทรีย์กลุ่มเมโซฟิลิกทำงานได้ดีอยู่ในช่วง 20-45 องศาเซลเซียส โดยแบคทีเรียในถังหมักส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียกลุ่มเมโซฟิลิก จะเห็นได้ว่าเมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่อุณหภูมิจะอยู่ในช่วงที่ 29-31 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่แบคทีเรียดำรงชีพอยู่ได้

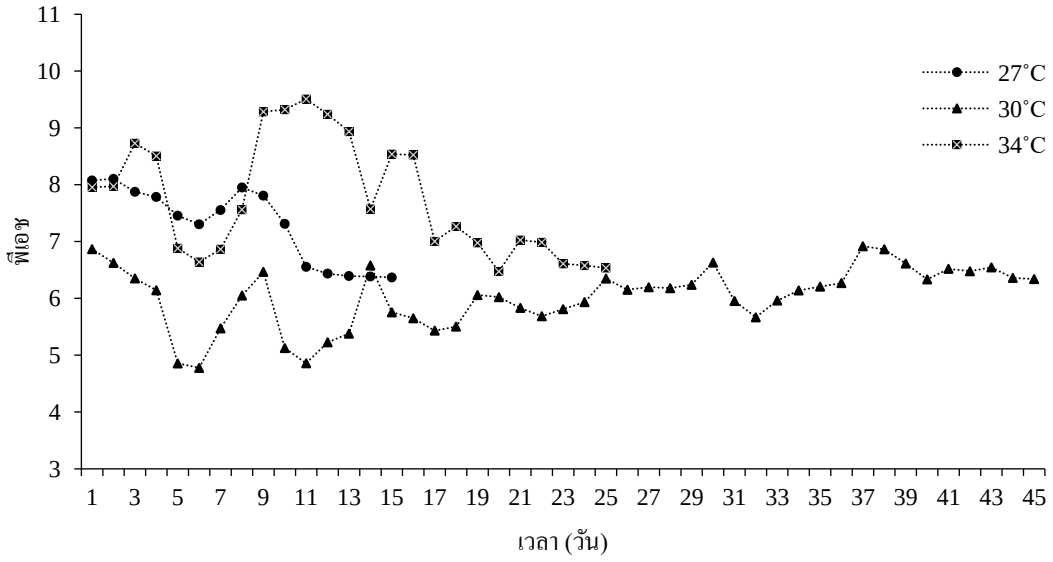


ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากภาพที่ 4-5 ก่อนการหมักตะกอนเลนบ่อกุ้งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เริ่มต้นเท่ากับ 8.08 6.87 และ 7.96 เมื่อทำการทดลอง พบว่า ในช่วงวันที่ 1-6 ของการทดลองค่าความเป็นกรด-ด่าง

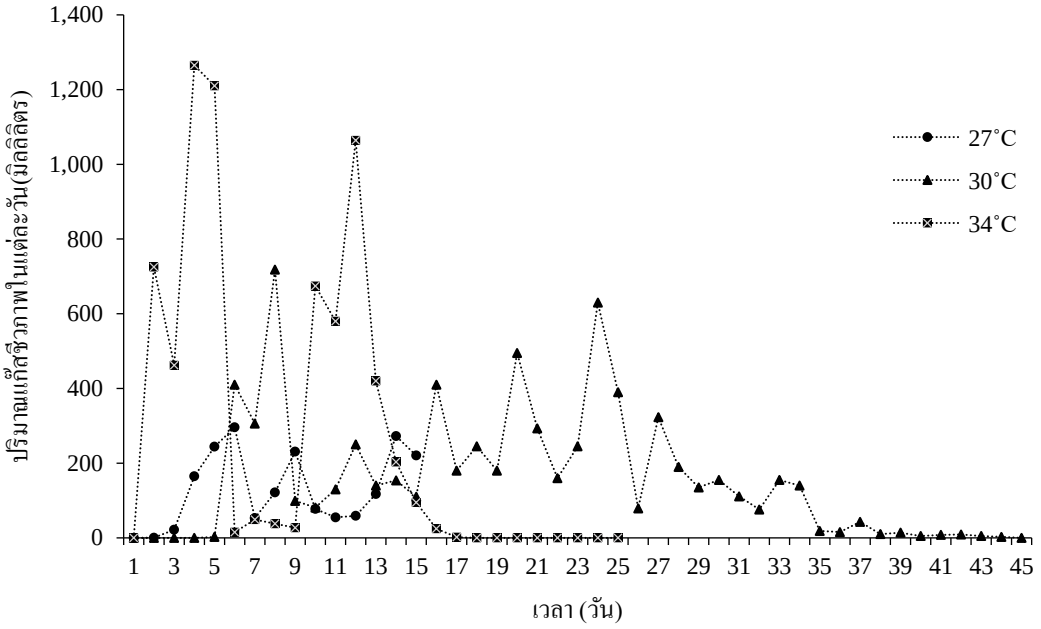
(pH) มีค่าลดลงทุกวันและลดลงเร็วมาก โดยในวันที่ 6 มีค่าอยู่ที่ 7.31 4.78 และ 6.64 ตามลำดับ ระบบเริ่มเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ เนื่องจากเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสและสะสมของกรดไขมันแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ จากนั้นความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 7 และเพิ่มขึ้น ลดลงตลอดจนสิ้นสุดกระบวนการทดลอง จากการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ใน 3 ช่วงอุณหภูมิคือ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงในช่วง แรกของการทดลองและการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งการที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าลดลง เป็นผลเนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่ม Fermentative bacteria และ Acid forming bacteria ย่อยสลายสารอินทรีย์และผลิตกรด ซึ่งมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในตะกอนมีค่าลดลง (ประสิทธิ์ ศรีนคร และคณะ, 2554) แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรด Acid former bacteria เติบโตได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 4.0-6.5 และแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน Methane former bacteria เติบโตได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.0-7.8 ซึ่งการทดลองนี้จะเข้าสู่สภาวะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นกลาง แสดงว่าแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนสามารถทำงานได้ดีในช่วงที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าเป็นกลางคือ 6.8-7.2



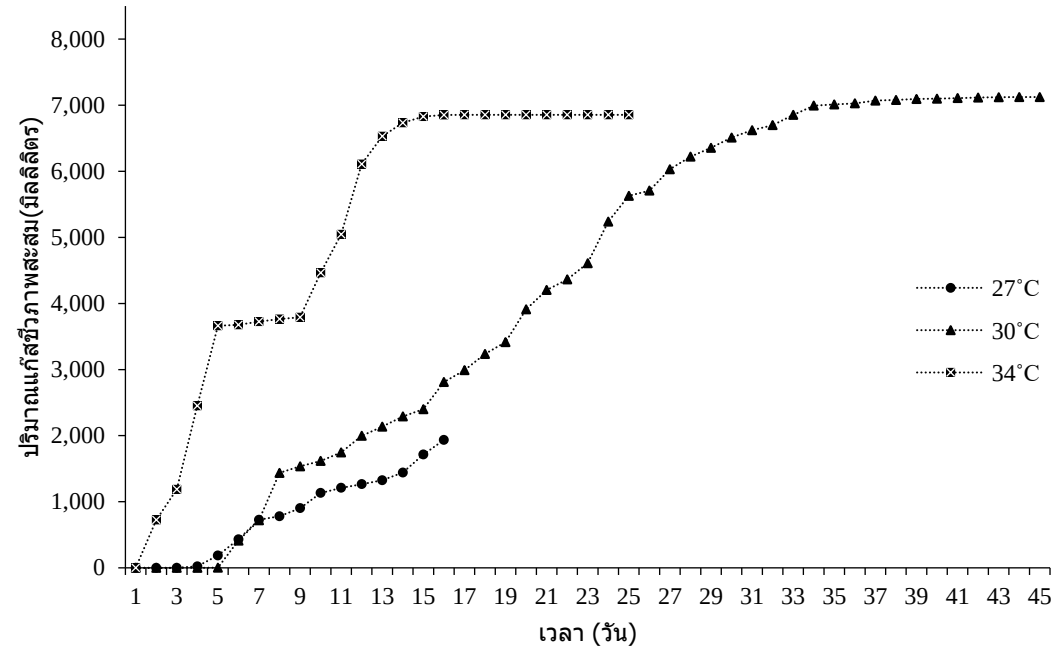
ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส

ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นและองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ

จากการทดลองเมื่อทำการหมักปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นในระยะเวลา 15 วัน ที่ช่วงอุณหภูมิ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส พบว่า มีแก๊สชีวภาพสะสม 1,934.58 มิลลิลิตร 2,230.36 มิลลิลิตร และ 6,852 มิลลิลิตร สามารถผลิตแก๊สชีวภาพเฉลี่ยได้ประมาณ 128.97 152.69 และ 456.80 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน เมื่อทำการทดลองต่อจนสิ้นสุดกระบวนการในการเกิดแก๊สชีวภาพ พบว่า มีแก๊สชีวภาพสะสมทั้งหมด 1,934.58 มิลลิลิตร (0.0019 ลูกบาศก์เมตร) 7,122.95 มิลลิลิตร (0.0071 ลูกบาศก์เมตร) และ 6,854 มิลลิลิตร (0.0069 ลูกบาศก์เมตร) ดังภาพที่ 4-6 (ข) ผลิตแก๊สชีวภาพเฉลี่ยได้ประมาณ 128.97 158.29 และ 274.16 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งการทดลองนี้จุลินทรีย์ในตะกอนเลนบ่อกุ้งสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส การทดลองทั้ง 3 ช่วงอุณหภูมิ พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มเป็น 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นของปริมาณแก๊สชีวภาพเพิ่มมากขึ้น ปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้ และการเกิดแก๊สชีวภาพนั้นจะใช้ระยะเวลาในการผลิตแก๊สชีวภาพที่อุณหภูมิต่ำนานกว่าที่สภาวะอุณหภูมิสูง เมื่ออุณหภูมิต่ำลงการผลิตแก๊สก็จะลดลงทำให้ระยะเวลาในการหมักนานขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นการผลิตแก๊สชีวภาพก็จะเกิดขึ้นเร็วและมีประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพเพิ่มมากขึ้นทำให้ระยะเวลาในการเกิดแก๊สชีวภาพสั้นลง ดังภาพที่ 4-6 (ก)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สชีวภาพในแต่ละวัน (ก) และปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม (ข) กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส

องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่ทำการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพดังแสดงในตารางที่ 4-4 พบว่า กระบวนการย่อยสลายตะกอนเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้ง ที่อุณหภูมิ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส จะให้แก๊สมีเทนในสัดส่วนร้อยละ 42.89 35.77 และ 40.17 มีปริมาตรแก๊สมีเทนคิดเป็น 829.88 มิลลิลิตร 1,873.77 มิลลิลิตร และ 2,753.57 มิลลิลิตร ของปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมทั้งหมด พบว่า ที่การหมักทั้ง 3 ช่วงอุณหภูมิ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงเมโซฟิลิก (Mesophilic) คือ 20-45 องศาเซลเซียส ทำให้การหมักแก๊สชีวภาพที่ใช้อุณหภูมิในช่วงเมโซฟิลิกมีประสิทธิภาพเนื่องจากความหลากหลายของแบคทีเรีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) แต่ในการทดลอง พบว่า ที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส มีปริมาณแก๊สมีเทนร้อยละ 40.17 คิดเป็น 2,752.57 ของปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมทั้งหมด มีความเหมาะสมต่อการผลิตแก๊สมีเทนและสามารถผลิตแก๊สได้ในปริมาณที่สูงกว่าการทดลองในช่วงที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 4-4 องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อกุ้งที่ทำการวิเคราะห์

องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่ทำการวิเคราะห์	แก๊สชีวภาพในช่วงอุณหภูมิ					
	27 องศาเซลเซียส		30 องศาเซลเซียส		34 องศาเซลเซียส	
	ร้อยละ	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ร้อยละ	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ร้อยละ	ปริมาตร (มิลลิลิตร)
มีเทน (CH_4)	42.89	829.88	35.77	1,873.77	40.17	2,753.57
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	15.91	307.82	17.40	911.47	16.04	1,099.28
ไนโตรเจน (N_2)	41.20	797.30	46.83	2,453.34	43.79	3,001.14
ไฮโดรเจน (H_2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อกุ้ง

จากการทดลอง พบว่า การหมักแก๊สชีวภาพที่สภาวะไร้ออกซิเจนด้วยตะกอนเลนบ่อกุ้ง ปริมาตร 30 ลิตร ในการหมักทั้ง 3 ช่วงอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส มีแก๊สชีวภาพสะสมรวม 6,854 มิลลิลิตร (0.0069 ลูกบาศก์เมตร) มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนอยู่ร้อยละ 40.17 คิดเป็น 2,753.57 มิลลิลิตร (0.0028 ลูกบาศก์เมตร) ของปริมาณแก๊สชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ในระยะเวลาการหมัก 25 วัน ดังตารางที่ 4-4 เมื่อเทียบกับ

ทั้ง 3 สภาวะของอุณหภูมิ พบว่า ที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส ใช้ระระเวลาในการหมักแก๊สชีวภาพจนเข้าสู่สภาวะคงที่ใช้ระยะเวลาในการหมักน้อยสุดและให้ปริมาณแก๊สมีเทนสูงที่สุด จึงนำมาพิจารณาเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตแก๊สจากตะกอนบ่อกุ้งหากนำไปใช้จริง

จากการสำรวจฟาร์มเลี้ยงกุ้งของลุงชูศักดิ์ หมื่นอินทร์กูด อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี การเลี้ยงกุ้งในแต่ละครั้งจะใช้ระยะเวลาประมาณ 3-4 เดือน ขึ้นอยู่กับจำนวนประชากรกุ้งต่อพื้นที่ พันธุ์กุ้งที่เลี้ยง และการขึ้นกุ้งแต่ละครั้งก็ขึ้นอยู่กับอายุของกุ้ง การเลี้ยง และกลไกทางการตลาด เมื่อสำรวจความถี่ของการขึ้นกุ้งในหนึ่งปีจะ พบว่า มีการขึ้นกุ้งปีละ 5 ครั้ง เฉลี่ยครั้งละ 2 บ่อ จะเกิดตะกอนเลนเฉลี่ย 286.6 ลูกบาศก์เมตรต่อการขึ้นกุ้งหนึ่งครั้ง ซึ่งสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ถึง 61.8 ลูกบาศก์เมตร ดังตารางภาคผนวก ข-9 จากพื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งจำนวนทั้งหมด 12 บ่อ ซึ่งมีพื้นที่ ที่เป็นบ่อเลี้ยงกุ้ง 20.26 ไร่ โดยการคำนวณจากพื้นที่ปากบ่อ มีปริมาณตะกอนเลน 1,745.77 ลูกบาศก์เมตร คาดว่าจะผลิตแก๊สชีวภาพได้ 401.53 ลูกบาศก์เมตร ดังตารางภาคผนวก ข-8 ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์หากนำตะกอนบ่อกุ้งมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ เมื่อนำปริมาณแก๊สที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับการทดแทนพลังงานแก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553; ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์ และโกวิท สุวรรณหงส์, 2555) สามารถผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าขนาด 1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จะให้พลังงานไฟฟ้าได้ 387.10 ชั่วโมง ให้ค่าความร้อนขนาด 3,000 กิโลแคลอรี ได้ 967,767 กิโลแคลอรี และใช้เป็นแก๊สหุงต้มสำหรับหนึ่งครอบครัว 4 คนได้ 968 มื้อ (322 วัน) ดังตารางที่ 4-5 หากนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนกับเครื่องยนต์ที่เป็นเครื่องยนต์เติมอากาศขนาด 2 แรงม้า-ชั่วโมง ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ 6 เครื่อง โดยปกติในหนึ่งปีจะใช้ไฟฟ้าปีละประมาณ 32,850 หน่วย คิดเป็นเงิน 9,501.03 บาทต่อเดือน ปีละ 114,012.36 บาทต่อปี คาดว่าแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จากตะกอนเลนบ่อกุ้งเมื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนโดยใช้กับเครื่องยนต์เติมอากาศขนาด 2 แรงม้าได้ 322.58 ชั่วโมง (13.44 วัน) คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ 201.6 หน่วย ซึ่งจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายเป็นเงิน 633.47 บาทต่อเดือน ปีละ 7,601.66 บาท ดังตารางภาคผนวก ข-11

ตารางที่ 4-5 ปริมาณตะกอนเลนบ่อกุ้งและปริมาณแก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะผลิตได้เทียบเป็นพลังงานทดแทนแก๊สชีวภาพ

บ่อที่	พื้นที่ (ไร่)	ปริมาตรตะกอนเฉลี่ย (ลบ.ม.)	แก๊สที่คาดว่าจะผลิตได้เทียบกับผลการทดลอง (ลบ.ม.)	เทียบกับปริมาณแก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร			
				ผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (ชม.)	ใช้กับเครื่องยนต์เติมอากาศขนาด 2 แรงม้า-ชั่วโมง (ชม.)	ให้ค่าความร้อน 3000 กิโลแคลอรี (กิโลแคลอรี)	ใช้เป็นแก๊สหุงต้มได้ 3 มื้อ (มื้อ)
1	1.64	119.83	27.56	33.07	27.56	82,682	83
2	1.66	136.87	31.48	37.78	31.48	94,442	94
3	1.84	188.61	43.38	52.06	43.38	130,142	130
4	1.53	131.59	30.27	36.32	30.27	90,800	91
5	1.37	117.83	27.10	32.52	27.10	81,304	81
6	1.90	163.42	37.59	45.10	37.59	112,758	113
7	2.28	196.10	45.10	54.12	45.10	135,309	135
8	1.86	159.98	36.79	44.15	36.79	110,384	110
9	0.60	51.61	11.87	14.24	11.87	35,608	36
10	2.21	190.08	43.72	52.46	43.72	131,155	131
11	1.07	92.03	21.17	25.40	21.17	63,500	64
12	2.30	197.82	45.50	54.60	45.50	136,496	136
รวม	20.26	1,745.77	401.53	481.83	401.53	1,204,580	1,205
ที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของมีเทนร้อยละ 40.17				387.10	322.58	967,767	968

หมายเหตุ: อัตราการทดแทนต่อแก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้ 1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ใช้กับเครื่องยนต์เติมอากาศ 2 แรงม้า-ชั่วโมง ให้ค่าความร้อน 3,000 กิโลแคลอรี และใช้เป็นแก๊สหุงต้มสำหรับหนึ่งครอบครัว 4 คนได้ 3 มื้อ

ปริมาณแก๊สที่ได้จากการทดลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณแก๊สที่คาดว่าจะได้ในแต่ละช่วงของการขึ้นกุ้งทุก 3-4 เดือน โดยเฉลี่ยครั้งละประมาณ 2 บ่อ จะเกิดตะกอนจากการเลี้ยงกุ้งประมาณ 268.6 ลูกบาศก์เมตร หากเทียบกับการทดลองคาดว่าจะได้แก๊สชีวภาพ 61.8 ลูกบาศก์เมตร จากการทดลองที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส สามารถผลิตแก๊สชีวภาพรวมได้ 6,854 มิลลิลิตรต่อ 30 ลิตรของการทดลอง คิดเป็นปริมาตร 228.47 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม หากพิจารณาที่ปริมาตรมีเทนร้อยละ 50-70 แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร ผลิตไฟฟ้าได้ 1.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง พบว่า ที่ช่วงอุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส จากการทดลองมีความเข้มข้นของแก๊สมีเทนร้อยละ 40.17 จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 0.9641 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ปริมาณแก๊สชีวภาพ 401.53 ลูกบาศก์เมตร ที่คาดว่าจะได้หากหมักตะกอนเลนจำนวน 12 บ่อ คาดว่าจะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ปีละ 387.11 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท) ดังนั้นหากคิดเป็นจำนวนเงินจากการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวภาพคิดเป็นเงิน 1,161.38 บาทต่อปี หากคิดต้นทุนการผลิตโดยเทียบเคียงจากผลการทดลองของ (ปัทมาวดี สิทธิวรเดช และรัชพล สันติวรากร, 2555) โดยสร้างบ่อหมักขนาด 500 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างบ่อหมักแก๊สชีวภาพเพื่อใช้ในระบบครัวเรือนสำหรับเกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์ มีค่าชุดอุปกรณ์ 4,950 บาทต่อบ่อ ต้นทุนเพิ่มเติมจากการก่อสร้างระบบแก๊สชีวภาพ คือ เครื่องปั่นไฟขนาด 20 กิโลวัตต์ 500,000 บาท และค่าบำรุงรักษาเครื่องปั่นไฟปีละ 49,200 บาท หากคิดในแง่เศรษฐศาสตร์ความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าจากตะกอนเลนบ่อกุ้งจึงไม่เหมาะกับการลงทุน เนื่องจากใช้ระยะเวลานานในการคืนทุน หากเปลี่ยนการนำมาใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวภาพสำหรับใช้ทดแทนพลังงานไฟฟ้าเป็นเพื่อใช้แทนแก๊สหุงต้มสำหรับใช้ในครัวเรือน พิจารณาจากแก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร องค์ประกอบของแก๊สมีเทนร้อยละ 40.17 โดยปริมาตร จะให้ค่าความร้อน 14.42 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับแก๊สหุงต้ม LPG โดยแก๊สหุงต้ม LPG 1 กิโลกรัม มีค่าความร้อน 50.22 เมกะจูล (แก๊สหุงต้ม LPG 24.2 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2561) ดังนั้นแก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะผลิตได้จากการขึ้นกุ้งทุก 3-4 เดือนเฉลี่ยครั้งละประมาณ 2 บ่อ ได้ประมาณ 61.8 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะให้ค่าความร้อนทั้งหมด 891.156 เมกะจูล คิดเป็นเงิน 429.43 บาท และแก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะได้หากทำการหมักตะกอนเลนบ่อกุ้งจำนวน 12 บ่อ ซึ่งคาดว่าจะได้ 401.53 ลูกบาศก์เมตร สามารถให้ค่าความร้อน 5,790.06 เมกะจูล คิดเป็นเงิน 2,790.11 บาท พิจารณาจากแก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถใช้เป็นแก๊สหุงต้มสำหรับครอบครัวขนาด 4 คนสามารถหุงต้มได้ 3 มื้อ ดังนั้นที่ความเข้มข้นมีเทนร้อยละ 40.17 โดยปริมาตร แก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะผลิตได้จากการขึ้นกุ้งหนึ่งครั้งทุก 3-4 เดือน จะสามารถใช้เป็นแก๊สหุงต้มได้ 148.94 มื้อ ใช้ได้ 49.65 วัน จากการสำรวจตะกอนเลนบ่อกุ้งจำนวน 12 บ่อ ในเวลาหนึ่งปีคาดว่าจะสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 401.53 ลูกบาศก์เมตร จะนำมาใช้แทนแก๊สหุงต้มได้ 968 มื้อ ใช้ได้

322.56 วัน ซึ่งสามารถใช้ได้เกือบทั้งปี น่าจะเป็นแนวทางที่เหมาะสมกว่าการนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า

เมื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ความเป็นไปได้หากเพิ่มขนาดการทดลองเพื่อนำไปใช้จริง โดยมีรายงานของ (Wang et al,. 2018) ได้ทำการศึกษาการหมักแก๊สชีวภาพจากมูลสุกรและทดลองเพิ่มขนาดถังปฏิกรณ์ชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ขนาดเล็ก 8 ลูกบาศก์เมตร ที่ใช้ในระดับครัวเรือนเป็นถังปฏิกรณ์ขนาดใหญ่ (Large-scale) 600 ลูกบาศก์เมตร พบว่า สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพด้วยการควบคุมอุณหภูมิถังปฏิกรณ์ชีวภาพ โดยเพิ่มอุณหภูมิด้วยระบบทำความร้อนและระบบไฟฟ้าให้กับถังปฏิกรณ์ขนาดใหญ่ (Large-scale) โดยกำหนดให้อุณหภูมิประมาณ 35 องศาเซลเซียส ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพเพิ่มขึ้นเป็น 1.88 เท่าของระบบการผลิตแก๊สชีวภาพในครัวเรือน ซึ่งการทดลองดังกล่าวอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองใกล้เคียงกับอุณหภูมิของการทดลองที่ให้ผลดีที่สุดในครั้งนี้ หากนำมาคาดการณ์ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อกุ้งในถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาดใหญ่หากอ้างอิงจากการทดลองดังกล่าวคาดว่าจะสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 754.88 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ดังนั้นหากนำแก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะได้จากการขยายขนาดถังปฏิกรณ์ชีวภาพมาเทียบอัตราการทดแทนพลังงาน แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้ 727.78 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท) ดังนั้นรายได้จากการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวภาพคิดเป็นเงิน 2,183.34 บาทต่อปี ใช้เป็นแก๊สหุงต้มได้ 1,819 มื้อ ใช้ได้ 606 วัน (1.66 ปี) ดังนั้นแก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะได้จากการเพิ่มขนาดถังปฏิกรณ์ชีวภาพคือ 754.88 ลูกบาศก์เมตรต่อปี คิดเป็นค่าความร้อน 10,885.37 เมกะจูลต่อปี เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับแก๊สหุงต้ม LPG โดยแก๊สหุงต้ม LPG 1 กิโลกรัม มีค่าความร้อน 50.22 เมกะจูล (แก๊สหุงต้ม LPG 24.2 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2561) พบว่าค่าความร้อน 50.22 เมกะจูล มีค่า 24.2 บาท คิดเป็นเงิน 5,245.43 บาทต่อปี ซึ่งคาดว่าหากระบบทำงานได้ตามที่คาดหมายจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพได้ในกรณีที่เพิ่มขนาดถังปฏิกรณ์ชีวภาพ จากการศึกษาทดลองในครั้งนี้ทางผู้วิจัยคาดว่าการศึกษาในครั้งนี้จะสามารถใช้เป็นแนวทางในการนำเอาตะกอนเลนบ่อกุ้งมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ไม่มากก็น้อย และยังช่วยลดปัญหามลพิษชายฝั่งได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งประสิทธิภาพของการผลิตยังคงต้องพัฒนาต่อไป

บทที่ 5
บทสรุป

จากการศึกษาและออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับใช้ในการหมักแบบไร้ออกซิเจน โดยใช้ตะกอนเลนบ่อกุ้ง วัตถุประสงค์ในการออกกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพชุดทดลองเพื่อใช้เป็นถังต้นแบบในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ภายในถังหมัก และวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่ได้จากการทดลอง และความคุ้มทุนจากการผลิต เพื่อนำไปใช้เป็นต้นแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับผลิตแก๊สชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงกุ้ง

สรุปผลการศึกษา

การออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพโดยใช้อะคริลิกเป็นวัสดุต้นแบบขนาด 35 ลิตรในการทดลอง เมื่อทำการทดลองโดยนำตะกอนเลนบ่อกุ้งปริมาตร 30 ลิตรใส่ลงในถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการหมักแล้ว พบว่า ถังหมักที่ออกแบบมีโครงสร้างไม่เหมาะสมในเรื่องของความยืดหยุ่นไม่ทนต่อแรงดันที่เกิดจากการหมักทำให้เกิดการรั่วซึมของแก๊สตรงส่วนของโครงสร้างถังหมัก จึงเปลี่ยนถังปฏิกรณ์ชีวภาพมาใช้วัสดุ PE ขนาดตัวถัง 40 ลิตร ซึ่งมีความยืดหยุ่นและทนต่อแรงดันได้ดีกว่า เมื่อทำการทดลอง พบว่า การหมักโดยใช้หลักการแทนที่น้ำมีประสิทธิภาพมากกว่าใช้ชุดตรวจวัดปริมาณแก๊สเคาน์เตอร์ Counter เนื่องจากมีความแม่นยำในการตรวจวัดมากกว่าโดยปริมาตร พบความบกพร่องในเรื่องของความเร็วในการอ่านค่าของตัวเซ็นเซอร์ ความเสถียรของเครื่องมือวัด เมื่อวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของตะกอนเลนบ่อกุ้งก่อนและหลังการทดลอง พบว่า ตะกอนเลนบ่อกุ้งทั้ง 3 บ่อ มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพในแต่ละช่วงอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน หลังการทดลอง พบว่า ปริมาณค่าของแข็ง TS VS TFS และ OM มีค่าลดลง จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งระเหยได้ (TVS) และปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) หลังการทดลองที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส ปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัดลดลงร้อยละ 11.50 และ 66.46 ซึ่งอุณหภูมิมีผลต่อการลดลงของของแข็งในตะกอนเลนและการหมักที่อุณหภูมิต่างกันระยะเวลาในการหมักจึงไม่เท่ากันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประเภทและปริมาณของสารอินทรีย์ เมื่อทำการหมักตะกอนเลนที่อุณหภูมิ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการหมักแก๊สชีวภาพของตะกอนเลนบ่อกุ้งโดยการหมักแบบไร้ออกซิเจนที่สภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีการผลิตแก๊สชีวภาพได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ โดยที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาการหมัก 25 วัน

มีการผลิตแก๊สชีวภาพมากที่สุดสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ ทั้งหมด 6,854 ลูกบาศก์เซนติเมตร (0.0069 ลูกบาศก์เมตร) และผลิตแก๊สชีวภาพเฉลี่ยได้ประมาณ 274.16 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน มีปริมาณมีเทน (CH_4) ร้อยละ 40.17 มีปริมาตรแก๊สมีเทนคิดเป็น 2,753.57 มิลลิลิตรของปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยที่ 7.74 จากการศึกษา พบว่า ในสภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ก็จะเพิ่มมากขึ้นและเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงการผลิตแก๊สชีวภาพก็จะลดลงเช่นกัน อุณหภูมิสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักแบบไร้ออกซิเจนและเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตแก๊สชีวภาพให้เกิดเร็วขึ้นด้วย แก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะผลิตได้จากการสำรวจพื้นที่เลี้ยงกุ้งจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งจำนวน 12 บ่อ ซึ่งมีพื้นที่ 20.26 ไร่ โดยการคำนวณจากพื้นที่ปากบ่อมีปริมาณตะกอนเลน 1,745.77 ลูกบาศก์เมตร (1.75 ตันต่อปี) คาดว่าจะสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนโดยที่นำมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าขนาด 1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ได้ 387.10 ชั่วโมง ใช้กับเครื่องยนต์ขนาด 2 แรงม้า-ชั่วโมง ได้ 322.58 ชั่วโมง ให้ค่าความร้อนขนาด 3,000 กิโลแคลอรี ได้ 967,767 กิโลแคลอรี และใช้เป็นแก๊สหุงต้มสำหรับหนึ่งครอบครัว 4 คนได้ 968 มื้อ เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์เติมอากาศ 1 เครื่อง ขนาด 2 แรงม้า 1.5 กิโลวัตต์ ใช้งาน 10 ชั่วโมงต่อวัน หนึ่งปีใช้ไฟฟ้าประมาณ 32,850 หน่วย คิดเป็นเงิน 9,501.03 บาทต่อเดือน ปีละ 114,012.36 บาทต่อปี คาดว่าแก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะผลิตได้สามารถใช้กับเครื่องยนต์ขนาด 2 แรงม้า ได้ 322.58 ชั่วโมง 13.44 วัน จะลดค่าใช้จ่ายได้ 201.6 หน่วย คิดเป็นเงิน 633.47 บาทต่อเดือน 7,601.66 บาทต่อปี หากเพิ่มปริมาตรถังปฏิกรณ์ชีวภาพเป็นถังปฏิกรณ์ขนาดใหญ่ (Large scale) และควบคุมการทำงานได้ที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส คาดว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพเป็น 1.88 เท่า (Wang et al., 2018) ปริมาณตะกอนเลน 1,745.77 ลูกบาศก์เมตร จากบ่อเลี้ยงกุ้ง 12 บ่อ คาดว่าจะสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 754.88 ลูกบาศก์เมตรต่อปี หากคิดเป็นพลังงานทดแทนแก๊สชีวภาพ สามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้ 727.78 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท) ดังนั้นรายได้จากการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวภาพคิดเป็นเงิน 2,183.34 บาทต่อปี ใช้เป็นแก๊สหุงต้มได้ 1,819 มื้อ ใช้ได้ 606 วัน (1.66 ปี) คิดเป็นค่าความร้อนได้ 10,885.37 เมกะจูลต่อปี เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับแก๊สหุงต้ม LPG (แก๊สหุงต้ม LPG 24.2 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2561) คิดเป็นเงิน 5,245.43 บาทต่อปี

ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุง

1. ออกแบบโครงสร้างถังปฏิกรณ์ชีวภาพโดยเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงสามารถทนต่อแรงดันระหว่างการใช้งาน โดยคำนึงถึงคุณสมบัติและเน้นโครงสร้างที่เหมาะสมกับประโยชน์การใช้งานซึ่งต้องคำนึงถึงขนาดของถังปฏิกรณ์และปริมาณของตะกอนเลนที่ต้องการใช้

หากนำไปใช้จริงควรเลือกรูปแบบให้เหมาะสมกับการผลิตในครัวเรือนอาจเลือกเป็นพลาสติกขนาด 500-1,000 ลิตรต่อการขึ้นกุ้งทุก 3-4 เดือน เป็นแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (นันทิยา ท้าวสูงเนิน สมพร นิ่มนูนใจ และอังคาร ปัญญาศิลป์, 2555) หรือสร้างเป็นบ่อผลิตแก๊สชีวภาพแบบ Cover lagoon (ปัทมาวดี สิทธิวรเดช และรัชพล สันติวรากร, 2555) โดยพิจารณาในเรื่องของต้นทุนการผลิต

2. ระยะเวลาในการวิเคราะห์ตัวอย่าง เนื่องจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นการเกิดแก๊สชีวภาพในช่วงเวลาและปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพที่แตกต่างกัน

3. หากวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ศึกษาความเป็นไปได้จากการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนบ่อกุ้งแสดงให้เห็นถึงปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ เช่น องค์ประกอบของตะกอนเลนบ่อกุ้ง ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงและการเก็บเกี่ยวผลผลิตจากการเพาะเลี้ยง ปริมาณตะกอนเลนที่เกิดจากกระบวนการเพาะเลี้ยง อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ไม่สามารถควบคุมได้จากการทดลองที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพของการทดลองหากนำไปใช้ประโยชน์จริงในฟาร์มเลี้ยงกุ้ง

4. หากนำไปใช้ประโยชน์ในฟาร์มเลี้ยงกุ้งควรศึกษาในเรื่องของการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการหมักเพื่อให้ได้แก๊สชีวภาพเพิ่มมากขึ้น เช่น การบำบัดตะกอน การเพิ่มประสิทธิภาพของตะกอนเลนโดยหมักร่วมกับมูลสัตว์หรือชีวมวลอื่น ๆ ที่หาได้ในท้องถิ่นและมีราคาถูก

5. ควรศึกษาในเรื่องของการกำจัดกากของเสียในรูปแบบของตะกอนเลนที่เหลือจากกระบวนการการผลิตแก๊สชีวภาพ กากของเสียที่เกิดขึ้นสามารถนำมาทำให้เกิดประโยชน์ด้านอื่น เช่น ทำให้อยู่ในรูปของปุ๋ยหมักหรือดินสำหรับเพาะปลูกพืช เพื่อเป็นประโยชน์นอกเหนือจากรายได้ปกติที่ได้จากการขายกุ้งทางเดียว

บรรณานุกรม

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2553). คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพและการใช้แก๊สชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2554). ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

กลิ่นประทุม ปัญญาปิง, ภัทรา วงษ์พันธ์กมล และลดาวัลย์ วัฒนะจีระ. (2556). การเกิดแก๊สชีวภาพจากสิ่งเศษเหลือทิ้งในถังหมักแบบชุด. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

กาญนิถา ครองธรรมชาติ และสมชาย ดารารัตน์. (2546). การพัฒนาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสีย ASBR ในประเทศไทย, (29-33).

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2558). อัตราค่าไฟฟ้า, เข้าถึงได้จาก https://www.pea.co.th/

แก่นฟ้า แสนเมือง. (2556). การมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อผลิตแก๊สหุงต้มของชุมชนศีรษะอโศก จังหวัดศรีสะเกษ. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 4*(1), 4-20.

คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย, (2545). คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย/ คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ประจำปี 2545-2546 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: จุดทอง.

เครื่องยนต์แรงม้า. (2559). หน่วยวัด International system of units (SI), the editors of encyclopedia Britannica, เข้าถึงได้จาก https://th.wikipedia.org/wiki.

จริยาวดี สุริยพันธุ์.(2557). บทบาทของธาตุอาหารที่ผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลแบบพัฒนา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 19*(2), 227-236.

ชาตรี วัฒนศิลป์, วรรัตน์ ปัตรประกร และพรระพีพัฒน์ ภาสบุตร. (2553). การศึกษาความเป็นไปได้ของตำแหน่งและขนาดของโรงไฟฟ้าที่อาศัยแก๊สชีวภาพจากมูลโคนมโดยพิจารณาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์. *วารสารวิจัยพลังงาน, 7*(2), 43-53.

ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์ และโกวิท สุวรรณหงส์. (2555). การผลิตแก๊สชีวภาพจากซากชีวมวลในร่องสวนของชุมชน ในอำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม.

ดำเนิน ทรายทรัพย์ไพศาล และวิสาขา ภู่จินดา. (2560). การพัฒนาคุณภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ จากน้ำเสียของโรงงานเอทานอลโดยการผสมกากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 8*(8), 129-144.

นพวรรณ เสมวิมล และเกษม จันทร์แก้ว. (2556). การศึกษาปริมาณที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักกากตะกอนที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียภายใต้กระบวนการธรรมชาติช่วยธรรมชาติ. *วารสารวิชาการ Veridian E-Journal*, *6*(2), 899-912.

นันทิยา ท้าวสูงเนิน สมพร นิ่มนูนใจ และอังคาร ปัญญาศิลป์. (2555). เศรษฐกิจพอเพียงและทฤษฎีใหม่ตามแนวโครงการพระราชดำริวิธีการผลิตแก๊สชีวภาพ. (พิมพ์ครั้งที่ 1) กรุงเทพฯ: วี.ที.เอส.บุ๊คเซ็นเตอร์.

ปัทมาวดี สิทธิวรเดช และรัชพล สันติวรากร. (2555). แนวทางที่เหมาะสมในการผลิตและใช้แก๊สชีวภาพจากเศษอาหารและมูลสัตว์ ในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น, *KKU Engineering Journal*, *40*(1), 35-46.

ประสิทธิ์ ศรีนคร, ขวัญตา ตันติกำธน, อรรถวิโรจน์ เขียวนาค, จิระพล ศรีเสริฐผล และกนต์ธร ชำนิ ประศาสน์. (2554). การบำบัดตะกอนเลนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลโดยกระบวนการย่อยสลาย แบบไร้ออกซิเจน. *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม,7*(2),10-21.

ประสิทธิ์ ศรีนคร. (2555). *การผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนในบ่อเลี้ยงกุ้งโดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, วิศวกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ปริพัฒน์ จึงชัยชนะ และสุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ. (2555). การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วย (Biogas) จากขยะ กรณีศึกษา ตลาดไทย, *วารสารวิจัยพลังงาน*, *9*(1), 73-83.

พลกฤษณ์ คุ้มกล่ำ. (2557). *การผลิตแก๊สชีวภาพจากฟางข้าว. ทุนวิจัยปี 2557*, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

มุกดา สุขสวัสดิ์. (2545). ปุ๋ยอินทรีย์. กรุงเทพ ฯ: สำนักพิมพ์บ้านและสวน.

แม้น อมรสิทธิ์. (2555). หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. ปีที่ 2. (พิมพ์ครั้งที่ 3).

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. (2554). ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิเชียร ฝอยพิกุล.(2541). เทคนิคและการใช้ดิน-ปุ๋ย-น้ำ. เล่ม 2. [ม.ป.ท.]

วิสาขา ภู่จินดา และ ตรีวิวัฒน์ แก้วดวงเล็ก. (2558). คู่มือเทคนิคการผลิตแก๊สชีวภาพ ระดับครัวเรือนและชุมชน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำนักวิจัยสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. (พิมพ์ครั้งที่ 1), 1-39.

ศูนย์เครื่องมือวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2558). RIC KKU NEWSLETTER. จดหมายข่าวศูนย์เครื่องมือวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, ปีที่ 2 ฉบับที่ 7 เดือนกรกฎาคม, เข้าถึงได้จาก ric.kku.ac.th. http://www.kku.ac.th/newsletters/view.

สวรรยา ธรรมอภิพล. (2555). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์การศึกษาผลกระทบจากปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งที่มีต่อชุมชนชายฝั่งทะเล, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สุชาดา จันทร์ประทีป นภาธร. (2556). หลักการเริ่มต้นของเทคโนโลยีกระบวนการผลิตทางชีวภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูรณ์. (2549). ระบบบำบัดน้ำเสีย: การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุมและการแก้ไขปัญหา. กรุงเทพฯ: ท้อป.

อัตราค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2560). อัตราค่าไฟฟ้า, เข้าถึงได้จาก http://peane2.pea.co.th/kalasin/ckfinder/userfiles/files/kls/electricity_rate_11_58.pdf.

อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล และขนิษฐา ปานชา. (2555). การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซลโดยใช้ถังหมักไร้อากาศแบบตรึงฟิล์มร่วมกับถังหมักกรดแบบกวนผสมแบบต่อเนื่อง. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, *22*(1), 48-56.

อรรถวิโรจน์ เขียวนาค. (2553). *แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนเลนในบ่อเลี้ยงกุ้งโดยวิธีการระบุเอกลักษณ์*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Becze G. & Liebmann A. J. (1944). Aeration in the production of compressed yeast. *lnd. Eng. Chem*. *36*, 882-890.

Biao, X., Zhuhong, D., & Xiaorong, W. (2004). Impact of the intensive shrimp farming on the water quality of the adjacent coastal creeks from Eastern China*, Marine Pollution Bulletin*, *48*(5), 543-553.

Breure, A.M. & Andel, J.G., (1987). Anaerobic digestion and wastewater treatment systems

Brown, W.E. & Peterson, W. H. (1950). Factors affecting production of penicillin in semi-pilot plant equipment. *lnd. Eng. Chem*. *42*, 1967-1774

Callahan, J. R. (1944). Large scale production by deep fermentation. *Chem. Metal. Eng*. *51*, 94-98.

Chain, E. B., Paladino, S., Ugolini. F., Callow, D. S., & Van der Sluis, J. (1954). A laboratory fermenter for vortex and sparger aeration. *Rend. lnst. Sup. Sanita. Roma (English Edition)*. *17*, 61-120.

Federation, W. E., & American Public Health Association. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association (APHA)*: Washington, DC, USA.

Hastings, J. J. H. (1971). Acetone-butanol fermentation. In *Economic Microbiology*, *2*, 31-45 (Editor Rose, A. H.). London: Academic Press.

Johnson, M. J. (1971). Fermentation-yesterday and tomorrow. *Chem. Tech*. *1*, 338-341

Kumklam, P. (2015). Biogasification from rice straw.

Patra, A., Tushar, J., & Dubey, B. (2017). Modeling and simulation of a wetland park: Anapplication to Keoladeo National Park, India. *Mathematics and Computers in Simulation*, *134*, 54-78.

Ruamtawee, N., Daosud, W., & Kittisupakorn, P. (2016). Hybrid neural network modeling and optimization of an anaerobic digestion of shrimp culture pond sediments in biogas production process. *Engineering and Applied Science Research*, *43*, 192-195.

Shimadzu Gas Chromatograph System (www.ssi.shimadzu.com/products/).

Suthii parithat. (2014). A Transfer of Technology for Water Management after Shrimp Farming in Freshwater Areas according to Royal Initiatives. *Technology Management Phetchaburi Rajabhat University*, *28*, 40-39.

Tharasawatpipat, A. P. C., & Suwannahong, K. (2015). Bio Gas production from biomass remains in raceway park at Amphawa district, Samutsongkhram province.

Wang, Y., Wu, X., Tong, X., Li, T., & Wu, F. (2018). Life cycle assessment of large-scale and household biogas plants in northwest China. *Journal of Cleaner Production*, *192*, 221-235.

Weitzmann, C. (1915). Improvements in the bacterial fermentation of cabohydrates and in bactarial culture for same. *Great Britain Patent* 4845.

Walkley, A., (1947). A critical examination of a rapid method for determination of organic carbon in soils-effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci. 63*, 251-257

Wu, X., Yao, W., Zhu, J., & Miller, C. (2010). Biogas and CH_4 productivity by co-digesting swine manure with three crop residues as an external carbon source. *Bioresource technology*, *101*(11), 4042-4047.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 27 30 และ 34 องศาเซลเซียส ด้วยวิธี Gas Chromatography โดยใช้เครื่อง GC-2014 SHIMADZU พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ไฮโดรเจน (H_2) ไนโตรเจน (N_2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีแทน (CH_4)

วิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

1. แสดงตารางและกราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve)

โดยที่

(ก) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไฮโดรเจน (H_2)

(ข) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไนโตรเจน (N_2)

(ค) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของมีแทน (CH_4)

(ง) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

2. แสดงอัตราส่วนพื้นที่ (Peak area)

ส่วนที่ 1

(ก) 23-28/7/2559

(ข) 28-30/7/2559

(ค) 30-1/8/2559

(ง) 1-5/8/2559

(จ) 5-7/8/2559

ส่วนที่ 2

(ก) 23-29/7/2559

(ข) 29-1/8/2559

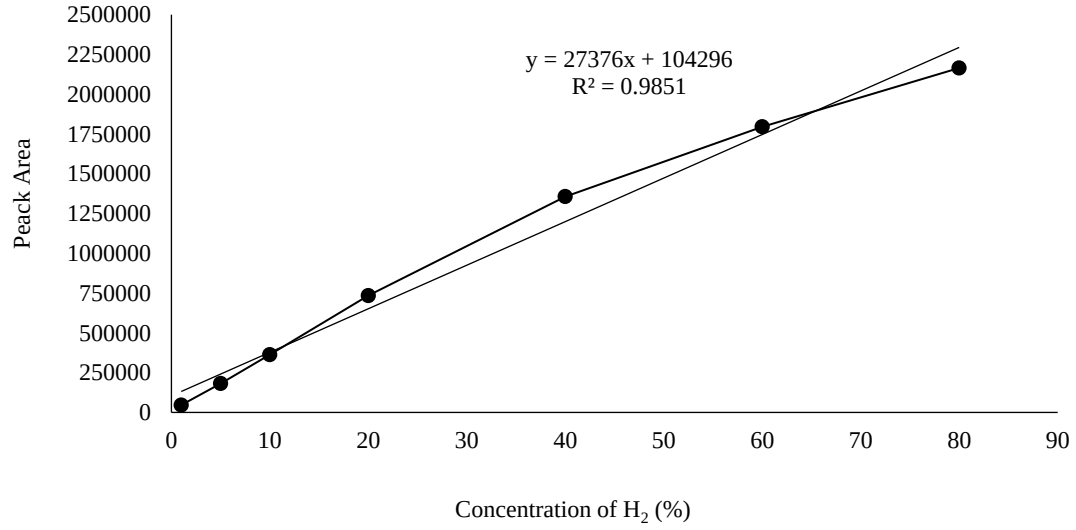
(ค) 1-5/8/2559

(ง) 5-7/8/2559

ตารางภาคผนวก ก-1 สมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve)

Cont. of H_2 (%)	Peak Area			
1	46057	46418.6	46591.4	46355.7
5	180660.60	181849.90	182382.10	181630.9
10	363159.00	361921.40	364538.30	363206.2
20	729254.70	737333.60	737453.50	734680.6
40	1354374.50	1351273.50	1365186.5	1356944.8
60	1781605.8	1796737.8	1807790.2	1795377.9
80	2148419.8	2168150.3	2178877.5	2165149.2
	Slope			27376.3

หมายเหตุ: (ก) ค่าความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไฮโดรเจน (H_2)



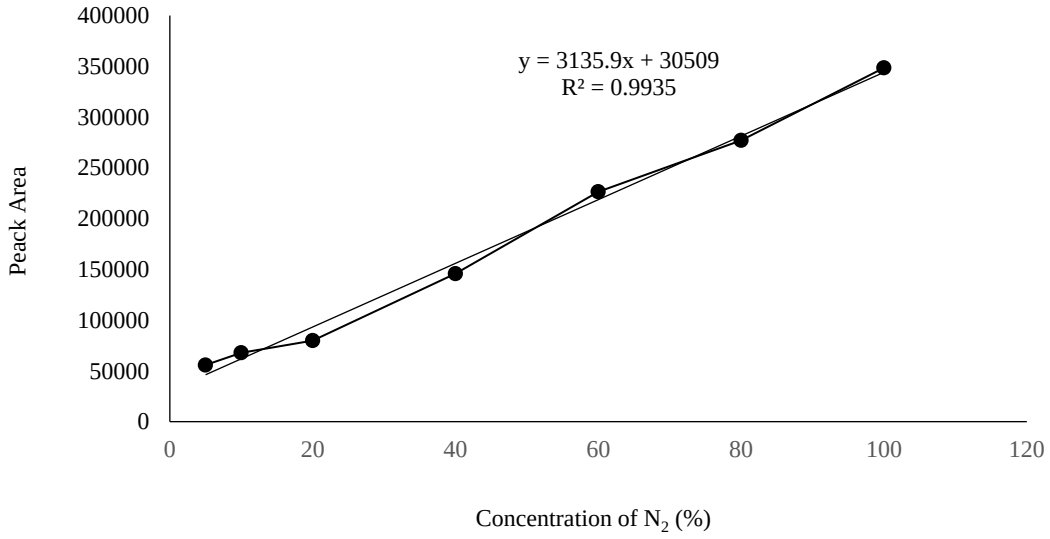
หมายเหตุ: (ก) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไฮโดรเจน (H_2)

ภาพภาคผนวก ก-1 สมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve)

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

Cont. of N_2 (%)	Peak Area			
5	55455.10	55413.80	56585.30	55818.1
10	66581.10	68414.10	68496.0	67830.4
20	79739.90	79173.20	80622.70	79845.3
40	146811.10	145508.40	145165.2	145828.2
60	225463.1	227888.8	226,012.7	226454.9
80	274761.6	281343.8	275171.8	277092.4
100	343830.60	350859.0	350786.5	348492.0
	Slope			3135.9

หมายเหตุ: (ข) ค่าความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไนโตรเจน (N_2)



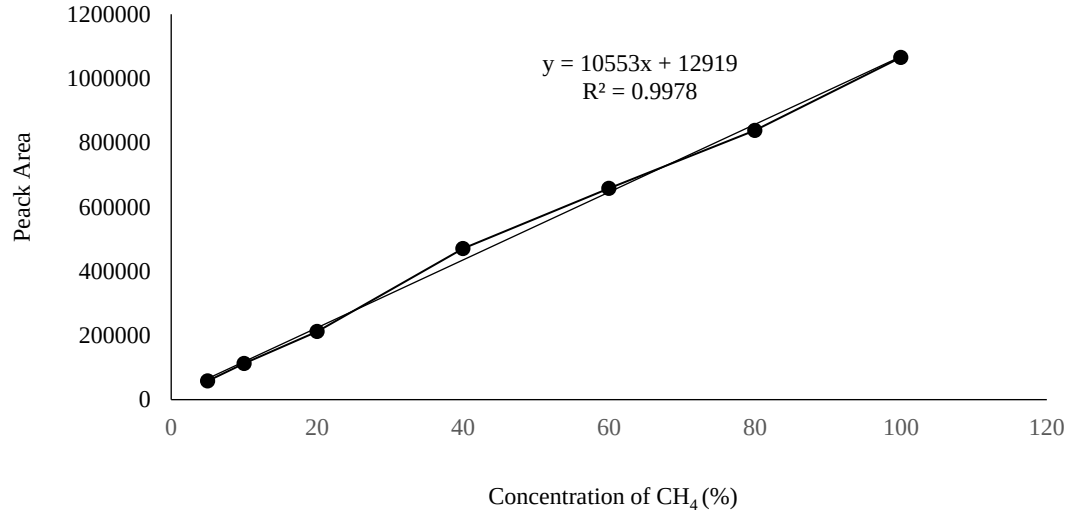
หมายเหตุ: (ข) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไนโตรเจน (N_2)

ภาพภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

Cont. of CH_4 (%)	Peak Area			
5	57826.7	57557.8	58823.2	58069.2
10	111706.50	114124.3	111663.50	112498.1
20	209790.90	213793.30	212567.50	212050.6
40	474112.90	468113.00	468928.10	470384.7
60	657977.60	652646.10	662,941.50	657855.1
80	830825.10	840718.30	843478.9	838340.8
100	1063925.8	1066151.9	1066350.6	1065476.1
	Slope			10553.2

หมายเหตุ: (ค) ค่าความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของมีแทน (CH_4)



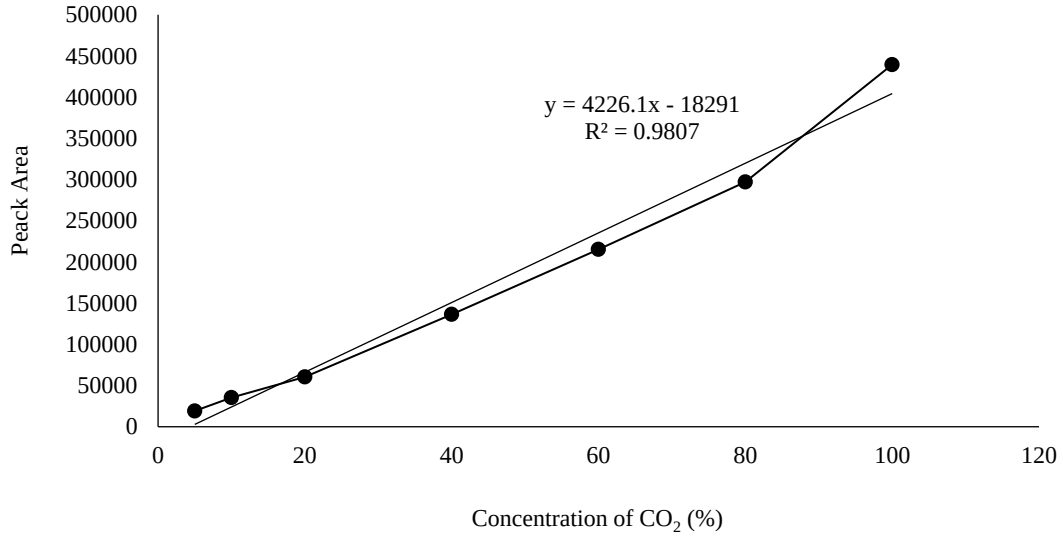
หมายเหตุ: (ค) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของมีแทน (CH_4)

ภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

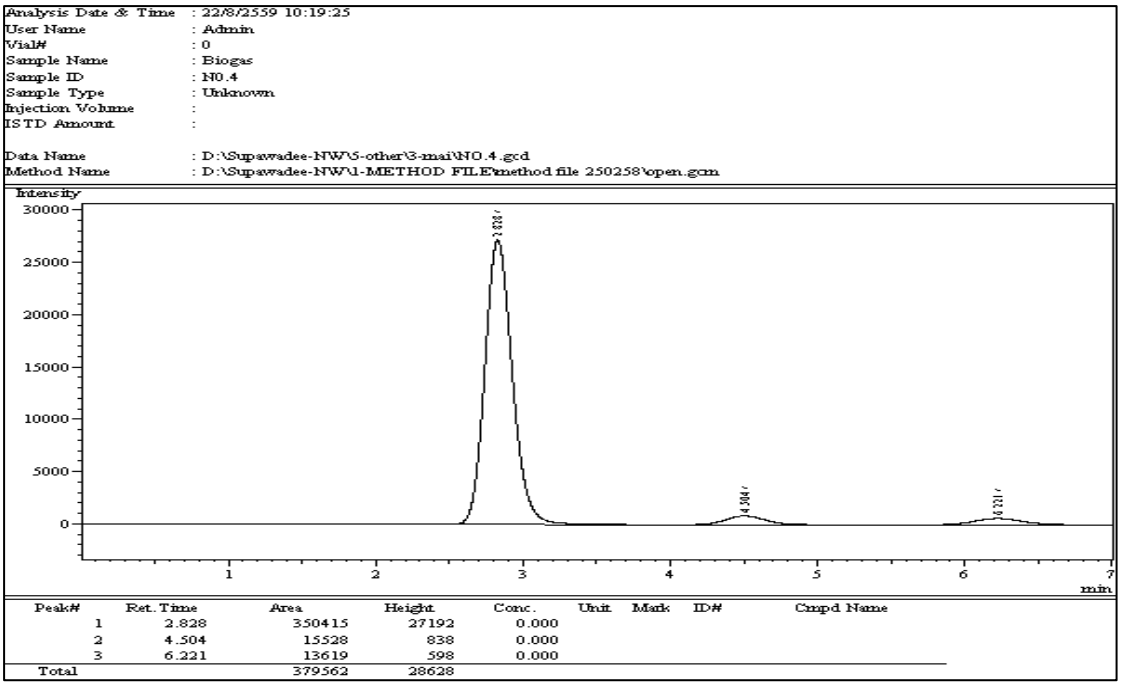
Cont. of CO_2 (%)	Peak Area			
5	19113.6	19263.9	19143.9	19173.8
10	35574.10	35046.1	35629.40	35416.5
20	60199.60	59426.80	61642.90	60423.1
40	136251.20	135868.50	137085.60	136401.8
60	213566.70	215808.20	216410.00	215261.6
80	295844.20	294818.70	300438.9	297033.9
100	441084.2	441521.6	435855.8	439487.2
	Slope			4226.1

หมายเหตุ: (ง) ค่าความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)



หมายเหตุ: (ง) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve) ของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ภาพภาคผนวก ก-1 (ต่อ)



(ก) 23-28/7/2559

<u>หมายเหตุ</u>: Ret. Time of analysis.

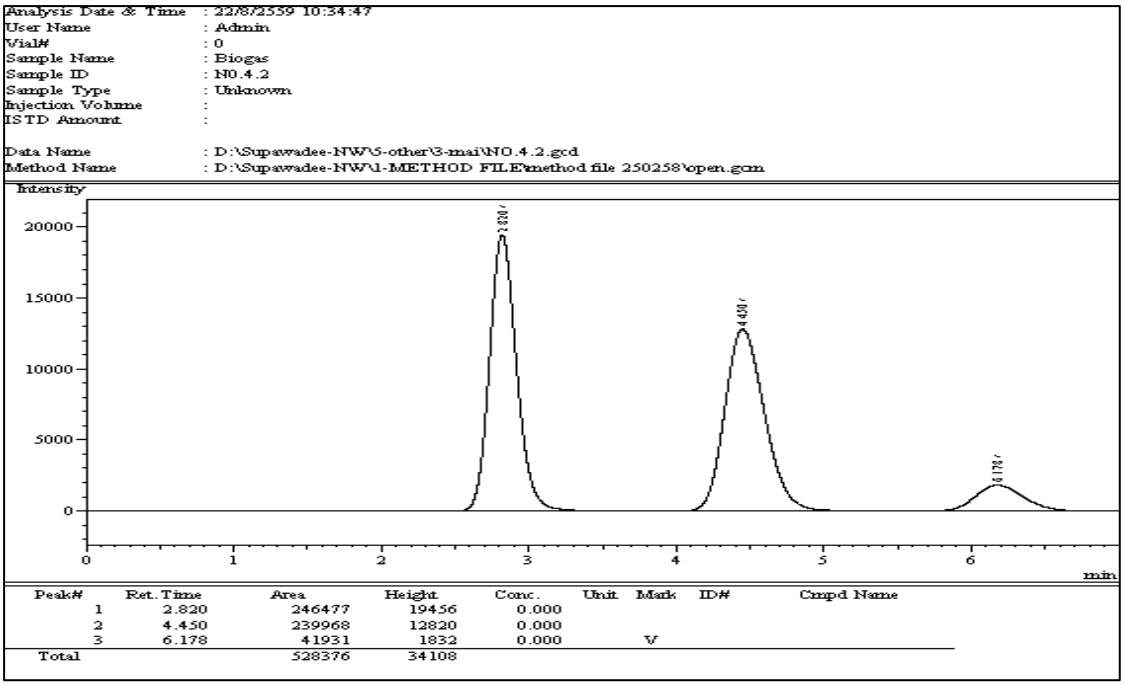
H_2 = 1.8 min (กราฟที่ 1)

N_2 = 2.8 min (กราฟที่ 2)

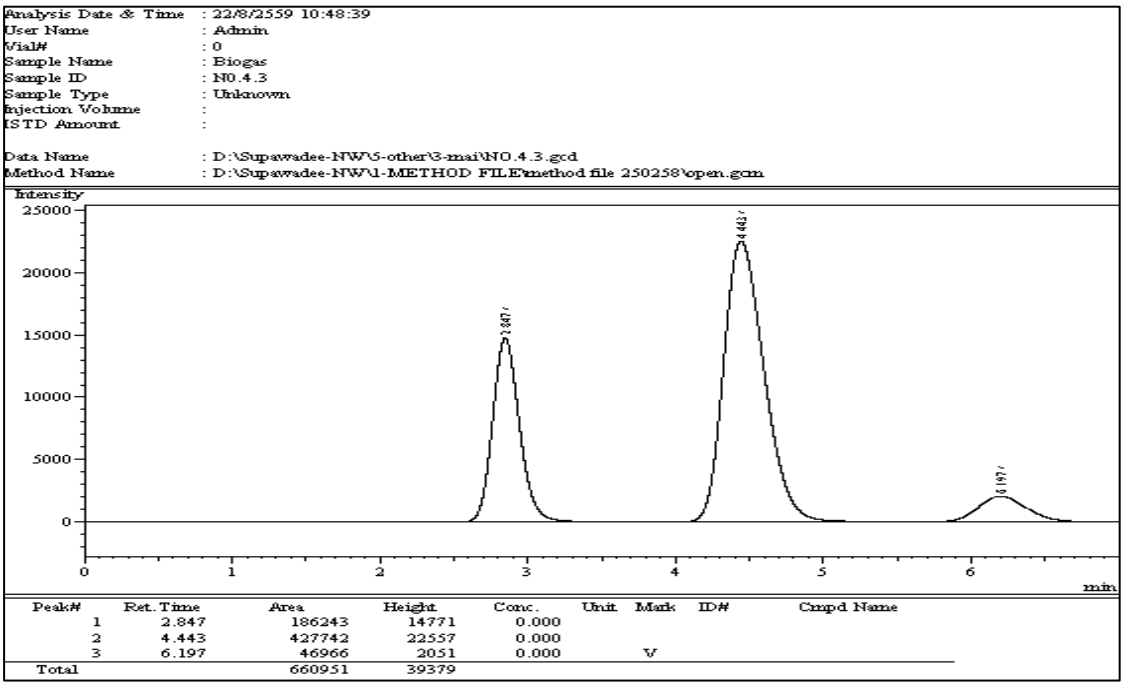
CO_2 = 4.3 min (กราฟที่ 3)

CH_4 = 6.1 min (กราฟที่ 4)

ภาพภาคผนวก ก-2 อัตราส่วนพื้นที่ (Peak area) ของการทดลองที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ส่วนที่ 1

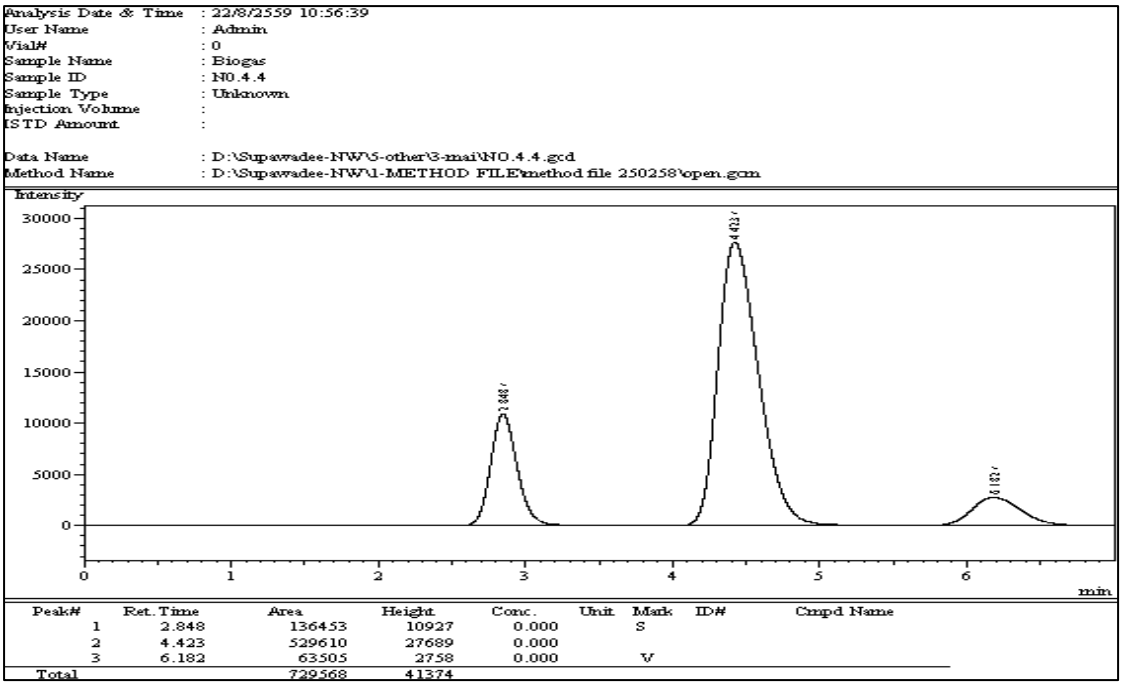


(ข) 28-30/7/2559

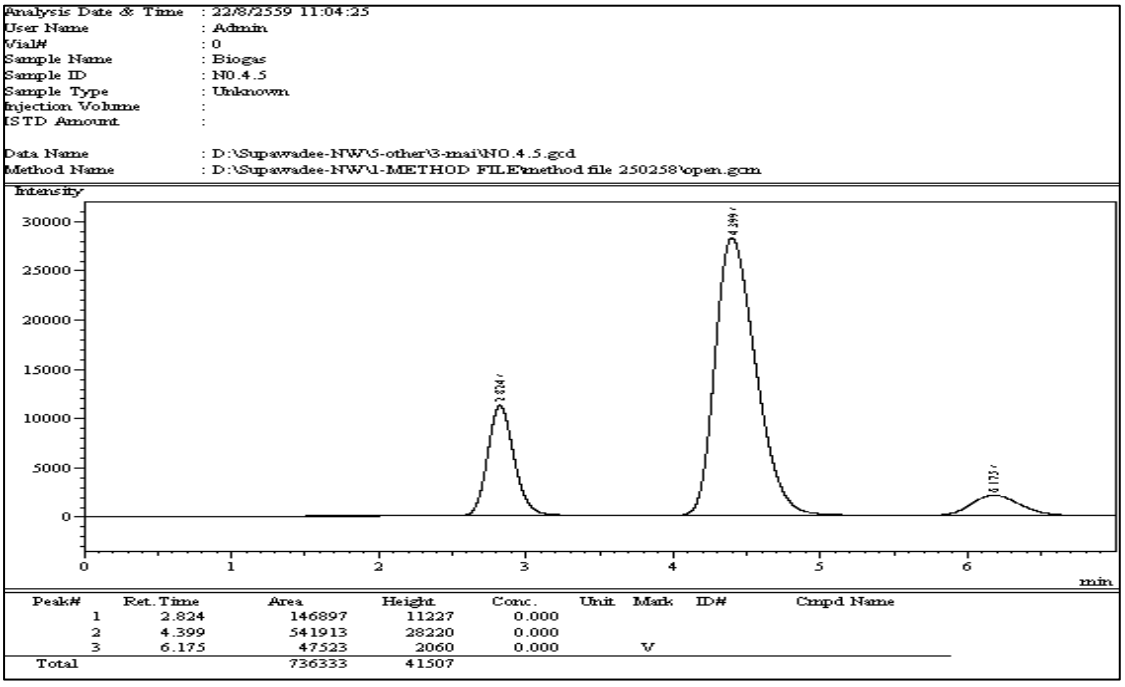


(ค) 30-1/8/2559

ภาพภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

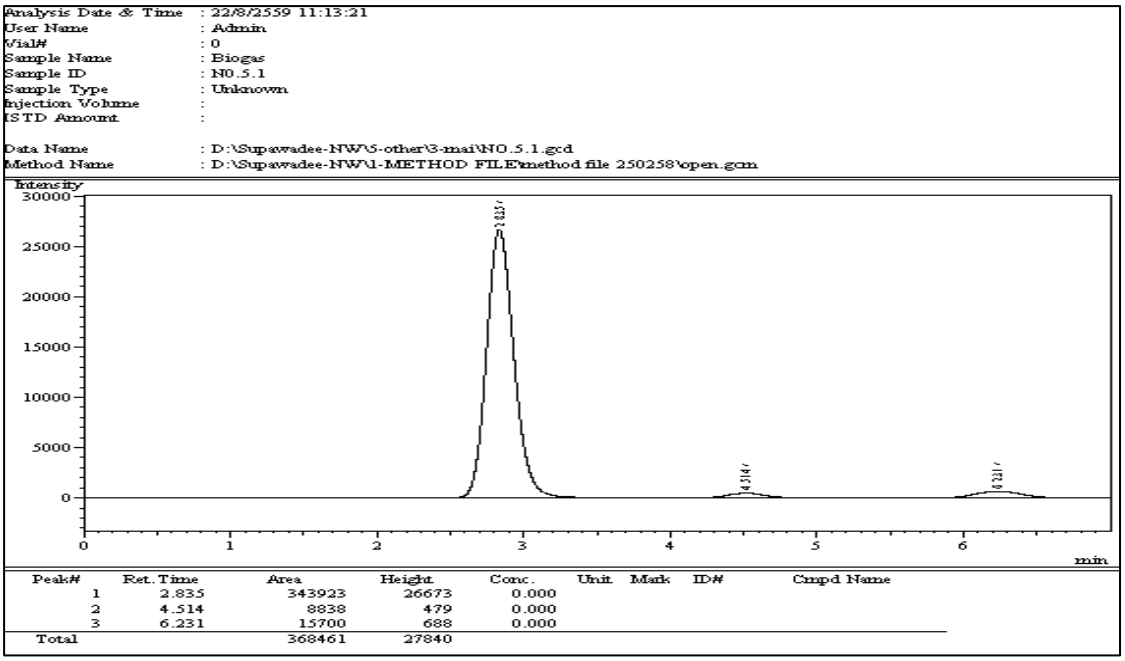


(ง) 1-5/8/2559

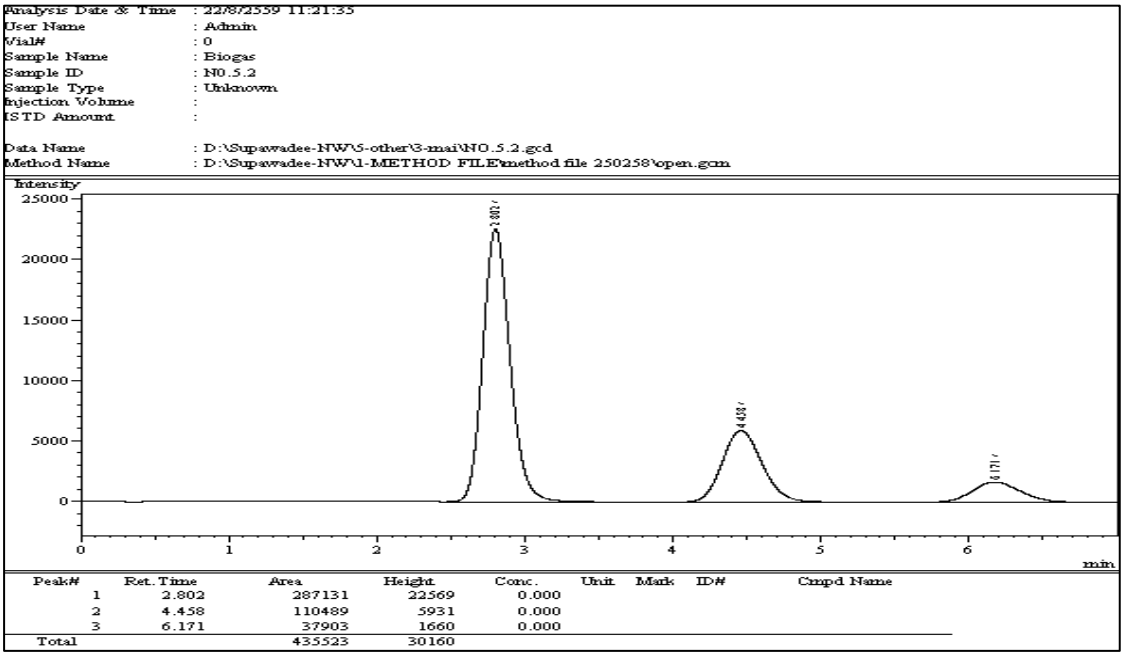


(จ) 5-7/8/2559

ภาพภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

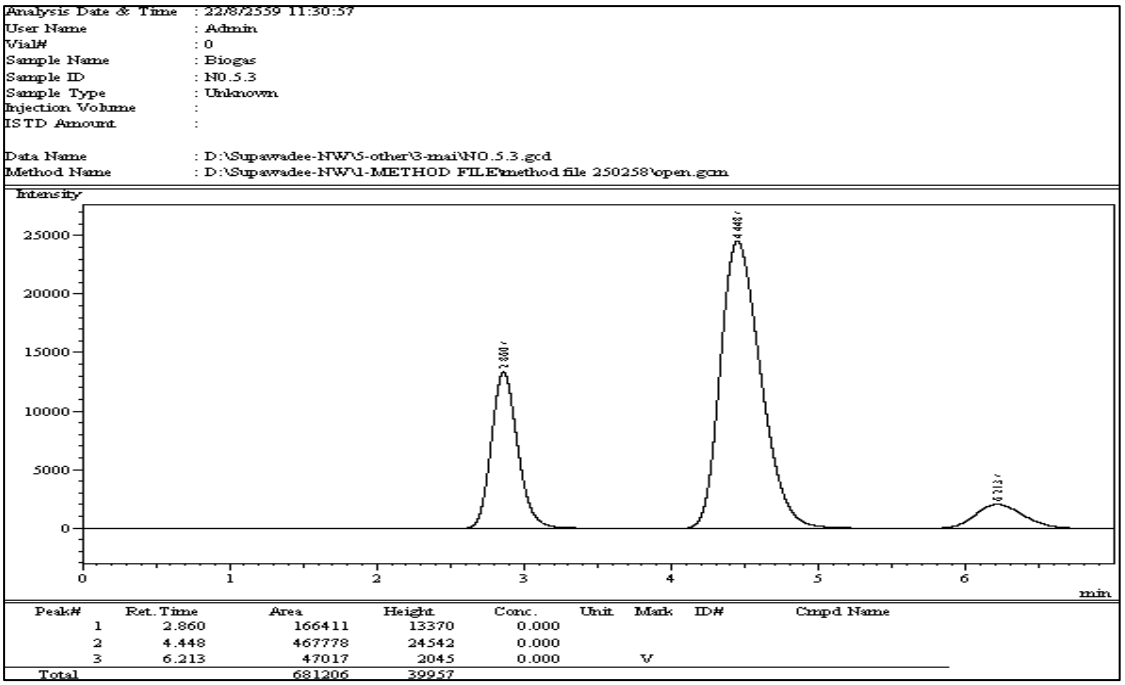


(ก) 23-29/7/2559

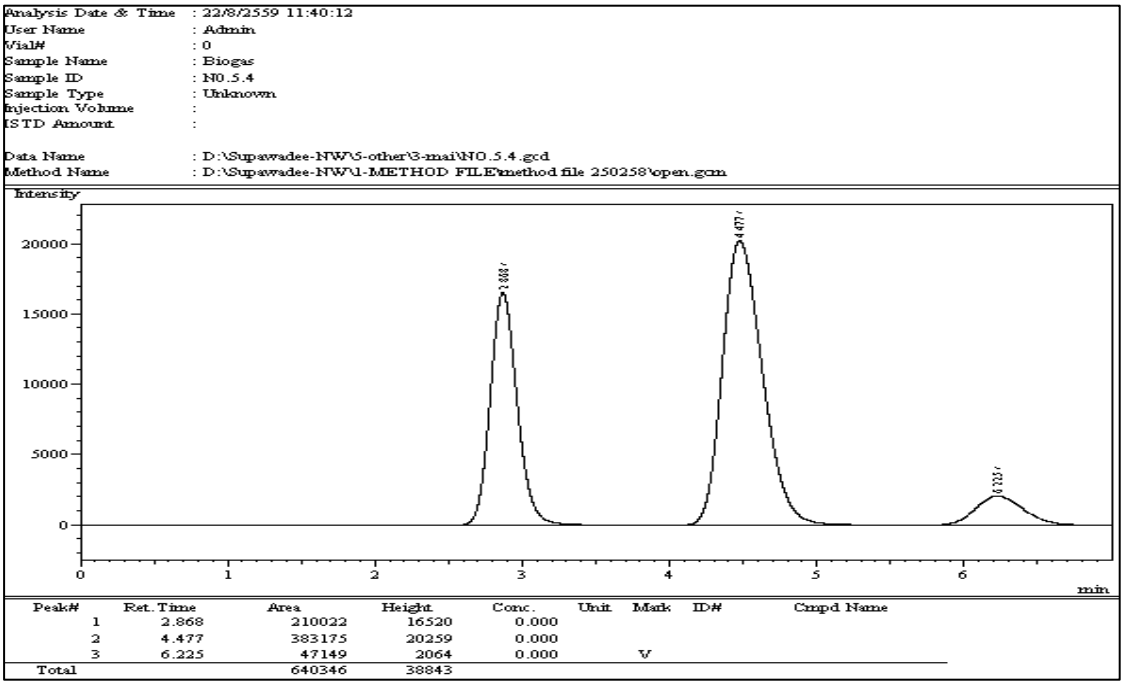


(ข) 29-1/8/2559

ภาพภาคผนวก ก-3 อัตราส่วนพื้นที่ (Peak area) ของการทดลองที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ส่วนที่ 2



(ค) 1-5/8/2559



(ง) 5-7/8/2559

ภาพภาคผนวก ก-3 (ต่อ)

วิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

1. ตารางและกราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve)

โดยที่

(ก) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไฮโดรเจน (H_2)

(ข) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไนโตรเจน (N_2)

(ค) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของมีแทน (CH_4)

(ง) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

2. แสดงอัตราส่วนพื้นที่ (Peak area)

โดยที่

(ก) 31-4/9/2559

(ข) 4-13/9/2559

(ค) 13-18/9/2559

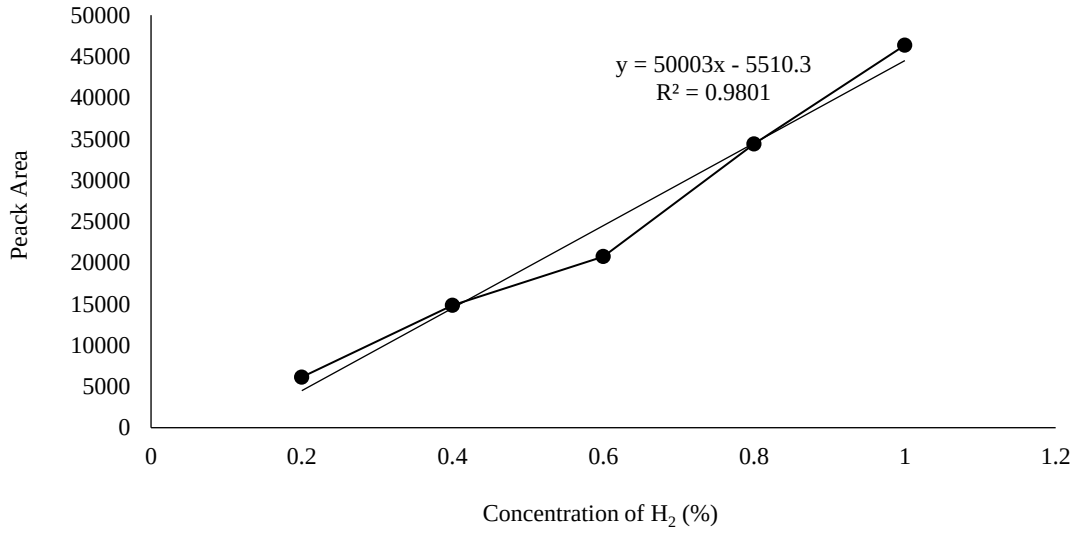
(ง) 18-22/9/2559

(จ) 22-30/9/2559

ตารางภาคผนวก ก-2 สมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve)

Cont. of H_2 (%)	Peak Area			
0.2	6200.9	6070.7	6118.8	6130.1
0.4	14864.50	14787.50	14854.40	14835.5
0.6	21139.40	20628.90	20470.00	20746.1
0.8	34886.90	34127.80	34159.10	34391.3
1	46057.00	46418.60	46591.40	46355.7
	Slope			50003.4

หมายเหตุ: (ก) ค่าความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไฮโดรเจน (H_2)



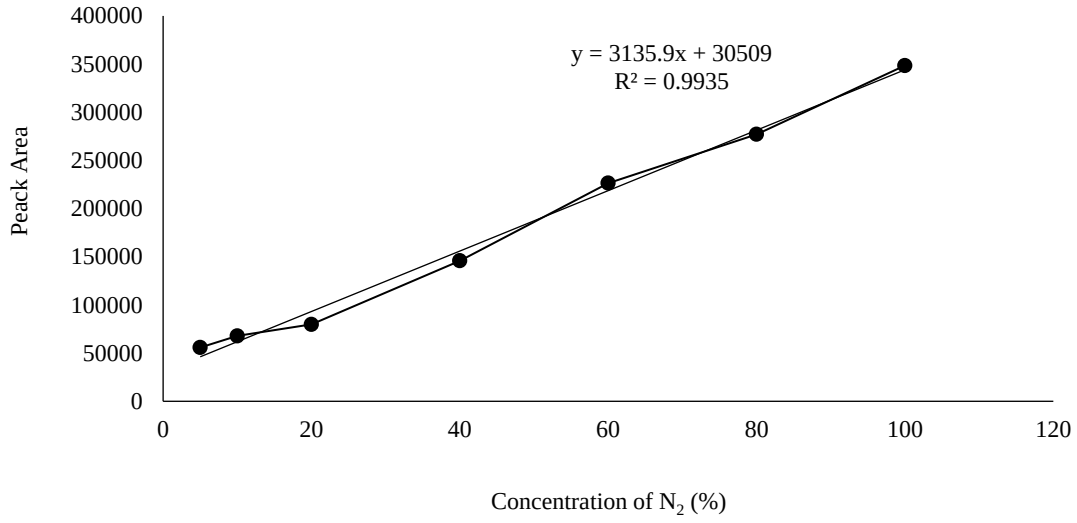
หมายเหตุ: (ก) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไฮโดรเจน (H_2)

ภาพภาคผนวก ก-4 สมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve)

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

Cont. of N_2 (%)	Peak Area			
5	55455.10	55413.80	56585.30	55818.1
10	66581.10	68414.10	68496.00	67830.4
20	79739.90	79173.20	80622.70	79845.3
40	146811.10	145508.40	145165.2	145828.2
60	225463.1	227888.8	226012.7	226454.9
80	274761.6	281343.8	275171.8	277092.4
100	343830.60	350859.00	350786.5	348492.0
	Slope			3135.9

หมายเหตุ: (ข) ค่าความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไนโตรเจน (N_2)



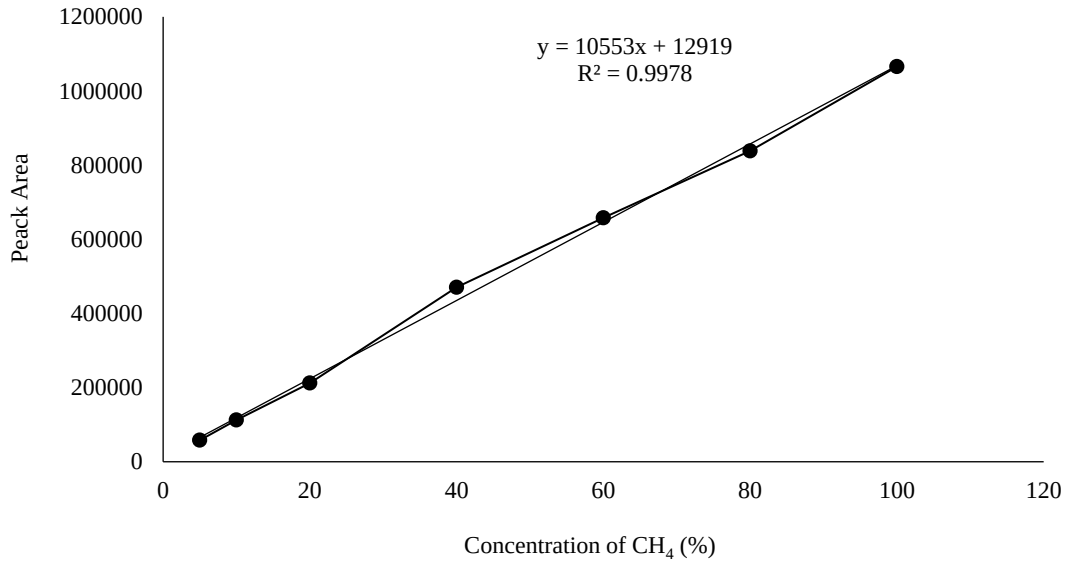
หมายเหตุ: (ข) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไนโตรเจน (N_2)

ภาพภาคผนวก ก-4 (ต่อ)

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

Cont. of CH_4 (%)	Peak Area			
5	57826.7	57557.8	58823.2	58069.2
10	111706.50	114124.3	111663.50	112498.1
20	209790.90	213793.30	212567.50	212050.6
40	474112.90	468113.00	468928.10	470384.7
60	657977.60	652646.10	662941.50	657855.1
80	830825.10	840718.30	843478.9	838340.8
100	1063925.8	1066151.9	1066350.6	1065476.1
	Slope			10553.2

หมายเหตุ: (ค) ค่าความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของมีแทน (CH_4)



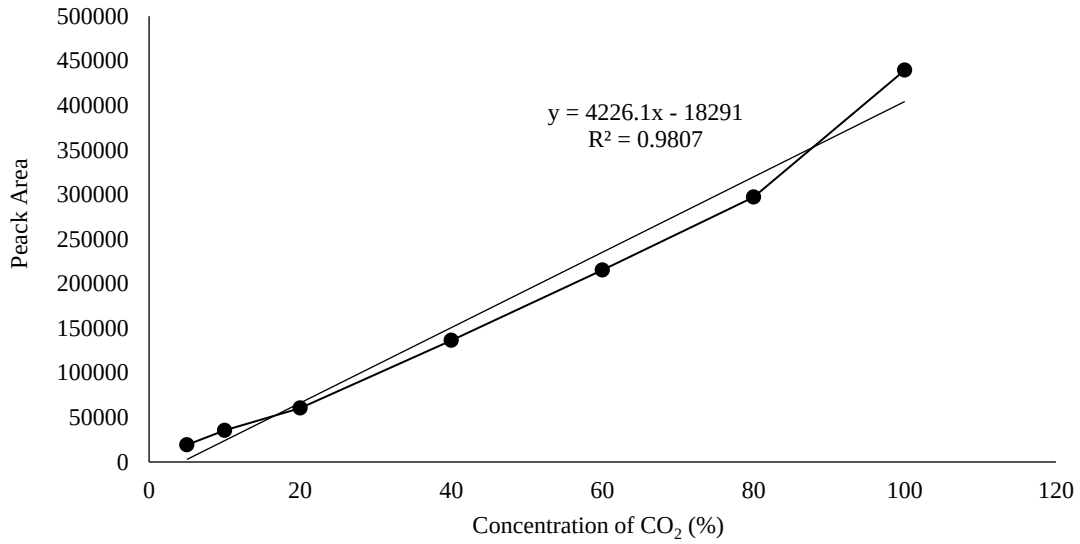
หมายเหตุ: (ค) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของมีแทน (CH_4)

ภาพภาคผนวก ก-4 (ต่อ)

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

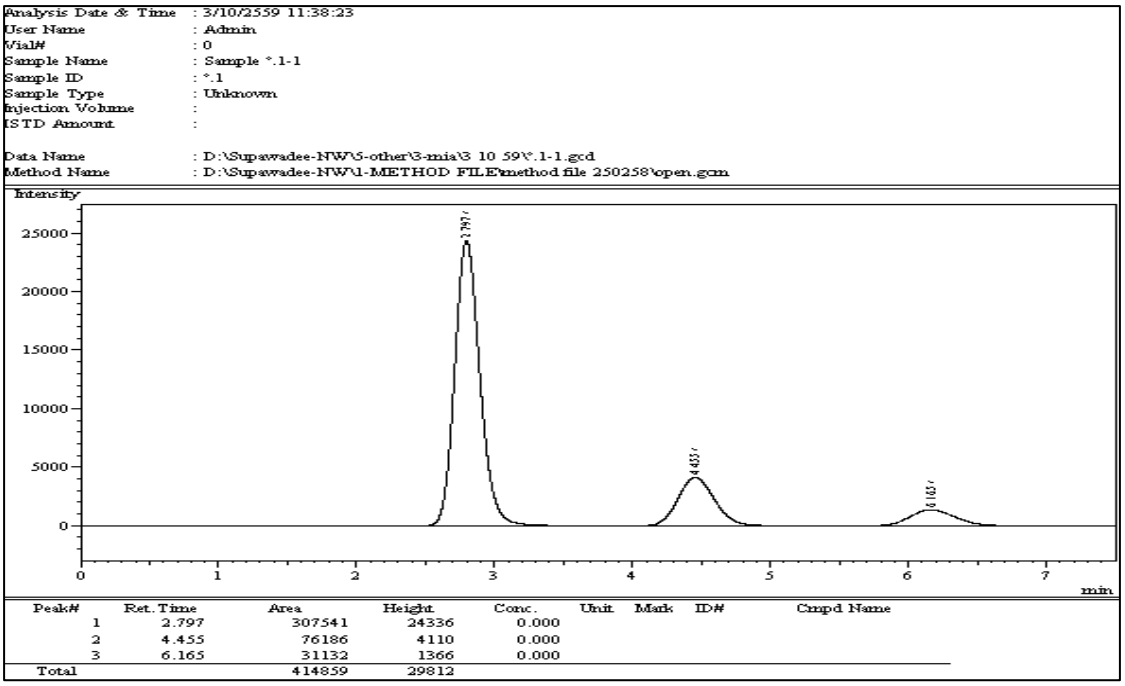
Cont. of CO_2 (%)	Peak Area			
5	19113.6	19263.9	19143.9	19173.8
10	35574.10	35046.1	35629.40	35416.5
20	60199.60	59426.80	61642.90	60423.1
40	136251.20	135868.50	137085.60	136401.8
60	213566.70	215808.20	216410.00	215261.6
80	295844.20	294818.70	300438.9	297033.9
100	441084.2	441521.6	435855.8	439487.2
	Slope			4226.1

หมายเหตุ: (ง) ค่าความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

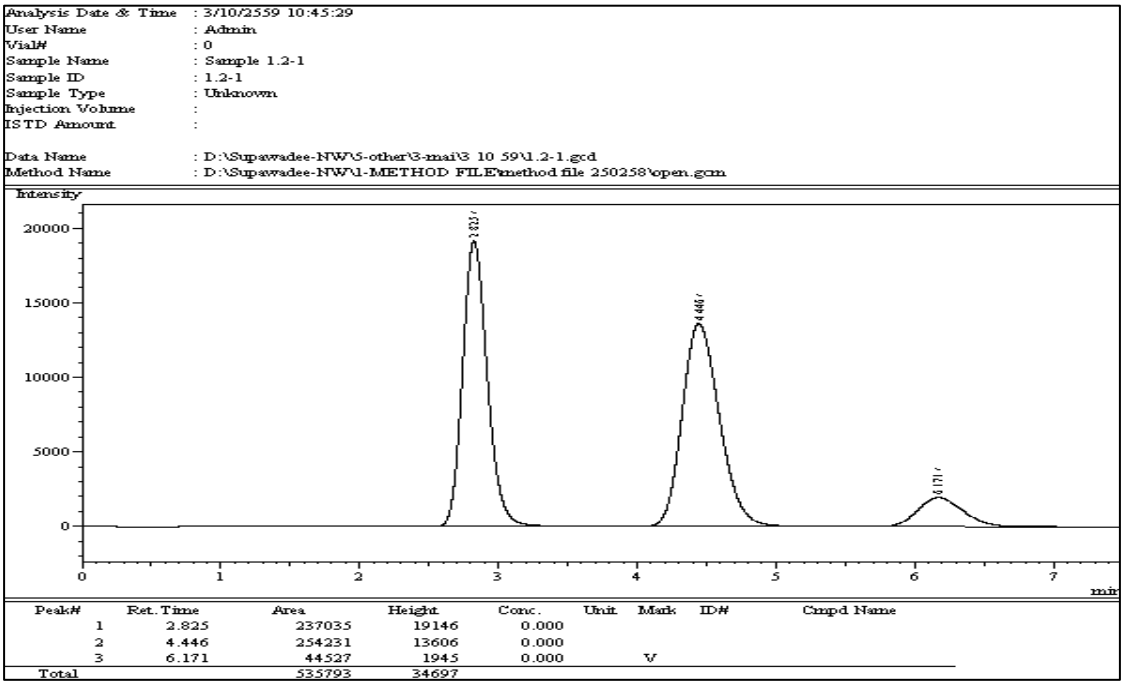


หมายเหตุ: (ง) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ภาพภาคผนวก ก-4 (ต่อ)

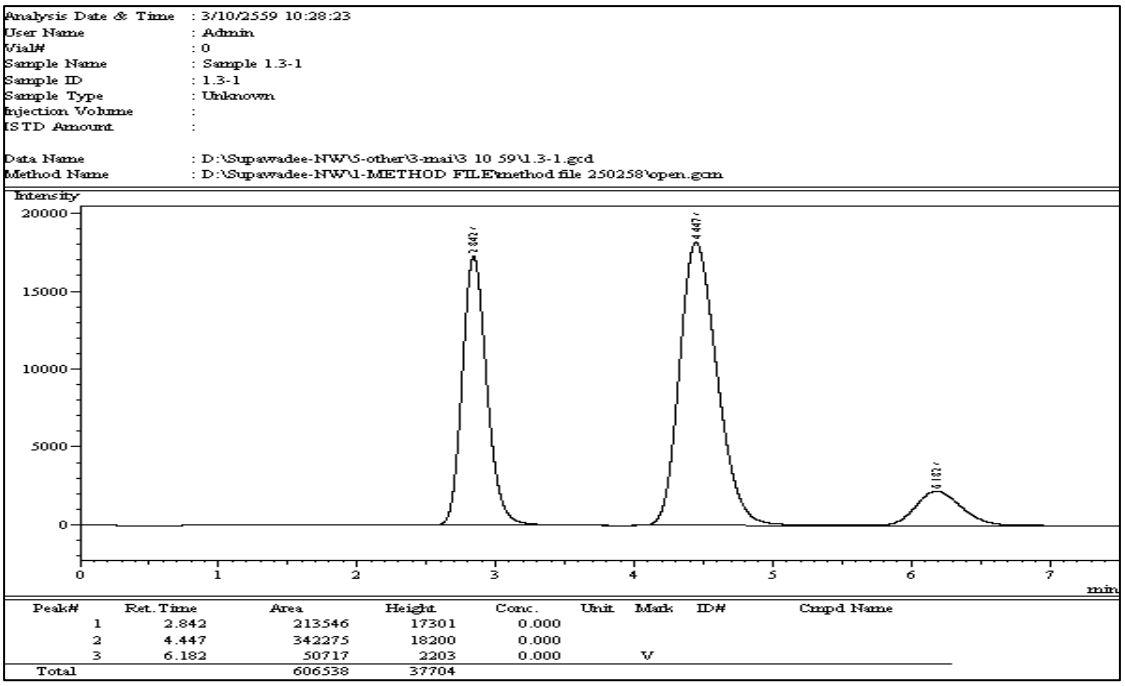


(ก) 31-4/9/2559

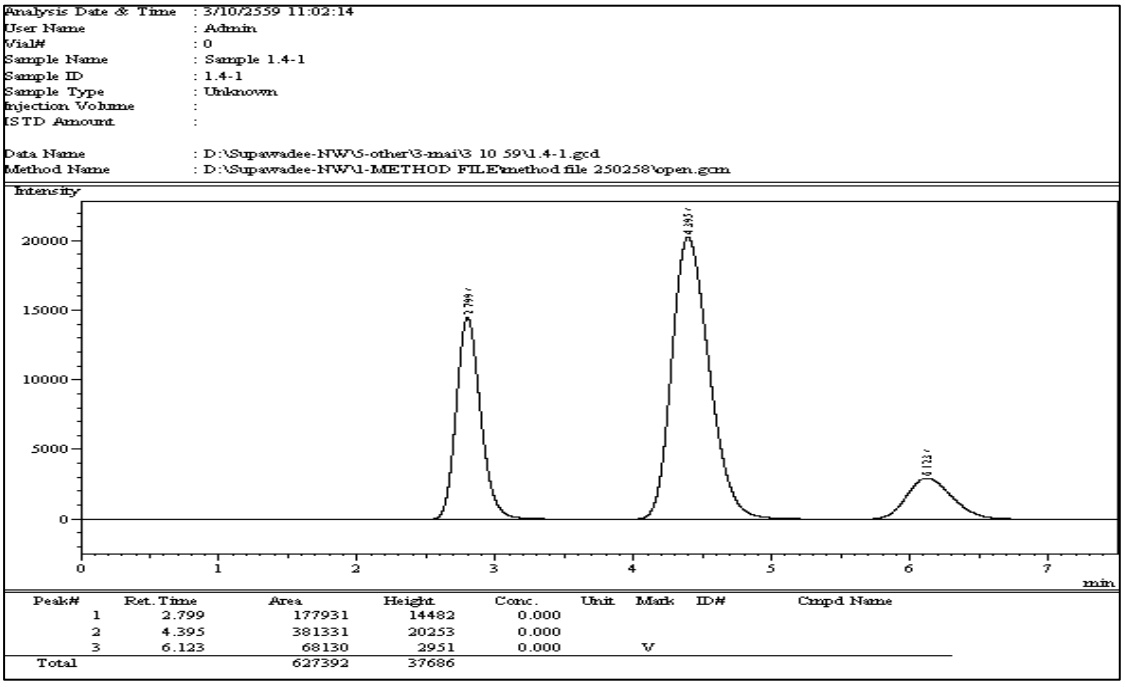


(ข) 4-13/9/2559

ภาพภาคผนวก ก-5 อัตราส่วนพื้นที่ (Peak area) ของการทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

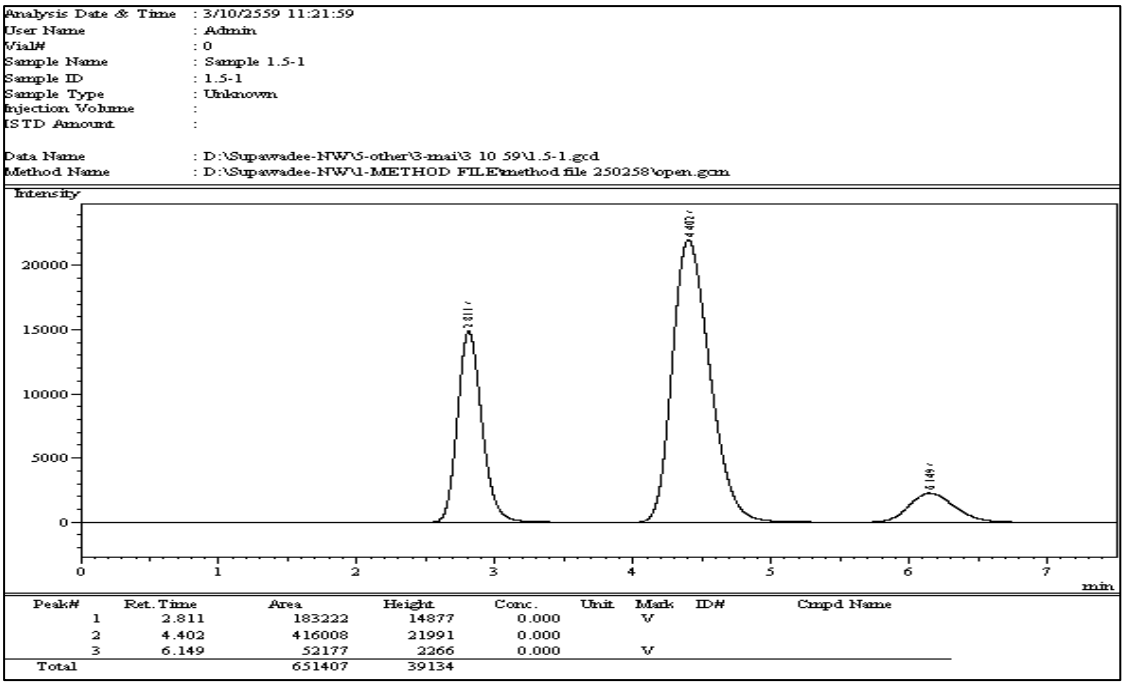


(ค) 13-18/9/2559



(ง) 18-22/9/2559

ภาพภาคผนวก ก-5 (ต่อ)



(จ) 22-30/9/2559

ภาพภาคผนวก ก-5 (ต่อ)

วิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส

1. แสดงกราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve)

โดยที่

(ก) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไฮโดรเจน (H_2)

(ข) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไนโตรเจน (N_2)

(ค) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของมีแทน (CH_4)

(ง) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

2. แสดงอัตราส่วนพื้นที่ (Peak area)

โดยที่

(ก) 12-14/6/2560

(ข) 14-15/6/2560

(ค) 15-16/6/2560

(ง) 16-22/6/2560

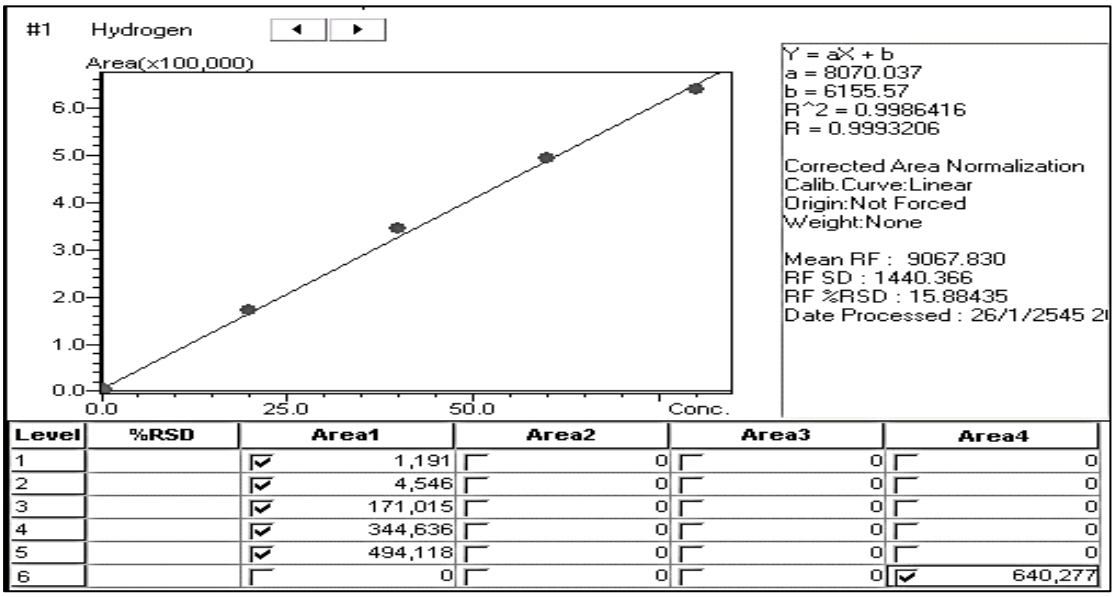
(จ) 22-24/6/2560

(ฉ) 24-07/7/2560

ตารางภาคผนวก ก-3 ค่าความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve)

Concentration of H_2 (%)	Peak Area
0.1	1,191
0.5	4,546
20	171,015
40	344,636
60	494,118
80	640,277

หมายเหตุ: (ก) ค่าความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไฮโดรเจน (H_2)



Level	%RSD	Area1	Area2	Area3	Area4
1		☑ 1,191	☐ 0	☐ 0	☐ 0
2		☑ 4,546	☐ 0	☐ 0	☐ 0
3		☑ 171,015	☐ 0	☐ 0	☐ 0
4		☑ 344,636	☐ 0	☐ 0	☐ 0
5		☑ 494,118	☐ 0	☐ 0	☐ 0
6		☐ 0	☐ 0	☐ 0	☑ 640,277

หมายเหตุ: (ก) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไฮโดรเจน (H_2)

สมการ คือ $Y = aX + b$

$Y = 8070.037X + 6155.57$

$R^2 = 0.9986$

โดยที่ Y = Peak area ของแต่ละสาร

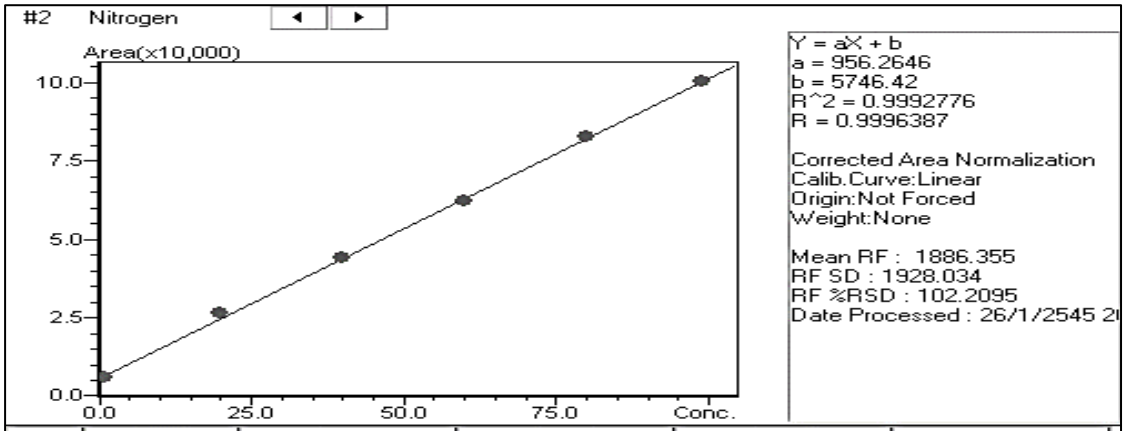
X = Conc. ของสาร

ภาพภาคผนวก ก-6 สมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve)

ตารางภาคผนวก ก-3 (ต่อ)

Concentration of N_2 (%)	Peak Area
1.0	5,815
20	26,452
40	43,955
60	62,069
80	82,548
99.999	100,519

หมายเหตุ: (ข) ค่าความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไนโตรเจน (N_2)



Level	%RSD	Area1	Area2	Area3	Area4
1		101,438	5,815	100,347	96,683
2		100,903	26,452	81,949	86,540
3		81,917	43,955	61,872	69,367
4		61,991	62,069	44,495	53,427
5		44,301	82,548	27,123	36,823
6		100,519	4,564	8,383	25,361

หมายเหตุ: (ข) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไนโตรเจน (N_2)

สมการ คือ $Y = aX + b$

$Y = 956.2646X + 5746.42$

$R^2 = 0.9992$

โดยที่ Y = Peak area ของแต่ละสาร

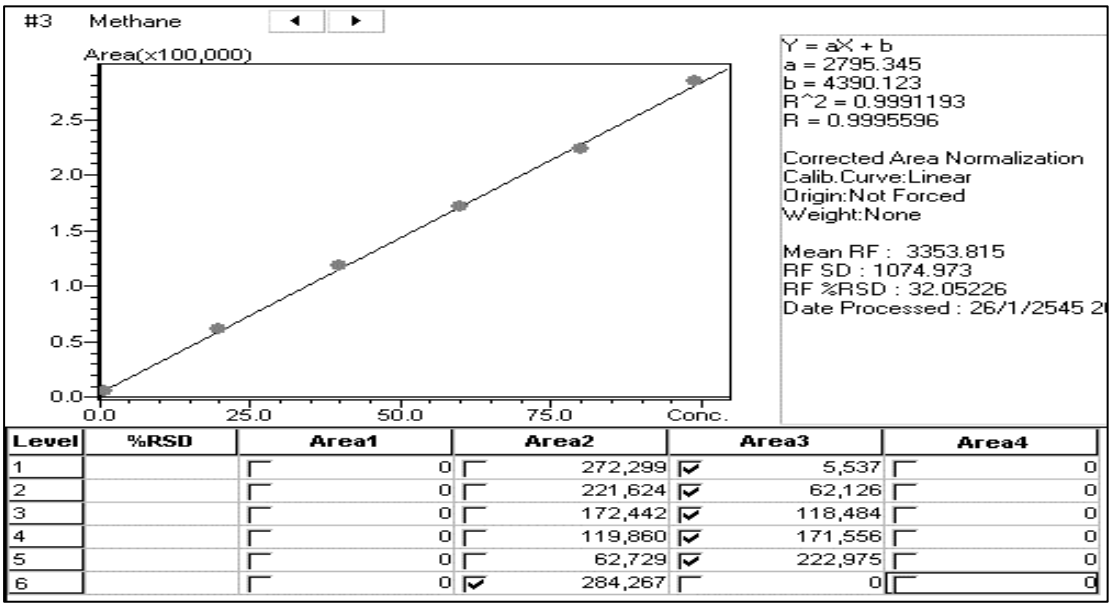
X = Conc. ของสาร

ภาพภาคผนวก ก-6 (ต่อ)

ตารางภาคผนวก ก-3 (ต่อ)

Concentration of CH_4 (%)	Peak Area
1.0	5,537
20	62,126
40	118,484
60	171,556
80	222,975
99.999	284,267

หมายเหตุ: (ค) ค่าความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของมีแทน (CH_4)



Level	%RSD	Area1	Area2	Area3	Area4
1		0	272,299	5,537	0
2		0	221,624	62,126	0
3		0	172,442	118,484	0
4		0	119,860	171,556	0
5		0	62,729	222,975	0
6		0	284,267	0	0

หมายเหตุ: (ค) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของมีแทน (CH_4)

สมการ คือ $Y = aX + b$

$Y = 2795.345X + 4390.123$

$R^2 = 0.9991$

โดยที่ Y = Peak area ของแต่ละสาร

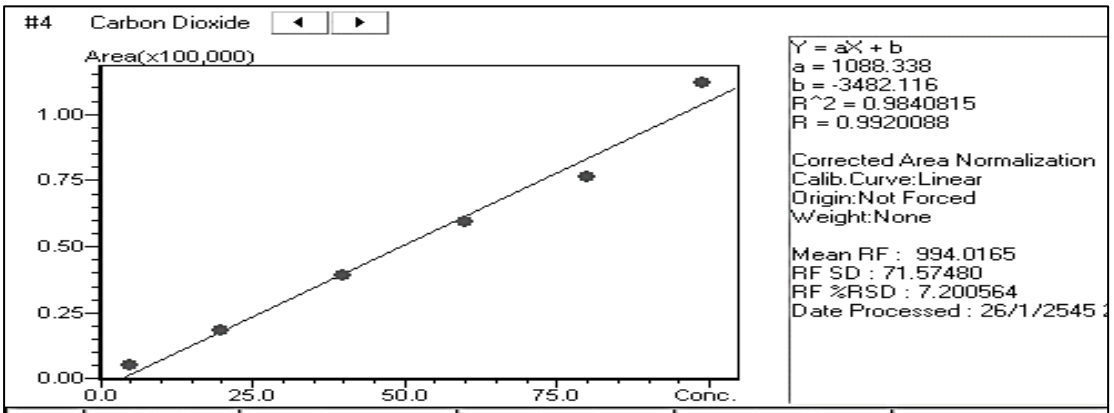
X = Conc. ของสาร

ภาพภาคผนวก ก-6 (ต่อ)

ตารางภาคผนวก ก-3 (ต่อ)

Concentration of CO_2 (%)	Peak Area
5	4,975
20	18,368
40	39,166
60	59,159
80	76,527
99.999	111,767

หมายเหตุ: (ง) ค่าความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)



Level	%RSD	Area1	Area2	Area3	Area4
1		0	0	0	4,975
2		0	0	0	18,368
3		0	0	0	39,166
4		0	0	0	59,159
5		0	0	0	76,527
6		0	0	111,767	0

หมายเหตุ: (ง) กราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

สมการ คือ $Y = aX + b$

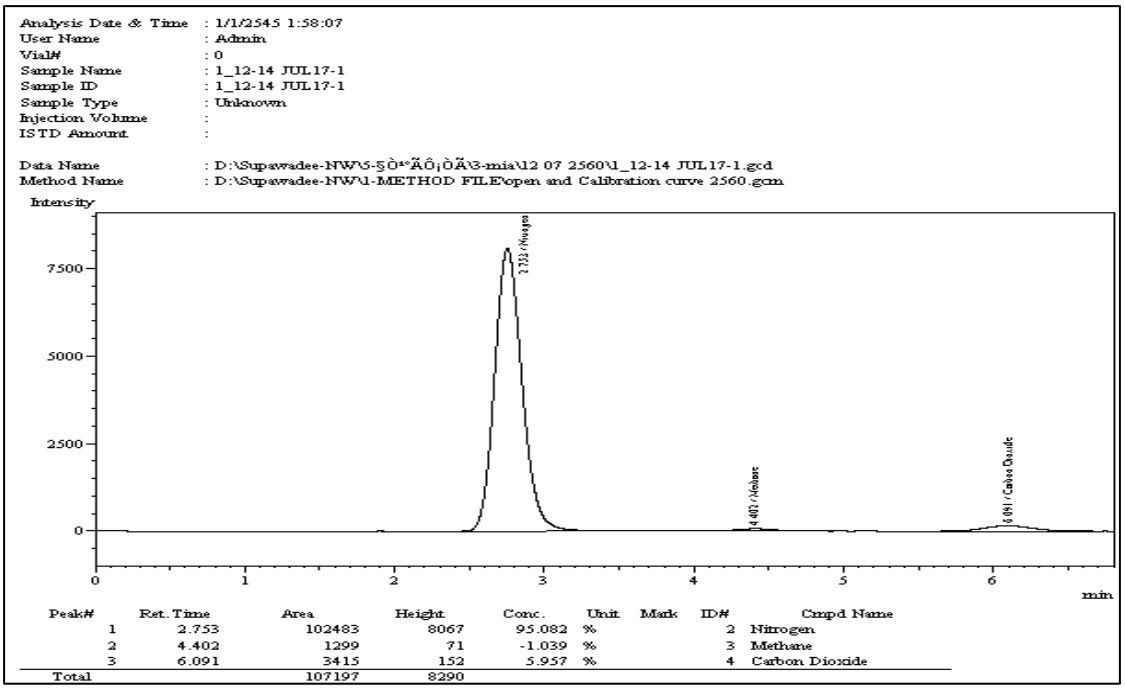
$Y = 1088.338X - 3482.116$

$R^2 = 0.9841$

โดยที่ Y = Peak area ของแต่ละสาร

X = Conc. ของสาร

ภาพภาคผนวก ก-6 (ต่อ)



<u>หมายเหตุ</u>: CH_4 ติดลบ เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าค่าของ Calibration Curve นั่นคือ 1

ดังนั้นแสดงว่า มีเทน มีค่าน้อยกว่า 1 %

Ret. Time 1.8-1.9 คือ Hydrogen Gas (กราฟที่ 1)

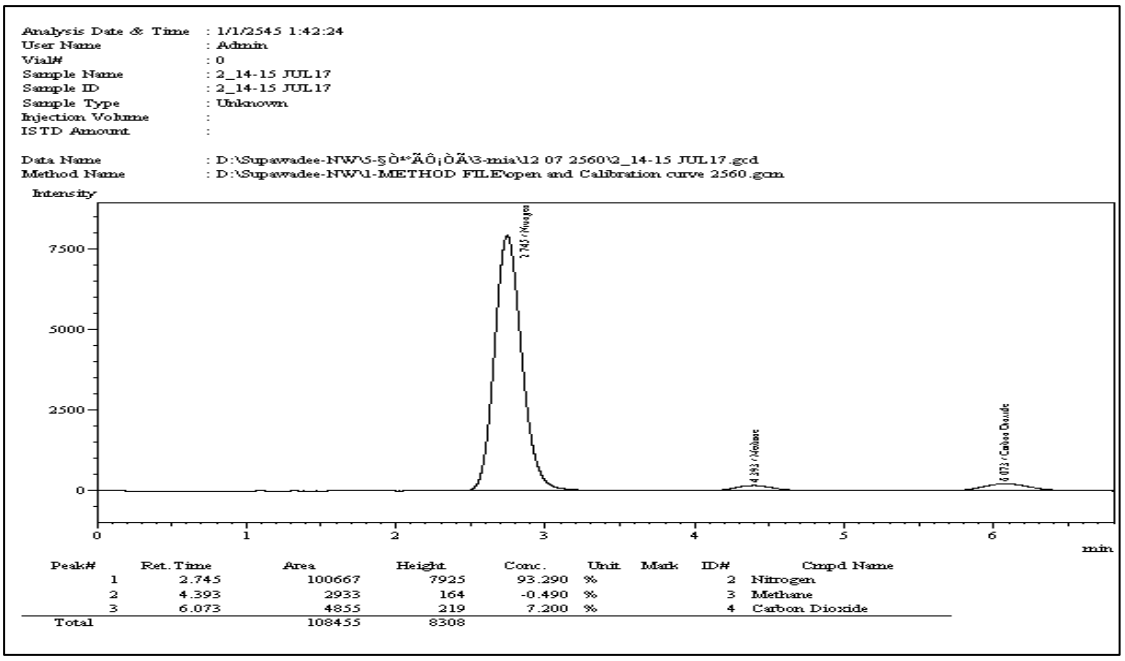
Ret. Time 2.7-2.8 คือ Nitrogen Gas (กราฟที่ 2)

Ret. Time 4.2-4.3 คือ Methane Gas (กราฟที่ 3)

Ret. Time 5.9- 6.1 คือ Carbon dioxide Gas (กราฟที่ 4)

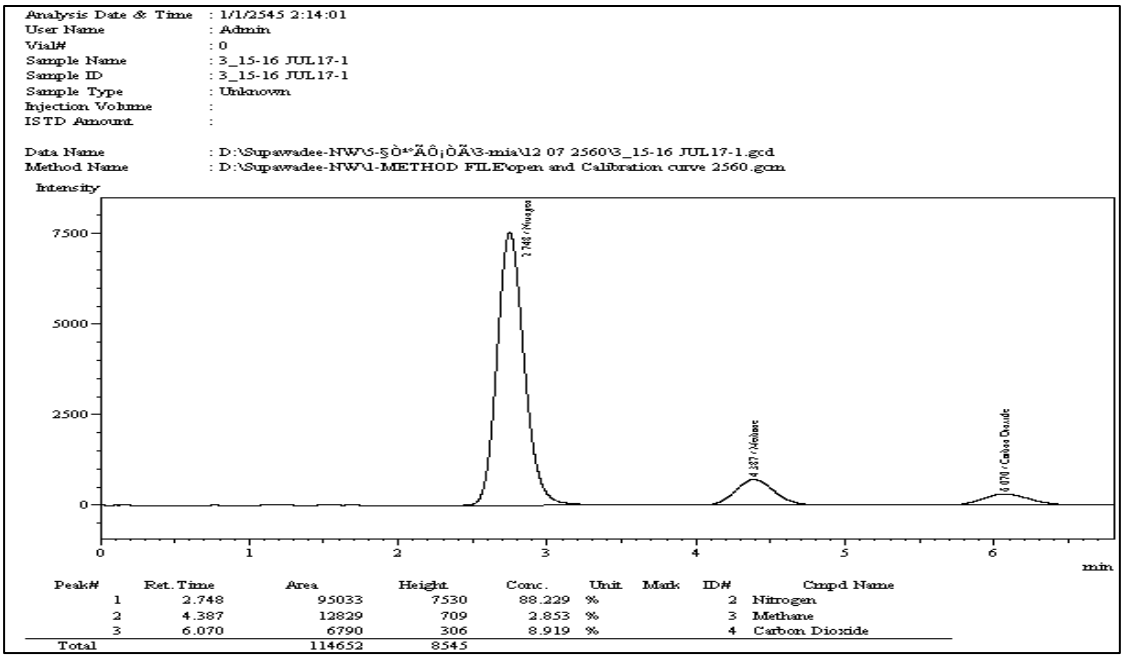
(ก) 12-14/6/2560

ภาพภาคผนวก ก-7 อัตราส่วนพื้นที่ (Peak area) ของการทดลองที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส



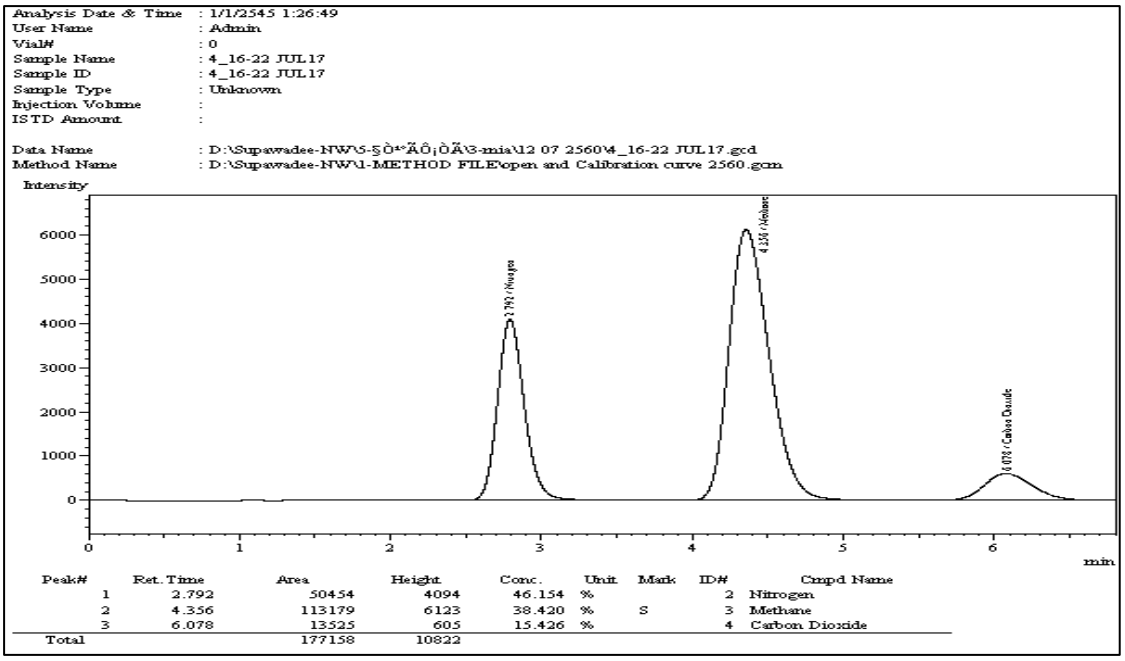
หมายเหตุ: CH_4 ติดลบ เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าค่าของ Calibration Curve นั่นคือ 1 ดังนั้นแสดงว่ามีเทนมีค่าน้อยกว่า 1 %

(ข) 14-15/6/2560

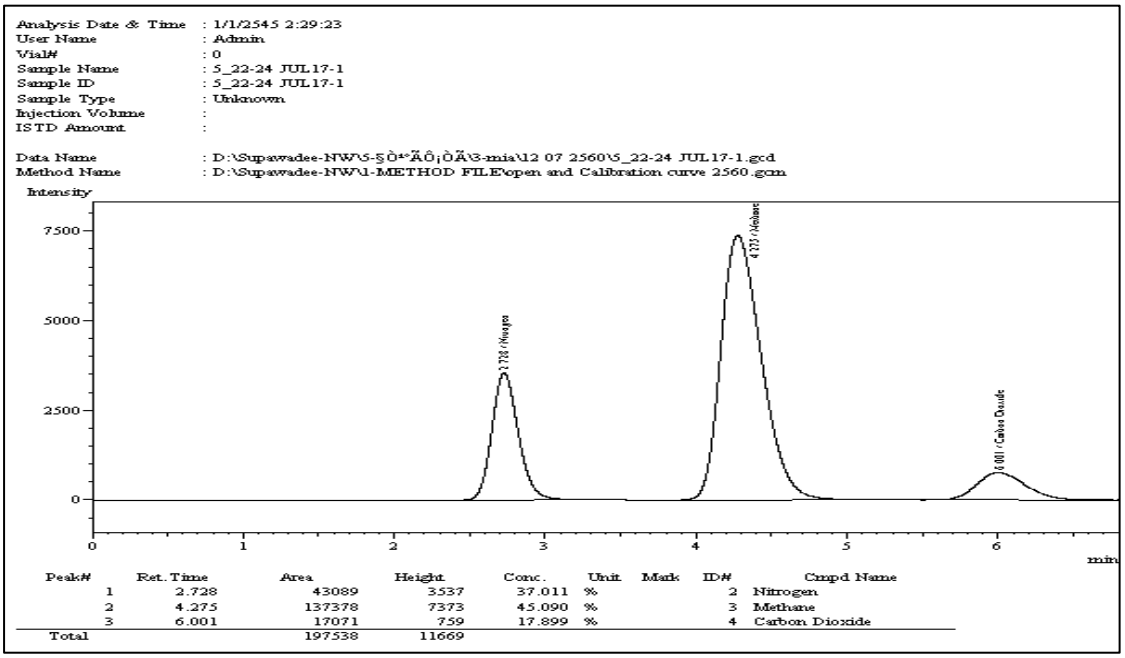


(ค) 15-16/6/2560

ภาพภาคผนวก ก-7 (ต่อ)

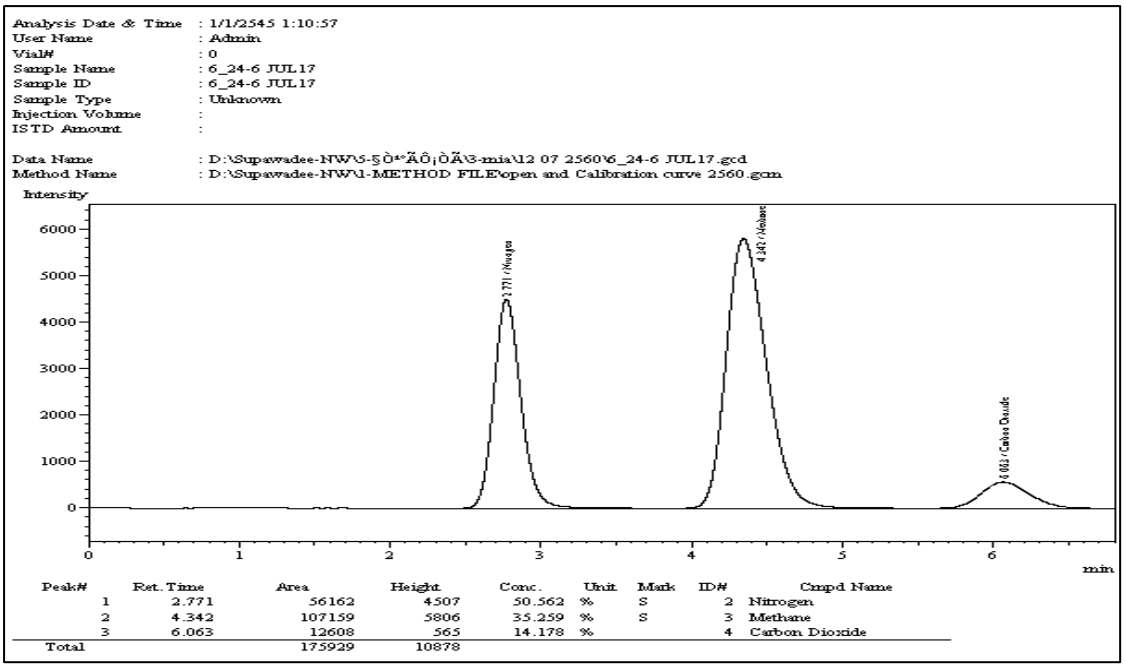


(ง) 16-22/6/2560



(จ) 22-24/6/2560

ภาพภาคผนวก ก-7 (ต่อ)



(ฉ) 24-07/7/2560

ภาพภาคผนวก ก-7 (ต่อ)

ภาคผนวก ข

องค์ประกอบพื้นฐานของตะกอนเลนบ่อกุ้งจำนวน 3 บ่อ

ค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิ (T) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ได้จากการหมักตะกอนเลนบ่อกุ้ง

ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดจากการหมักตะกอนเลนบ่อกุ้ง. ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างจนถึง

วันที่วิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สชีวภาพ. แสดงพื้นที่ใต้กราฟในแต่ละช่วงเวลาที่แก๊สเคลื่อนที่ผ่าน.

ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ได้จากการวิเคราะห์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%). มิลลิลิตร (ml). ข้อมูลการวิเคราะห์

คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ (ก่อนและหลังการทดลอง). การสำรวจพื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งจำนวน

12 บ่อ. ข้อมูลสำรวจการขึ้นกุ้งจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งในปี 2559. ปริมาณแก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะผลิตได้

เทียบเป็นพลังงานทดแทน

ตารางภาคผนวก ข-1 องค์ประกอบพื้นฐานของตะกอนเลนบ่อกุ้งจำนวน 3 บ่อ

พื้นที่ (จุดที่)	พารามิเตอร์ของตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้ง								
	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ความลึก (เซนติเมตร)		
	บ่อที่			บ่อที่			บ่อที่		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	9.20	8.43	6.91	31.43	33.03	38.63	4.00	5.20	7.60
2	9.37	8.39	6.45	31.83	29.80	35.67	4.00	5.60	4.53
3	9.20	8.30	5.83	32.03	32.90	35.40	5.00	5.60	7.97
4	9.13	8.22	5.62	32.03	33.03	36.03	4.77	5.33	4.47
5	9.26	8.19	5.57	32.00	33.13	35.90	5.07	4.03	7.47
เฉลี่ย	9.23	8.31	6.80	31.87	32.38	36.33	4.57	5.15	6.41

ตารางภาคผนวก ข-2 อุณหภูมิ (T) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ได้จากการหมักตะกอนเลนบ่อกุ้ง

วันที่	อุณหภูมิ (T) (องศาเซลเซียส) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)					
	อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส	
	อุณหภูมิ	pH	อุณหภูมิ	pH	อุณหภูมิ	pH
1	28.57	8.08	31.18	6.87	34.83	7.96
2	28.93	8.10	29.43	6.63	33.14	7.97
3	26.15	7.88	30.11	6.35	40.45	8.73
4	26.11	7.78	29.28	6.14	43.79	8.50
5	24.28	7.46	29.79	4.86	43.73	6.88
6	24.50	7.31	30.01	4.78	41.45	6.64
7	27.27	7.56	29.90	5.47	36.33	6.87
8	27.98	7.95	29.41	6.05	33.87	7.56
9	26.06	7.81	29.50	6.47	34.47	9.29
10	26.35	7.31	28.38	5.13	41.42	9.32
11	26.50	6.56	28.78	4.86	38.69	9.51
12	27.95	6.44	28.36	5.23	34.32	9.24
13	29.55	6.39	28.73	5.38	34.79	8.94
14	29.79	6.38	32.43	6.58	34.52	7.57
15	29.68	6.37	30.80	5.75	35.85	8.54
16			31.13	5.65	31.66	8.53
17			30.76	5.43	31.57	7.00
18			29.23	5.50	30.42	7.27
19			29.73	6.06	30.65	6.98
20			29.43	6.02	30.89	6.47
21			32.56	5.83	31.37	7.03
22			31.64	5.69	30.97	6.99
23			31.00	5.81	29.14	6.61

อุณหภูมิ (T) (องศาเซลเซียส) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
วันที่	อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส	
	อุณหภูมิ	pH	อุณหภูมิ	pH	อุณหภูมิ	pH
24			32.12	5.93	30.72	6.58
25			31.10	6.35	29.98	6.54
26			30.28	6.15		
27			30.54	6.20		
28			30.30	6.18		
29			30.37	6.24		
30			31.00	6.63		
31			30.50	5.96		
32			31.18	5.67		
33			30.57	5.96		
34			30.62	6.14		
35			30.90	6.21		
36			30.84	6.27		
37			30.87	6.92		
38			30.98	6.86		
39			30.84	6.61		
40			31.17	6.33		
41			29.92	6.52		
42			29.94	6.48		
43			29.97	6.54		
44			30.14	6.36		
45			30.36	6.02		

ตารางภาคผนวก ข-3 ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดจากการหมักตะกอนเลนบ่อกุ้ง

ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดจากการหมักตะกอนเลนบ่อกุ้ง						
วัน	อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส	
	ต่อวัน	สะสม	ต่อวัน	สะสม	ต่อวัน	สะสม
1	0.00	0.00	0.00	0.00	725.00	725.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	462.00	1,187.00
3	0.48	0.48	0.00	0.00	1,265.00	2,452.00
4	21.72	22.20	0.00	0.00	1,210.00	3,662.00
5	164.89	187.09	0.00	0.00	15.00	3,677.00
6	244.20	431.29	2.36	2.36	49.00	3,726.00
7	295.90	727.19	410.00	412.36	38.00	3,764.00
8	52.91	780.09	306.00	718.36	27.00	3,791.00
9	121.83	901.92	718.00	1,436.36	674.00	4,465.00
10	230.90	1,132.83	99.00	1,535.36	580.00	5,045.00
11	77.50	1,210.33	81.00	1,616.36	1,064.00	6,109.00
12	55.00	1,265.33	130.00	1,746.36	420.00	6,529.00
13	59.00	1,324.33	250.00	1,996.36	203.50	6,732.50
14	117.25	1,441.58	140.00	2,136.36	95.00	6,827.50
15	272.50	1,714.08	154.00	2,290.36	24.50	6,852.00
16	220.50	1,934.58	110.00	2,400.36	2.00	6,854.00
17			410.00	2,810.36	0.00	6,854.00
18			180.00	2,990.36	0.00	6,854.00
19			245.00	3,235.36	0.00	6,854.00
20			180.00	3,415.36	0.00	6,854.00
21			495.00	3,910.36	0.00	6,854.00
22			293.00	4,203.36	0.00	6,854.00
23			160.00	4,363.36	0.00	6,854.00
24			245.00	4,608.36	0.00	6,854.00

ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดจากการหมักตะกอนเลนบ่อกุ้ง						
วัน	อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส	
	ต่อวัน	สะสม	ต่อวัน	สะสม	ต่อวัน	สะสม
25			630.00	5,238.36	0.00	6,854.00
26			390.00	5,628.36		
27			79.00	5,707.36		
28			323.00	6,030.36		
29			190.00	6,220.36		
30			135.00	6,355.36		
31			155.00	6,510.36		
32			111.00	6,621.36		
33			76.00	6,697.36		
34			155.00	6,852.36		
35			140.00	6,992.36		
36			18.54	7,010.90		
37			15.50	7,026.40		
38			42.91	7,069.31		
39			10.05	7,079.36		
40			14.00	7,093.36		
41			5.00	7,098.36		
42			8.00	7,106.36		
43			9.00	7,115.36		
44			5.00	7,120.36		
45			2.59	7,122.95		

ตารางภาคผนวก ข-4 ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างจนถึงวันที่วิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สชีวภาพ

อุณหภูมิ	ขวดที่	ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างแก๊สแต่ละขวด (วัน)	ระยะเวลาที่เก็บต่อขวด (วัน)	วันที่ฉีดตัวอย่างแก๊ส	ระยะเวลาที่เก็บจนถึงวันที่ฉีดตัวอย่างแก๊ส (วัน)	ปริมาณแก๊สที่เก็บได้ต่อขวด (มิลลิลิตร)
27 องศาเซลเซียส	1.1	23-28/7/2559	5	22/8/2559	30	439.56
	1.2	28-30/7/2559	2	22/8/2559	25	390.19
	1.3	30-1/8/2559	2	22/8/2559	23	425.21
	1.4	1-5/8/2559	4	22/8/2559	22	431
	1.5	5-7/8/2559	2	22/8/2559	17	267.5
27 องศาเซลเซียส	2.1	23-29/7/2559	6	22/8/2559	30	470
	2.2	29-1/8/2559	3	22/8/2559	24	479.17
	2.3	1-5/8/2559	4	22/8/2559	22	414
	2.4	5-7/8/2559	2	22/8/2559	17	491
30 องศาเซลเซียส	1	31-4/9/2559	5	3/10/2559	33	1018
	2	4-13/9/2559	9	3/10/2559	29	1254
	3	13-18/9/2559	5	3/10/2559	20	1373
	4	18-22/9/2559	4	3/10/2559	15	1344
	5	22-30/9/2559	8	3/10/2559	11	1285
34 องศาเซลเซียส	1	12-14/6/2560	2	12/7/2560	30	1187
	2	14-15/6/2560	1	12/7/2560	28	1265
	3	15-16/6/2560	1	12/7/2560	27	1210
	4	16-22/6/2560	5	12/7/2560	26	1383
	5	22-24/6/2560	2	12/7/2560	20	1484
	6	24-07/7/2560	13	12/7/2560	18	745

ตารางภาคผนวก ข-5 แสดงพื้นที่ใต้กราฟในแต่ละช่วงเวลาที่แก๊สเคลื่อนที่ผ่าน

		Peak Area			
อุณหภูมิ	ขวดที่	Hydrogen	Nitrogen	Methane	Carbon dioxide
27 องศาเซลเซียส	1	0.00	350415	15528	13619
	2	0.00	246477	239968	41931
	3	0.00	186243	427742	46966
	4	0.00	136453	529610	63505
	5	0.00	146897	541913	47523
27 องศาเซลเซียส	1	0.00	343923	8838	15700
	2	0.00	287131	110489	37903
	3	0.00	166411	467778	47017
	4	0.00	210022	383175	47149
30 องศาเซลเซียส	1	0.00	307541	76186	31132
	2	0.00	237035	254321	44527
	3	0.00	213546	342275	50717
	4	0.00	177931	381331	68130
	5	0.00	183222	416008	52177
34 องศาเซลเซียส	1	0.00	102483	1299	3415
	2	0.00	100667	2933	4855
	3	0.00	95033	12829	6790
	4	0.00	50454	113179	13525
	5	0.00	43089	137378	17071
	6	0.00	56162	107159	12608

วิธีการคำนวณองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่ทำการวิเคราะห์

คำนวณปริมาตรคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

จากสมการกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไฮโดรเจน (H_2)

$Y = 27376x + 104296$

$R^2 = 0.9851$

โดยที่ Y = Peak area ของแต่ละสาร

X = Conc. ของสาร

ปริมาตร (H_2) คิดเป็น (%) = (Peak area (H_2)-104296)/27376

= (0-104296)/27376

= 0%

จากกราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของไนโตรเจน (N_2)

$Y = 3135.9x + 30509$

$R^2 = 0.9935$

โดยที่ Y = Peak area ของแต่ละสาร

X = Conc. ของสาร

ปริมาตร (N_2) คิดเป็น (%) = (Peak area (N_2)-30509)/3135.9)

= (350415-30509)/3135.9)

= 102%

จากกราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของมีเทน (CH_4)

$Y = 10553x + 12919$

$R^2 = 0.9978$

โดยที่ Y = Peak area ของแต่ละสาร

X = Conc. ของสาร

ปริมาตร (CH_4) คิดเป็น (%) = (Peak area (CH_4)-12919)/10553)

= (15528-12919)/10553

= 0.25%

จากกราฟสมการความเข้มข้นมาตรฐาน (Calibration curve) ของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

$Y = 4226.1x - 18291$

$R^2 = 0.9807$

โดยที่ Y = Peak area ของแต่ละสาร

X = Conc. ของสาร

ปริมาตร (CO_2) คิดเป็น (%) = (Peak area (CO_2) + 18291)/4226.1)

= (13619+18291)/4226.1

= 7.55%

ปริมาณแก๊สรวม = 0+102+0.25+7.55

= 109.8%

ปริมาณแก๊สรวมทั้งหมดคิดเป็น 100% = (100×ปริมาตรแก๊สที่คิดได้ (%))/ ผลรวมแก๊ส

ปริมาณของแก๊สไฮโดรเจน (H_2) = 0%

ปริมาณของแก๊สไนโตเจน (N_2) = 92.90%

ปริมาณแก๊สมีเทน (CH_4) = 0.23%

ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) = 6.88%

วิธีการคำนวณปริมาณของแก๊สชีวภาพ (มิลลิลิตร)

ปริมาณของแก๊สชีวภาพ (มิลลิลิตร) = ปริมาตรของแก๊สที่เก็บได้ (ขวด)×(% ของแก๊สจากการคำนวณ/ 100)

ดังนั้น

ปริมาณของแก๊สไฮโดรเจน (H_2) (มิลลิลิตร) = 439.56×(0/ 100) = 0 มิลลิลิตร

ปริมาณของแก๊สไนโตเจน (N_2) (มิลลิลิตร) = 439.56×(92.90/ 100) = 408.35 มิลลิลิตร

ปริมาณแก๊สมีเทน (CH_4) (มิลลิลิตร) = 439.56×(0.23/ 100) = 0.99 มิลลิลิตร

ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (มิลลิลิตร) = 439.56×(6.88/100) = 30.22 มิลลิลิตร

ตารางภาคผนวก ข-6 ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ได้จากการวิเคราะห์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

ปริมาตรแก๊สคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)					
อุณหภูมิ	ขวดที่	Hydrogen	Nitrogen	Methane	Carbon dioxide
27 องศาเซลเซียส	1	0.00	92.90	0.23	6.88
	2	0.00	65.82	20.56	13.62
	3	0.00	47.56	37.65	14.79
	4	0.00	33.09	47.95	18.96
	5	0.00	36.10	48.75	15.15
27 องศาเซลเซียส	1	0.00	92.88	-0.36	7.47
	2	0.00	78.40	8.86	12.74
	3	0.00	42.53	42.30	15.17
	4	0.00	53.10	32.54	14.36
30 องศาเซลเซียส	1	0.00	84.71	5.75	9.55
	2	0.00	64.38	22.36	13.26
	3	0.00	55.69	29.78	14.53
	4	0.00	46.16	34.28	19.55
	5	0.00	47.50	37.26	15.24
34 องศาเซลเซียส	1	0.00	95.08	-1.04	5.96
	2	0.00	93.29	-0.49	7.20
	3	0.00	88.23	2.85	8.92
	4	0.00	46.14	38.41	15.45
	5	0.00	37.01	45.09	17.90
	6	0.00	50.56	35.26	14.18

ตารางภาคผนวก ข-7 ปริมาตรแก๊สชีวภาพที่ได้จากการวิเคราะห์คิดเป็นปริมาตร (มิลลิลิตร)

ปริมาตรคิดเป็นปริมาตร (มิลลิลิตร)					
อุณหภูมิ	ขวดที่	Hydrogen	Nitrogen	Methane	Carbon dioxide
27 องศาเซลเซียส	1	0.00	408.35	0.99	30.22
	2	0.00	256.82	80.23	53.14
	3	0.00	202.25	160.08	62.88
	4	0.00	142.62	206.68	81.70
	5	0.00	96.56	130.42	40.52
27 องศาเซลเซียส	1	0.00	436.56	-1.69	35.13
	2	0.00	375.68	42.44	61.04
	3	0.00	176.08	175.13	62.79
	4	0.00	260.70	159.78	70.52
30 องศาเซลเซียส	1	0.00	862.30	58.52	97.18
	2	0.00	807.34	280.42	166.24
	3	0.00	764.66	408.86	199.48
	4	0.00	620.45	460.74	262.82
	5	0.00	610.43	478.78	195.79
34 องศาเซลเซียส	1	0.00	1128.62	-12.33	70.71
	2	0.00	1180.12	-6.20	91.08
	3	0.00	1067.56	34.52	107.92
	4	0.00	638.14	531.21	213.65
	5	0.00	549.24	669.14	265.62
	6	0.00	376.69	262.68	105.63

ตารางภาคผนวก ข-8 ข้อมูลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ (ก่อนและหลังการทดลอง)

รายการทดสอบลักษณะของตะกอนเลนบ่อกุ้ง	อุณหภูมิ					
	27 องศาเซลเซียส		30 องศาเซลเซียส		34 องศาเซลเซียส	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) (g/l)	8.08	7.36	6.87	6.02	7.96	7.74
2. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS)	581.88	445.65	699.62	448.16	575.17	533.65
3. ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด (TVS) (g/l)	0.34	0.33	0.33	0.26	37.29	33
4. ปริมาณของแข็งคงตัวทั้งหมด (TFS) (g/l)	581.54	445.32	669.29	447.9	537.88	500.56
6. อินทรียวัตถุ (OM) (g/l)	1.21	1.03	1.17	0.98	4.8	1.61
7. คาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	1.76		1.94		8.96	

ตารางภาคผนวก ข-9 จากการสำรวจพื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งโดยประมาณ จำนวน 12 บ่อเพาะเลี้ยง

บ่อที่	พื้นที่ (ไร่)	พื้นที่ (ตารางเมตร)	ปริมาตรตะกอนเลน (ลูกบาศก์เมตร)
1	1.64	2624	119.83
2	1.66	2656	136.87
3	1.84	2944	188.61
4	1.53	2448	131.59
5	1.37	2192	117.83
6	1.9	3040	163.42
7	2.28	3648	196.10
8	1.86	2976	159.98
9	0.6	960	51.61
10	2.21	3536	190.08
11	1.07	1712	92.03
12	2.3	3680	197.82
รวม	20.26	32,416	1,746.00
	ตันต่อปี		1.75

ตารางภาคผนวก ข-10 ข้อมูลสำรวจการขึ้นกุ้งจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งในปี 2559

สำรวจการขึ้นกุ้งในปี 2559			
ปี 2559	จำนวนการขึ้นกุ้ง (บ่อ)	ปริมาณตะกอนที่เกิด (ลบ.ม.)	ปริมาณแก๊สที่คาดว่าจะผลิตได้เทียบกับปริมาตรแก๊สที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส (ลบ.ม.)
มกราคม	2	291.0	66.9
กุมภาพันธ์		0	-
มีนาคม		0	-
เมษายน		0	-
พฤษภาคม	5	727.5	167.3
มิถุนายน		0	-
กรกฎาคม	2	291.0	66.9
สิงหาคม	2	291.0	66.9
กันยายน		0.0	-
ตุลาคม	1	145.5	33.5
พฤศจิกายน		0	-
ธันวาคม		0	-
รวม	12	1,746.0	401.6
เฉลี่ย	2	268.6	61.8

จากการสำรวจพื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งจำนวน 12 บ่อจากฟาร์มเลี้ยงกุ้ง ระยะเวลาในการเลี้ยงกุ้งในแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการเลี้ยงประมาณ 3-4 เดือน พบการขึ้นกุ้งโดยเฉลี่ย ครั้งละประมาณ 2 บ่อจะเกิดตะกอนจากการเลี้ยงกุ้งประมาณ 268.6 ลูกบาศก์เมตร หากเทียบกับการทดลองคาดว่าจะได้แก๊สชีวภาพ 61.8 ลูกบาศก์เมตร

วิธีวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์การผลิตแก๊สชีวภาพ

จากการสำรวจพื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้โปรแกรม iMeasure ซึ่งโปรมแกรมนี้จะสามารถคำนวณพื้นที่ด้วย GPS โดยกำหนดพิกัดจุดที่ต้องการคำนวณโปรแกรมก็จะคำนวณตามหน่วยที่ตั้งค่าเอาไว้

สูตรคำนวณปริมาตรตะกอนเลนบ่อเลี้ยงกุ้ง

ขนาดของบ่อเลี้ยงกุ้ง 1.64 ไร่

เนื้อที่ 1 ไร่ เท่ากับ 1,600 ตารางเมตร

บ่อมีพื้นที่ 1,600×1.64 = 2,624 ตารางเมตร

ความสูงของระดับตะกอนเลนที่วัดได้เฉลี่ย 4.57 เซนติเมตร = 0.0457 เมตร

จากสูตร

ปริมาตรตะกอนเลน = พื้นที่ (พื้นที่ปากบ่อ) × สูง (ลึก)

= 2,624×0.0457 = 119.91 ลูกบาศก์เมตร

จากการทดลอง พบว่า ที่การหมักแก๊สชีวภาพที่สภาวะไร้ออกซิเจนด้วยตะกอนเลนบ่อกุ้ง โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 25 วัน ปริมาตรตะกอนเลน 30 ลิตร สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ปริมาตร 6,854 มิลลิลิตร

1 ลูกบาศก์เมตร หรือ 1 ตัน เท่ากับ 1000 ลิตร

1 ลิตร เท่ากับ 1000 มิลลิลิตร

1 มิลลิลิตร เท่ากับ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ ซีซี (cc)

ปริมาตรตะกอนเลน 30 ลิตร ใช้ระยะเวลาในการหมัก 25 วัน

แก๊สที่ผลิตได้ 6,854 มิลลิลิตร หรือ 6,854 ลูกบาศก์เซนติเมตร

เท่ากับ 6.854 ลิตร หรือ 0.0069 ลูกบาศก์เมตร

บ่อเลี้ยงกุ้ง 12 บ่อ มีปริมาณตะกอนเลน 1,746 ลูกบาศก์เมตร จะสามารถผลิตแก๊สได้

= (1,746×0.0069)/ 0.03 = 401.53 ลูกบาศก์เมตร

เมื่อเทียบอัตราการทดแทนการใช้พลังงานของแก๊สชีวภาพ

ที่ปริมาตรมีเทนร้อยละ 50 แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้ 1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จากการทดลองที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส มีความเข้มข้นของมีเทนร้อยละ 40.17 แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้ 0.96 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ดังนั้น

แก๊สชีวภาพ 0.0069 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นอัตราการทดแทนพลังงานไฟฟ้า

= (0.0069×0.96) = 0.0066 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

แก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะผลิตได้จากตะกอนเลน 1,746 ลูกบาศก์เมตร

= (401.53×0.96) = 385.47 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

วิธีคำนวณค่าไฟฟ้าภายในบ้านมีวิธีการคำนวณค่าไฟฟ้าดังนี้ (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2555) การใช้ไฟฟ้า 1 หน่วยหรือ 1 ยูนิต คือเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาด 1000 วัตต์ที่ใช้งานในหนึ่งชั่วโมง จากสูตร

1 ยูนิต = [กำลังไฟฟ้า (วัตต์) ของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการคำนวณ/ 1000] x จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการคำนวณ x จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานในหนึ่งวัน

เครื่องยนต์เติมอากาศ (กังหันตีน้ำ ขนาด 2 แรงม้า ขนาด 1.5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง มอเตอร์ 4P ใช้ไฟ 1/ 220โวลต์ จำนวน 1 เครื่อง ใช้งาน 10 ชั่วโมง ใช้ไฟฟ้าวันละ [(1.5 x 1000)/ 1000] x 1 x 10 = 15 หน่วย หรือเดือนละ (30x15) = 450 หน่วย ปีละ 365 x 15 = 5,475 หน่วย

ตัวอย่างวิธีการคิดค่าไฟฟ้า ใช้ไฟฟ้าประเภท 1.2 ใช้ไฟฟ้าไปเดือนละ 450 หน่วย

150 หน่วย (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) แรก	150 x 2.7628 = 414.42 บาท
250 หน่วยต่อไป	250 x 3.7362 = 934.06 บาท
ส่วนที่เกินกว่า 400 หน่วย	(450-400 = 50×3.9361) = 196.80 บาท
ค่าบริการ (บาทต่อเดือน)	38.22

รวมเป็นเงิน 1,583.505 บาทต่อเดือน ปีละ 19,002.06 บาทต่อปี

จากการสำรวจฟาร์มเลี้ยงกุ้งของลุงชูศักดิ์ หมื่นอินทร์กูดจำนวน 12 บ่อ ใช้กังหันตีน้ำ ทั้งหมด 6 เครื่อง จะใช้ไฟฟ้าวันละ 15x6 = 90 หน่วย หรือเดือนละ (30x90) = 2,700 หน่วย ปีละ 365 x 90 = 32,850 หน่วย รวมเป็นเงิน 9,501.03 บาทต่อเดือน ปีละ 114,012.36 บาทต่อปี

ดังนั้นปริมาณแก๊สที่คาดว่าจะผลิตได้ 401.53 ลูกบาศก์เมตร จากปริมาตรตะกอนเลน 1,745.77 ลูกบาศก์เมตร (1.75 ตันต่อปี) ของบ่อเลี้ยงกุ้งที่ทำการสำรวจทั้งหมด 12 บ่อ สามารถใช้กับเครื่องยนต์เติมอากาศขนาด 2 แรงม้าได้ 322.58 ชั่วโมง (13.44 วัน) เครื่องยนต์เติมอากาศ (กังหันตีน้ำ ขนาด 2 แรงม้า ขนาด 1.5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง มอเตอร์ 4P ใช้ไฟ 1/220โวลต์ จำนวน 1 เครื่อง 10 ชั่วโมงใช้ไฟฟ้าวันละ [(1.5 x 1000)/ 1000] x 1 x 10 = 15 หน่วย 322.58 ชั่วโมง (13.44 วัน) ใช้ไฟฟ้า 13.44 x 15= 201.6 หน่วย คิดเป็นเงิน

150 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก	150 x 2.7628 = 414.42 บาท
250 หน่วยต่อไป	(250-201.6 = 48.4×3.7362) = 180.83 บาท
ค่าบริการ (บาทต่อเดือน)	38.22

รวมเป็นเงิน 633.47 บาทต่อเดือน ปีละ 7,601.66 บาทต่อปี

ตารางภาคผนวก ข-11 ปริมาณแก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะผลิตได้เทียบเป็นพลังงานทดแทนไฟฟ้าใช้กับเครื่องยนต์เติมอากาศขนาด 2 แรงม้า

	ใช้ไฟฟ้า			จำนวนเงิน	
เครื่องยนต์เติมอากาศขนาด 2 แรงม้า 1.5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ใช้งานวันละ 10 ชม.	วัน (หน่วย)	เดือน (หน่วย)	ปี (หน่วย)	บาท/ เดือน	บาท/ ปี
1 เครื่อง	15	450	5,475	1,583.51	19,002.06
6 เครื่อง	90	2,700	32,850	9,501.03	114,012.36
ปริมาณแก๊สที่คาดว่าจะผลิตได้ 401.53 ลบ.ม.ใช้เป็นพลังงานทดแทนกับเครื่องยนต์เติมอากาศขนาด 2 แรงม้า ได้ 322.58 ชั่วโมง (13.44 วัน) คิดเป็นพลังงานทดแทน 201.6 หน่วย				633.47	7,601.66

หมายเหตุ: ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2560)

อัตราปกติ	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/ หน่วย)
1.1 ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน	
15 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0–15)	2.3488
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 16–25)	2.9882
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26–35)	3.2405
65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36–100)	3.6237
50 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101–150)	3.7171
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151–400)	4.2218
ค่าบริการ (บาท/ เดือน)	8.19
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	4.4217

1.2 อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน

อัตรารายเดือนค่าพลังงานไฟฟ้า

150 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก (หน่วยที่ 1 – 150)	หน่วยละ	2.7628 บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 – 400)	หน่วยละ	3.7362 บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	หน่วยละ	3.9361 บาท

ค่าบริการ (บาทต่อเดือน) : 38.22 บาท

ที่ช่วงอุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส สามารถผลิตแก๊สชีวภาพรวมได้ 6,854 มิลลิลิตรต่อปริมาตรตะกอนเลน 30 ลิตร คิดเป็น 228.47 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม ความเข้มข้นของมีเทนร้อยละ 40.17 ปริมาณแก๊สที่ได้จากการทดลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณแก๊สที่ได้จากการสำรวจในแต่ละช่วงของการขึ้นกุ้งทุก 3-4 เดือนพบการขึ้นกุ้งโดยเฉลี่ย ครั้งละประมาณ 2 บ่อ จะเกิดตะกอนจากการเลี้ยงกุ้งประมาณ 268.6 ลูกบาศก์เมตร หากเทียบกับผลการทดลองคาดว่าจะได้แก๊สชีวภาพ 61.8 ลูกบาศก์เมตร ที่ปริมาตรมีเทนร้อยละ 50-70 แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถใช้ผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้ 1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จากการทดลองที่ช่วงอุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของมีเทนร้อยละ 40.17 แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 0.9641 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ดังนั้นแก๊สชีวภาพ 401.53 ลูกบาศก์เมตร ที่คาดว่าจะได้จากตะกอนเลนบ่อกุ้ง 12 บ่อ หากนำไปผลิตไฟฟ้า เมื่อเทียบกับอัตราการทดแทนพลังงานแก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร ปีละ 401.53x0.9641= 387.11 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท) ดังนั้นรายได้จากการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวภาพคิดเป็นเงิน 178.74 บาททุก 3-4 เดือน ปีละ 1,161.33 บาทต่อปี หากนำแก๊สชีวภาพมาใช้ประโยชน์เพื่อใช้แทนแก๊สหุงต้มสำหรับใช้ในครัวเรือน แก๊สชีวภาพ 401.53 ลูกบาศก์เมตร พิจารณาจากแก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร องค์ประกอบของแก๊สมีเทนร้อยละ 40.17 โดยปริมาตร คำนวณจาก

แก๊สมีเทน 100 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าความร้อนประมาณ 35.9 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร

จากการทดลองที่ความเข้มข้นมีเทนร้อยละ 40.17 โดยปริมาตร

ให้ค่าความร้อน = 35.9 x 40.17/ 100 = 14.42 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร

ผลิตแก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะผลิตได้จากการทดลอง 401.53 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

สามารถให้ค่าความร้อน = 14.42 x 401.53/ 1000 = 5.79 เมกะจูลต่อปี

ดังนั้นแก๊สชีวภาพ 401.53 ลูกบาศก์เมตร คิดค่าความร้อนเป็น 5,790.06 เมกะจูล เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับแก๊สหุงต้ม LPG โดยแก๊สหุงต้ม LPG 1 กิโลกรัม มีค่าความร้อน 50.22 เมกะจูล (แก๊สหุงต้ม LPG 24.2 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2561) พบว่า ค่าความร้อน 50.22 เมกะจูล มีค่า 24.2 บาท ดังนั้นแก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะผลิตได้จากการขึ้นกุ้งทุก 3-4 เดือน เฉลี่ยครั้งละประมาณ 2 บ่อคาดว่าจะผลิตแก๊สชีวภาพได้ประมาณ 61.8 ลูกบาศก์เมตร มีค่าความร้อนทั้งหมด

= 14.42 x 61.8 = 891.156 เมกะจูลต่อการขึ้นกุ้ง 2 บ่อ ทุก 3-4 เดือน

= 14.42 x 401.53 = 5,790.06 เมกะจูลต่อปี

891.156 เมกะจูล คิดเป็นเงิน = (891.156/ 50.22) x 24.2 = 429.43 บาทต่อการขึ้นกุ้ง 2 บ่อ ทุก 3-4 เดือน คิดเป็นเงิน (5,790.06/ 50.22) x 24.2 = 2,790.11 บาทต่อปี

จากการพิจารณาที่ปริมาตรมีเทนร้อยละ 50-70 แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร ใช้เป็นแก๊สหุงต้มสำหรับครอบครัวขนาด 4 สามารถหุงต้มได้ 3 มื้อ ดังนั้นจากการทดลองที่ความเข้มข้นมีเทนร้อยละ 40.17 โดยปริมาตร แก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะผลิตได้จากการขึ้นกุ้งทุก 3-4 เดือนเฉลี่ยครั้งละประมาณ 2 บ่อ คาดว่าจะผลิตแก๊สชีวภาพได้ประมาณ 61.8 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนแก๊สหุงต้มได้ 148.94 มื้อ ใช้ได้ 49.65 วัน จากการสำรวจตะกอนเลนบ่อกุ้งจำนวน 12 บ่อ คาดว่าจะสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 401.53 ลูกบาศก์เมตรต่อปี หากนำมาแทนแก๊สหุงต้มจะได้ 968 มื้อ ใช้ได้ 322.56 วัน แก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะได้หากขยายขนาดถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาดใหญ่ (Large scale) (Wang et al., 2018) เพื่อนำไปใช้จริงภายในระบบครัวเรือนจะมีค่าอยู่ที่ 401.53x1.88 = 754.88 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้นหากนำแก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะได้จากการขยายขนาดถังปฏิกรณ์ชีวภาพมาเทียบอัตราการทดแทนพลังงาน แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้ 754.88x0.9641 = 727.78 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท) คิดเป็นเงิน 2,183.34 บาทต่อปี ใช้เป็นแก๊สหุงต้มได้ 754.88x2.41 = 1,819 มื้อ ใช้ได้ 606 วัน (1.66 ปี) ดังนั้นแก๊สชีวภาพที่คาดว่าจะได้จากการเพิ่มขนาดถังปฏิกรณ์ชีวภาพ 754.88 ลูกบาศก์เมตรต่อปี คิดเป็นค่าความร้อน 10,885.37 เมกะจูลต่อปี เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับแก๊สหุงต้ม LPG โดยแก๊สหุงต้ม LPG 1 กิโลกรัม มีค่าความร้อน 50.22 เมกะจูล (แก๊สหุงต้ม LPG 24.2 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2561) พบว่าค่าความร้อน 50.22 เมกะจูล มีค่า 24.2 บาท คิดเป็นเงิน (10,885.32/ 50.22) x 24.2 = 5,245 บาทต่อปี