บทที่ 4

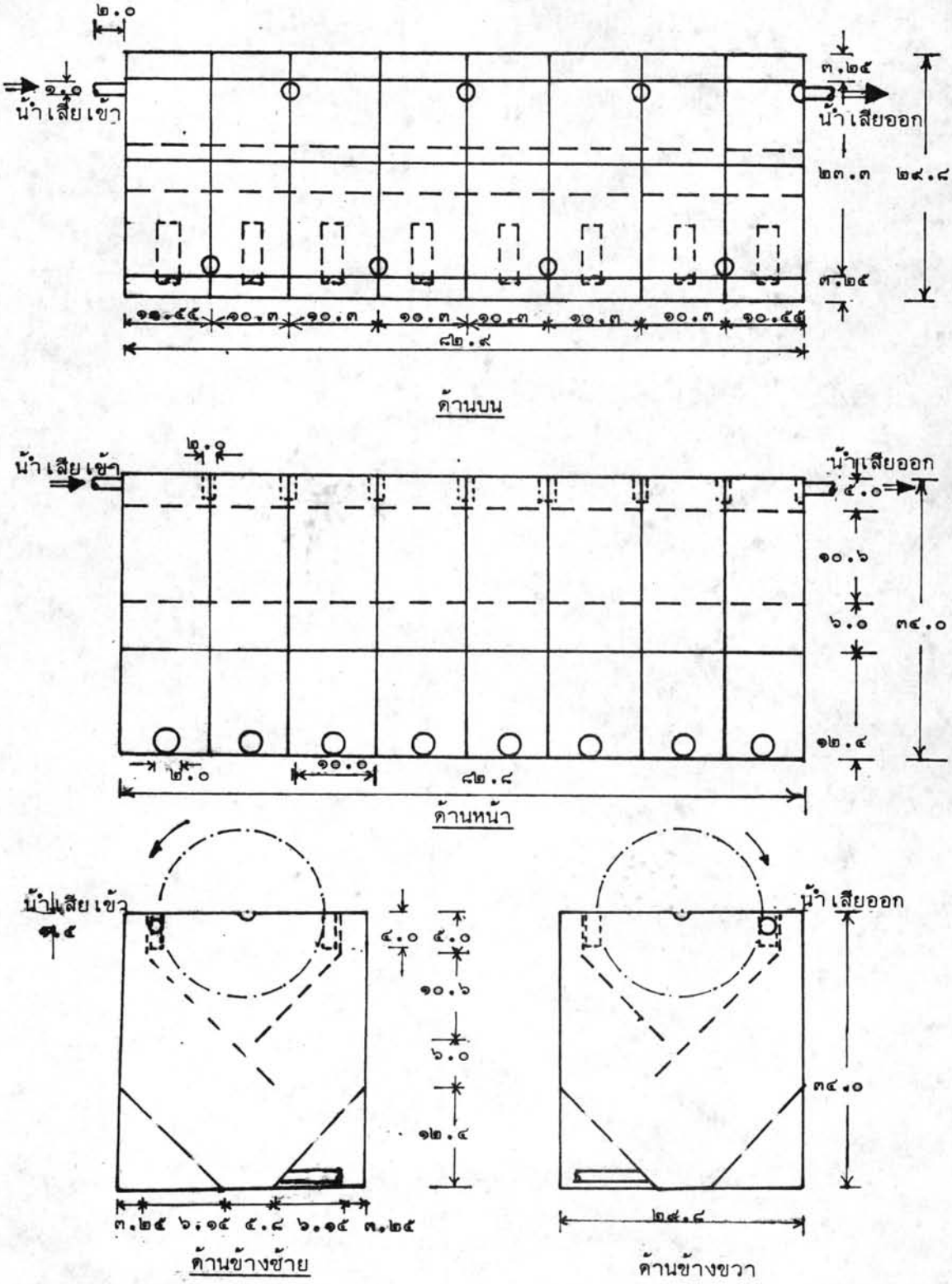
การดำเนินการวิจัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 การออกแบบการทดลอง

การทดลองวิจัยได้ออกแบบหุ่นจำลอง (pilot plant) ระบบกำจัดน้ำทิ้ง ตามรูป 4.1 2 ชุด ขนาดของแต่ละชุดจะเหมือนกันทุกประการยกเว้นวัสดุยึดเกาะโดยชุดที่ 1 ใช้แผ่นจานเป็นวัสดุยึดเกาะเรียกว่า bio disc และชุดที่ 2 ใช้ลูกบอลล์พลาสติกเรียกว่า submerged drum โดยหุ่นจำลองจะทำด้วยแผ่น พีวีซีใสมีขนาดกว้าง 29.8 ซม. ยาว 82.9 ซม. สูง 34.0 ซม. ซึ่งถูกแบ่งกั้นด้วยแผ่น พีวีซีใสออกเป็น 8 ช่อง แต่ละช่องกว้าง 10.0 ซม. มีปริมาตรช่องละ 7.765 ลิตร ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ถูกเตรียมเรียบร้อยแล้วจะถูกสูบเข้าช่องที่ 1 ด้วยอัตราสม่ำเสมอแบบต่อเนื่องจนกระทั่งเต็ม น้ำทิ้งจะเอ่อล้นตรงขอบบนของผนังกั้นระหว่างช่องที่ 1 และ 2 ด้วยท่อ พีวีซีขนาด $\frac{6}{8}$ นิ้ว (2.0 ซม.) ไหลเข้าสู่ช่องที่ 2 จนกระทั่งเต็ม น้ำทิ้งก็จะไหลเอ่อทำนองเดียวกันไปยังช่อง 3,4,5,6,7 และ 8 ตามลำดับ น้ำทิ้งจะเอ่อล้นออกจากหุ่นจำลองทางท่อพีวีซีขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้ว (1.0 ซม.) เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ต่อไป

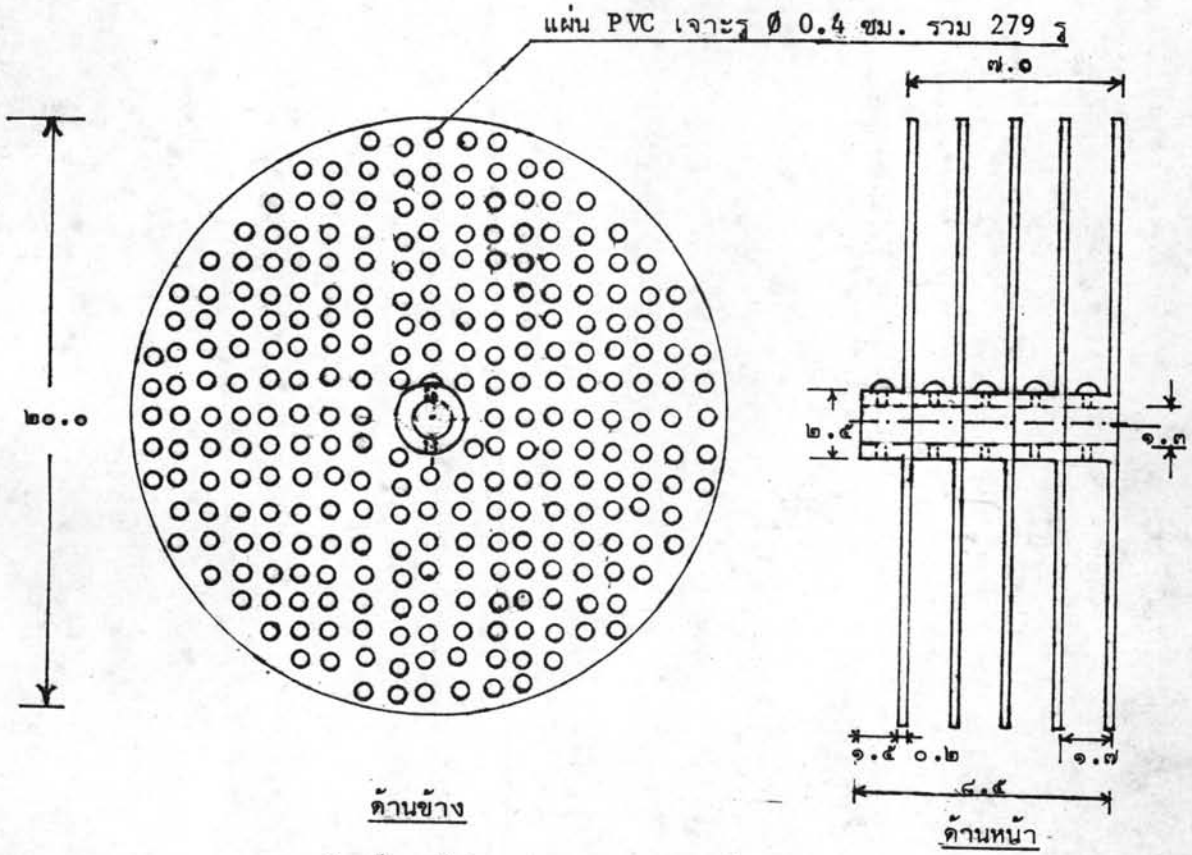
สำหรับแต่ละช่องได้ออกแบบเป็น 2 ส่วน ให้น้ำทิ้งไหลติดต่อถึงกันได้ โดยส่วนบนจะเป็นส่วนของตัวเกิดปฏิกริยาการกำจัด ประกอบด้วยวัสดุยึดเกาะทำด้วยแผ่นพีวีซีกลมหนา 0.2 ซม. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20.0 ซม. เจาะรูกลมขนาด 0.4 ซม. รวม 279 รู จำนวน 5 แผ่น ห่างกัน 1.7 ซม. จากจุดกึ่งกลางของแต่ละแผ่น ซึ่งจะถูกยึดอยู่กับแกนกลางทำด้วยเหล็กสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.25ซม. สามารถหมุนได้โดยรอบ สำหรับ ชุดที่ 1 ตามรูป 4.2 และวัสดุยึดเกาะเยื่อเป็นลูกบอลล์พลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 ซม. วางประกอบเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งมีแผ่นพีวีซีหนา 0.2 ซม. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง



ระยะทางวัดเป็นเซ็นติเมตร มาตราส่วน ๑: ๗๕

รูปที่ 4.1 ลักษณะของ Rotating Biological Contactor Units * ที่ใช้ในการทดลอง (ในรูปแสดงทิศทางการไหลของน้ำเสียสำหรับ Bio Disc)

* รายละเอียดให้ดูหมายเหตุใต้รูปที่ 4.2



ระยะทางวัดเป็น เซ็นติเมตร มาตราส่วน ๑ : ๒.๕

รูปที่ 4.2 รายละเอียดของ Bio Disc ที่ใช้ในการทดลอง

หมายเหตุ สำหรับรายละเอียดของ Rotating Biological Contactor ที่สร้างมีดังนี้

๑. ทำด้วยแผ่น PVC ใส หนา ๐.๓ ซม. ยกเว้นแผ่นนอกสุดซึ่งหนา ๐.๔ ซม.
๒. Aerobic Compartment มี ปริมาตร ๑๗.๔๘ ลิตร
๓. Anaerobic Compartment มีปริมาตร ๑๗.๒๘ ลิตร
๔. ช่องระบายแกส (gas vent) มีพื้นที่ ๑๔ % ของพื้นที่ทั้งหมด
๕. Imhoff tank มีปริมาตร ๖๒.๑๒ ลิตร
๖. ส่วนที่จมน้ำของ Bio Disc และ Submerged Drum มีพื้นที่ ๒๕.๘๓ % ของพื้นที่ทั้งหมด

20.0 ซม. เจาะรูกลมขนาด 1.65 ซม. รวม 19 รู ปิดหัวท้ายอย่างละแผ่นโดยใช้ลวดผูกเป็นตะแกรงขนาด 1 ตร.ซม. ยาว 7.0 ซม. และถูกยึดอยู่กับแกนกลางทำด้วยสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.25ซม. สามารถหมุนได้โดยรอบเช่นกัน สำหรับชุดที่ 2 ตามรูป 4.3 ส่วนของถังปฏิกริยาชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนในแต่ละช่องจะมีปริมาตรจุน้ำทิ้ง 2.185 ลิตร จะถูกแทนที่โดยวัสดุยึดเกาะคิดเป็น 25.83% ของพื้นที่ผิวของวัสดุยึดเกาะในแต่ละช่องทำให้วัสดุยึดเกาะของ bio disc และ submerged drum ซึ่งมีพื้นที่ผิว 0.319 และ 0.496 ตร.เมตร ตามลำดับ สามารถแทนที่น้ำในแต่ละช่องได้ 0.072 และ 0.323 ลิตร ตามลำดับ เหลือปริมาตรสุทธิของน้ำทิ้งแต่ละช่อง 2.113 และ 1.862 ลิตร ตามลำดับวัสดุยึดเกาะทั้ง 8 ช่อง ในแต่ละชุดจะถูกยึดด้วยเพลาร่วมทำด้วยสแตนเลสขนาด 1.25ซม. เพลานี้จะต่อกับเครื่องทดสอบของมอเตอร์สามารถหมุนได้ในอัตรา 5,10 และ 15 รอบต่อนาที ตามตาราง 4.1 และรูป 4.4

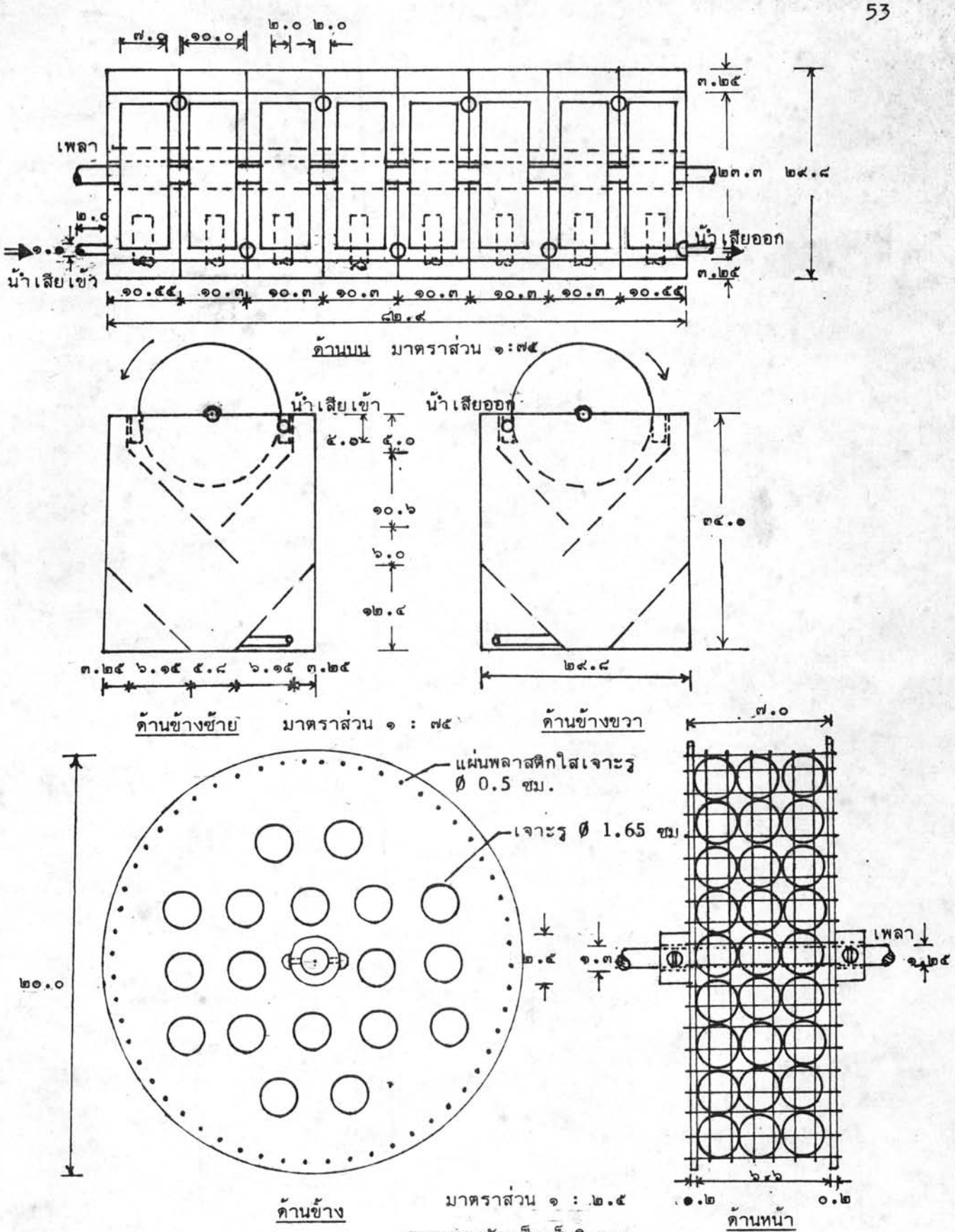
ส่วนด้านล่างของแต่ละช่องจะเป็นที่รองรับตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกริยา ซึ่งหลุดจากวัสดุยึดเกาะและตกลงมายังส่วนล่างซึ่งเปิดเป็นช่องให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกมารวมกันตอนล่างของถังได้ ตอนล่างสุดของถังมีท่อพีวีซีเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{6}{8}$ นิ้ว (2.0 ซม.) ทำหน้าที่ระบายตะกอนส่วนเกินเป็นครั้งคราว

4.2 <u>การเตรียมตัวอย่างน้ำทิ้ง</u>

4.2.1 คุณลักษณะของน้ำทิ้ง

น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยเป็นแหล่งอาหาร (carbon source) ให้กับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้พิจารณานำเอาน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเต้าหู้ เนื่องจากเต้าหู้ผลิตจากถั่วเหลืองซึ่งอุดมด้วยโปรตีนและแร่ธาตุนานาชนิด ได้มีการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับส่วนประกอบของถั่วเหลืองดังตารางที่ 4.2 (ENCYCLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY ,1968)

น้ำทิ้งที่นำมาวิจัยเป็นน้ำทิ้งจากโรงงานเต้าหู้ตั้งอยู่ซอยราชทรัพย์ ถนนประชาราษฎรสาย 1 บางซื่อ กรุงเทพมหานคร โดยเก็บจากน้ำทิ้งของถัง



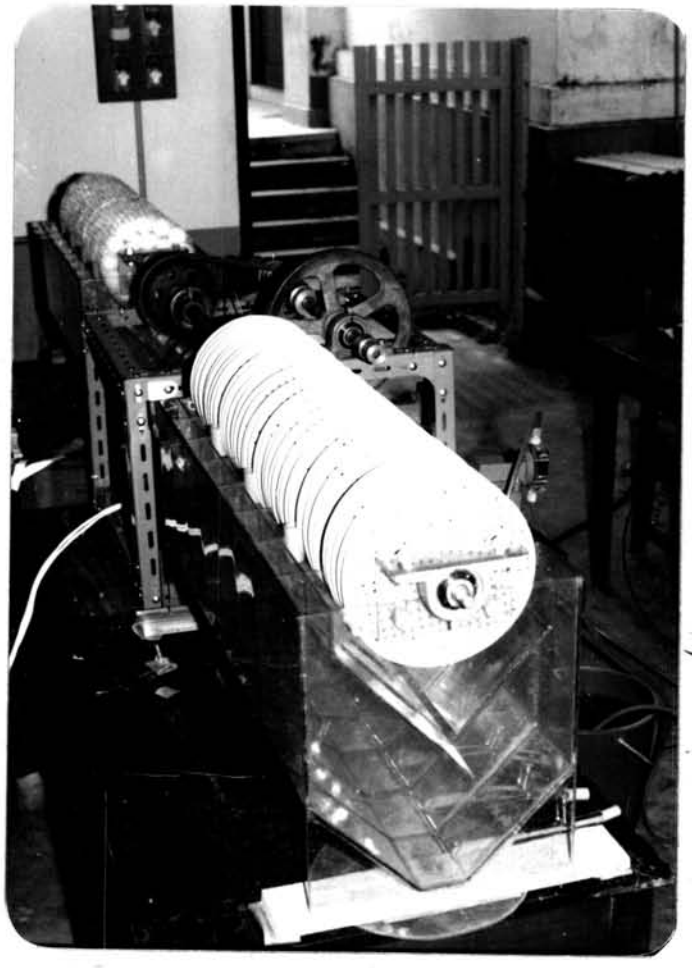
รูปที่ 4.3 รายละเอียดของ Submerged Drum *ที่ใช้ในการทดลอง
* ดูรูปที่ 4.1 ประกอบ

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดเครื่องมือที่สร้างขึ้นมาเพื่อทดลอง

รายละเอียด	Disc (Bio disc)		Drum (Submerged drum)	
	ปกติ	ลดแผ่นจาน	ปกติ	เพิ่มขนาดลูกบอลล
จำนวนช่อง Compartment	8	8	8	8
เส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นจาน (ซม)	20	20	20	20
จำนวนแผ่นต่อช่อง	5	4	2	2
เส้นผ่าศูนย์กลางของลูกบอลล์ (ซม.)	-	-	1.8	4.0
จำนวนลูกบอลล์ต่อช่อง	-	-	374	38
พื้นที่ผิววัสดุยึดเกาะต่อช่อง (ตร.ม.)	0.319	0.255	0.496	0.306
พื้นที่ผิววัสดุยึดเกาะที่จมน้ำ (%)	25.83	25.83	25.83	25.83
ปริมาตรส่วนที่เกิดปฏิกริยาต่อช่อง * (ลิตร)	2.185	2.185	2.185	2.185
ปริมาตรของวัสดุยึดเกาะในแต่ละช่อง(ลิตร)	0.305	0.244	1.262	1.392
ปริมาตรส่วนที่จมน้ำของวัสดุยึดเกาะ (ลิตร)	0.072	0.057	0.323	0.356
ปริมาตรสุทธิของส่วนที่เกิดปฏิกริยาต่อช่อง (ลิตร)	2.113	2.128	1.862	1.829
อัตรารอบที่หมุน (รอบ/นาที)	5,10,15	5,15	5,10,15	5,15
พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตร.ซม/ลบ.ซม) (Specific surface)	10.46	10.45	3.93	2.20
ความหนาแน่นของพื้นที่ผิว (ตร.ซม/ลบ.ซม) (areal density)	1.51	1.20	2.66	1.67

* คือปริมาณส่วนที่ทำการ ยอยสลาย โดยวิธีชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน โดยbio disc และ submerged drum

** ปริมาตรส่วนตรงกลางแผ่นวัสดุยึดเกาะไม่ได้จมในน้ำทิ้ง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.4 ลักษณะการติดตั้ง Bio Disc และ Submerged Drum ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในถั่วเหลือง (นน.แห้งสนิท) โดยประมาณ

ส่วนประกอบ	ร้อยละ
โปรตีน	40
คาร์โบไฮเดรท	34
ไขมันพืช	21
เถ้าถ่าน	5

(KIRK - OTHMER , 1968 : Encyclopedia of Chemical Technology)

ตกตะกอนเท่านั้น ซึ่งน้ำทิ้งส่วนนี้จะมีค่าความสกปรกสูงที่สุด และยังไม่ได้เจือจางกับน้ำทิ้งส่วนอื่นๆ ของโรงงาน และถูกเก็บรักษาอุณหภูมิที่ 4°c ในห้องปฏิบัติการของแผนกวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย น้ำทิ้งจะถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทั้งทางเคมีและฟิสิกซ์ ตามตาราง 4.3

4.2.2 การปรับปรุงตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนการทดลอง

จากคุณลักษณะของน้ำทิ้ง ตามตาราง 4.3

(ก) pH อยู่ระหว่าง 4.25 ถึง 6.50 เป็นช่วงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ไม่มากนัก อีกทั้งคำนึงถึงสภาพความเป็นจริงของค่าใช้จ่ายในการปรับ pH การทดลองนี้จึงไม่ทำการปรับ pH น้ำทิ้งก่อนเข้าสู่การทดลอง เพื่อหาผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดน้ำทิ้ง

(ข) อาหารเสริมสร้างที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อยู่ในรูปของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส มีอยู่อย่างเพียงพอ โดย BOD:N:P มีค่า 100:6.06:1.76 จึงไม่มีการเพิ่มอาหารเสริมสร้างใดๆ ให้แก่น้ำทิ้งอีก

(ค) จากการพิจารณาระยะเวลากำจัดน้ำทิ้ง (detention time) 3 ถึง 24 ชั่วโมง รวมทั้ง organic loading อยู่ในช่วง 1 ถึง 4 กก. BOD /ลบ.เมตร /วัน เพื่อเปรียบเทียบกับการกำจัดน้ำทิ้งแบบเดียวกันโดยใช้น้ำทิ้งสังเคราะห์ (synthetic waste) (VITOONPANYAKI J 1976) จึงนำน้ำทิ้งที่เก็บจากโรงงานมาเจือจางให้ได้ค่า COD อยู่ในช่วง 1400-2300 มก/ลิตร ก่อนทำการทดลอง

(ง) น้ำทิ้งจากโรงงานมีตะกอนปะปนอยู่ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปคอลลอยด์ จึงตั้งทิ้งไว้แล้วนำน้ำทิ้งส่วนที่ไม่ตกตะกอนมาเจือจางตามความต้องการ

ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงผลิตเต้าหู้

ตัวแปร	น้ำทิ้งจากถังผลิตเต้าหู้*		โรงเต้าหู้ตลาดพลู**		โรงเต้าหู้กลุ่มยนำไท*** (ค่าเฉลี่ย)	โรงเต้าหู้บางโพ*** (ค่าเฉลี่ย)
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย		
pH	4.25-6.50	5.03	3.8-6.05	4.44	4.65	4.92
Suspended Solids(mg/l)	205-1150	759	323-7,600	2,018.5	2,120	1,180
Total Solids (mg/l)	-	-	2,154-23,318	9,636	6,352	4,120
BOD5 (mg/l)	6545-13500	9629	1,013-6,557	3,680.7	2,960	3,200
COD (m/l)	12669-20383	15,326	1,052-10798	5,244.6	4,900	5,500
Ammonia - N (mg/l)	24-88	46	2.1-179.2	72.0	19.6	10
Organic - N (mg/l)	510-597	538	296.8-2,714.9	1,201.1	1,467.4	1,430
Total - N (mg/l)	534-685	584	298.9-2,894.1	1273.1	1,487	1,440
Total - P (mg/l as PO_4)	92.5-494	170	10-525	254.8	52.6	62.5

* น้ำทิ้งจากถังผลิตเต้าหู้นำมาเจือจางด้วยน้ำประปาเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง

** UYASATIAN, (1975) เป็นลักษณะของน้ำทิ้งในแต่ละช่วงเวลา (grab sampling)

*** ไกรสร อุดมรัตน์, (พ.ศ. 2521) เป็นลักษณะของน้ำทิ้งรวม (composite sampling)

4.2.3 ขั้นตอนการทดลองก่อนการวิเคราะห์

ก่อนทำการวิเคราะห์คุณสมบัตินำ้ทิ้งที่ผ่านการทดลอง เพื่อความเหมาะสมจึงทำการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาแบบไม่ต่อเนื่อง (batch oultre) ให้ได้เยื่อจุลินทรีย์ (slime) มีอยู่ที่วัสดุยึดเกาะเสียก่อน โดยการนำนำ้เชื้อตะกอนจุลินทรีย์ (mixed liquor suspended solids) จากถังปฏิกริยาของโรงกำจัดนำ้ทิ้งจากชุมชนเขตห้วยขวางใส่แต่ละช่องจำนวน 3.5 ลิตร ผสมกับนำ้กลั่น 3.5 ลิตรแล้วเติมนำ้ทิ้งที่เจือจางแล้วตามวิธีที่ได้กล่าวแล้ว จนเต็มพอดี จากนั้นเริ่มทำการเปิดสวิทซ์มอเตอร์หมุนวัสดุยึดเกาะทั้ง bio disc และ submerged drum ซึ่งทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วด้วยอัตราความเร็ว 5 รอบต่อนาที หลังจากนั้นทำการเติมนำ้ทิ้งที่เจือจางแล้วเพิ่มไปในแต่ละช่อง จนเต็มพอดีทุกวัน เพื่อเป็นการชดเชยกับนำ้ที่ระเหยไปจากถังปฏิกริยาจนครบ 7 วัน สังเกตุได้ว่าเชื้อเยื่อจุลินทรีย์ค่อยเกิดขึ้นและจับที่ผิววัสดุยึดเกาะเพิ่มความหนาขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเลี้ยงเชื้อเยื่อจุลินทรีย์ครบ 7 วัน ทำการตรวจสอบเยื่อจุลินทรีย์ของจุลชีววิทยาพบว่ามีเชื้อจุลินทรีย์พวก Zoogloea ramigera , Chlorella sp, Paramecium caudatum เป็นต้น จากนั้นเริ่มทำการทดลองแบบต่อเนื่อง เพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพของนำ้ทิ้งที่ผ่านการกำจัดต่อไป

4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

หุ่นจำลองในการวิจัยการกำจัดนำ้ทิ้งแบบ bio disc และ submerged drum ได้แสดงดังรูป 4.1,4.2 และ 4.3 ลักษณะการทดลองแสดงระบบการทำงานของส่วนต่างของระบบได้แสดงตามรูป 4.4

อุปกรณ์เครื่องแก้วตลอดจนเครื่องมือต่างๆ ที่ทำการทดลอง เป็นของห้องปฏิบัติการ แผนกวิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับเครื่องมือที่สำคัญในการวิเคราะห์ที่สำคัญมีดังนี้

1. Spectronic 20, visible spectrophotometer
2. Beckman zeromatic pH meter SS-3
3. กระดาษกรอง GF / C ของ Whitman

รูปที่ 4.4 ทอยละลายกระทุ้งน้ำหมักแบบต่อเนื่องแนวนอน

4.4 แผนการทดลองและการวิเคราะห์

4.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์เรียบร้อยแล้ว ทำการป้อนน้ำทิ้งที่ทำการปรับปรุงตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว โดยใช้ปั๊มดูดสารเคมี (chemical feed pump) ผ่านท่อยางขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้ว แบบต่อเนื่อง การทดลองของ bio disc และ submerged drum ได้เปลี่ยนการทดลองเหมือนกันและการทดลองตามลำดับนี้

(ก) ทำการทดลองโดยเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำทิ้ง ควบคุมให้เวลากักขังทำปฏิกริยา (detention time) มีค่าเป็น 3,6,12 และ 24 ชม. ตามลำดับ ด้วยอัตราการหมุนรอบของวัสดุยึดเกาะ 5 รอบต่อนาที

(ข) ทำการเปลี่ยนอัตราการหมุนรอบของวัสดุยึดเกาะเป็น 5,10 15 รอบต่อนาที แต่รักษาระยะเวลากักขังน้ำทิ้งให้คงที่โดยอาศัยผลการทดลองจากขบวนการ (ก)

(ค) จากผลการทดลองขบวนการ (ก) และ (ข) รักษาระยะเวลากักขังน้ำทิ้งและอัตราการหมุนรอบให้คงที่ ทำการทดลองโดยลดพื้นที่ผิววัสดุยึดเกาะ

4.4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองนี้ได้ทดลอง ณ อุณหภูมิปกติ ประมาณ 23.7 - 32.5 $^{\circ}C$ และรักษาสภาพแวดล้อมของ bio disc และ submerged drum เหมือนกันทุกประการ ทำการวิเคราะห์ค่า pH ,suspended solids (SS),COD BOD, Total - N ,และ NH_3- N สำหรับน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบกำจัด และpH SS, COD, BOD, DO, Total - N, NH_3 - N, NO_2 - N, และ NO_3 - N สำหรับน้ำทิ้งออกจากระบบกำจัด สำหรับค่า pH,SS,COD และDO. ทำการวิเคราะห์

ทุก ๆ วัน ส่วนที่เหลือ ทำการวิเคราะห์เป็นช่วง ๆ

การวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังกล่าว ขบวนวิธีการวิเคราะห์ใช้ตามหลักการตรวจสอบน้ำและน้ำเสียของ STANDARD METHODS (1975)