หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวางแผนการวิจัย

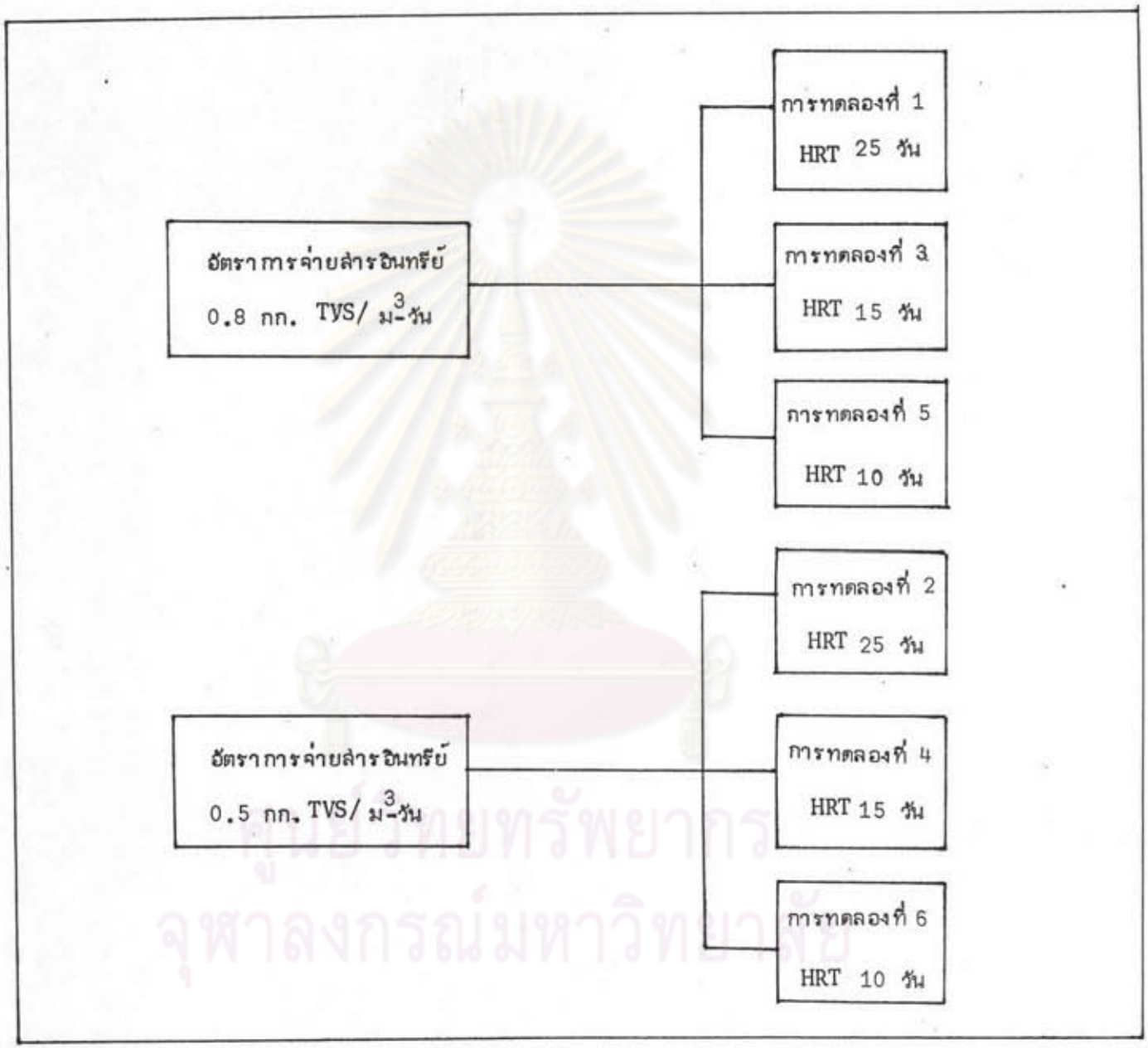
4.1 แผนการทดลอง (Experimental Design)

การวิจัยได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ จากผักตบชวา โดยการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิปกติ (Ambient Temperature) โดยทำการทดลองที่ปัจจัยแปรเปลี่ยน 2 ค่า คือ

- ระยะเวลาในการหมัก (Hydraulic Retention Time) เท่ากับ 25, 15 และ 10 วัน ตามลำดับ
- อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) เท่ากับ 0.8 และ 0.5 kg TVS/m^3 – day ตามลำดับ

โดยถังหมักที่ 1 จะทำการทดลองที่ระยะเวลาในการหมักเท่ากับ 25 วัน และที่อุณหภูมิปกติ โดยรับอัตราการจ่ายสารอินทรีย์เท่ากับ 0.8 kg TVS/m^3 - d เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลย์(Steady state) และทำการเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้วจึงทำการลดระยะเวลาในการหมัก (Detention time) ลงเหลือ 15 วัน (ถังหมักที่ 3) และ 10 วัน (ถังหมักที่ 5) ตามลำดับ โดยวิธีการเก็บข้อมูล เช่นเดียวกัน ในทำนองเดียวกันถังหมักที่ 2,4 และ 6 ก็ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกัน เพียงแต่ใช้ค่าของอัตราการจ่ายสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 kg TVS/m^3 – d ดังรูปที่ 8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 8 แสดงแผนการทดลอง (Experimental design)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 วิธีเริ่มทำการทดลอง

เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการนำผักตบชวามาย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ (Organic loading rate) และระยะเวลาในการหมักต่าง ๆ กันดังนี้

- อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ที่ 0.5 kg TVS/m^3 - day, 0.8 kg TVS/m^3 - day
- ระยะเวลาในการหมักที่ 25, 15 และ 10 วัน

ในขั้นแรกของการทดลองจะให้ถังหมักทั้งสองเริ่มต้น (Start up) พร้อมกัน โดยนำเอาสลัดจ์ (Sludge) จากถังหมักของโรงกำจัดน้ำเสียห้วยขวางมาเป็น seed เพื่อการเริ่มต้น วิธีการคือใส่ seed ลงไปในถังหมักทั้งสองในปริมาตรที่ต้องการ (Effective Volume) ซึ่งเท่ากับ 50 ลิตร การเริ่มต้นโดยใช้ seed ในปริมาณมากเช่นนี้ จะช่วยให้ระบบปรับตัวได้รวดเร็วและง่ายขึ้น เมื่อใส่ seed เรียบร้อยแล้วจะต้องตรวจดูจนแน่ใจว่าถังหมักไม่มีการรั่วซึม หลังจากนี้ก็จะต้องรอให้แบคทีเรียภายในถังหมักแข็งแรงขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นและองค์ประกอบของก๊าซที่จะเป็นตัวแสดงให้เห็นว่าภายในถังหมักมีแบคทีเรียอยู่สองจำพวกแล้วคือ Acid formers และ Methane formers จึงเริ่มใส่ผักตบชวาที่เตรียมไว้เข้าไปในอัตรา 0.5 kg TVS/m^3-d โดยควบคุมให้มี HRT เท่ากับ 25 วัน ทั้ง 2 ถัง เมื่อปริมาณก๊าซมากขึ้นจึงค่อย ๆ เพิ่มอัตราการจ่ายสารอินทรีย์ (Organic loading) สำหรับถังหมักที่ 1 เป็น 0.8 kg TVS/m^3-d หลังจากนี้รอจนกว่าถังหมักเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ (Steady state) โดยการสังเกตจากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น และการลดของของแข็งระเหย (Volatile solid) ที่ค่อนข้างคงที่หรือคงที่แล้ว จึงจะเริ่มเก็บผลทดลองทั้ง 2 ถัง หลังจากนี้จึงลด HRT ลงมาให้เหลือ 15 และ 10 วัน ตามลำดับ ที่ค่าอัตราการจ่ายสารอินทรีย์เดิมทั้งสองถัง หลังจากนี้รอจนกว่าถังหมักเข้าสู่สภาวะสมดุลย์จึงเริ่มเก็บผลการทดลอง เช่นเดียวกับ 2 ถังแรก

4.3 <u>คุณลักษณะของผักตบชวาในการใช้เป็นวัตถุดิบ</u> (raw material)

การทดลองนี้ได้นำผักตบชวาที่บ่อย่างตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทั้งต้น ไม่รวมราก มาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ $\frac{1}{2}$ ซม. แล้วบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดความเร็วสูง (Blender) และนำมาผสมน้ำเพื่อใส่เข้าสู่ถังหมักแบบไร้ออกซิเจนที่ค่าอัตราการจ่ายสารอินทรีย์ และระยะเวลาในการหมักต่าง ๆ กัน ตามที่ได้กำหนดไว้

มหาวิทยาลัยคัดตาได้วิเคราะห์ผักตบชวาจากอ่าวเบงกอลได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 13

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I15516121X

ตารางที่ 13 องค์ประกอบของผักตบชวา

องค์ประกอบ	ร้อยละของน้ำหนัก (แห้ง)
ไขและไขมัน (Waxes fat)	1.9
เฟอรฟูรัล (Furfural)	7.7
เซลลูโลส์ (Cellulose)	40.0
ลิกนิน (Lignin)	16.0
โปรตีน (Protein)	10.7
คาร์บอนในรูปสารอินทรีย์	43.2
C/N	25-26

สำหรับผักตบชวาสด ๆ มีองค์ประกอบดังนี้

องค์ประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	95.9
สารอินทรีย์	3.5
เถ้า	1.0

เฉพาะในส่วนเถ้ามีองค์ประกอบดังนี้

องค์ประกอบ	ร้อยละ
โปตัสเซียมออกไซด์ (K_2O)	28.7
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	1.8
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	12.8
คลอรีน (Cl)	21.0
ฟอสฟอรัสเพนตอกไซด์ (P_2O_5)	7.0

ปรีชา พลอยภัทรวิญโญ และ เสริมพล รัตสุข (37) ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อม และนิเวศวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย นำผักตบชวาทั้งรากมาวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

pH = 7.3

COD = 4.55 ร้อยละโดยน้ำหนักผักตบชวาสด

BOD = 1.43 " " " "

TS = 8.25 " " " "

TVS = 6.61 " " " "

ผลจากการวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำและยองแย็งในผักตบชวาไม่รวมรากจากบ่อย้างดึกคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ผลดังนี้

ความชื้น = 93.84 ร้อยละโดยน้ำหนักผักตบชวาสด

TS = 6.16 " " " "

TVS = 4.93 " " " "

FS = 1.23 " " " "

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

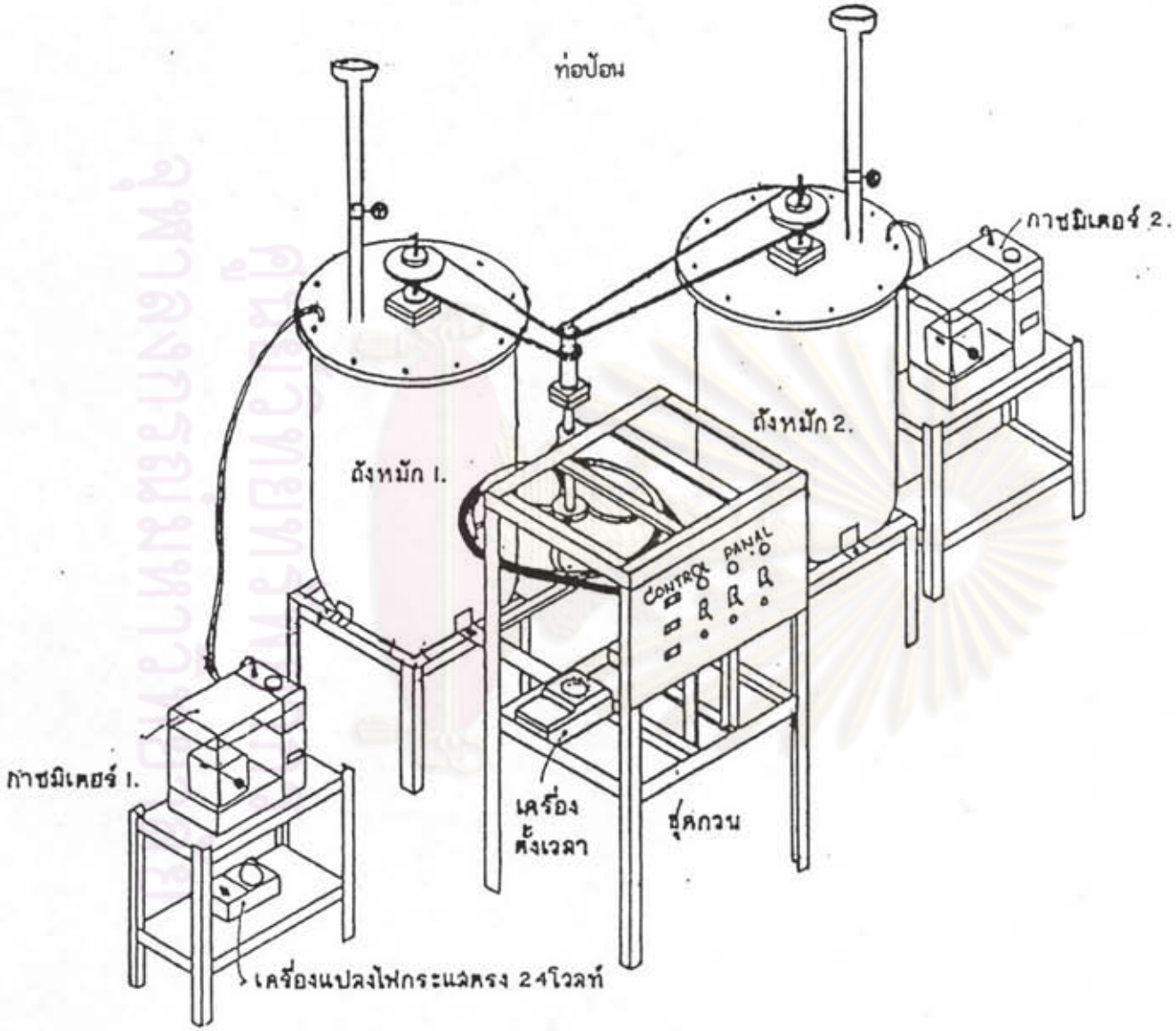
การป้อนสับสเตรท (Substrate feeding)

ลักษณะการป้อนสับสเตรทจะเป็นแบบเติมกึ่งต่อเนื่อง (Semicontinuous feed) คือสับสเตรท จะถูกเติมเป็นครั้งคราว คือทุก ๆ วันในเวลาเดียวกันจะดูดเอาสลัดจ์ภายในถังหมักออกมาในปริมาตรที่เท่ากับสับสเตรท ที่จะจ่ายเข้าไปในแต่ละวัน ซึ่งขึ้นอยู่กับ HRT ของระบบ ตัวอย่างเช่น ที่ HRT 25 วัน ปริมาตรที่แท้จริง (Effective Volume) ของถังหมักเท่ากับ 50 ลิตร ดังนั้นในการจ่ายสับสเตรท เข้าไปในถังหมักแต่ละครั้ง ตามอัตราการจ่ายสารอินทรีย์ที่กำหนด เข้าไปในถังหมักแต่ละครั้งจะต้องใช้ปริมาตร 2 ลิตร และในขณะเดียวกันก็จะต้องดูดสลัดจ์ออกมาก่อน 2 ลิตร เช่นกัน

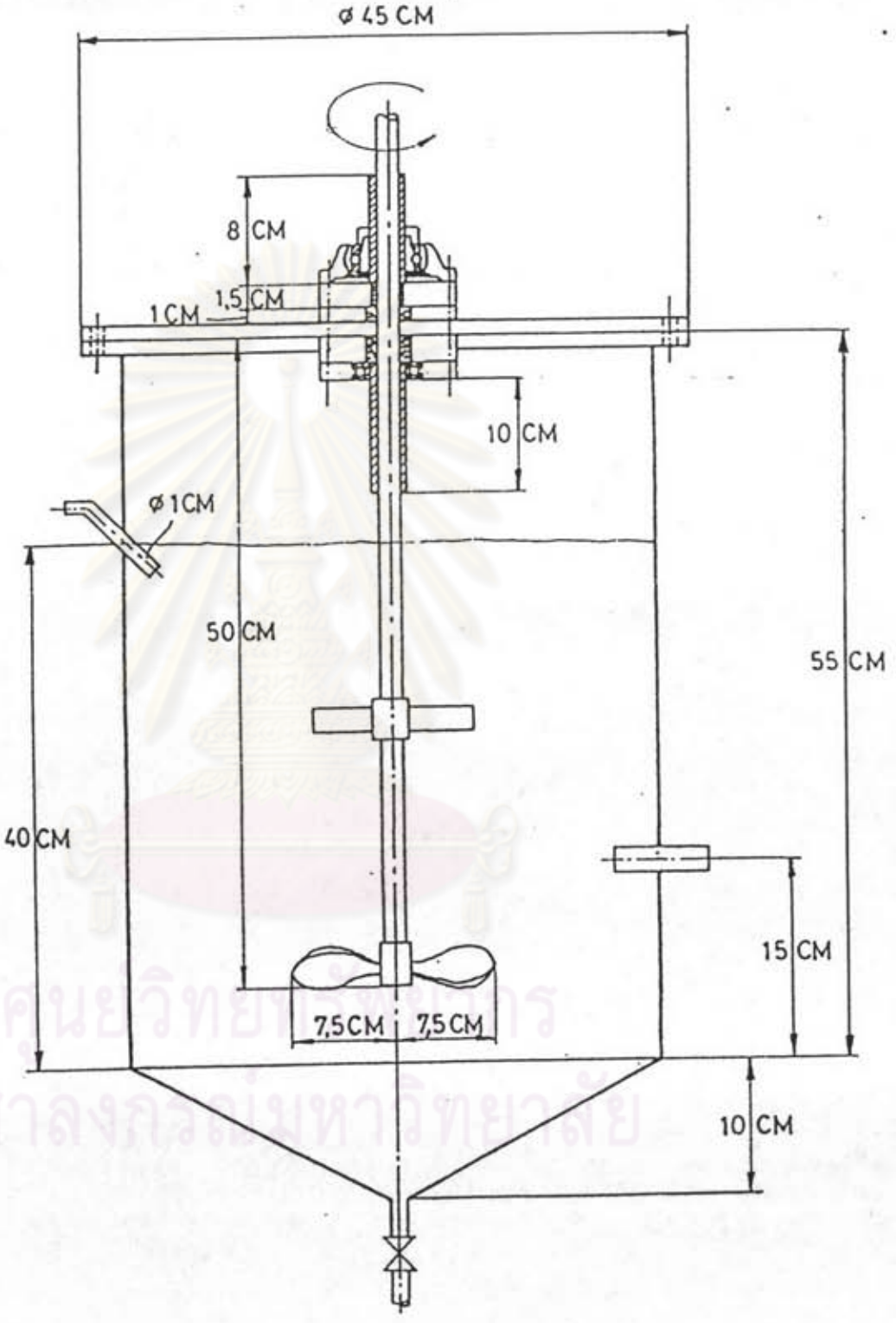
4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

แสดงดังรูปที่ 9 ซึ่งประกอบด้วย

4.4.1 ถังหมัก (Digester) สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ถังหมักจำนวน 2 ชุด ทำด้วยสเตนเลส (Stainless steel) หนา 2 มิลลิเมตร แต่ละถังมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 39 เซ็นติเมตร สูง 65 เซ็นติเมตร มีปริมาณที่แท้จริง 50 ลิตร ดังรูปที่ 10 ฝาถังทำด้วยแผ่น พีวีซี (PVC) หนา 2 เซ็นติเมตร เจาะรูขนาด $3/_8$ นิ้ว จำนวน 16 รู ยึดติดกับหน้าจานของถังหมักด้วยน็อตขนาดเดียวกัน ยาว 2 นิ้ว ส่วนสัมผัสระหว่างหน้าจานและฝาถังรองด้วยปะเก็น (Gasket) ยาง เพื่อป้องกันการรั่วของกาซที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบกวนสมบูรณ์ (Completly mixed) จึงจำเป็นต้องมีชุดสำหรับกวนของผสม (Mixed liqueur) ในถังหมักให้เป็นเนื้อเดียวกันอยู่ตลอดเวลา โดยที่เพลาของชุดกวนนี้ยังติดอยู่กับฝาถังของถังหมักด้วยลูกปืน ส่วนด้านล่างมีชุดประกอบเพลาลักษณะเป็นปลอกเพลายาว 4 นิ้ว เพื่อป้องกันไม่ให้เพลาแกว่งขณะหมุนซึ่งจะเป็นอันตรายต่อ Mechanical Seal และทำให้กาซรั่วออกมาได้ ตัวเพลาทำด้วยแท่งสเตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $1/_2$นิ้ว มีใบกวนเป็นชนิด Propeller ขนาดกว้าง 1 นิ้ว ยาว $3\frac{1}{2}$ นิ้ว ติดอยู่ปลายเพลา 1 ชุด และที่ระดับ 15 นิ้ว สูงจากปลายเพลาอีก 1 ชุด ใบกวนนี้สามารถถอดเข้าออกได้ และยึดติดในตำแหน่งที่ตั้งฉากกัน เพื่อลดปัญหาที่เกิดจาก Circular motion ตรงบริเวณเพลากับฝาถัง ป้องกันการรั่วซึมของกาซด้วย Mechanical Seal โดยใส่ seal นี้จำนวน 2 อัน ไว้ทางด้านล่างของฝาถัง ทั้งนี้เพื่อความแน่นอนในการป้องกันการรั่วซึม เพราะจะให้อากาศเข้าไปในถังหมักไม่ได้เลย ส่วน seal อีก 1 อัน ติดไว้ส่วนบน



รูปที่ 9 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง



รูปที่ 10 ถังหมัก (DIGESTER)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ของฝาถัง เพื่อป้องกันจารบีที่ใช้ในการหล่อลื่น ลูกปืนยึดยับเคลื่อนไม่ให้ไหลเข้าไปในถังหมัก

ยึดส่งกำลังของเครื่องกวนใช้มอเตอร์ขนาด $\frac{1}{4}$ แรงม้าหมุนด้วยความเร็ว 1,400 รอบต่อนาที ทำการลดความเร็วรอบโดยใช้ Pulley ขนาด 16 นิ้ว แล้วส่งถ่ายกำลังไปยังปลายเพลาด้านบนของยึดกวน โดยใช้สายพานรูปตัววี (V-belt) ความเร็วรอบของยึดกวนภายในถังหมักประมาณ 120 รอบต่อนาที

4.4.2 เครื่องตั้งเวลา (Timer)

ใช้ในการควบคุมเวลาการทำงานของยึดกวนโดยจัดตารางการทำงานไว้ดังนี้คือ ให้เครื่องกวนทำงาน 3 ชั่วโมงหยุดพัก 1 ชั่วโมง เพราะฉะนั้นในเวลา 1 วัน เครื่องกวนจะทำงาน 18 ชั่วโมงหยุดพัก 6 ชั่วโมง ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้มอเตอร์ทำงานหนักเกินไป และเพื่อยืดอายุการทำงานของ Mechanical seal ไม่ให้เสียดสีกับคอเพลา จนร้อนเกินไป

4.4.3 เครื่องบดความเร็วสูง (Blender)

ใช้สำหรับบดผักตบชวาที่ผ่านการหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ $\frac{1}{2}$ เซนติเมตร ให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถปรับความเร็วได้ 2 จังหวะคือ ช้า กับ เร็ว

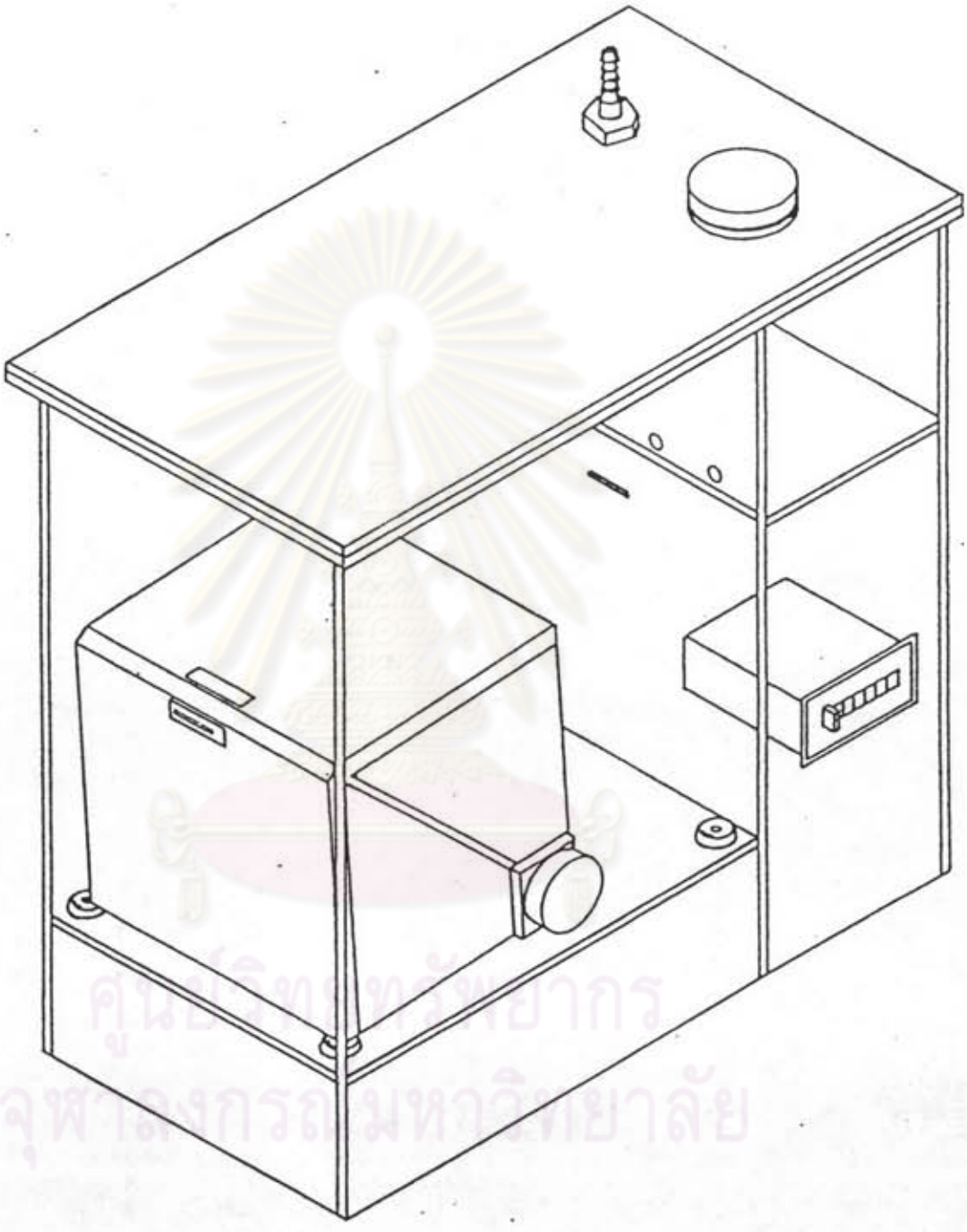
4.4.4. กาซมิเตอร์ (Gas Meter)

เครื่องนี้จะวัดผลรวมของปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันแล้วแสดงออกมาเป็นตัวเลขบนเครื่องวัด โดยก๊าซที่เกิดขึ้นจะถูกส่งมาตามสายยางที่ฝาของถังหมักเข้ามาทางด้านล่างของเครื่องวัดและเมื่อก๊าซผ่านจากเครื่องวัดแล้วก็จะถูกระบายทิ้งออกสู่ภายนอกดังแสดงในรูปที่ 11

4.5 วิธีการวิเคราะห์

4.5.1 พีเอช (pH)

การวัดค่า พีเอชของสลัดจ์ภายในถังหมักจะทำพร้อมกับการหาค่าความเป็นด่างและปริมาณของกรดโวลาไทล์ โดยการอ่านค่า พีเอช จะทำทันทีหลังจากที่ตัวอย่างถูกดูดออกมาจากถังหมัก



รูปที่ 11 กาซมิเตอร์ (GAS METER)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.2 ค่าความเป็นด่างและกรดโวลาไทล์ (Alkalinity and Volatile acid)

นำเอาสลัดจ์ที่ออกจากถังหมักมาเข้าเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็วรอบประมาณ 2200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นจึงนำเอาเฉพาะน้ำใสมาหาค่าความเป็นด่างโดยวิธีการ Direct Titration(46) คือทิเทรตตัวอย่างด้วยกรด H_2SO_4 0.02 N ถึง พีเอช 4 จดค่าที่ได้มาคำนวณค่าความเป็นด่างทั้งหมดสมดุลย์กับ $CaCO_3$ (Total Alkalinity as $CaCO_3$) หลังจากนั้นจึงทิเทรตตัวอย่างต่อจนถึง พีเอช 3.3 นำไปต้มให้เดือดเพื่อไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเวลา 2-3 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำให้ตัวอย่างมีพีเอช 4 ตามเดิมด้วย NaOH 0.05 N ต่อจากนี้ ทิเทรตต่อจนถึงพีเอช 7 ค่าที่ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ในหน่วยของ มก /ล สมมูลย์กับอะซิติค

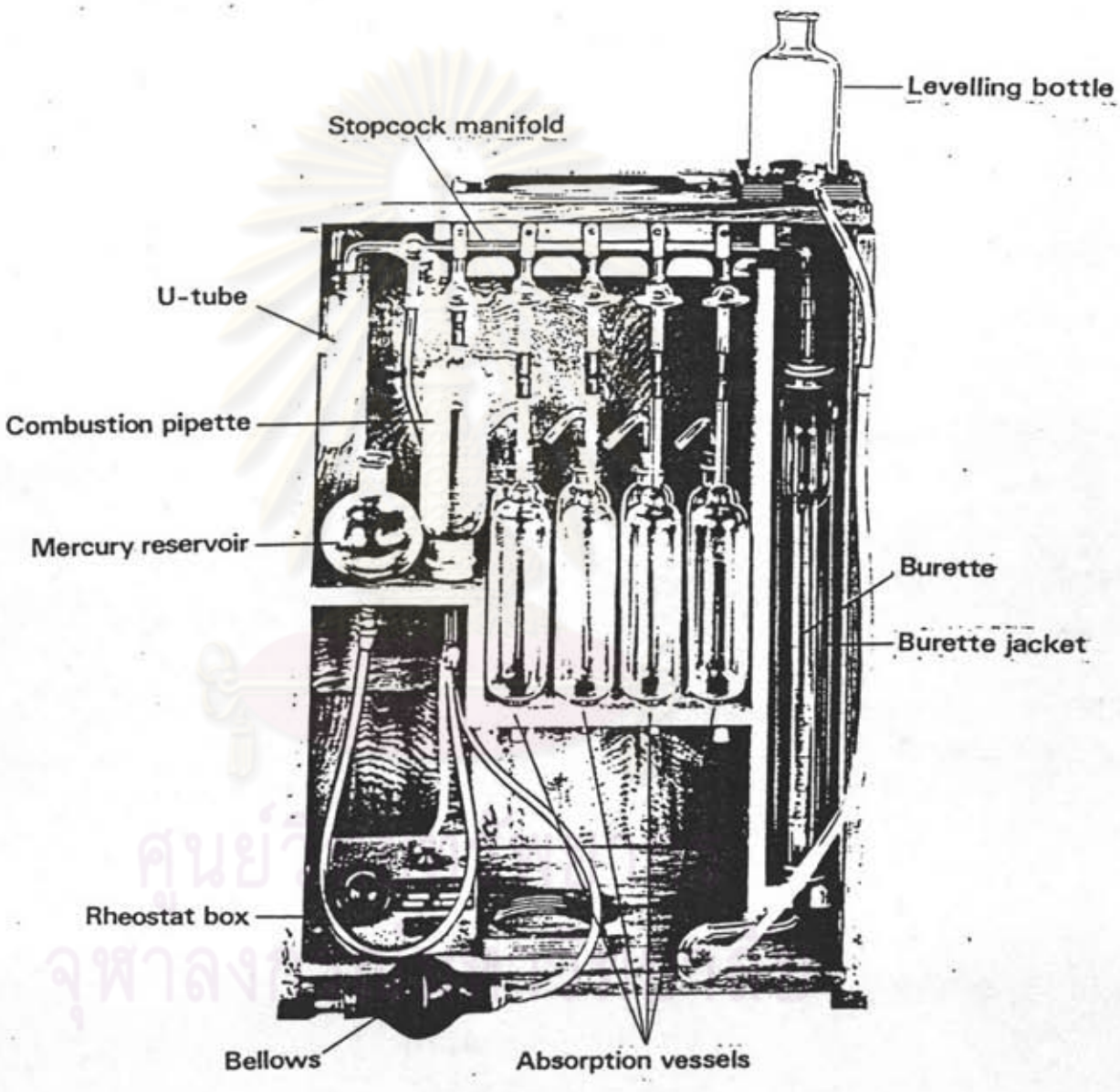
4.5.3 ค่าของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหย (Total Solid and Volatile Solid)

ค่าของแข็งทั้งหมดสามารถหาได้โดยการนำเอาสลัดจ์มาประมาณ 20 มิลลิลิตร ใส่ลงไปใน crucible นำไปทำให้แห้งบน water bath หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ $100 \pm 2^{o}C$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccator แล้วชั่ง น.น. ของ crucible ที่เพิ่มขึ้นมาคือค่าของของแข็งทั้งหมด แล้วนำไปเผาในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ $550 \pm 5^{o}C$ จนได้เถ้าขาว นำไปทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccator แล้วชั่งน้ำหนักที่เหลือ น้ำหนักของ crucible ที่หายไปคือค่าของของแข็งระเหย

4.5.4 การวิเคราะห์หาค่า ทีเคเอ็น, ฟอสฟอรัส, โปตัสเซียม (TKN, P,K) ตามวิธีของ Standard Method the Examination of Water and Waste Water (1975)

4.5.5 องค์ประกอบของก๊าซ

สำหรับปริมาณมีเทนที่มีอยู่ในองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Orsat Gas Analyzer ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 Orsat Gas Analyzer