

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

3.1 คุณลักษณะของน้ำกากส่าที่ใช้ทดลอง

น้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลองมีสีน้ำตาลเข้ม คุณลักษณะเฉลี่ยของน้ำกากส่าตลอดระยะเวลาการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าน้ำกากส่ามีฤทธิ์เป็นกรด ค่าพีเอชเฉลี่ย 4.3 มีปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ร้อยละ 9.3 คัดเป็นของแข็งที่ละลายได้ร้อยละ 88.3 ของของแข็งทั้งหมด และเป็นปริมาณของแข็งระเหย (TVS) ร้อยละ 75.2 ของของแข็งทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าของแข็งในน้ำกากส่าส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลชีพ (biodegradable)

น้ำกากส่ามีค่า COD เฉลี่ย 99,638 กรัมต่อลบ.ม. เป็น Filtrate COD ร้อยละ 86.2 ของค่า COD ทั้งหมด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด น้ำกากส่ามีค่า BOD₅ เฉลี่ย 32,560 กรัมต่อลบ.ม. อัตราส่วนของ BOD₅ : COD เท่ากับ 0.33 แสดงว่าสารอินทรีย์ในน้ำกากส่าจุลชีพไม่สามารถย่อยสลายได้ทั้งหมด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีปริมาณของสารอินทรีย์ในรูปเชิงซ้อน (complex organic matter) อยู่สูง

จากผลการวิเคราะห์ค่า BOD₅ : N : P เท่ากับ 100 : 2.79 : 0.32 ซึ่ง McCarty (7) ได้รายงานว่าการบำบัดสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนอัตราส่วน BOD_L : N : P อย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 แสดงให้เห็นว่าน้ำกากส่ามีปริมาณอาหารเสริมพอเพียงสำหรับการหมักแบบไร้ออกซิเจน

3.2 แผนการวิจัย

ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบ ได้รวบรวมและแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 การทดลองแบ่งเป็น 3 ชุดดังนี้

- การทดลองชุดที่ 1 แปรเปลี่ยนอัตราการรับสารอินทรีย์ในรูปของ COD loading โดยใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งคงที่ที่ 6.67 วัน ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำจากโรงงานสุราขององค์การสุรา กรม
สรรพสามิต จังหวัดอยุธยา ตลอดระยะเวลาการทดลอง

คุณลักษณะที่ทำการวิเคราะห์	ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
pH	4.0 - 4.6	4.3
Alkalinity as CaCO ₃ , กรัมต่อลบ.ม.	2,715 - 4,786	3,895
Volatile acid as CH ₃ COOH, "	8,350 - 12,750	10,375
TS "	74,995 - 108,750	93,296
TVS "	55,125 - 85,730	70,140
TSS "	4,840 - 13,960	9,467
TVSS "	3,240 - 8,890	6,130
SS "	2,870 - 5,417	3,230
VSS "	2,590 - 4,320	2,859
Total Dissolved Solid "	70,635 - 98,790	82,385
COD "	86,132 - 144,177	99,638
Filtrate COD "	76,145 - 122,920	85,926
BOD ₅ "	33,750 - 38,750	32,560
Total-N as NH ₃ -N "	795 - 1,946	907
NH ₃ -N "	42 - 88	67
Organic-N as NH ₃ -N "	743 - 1,853	793
Total-P as PO ₄ ⁻³ "	28 - 232	105
Ca "	1,150 - 1,600	1,350
Na "	9 - 11	10
K "	5,780 - 6,280	5,966

- การทดลองชุดที่ 2 แปรเปลี่ยนอัตราการรับสารอินทรีย์ในรูปของ COD loading โดยใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งคงที่ 11.11 วัน ดังแสดงในตารางที่ 3.3

- การทดลองชุดที่ 3 แปรเปลี่ยนระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งจาก 6.67 วัน เป็น 8.89, 11.11 และ 13.33 วัน ตามลำดับ โดยใช้อัตราการรับสารอินทรีย์เฉลี่ย 5.43 กก. COD ต่อ ลบ.ม.-วัน ตลอดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ค่าระยะเวลาการเก็บกักน้ำทิ้งต่ำสุด 6.67 วัน ที่ใช้ในการวิจัยนี้ กำหนดจากการทดลองเบื้องต้น (pre-test) และผลงานการวิจัยที่ผ่านมา

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรต่าง ๆ ในการวิจัย

ตัวแปรอิสระ		ตัวแปรตาม
- ปริมาตรที่ใช้งานของถังหมัก (Effective Volume)	คงที่	- COD ของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ
- ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง (HRT)	เปลี่ยนแปลง	- ปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด
- อัตราการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading)	เปลี่ยนแปลง	- ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์
- อัตราน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบ (Flow Rate)	เปลี่ยนแปลง	- ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น
- COD ของน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบ	เปลี่ยนแปลง	- ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น
- อุณหภูมิ (Temperature)	สภาวะปกติ	- ปริมาณจุลชีพที่อยู่ในระบบ
- สารอาหารต่าง ๆ (Nutrients)	ขึ้นอยู่กับ	- ปริมาณจุลชีพที่ออกจากระบบ
- สารพิษต่าง ๆ (Toxic Materials)	ขึ้นอยู่กับ	- พีเอช (pH)
	กระบวนการผลิต	- สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)
	กระบวนการผลิต	- ปริมาณกรดระเหย (Volatile Acids)

ตารางที่ 3.3 แผนการทดลองและตัวแปรต่าง ๆ ในการวิจัย

การทดลอง ชุดที่	ระยะเวลาเก็บกัก น้ำทิ้ง (HRT) (วัน)	อัตราน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบ (Flow Rate) (ลบ.ม.ต่อวัน) $\times 10^{-3}$	อัตราการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading) (กก. COD ต่อลบ.ม.-วัน)	COD (กรัมต่อลบ.ม.)
1	6.67	6.0	2.31	15,410
	6.67	6.0	2.77	18,430
	6.67	6.0	3.72	24,820
	6.67	6.0	5.58	37,170
2	11.11	3.6	3.17	35,255
	11.11	3.6	4.01	44,570
	11.11	3.6	5.52	61,360
	11.11	3.6	7.41	82,310
3	6.67	6.0	5.58	37,170
	8.89	4.5	5.48	48,740
	11.11	3.6	5.52	61,360
	13.33	3.0	5.14	68,500

3.3 การเก็บตัวอย่าง

3.3.1 น้ำทิ้งจากโรงงาน เก็บแบบ Grab Sampling จากโรงงานสุราของ องค์การสุรา กรมสรรพสามิต จังหวัดอยุธยา การเก็บแต่ละครั้งสามารถใช้ในการทดลองได้ ประมาณ 15-20 วัน โดยเก็บรักษาน้ำทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อป้องกันปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่จะเกิดขึ้น น้ำทิ้งที่เก็บมาทุกครั้งจะนำมาวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature), พีเอช (pH), สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity), ปริมาณกรดระเหย (Volatile Acids), ของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS), ของแข็งระเหยทั้งหมด (Total Volatile Solid, TVS), ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS),

ของแข็งแขวนลอยระเหยทั้งหมด (Total Volatile Suspended Solid, TVSS), ของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolved Solid, TDS), ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid, SS), ของแข็งแขวนลอยระเหย (Volatile Suspended Solid, VSS), COD, BOD, ไนโตรเจนทั้งหมด (Total-N), แอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$), ไนโตรเจนอินทรีย์ (Organic-N), ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total-P), โซเดียม (Sodium, Na), แคลเซียม (Calcium, Ca), และโพแทสเซียม (Potassium, K)

น้ำทิ้งส่วนนี้จะนำมาเจือจางด้วยน้ำประปาให้ได้ COD ตามที่ต้องการ แล้วปรับพีเอชด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ก่อนบ้อนเข้าสู่ระบบต่อไป

3.3.2 น้ำทิ้งในการทดลอง ได้แก่ น้ำทิ้งก่อนบ้อนเข้าสู่ถังหมัก, น้ำทิ้งภายในถังหมัก และน้ำทิ้งที่ออกจากถังหมัก เมื่อเก็บตัวอย่างแล้วทำการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4 ให้แล้วเสร็จภายในวันที่เก็บ

3.4 วิธีการวิเคราะห์

3.4.1 พีเอช (pH) วัดโดยตรงด้วยเครื่อง pH-meter ของ Beckman แบบ Zeromatic SS-3

3.4.2 ปริมาณกรดระเหย (Volatile Acids) วิเคราะห์โดยวิธี Direct Titration ของ Dilallo และ Albertson (47)

3.4.3 โซเดียม, แคลเซียม, โพแทสเซียม (Na, Ca, K) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ของบริษัท Shimadzu รุ่น AA 650

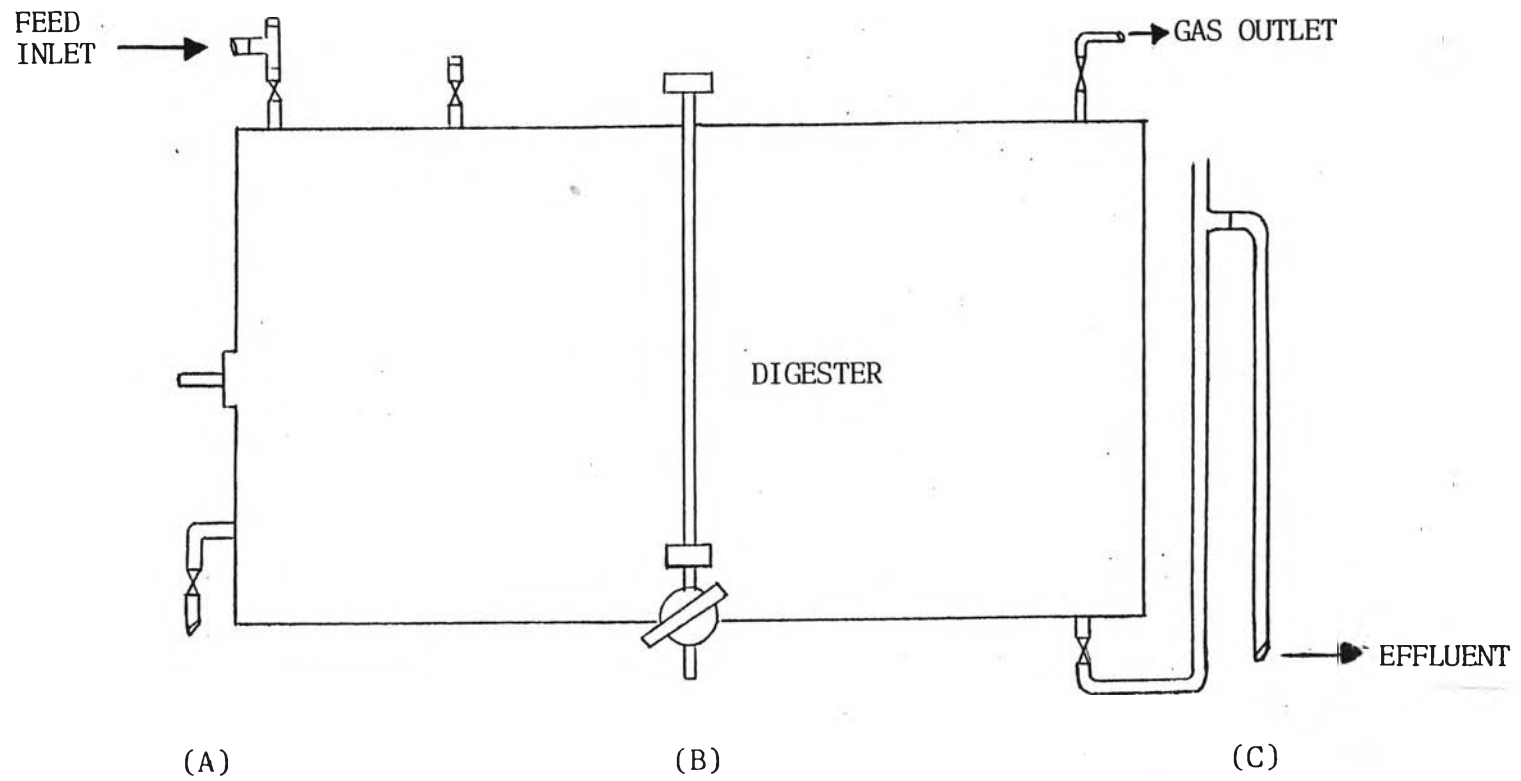
3.4.4 ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้น (Total Gas Volume) วัดโดยการแทนที่น้ำด้วยเครื่อง Gas Meter สร้างและออกแบบโดย ศักดิ์ชัย โอภาสวัชชัย (48)

3.4.5 ร้อยละของก๊าซมีเทน (% CH_4 Gas) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Orsat Gas Analyzer โดยให้ก๊าซผ่านเข้าเครื่อง Orsat ก๊าซ CO_2 จะละลายในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนที่เหลือถือว่าเป็นก๊าซมีเทน

3.4.6 ตัวแปรอื่น ๆ นอกจากที่กล่าวมาข้างต้น เช่น สภาพความเป็นต่าง, ปริมาณของแข็งชนิดต่าง ๆ, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, COD, BOD วิเคราะห์ตามวิธีในหนังสือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ปี 1980 (49)

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรต่าง ๆ และความถี่ในการวิเคราะห์

ตัวแปรที่วิเคราะห์	ตำแหน่งการ เก็บตัวอย่าง		
	ก่อนเข้าสู่ถังหมัก	ภายในถังหมัก	หลังออกจากถังหมัก
pH	วันเว้นวัน	สัปดาห์ละครั้ง	ทุกวัน
Volatile Acids as CH_3COOH	ครั้งคราว	"	"
Alkalinity as CaCO_3	"	"	"
Suspended solid	"	"	วันเว้นวัน
Volatile suspended solid	"	"	"
COD	วันเว้นวัน	"	"
Total-N as $\text{NH}_3\text{-N}$	-	ครั้งคราว	ครั้งคราว
Total-P as PO_4^{-3}	-	"	"
Sodium	-	"	"
Calcium	-	"	"
Potassium	-	"	"
Total Gas Volume	ทุกวัน		
Total Methane Gas Volume	วันเว้นวัน		
% CH_4	วันเว้นวัน		



รูปที่ 3.1 A, B, C แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในถังหมักและท่อออกจากถังหมัก

3.5 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.5.1 ถังหมัก (Digester)

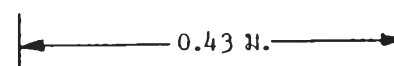
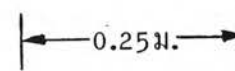
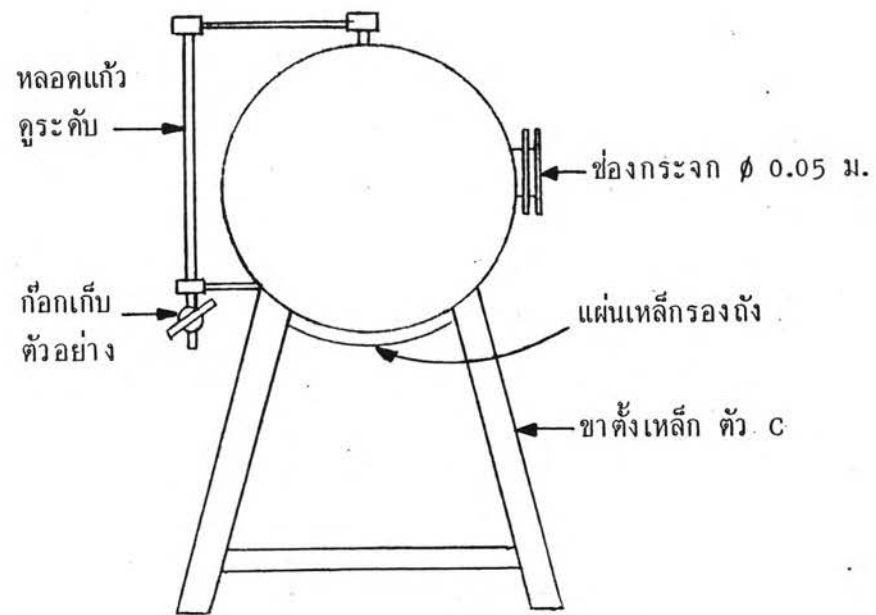
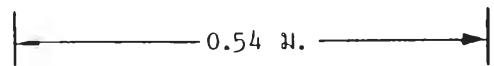
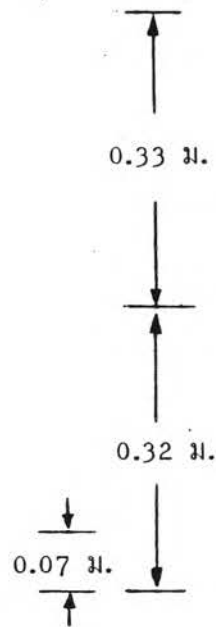
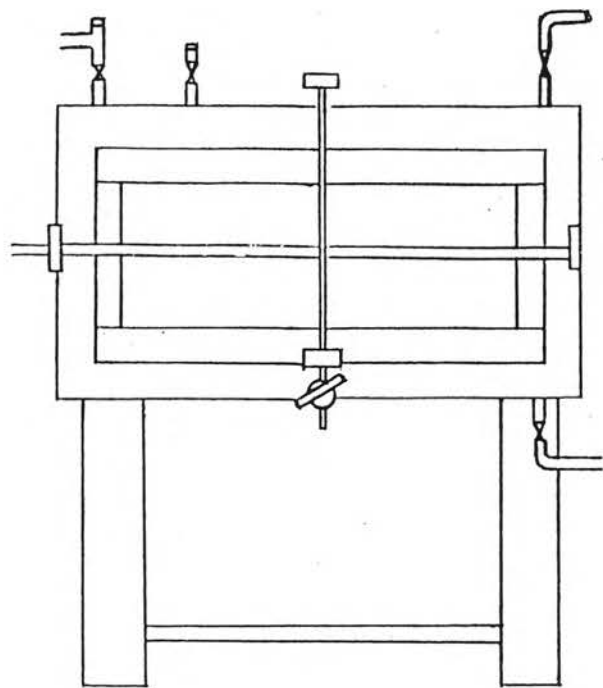
ลักษณะ	รูปทรงกระบอกแนวนอน (horizontal cylinder) ภายในมีชุดกวนของเหลว ดังรูปที่ 3.2
วัสดุ	เหล็กไร้สนิม (stainless steel) หนา 0.3 ซม.
เส้นผ่าศูนย์กลาง	0.33 ม.
ยาว	0.60 ม.
ปริมาตรทั้งหมด	0.051 ลบ.ม. (51 ลิตร)
ปริมาตรที่ใช้งาน	0.040 ลบ.ม. (40 ลิตร)
ชุดกวนของเหลวในถังหมัก	เป็นแผ่นเหล็กไร้สนิมหนา 0.3 ซม. ขนาด กว้าง×ยาว = 4×51 ซม. จำนวน 2 แผ่น วางขนานกัน มีแขนหนา 0.6 ซม. กว้าง 2.5 ซม. ยึดแผ่นเหล็กไร้สนิมทั้งสองกับตัวเพลลาซึ่งทำด้วยเหล็กไร้สนิมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 ซม. ความเร็วของชุดกวนประมาณ 1,200 รอบต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 3.3

3.5.2 เครื่องสูบน้ำกากส่าเข้าระบบ

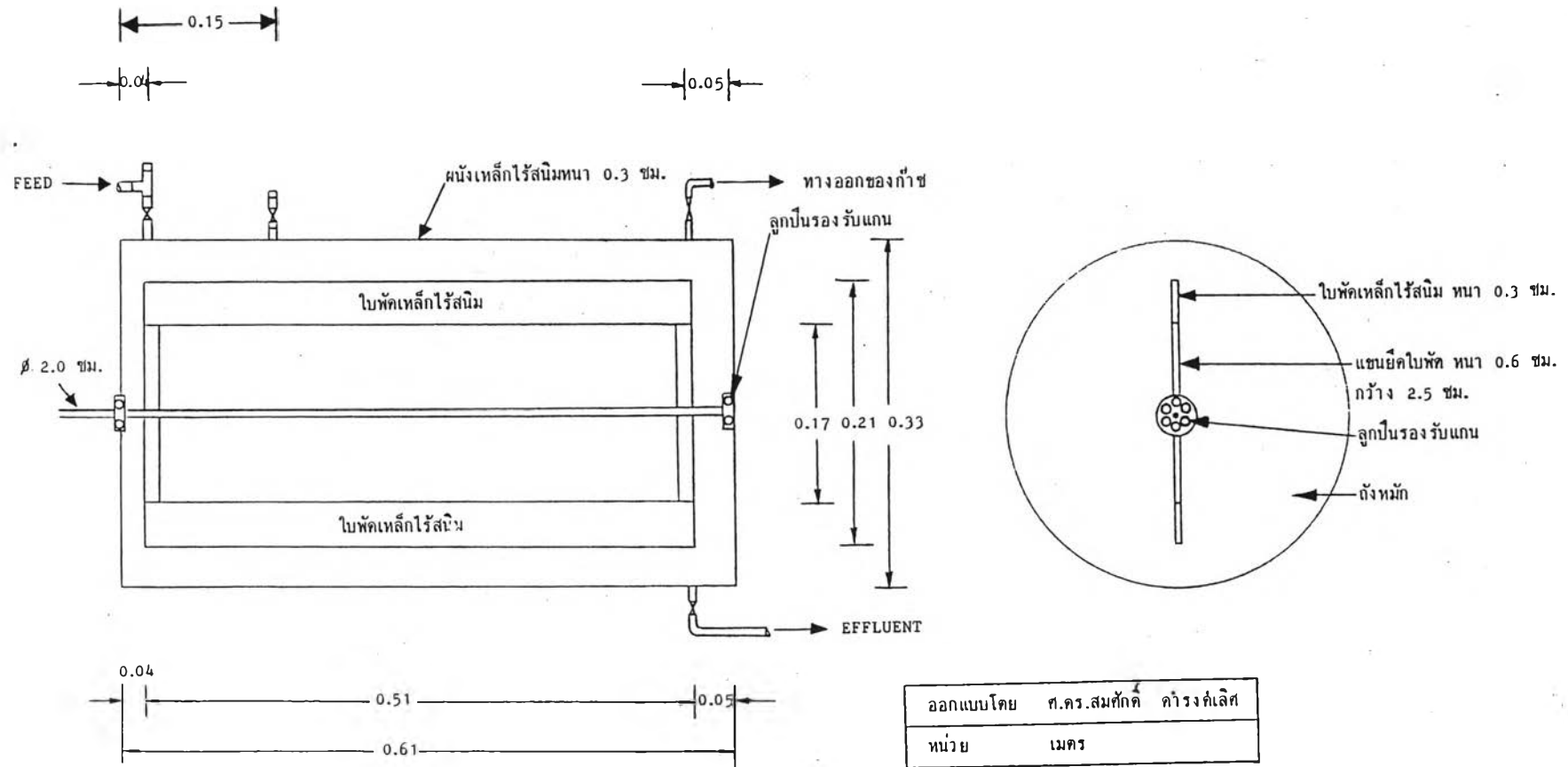
ประเภท	Peristaltic Mini-Pump
ผู้ผลิต	ATTO SJ-1211H No.79523
อัตราการสูบ	0-7.20×10 ⁻⁴ ลบ.ม.ต่อชั่วโมง (0-0.72 ลิตรต่อชั่วโมง)

3.5.3 เครื่องตั้งเวลา (Timer)

ประเภท	ตั้งเวลาได้ 24 ชั่วโมง
ผู้ผลิต	KAWAMURA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.

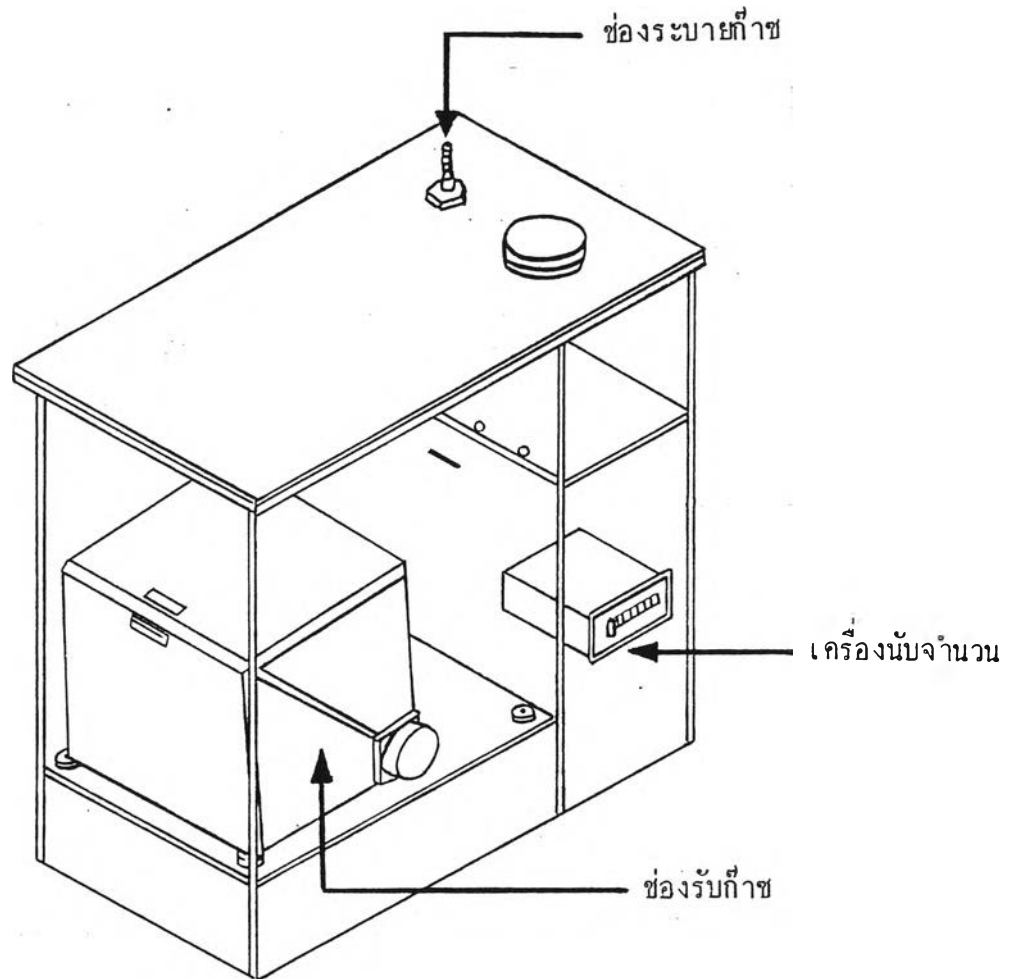


รูปที่ 3.2 ลักษณะของถังหมักแบบไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.3 ขนาดของถังหมักและลักษณะของชุดกวนภายในถังหมัก

การใช้งาน	ใช้ควบคุมเวลาการทำงานของชุดกวน และ ยืดอายุการทำงานของมอเตอร์
ตารางการทำงาน	ให้เครื่องกวนทำงาน 3 ชั่วโมง หยุดพัก 1 ชั่วโมง ดังนั้นใน 1 วัน เครื่องกวนจะ ทำงาน 18 ชั่วโมง และหยุดพัก 6 ชั่วโมง
3.5.4 <u>เครื่องวัดก๊าซ (Gas Meter)</u>	
ประเภท	วัดปริมาตรก๊าซโดยการแทนที่น้ำ ก๊าซที่เกิดขึ้น ถูกส่งจากถังหมักมาตามสายยาง เข้าสู่ทาง ด้านล่างของเครื่องวัด เมื่อก๊าซผ่านออกมา จากเครื่องวัดแล้วจะถูกระบายทิ้งออกสู่ภายนอก ดังรูปที่ 3.4
สร้างและออกแบบ	ศักดิ์ชัย โอบาสวัสดิ์ชัย (48)
วัสดุ	พลาสติกอะครีลิก (acrylic)
การทำงาน	เครื่องวัดนี้จะต่อเข้ากับเครื่องนับจำนวน (counter) ซึ่งแสดงผลรวมของปริมาตร ก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันออกมาเป็นตัวเลข บนหน้าปัด การนับหนึ่งครั้งคิดเป็นปริมาตร ก๊าซเฉลี่ยได้ 1.15×10^{-4} ลบ.ม. (0.115 ลิตร)
3.5.5 <u>ถังเตรียมน้ำกากส่าเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบ</u>	
ลักษณะ	เป็นถังพลาสติก ภายในมีซี่คแบ่งปริมาตรของ ถังทุกกระยะ 1.0×10^{-3} ลบ.ม. (1 ลิตร)
ปริมาตรทั้งหมด	0.015 ลบ.ม. (15 ลิตร)
3.5.6 <u>ถังใส่น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ</u>	
ลักษณะ	เป็นถังพลาสติก ภายในมีซี่คแบ่งปริมาตรของ ถังทุกกระยะ 1.0×10^{-3} ลบ.ม. (1 ลิตร)
ปริมาตรทั้งหมด	0.02 ลบ.ม. (20 ลิตร)



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดก๊าซ (Gas Meter)

3.6 การทดลองเริ่มต้น

การทดลองนี้ได้เริ่มเลี้ยงจุลชีพในระหว่างที่รอการสร้างถังหมัก โดยนำตะกอน (sludge) จากถังหมักตะกอน (sludge digestion tank) ของโรงงานกำจัดน้ำทิ้งห้วยขวางมาเป็น seed เริ่มต้น ใส่ seed ในถังหมักขนาด 10 ลิตรสองถัง นำน้ำกากส่ามาเจือจางด้วยน้ำประปา ประมาณ 15 เท่า ค่า COD ประมาณ 5,700 กรัมต่อลบ.ม. ปรับพีเอชประมาณ 7.0 ด้วย โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ใส่กากส่าที่เจือจางแล้วลงไปถังหมักทั้งสองในปริมาณ ร้อยละ 10 ของปริมาตร seed ในถังหมัก แล้วต่อเครื่องมือและท่อเก็บก๊าซให้เรียบร้อย ตรวจสอบจนแน่ใจว่าไม่มีการรั่วซึม ตั้งเครื่องมือทิ้งไว้ 10 วัน สังเกตพบว่ามีก๊าซเกิดขึ้น ตรวจพบก๊าซมีเทนเพียงเล็กน้อย ต่อมาอีก 7 วัน ปริมาณก๊าซเกิดเพิ่มขึ้น และพบก๊าซมีเทน เพิ่มขึ้นเช่นกัน จึงค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นของ COD จนถึงค่าประมาณ 17,000 กรัมต่อลบ.ม. โดยใช้ HRT 14 วัน บ้อนน้ำกากส่าเข้าสู่ระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous)

เมื่อถังหมักที่ใช้ทดลองสร้างเสร็จแล้ว ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือและถ่ายจุลชีพที่เลี้ยงไว้ ในถังหมักขนาด 10 ลิตรทั้งสองถังลงในถังหมักที่ใช้ทดลองขนาดประมาณ 50 ลิตร เริ่ม การทดลองแรกที่ HRT 6.67 วัน โดยเพิ่มอัตราการรับสารอินทรีย์ (organic loading) เข้าสู่ระบบทีละน้อยจนถึง 3.72 กก. COD ต่อลบ.ม.-วัน

3.7 การเก็บข้อมูล

เก็บผลการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ (steady state) จากนั้นจะเก็บผลการทดลองต่ออีก 1-2 สัปดาห์ เพื่อให้แน่ใจว่าระบบเข้าสู่สภาวะ สมดุลย์แล้ว