บทที่ 4

การวางแผนการทดลองและวิจัย

การวิจัยทดลองนี้ กระทำที่ห้องปฏิบัติการของ สว.สิ่งแวดล้อมและทรัพยากร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 แผนการทดลอง

การวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ

1) การทดลองขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์
2) การทดลองขั้นตอนการหมักมีเทน
3) การทดลองการหมักแบบขั้นตอนเดียว

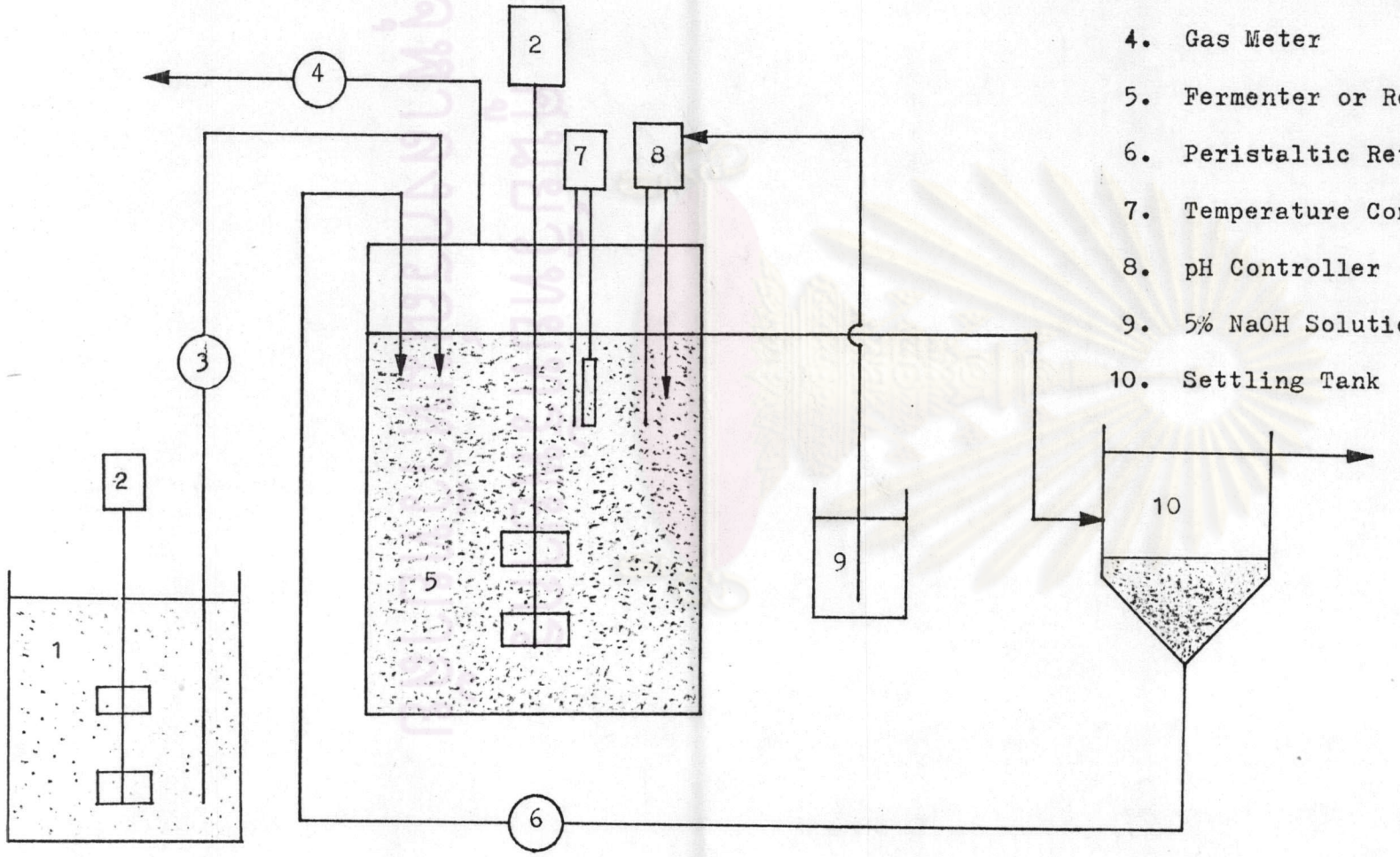
4.1.1 การทดลองขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์

การทดลองนี้เพื่อต้องการหาระยะเวลากำจัดที่เหมาะสมในการผลิตกรดอินทรีย์ โดยที่ต้องการให้ถังหมักในขั้นตอนนี้เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีแบบ Hydrolysis และ Acidogenesis น้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ป้อนเข้าสู่ถังหมัก จะถูกควบคุมให้มีความเข้มข้นของซีโอดีไว้ที่ประมาณ 20,000 มก./ล. ตลอดการทดลอง และเปลี่ยนแปลงภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (organic loading) โดยการเปลี่ยนแปลงระยะเวลากำจัด ระยะเวลากำจัดที่ใช้ค่อนข้างสั้นโดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6 ถึง 6.0 วัน ทุกการทดลองใช้อัตราการสูบตะกอนกลับ (return sludge ratio) 100% อุณหภูมิและพีเอชภายในถังหมักถูกควบคุมไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส และ 7.0 ± 0.2 ตามลำดับ

เพื่อให้การทดลองนี้ดำเนินไปอย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น จึงคิดตั้งระบบหมักทดลองขึ้น 3 ชุด แต่ละชุดเป็นระบบถังหมักแบบ Anaerobic Activated Sludge ตามรูปที่ 4.1 แผนการทดลองขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์นี้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

4.1.2 การทดลองขั้นตอนการหมักมีเทน

การทดลองนี้เพื่อต้องการหาระยะเวลากำจัดที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซมีเทน และการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง เป็นการทดลองการหมักแบบ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะ



1. Feed Tank
2. Variable - Speed Stirrer
3. Peristaltic Feed Pump
4. Gas Meter
5. Fermenter or Reactor
6. Peristaltic Return Sludge Pump
7. Temperature Controller
8. pH Controller
9. 5% NaOH Solution
10. Settling Tank

รูปที่ 4.1 ระบบถังหมักแบบ Anaerobic Activated Sludge

ตารางที่ 4.1 แผนการทดลองขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์

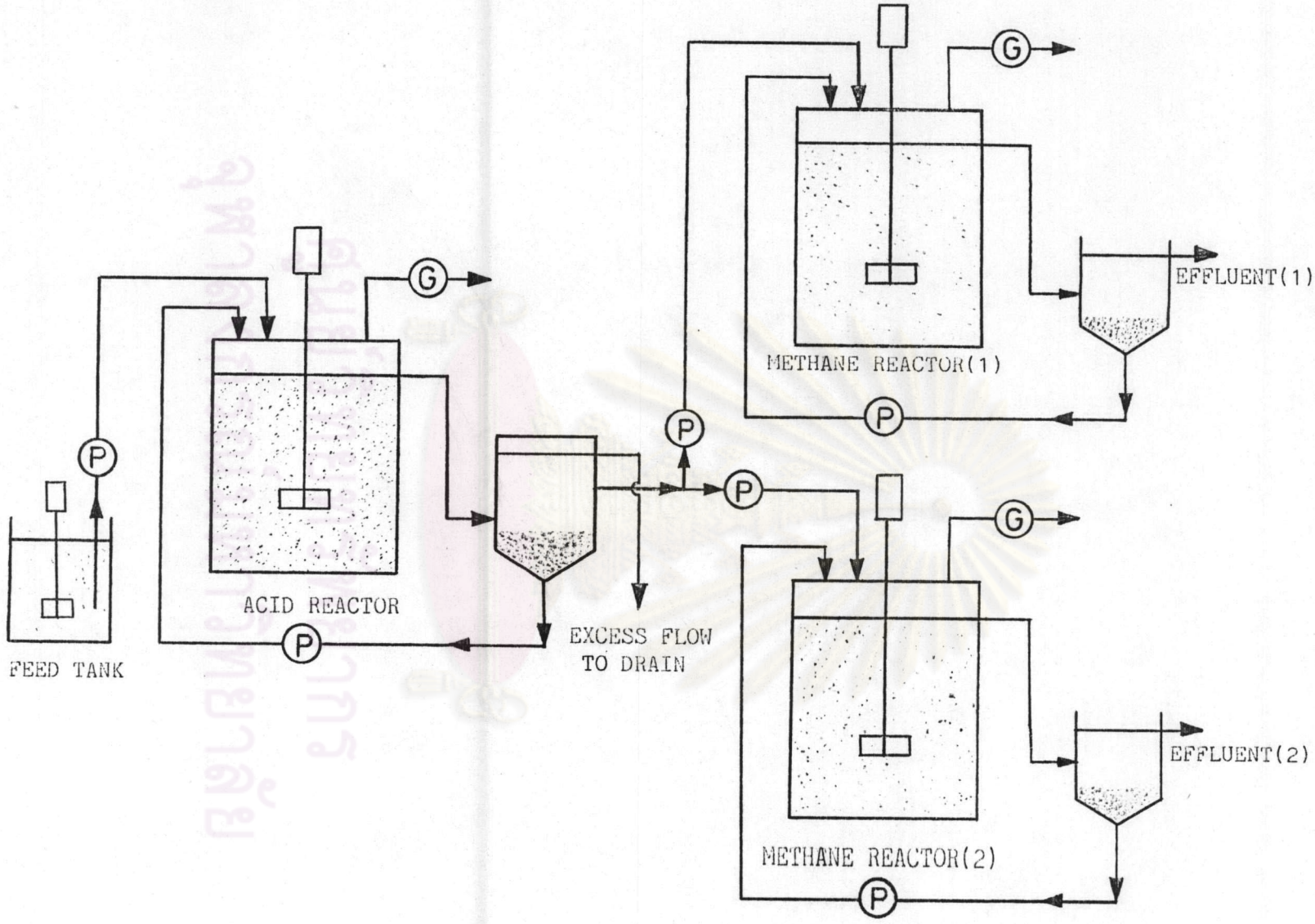
การทดลองที่	อัตราไหล ลิตร/วัน	ความจุของถังหมัก ลิตร	ระยะเวลากำจัด วัน
1	42.95	25.77	0.6
2	28.88	23.10	0.8
3	25.77	25.77	1
4	12.78	25.56	2
5	5.78	23.10	4
6	4.26	25.56	6

เป็นขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์โดยใช้ระยะเวลากำจัดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะพิจารณาจากผลการทดลองขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์ในข้อ 4.1.1 และจะใช้ค่าดังกล่าวนี้ สำหรับผลิตกรดอินทรีย์ตลอดทุกการทดลอง แต่จะไม่มีการควบคุมพีเอชในถังหมัก ส่วนในขั้นตอนที่สองจะเป็นขั้นตอนการหมักมีเทน โดยที่ต้องการให้ถังหมักในขั้นตอนนี้เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีแบบ **Methanogenesis** จึงควรใช้ระยะเวลากำจัดนาน ๆ โดยให้ระยะเวลากำจัดมีค่าอยู่ระหว่าง 3.5 ถึง 12 วัน ทุกการทดลองใช้อัตราการสูบตะกอนกลับ 100% และอุณหภูมิภายในถังหมัก 37 องศาเซลเซียส รายละเอียดการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ผังการติดตั้งของระบบในขั้นตอนการหมักมีเทนนี้ ตามรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แผนการทดลองขั้นตอนการหมักมีเทน

การทดลองที่	อัตราไหล ลิตร/วัน	ความจุของถังหมัก ลิตร	ระยะเวลากำจัด วัน
7	2.15	25.77	12
8	3.65	25.56	7
9	5.15	25.77	5
10	7.30	25.56	3.5



รูปที่ 4.2 ผังการติดตั้งของระบบในขั้นตอนการหมักมีเทน (การหมักแบบสองขั้นตอน)

4.1.3 การทดลองการหมักแบบขั้นตอนเดียว

การทดลองนี้ เพื่อต้องการนำผลไปเปรียบเทียบกับการหมักแบบ 2 ขั้นตอน ในข้อ 4.1.2 โดยการป้อนน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังเข้าระบบโดยตรง ระบบดังกล่าวนี้จะเป็นระบบหมักที่มีปฏิกิริยาชีวเคมีทั้ง 3 ขั้นตอน คือ Hydrolysis, Acidogenesis และ Methanogenesis เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในถังหมักใบเดียวกัน น้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองจะถูกควบคุมให้มีความเข้มข้นของซีโอดีไว้ที่ประมาณ 20,000 มก./ล. ตลอดการทดลอง และเปลี่ยนแปลงภาระบรรทุกสารอินทรีย์โดยการเปลี่ยนแปลงระยะเวลากำจัด ระยะเวลากำจัดที่ใช้ในการทดลองจะมีค่าอยู่ระหว่าง 4 ถึง 13 วัน ทุกการทดลองใช้อัตราการสูบตะกอนกลับ 100% และอุณหภูมิภายในถังหมัก 37 องศาเซลเซียส โดยที่ผลการทดลองที่ระยะเวลากำจัด 4 และ 6 วัน จะใช้ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองที่ 5 และการทดลองที่ 6 ตามตารางที่ 4.1 เนื่องจากการทดลองดังกล่าว เป็นการทดลองการหมักแบบขั้นตอนเดียวเช่นกัน ซึ่งพีเอชในถังหมักถูกควบคุม ว้ที่ 7.0 รายละเอียดการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แผนการทดลองการหมักแบบขั้นตอนเดียว

การทดลองที่	อัตราไหล ลิตร/วัน	ความจุของถังหมัก ลิตร	ระยะเวลากำจัด วัน
5	5.78	23.10	4
6	4.26	25.56	6
11	3.22	25.77	8
12	1.97	25.56	13

4.2 วิธีเริ่มการทดลอง

4.2.1 การทดลองขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์

ในการเริ่มต้นการทดลองนี้ ได้นำตะกอนแบกทีเรียจากถังหมักจากโรงงานกำจัดน้ำทิ้งชุมชนห้วยขวาง โดยใช้ประมาณ 2 ลิตร เติมลงในถังหมัก ในช่วงแรกเติมน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังที่มีค่าซีโอดีประมาณ 5,000 มก./ล. ในปริมาณ 1 ลิตรต่อวัน ๆ ละครั้ง เป็นเวลาประมาณ 1 เดือน เพื่อให้เกิดเชื้อแบกทีเรียที่เหมาะสมและเกิดความคุ้นเคยน้ำทิ้งประเภทนี้ (acclimatization) แล้วจึงเริ่มป้อนน้ำทิ้งอย่างต่อเนื่องในอัตราวันละ 4

ลิตร พร้อมกับค่อยๆ เพิ่มค่าซีโอดีจนได้ค่าประมาณ 20,000 มก./ล. โดยใช้เวลาประมาณ 1 เดือน ซึ่งพีเอชในถังหมักจะถูกควบคุมไว้ที่ 7.0 ±0.2 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% เป็นตัวปรับพีเอช หลังจากนั้นจึงเริ่มดำเนินการปรับอัตราการไหลของน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังที่เข้าถังหมักให้มีระยะเวลากำจัดที่ต้องการ

4.2.2 การทดลองขั้นตอนการหมักมีเทน

ในการเริ่มต้นทดลองขั้นตอนการหมักมีเทนนี้ ถังหมักชุดหนึ่งในจำนวน 3 ชุด จะใช้หมักกรดอินทรีย์ต่อไป แต่ใช้ระยะเวลากำจัดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งพิจารณาสรุปมาจากผลการทดลองขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์ในหัวข้อ 4.1.1 ส่วนถังหมักอีก 2 ชุด จะถูกเปลี่ยนไปเป็นถังหมักมีเทน โดยการเติมตะกอนแบคทีเรียจากถังหมักจากโรงงานกำจัดน้ำทิ้งชุมชนห้วยขวางประมาณ 6-8 ลิตร ลงในถังหมักแต่ละชุด และควบคุมพีเอชในถังหมักไว้ที่ 7.0 แล้วจึงเริ่มป้อนน้ำทิ้งที่ออกจากถังหมักกรดอินทรีย์เข้าสู่ถังหมักมีเทนแต่ละชุดอย่างต่อเนื่อง พร้อม ๆ กับค่อย ๆ เพิ่มอัตราการไหลของน้ำทิ้งจนกระทั่งได้อัตราการไหลประมาณ 2 ลิตร/วัน แล้วป้อนน้ำทิ้งที่อัตราการไหลนี้เป็นเวลาประมาณ 1 เดือน เพื่อให้เกิดเชื้อแบคทีเรียที่เหมาะสม และคุ้นเคยกับน้ำทิ้งประเภทนี้ หลังจากนั้นจึงปรับอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่เข้าสู่ถังหมักมีเทนให้มีระยะเวลากำจัดต่าง ๆ ที่ต้องการทดลอง ดังที่แสดงไว้ในหัวข้อ 4.1.2

4.2.3 การทดลองการหมักแบบขั้นตอนเดียว

ในการเริ่มต้นการทดลองนี้ ถังหมักมีเทนที่ใช้ในการทดลองขั้นตอนการหมักมีเทน ทั้ง 2 ชุด จะถูกเปลี่ยนเป็นการหมักแบบขั้นตอนเดียว โดยการป้อนน้ำเสียแป้งมันสำปะหลังที่มีค่าซีโอดีประมาณ 20,000 มก./ล. เข้าสู่ถังหมักแทน โดยค่อย ๆ เพิ่มอัตราการไหลของน้ำเสียดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งได้ค่าอัตราการไหลที่มีระยะเวลากำจัดที่ต้องการ

4.3 น้ำเสียที่ใช้ทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยเก็บน้ำทิ้งดังกล่าวจาก Decanter และ Separater เนื่องจากมีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูงมาก โดยตรวจวัดในรูปซีโอดีสูงถึง 30,000 - 40,000 มก./ล.น้ำเสียดังกล่าวนี้จะถูกเจือจางให้เหลือความเข้มข้นสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี ประมาณ 20,000 มก./ล. หลังจากนั้นจึงเติมสารอาหารเสริม N และ P เพื่อให้ได้อัตราส่วน COD:N:P เกินพอสำหรับปฏิกิริยาชีวเคมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ น้ำเสียดังกล่าวนี้จะถูกเตรียมขึ้นวันต่อวัน เพื่อมิให้น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีมากนัก

เข้าระบบมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีมากนัก

4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 ถังหมัก

ถังหมักที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีด้วยกันจำนวน 3 ใบ ทำด้วยท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม. หนา 8 มม. มีปริมาตรใช้งานประมาณ 25 ลิตร ปิดก้นถังด้วยแผ่นพีวีซีเชื่อมติดกันกับตัวท่อ ฝาถังทำด้วยแผ่นพีวีซีหนา 8 มม. เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. จำนวน 16 รู ยึดติดกับหน้าจานของถังหมักด้วยน็อต ระหว่างหน้าจานและฝาถังจะมีปะเก็นยางรองอยู่เพื่อป้องกันการรั่วซึม ศูนย์กลางฝาถังจะมีรูสำหรับสอดเพลาที่มีใบพัดติดอยู่ 2 ใบ ตรงรูบนฝาถังที่สอดเพลาจะมีชุดสำหรับป้องกันการรั่วซึมของก๊าซในถังหมัก ซึ่งแสดงไว้ตามรูปที่ 4.3

ชุดส่งกำลังของเครื่องกวนใช้ Variable-Speed Stirrer โดยก่อนเริ่มการทดลองได้ทำการปรับหาความเร็วรอบเครื่องกวนที่เหมาะสม สำหรับการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ของของเหลวในถังหมัก

4.4.2 ถังพักน้ำเสียแป้งมันสำปะหลัง

ถังพักน้ำเสียแป้งมันสำปะหลัง เป็นถังพลาสติกขนาดจุ 50 ลิตร น้ำทิ้งในถังพักนี้จะถูกกวนผสมเป็นเนื้อเดียวกันตลอดเวลาด้วยเครื่องกวนชนิด Variable - Speed Stirrer

4.4.3 ถังตกตะกอน

ถังตกตะกอนที่ใช้ในการทดลองมี 2 แบบ คือ

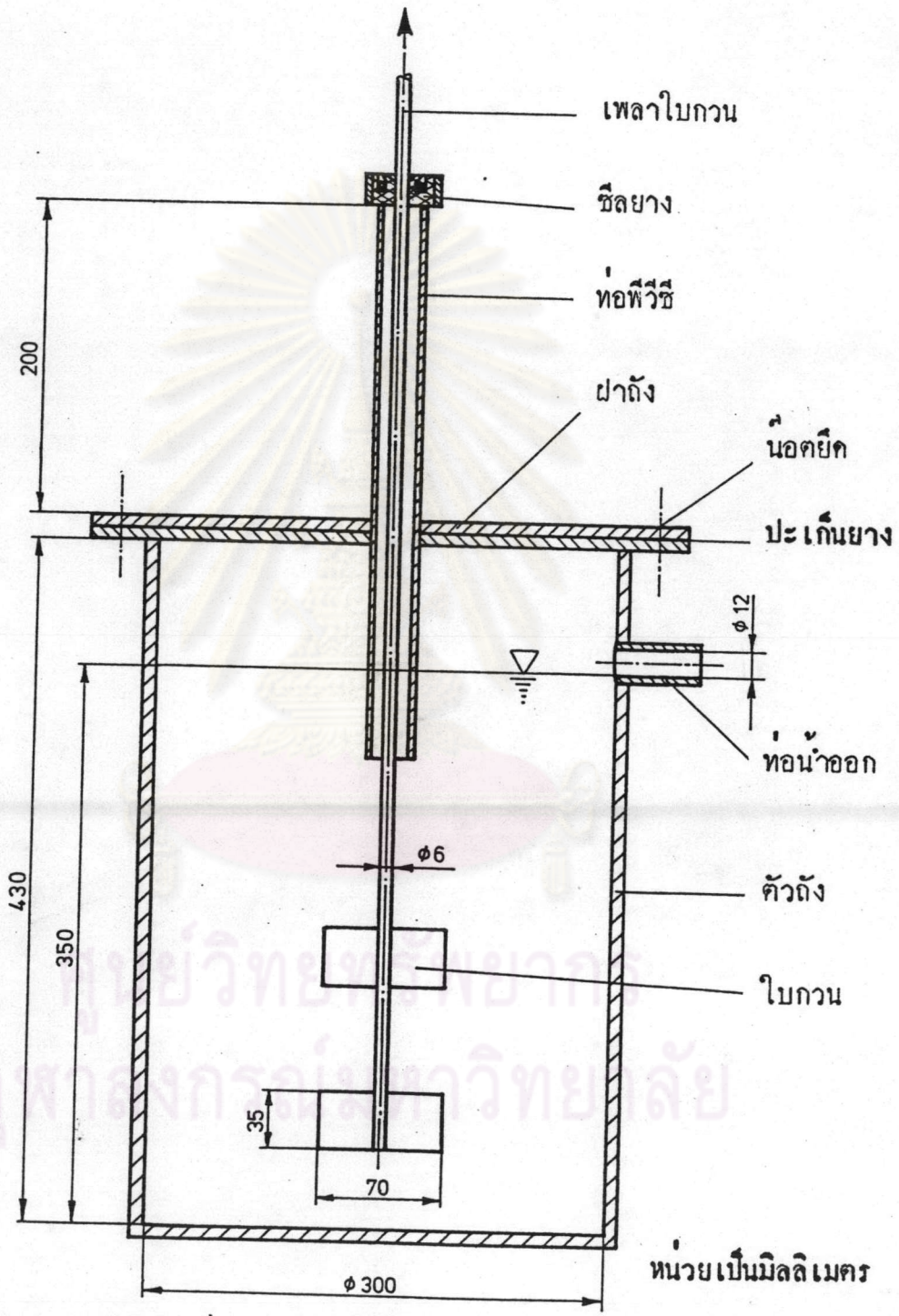
(1) ถังตกตะกอนทำด้วยกระบอกแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ซม. ขนาดจุประมาณ 1.5 ลิตร ตามรูปที่ 4.4

(2) ถังตกตะกอนทำด้วยแผ่นอะคริลิกใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 ซม. ขนาดจุประมาณ 2 ลิตร ตามรูปที่ 4.5

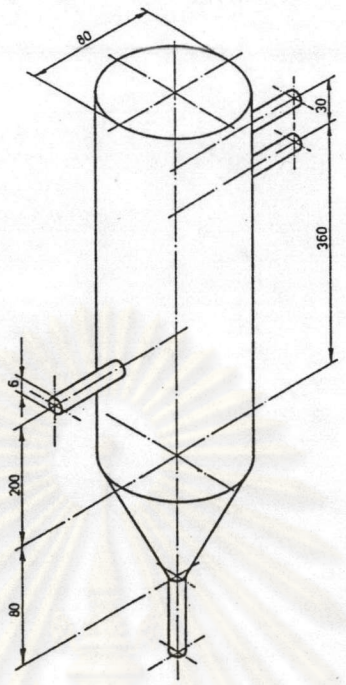
ถังตกตะกอนตามรูปที่ 4.5 นี้ ใช้ในส่วนของการทดลองขั้นตอนการหมักมีเทน โดยใช้เป็นถังตกตะกอนน้ำทิ้งที่ออกจากถังหมักกรดอินทรีย์ และเป็นถังป้อนกรดอินทรีย์เข้าสู่ถังหมักมีเทน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต่อกับ Variable-Speed Stirrer

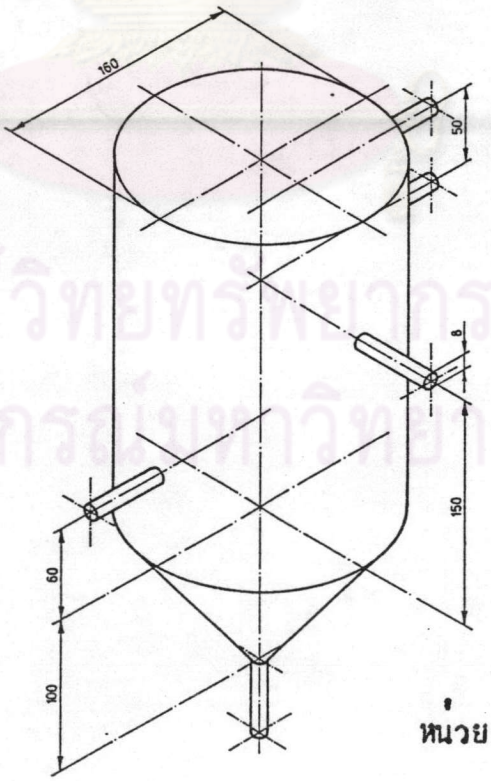


รูปที่ 4.3 ขนาดและรูปร่างถังหมักที่ใช้ในการทดลอง



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 4.4 ขนาดและรูปร่างถังตกตะกอนที่ทำด้วยกระบอกแก้ว



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 4.5 ขนาดและรูปร่างถังตกตะกอนที่ทำด้วยแผ่นอะคริลิกใส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.4 เครื่องสูบป้อนสารอาหารและเครื่องสูบตะกอนกลับ

เครื่องสูบที่ใช้สำหรับป้อนสารอาหารและเครื่องสูบสำหรับสูบตะกอนกลับ ใช้เครื่องสูบแบบรีด (peristaltic pump) สามารถปรับอัตราการไหลได้

4.4.5 เครื่องตั้งเวลา

เครื่องตั้งเวลานี้ใช้ในการควบคุมเวลาการทำงานของปั๊มป้อนสารอาหารและปั๊มสูบตะกอนกลับในกรณีที่มีอัตราการป้อนต่ำ ๆ โดยเครื่องตั้งเวลาดังกล่าวสามารถหยุดพักการทำงานของปั๊มได้ตั้งแต่ 0 ถึง 12 นาที และสามารถทำให้ปั๊มทำงานได้ตั้งแต่ 0 ถึง 12 นาทีเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ตั้งเวลาให้ปั๊มทำงาน 2 นาที หยุดทำงาน 5 นาที หรือตั้งให้ปั๊มทำงาน 6 นาที หยุดทำงาน 3 นาที เป็นต้น

4.4.6 เครื่องวัดปริมาตรก๊าซ

เครื่องวัดปริมาตรก๊าซนี้ใช้วัดปริมาตรของก๊าซที่เกิดขึ้นภายในถังหมัก โดยแสดงออกมาเป็นตัวเลขบนเครื่องวัด (counter meter) ซึ่งสร้างตามแบบของศักดิ์ชัย (28) โดยก๊าซจะเข้ามาตอนล่างของเครื่องวัดปริมาตรก๊าซและถูกระบายทิ้งออกสู่ภายนอกตอนบนของเครื่อง

4.4.7 เครื่องควบคุมพีเอช

เครื่องควบคุมพีเอชนี้ใช้สำหรับควบคุมพีเอชภายในถังหมัก โดยการตั้งเครื่องควบคุมที่พีเอช 7.00 เมื่อพีเอชภายในถังหมักลดต่ำกว่า 7.00 เครื่องดังกล่าวจะปรับพีเอชโดยการสูบสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% เข้าสู่ถังหมัก เพื่อปรับพีเอชภายในถังหมักให้ได้ค่า 7.00

4.4.8 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

เครื่องควบคุมอุณหภูมินี้ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิภายในถังหมัก เป็นประเภท Automatic on-off on Heating Coil ควบคุมอุณหภูมิภายในถังหมักที่ 37°C วิธีการให้ความร้อนใช้คอยล์ทองแดงขนาด 300 วัตต์

4.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

ตัวอย่างน้ำที่นำมาวิเคราะห์หาค่าทางเคมี จะเก็บที่ทางน้ำเข้าก่อนเข้าถังหมัก ทางน้ำออกของระบบซึ่งออกจากถังตกตะกอน และภายในถังหมัก โดยจะเริ่มเก็บตัวอย่างน้ำของแต่ละการทดลอง เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงที่เป็นเวลาติดต่อกัน 5-10 วัน วันละ 2 ครั้ง (เช้าและเย็น) หรือวันละ 1 ครั้ง (เช้า) นอกจากนี้ยังทำการวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวัน และส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้น

การวิเคราะห์ค่าคุณสมบัตินี่ต่าง ๆ ของระบบและความถี่ของการจัดเก็บตัวอย่าง ได้แสดงในตารางที่ 4.4

วิธีวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติลักษณะสมบัติของน้ำ ได้แก่ COD , MLSS , MLVSS, SS , VSS , NH_4^+-N,Org - N และ PO_4^{3-}- P ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ของ Standard Methods (29) ส่วนในการตรวจวัดปริมาณกรดอินทรีย์ได้ใช้วิธีกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam distillation and titration method) การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบหมักได้ใช้เครื่องวิเคราะห์ Methane Analyzer และ Orsat Gas Analyzer ตามลำดับ

หมายเหตุ ในการทดลองทุก ๆ การทดลอง ตะกอนแบกที่เรียที่ก้นถังตกตะกอนจะถูกสูบเข้าสู่ถังหมักตลอดเวลา โดยไม่มีการปล่อยตะกอนแบกที่เรียทิ้งที่ก้นถังตกตะกอนแต่อย่างใด เพื่อให้เห็นถึงสภาพที่เกิดขึ้นจริง ๆ ของแต่ละสภาวะการทดลอง เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว

ตารางที่ 4.4 ค่าครรชนีที่ทำการวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์

ค่าครรชนี	ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง		
	น้ำเข้า	น้ำออก	ถังหมัก
Total COD	D	D	-
Centrifuged COD	-	D	-
VFA	D	D	-
pH	D	D	D
Gas Volume	-	-	D
% CH_4	-	-	D
% CO_2	-	-	D
MLSS , MLVSS	-	-	T
SS , VSS	T	T	-
NH_4^+ - N	T	T	-
Org - N	T	T	-
PO_4^{3-} - P	W	W	-

หมายเหตุ D หมายถึง ค่าครรชนีที่วิเคราะห์ทุกวัน (daily)

T หมายถึง ค่าครรชนีที่วิเคราะห์ทุกสองวัน (every two days)

W หมายถึง ค่าครรชนีที่วิเคราะห์ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ (weekly)