บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา โดยดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูลที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ซึ่งมีรายละเอียดของการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 การเก็บตัวอย่างวัสดุหมัก

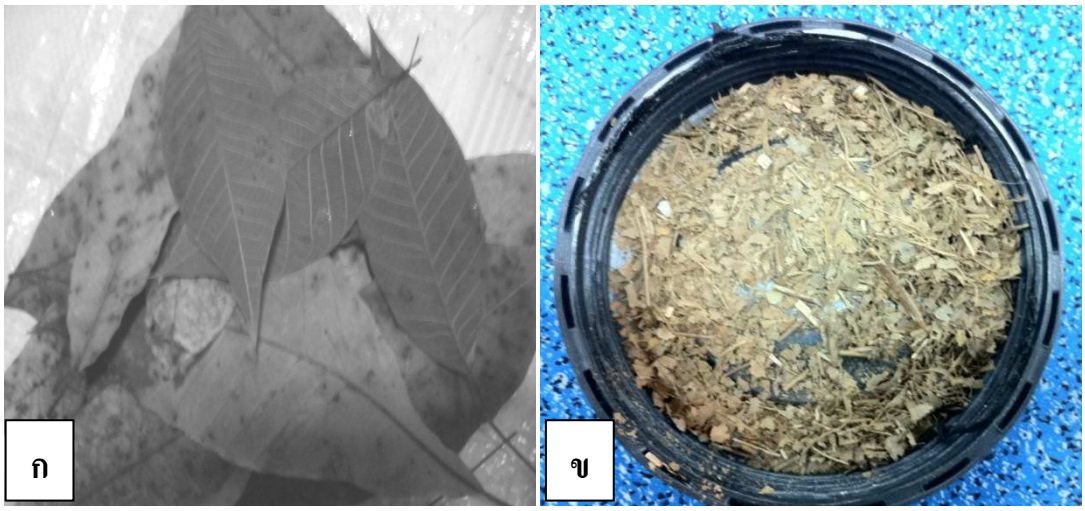
3.1.1 การเก็บตัวอย่างวัตถุดิบมูลสุกร

มูลสุกรที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นมูลสุกรสดซึ่งเป็นมูลสุกรแม่พันธุ์ ขับถ่ายไม่เกิน 24 ชั่วโมง ทำการเก็บมูลสุกรก่อนที่จะมีการล้างทำความสะอาดโรงเรือน ได้รับความอนุเคราะห์มูลสุกรจากภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ มูลสุกรที่ได้มีลักษณะค่อนข้างแข็งและแห้ง ภาพตัวอย่างมูลสุกรแสดงดังภาพประกอบที่ 3-1 ก่อนทำการทดลองต้องทำการบดละเอียดมูลสุกรด้วยการปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่น

ภาพประกอบที่ 3-1 ลักษณะมูลสุกรที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2 การเก็บตัวอย่างวัตถุดิบใบยางพารา

วัตถุดิบใบยางพาราที่ใช้ในการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพเก็บรวมรวมได้จากใบยางพาราแห้งที่ร่วงบริเวณโคนต้นของต้นยางพาราพันธ์ 600 จากสวนยางพาราในอำเภอควนเนียง จังหวัดสงขลา ทำการควบคุมคุณภาพของใบยางพาราให้เหมือนกันในทุกการทดลองด้วยการใช้ใบยางพาราที่มีลักษณะทางกายภาพที่เหมือนกัน โดยการพิจารณาจากสี ความสดเหี่ยว และขนาดของใบยางพารา ซึ่งขนาดใบยางพาราเริ่มต้นมีขนาดประมาณ 5x4 ตารางเซนติเมตร แสดงดังภาพประกอบที่ 3-2 (ก) ทำการบดใบยางพาราด้วยเครื่องบดจนมีขนาดเล็ก แล้วนำมาหาขนาดด้วยตะแกรงร่อน อยู่ในช่วง Mesh No.4-7 แสดงดังภาพประกอบที่ 3-2 (ข) โดยผลของขนาดใบยางพาราที่ผ่านการบดแสดงดังตารางที่ 3-1 จากนั้นเก็บวัตถุดิบใบยางพาราบดไว้ในถุงพลาสติกเพื่อกันความชื้น



ภาพประกอบที่ 3-2 ลักษณะใบยางพาราก่อนการบด (ก)
และลักษณะใบยางพาราหลังผ่านการบด (ข)

ตารางที่ 3-1 แสดงการกระจายขนาดของใบยางพาราหลังการบด

Sieve size (mm)	< 4.75	3.35- 4.75	2.81-3.35	> 2.81
% Residue	0.37	1.85	4.18	93.60

3.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะของวัตถุดิบเบื้องต้น

ก่อนเริ่มการทดลองการหมักร่วมเพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพจะมีการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบมูลสุกรและใบยางพารา ตามรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 วิธีวิเคราะห์คุณลักษณะวัสดุหมักชนิดมูลสุกรและใบยางพารา

Parameter	**Objective**	**Method**
1. ค่า pH	ความเป็นกรด-ด่างของระบบ	pH Meter
2. ปริมาณ COD	ปริมาณสารอินทรีย์	APHA 5220, 1998 (ภาคผนวก ก)
3. ปริมาณ TS (Total Solid)	สัดส่วนของแข็งในวัตถุดิบ	APHA 2540, 1998 (ภาคผนวก ก)
4. ปริมาณ TVS (Total Volatile Solid)	สัดส่วนสารอินทรีย์ในวัตถุดิบ	APHA 2540, 1998 (ภาคผนวก ก)
5. ปริมาณ Alkalinity	การต้านการยับยั้งปฏิกิริยา	APHA 2310, 1998 (ภาคผนวก ก)
6. ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยทั้งหมด (Total Volatile Fatty Acid, VFA)	การทำงานของแบคทีเรียสร้างกรด	APHA 2310, 1998 (ภาคผนวก ก)
7. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen, TKN)	ปริมาณสารอาหาร	APHA 2310, 1998 (ภาคผนวก ก)
8. ปริมาณความชื้น (Moisture content)	ปริมาณน้ำในวัตถุดิบ	AOAC, 1995 (ภาคผนวก ก)

3.3 การทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมักร่วม

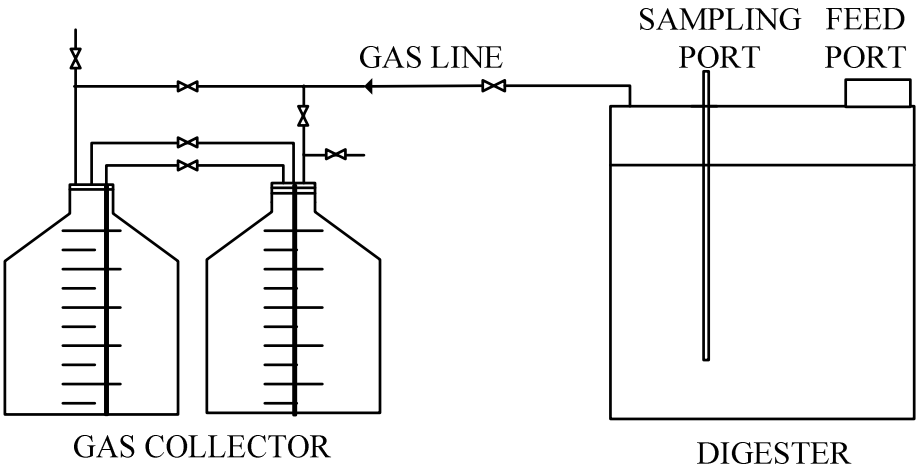
การทดลองการหมักร่วมระหว่างใบยางพาราซึ่งเป็นวัตถุดิบรองกับมูลสุกรซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก ทำการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพในชุดการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการแบบแบทช์ (Batch) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการ และนำสภาวะที่เหมาะสมที่มีประสิทธิภาพของผลได้ในการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดมาทำการทดลองด้วยชุดการทดลองระดับห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous) โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อที่จะนำผลที่ได้ไปใช้ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาดต้นแบบ (Pilot Scale) ต่อไป โดยการเริ่มต้นดำเนินระบบสำหรับในการทดลองนี้ไม่มีการใช้เชื้อจุลินทรีย์ในตะกอนเริ่มต้น (Seed Sludge) เหมือนงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตก๊าซชีวภาพโดยทั่วไป ไม่มีการปรับ pH และควบคุมอุณหภูมิ ดำเนินการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิห้อง (28±3 ºC) เนื่องจากต้องการกำหนดสภาวะในการทดลองให้คล้ายคลึงกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในระดับครัวเรือนมากที่สุด โดยมีกิจกรรมหลักในการดำเนินการทดลอง 3 กิจกรรม คือ

<u>กิจกรรมที่ 1</u> การศึกษาทดลองผลิตก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมในระดับห้องปฏิบัติการระบบแบบแบทช์ (Batch)

ชุดการทดลองศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการระบบแบบแบทช์นี้เป็นการหาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราโดยดำเนินการทดลองที่สภาวะต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมไปใช้ในการดำเนินการผลิตก๊าซชีวภาพระบบแบบกึ่งต่อเนื่องต่อไป ซึ่งสภาวะที่สนใจในการศึกษาคือ ผลของสัดส่วนระหว่างมูลสุกรต่อใบยางพารา ผลของปริมาณความเข้มข้นของ TS ในวัตถุดิบ และผลของขนาดใบยางพารา ซึ่งรายละเอียดในการทดลองมีดังต่อไปนี้

1.1 ชุดทดลองผลิตก๊าซชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการระบบแบบแบทช์

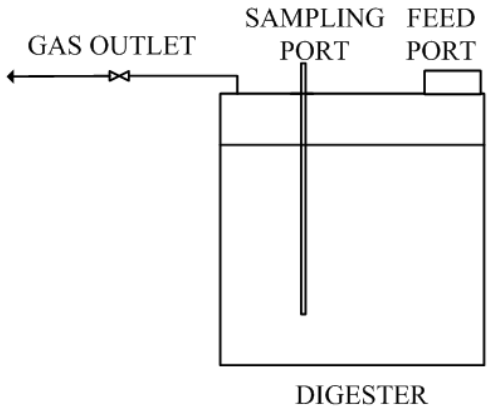
ทำการสร้างชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบไปด้วยถังหมักพลาสติกรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 25 ลิตร ปริมาตรใช้งานจริง (Working Volume) ประมาณ 20 ลิตร และระบบกักเก็บก๊าซชีวภาพขนาด 6 ลิตร ไดอะแกรมของชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมระดับห้องปฏิบัติการที่ประกอบขึ้นจากถังหมักร่วมและชุดกักเก็บก๊าซแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3-3 และชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมระดับห้องปฏิบัติการแสดงดังภาพประกอบที่ 3-4 ซึ่งมีหลักการในติดตั้งและการดำเนินการของแต่ละส่วนประกอบหลักดังนี้



ภาพประกอบที่ 3-3 ไดอะแกรมชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ระดับห้องปฏิบัติการระบบแบทช์

ภาพประกอบที่ 3-4 ชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ระดับห้องปฏิบัติการระบบแบทช์

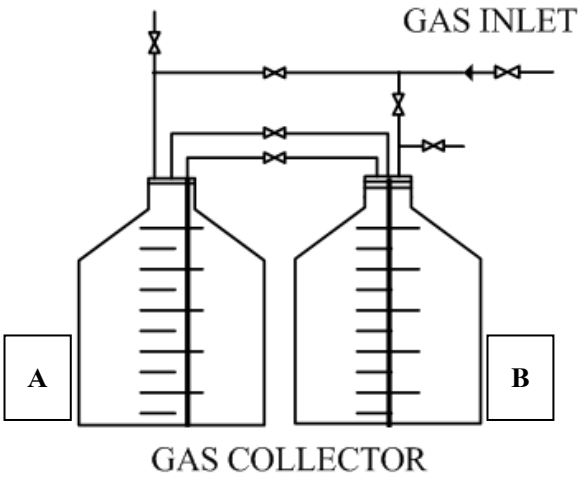
1. ถังหมักร่วม (Digester) ประกอบไปด้วยท่อสำหรับป้อนวัตถุดิบ (Feed Port) ท่อสำหรับลำเลียง (Gas Line) ก๊าซชีวภาพไปยังระบบกักเก็บ ขนาด 1/4 นิ้ว และท่อสำหรับเก็บตัวอย่าง (Sampling Port) ทำการป้องการการรั่วของก๊าซชีวภาพโดยใช้เทปพันเกลียวพันรอบบริเวณปากถังหมัก บริเวณรอยต่อจะอัดแน่นด้วยซิลิโคน และทำการทดสอบรอยรั่วของระบบโดยการเติมน้ำเข้าไปภายในถังหมักเพื่อสังเกตการรั่วซึมของถังหมักประกอบกับใช้น้ำฟองสบู่ทาบริเวณข้อต่อหรือบริเวณที่มีรอยต่อทุกจุด หากพบว่ามีรอยรั่วเกิดขึ้นให้ทำการอุดรอยรั่วด้วยกาวซิลิโคน การตรวจสอบรอยรั่วนี้เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากระบบการผลิตก๊าซชีวภาพต้องเป็นระบบที่ปิดอย่างแท้จริง มิฉะนั้นจะส่งผลให้แรงดันก๊าซมีปริมาณไม่มากพอที่จะแทนที่น้ำในระบบกักเก็บก๊าซชีวภาพและปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ลดลงหรือไม่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ เนื่องจากระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศมีโอกาสสัมผัสกับอากาศภายนอก จะมีการป้อนวัตถุดิบเข้าภายในถังหมักโดยผ่านทางช่องป้อน โดยทำการป้อนวัตถุดิบเพียงครั้งเดียวในขณะเริ่มการทดลอง ไดอะแกรมของชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบแบทช์ที่ประกอบขึ้นจากถังหมักร่วมและชุดกักเก็บก๊าซแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3-5 และชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบแบทช์แสดงดังภาพประกอบที่ 3-6



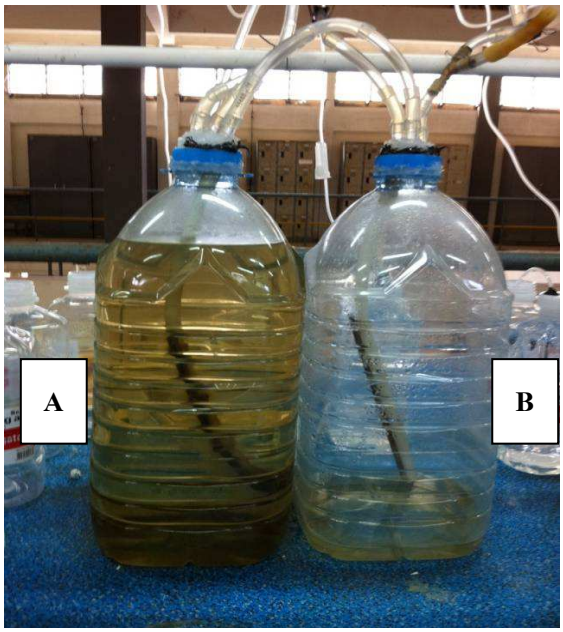
ภาพประกอบที่ 3-5 ไดอะแกรมถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ระดับห้องปฏิบัติการระบบแบทช์

ภาพประกอบที่ 3-6 ถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ระดับห้องปฏิบัติการระบบแบทช์

2. ชุดกักเก็บก๊าซ (Gas Collector) ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากถังหมักจะถูกส่งไปยังถังกักเก็บก๊าซผ่านทางท่อส่งก๊าซ ชุดกักเก็บก๊าซเตรียมขึ้นจากขวดพลาสติก PET มีจำนวน 2 ถัง ไดอะแกรมของชุดกักเก็บก๊าซและชุดเครื่องมือที่เตรียมขึ้นในงานนี้แสดงดังภาพประกอบที่ 3-7 และ 3-8 การเก็บและการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพทำได้โดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ (Fluid Displacement Method) อ่านปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้จากสเกลที่ข้างขวด ซึ่งสเกลวัดปริมาตรก๊าซที่ผลิตได้เตรียมได้จากการตวงน้ำที่ปริมาตรต่างๆ ตั้งแต่ 0 ลิตร ถึง 6 ลิตร แล้วเทลงในขวด จากนั้นจะทำการขีดระดับที่ปริมาตรต่างๆ มีความละเอียด 0.5 ลิตรต่อหนึ่งระดับ ในขณะเริ่มต้นการทดลอง ชุดกักเก็บก๊าซชีวภาพขวด A จะมีปริมาณน้ำเต็มขวด ต่อมาเมื่อเริ่มมีปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ น้ำในขวด A จะถูกแทนที่ด้วยปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้และน้ำในขวด A จะไหลไปยังขวด B เมื่อขวด A รองรับก๊าซชีวภาพจนเต็มสามารถปรับวาล์วให้น้ำจากขวด B ไหลกลับมายังขวด A โดยไม่ต้องเติมน้ำอีก มีท่อสำหรับการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น



ภาพประกอบที่ 3-7 ไดอะแกรมชุดกักเก็บก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ระดับห้องปฏิบัติการระบบแบทช์



ภาพประกอบที่ 3-8 ชุดกักเก็บก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมฃ
ระดับห้องปฏิบัติการระบบแบทช์

1.2 ขั้นตอนการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพในชุดทดลองระดับห้องปฏิบัติการระบบแบบแบทช์

การทดลองผลิตก๊าซชีวภาพในชุดทดลองระดับห้องปฏิบัติการระบบแบบแบทช์ มีรายละเอียดการทดลองดังต่อไปนี้

1. เก็บตัวอย่างมูลสุกรและใบยางพาราที่ผ่านการลดขนาดแล้ว มาทำการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน (Organic Carbon, OC) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen, TKN) ปริมาณความชื้น (Moisture Content) เริ่มต้นของแต่ละวัตถุดิบ

2. เตรียมวัตถุดิบสำหรับการหมักด้วยสัดส่วนของวัตถุดิบมูลสุกรและใบยางพาราในถังหมักที่สัดส่วนต่างๆ กันตามสภาวะที่ต้องการศึกษา ด้วยปริมาตรของผสมที่ใช้ในการทดลองประมาณ 20 ลิตร (Working Volume) ทำการป้อนวัตถุดิบเพียงครั้งเดียวในขณะเริ่มต้นการทดลอง มีการควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS) ของวัตถุดิบที่ TS 8 - 20% โดยควบคุมจากน้ำหนักของใบยางพาราและมูลสุกร พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างเริ่มต้นจากภายในถังหมักมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA) ปริมาณอัลคาร์ไลน์นิตี (Alkalinity) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen, TKN)

3. ทำการหมักวัตถุดิบในถังหมักเพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการปิดถังหมักไม่ให้สัมผัสกับอากาศ ดำเนินการหมักภายใต้อุณหภูมิห้อง (28±3 ºC) กวนผสมโดยการเขย่าถังหมักวันละ 1 ครั้ง ครั้งละประมาณ 1 นาที

4. สังเกตการเกิดก๊าซชีวภาพในถังเก็บก๊าซและบันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบกักเก็บก๊าซโดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ ซึ่งดูได้จากสเกลของภาชนะเก็บก๊าซ ทำการปล่อยก๊าซชีวภาพทิ้งทุกวันหลังจากวัดปริมาตรก๊าซแล้ว

5. เก็บตัวอย่างวัตถุดิบภายในถังหมักด้วยหลอดฉีดยาขนาด 60 มิลลิลิตร โดยดูดจากทางท่อเก็บตัวอย่าง เพื่อวัดค่า pH และอุณหภูมิของของผสมในการหมักทุกสัปดาห์และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของของผสมในถังหมักตามความถี่และรายละเอียดในตารางที่ 3-3 เพื่อนำผลมาวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของระบบ

6. ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพเมื่อมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงขึ้นด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซมีเทน (Methane Analyzer) เปรียบเทียบความถูกต้องโดยเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพไปวิเคราะห์โดยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟฟี (GC TCD) พร้อมทั้งทดสอบการจุดติดไฟ

7. เมื่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเริ่มคงที่และลดน้อยลงจะหยุดการทดลอง บันทึกข้อมูลพร้อมวิเคราะห์ผลการทดลองทั้งหมด

ตารางที่ 3-3 แผนการวิเคราะห์จากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

ลักษณะสมบัติ	ความถี่ในการวิเคราะห์
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	ทุกวัน
อุณหภูมิ	ทุกวัน
พีเอช	ทุกสัปดาห์
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย	ทุกสัปดาห์
องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	ทุกสัปดาห์
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	ก่อนและหลัง
ปริมาณ TS	ทุกสัปดาห์
ปริมาณคาร์บอน	ก่อนและหลัง

ที่มา: APHA, AWWA and WEF, 1998

1.3 สภาวะการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการระบบแบบแบทช์

1. ผลของความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมด (TS) ในวัตถุดิบ ทำการทดลองโดยเตรียมวัตถุดิบหมักระหว่างส่วนผสมของมูลสุกรและใบยางพาราโดยทำการควบคุมสัดส่วนโดยน้ำหนักของมูลสุกรและใบยางพาราให้คงที่ที่สัดส่วน 50:50 และทำการปรับเปลี่ยนปริมาณ TS ที่ระดับต่างๆ ดังนี้ 8, 12, 16 และ 20 % ดำเนินการหมักด้วยการกวนผสมวันละครั้ง วัดค่า pH ของส่วนผสมในถังหมักตอนเริ่มต้นและระหว่างดำเนินการหมักโดยไม่มีการปรับค่า pH รายละเอียดการออกแบบการทดลองแสดงได้ตามการทดลองชุดที่ 1 การทดลองที่ R1-R4 ในตารางที่ 3-4

2. ผลของสัดส่วนวัตถุดิบเริ่มต้นต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ทำการเตรียมวัตถุดิบสำหรับหมักด้วยส่วนผสมของมูลสุกรและใบยางพาราโดยควบคุมปริมาณ TS ของวัตถุดิบของทุกชุดการทดลองที่ปริมาณ TS 16 % และทำการปรับเปลี่ยนสัดส่วนระหว่างใบยางพารากับมูลสุกรโดยน้ำหนักที่สัดส่วนต่างๆ คือ 0:100 (Control), 25:75, 50:50 และ 75:25 ดำเนินการหมักด้วยการกวนผสมโดยการเขย่าถังหมักวันละครั้ง ครั้งละประมาณ 1 นาที เก็บตัวอย่างภายในถังหมักด้วยหลอดฉีดยาขนาด 60 มิลลิลิตร โดยการดูดจากท่อเก็บตัวอย่าง เพื่อนำมาวัดค่า pH ของส่วนผสมในถังหมักตอนเริ่มต้นและระหว่างดำเนินการหมักโดยไม่มีการปรับค่า pH รายละเอียดการออกแบบการทดลองแสดงได้ตามการทดลองชุดที่ 2 การทดลองที่ R3, R5, R6 และ R7 ในตารางที่ 3-4

3. ผลของขนาดใบยางพาราต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ทำการทดลองโดยใช้ใบยางพาราที่ผ่านการลดขนาดแล้วเปรียบเทียบกับใบยางพาราที่ยังไม่ผ่านการลดขนาด โดยเตรียมวัตถุดิบหมักระหว่างส่วนผสมของมูลสุกรและใบยางพาราโดยควบคุมสัดส่วนของมูลสุกรและใบยางพารา และปริมาณ TS ของวัตถุดิบเริ่มต้นให้คงที่ที่สัดส่วนระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา 50:50 และที่ปริมาณ TS 16 % ดำเนินการหมักด้วยการกวนผสมวันละครั้ง วัดค่า pH ของส่วนผสมในถังหมักตอนเริ่มต้นและระหว่างดำเนินการหมักโดยไม่มีการปรับค่า pH รายละเอียดการออกแบบการทดลองแสดงได้ตามการทดลองชุดที่ 3 การทดลองที่ R8 ในตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 แสดงการออกแบบการทดลองชุดผลิตก๊าซชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการระบบแบบแบทช์

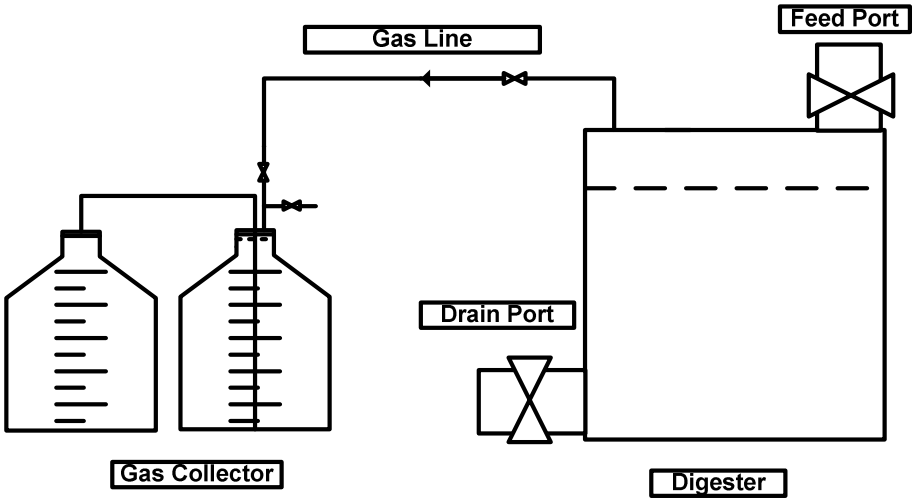
ชุดการทดลอง	การทดลองที่	วัตถุดิบ (มูลสุกร: ใบยางพารา)	ลักษณะใบยางพารา	TS ของวัตถุดิบ (%)
<u>ชุดที่ R1</u> **ศึกษาปัจจัยของความเข้มข้นของ TS (%TS)**	R1	50:50	บด	8
	R2	50:50	บด	12
	R3	50:50	บด	16
	R4	50:50	บด	20
<u>ชุดที่ R2</u> **ศึกษาสัดส่วนวัตถุดิบเริ่มต้น**	R5	100:0	บด	16
	R6	25:75	บด	16
	R7	75:25	บด	16
<u>ชุดที่ R3</u> **ศึกษาปัจจัยขนาดของใบยางพารา**	R8	50:50	ไม่บด	16

<u>กิจกรรมที่ 2</u> การศึกษาทดลองผลิตก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมในระดับห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous)

ชุดการทดลองศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่องนี้เป็นการหาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา โดยดำเนินการทดลองที่สภาวะต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมไปใช้ในการดำเนินการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดต้นแบบต่อไป ซึ่งสภาวะที่สนใจในการศึกษาคือ ผลของสัดส่วนวัตถุดิบเริ่มต้นและสัดส่วนป้อนระหว่างมูลสุกรต่อใบยางพารา ผลของปริมาณความเข้มข้นของ TS ในวัตถุดิบป้อน และผลของปริมาณวัตถุดิบป้อน โดยดำเนินการที่ความเข้มข้นของ TS เริ่มต้นที่มีสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองในกิจกรรมที่ 1 ซึ่งรายละเอียดในการทดลองมีดังต่อไปนี้

2.1 ชุดทดลองผลิตก๊าซชีวภาพขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

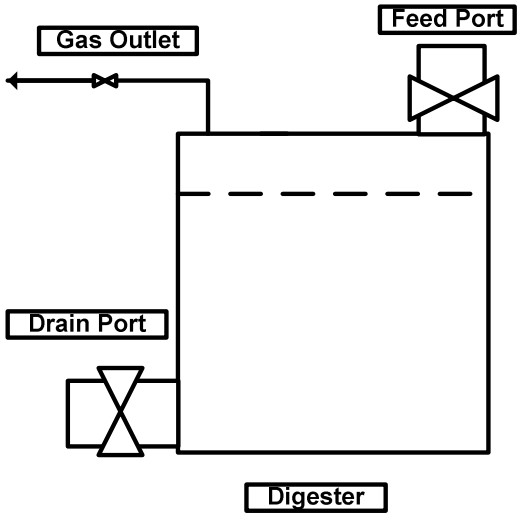
ทำการสร้างชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง ประกอบไปด้วยถังหมักพลาสติกรูปทรงกระบอกขนาด 4 เพื่อให้สามารถกวนผสมวัตถุดิบหมักอย่างสมบูรณ์ ปริมาตรใช้งานจริงของถังหมักประมาณ 3.2 ลิตร และระบบกักเก็บก๊าซชีวภาพมีขนาด 1 ลิตร ไดอะแกรมของชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่องที่ประกอบขึ้นจากถังหมักร่วมและชุดกักเก็บก๊าซแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3-9 และชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง แสดงดังภาพประกอบที่ 3-10 ซึ่งมีหลักการในติดตั้งและการดำเนินการของแต่ละส่วนประกอบหลักดังนี้



ภาพประกอบที่ 3-9 ไดอะแกรมของชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

ภาพประกอบที่ 3-10 ชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

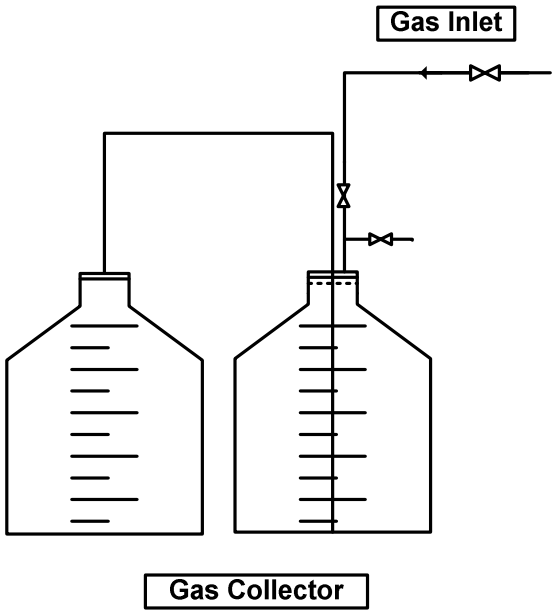
1. ถังหมักร่วม (Digester) ถังหมักประกอบไปด้วยท่อสำหรับป้อนวัตถุดิบ (Feed Port) ท่อสำหรับลำเลียงก๊าซ (Gas Line) ไปยังชุดกักเก็บก๊าซขนาด 1/4 นิ้ว ท่อระบายกากตะกอน (Drain Port) สำหรับถ่ายวัตถุดิบที่ผ่านการหมักแล้วและสำหรับเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ขนาด 2 นิ้ว ไดอะแกรมและภาพถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่องแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3-11 และ 3-12 การตรวจสอบการรั่วซึมของระบบทำเช่นเดียวกับชุดทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการระบบแบบแบทช์



ภาพประกอบที่ 3-11 ไดอะแกรมถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

ภาพประกอบที่ 3-12 ถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

2. ชุดกักเก็บก๊าซ (Gas Collector) ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากถังหมักจะถูกส่งไปยังชุดกักเก็บก๊าซผ่านทางท่อส่งก๊าซ ชุดกักเก็บก๊าซเตรียมขึ้นจากขวดน้ำเกลือ มีจำนวน 2 ถัง ดังแสดงไดอะแกรมของชุดกักเก็บก๊าซและชุดเครื่องมือที่เตรียมขึ้นในงานนี้ตามภาพประกอบที่ 3-13 และ 3-14 การเก็บและการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพทำได้โดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ เช่นเดียวกับชุดทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการระบบแบบแบทช์ มีท่อสำหรับการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของและวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น



ภาพประกอบที่ 3-13 ไดอะแกรมของชุดกักเก็บก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

ภาพประกอบที่ 3-14 ชุดกักเก็บก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

2.2 ขั้นตอนการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพในชุดทดลองขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

วิธีดำเนินการทดลองทำเช่นเดียวกับการทดลองในกิจกรรมที่ 1 โดยเลือกอัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนสูดสุดจากการทดลองในกิจกรรมที่ 1 มาใช้ในการหมักวัตถุดิบเริ่มต้น แล้วทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง ดังต่อไปนี้ สัดส่วนเริ่มต้นระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา ปริมาณวัตถุดิบป้อน สัดส่วนป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา และปริมาณ TS ของวัตถุดิบป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา โดยจะดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง คือ จะทำการทดลองหมักวัตถุดิบเริ่มต้นที่ปริมาตร 3.2 ลิตร เป็นเวลา 21 วัน จากนั้นจะทำการถ่ายวัตถุดิบหมักออกครึ่งหนึ่ง จากนั้นจะทำการป้อนวัตถุดิบหมักใหม่ลงในถังหมักตามสัดส่วนและเวลาที่กำหนด สำหรับการทดลองนี้ไม่มีการปรับ pH ให้แก่ระบบ และจะทำการกวนผสมโดยอาศัยการเขย่าวันละหนึ่งครั้ง ครั้งละประมาณ 1 นาที การดำเนินการทดลองกระทำที่อุณหภูมิห้อง

2.3 สภาวะการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

การออกแบบการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง สามารถอธิบายรายละเอียดตามตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 ชุดการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

การทดลอง	สัดส่วนเริ่มต้นมูลสุกร : ใบยางพารา	ปริมาณวัตถุดิบป้อน (กิโลกรัม)	สัดส่วนวัสดุป้อนมูลสุกร : ใบยางพารา	ความเข้มข้นของแข้งวัตถุดิบป้อน (%)
S1	50:50	0.15	50:50	12
S2	50:50	0.15	75:25	12
S3	50:50	0.15	100:0	12
S4	50:50	0.3	50:50	12
S5	50:50	0.3	75:25	12
S6	50:50	0.3	100:0	12
S7	100:0	0.15	50:50	12
S8	100:0	0.15	75:25	12
S9	100:0	0.15	100:0	12
S10	100:0	0.15	50:50	20

1. ผลของสัดส่วนเริ่มต้นระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา

ต้องการศึกษาผลของสัดส่วนเริ่มต้นระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราโดยสภาวะที่ทำการศึกษามีด้วยกันสองสภาวะ คือ สัดส่วนระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราที่ 50:50 และ 100:0 โดยควบคุมปริมาณวัตถุดิบป้อน สัดส่วนป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา และปริมาณ TS ป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราให้คงที่ และทำการทดลองเพื่อยืนยันผลอีกสองชุดการทดลอง โดยเปลี่ยนสัดส่วนวัสดุป้อนระว่างมูลสุกรกับใบยางพารา ที่ 75:25 และ 100:0 รายละเอียดการออกแบบการทดลองแสดงได้ตามการตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 การออกแบบการทดลองศึกษาผลของสัดส่วนเริ่มต้นระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

การทดลอง	สัดส่วนเริ่มต้นมูลสุกร : ใบยางพารา	ปริมาณวัตถุดิบป้อน (กิโลกรัม)	สัดส่วนวัสดุป้อนมูลสุกร : ใบยางพารา	ความเข้มข้นของแข้งวัตถุดิบป้อน (%)
S1	50:50	0.15	50:50	12
S7	100:0	0.15	50:50	12
S2	50:50	0.15	75:25	12
S8	100:0	0.15	75:25	12
S3	50:50	0.15	100:0	12
S9	100:0	0.15	100:0	12

2. ผลของปริมาณวัตถุดิบป้อนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

ทำการทดลองเพื่อที่จะศึกษาความสามารถของระบบในการรับภาระสารอินทรีย์ที่เกิดจากวัตถุดิบต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยทำการเตรียมวัตถุดิบการหมักด้วยส่วนผสมของมูลสุกรและใบยางพาราด้วยการควบคุมสัดส่วนเริ่มต้นระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราสัดส่วนป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา และปริมาณ TS ป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราให้คงที่ ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณวัตถุดิบป้อน 2 ค่าที่แตกต่างกัน ที่ 0.15 กิโลกรัม และ 0.3 กิโลกรัม โดยทำการป้อน ทุก ๆ 3 วัน วัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวันพร้อมทั้งวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซและเก็บตัวอย่างของวัตถุดิบภายในถังหมักเพื่อวิเคราะห์ค่า pH, VFA, Alkalinity และ COD รายละเอียดการออกแบบการทดลองแสดงได้ตามการตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 ชุดการทดลองศึกษาปริมาณวัตถุดิบป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

การทดลอง	สัดส่วนเริ่มต้นมูลสุกร : ใบยางพารา	ปริมาณวัตถุดิบป้อน (กิโลกรัม)	สัดส่วนวัสดุป้อนมูลสุกร : ใบยางพารา	ความเข้มข้นของแข้งวัตถุดิบป้อน (%)
S1	50:50	0.15	50:50	12
S4	50:50	0.30	50:50	12
S2	50:50	0.15	75:25	12
S5	50:50	0.30	75:25	12
S3	50:50	0.15	100:0	12
S6	50:50	0.30	100:0	12

3. ผลของสัดส่วนวัตถุดิบป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา

ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของสัดส่วนป้อนที่แตกต่างกันระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราที่แตกต่างกันที่มีผลการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยจะทำการควบคุมสัดส่วนเริ่มต้นระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา ปริมาณวัตถุดิบป้อน และปริมาณ TS ป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา ทำการปรับเปลี่ยนสัดส่วนระหว่างใบยางพารากับมูลสุกรโดยน้ำหนักที่สัดส่วนต่างๆ ดังนี้ 0:100 (control), 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ รายละเอียดการออกแบบการทดลองแสดงได้ตามการตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 ชุดการทดลองสัดส่วนวัตถุดิบป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

การทดลอง	สัดส่วนเริ่มต้นมูลสุกร :ใบยางพารา	ปริมาณวัตถุดิบป้อน (กิโลกรัม)	สัดส่วนวัสดุป้อนมูลสุกร : ใบยางพารา	ความเข็มข้นของแข้งวัตถุดิบป้อน (%)
S1	50:50	0.15	50:50	12
S2	50:50	0.15	75:25	12
S3	50:50	0.15	100 : 0	12

4. ผลของปริมาณของแข็งทั้งหมดของวัตถุดิบป้อน

ทำการทดลองโดยเตรียมวัตถุดิบหมักระหว่างส่วนผสมของมูลสุกรและใบยางพาราโดยควบคุมสัดส่วนเริ่มต้นระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา ปริมาณวัตถุดิบป้อน และสัดส่วนป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราให้คงที่และทำการปรับเปลี่ยนปริมาณ TS ป้อนที่ 12 และ 20% รายละเอียดการออกแบบการทดลองแสดงได้ตามการตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-9 ชุดการทดลองผลของปริมาณ TS ของวัตถุดิบป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

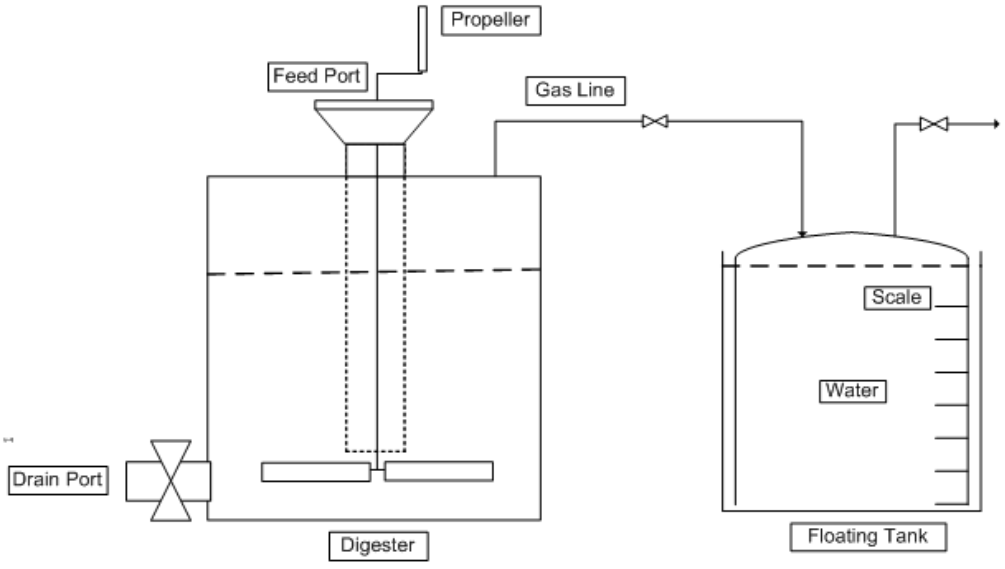
การทดลอง	สัดส่วนเริ่มต้นมูลสุกร : ใบยางพารา	ปริมาณวัตถุดิบป้อน (กิโลกรัม)	สัดส่วนวัสดุป้อนมูลสุกร : ใบยางพารา	ความเข็มข้นของแข้งวัตถุดิบป้อน (%)
S7	100:0	0.15	50:50	12
S10	100:0	0.15	50:50	20

<u>กิจกรรมที่ 3</u> การศึกษาทดลองผลิตก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดต้นแบบ (Pilot Scale) ระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

ชุดการทดลองศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่องนี้เป็นการหาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกรและใบยางพารา โดยดำเนินการด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองในกิจกรรมที่ 2 และวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งรายละเอียดในการทดลองมีดังต่อไปนี้

3.1 ชุดทดลองผลิตก๊าซชีวภาพขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

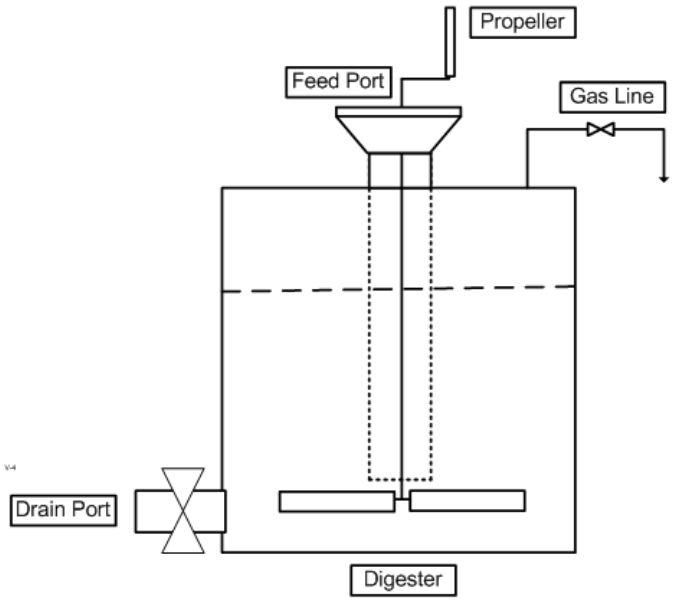
ทำการสร้างชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง ประกอบไปด้วยถังหมักพลาสติกรูปทรงกระบอกขนาด 200 ลิตร ปริมาตรใช้งานจริงประมาณ 160 ลิตร และระบบกักเก็บก๊าซชีวภาพมีขนาด 160 ลิตร ไดอะแกรมของชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่องที่ประกอบขึ้นจากถังหมักร่วมและชุดกักเก็บก๊าซแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3-15 และชุดทดลองการหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่องแสดงดังภาพประกอบที่ 3-16 ซึ่งมีหลักการในติดตั้งและการดำเนินการของแต่ละส่วนประกอบหลักดังนี้



ภาพประกอบที่ 3-15 ไดอะแกรมชุดการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

ภาพประกอบที่ 3-16 ชุดการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

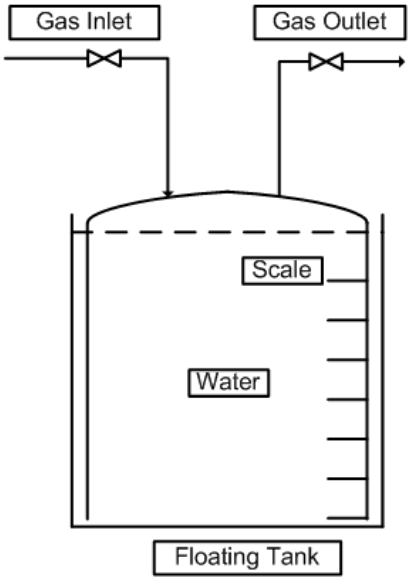
1. ถังหมักร่วม (Digester) ทำการเจาะด้านบนของถังหมักให้เป็นรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ใส่ท่อพีวีซีเพื่อเป็นช่องป้อนวัตถุดิบ (Feed Port) ท่อป้อนวัตถุดิบมีความยาว 80 เซนติเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว บริเวณด้านล่างของถังหมักใส่ท่อพีวีซีเพื่อเป็นท่อสำหรับถ่ายวัสดุที่ผ่านการหมักออกมาวิเคราะห์ (Drain Port) มีวาล์วสำหรับควบคุมการเปิดปิด ภายในช่องป้อนวัตถุดิบมีการติดตั้งใบกวน (Agitator) โดยที่เพลาของชุดกวนนี้ติดอยู่กับฝาของถังหมัก และมีชุดประกอบเพลาลักษณะเป็นปลอกสวมตัวเพลาอยู่ เพื่อป้องกันไม่ให้เพลาแกว่งขณะหมุนซึ่งอาจทำให้ถังหมักรั่วได้ มีใบพัดติดอยู่ปลายเพลา 2 ชุด ที่มีลักษณะเป็นแฉก ด้านบนของถังหมักมีท่อสำหรับลำเลียงก๊าซที่ผลิตได้ไปยังระบบกักเก็บขนาด ½ นิ้ว ซึ่งเป็นสายยางพลาสติกใส ไดอะแกรมและภาพชุดถังหมักก๊าซชีวภาพขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่องแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3-17 และ 3-18 ทำการตรวจสอบการรั่วซึมของระบบชุดทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อไม่ให้เกิดการรั่ว



ภาพประกอบที่ 3-17 ไดอะแกรมถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ขนาดขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

ภาพประกอบที่ 3-18 ถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

2. ชุดกักเก็บก๊าซ (Gas Collector) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ถังเก็บน้ำขนาด 200 ลิตร ที่ตั้งหงายเพื่อบรรจุน้ำสำหรับเป็นตัวกันไม่ให้ก๊าซรั่วออกนอกถังเก็บ ถังจะตั้งหงายเพื่อให้ถังใบเล็กอีกถังครอบ ถังเก็บก๊าซซึ่งเป็นถังขนาด 160 ลิตร ตั้งคว่ำลงภายในถังเก็บน้ำขนาด 200 ลิตร ทำหน้าที่เป็นตัวกักก๊าซไว้ ดังแสดงไดอะแกรมของชุดกักเก็บก๊าซและชุดเครื่องมือที่เตรียมขึ้นในงานนี้ตามภาพประกอบที่ 3-19 และ 3-20 โดยตัวถังจะลอยขึ้นเมื่อก๊าซชีวภาพถูกลำเลียงมาจากถังหมัก ด้านบนของถังเก็บก๊าซ จะติดตั้งท่อลำเลียงก๊าซพร้อมทั้งวาล์วสำหรับเปิดและปิดเพื่อนำก๊าซที่ผลิตได้ไปยังจุดใช้งานและเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ



ภาพประกอบที่ 3-19 ไดอะแกรมชุดกักเก็บก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

ภาพประกอบที่ 3-20 ชุดกักเก็บก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วม
ขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

3.2 ขั้นตอนการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพขนาดต้นแบบระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

วิธีดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองในกิจกรรมที่ 1 และ 2 โดยเลือกสภาวะที่มีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนสูดสุดจากการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ ระดับห้องปฏิบัติการระบบแบบกึ่งต่อเนื่องมาใช้เป็นสภาวะในการดำเนินระบบ โดยจะดำเนินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง ป้อนวัตถุดิบทุกๆ 3 วัน ครั้งละ 7.5 กิโลกรัม เริ่มป้อนวัตถุดิบครั้งแรกเมื่อระยะเวลาการหมัก 14 วัน ปริมาตรในการหมักวัตถุดิบเริ่มต้น 80 กิโลกรัม สำหรับการทดลองนี้ไม่มีการปรับ pH ให้แก่ระบบ และจะทำการกวนผสมวันละหนึ่งครั้ง ครั้งละประมาณ 1 นาที การดำเนินการทดลอง

กระทำที่อุณหภูมิห้อง ทำการวัดองค์ประกอบของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

3.3 สภาวะการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดใช้งานจริงระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

สภาวะในการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 ของกิจกรรมที่ 2 คือ ดำเนินการทดลองที่สัดส่วนเริ่มต้นระหว่ามูลสุกรและใบยางพาราที่ 50:50 ความเข้มข้นของ TS เริ่มต้นของวัตถุดิบที่ 12% ปริมาณวัตถุดิบป้อนครั้งละ 7.5 กิโลกรัม ที่สัดส่วนของวัตถุดิบป้อนระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราที่ 75:25 ปริมาณ TS วัตถุดิบป้อน 12% (ระยะเวลาการเก็บกัก 20 วัน อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.56 kg COD/m^3/D)