บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีการดำเนินงาน แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่1 เป็นการทดสอบหาหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่เหมาะสม ผลของอุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่างต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากกากมันสำปะหลังในระดับสเกลหรือห้องปฏิบัติการ

ส่วนที่2 เป็นการออกแบบและดำเนินการสร้างเครื่องหมักก๊าซชีวภาพ ระบบหมักแบบสองขั้นตอน และนำผลการทดลองจากในส่วนที่ 1 มาควบคุมในระบบหมักแบบสองขั้นตอน

1. วัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

-กากมันสำปะหลัง

-หัวเชื้อจุลินทรีย์จากฟาร์มสุกร, ฟาร์มวัว และโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

รูปที่ 13 กากมันสำปะหลังและหัวเชื้อจุลินทรีย์จากฟาร์มวัว, ฟาร์มสุกร และโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

2. การทดสอบหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่เหมาะสม ผลของอุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่างต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากกากมันสำปะหลังในระดับสเกลหรือห้องปฏิบัติการ

การดำเนินการทดลอง

2.1 วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

2.1.1 วัตถุดิบ ใช้กากมันสำปะหลังจากโรงแป้งมันสำปะหลัง

2.1.2 เชื้อจุลินทรีย์เริ่มตัน ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากฟาร์มสุกร, ฟาร์มวัว และโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

2.1.3 ขวดทดลองขนาด 120 มิลลิลิตร

2.1.4 ก๊าซไนโตรเจนสำหรับไล่อากาศ

2.1.5 ตู้บ่มอุณหภูมิต่าง ๆ

2.1.6 สารเคมีปรับค่า ความเป็นกรด-ด่าง

2.2 วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

2.2.1.การทดลองหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากฟาร์มสุกร, ฟาร์มวัว และโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

2.2.2.การทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ

2.2.3.การทดลองค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ

การทดลองหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากฟาร์มสุกร, ฟาร์มวัว และโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

วิธีการทดลอง

เตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นจากฟาร์มสุกร, ฟาร์มวัว และโรงงานแป้งมันสำปะหลัง มาเลี้ยงกับ Substrate (กากมันผสมน้ำ 70 มิลลิลิตร โดยมีค่า Total solid (TS) = 20% (ค่า TS = 20% ได้จากการทดลองในครั้งแรกโดยใช้กากมันผสมน้ำที่ค่า TS = 20% และ TS = 40% ทดลองหาอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ ผลคือมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่ไม่แตกต่างกันมากนักจึงเลือกใช้ค่า TS = 20 % ตลอดการทดลองทั้งระดับ Lab Scale และ Pilot Scale)และหัวเชื้อเริ่มต้น 20 มิลลิลิตร ในขวดทดลองขนาด 120 มิลลิลิตร) โดยหัวเชื้อแต่ละแหล่งใช้เก็บตัวอย่างการทดลอง 5 ขวด ในขวดทดลองประกอบไปด้วย หัวเชื้อ 20 มิลลิลิตร กากมันผสมน้ำ 70 มิลลิลิตร โดยมีค่า Total Solid (TS) =20% และทุกขวดปรับค่า pH เท่ากับ 7 (เป็นกลาง) ที่อุณหภูมิ 35°C ปิดฝาขวดให้สนิทและไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจนโดยเลี้ยงไว้เป็นเวลา 30 วัน เพื่อให้หัวเชื้อเริ่มต้นแต่ละแหล่งเกิดความคุ้นเคยกับ Substrate โดยจะเปลี่ยน Substrate ทุก ๆ 7 วัน เพื่อจะได้เกิดก๊าซอย่างต่อเนื่อง หลังจากครบ 30 วัน จึงสามารถเริ่มเก็บข้อมูลได้ (ดังแสดงในรูปที่ 14) โดยเก็บข้อมูลการเกิดก๊าซทุก ๆวันในเวลาเดียวกันทั้งหมด โดยใช้วิธีการเก็บก๊าซแบบแทนที่น้ำ[2,8,9,11] และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ครั้งละ 7 วัน

การทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

จากผลการทดลองหาหัวเชื้อเริ่มต้น จึงเลือกหัวเชื้อที่ดีที่สุดเพื่อนำมาทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสม

วิธีการทดลอง

แบ่งอุณหภูมิออกเป็น 5 อุณหภูมิ คือ 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C และ 50 °C โดย แต่ละอุณหภูมิใช้ขวดทดลองขนาด 120 มิลลิลิตร จำนวนอุณหภูมิละ 4 ขวด ในขวดทดลองประกอบไปด้วย หัวเชื้อ 20 มิลลิลิตร กากมันผสมน้ำ 70 มิลลิลิตร โดยมีค่า Total Solid (TS) = 20% และทุกขวดควบคุมค่า pH = 7 (เป็นกลาง) จากนั้น ปิดฝาขวดให้สนิทและไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจน (ดังแสดงในรูปที่ 14) และเก็บข้อมูลการเกิดก๊าซทุก ๆวันในเวลาเดียวกันทั้งหมด โดยใช้วิธีการเก็บก๊าซแบบแทนที่น้ำ และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ครั้งละ 7 วัน

การทดลองค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

จากผลการทดลองอุณหภูมิ จึงเลือกอุณหภูมิที่ดีที่สุดเพื่อนำมาทดลองค่า pH

วิธีการทดลอง

จากผลการทดลองอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยเลือกหัวเชื้อเริ่มต้นและอุณหภูมิที่ดีที่สุดเพื่อนำมาทดลองหาค่า pH ที่เหมาะสมต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยแบ่งค่า pH ออกเป็น 6 ค่าคือ pH = 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 แต่ละขวดการทดลองประกอบไปด้วย หัวเชื้อ 20 มิลลิลิตร กากมันผสมน้ำ 70 มิลลิลิตร ค่า TS = 20% จากนั้น ปิดฝาขวดให้สนิทและไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจน (ดังแสดงในรูปที่ 14) และเก็บข้อมูลการเกิดก๊าซทุกวันในเวลาเดียวกันทั้งหมด โดยใช้วิธีการเก็บก๊าซแบบแทนที่น้ำ และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ครั้งละ 7 วัน

รูปที่ 14 ขั้นตอนการทดสอบหัวเชื้อจุลินทรีย์,อุณหภูมิและค่า pHในระดับห้องปฏิบัติการ

3. ออกแบบและดำเนินการสร้างเครื่องหมักก๊าซชีวภาพแบบสองขั้นตอน

ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบและดำเนินการสร้างเครื่องหมักก๊าซชีวภาพแบบสองขั้นตอน โดยเริ่มตั้งแต่การคำนวนขนาดของมอเตอร์ ปั้มน้ำและเครื่องให้ความร้อน(Heater) และทำการจัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการดำเนินงาน

การสร้างเครื่องหมักกากมันสำปะหลังเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ชุดเครื่องหมักก๊าซชีวภาพมีส่วนประกอบสำคัญดังต่อไปนี้

3.1.1 ถังผสม
3.1.2 ถังหมักกรด
3.1.3 ถังหมักก๊าซ
3.1.4 มอเตอร์และชุดเกียร์ทดรอบ
3.1.5 แกนเพลาสแตนเลสและใบกวน
3.1.6 ปั้มน้ำ
3.1.7 วาล์วและวาล์วเก็บตัวอย่าง
3.1.8 ท่อส่งก๊าซ
3.1.9 ท่อส่งน้ำ
3.1.10 เครื่องให้ความร้อน (Heater)
3.1.11 เทอร์โมคับเปิ้ล
3.1.12 ชุดตู้ควบคุมอุณหภูมิ
3.1.13 ถังเก็บก๊าซชีวภาพ

รายละเอียดอุปกรณ์

ถังผสม

ถังผสมกากมันสำปะหลังกับน้ำทำจากถังพลาสติก ขนาด 300 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 เซนติเมตร สูง 85 เซนติเมตรและส่วนบนสุดจะมีฝาปิด – เปิดเพื่อเติมกากมันสำปะหลัง

ถังหมักกรด

ถังหมักกรดทำจากถังสแตนเลส ขนาด 250 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 เซนติเมตร สูง 85 เซนติเมตร จำนวน 1 ถัง ใช้สำหรับกระบวนการหมักกรดเพื่อที่จะปล่อยไปถังหมักมีเทน

ถังหมักมีเทน

ถังหมักมีเทนทำจากถังสแตนเลส ขนาด 500 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 เซนติเมตร สูง 145 เซนติเมตร จำนวน 2 ถัง ใช้เพื่อกระบวนการหมักมีเทน

มอเตอร์และชุดเกียร์ทดรอบ

มอเตอร์ ขนาด 1 แรงม้า จำนวน 3 ตัว และชุดเกียร์ทดรอบ อัตราส่วน 1: 20 จำนวน 3 ชุด ใช้สำหรับเป็นต้นกำลังในการกวนผสมกากมันกับหัวเชื้อจุลินทรีให้สัมผัสกันอย่างทั่วถึง

แกนเพลาสแตนและใบกวน

ปั้มน้ำ ขนาด 0.5 แรงม้า

ใช้สำหรับปั้มกากมันจากถังหมักกรดไปยังถังหมักก๊าซ

วาล์วและวาล์วเก็บตัวอย่าง

วาล์วใช้ Ball valve และวาล์วเก็บตัวอย่างใช้วาล์วที่ใช้ตามครัวเรือนทั่วไป

ท่อส่งก๊าซ ใช้ท่อ PVC ขนาด ½ ″

ท่อส่งน้ำ ใช้ท่อ PVC ขนาด 1 ½ ″

Heater ขนาด *4500 W* จำนวน *5* ตัว

ใช้เป็นตัวทำความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในถังหมักกรดและถังหมักมีเทน

เทอร์โมคับเป้ิล ใช้แบบชนิด k

ใช้เป็นเซนเซอร์จับอุณหภูมิภายในถังหมักกรดและถังหมักมีเทน

ชุดตู้ควบคุมอุณหภูมิ ประกอบด้วย เบรกเกอร์ +Temp control + Solid Stage +Heat sink +ไฟแสดงสถานะ

3.2 วิธีการดำเนินงาน

3.2.1 การวัดและการควบคุมระบบ

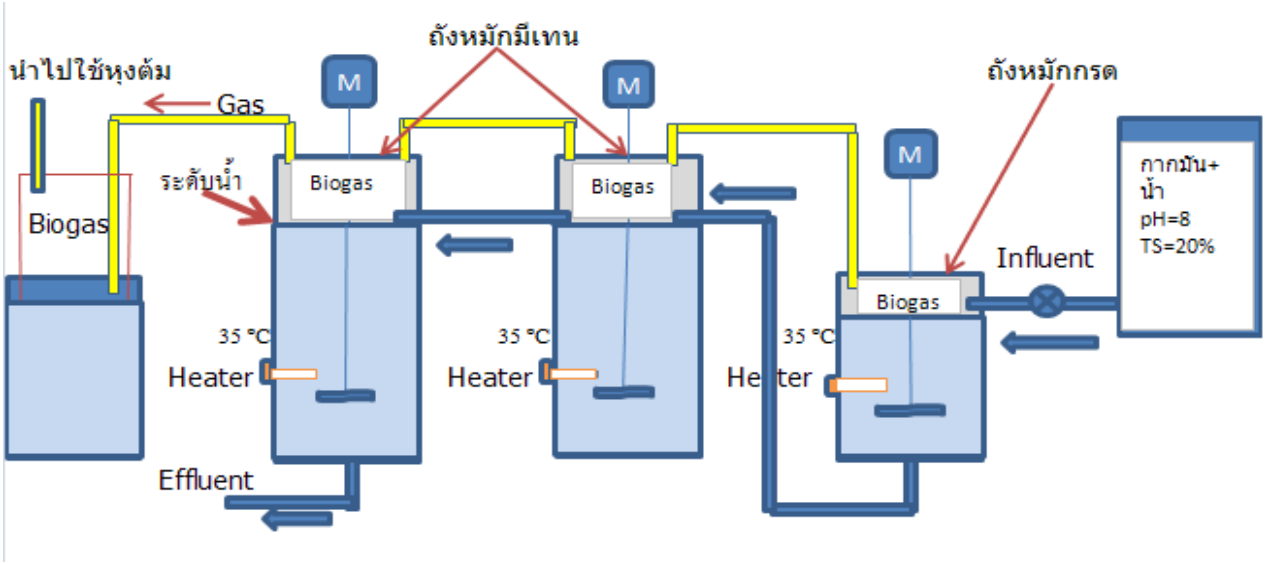
3.2.1.1 การวัดอุณหภูมิ ทำการวัดโดยใช้สายเทอร์โมคับเป้ิลที่ติดตั้งที่ถังหมักกรดและถังหมักก๊าซชีวภาพเป็นตัวเซนต์เซอร์

3.2.1.2 แหล่งความร้อนที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิกรณีอุณหภูมิในถังหมักไม่คงที่ใช้ Heater เป็นตัวให้ความร้อนแก่ระบบ

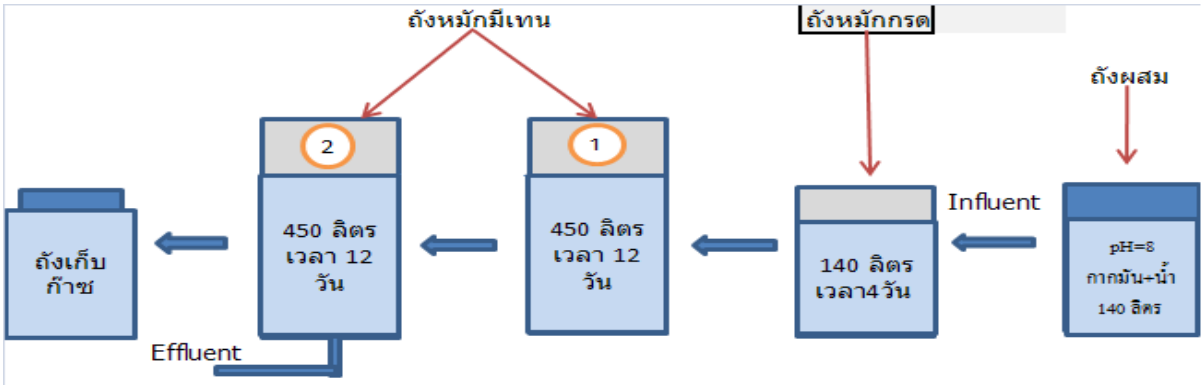
3.2.1.3 การควบคุมอุณหภูมิในถังหมัก ทำโดยผ่านชุดตู้ควบคุมอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด Temp control ก็จะได้รับข้อมูลจากสายเทอร์โมคัปเปิล และสั่งให้ Solid Stage ปล่อยกระแสไฟฟ้า 220 vให้ Heater ทำงานจนกว่าจะได้อุณหภูมิที่กำหนดไว้ และ เมื่อได้อุณหภูมิที่กำหนดแล้วTemp control ก็จะได้รับข้อมูลจากสายเทอร์โมคัปเปิล และสั่งให้ Solid Stage ตัดกระแสไฟฟ้า 220 vให้ Heater หยุดทำงาน

3.2.1.4 ปั๊มน้ำจะใช้ในการลำเลียงน้ำในระบบ

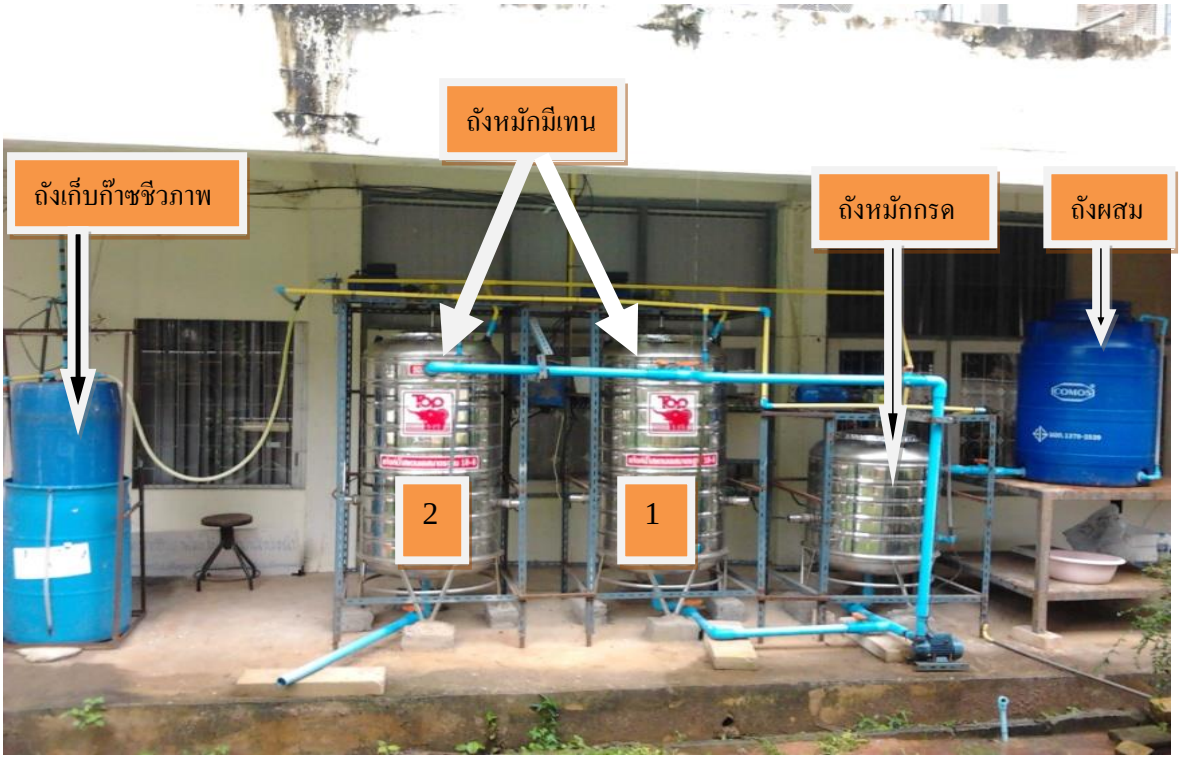
3.2.1.5 วาล์วใช้ในการควบคุมทิศทางการไหลของน้ำ



รูปที่ 15 Schematic ของระบบหมักก๊าซชีวภาพแบบสองขั้นตอน



รูปที่ 16 Flowchart ของระบบหมักก๊าซชีวภาพแบบสองขั้นตอน



รูปที่ 17 เครื่องที่สร้างจริงและลำดับขั้นต้อนการทำงานของระบบ

3.2.3 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

3.2.3.1. วัตถุดิบ

ใช้กากมันสำปะหลังจากกระบวนการผลิตแป้งมันโดยนำกากมันสดมาผสมกับน้ำจำนวน 160 ลิตร โดยมีที่ค่า TS = 20% (ของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่เข้าระบบ 20 เปอร์เซ็นต์) ผสมกันในถังผสมดังแสดงใน (รูปที่ 17) การเริ่มต้นทดลองวัตถุดิบตั้งต้นจะใช้เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังจำนวน 40 ลิตร โดยทำการเก็บรักษากากมันสำปะหลังสดไว้ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ (0 - 4องศาเซลเซียส) และก่อนนำไปใช้งานมีการวิเคราะห์กากมันสำปะหลังที่ผสมกับน้ำให้ได้ค่า TS = 20% ก่อนทำการทดลองทุกครั้ง โดมีค่า COD 5011 มก. /ล. และปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เริ่มต้น เท่ากับ 8 โดยใช้สารละลายโซเดรียมไฮดรอกไซในการปรับค่า

3.2.3.2 การทดลองและเก็บข้อมูล

การทดลองในระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน ซึ่งมีถังหมักกรดขนาด 250 ลิตร จำนวน 1 ถัง [8] และถังหมักมีเทนขนาด 500 ลิตร จำนวน 2 ถัง ดังแสดงใน (รูปที่17) โดยมีอัตราการป้อนกากมันสำปะหลังที่ผสมกับน้ำ 0.035 m^3/day โดยมีน้ำหนักของกากมันสำปะหลัง 10 ก.ก. ต่อน้ำ 160 ลิตร ในครั้งแรกทำการผสมกากมันสำปะหลังกับน้ำในถังผสมดังแสดงใน (รูปที่17)และทำการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซในถังผสม ให้ได้ค่า pH = 8 และกวนให้เข้ากัน หลังจากที่กวนจนเข้ากันแล้ว ก็ปล่อยมวลน้ำที่ผสมกากมัน เข้าถังหมักกรดในปริมาตร 140 ลิตร ดังแสดงใน (รูปที่ 17) โดยมีระยะเวลากักเก็บในถังหมักกรด 4 วัน ซึ่งในถังหมักกรดก็จะเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า ไฮโดรไลซีส (Hydrolysis)ในขั้นตอนนี้ จะเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุล ขนาดใหญ่ ให้มีขนาดเล็กลงโดยการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียประเภทสร้างกรด (Acidogenic) เมื่อครบกำหนด 4 วันซึ่งในถังหมักกรดก็จะมีทั้งกรดอะซิติกและไฮโดรเจนซึ่งเป็นอาหารหลักของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน จากนั้นก็จะถูกดูดไปยังถังหมักมีเทนถังที่ 1 ดังแสดงใน (รูปที่17) จะเกิดปฏิกิริยาการสร้างมีเทน (Methanogenesis) แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะใช้กรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนในการสร้างมีเทน และเมื่อครบ 4 วัน มวลน้ำในถังหมักมีเทนถังที่ 1 ก็จะถูกดูดไปยังถังหมักมีเทนถังที่ 2 ดังแสดงใน (รูปที่17) โดยที่ถังหมักมีเทนถังที่ 1 ก็จะมีมวลน้ำผสมกากมันจากถังหมักกรดมาแทนที่ และถังหมักกรดก็จะมีมวลน้ำจากถังผสมปล่อยเข้ามาแทนที่เช่นเดียวกัน โดยจะมีการปล่อยมวลน้ำผสมกากมันทุก 4 วัน ต่อกันแบบอนุกรมตามลำดับ โดยมีระยะเวลาในการกักเก็บ (Hydraulic Retention time: HRT) กากมันสำปะหลังผสมกับน้ำที่ 12 วัน โดยในถังหมักกรดและถังหมักมีเทนได้ทำการควบคุมอุณหภูมิที่ 35 ºC และปรับค่า pH ที่ถังผสมก่อนเข้าระบบที่ pH = 8 [3] ทำอย่างเดิมทุกครั้งจนกว่ามวลน้ำจะเต็มระบบและรอให้ระบบเริ่มคงที่ ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน ถึงจะสามารถบันทึกผลการทดลองได้ (ดังแสดงในรูปที่ 17) ระบบควบคุมอุณหภูมิจะเปิดทิ้งไว้ตลอดเวลาจนกว่าอุณหภูมิภายในถังจะถึงค่าที่เราตั้งไว้ คือ35 ºC [5,16] ระบบทำความร้อนถึงจะหยุด และเมื่ออุณหภูมิภายในถังต่ำกว่า 35 ºC ระบบทำความร้อนก็จะเริ่มทำงานอีกครั้ง โดยการเก็บข้อมูลการเกิดก๊าซชีวภาพจะทำการเก็บข้อมูลสองซ้ำของการเติมกากมันเข้าระบบหมักก๊าซชีวภาพคือหนึ่งรอบของการเติมกากมันใช้เวลา 4 วัน การเก็บข้อมูลการเกิดก๊าซชีวภาพจะทำการเก็บที่เวลาเดียวกันทุก ๆวัน วันละครั้ง เป็นเวลา 8 วัน และหาค่าเฉลี่ย และทำการเก็บข้อมูลผลของการกวนต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยขั้นตอนเหมือนเดิมทุกอย่างและเพิ่มการกวนผสม โดยระบบกวนผสมมีมอเตอร์และชุดเกียร์ทดรอบ พร้อมกับชุดควบคุมมอเตอร์ โดยจะมีการกวนด้วยความถี่ วันละ0,1, 3, 6,12 ครั้ง/วัน ครั้งละ 10 นาที โดยแบ่งเวลาการกวนเป็นกวนทุก ๆ 0,24,8,4,2 ชั่วโมงต่อครั้ง โดยเก็บข้อมูลใช้เวลาเก็บข้อมูล 4 วันต่อหนึ่งการทดลอง ในการวัดปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจะวัดในเวลาเดียวกันทุก ๆวัน เป็นเวลา 4 วัน และการกวนที่ความถี่ 24,8,4,2 ชั่วโมงต่อครั้ง ก็ทำการเก็บข้อมูลแบบเดียวกันจนครบโดยใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลทั้งหมด 20 วัน

รูปที่ 18 ถังเก็บก๊าซชีวภาพและการวัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ