บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์

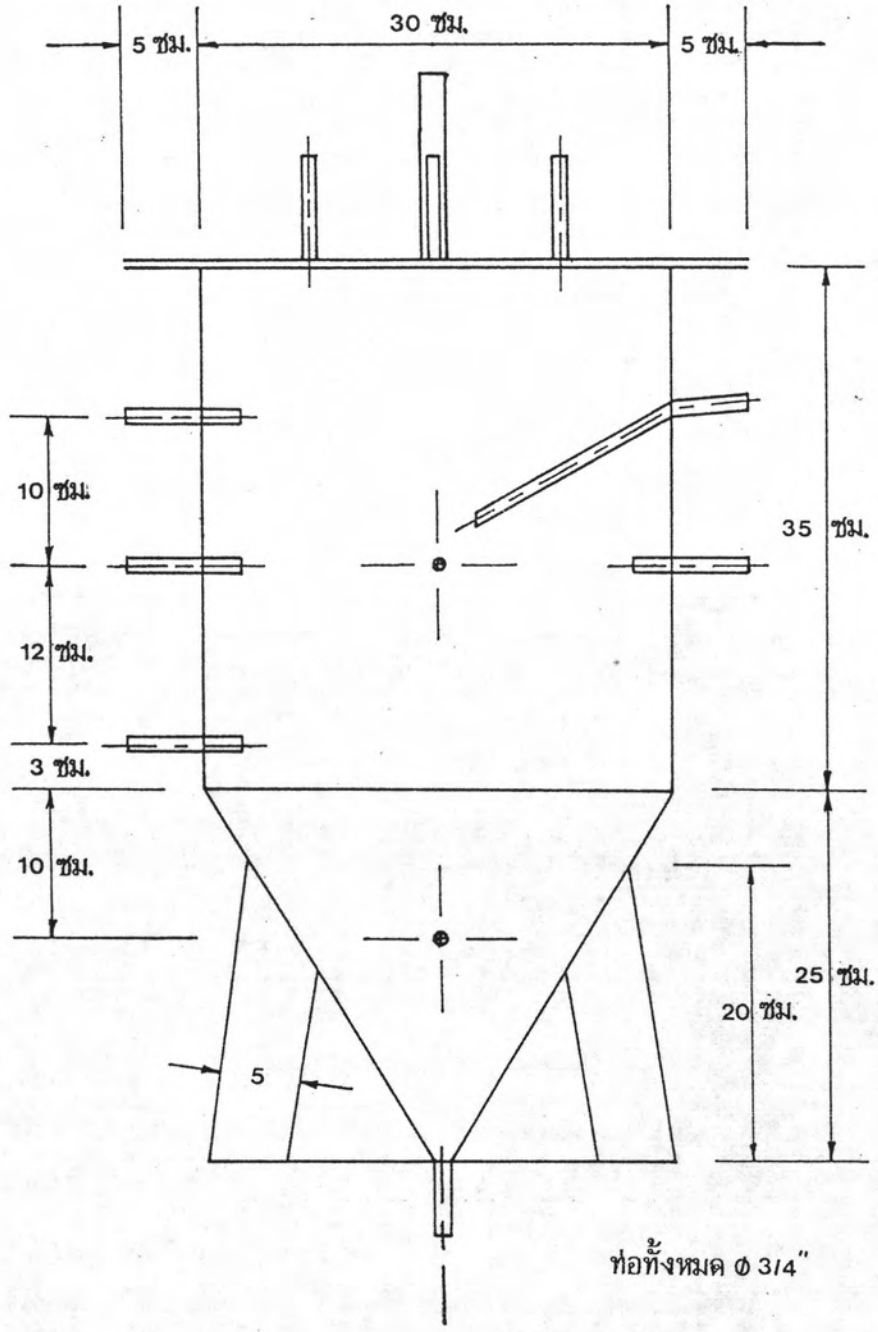
1. ถังหมักกรด (acid reactor) ดังรูปที่ 3.1 ทำด้วยพลาสติกพีวีซีหนา 3 มิลลิเมตร หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 30 เซ็นติเมตร ฐานเป็นรูปทรงปิรามิดหงาย ความสูงรวม 60 เซ็นติเมตร ปริมาตรรวมประมาณ 37 ลิตร มีช่องออกที่ระดับต่าง ๆ แต่ปริมาตรที่ใช้ในการทดลองคือ 19.1 ลิตร ฝาปิดมีปะเก็นยางกันและปิดขอบด้วยกาวซิลิโคนเพื่อป้องกันการรั่วซึม

2. ถังตกตะกอน (clarifier) ดังรูปที่ 3.2 ทำด้วยพลาสติกอะครีลิค หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 15 เซ็นติเมตร ฐานเป็นปิรามิดหงายมีความสูงรวม 55 เซ็นติเมตร ฝาปิดมีปะเก็นยาง ด้านข้างถังจะมีท่อสามารถระบายน้ำออกที่ระดับต่าง ๆ ปริมาตรโดยรวมประมาณ 9 ลิตร

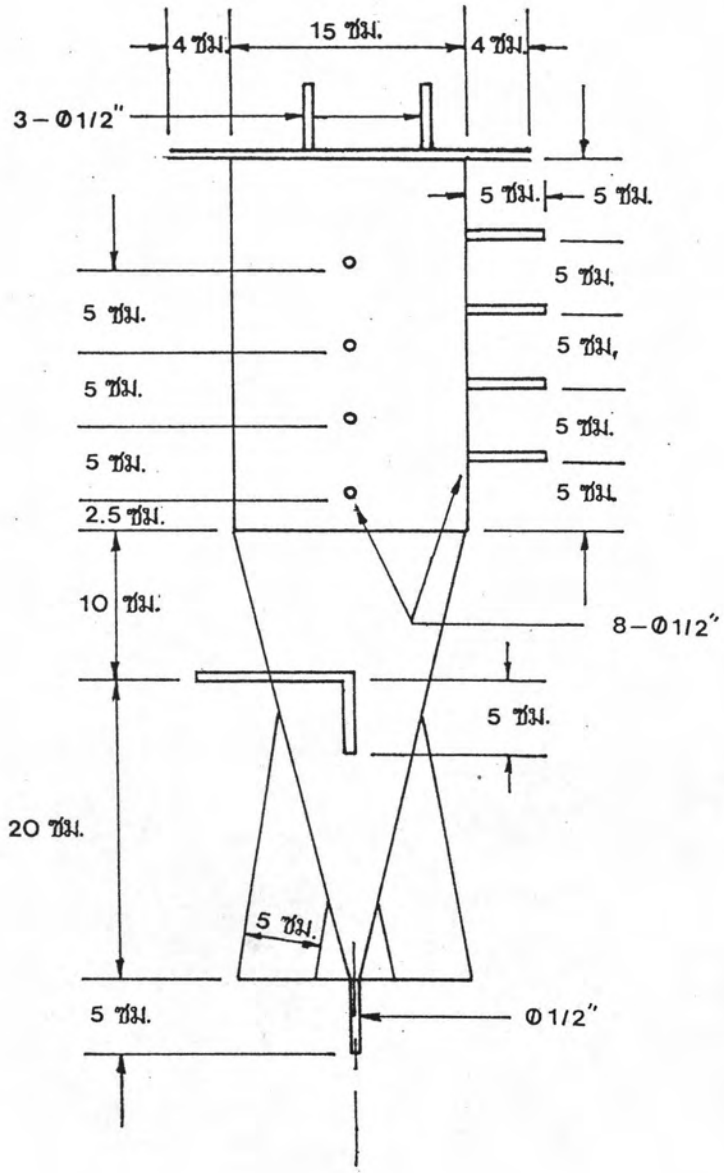
3. ถังหมักก๊าซ (methane reactor) ดังรูปที่ 3.3 ถังเหล็กรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 58 เซ็นติเมตร สูง 90 เซ็นติเมตร ปริมาตรทั้งหมดประมาณ 238 ลิตร มีท่อระบายน้ำออกด้านข้างที่ปริมาตร 177 ลิตร

4. ปั๊มป้อนสารอาหารและเวียนกากตะกอน (Substrate feed and sludge recirculation pump) ในการป้อนสารอาหารเข้าถังหมักกรดและนำกากตะกอนจากด้านล่างถังตกตะกอนกลับสู่ถังหมักกรด ใช้ปั๊มสายรีดยี่ห้อ MASTERFLEX Catalog No.7554-00 และใช้สายยางซิลิโคน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7 มิลลิเมตร สำหรับการป้อนสารอาหารเข้าสู่ถังหมักก๊าซจะใช้ปั๊มไดอะแฟรมยี่ห้อ IWAKI ต่อด้วยสายยางซิลิโคนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 3 มิลลิเมตร

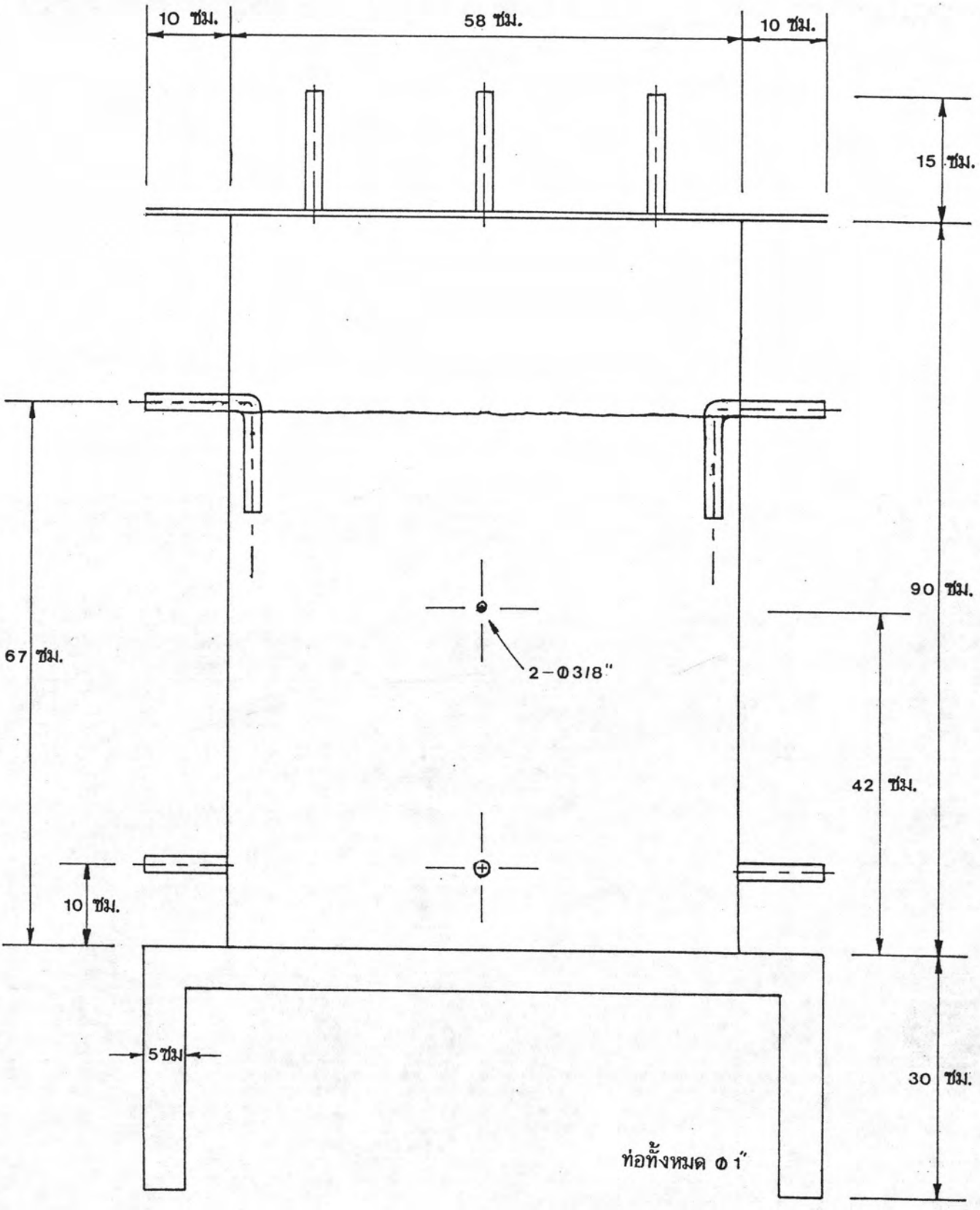
5. ปั๊มหมุนเวียน (Recirculation pump) การหมุนเวียนสารจากด้านล่างถังหมักกรดและถังหมักก๊าซให้กลับเข้าที่บริเวณกลางถังเพื่อให้สารเป็นเนื้อเดียวกันนั้น ใช้ปั๊มหอยโข่ง



รูปที่ 3.1 ถังหมักกรด (สมชาย, 2530)



รูปที่ 3.2 ถังตกตะกอน (สมชาย, 2530)



รูปที่ 3.3 ถังหมักก๊าซ

ยี่ห้อโตชิบา ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 1/4 แรงม้า หมุนด้วยความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที

6. มอเตอร์กวนสารอาหาร (Stirring motor) การกวนสารอาหารเพื่อให้เนื้อของสารอาหารที่จะป้อนเข้าถังหมักกรดมีความสม่ำเสมอ จะใช้ Induction motor ซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาดเล็กต่อกับเฟืองทดความเร็วรอบที่มีแกนเหล็กติดใบพัด เพื่อให้มีความเร็วประมาณ 100 รอบต่อนาที และในการตีตะกอนลอย (scum) ที่ผิวด้านบนของของเหลวภายในถังหมักกรด เพื่อป้องกันการอุดตันของท่อที่ผ่านของเหลวเข้าสู่ถังตกตะกอน และช่วยทำให้เกิดการผสมภายในถังหมักกรดดียิ่งขึ้นนั้น ก็จะใช้ Induction Motor ที่ต่อด้วยแกนเหล็กมีใบพัดติดที่ปลาย

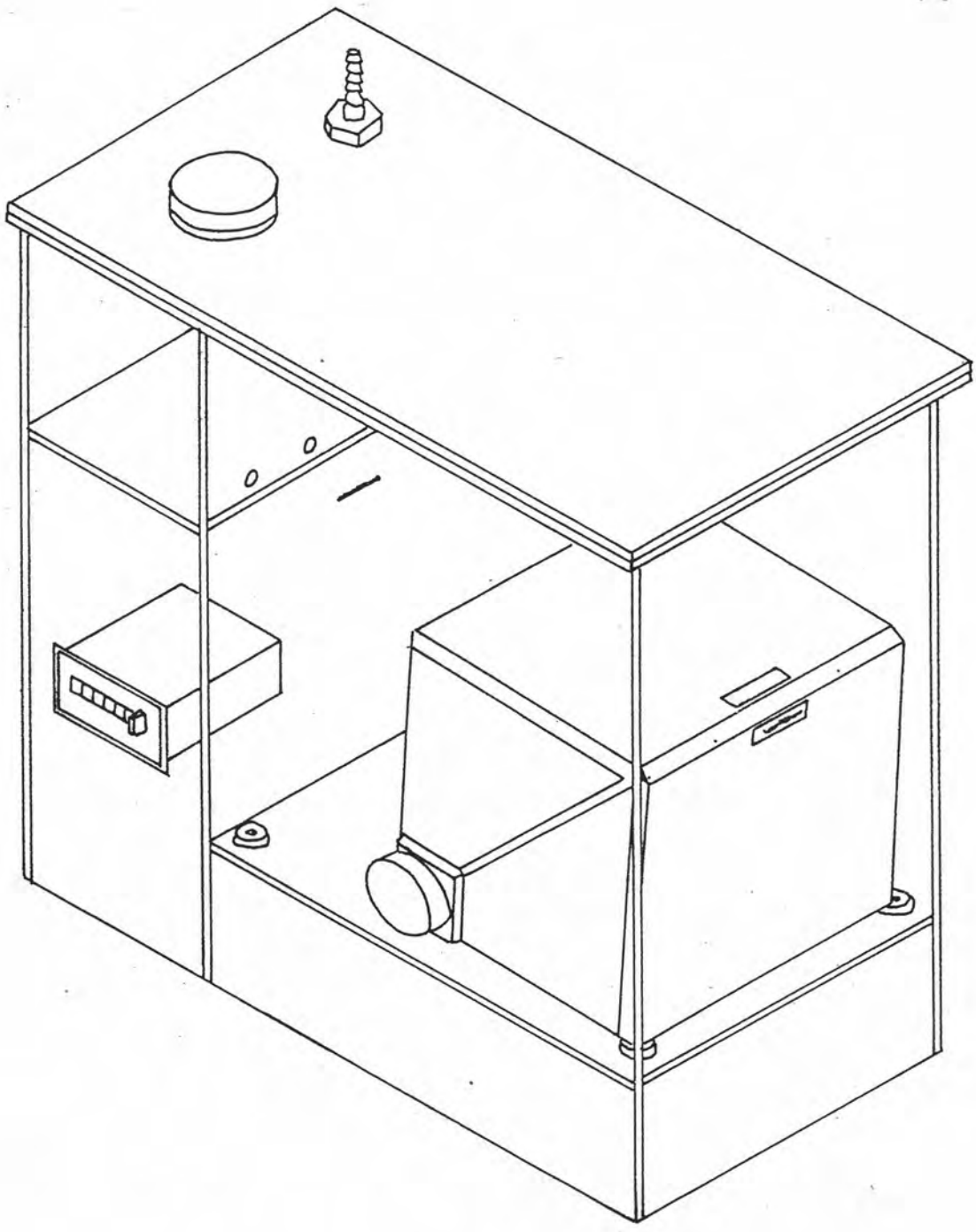
7. เครื่องบดขยะ (Blender) ภายหลังจากการคัดเลือกขยะแล้ว ขยะจะถูกบดให้เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อให้ง่ายต่อการป้อนเข้าสู่ถัง โดยการใช้เครื่องบดเนื้อขนาดเบอร์ 12 หมุนด้วยมอเตอร์ขนาด 1/3 แรงม้า

8. เครื่องตั้งเวลา (Timer) ในการควบคุมการทำงานของปั๊มป้อนสารอาหารและมอเตอร์กวนสารอาหารให้ทำงานตามเวลา เพื่อให้ได้อัตราการป้อนสารอาหารตามที่ต้องการและในการควบคุมเวลาทำงานของปั๊มหอยโข่งทุก ๆ 3 ชั่วโมงหยุดพัก 15 นาที จะใช้เครื่องตั้งเวลายี่ห้อ REX จำนวน 3 ตัว

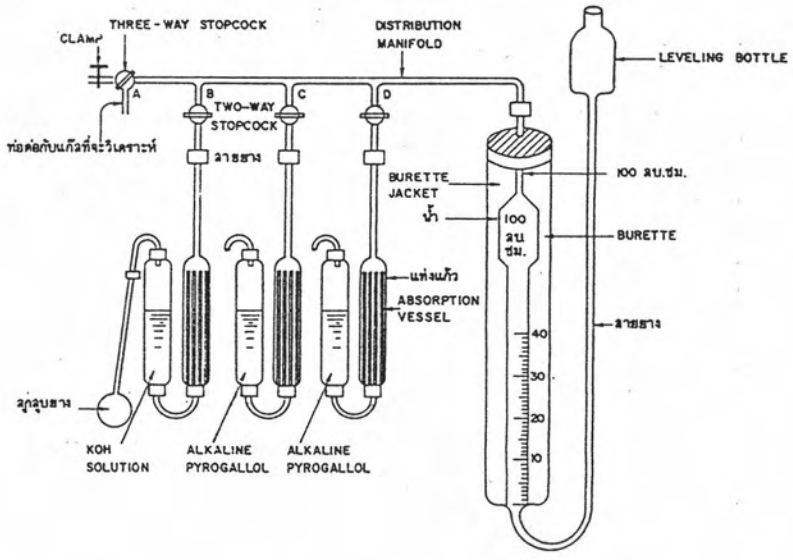
9. เครื่องวัดปริมาตรก๊าซ (Gas meter) รูปที่ 3.4 ก๊าซที่เกิดจากถังหมักก๊าซจะผ่านไปตามสายยางไปแทนที่น้ำเกลือในกระบอกปริมาตรที่มีความจุ 536 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร เมื่อก๊าซแทนที่น้ำจนได้ปริมาตร กระบอกก็จะหมุนไปเคาะกับสวิทช์ที่ต่อกับเครื่องนับจำนวนครั้ง ทำให้ทราบปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นได้

10. เครื่องวัดก๊าซออร์แสท (Orsat Gas Analyser) ใช้วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดขึ้น โดยนำก๊าซที่ผลิตได้ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร ไปผ่านสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณก๊าซที่ขาดหายไปก็จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (รูปที่ 3.5)

11. ก๊าซโครมาโตกราฟี ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซออกซิเจน (O_2) เครื่องมือที่ใช้ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-7AG คอลั่มแบบ MS-5A (molecular seive - 5A) อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เครื่องตรวจวัด



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดปริมาตรก๊าซ (ศักดิ์ชัย, 2527)



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดก๊าซแบบออร์แสท (ชงชัย พรรณสวัสดิ์ และ อุษา วิเศษสุมน, 2535)

TCD อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ก๊าซพาได้แก่ ก๊าซฮีเลี่ยม (He) และใช้ปริมาณก๊าซตัวอย่างในการฉีด 1 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

12. กล้องจุลทรรศน์ ใช้ในการบันทึกภาพลักษณะของเชื้อแบคทีเรียภายในถังหมักกรดและถังหมักก๊าซ กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BH2 กำลังขยาย 1,000 เท่า

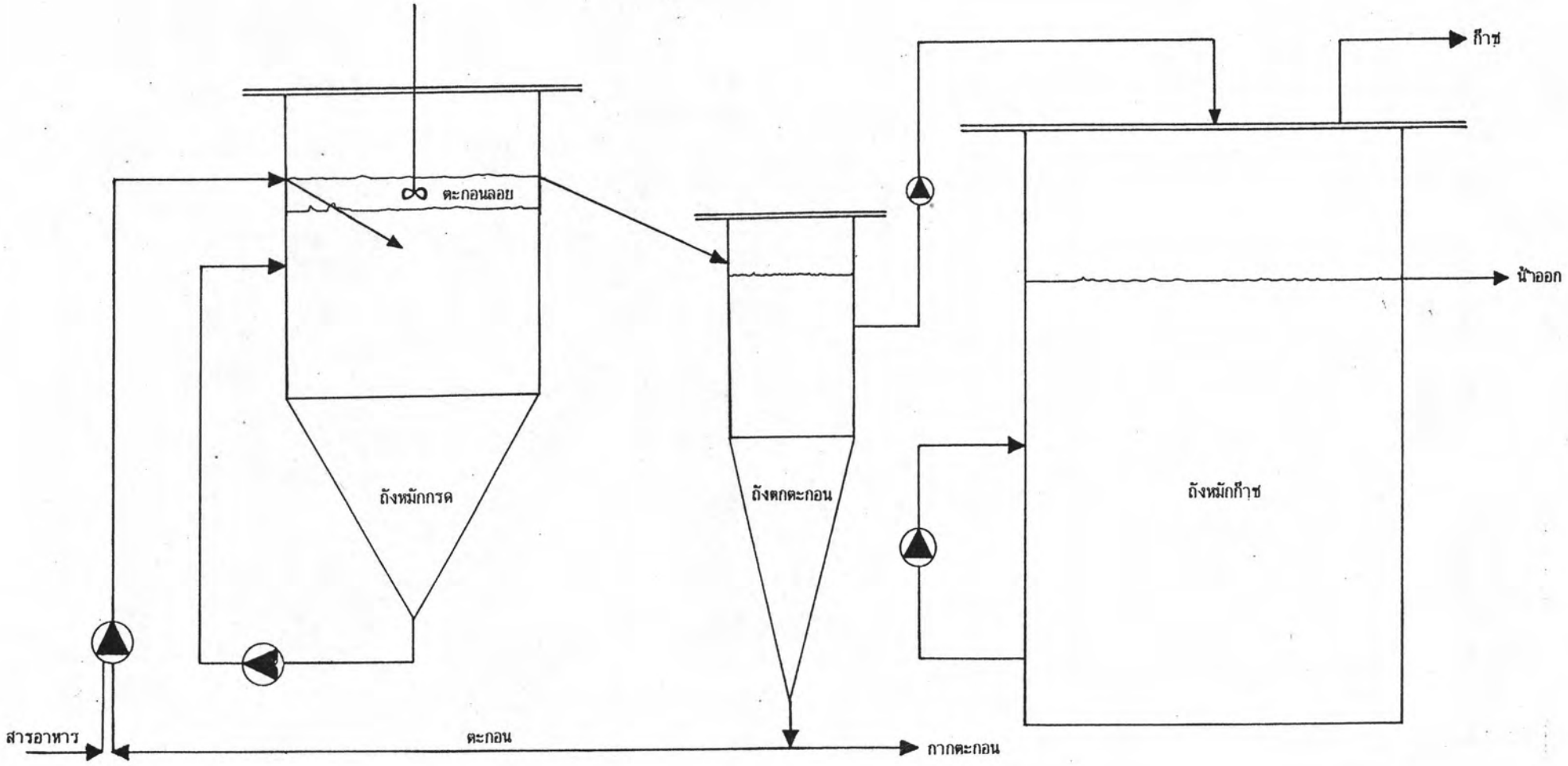
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>วิธีการทดลอง</u>

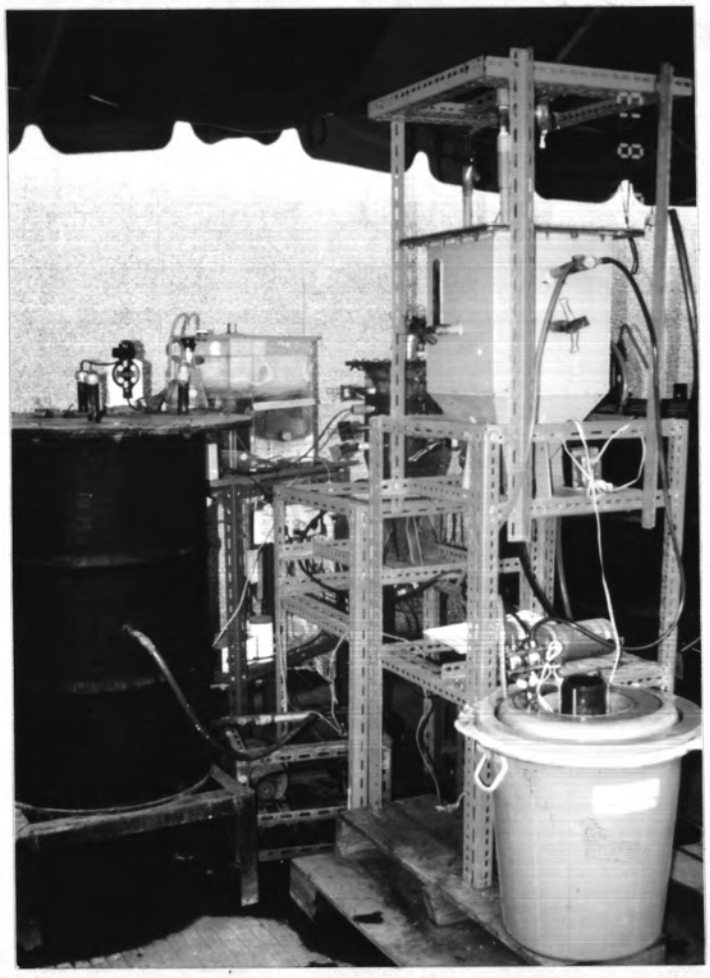
การกำจัดขยะสดโดยกระบวนการไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนนี้ ดำเนินการทดลองตามแผนผังในรูปที่ 3.6 โดยขยะสดที่เป็นสารอาหารจะถูกปั๊มเข้าถังหมักกรดแบบกึ่งต่อเนื่อง ภายในถังหมักกรดจะมีการเวียนตะกอนจากก้นถังเข้าที่กลางถัง และมีมอเตอร์ตีตะกอนลอยเพื่อป้องกันการอุดตันของท่อที่ระบายน้ำเข้าถังตกตะกอน น้ำใสส่วนบนของถังตกตะกอนจะถูกปั๊มต่อไปยังถังหมักก๊าซแบบกึ่งต่อเนื่องเช่นกัน โดยมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาเก็บกัก ซึ่งระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ของถังหมักก๊าซที่ทำการศึกษาคือ 10.2 15.1 และ 19.7 วัน ตามลำดับ สถานที่ตั้งของระบบการทดลองได้แก่ ที่ระเบียงชั้นสองของสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ลักษณะการติดตั้งระบบจะอยู่ในสภาพเปิดโล่ง 3 ด้าน และไม่มีการควบคุมอุณหภูมิภายนอก (แปรผันตามอุณหภูมิอากาศ) ดังแสดงในรูปที่ 3.7 สำหรับรายละเอียดของการทดลองแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมสารอาหาร

เก็บขยะจากตลาดสดสามย่านวันละประมาณ 3,000-5,000 กรัม คัดเลือกเอาเฉพาะขยะอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกผักสด ผลไม้ และดอกไม้ เช่น คะน้า ผักกาดขาว กระหล่ำ กะเฉด แตงกวา มะเขือ ชมพู่ ส้ม และดอกกุหลาบ เป็นต้น สำหรับเศษเนื้อ ถุงพลาสติก และหนังยาง จะถูกคัดออกเนื่องจากมีความเหนียวยากแก่การบดและก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันของท่อ ขยะสดที่คัดเลือกแล้วจะถูกแยกชนิด ชั่งน้ำหนัก และบดด้วยเครื่องบดให้ได้ขนาดเล็กลง เพื่อให้ง่ายต่อการป้อนเข้าถังหมักกรดและช่วยให้การย่อยสลายเป็นไปได้ดีขึ้น ขยะบดที่ได้จะทำการเตรียมใหม่เป็นประจำ และจะมีการเก็บสำรองบางส่วนไว้โดยแช่ในตู้เย็น



รูปที่ 3.6 ผังแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนสองขั้นตอน



รูปที่ 3.7 ระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนสองขั้นตอนในสภาพจริง

การเตรียมสารอาหารที่ใช้ในการทดลอง ทำโดยนำขยะบดมาเจือจางด้วยน้ำประปาในอัตราส่วน 1 ต่อ 8 ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่คงที่คือ มีค่าซีโอดีประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. ขั้นตอนการหมัก

นำสลัดจ์ (sludge) จากโรงกำจัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวางเพื่อเป็นเชื้อ (seed) ช่วยในการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียเริ่มต้น ทำให้ลดการสูญเสียเวลาในการเพาะเชื้อ โดยนำมาใส่ถังหมักกรดและถังหมักก๊าซประมาณเศษ 1 ส่วน 3 ของถัง จากนั้นป้อนสารอาหารเจือจางที่ยังมีความเข้มข้นค่อนข้างสูงเข้าถังหมักกรดและผ่านต่อไปยังถังหมักก๊าซ เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนและทำให้เชื้อแบคทีเรียเคยชินกับสารอาหารที่เป็นขยะสด ในระหว่างนี้ต้องตรวจวัดค่าพีเอช ค่าความเป็นด่าง และค่าความเข้มข้นของกรดระเหย ในถังหมักต่าง ๆ โดยเฉพาะถังหมักก๊าซ ซึ่งพีเอชจะลดลงและมีค่าเป็นกรด ดังนั้นจึงต้องปรับค่าพีเอชภายในถังหมักก๊าซ โดยการเติมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ลงในถังหมักก๊าซ การปรับพีเอชต้องทำอย่างช้า ๆ จนพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ก็จะเริ่มมีก๊าซเกิดขึ้นบ้าง จากนั้นจึงทำการป้อนสารอาหารที่มีค่าซีโอดีประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าถังหมักกรด ด้วยปั๊มสายรีดและให้มีระยะเวลาการเก็บกักเท่ากับ 0.89 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสำหรับการหมักขยะสดในถังหมักกรด (สมชาย, 2530) สารอาหารภายในถังหมักกรดจะถูกทำให้ผสมเข้ากับเชื้อด้วยปั๊มหอยโข่งที่เวียนตะกอนจากก้นถังเข้ากลางถัง และมีมอเตอร์ตีตะกอนที่ผิวด้านบนของสารอาหารเพื่อให้เกิดการผสมดียิ่งขึ้น และเป็นการป้องกันการอุดตันของท่อน้ำออกที่เชื่อมต่อกับถังตกตะกอน น้ำล้นที่ออกจากถังหมักกรดจะแยกออกเป็นสองส่วน ตะกอนจะตกลงภายในถังตกตะกอนและน้ำใสส่วนบนจะถูกปั๊มเข้าถังหมักก๊าซ เพื่อใช้เป็นสารอาหารสำหรับแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน โดยมีอัตราการไหลเท่ากับ 9 11.7 และ 17.4 ลิตรต่อวัน ซึ่งขึ้นกับระยะเวลาที่เก็บกักคือ 19.7 15.1 และ 10.2 วัน ตามลำดับ ส่วนตะกอนที่ตกลงด้านล่างของถังตกตะกอน จะถูกเวียนกลับสู่ถังหมักกรดทั้งหมดโดยปั๊มสายรีดและจะมีการถ่ายตะกอนออกประมาณ 2 วันต่อครั้ง

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์

น้ำตัวอย่างจะถูกเก็บจากแต่ละถังประมาณ 200-300 มิลลิลิตรต่อถัง โดยเก็บที่บริเวณกลางถัง และในขณะเก็บจะต้องมีการทำงานของมอเตอร์ทุกตัว เพื่อที่จะตีตะกอนและทำให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันของของเหลวภายในถัง จากนั้นจึงนำน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์*
อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์
พีเอช	พีเอชมิเตอร์
ซีโอดีทั้งหมด และ	
ซีโอดีละลาย	รีฟลักซ์แบบเปิด
ของแข็งทั้งหมด	อบที่ 103 °ซ
ของแข็งแขวนลอย	อบที่ 103 °ซ
ของแข็งระเหย	เผาที่ 550 °ซ
ของแข็งแขวนลอยระเหย	เผาที่ 550 °ซ
แอมโมเนียไนโตรเจน	การกลั่นและไทเทรต
ออร์กานิกไนโตรเจน	การกลั่นและไทเทรต
สภาพด่างทั้งหมด และ	
กรดระเหยง่าย	ไทเทรตโดยตรง

* Standard Method for the Examination of Water and Westewater 18th ed. (1992)

ในการเตรียมตัวอย่างก๊าซเพื่อวิเคราะห์ ก๊าซที่เกิดขึ้นจะถูกเก็บในหลอดทดลองด้วยวิธีแทนที่ในน้ำปิดด้วยจุกยาง septum พันขอบด้วยแผ่นพาราฟินและแช่ตู้เย็นไว้ จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดขึ้น

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	เครื่องวัดปริมาตรก๊าซ
เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน ไนโตรเจน และออกซิเจน	ก๊าซโครมาโตรกราฟี*
เปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซออแสท

* วิเคราะห์โดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย