บทที่ ๔

การวางแผนการวิจัย

๔.๑ แผนการทดลอง (Experimental Design)

การวิจัยแบ่งออกเป็น ๒ ส่วน คือ

- ที่อุณหภูมิปรกติ (Ambient Temperature)
- ที่อุณหภูมิสูง (High Temperature)

ตามภาพที่ ๔ สำหรับถังหมักที่ ๑ นั้นได้ออกแบบมาใช้สำหรับการทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ แต่เพื่อความเหมาะสมจึงเริ่มทำการทดลองที่อุณหภูมิปรกติก่อน โดยทำการทดลองที่ระยะเวลาในการหมักเท่ากับ ๒๕ วัน และรับอัตราการจ่ายสารอินทรีย์เท่ากับ ๑.๔๔ kg VS/m^3.d เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ (Steady state) และทำการเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จึงเริ่มเพิ่มอุณหภูมิไปเป็น ๓๕° c ๓๘° c , ๔๓° c ๔๕° c และ ๕๐° c ตามลำดับ

ส่วนถังหมักที่ ๒ นั้นทำการทดลองที่ระยะเวลาในการหมักเท่ากับ ๑๕ วัน และที่อุณหภูมิปรกติเช่นเดียวกัน โดยรับอัตราการจ่ายสารอินทรีย์เท่ากับ ๓.๑kg VS/m^3. d เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ (Steady state) และทำการเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จึงทำการลดระยะเวลาในการหมัก (Detention time) ลงเหลือ ๑๐ วัน และรับอัตราการจ่ายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น ๔.๗ kg VS/m^3 day ทำการทดลองต่อไปจนระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลย์จึงเสร็จสิ้นการทดลองทั้งหมด

๔.๒ วิธีเริ่มทำการทดลอง

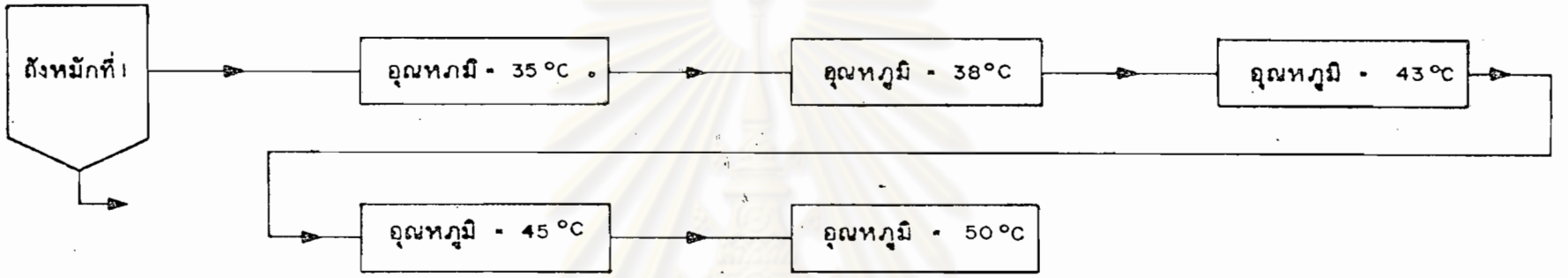
๔.๒.๑ การทดลองส่วนที่ ๑

เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการนำขยะมาย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ (Organic loading rate) และระยะเวลาในการหมักต่าง ๆ กัน ดังนี้

การทดลองสำหรับถังหมักที่ 1

ทำการทดลองที่ HRT = 25 วัน

อุณหภูมิ 27.6 °C



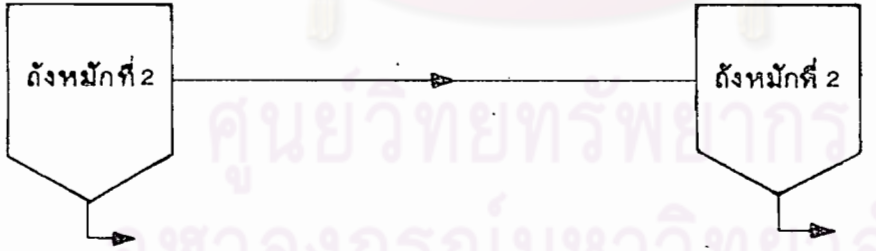
การทดลองสำหรับถังหมักที่ 2

ทำการทดลองที่ HRT = 15 วัน

อุณหภูมิ 27.6°C

ทำการทดลองที่ HRT = 10 วัน

อุณหภูมิ 27.6 °C



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ ๙ แสดงแผนการทดลอง (EXPERIMENTAL DESIGN)

– อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ที่ ๑.๘๘ kg VS/m^3.day, 3.1 kg/m^3.day
4.7 kg VS/m^3.day

– ระยะเวลาในการหมักที่ ๒๕, ๑๕ และ ๑๐วัน

ในขั้นแรกของการทดลองจะให้ถังหมักทั้งสองเริ่มต้น (Start up) พร้อมกัน โดยนำเอาสลัดจ์ (Sludge) จากถังหมักของโรงกำจัดน้ำเสียห้วยขวางมาเป็น seed เพื่อการเริ่มต้น วิธีการก็คือใส่ seed ลงไปในถังหมักทั้งสองในปริมาตรที่ต้องการ (Effective Volume) ซึ่งเท่ากับ ๕๐ ลิตร การเริ่มต้นโดยใช้ seed ในปริมาณมากเช่นนี้ จะช่วยให้ระบบปรับตัวได้รวดเร็วและง่ายขึ้น เมื่อใส่ seed เรียบร้อยแล้วจะต้องตรวจดูจนแน่ใจว่าถังหมักไม่มีการรั่วซึม หลังจากนี้ก็จะต้องรอให้แบคทีเรียภายในถังหมักแข็งแรงขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นและองค์ประกอบของก๊าซ ที่จะเป็นตัวแสดงให้เห็นว่าในถังหมักมีแบคทีเรียอยู่สองจำพวกแล้วคือ Acids formers และ Methane formers จึงเริ่มใส่ขยะที่เตรียมไว้เข้าไปในอัตรา ๑.๘๘ kg VS/m^3.d โดยควบคุมให้มี HRT เท่ากับ ๒๕ วัน ทั้ง ๒ ถัง เมื่อปริมาณก๊าซเกิดมากขึ้น จึงค่อย ๆ เพิ่มอัตราการจ่ายสารอินทรีย์ (Organic loading) ให้แก่ถังหมักที่สองเป็น ๓.๑ kgVS/m^3.d และลด HRT ลงมาให้เหลือ ๑๕ วัน หลังจากนี้รอจนกว่าถังหมักเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ (Steady state) โดยการสังเกตุจากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น และการลดของของแข็งระเหย (Volatile solid) ที่ค่อนข้างคงที่หรือคงที่แล้ว จึงจะเริ่มเก็บผลการทดลอง สำหรับวิธีการลดระยะเวลาในการหมัก (Detention time) ของถังหมักที่สองจาก ๑๕ วัน ให้เหลือ ๑๐ วันนั้น ทำได้โดยการเพิ่มอัตราการจ่ายขยะเข้าสู่ถังหมักทีละน้อย (Digester feed volume rate) ดังนั้นอัตราในการจ่ายของแข็งระเหย (Volatile solid loading) จะต้องเพิ่มจาก ๓.๑ kgVS/m^3. day จนถึง ๔.๗ kg VS /m^3. day โดยการเพิ่มครั้งละประมาณ ๐.๓๑ kg VS/ m^3.day สำหรับการเพิ่มโหลดดิ้ง (Loading) แต่ละครั้งจะต้องใช้เวลาประมาณ ๑ สัปดาห์เพื่อสังเกตุดูความเปลี่ยนแปลงภายในถังหมัก ดังนั้นขั้นตอนในการลดระยะเวลาในการหมัก (Detention time) จาก ๑๕ วัน ให้เหลือ ๑๐ วัน จึงจำเป็นจะต้องใช้เวลาทั้งหมด ๖ สัปดาห์

๔.๒.๒ การทดลองส่วนที่ ๒

เป็นการ Acclimatize แบคทีเรียให้คุ้นเคยกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จากรายงานการวิจัยเกี่ยวกับวิธีการเพิ่มอุณหภูมิภายในถังหมักที่ได้ทำกันมาในต่างประเทศ (๑๑)(๑๕)(๑๙)(๔๕) พบว่าการที่จะเพิ่มอุณหภูมิในแต่ละช่วงจะต้องเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ คือประมาณ ๐.๕ ถึง ๑ องศาเซนติเกรดต่อวัน ซึ่งวิธีการนี้จะต้องใช้ระยะเวลานาน กว่าจะถึงอุณหภูมิที่ต้องการได้ แต่เนื่องจากประเทศไทยของเรานั้นในฤดูร้อนอุณหภูมิในช่วงกลางวันอาจจะสูงถึง ๓๕ องศาเซนติเกรด ก็น่าที่จะมีแบคทีเรียพวก Thermophilic แอบแฝงอยู่บ้าง ดังนั้น ระยะเวลาที่จะต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิก็ควรจะลดให้สั้นลงได้ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงแรก ๆ ครั้งละหลายองศา เพื่อเป็นการศึกษาถึงข้อสมมุติฐานนี้ แผนการเพิ่มอุณหภูมิจึงถูกกำหนดขึ้นมาดังต่อไปนี้คือ เพิ่มจากอุณหภูมิปรกติไปเป็น ๓๕ $^{\circ}$c ต่อจากนั้นก็เป็น ๓๘ $^{\circ}$c ๔๓ $^{\circ}$c ๔๕ $^{\circ}$c และ ๕๐ $^{\circ}$c ตามลำดับ และก่อนการเพิ่มอุณหภูมิแต่ละครั้งจะต้องรอให้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงคงที่เสียก่อน โดยที่ระบบยังคงทำงานที่ ๒๕ วัน และอัตราการจ่ายของแข็งระเหย (Volatile solid loading) เท่ากับ ๑.๘๘ kgVS/m^3.day ตลอดการทดลอง

๔.๓ <u>สารอาหาร</u> (Substrate)

ในตอนแรกของการทดลอง ได้นำเอาขยะที่ผ่านการบดแล้วจากโรงกำจัดขยะรามอินทรา มาประมาณ ๒๐ กิโลกรัม แล้วมาแยกดู พบว่าองค์ประกอบของขยะส่วนใหญ่เป็นพวกถุงพลาสติคที่บดขาดยุ่ย, เศษไม้ไผ่, เศษดิน, เศษแก้วกระเบื้องที่แตกละเอียด เศษยาง, เศษกระดาษและอื่น ๆ ที่ไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าเป็นอะไร หลังจากที่ได้คัดเอาสิ่งที่คิดว่าไม่สามารถจะย่อยสลายทางชีวะออกไปบางส่วนแล้ว จึงนำส่วนที่เหลือมาบดให้ละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ปรากฏว่าไม่สามารถจะบดให้ละเอียดได้ เพราะเนื้อขยะเหนียวและแข็งมาก รวมทั้งยังมีเศษกรวดและเศษแก้วอีกเป็นจำนวนมากที่ติดค้างอยู่ เกินความสามารถของเครื่องบดที่จะทำได้ ทำให้ไม่สามารถที่จะนำเอาขยะนี้มาใช้ในการทดลอง ต่อมาได้มีการเปลี่ยนแหล่งเก็บขยะใหม่โดยเก็บจากตลาดสดประชานิเวศน์ ๑ ซึ่งลักษณะที่พบโดยทั่วไปเป็นขยะเปียกมีความชื้นสูง องค์ประกอบส่วนใหญ่ก็คือเศษพืชผัก ผลไม้

เปลือกกล้วยและเปลือกผลไม้อื่น ๆ ทั้งนี้ไม่รวมเศษกระดาษและถุงพลาสติค เพราะจะคัดออกก่อนเสมอ

เมื่อได้ขยะมาแล้วก็จะนำมาสับให้ละเอียดด้วยมีดก่อน แล้วจึงนำมาบดด้วยเครื่องบดความเร็วสูง ในการบดนี้จะต้องเติมน้ำเข้าไปด้วยทุกครั้ง มิฉะนั้นจะไม่สามารถบดได้ เมื่อบดขยะจนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันแล้วก็จะนำมาหาความชื้น และของแข็งทั้งหมด (Total solid) รวมทั้งของแข็งระเหย (Volatile solid) ด้วย ต่อจากนั้นจะนำขยะที่เตรียมสำเร็จแล้วนี้มาเก็บไว้ในตู้เย็น เพื่อป้องกันปฏิกริยาทางชีวะเคมีที่จะเกิดขึ้น เพราะในการเตรียมแต่ละครั้ง จะเก็บไว้ใช้เป็นเวลาประมาณ ๑๐–๑๕ วัน เมื่อต้องการใช้ก็จะนำเอาขยะที่เตรียมไว้นี้ มาเจือจางด้วยน้ำประปาหรือน้ำร้อน ให้มีของแข็งทั้งหมด ๕ เปอร์เซนต์ ซึ่งจะใช้ค่านี้เป็นหลักตลอดการทดลอง หลังจากที่เจือจางขยะแล้วก็นำมาปรับพีเอชให้อยู่ระหว่าง ๗ โดยการใช้ โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)

<u>การป้อนสารอาหาร</u> (Substrate feeding)

ลักษณะการป้อนสารอาหารจะเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous) คือทุก ๆ เที่ยงวันจะดูดเอาสลัดจ์ภายในถังหมักออกมาในปริมาตรที่เท่ากับสารอาหารที่จะจ่ายเข้าไปในแต่ละวัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ HRT ของระบบ ตัวอย่างเช่น ที่ HRT ๑๕ วัน ปริมาตรที่แท้จริง (Effective volume) ของถังหมักเท่ากับ ๕๐ ลิตร ดังนั้น ในการจ่ายสารอาหารที่มีของแข็งทั้งหมด (Total solid) ๕ % เข้าไปในถังหมักแต่ละครั้ง จะต้องใช้ปริมาตรเท่ากับ ๓.๓ ลิตร และในขณะเดียวกันก็จะต้องดูดสลัดจ์ออกมาก่อน ๓.๓ ลิตร เช่นกัน

ตารางที่ 9 องค์ประกอบโดยทั่ว ๆ ไปของขยะในเขตกรุงเทพมหานคร

(Composition of a Typical Solid Wastes)

องค์ประกอบ	% ของน้ำหนักทั้งหมด	
	น้ำหนักขยะเปียก	น้ำหนักขยะแห้ง
กระดาษ	13.60	22.30
ผ้า	1.20	2.40
พืชผัก	60.0	32.40
ไม้	6.9	8.0
พลาสติค	5.9	10.50
ยางและหนัง	0.5	1.10
โลหะพวก Ferrous	2.0	4.80
โลหะพวก Non-Ferrous	0.1	0.30
แก้ว	1.8	4.60
หินและเซอรามิค	4.8	8.50
สิ่งอื่น ๆ		
ขนาดใหญ่กว่า 5 มม.	3.2	3.30
เล็กกว่า 5 มม.	2.3	1.80
น้ำหนักรวม	100 %	100 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑๐ คุณลักษณะทางเคมีของขยะบดที่ใช้สำหรับการทดลอง

(Chemical Charateristic of Garbage)

คุณลักษณะ	ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ๕%	
	ค่าเฉลี่ย	ช่วง
๑) ของแข็งระเหยทั้งหมด (Total Volatile solid); เปอร์เซนต์	๔๔.๐๖๒ ± ๑.๒๗๖	๔๒.๓๕ – ๔๖.๕๖
๒) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demamd); มิลลิกรัม/ลิตร	๖๒,๕๒๔ ± ๑๔๓๘	๕๔,๖๔๐ – ๖๔,๓๒๕
๓) ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen); มิลลิกรัม/ลิตร	๘๑๒ ± ๔๓.๘๔	๗๖๔ – ๘๗๐
๔) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 – N); มิลิกรัม/ลิตร	๒๓.๔๗ ± ๒.๓๒	๒๑.๐ – ๒๕.๖
๕) พีเอช (pH)	๕.๘๕ ± ๐.๔๐	๕.๒ – ๖.๕
๖)		
– คาร์บอน (Carbon); เปอร์เซนต์	๔๖.๒๘ ± ๐.๖๕	๔๕.๑๗ – ๔๖.๘๐
– ไฮโดรเจน (Hydrogen); เปอร์เซนต์	๖.๔๒ ± ๐.๗๘	๕.๖๔ – ๑๑.๔๘
– ไนโตรเจน (Nitrogen); เปอร์เซนต์	๑.๑๘ ± ๐.๐๖	๑.๐๒ – ๑.๒๐
๗) ค่าความร้อน (Heating Value); กิโลแคลอรี/กิโลกรัม	๓๘๔๔ ± ๑๔๐	๓๖๗๐.๔๐ – ๔๐๓๗.๖๐

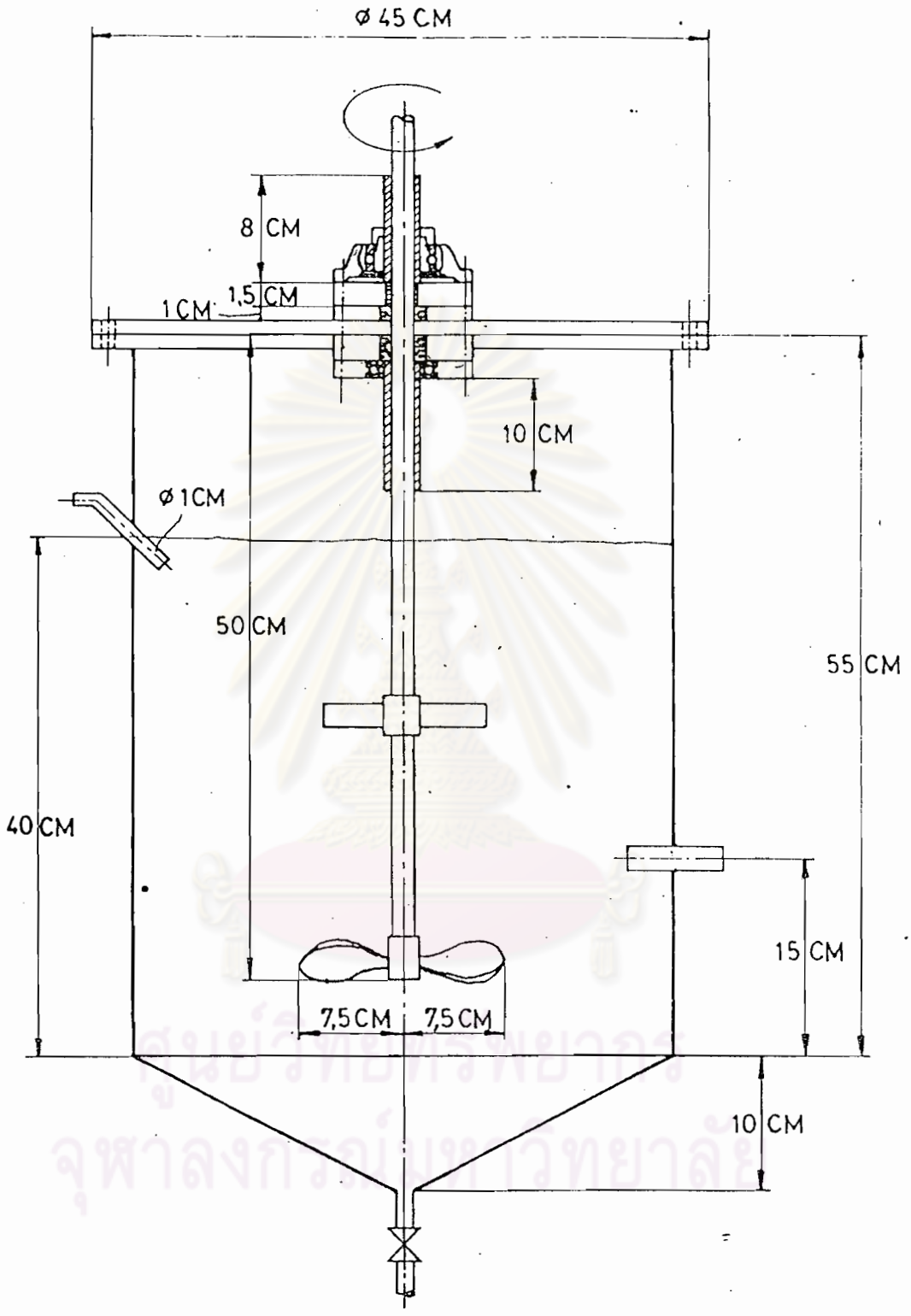
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๔.๔ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

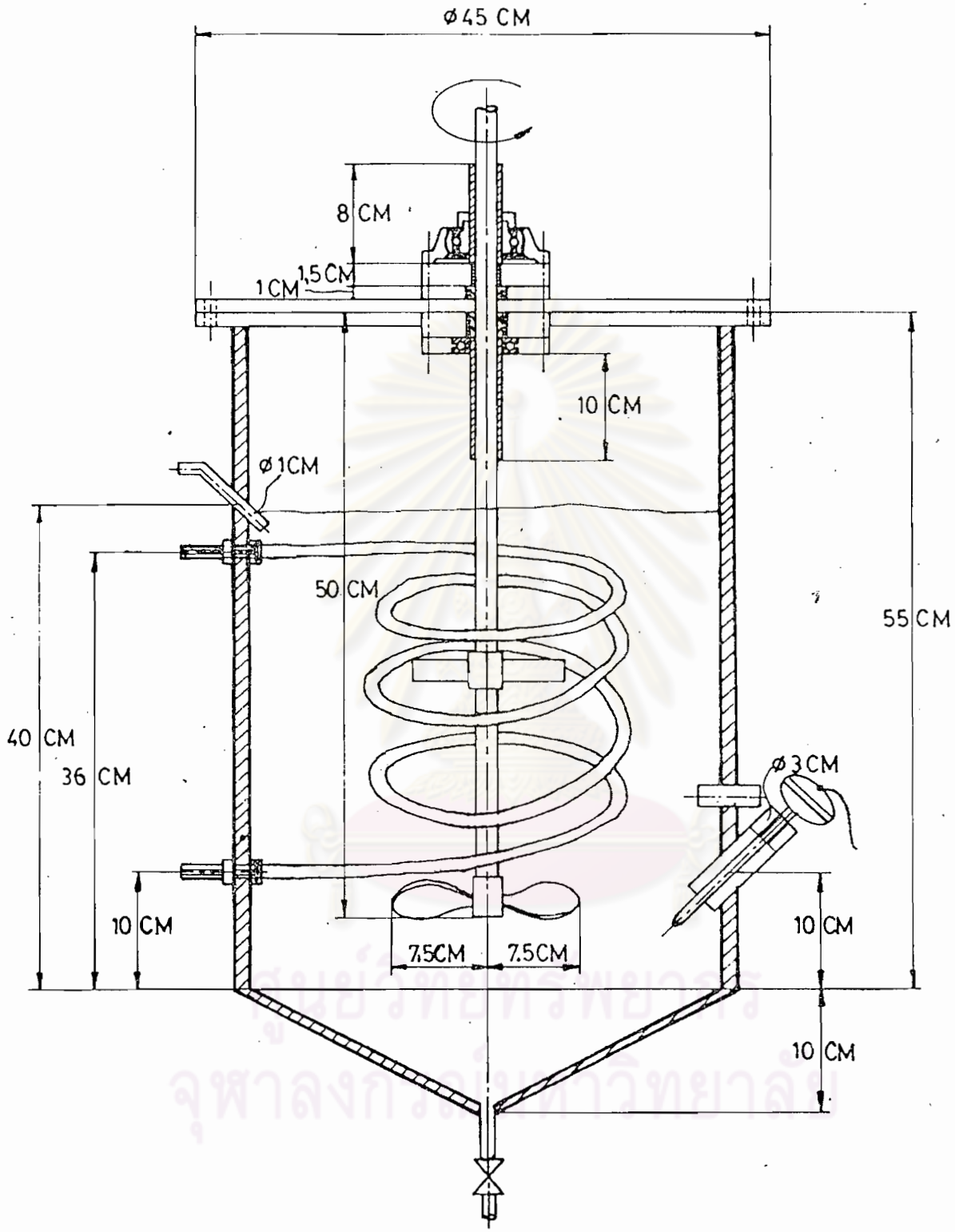
๔.๔.๑ ถังหมัก (Digester) สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ถังหมักจำนวน ๒ ชุด ทำด้วยสเตนเลส (Stainless steel) หนา ๒ มิลลิเมตร แต่ละถังมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๓๔ เซ็นติเมตร ลึก ๖๕ เซ็นติเมตร มีปริมาตรที่แท้จริง ๕๐ ลิตร โดยแบ่งการทดลองออกเป็น ๒ ส่วน คือ ถังใบแรกใช้สำหรับการทดลองที่อุณหภูมิปรกติภายในห้อง (Ambient temperature) ภาพที่ ๑๐ ส่วนถังใบที่สองหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนา ๓ เซ็นติเมตร โดยรอบเพื่อใช้สำหรับการทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังหมัก ภาพที่ ๑๑ ฝาถังทำด้วยแผ่น พีวีซี (P.V.C) หนา ๒ ซม. เจาะรูขนาด ๓/๔ นิ้ว จำนวน ๑๖ รู ยึดติดกับหน้าจานของถังหมักด้วยน็อตขนาดเดียวกันยาว ๒ นิ้ว ส่วนสัมผัสระหว่างหน้าจานและฝาถังรองด้วยปะเก็น (Gasket) ยาง เพื่อป้องกันการรั่วของก๊าซที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบกวนสมบูรณ์ (Completely mixed) จึงจำเป็นต้องมีชุดสำหรับกวนของผสม (Mixed liqueur) ในถังหมัก ให้เป็นเนื้อเดียวกันอยู่ตลอดเวลา โดยที่เพลาของชุดกวนนี้ยังติดอยู่กับฝาถังของถังหมักด้วยลูกปืน ส่วนด้านล่างมีชุดประกอบเพลาลักษณะเป็นปลอกเพลายาว ๔ นิ้ว เพื่อป้องกันไม่ให้เพลาแกว่งขณะหมุน ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อ Mechanical seal และทำให้ก๊าซรั่วออกมาได้ ตัวเพลาทำด้วยแท่งสเตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว มีใบกวนเป็นชนิด Propeller ขนาดกว้าง ๑ นิ้ว ยาว ๓ $\frac{1}{2}$ นิ้ว ติดอยู่ที่ปลายเพลา ๑ ชุด และที่ระดับ ๑๕ นิ้ว สูงจากปลายเพลาอีก ๑ ชุด ใบกวนนี้สามารถถอดเข้าออกได้ และยึดติดในตำแหน่งที่ตั้งฉากกัน เพื่อลดปัญหาที่เกิดจาก Circular motion ตรงบริเวณคอเพลากับฝาถังป้องกันการรั่วซึมของก๊าซด้วย Mechanical seal โดยใส่ Seal นี้จำนวน ๒ อัน ไว้ทางด้านล่างของฝาถัง ทั้งนี้เพื่อความแน่นอนในการป้องกันการรั่วซึม เพราะจะให้อากาศเข้าไปในถังหมักไม่ได้เลย ส่วน Seal อีก ๑ อัน ติดไว้ส่วนบนของฝาถัง เพื่อป้องกันจารบีที่ใช้ในการหล่อลื่นลูกปืนชุดขับเคลื่อนไม่ให้ไหลเข้าไปภายในถังหมัก

ชุดส่งกำลังของเครื่องกวนใช้มอเตอร์ขนาด ๑/๔ แรงม้าหมุนด้วยความเร็ว ๑,๔๐๐ รอบต่อนาที ทำการลดความเร็วรอบโดยใช้ Pulley ขนาด ๑๖ นิ้ว แล้วส่งถ่ายกำลังไปยังปลายเพลาด้านบนของชุดกวน โดยใช้สายพานรูปตัววี (V-belt) ความเร็วรอบของชุดกวนภายในถังหมักประมาณ ๑๒๐ รอบต่อนาที



ภาพที่ ๑๐ ถังหมักที่ ๑ (DIGESTER NO. 1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ๑๑ ถังหมักที่ ๒ (DIGESTER NO·2)

๔.๔.๒ เครื่องตั้งเวลา (Timer)

ใช้ในการควบคุมเวลาการทำงานของชุดกวน โดยจัดตารางการทำงานไว้ดังนี้คือ ให้เครื่องกวนทำงาน ๓ ชั่วโมง หยุดพัก ๑ ชั่วโมง เพราะฉะนั้นในเวลา ๑ วัน เครื่องกวนจะทำงาน ๑๘ ชั่วโมง หยุดพัก ๖ ชั่วโมง ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้มอเตอร์ทำงานหนักเกินไป และเพื่อยืดอายุการทำงานของ Mechanical seal ไม่ให้เสียดสีกับดอเพลาจนร้อนเกินไป สำหรับเครื่องตั้งเวลาที่ใช้ในการทดลองนี้ ยี่ห้อ KAWAMURA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD

๔.๔.๓ อุปกรณ์พิเศษสำหรับชุดถังหมักที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง

ก) ถังน้ำร้อน (Hot water tank) สำหรับผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของส่วนผสมในถังหมัก ขนาดของถังน้ำร้อนนี้มีความจุน้ำประมาณ ๔๐ ลิตร ใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้า (Electrical Heater) กำลัง ๖๕๐ วัตต์ เป็นตัวให้กำเนิดความร้อน น้ำร้อนที่ผลิตขึ้นมานี้จะถูกสูบผ่านเข้าไปในคอยล์ความร้อน ที่จมอยู่ภายใต้ของเหลวในถังหมัก เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของคอยล์กับของเหลวภายในถังหมัก

ข) ปั๊มน้ำร้อน (Hotwater pump)

เป็นปั๊มหอยโข่ง (Centrifugal pump) ประกอบด้วยชุดควบคุมความเร็ว (Variable speed controller) เพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำร้อน ทั้งยังเป็นการลดแรงดันของน้ำร้อนด้วย

ค) คอยล์ความร้อน (Heating coil)

ทำด้วยทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๓/๘ นิ้ว ยาว ๙ เมตร ขดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๑๒ นิ้ว มัดติดกับถังหมักด้วยเกลียวต่อ (Union) ช่วงระหว่างขดใช้แท่งพีวีซี เจาะเป็นรูจับยึดไว้เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือน

ง) ชุดควบคุมอุณหภูมิภายในถังหมัก (Thermostat and Thermometer)

เนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิต่อการหมักแบบไร้ออกซิเจน การควบคุมอุณหภูมิให้คงที่และเที่ยงตรงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้น Thermometer และ Thermostat ที่ใช้ จึงเลือกชนิดที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำ คือประมาณ± ๑ % ยี่ห้อ RK_c รุ่น PF-4 โดยอุปกรณ์ทั้งสองนี้อยู่ในชุดเดียวกัน

๔.๔.๔ ปั๊มสำหรับป้อนสารอาหาร (Substrate feed pump)

ในการที่จะป้อนสารอาหารเข้าสู่ถังหมักนี้ จำเป็นจะต้องใช้ปั๊ม เพราะว่าระบบอยู่ภายใต้ความดัน ปั๊มที่ใช้เป็นชนิด Peristaltic pump ยี่ห้อ Master Flex No. P- 7546-00 สามารถปรับความเร็วรอบได้จาก ๓๐ ถึง ๖๐๐ รอบต่อวินาที อัตราการจ่ายตั้งแต่ ๑.๘ ถึง ๒๒๘๐ มิลลิลิตรต่อนาที

๔.๔.๕ ปั๊มสำหรับดูดสลัดจ์ (Sludge pump)

สลัดจ์จะถูกดูดออกทางจุดกึ่งกลางของถังหมัก ก่อนที่จะมีการป้อนสารอาหารเข้าไปในแต่ละวัน ปั๊มที่ใช้เป็น Peristaltic pump ยี่ห้อ WATSON MARLOW

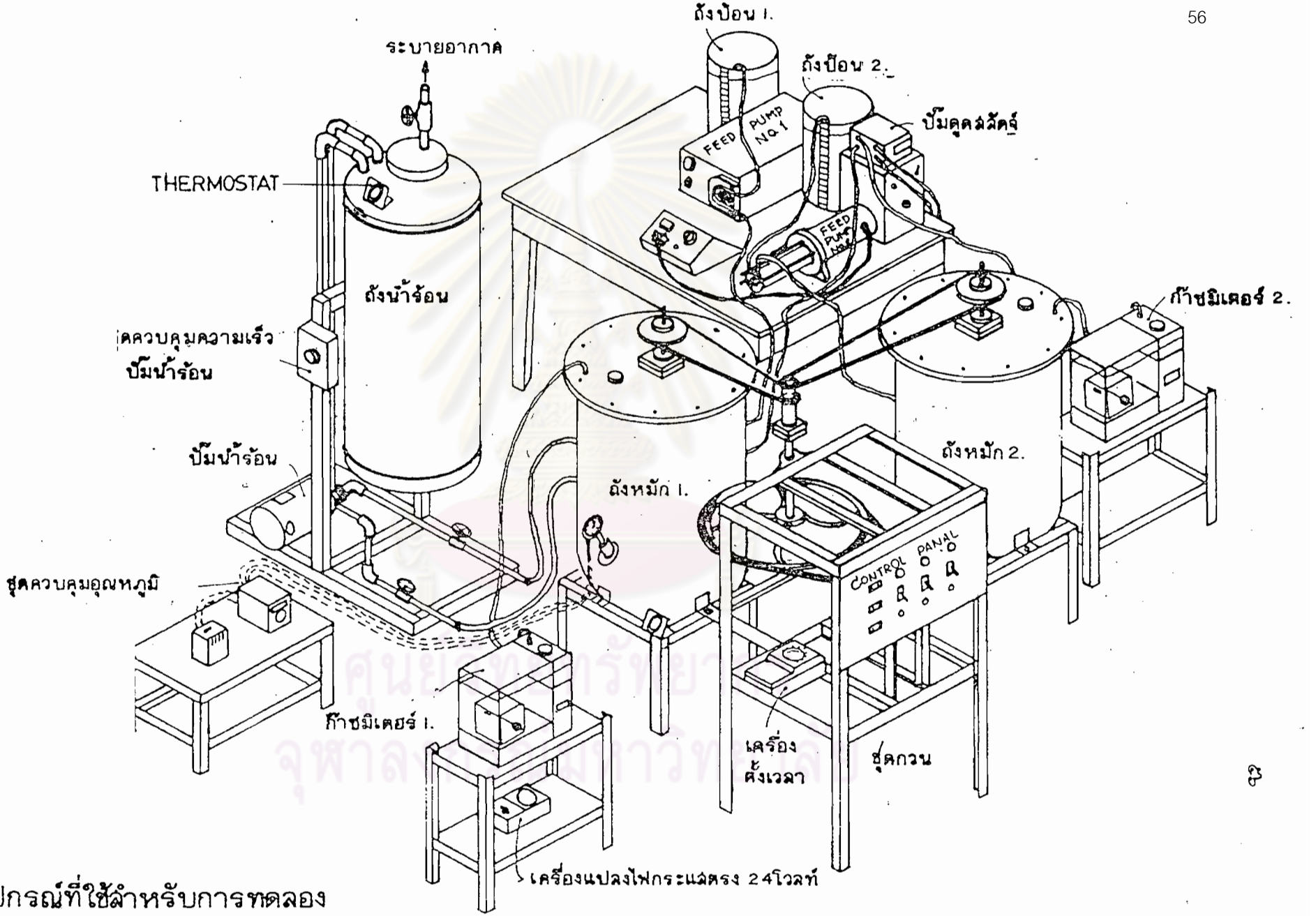
๔.๔.๖ เครื่องบดขยะ (Blender)

ใช้สำหรับบดขยะที่ผ่านการสับมาแล้ว ให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถปรับความเร็วได้ ๒ จังหวะ คือ ช้ากับเร็ว ยี่ห้อ WARNING

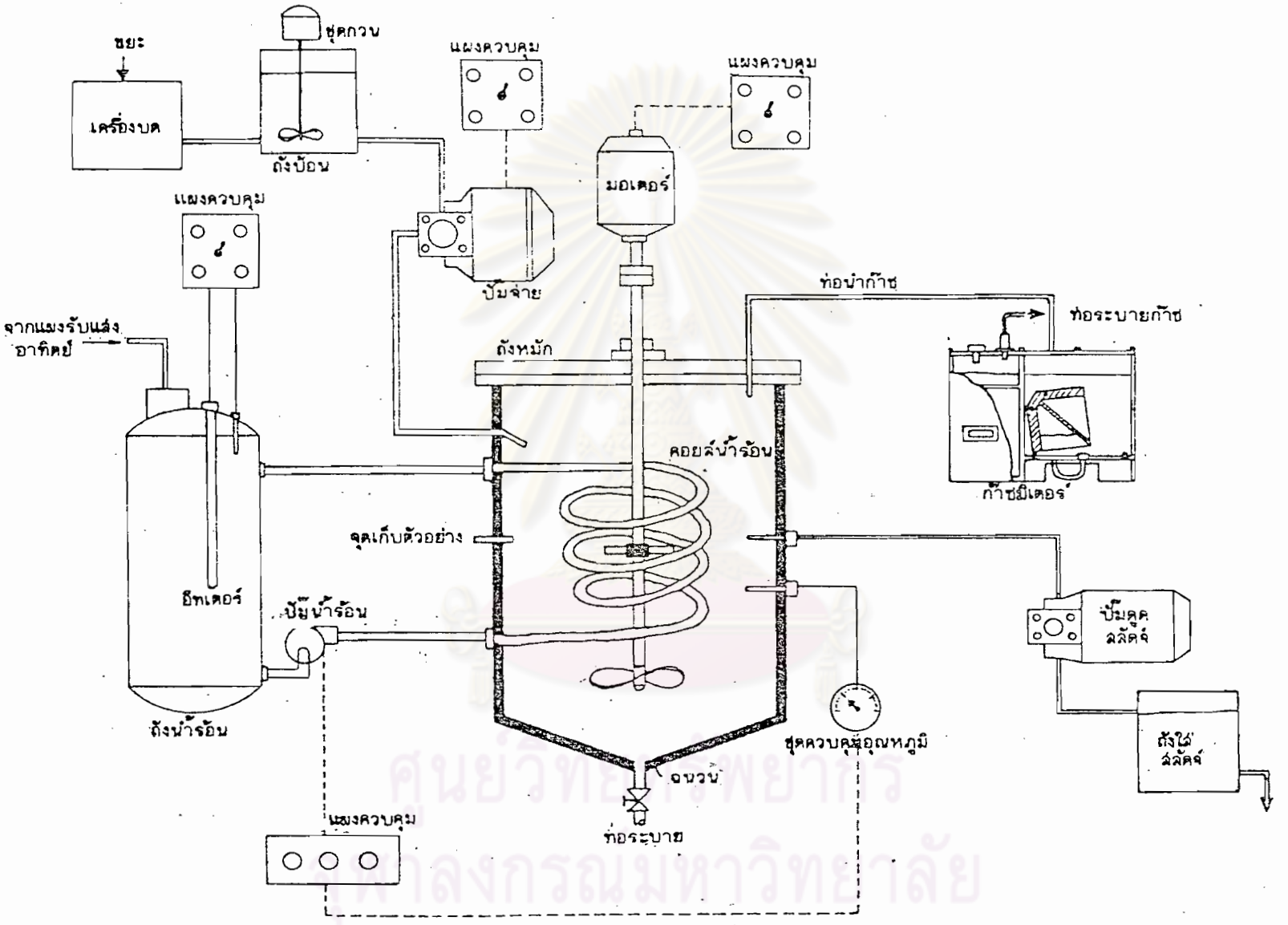
๔.๔.๗ ก๊าซมิเตอร์ (Gas Meter)

เครื่องนี้จะจัดผลรวมของปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันแล้วแสดงออกมาเป็นตัวเลขบนเครื่องวัด โดยก๊าซที่เกิดขึ้นจะถูกส่งมาตามสายยางที่ฝาของถังหมัก เข้ามาทางด้านล่างของเครื่องวัดและเมื่อก๊าซผ่านออกจากเครื่องวัดแล้วก็จะถูกระบายทิ้งออกสู่ภายนอก ดังแสดงในภาพที่ ๑๓

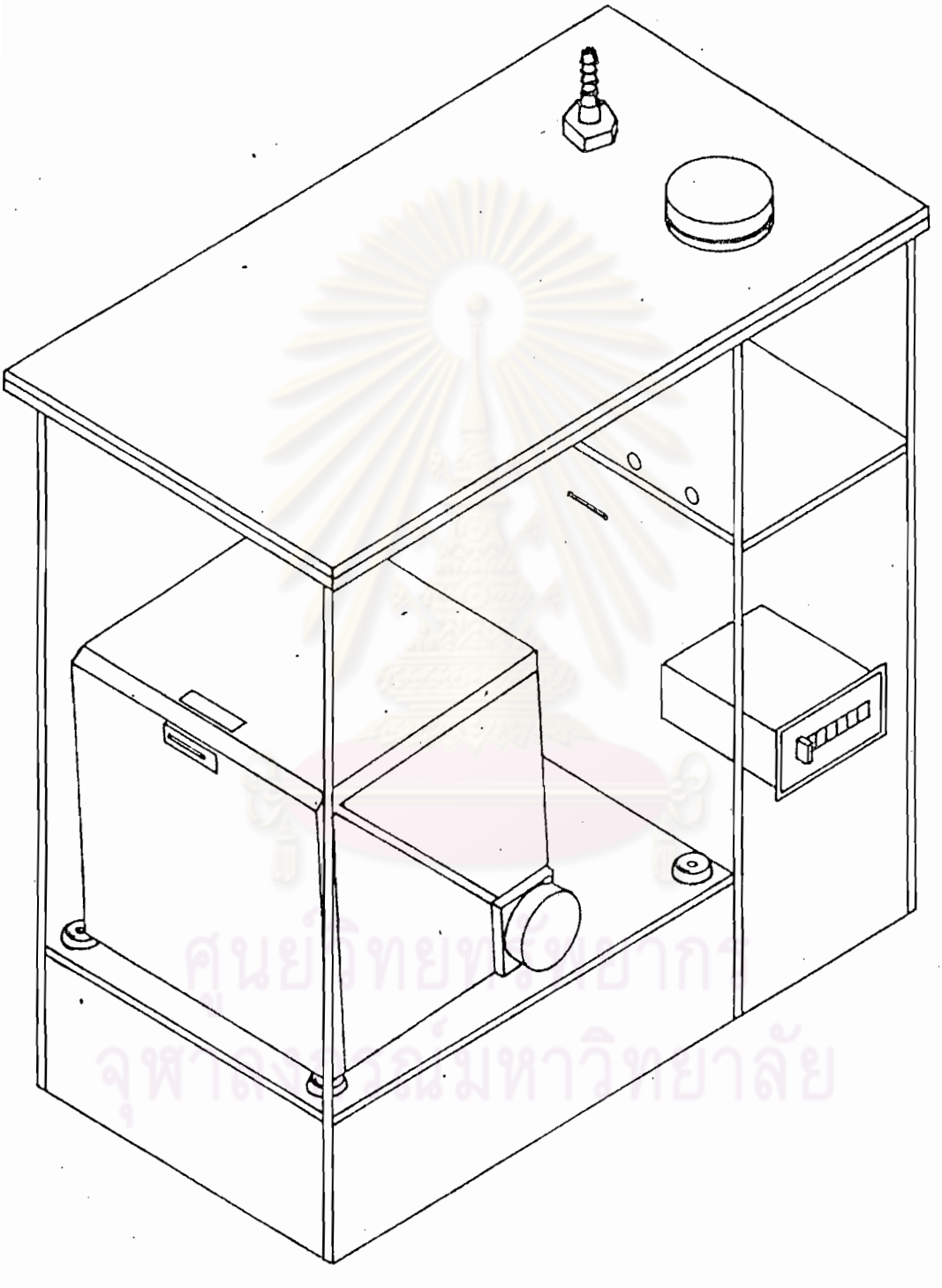
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ๑๒ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง



ภาพที่ ๑๓ การทำงานและการควบคุมระบบการหมักไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง



ภาพที่๓๔ ก๊าซมิเตอร์ (GAS METER)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๔.๕ วิธีการวิเคราะห์

๔.๕.๑ พีเอช (pH)

การวัดค่าเอชของสลัดจ์ภายในถังหมักจะทำพร้อมกับการหาค่าความเป็นด่าง และปริมาณของกรดโวลาไทล์ โดยการอ่านค่าพีเอช จะทำทันทีหลังจากที่ตัวอย่างถูกดูดออกมาจากถังหมัก สำหรับเครื่องมือที่ใช้คือ Beckman Electromate pH Meter

๔.๕.๒ ค่าความเป็นด่างและกรดโวลาไทล์ (Alkalinity and Volatile acid)

นำเอาสลัดจ์ที่ออกจากถังหมักมาเข้าเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็วรอบประมาณ ๗๒๐๐ rpm เป็นเวลา ๑๐ นาที หลังจากนั้นจึงนำเอาเฉพาะน้ำใสมาหาค่าความเป็นด่างโดยวิธีการ Direct Titration คือ ทิเทรต ตัวอย่าง ด้วยกรด H_2SO_4 0.02 N. ถึง พีเอช ๔ จดค่าที่ได้นำมาคำนวณค่าความเป็นด่างทั้งหมดสมดุลย์กับ $CaCO_3$ (Total Alkalinity as $CaCO_3$) หลังจากนั้นจึงทิเทรตตัวอย่างต่อจนถึงพีเอช ๓.๓ นำไปต้มให้เดือดเพื่อไล่กาซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเวลา ๒ – ๓ นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำให้ตัวอย่างมีพีเอช ๔ ตามเดิมด้วย NaOH ๐.๐๕ N ต่อจากนี้ทิเทรตต่อจนถึงพีเอช ๗ ค่าที่ได้นำมาคำนวณหาความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ในหน่วยของ มก./ล สมดุลย์กับ CH_3COOH

๔.๕.๓ ค่าของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหย (Total Solid and Volatile Solid)

ค่าของแข็งทั้งหมดสามารถหาได้โดยการนำเอาสลัดจ์มาประมาณ ๑๐๐กรัม ใส่ลงใน Crucible นำไปชั่งน้ำหนักด้วยตาชั่งไฟฟ้าให้ใกล้เคียง ๐.๐๑ กรัม หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ ๑๐๐ ± ๒° c เป็นเวลา ๒๔ ชั่วโมง ๑๐๐ ± ๒ °c

ค่าของแข็งระเหยหาได้โดยนำเอาสลัดจ์ที่ผ่านการอบแห้ง จากการหาค่าของแข็งทั้งหมดแล้วมาประมาณ ๓ ถึง ๕ กรัม นำไปชั่งหาน้ำหนักโดยให้มีความเที่ยงตรง ๑ มิลลิกรัม แล้วนำไปเผาในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ ๕๕๐°c ± ๕ °c หลังจากนั้น ๑ ชั่วโมง นำไปทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccator แล้วชั่งน้ำหนักที่เหลือ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๔.๕.๔ การวิเคราะห์หา ค่าซีโอดี,แอมโมเนีย -ไนโตรเจน,ทีเคเอ็น (COD, NH_3-N, TKN) ตามวิธีของ Standard Method the Examination of Water and Waste Water (1975)

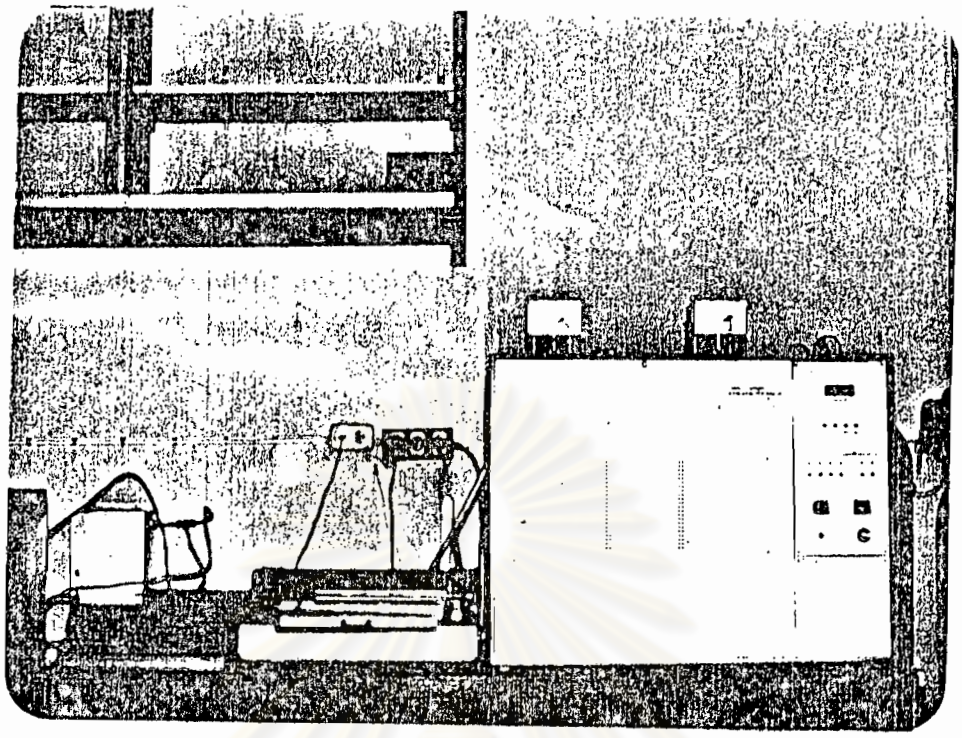
๔.๕.๕ การวิเคราะห์หา ค่าคาร์บอน,ไนโตรเจน,ไฮโดรเจน โดยใช้เครื่อง CHN Analyzer ดังแสดงในภาพที่ (๑๕)

๔.๕.๖ การวิเคราะห์หา ค่าความร้อน (Calorific Value) ใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ดังแสดงในภาพที่ (๑๖)

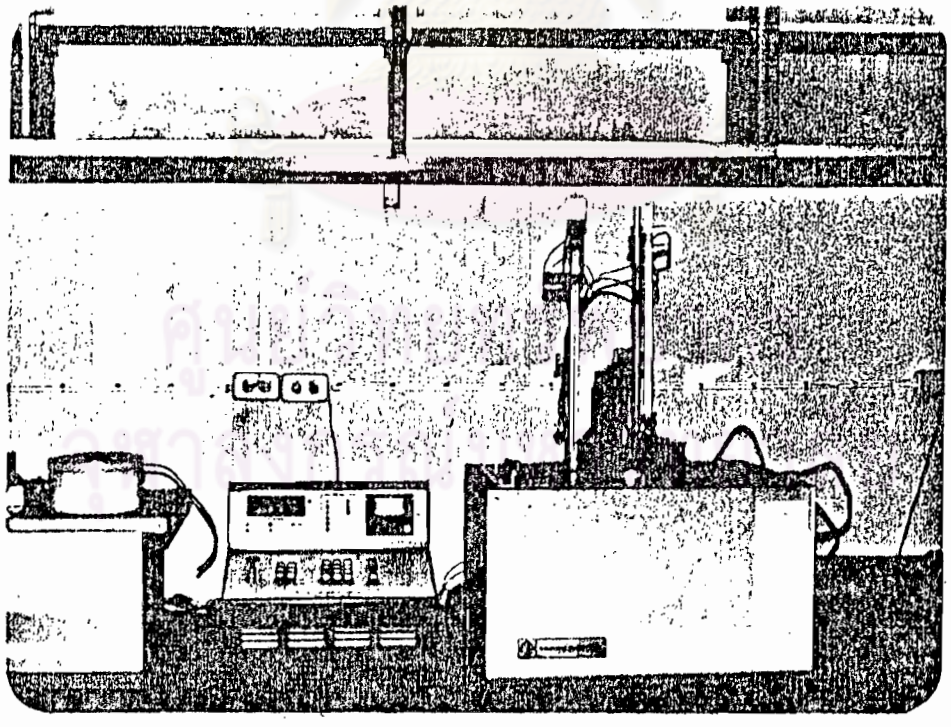
๔.๕.๗ องค์ประกอบของก๊าซ (Gas Composition)

สำหรับปริมาณมีเทนที่มีอยู่ในองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น สามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Orsat Gas Analyzer ดังแสดงในภาพที่ ๑๗

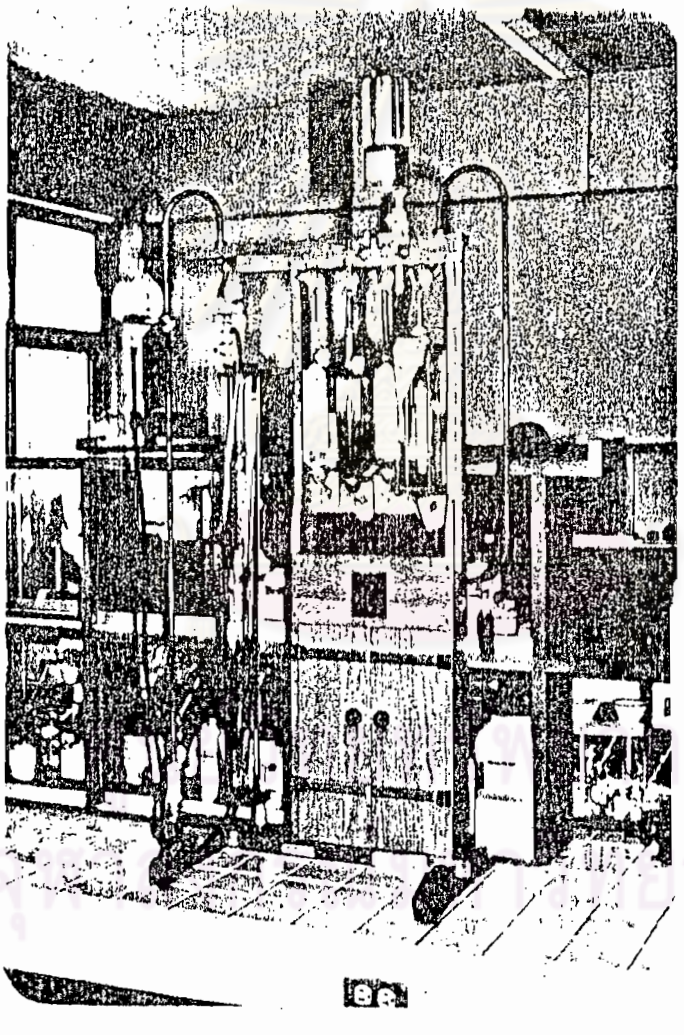
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ (๑๕) เครื่องมือวิเคราะห์หาคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน



ภาพที่ (๑๖) เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์



ภาพที่ ๑๗ เครื่อง Orsat Gas Analyzer