บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

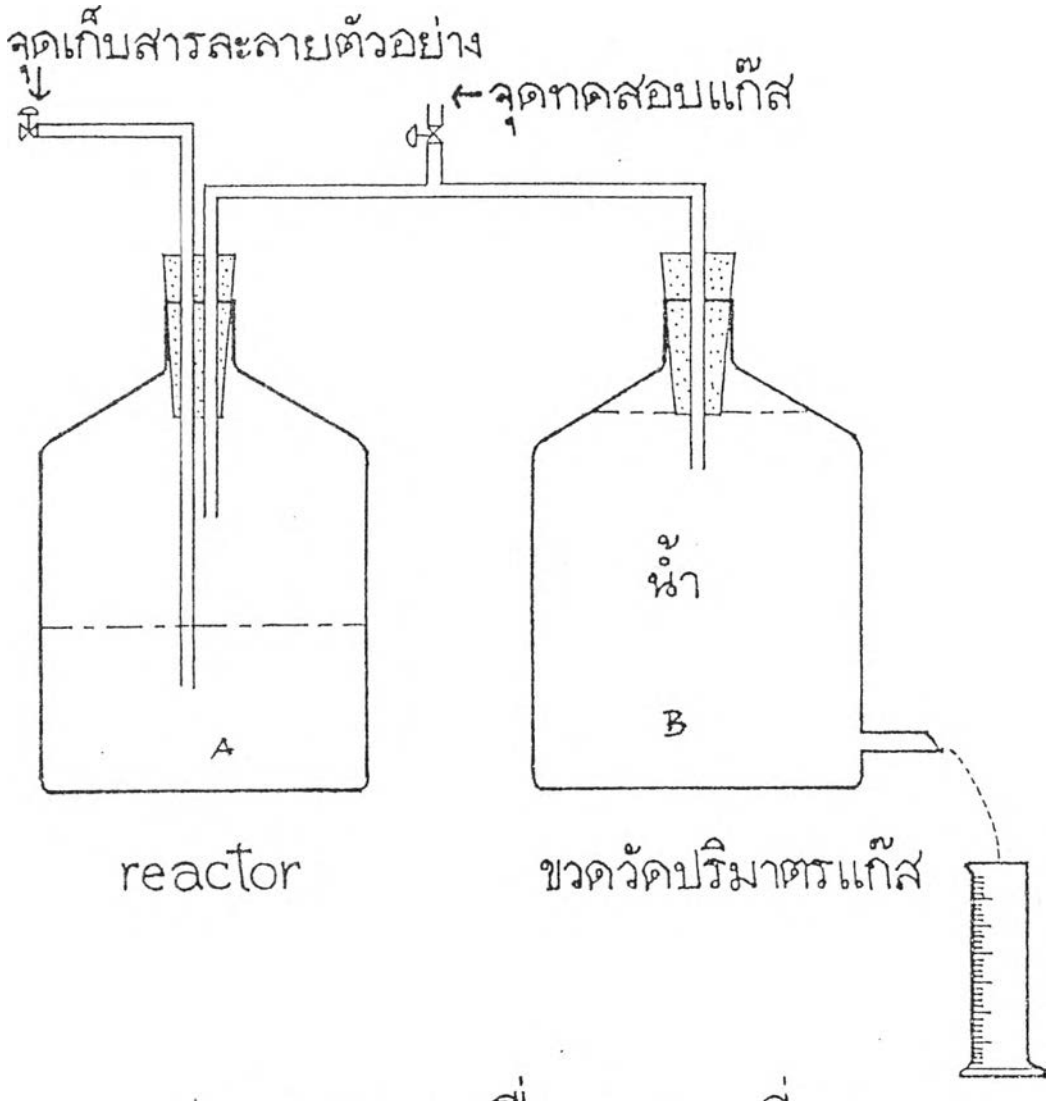
4.1 เครื่องมืออุปกรณ์การทดลอง

4.1.1 ถังหมัก (reactor)

4.1.1.1 ถังหมักขนาดเล็ก (lab scale) ลักษณะเป็นทรงกระบอกพลาสติกสีใส สามารถมองเห็นลักษณะภายในชัดเจน มีปริมาตรการทำงาน (working volume) 1 ลิตร ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งชุดการทดลองนี้ประกอบด้วยถังทรงกระบอก 2 ใบขนาดเท่ากัน โดยถัง A มีหน้าที่เป็น reactor ปิดจุกด้วยจุกยางเบอร์ 10 ที่เจาะรูไว้สำหรับเสียบแท่งแก้ว pyrex ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 สำหรับทำหน้าที่เป็นท่อนำแก๊สและเป็นที่สุ่มตัวอย่างสำหรับนำมาวิเคราะห์ ปลายแท่งแก้วด้านที่เป็นตำแหน่งสำหรับเก็บตัวอย่าง จะสวมกับสายยางดิบปิดปลายท่อด้วย c-clamp เพื่อป้องกันไม่ให้สัมผัสกับอากาศ ปลายท่อสำหรับสุ่มตัวอย่างจะวางที่ตำแหน่งบริเวณที่เป็นของเหลว ส่วนแท่งแก้วอีกแท่งซึ่งทำหน้าที่เป็นท่อนำแก๊สจะวางตำแหน่งไว้ที่บริเวณเหนือผิวของของเหลว และต้องแน่ใจว่าเมื่อเกิดฟองในระหว่างกระบวนการจะไม่สัมผัสกับท่อนำแก๊สนี้ แก๊สที่เกิดขึ้นจะผ่านไปยังถัง B สามารถวัดปริมาตรแก๊สที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำ และที่ท่อนำแก๊สนี้มีจุดสำหรับตรวจสอบปริมาตรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของแก๊สชีวภาพ

จุดประสงค์ของชุดการทดลองนี้เพื่อหาปริมาณของแข็งทั้งหมดเริ่มต้น ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพจากเปลือกมันฝรั่ง และศึกษาการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงจากสารอินทรีย์ไปเป็นแก๊สชีวภาพ ซึ่งการทดลองนี้ทำการตรวจสอบค่าต่าง ๆ ตามวิธีการวิเคราะห์ของ APHA (1971) เช่น

- COD
- VFA
- Alkalinity



ชุดการทดลองเพื่อหา T.S. ที่เหมาะสม
WORKING VOL. 1 L.

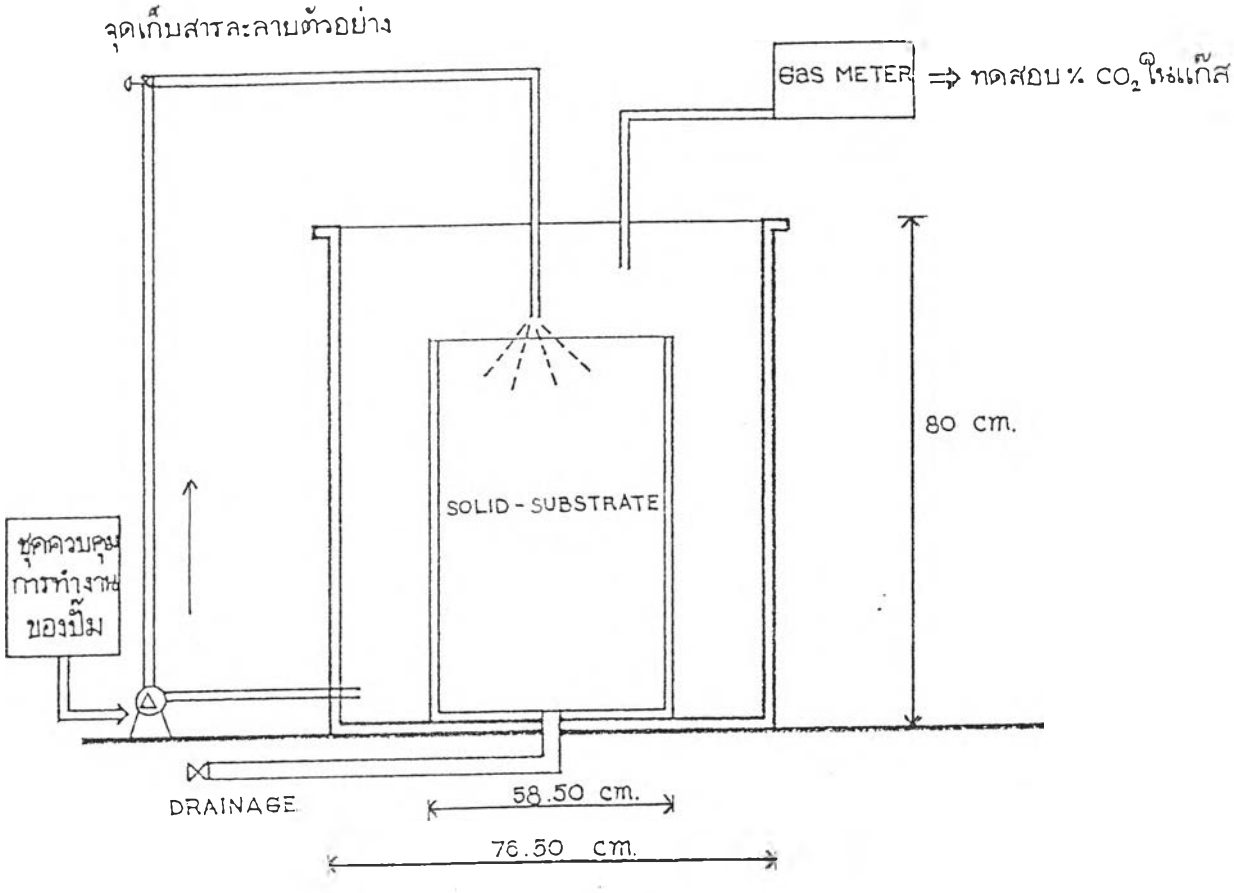
รูปที่ 4.1 ถังปฏิกรณ์ปริมาตรทำงาน 1 ลิตร

- พีเอช
- ปริมาณแก๊สที่ผลิตได้
- ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

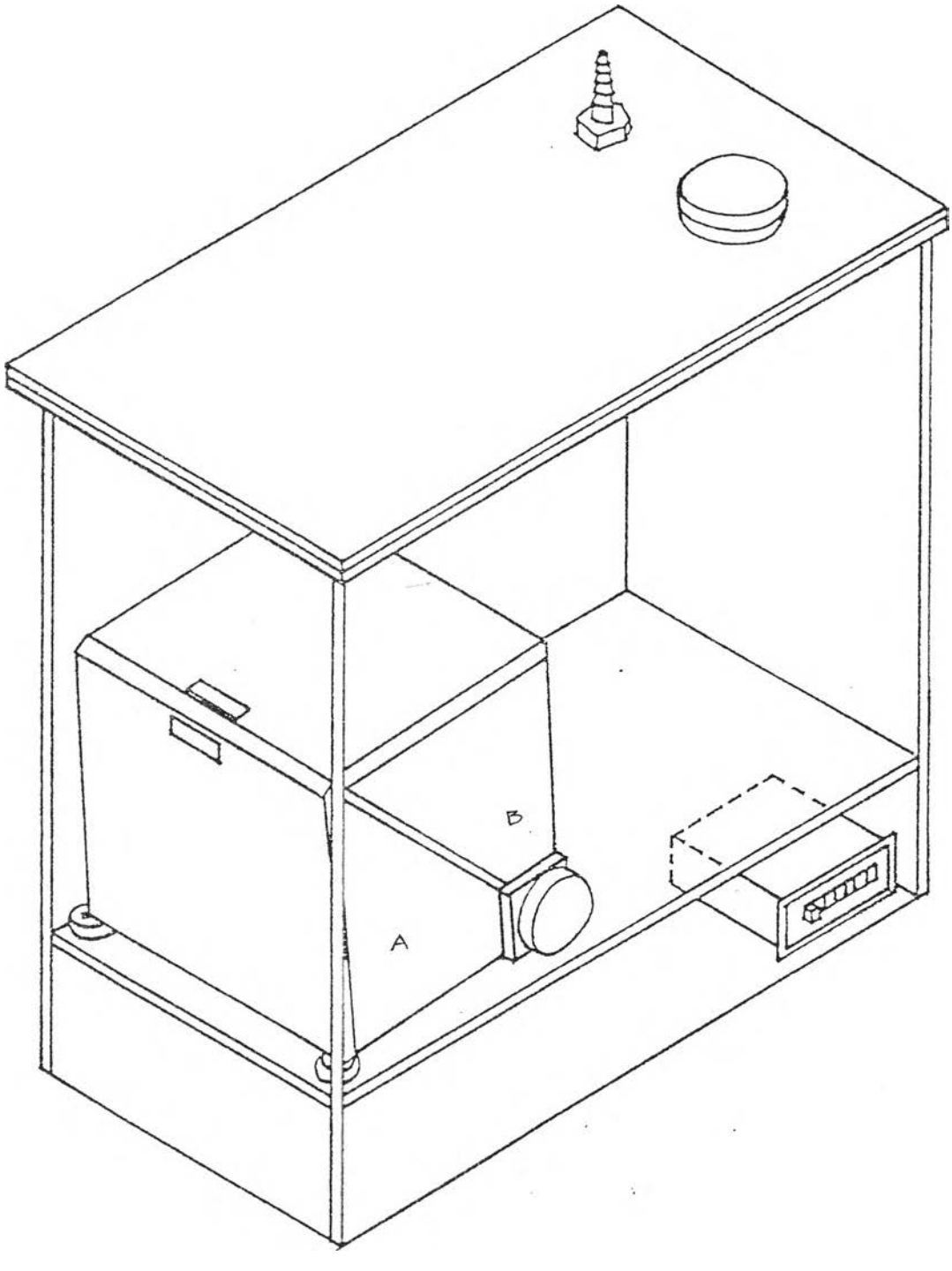
4.1.1.2 ถังหมักขนาด 360 ลิตร เป็นถังปฏิกรณ์ทรงกระบอก 2 ชั้นซ้อนกัน มีลักษณะเป็นเหล็กปลอดสนิม (stainless steel) โดยถังใบใหญ่ซึ่งอยู่ด้านนอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 76.50 ซม. และถังขนาดเล็กกว่าซ้อนอยู่ภายในมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 58.50 ซม. โดยถังขนาดเล็กนี้มีแผ่นเหล็กปลอดสนิมกว้าง 5.00 ซม. รัดไว้ 3 จุด ประโยชน์ของถังใบเล็กที่ซ้อนอยู่ภายในนี้เพื่อกักของแข็งไว้ภายในถังเพื่อป้องกันไม่ให้ปั๊มเกิดการอุดตัน โดยการใช้แผ่นพลาสติกหุ้มถังใบเล็กไว้และใช้แผ่นเหล็กรัดไว้ให้แน่น (รูปที่ 4.2)

การทดลองในหัวข้อนี้เพื่อทดลองหาค่าปริมาณน้ำที่ใช้หมุนเวียนว่ามีผลต่ออัตราการลดลงของปริมาณของแข็งเริ่มต้น และอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพหรือไม่ ในการทดลองนี้ใช้ปั๊มหอยโข่ง (centrifugal pump) เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้หมุนเวียนน้ำในระบบ มีขนาด 250 วัตต์ สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้หมุนเวียนในระบบให้มีปริมาณสม่ำเสมอ โดยใช้เครื่องมือควบคุมเวลา (timer) ตรา TEC ซึ่งผลิตในประเทศญี่ปุ่น เป็นตัวควบคุมการเปิด-ปิดปั๊ม ทุกครึ่งชั่วโมง หรือทุก ๆ ชั่วโมง โดยทุกครั้งที่ปั๊มทำงานจะมีตัวควบคุมให้ทำงานในช่วงเวลาที่กำหนด

การวัดค่าตัวแปรพื้นฐานต่าง ๆ มีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองในชุด 4.1.1.1 ยกเว้นการวัดปริมาตรแก๊สที่ระบบผลิตขึ้น โดยใช้แก๊สมิเตอร์ซึ่งมีลักษณะดังในรูป 4.3 หลักการทำงานของเครื่องมือนี้คือการแทนที่น้ำของแก๊สที่ผลิตได้ ซึ่งแก๊สที่ผลิตขึ้นจะเข้าไปแทนที่น้ำที่บริเวณ A จนกระทั่งบริเวณนี้เสียสมดุล ทำให้บริเวณ A พลิกกลับขึ้นด้านขวามือเป็นผลให้แก๊สที่เกิดขึ้นใหม่จะเข้าไปแทนที่ในบริวณ B จนกระทั่งบริเวณ B เสียสมดุลและเกิดการพลิกกลับด้านซ้ายมือของแก๊สมิเตอร์อีกครั้ง ทุกครั้งที่มีการพลิกกลับไปอีกด้านหนึ่งของแก๊สมิเตอร์จะส่งสัญญาณไปที่ counter เพื่อให้ courter บันทึกไว้ และจากตัวเลขที่ couter บันทึกไว้สามารถนำมาคำนวณปริมาตรแก๊สที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน



รูปที่ 4.2 ถังปฏิกรณ์ปริมาตรทำงาน 170 ลิตร



รูปที่ 4.3 แก๊สมิเตอร์

4.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเปลือกมันฝรั่ง ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตมันฝรั่งทอดกรอบ โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัทเอเวอร์คริสป์ และนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของมันฝรั่งซึ่งได้แก่ คาร์บอน และไนโตรเจน ของมันฝรั่ง สำหรับการวิเคราะห์หาค่าปริมาณคาร์บอน และ ไนโตรเจน โดยใช้เครื่องมือ Elemental Analyzer ในกรณีที่วัตถุดิบมีค่า คาร์บอน:ไนโตรเจน แตกต่างกันมากทำให้เกิดการผิดพลาดของค่าไนโตรเจน จึงต้องทำการทดลองหาค่าปริมาณไนโตรเจนอีกครั้งด้วยวิธี Kjeldakl (ภาคผนวก ก)

เมื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบจะหาความชื้นของวัตถุดิบ เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณของแข็งเริ่มต้นในระบบ (ภาคผนวก ก)

การเก็บรักษาวัตถุดิบเพื่อนำมาใช้ทดลอง โดยทั่วไปวัตถุดิบมีลักษณะเป็นขุยเล็ก ๆ ขนาดเท่ากัน แต่อาจมีชิ้นมันฝรั่งขนาดใหญ่ ปะปนมาซึ่งต้องแยกออกมาก่อนนำไปทดลองหรือเก็บรักษาไว้ โดยการเก็บรักษาวัตถุดิบเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีการนำมาใช้ ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่า วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองนี้มีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลง

4.3 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง (seed)

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้จากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานสุราแสงโสม อ. สามพราน จ. นครปฐม seed ที่ได้นำมาหาปริมาณสารแขวนลอย (suspended solid) (ภาคผนวก ก) มีค่าระหว่าง 180,000 - 200,000 mg/l สาเหตุที่เลือกใช้ seed จากโรงงานสุราเนื่องจากมีปริมาณมากสม่ำเสมอ และ seed ยังมีลักษณะแข็งแรงทนต่อสภาวะที่มีปริมาณสารอินทรีย์ได้ในปริมาณสูงๆ ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้ถือว่าเป็นสารพิษต่อเซลล์ นอกจากนั้น seed ที่ได้จากโรงงานสุรามีปริมาณสารแขวนลอยสูงมาก ดังนั้นการขนถ่าย seed สารถทำได้สะดวกเนื่องจากไม่ต้องขนถ่ายในปริมาณมาก

4.4 การทดลองเพื่อศึกษาปริมาณของแข็งเริ่มต้นในระบบมีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ

สำหรับการศึกษาในหัวข้อนี้ทำการทดลองในถังหมักขนาด 2 ลิตร (รูปที่ 4.1) เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณสารตั้งต้นในรูป solid content โดยทำการทดลองแปรค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบตั้งแต่ 3-12 % เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยทุกครั้งที่ทำการทดลองต้องทำการปรับค่า COD:N:P ให้เท่ากับ 100:2.2:0.4 ซึ่งในการปรับค่าไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัส สำหรับการทดลองนี้ใช้ปุ๋ยเคมีในสูตร N:P:K เท่ากับ 25:5:5 ซึ่งผลิตโดย บริษัทสุนทรพัฒนา ภายใต้เครื่องหมายการค้า ราชาอินทรีย์ทอง

เมื่อปรับค่า COD:N:P แล้วทำการเติมน้ำปะปาเพื่อให้ได้ปริมาณ solid content ที่ต้องการในแต่ละการทดลอง เมื่อนำวัตถุดิบที่เตรียมไว้เทลงในถังหมักเขย่าให้เข้ากัน และเติม seed ให้มีความเข้มข้น 20,000 mg/l สำหรับการเติม seed ต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจือจางด้วย เพราะปริมาณน้ำที่เติมจะมีผลต่อการคำนวณปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบ เมื่อเติม seed แล้วรีบปิดจุกยาง และปิดปลายท่อทุกด้านเพื่อไม่ให้สัมผัสกับอากาศด้วย c-clamp และพันข้อต่อทุกแห่งด้วย paraflim เพื่อป้องกันไม่ให้ระบบสัมผัสกับอากาศ

การเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ จะกระทำทุกวันในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน ตัวอย่างของเหลวที่เก็บได้นำมาวิเคราะห์หาปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (VFA) Alkalinity COD และ พีเอช ซึ่งการวิเคราะห์ค่าตัวแปรพื้นฐานเหล่านี้โดยวิธีของ Standard Method For The Examination of Water and Wastewater (APHA, 1971) แก๊สชีวภาพที่ผลิตได้อ่านจากปริมาณที่ไหลล้นออกจากชุดเครื่องมือวัดแก๊สโดยวิธีการแทนที่น้ำ และวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สชีวภาพโดยใช้ orsat

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การทดลองเพื่อศึกษาปริมาณ seed มีผลต่อกระบวนการย่อยสลาย

เมื่อได้ผลการทดลองจากหัวข้อ 4.4 พบว่าที่ปริมาณของแข็งในระบบที่ค่าหนึ่งที่ให้ผลผลิตแก๊สชีวภาพสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งแก่ระบบมากขึ้นเป็นผลให้การผลิตแก๊สชีวภาพเริ่มลดลง โดยนำค่าปริมาณของแข็งเริ่มต้นในระบบที่มีการผลิตแก๊สชีวภาพลดลงมาใช้ในการทดลองนี้โดยคงที่ปริมาณของแข็งเริ่มต้นในระบบไว้ที่ค่าหนึ่ง แล้วแปรค่าปริมาณ seed ที่ใช้ในระบบที่ค่า 20,000 40,000 และ 60,000 mg/l การทดลองนี้ใช้ถังหมักขนาด 2 ลิตร (รูปที่ 4.1)

การเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์กระทำในลักษณะเดียวกับการทดลองในชุด 4.4 รวมทั้งการวัดปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ในแต่ละวัน

4.6 ศึกษาผลของการไหลเวียนของน้ำต่อระบบหมักแก๊สชีวภาพ

จากการศึกษาในหัวข้อ 4.4 และ 4.5 เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณ total solid และ ปริมาณ seed ที่เหมาะสมสำหรับมาใช้ในการทดลองนี้ ในการทดลองนี้นอกจากจะศึกษาเกี่ยวกับผลของอัตราการไหลเวียนของน้ำต่อระบบหมักแก๊สชีวภาพ ยังเป็นการศึกษาการขยายขนาดจากขนาดการทำงาน 1 ลิตร เป็นขนาด 170 ลิตร โดยการทดลองชุดนี้ใช้ถังหมักดังรูปที่ 4.2 โดยทำการทดลองแปรอัตราการไหลเวียนของน้ำที่ 1.47, 2.94 และ 4.41 ลิตร/ลิตรปริมาตรถังปฏิกรณ์/วัน

การทดลองเริ่มต้นโดยการชั่งน้ำหนักเปลือกมันฝรั่งตามที่ต้องการ เทลงในถังใบเล็กที่หุ้มพลาสติกไว้แล้วเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันของปั๊ม หลังจากนั้นจึงเติมปุ๋ยเคมีเพื่อปรับค่า COD:N:P ให้เท่ากับ 100:2.2:0.4 และทำการเติม seed ในขั้นตอนสุดท้าย หลังจากนั้นใช้ไม้กวนของผสมในถังหมักให้เข้ากันแล้วรีบปิดฝาถังหมัก เนื่องจากถังหมักมีขนาดค่อนข้างใหญ่ดังนั้นต้องระมัดระวังการรั่วซึมของอากาศ การปิดฝาถังหมักโดยการใช้ c-clamp ยึดตามจุดต่าง ๆ รอบฝา ซึ่งมีปะเกนยางขนาด 10 มม.ติดอยู่ด้านในของฝาถังหมัก และใช้กาวซิลิโคน (silicone) ทาปิดทับไว้อีกชั้นหนึ่ง ส่วนข้อต่ออื่น ๆ ในระบบทาทับด้วยกาวซิลิโคนและพันรอบด้วย paraflim

การทดลองนี้ทำการทดลองแบบครั้งคราว (batch) ทำการสุ่มตัวอย่างของเหลวทุกวันในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าตัวแปรพื้นฐานเช่น COD Alkalinity ปริมาณกรดไขมันระเหย พีเอช ตามวิธีการวิเคราะห์มาตรฐานตัวอย่างน้ำทิ้ง (APHA, 1971) ซึ่งการทดลองทั้งหมดได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ก. การคำนวณปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากการอ่าน counter ของเครื่องวัดแก๊สสามารถนำมาคำนวณปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ในแต่ละวัน และทดสอบปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สชีวภาพโดยใช้ orsat