บทที่ 4

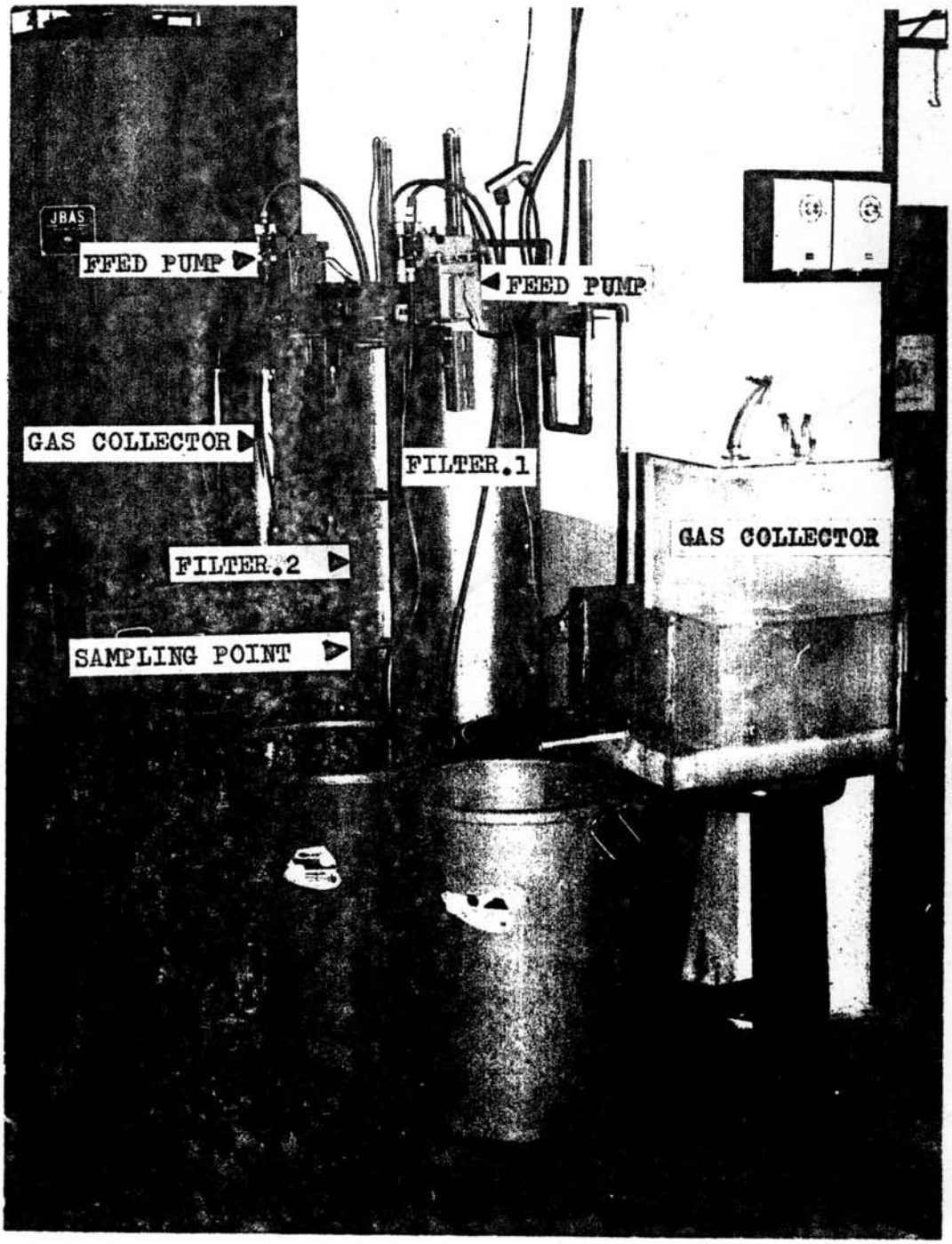
วิธีการทดลองและวิจัย

4.1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

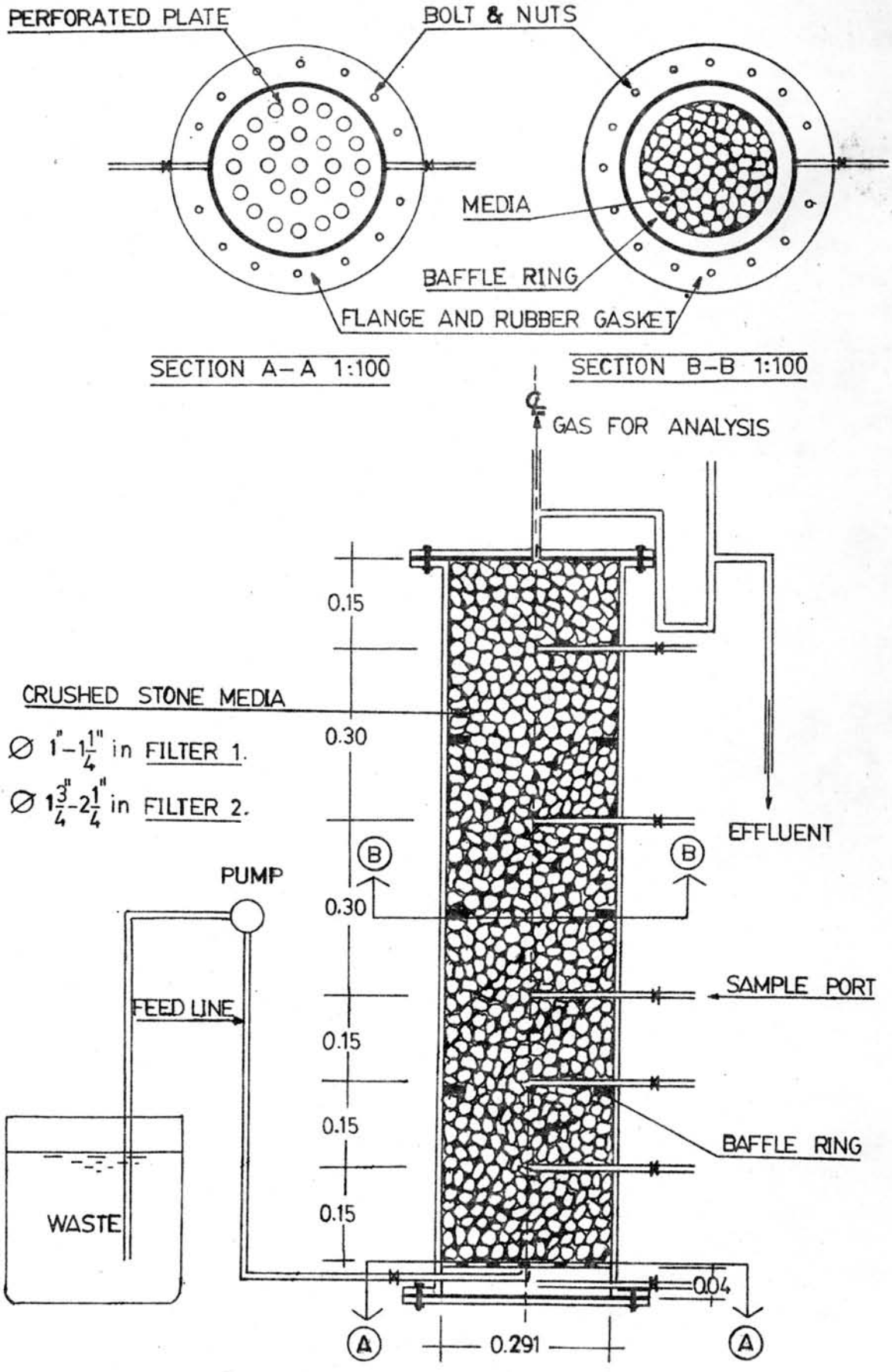
ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องกรองแบบแอนแอโรบิค (Anaerobic Filter) ขนาดต้นแบบ (Pilot-Scale) จำนวน 2 เครื่อง ดังรูปที่ 15 ตัวถังกรองทำด้วยสเตนเลสสตีล (Stainless steel) เป็นรูปทรงกระบอกมีความสูง 124 เซ็นติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางตัวถัง 29.1 เซ็นติเมตร แต่ละถังมีพื้นที่หน้าตัด 0.665 ตารางเซ็นติเมตร ด้านบนและด้านล่างของถังปิดด้วยแผ่นสเตนเลสสตีล ฝาปิดด้านบนมีท่อสำหรับระบายน้ำทิ้ง (Effluent) และแก๊ส ซึ่งจะต่อเข้ากับท่อรูปตัวยู (U-tube) เพื่อแยกแก๊สกับน้ำทิ้งออกจากกัน ท่อนำแก๊สก็จะติดต่อไปยังถังเก็บแก๊ส โดยมีปริมาตรของถังกรองแต่ละถัง (Total Volume) เท่ากับ 80 ลิตร

ภายในถังกรองมีแผ่นตะแกรงทำด้วยสเตนเลสสตีลเจาะรู (Perforated plate) เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซ็นติเมตร มีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซ็นติเมตร วางอยู่ส่วนล่างเพื่อใช้สำหรับรองรับตัวกรอง (Filter media) และกระจายน้ำโสโครก (Distributor) โดยแผ่นตะแกรงจะอยู่สูงจากก้นถัง 4 เซ็นติเมตร นอกจากนี้แล้วแต่ละถังกรองมีท่อสเตนเลสสตีลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 เซ็นติเมตร เสียบติดอยู่กับตัวถังในระดับความสูงต่าง ๆ เพื่อใช้สำหรับเก็บตัวอย่าง (Sampling point) ที่จุดศูนย์กลางของถัง ดังรูปที่ 16

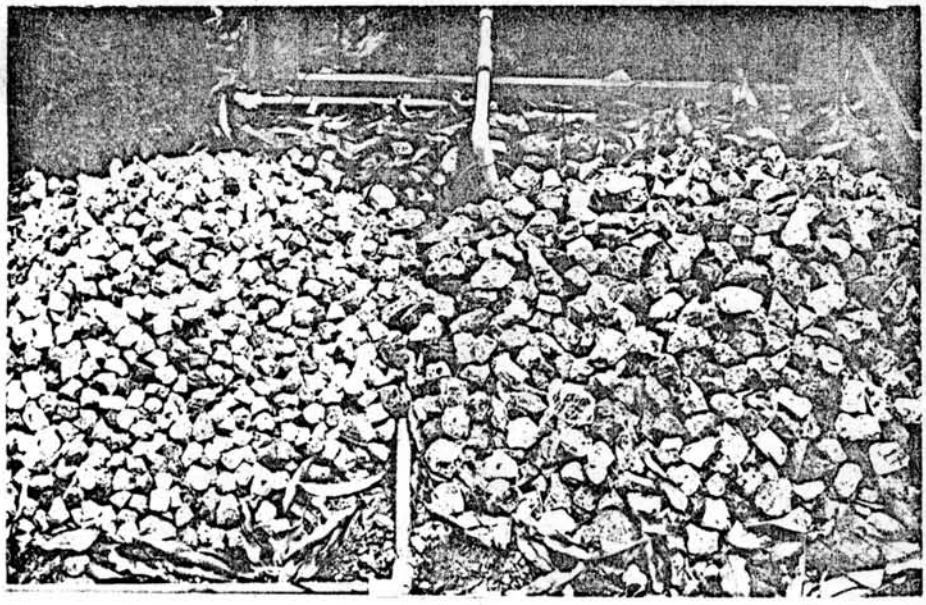
ตัวกรอง (Filter media) ที่บรรจุในถังที่ 1 (Filter 1) ใช้หินบด (Crushed stone) ซึ่งมีการคัดเลือกขนาดที่ใกล้เคียงกัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-$1\frac{1}{4}$ นิ้ว บรรจุอยู่สูง 120 เซ็นติเมตร ถังที่ 2 (Filter 2) บรรจุหินชนิดเดียวกันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $1\frac{3}{4}$ - $2\frac{1}{4}$ นิ้ว บรรจุอยู่สูง 120 เซ็นติเมตรเช่นกัน



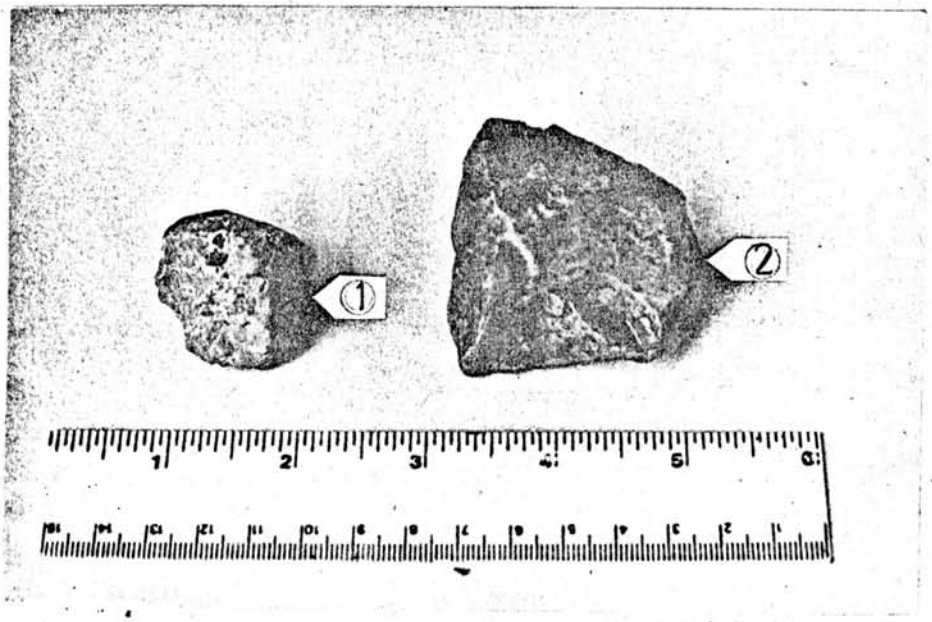
รูปที่ 15 ลักษณะของเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิค (ANAEROBIC FILTER) ที่ใช้สำหรับการทดลองและวิจัย



รูปที่ 16 SCHEMATIC DIAGRAM ของเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิค



รูปที่ 17 หินบด(Crushed stone) ที่ใช้เป็นตัวกรองสำหรับเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิค



รูปที่ 18 ขนาดของหินที่ใช้เป็นตัวกรอง ① สำหรับเครื่องกรองที่ 1
② สำหรับเครื่องกรองที่ 2

ดังแสดงในรูปที่ 17 และรูปที่ 18 ซึ่งปรากฏว่าถังใบที่ 1 บรรจุน้ำได้ 36 ลิตร ถังใบที่ 2 บรรจุน้ำได้ 37 ลิตร ทำให้ถังใบที่ 1 มีอัตราส่วนระหว่างช่องว่าง (Void Volume) ในตัวถังต่อปริมาตรของถังเมื่อไม่บรรจุหิน (Total Volume) เท่ากับ $\frac{36}{80}$ หรือเท่ากับ 0.450 ถังใบที่ 2 เท่ากับ $\frac{37}{80}$ หรือเท่ากับ 0.462

อนึ่งเพื่อป้องกันการไหลลัดทางของน้ำทิ้ง (Short-circuit) ไปตามผนังของถังจึงใส่ผนังกั้น (Baffles) เพื่อป้องกันการไหลลัดทาง ซึ่งทำด้วยแผ่นยางกว้าง 3.5 เซ็นติเมตร ทุก ๆ ระยะ 30 เซ็นติเมตรของถัง

น้ำทิ้งจะถูกสูบเข้าสู่เครื่องกรองแบบแอนแอโรบิคทั้ง 2 ถังด้วย Diaphragm pump แบบ C-660 (Model C-660) ของบริษัท Blue-white Industries

4.2. น้ำทิ้งที่ใช้ในการวิจัย

น้ำทิ้งที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นน้ำทิ้งจากโรงงานรุ่งเจริญอุตสาหกรรม แขวงบางซื่อ เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร โดยจะเก็บน้ำทิ้งจากบ่อพักน้ำทิ้ง (Combined waste) ของโรงงานในกรณีที่ต้องการค่า COD ที่ต่ำกว่า 2500 มก./ล. หากต้องการน้ำทิ้งที่มีค่า COD สูงกว่า 2500 มก./ล. จะเก็บน้ำทิ้งจากถังแช่ผัก การเก็บน้ำทิ้งเพื่อนำมาใช้การวิจัยครั้งนี้จะเก็บครั้งละประมาณ 240 ลิตร บรรจุในถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร เมื่อเก็บน้ำทิ้งแล้วจะนำมาเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4° เซ็นเซียส ณ ห้องปฏิบัติการของแผนกวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างน้ำทิ้งที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้จากส่วนที่ได้หลังจากตั้งทิ้งไว้ให้มีการตกตะกอนแล้ว (Raw waste after settled) น้ำทิ้งส่วนนี้ไม่มีการปรุงแต่งสภาพแต่อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าของ pH ไปบ้าง ทั้งนี้เพราะการวิจัยครั้งนี้มุ่งที่จะคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการนำเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิคใช้กับงานจริง

4.3. แผนการทดลอง (Experimental program)

ในการทดลองครั้งนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะด้วยกันคือ ระยะแรกของการทดลอง จะมุ่งศึกษาถึงการกำจัดน้ำทิ้งจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมทำผักดองบรรจุกระป๋อง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิค ที่มีขนาดของตัวกรองแตกต่างกัน ส่วนระยะที่ 2 จะศึกษาถึงอิทธิพลของเกลือทะเล (Sea salt) ที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิค และแบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้น้ำทิ้งเทียม (Synthetic waste)

ระยะที่ 1 ของการทดลอง

ตัวแปรอิสระ (Independent variable)

1. เวลากักน้ำทิ้ง (Hydraulic Retention Time หรือ HRT) ซึ่งจะมีอยู่ 3 ระยะด้วยกันคือ 12,24 และ 36 ชั่วโมง
2. ความเข้มข้นของน้ำทิ้ง (COD concentration) จะมีค่า COD ประมาณ 1250, 2500, 5000 และ 7500 มก./ล. ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงระยะเวลากักน้ำ กับค่า COD ของน้ำทิ้งจะสัมพันธ์กับ Organic loading ที่เข้าสู่เครื่องกรองแบบแอนแอโรบิคทั้ง 2 เครื่อง ดังตารางที่ 9
3. ความสูงของชั้นหิน ที่ระยะความสูงจากก้นถังกรอง 15,30,45, 75,105 และ 120 เซ็นติเมตร ตามลำดับ
4. ขนาดของหิน (Size of stone) ที่บรรจุอยู่ในถังกรองของเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิคเครื่องที่ 1 (Filter 1) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-$1\frac{1}{4}$ นิ้ว และในถังกรองของเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิคเครื่องที่ 2 (Filter 2) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง $1\frac{3}{4}$ - $2\frac{1}{4}$ นิ้ว

ตารางที่ 9 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำทิ้ง* ระยะเวลาการกักน้ำทิ้ง (HRT) และ Organic loading ที่เข้าสู่ระบบเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิค ขณะทำการวิจัย

Influent COD มก./ล.	Flow Rate ล./วัน	ระยะเวลากักน้ำโสโครก (HRT) ชั่วโมง	Organic loading กก. /$ม^3$/วัน
1,250	36	24	0.56
2,500	36	24	1.12
5,000	36	24	2.25
7,500	36	24	3.38
5,000	24	36	1.50
5,000	72	12	4.50

* เป็นน้ำทิ้งที่มีการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้ว (Raw waste after settled)

ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

ได้แก่ pH, กรดที่โวแลไทล์ (Volatile acids), สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity), Volatile solids, Total solids ตะกอนแขวนลอย (Suspended solids), COD, BOD_5 ปริมาณแก๊ส (Gas volume) ร้อยละแก๊สมีเทน, ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total-N as NH_3-N) และปริมาณของฟอสฟอรัส (Total-P as $PO_4^=$) ในน้ำตัวอย่างที่เก็บจากระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิคทั้ง 2 เครื่อง ซึ่งเป็นตัวแสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิค

สำหรับตัวแปรบางตัวที่ไม่สามารถจะควบคุมได้คือ ความเข้มข้นของ Na^{+}, K^{+}, Mg^{++}, Ca^{++} และ Cl^{-} ที่อยู่ในรูปของเกลือในน้ำทิ้งซึ่งส่วนใหญ่จะมาจากเกลือทะเล (Sea salt) จากระบบการผลิตผักดอง

ในการวิจัยครั้งนี้การเปลี่ยนแปลง Organic loading เครื่องกรองแบบแอนแอโรบิคทั้ง 2 เครื่อง จะเปลี่ยนแปลงได้ 2 วิธีคือ การเปลี่ยนแปลงค่า COD ของน้ำทิ้งและการเปลี่ยนแปลงระยะเวลากักน้ำทิ้ง (HRT) โดยจะมีการเปลี่ยนแปลง Organic loading จาก 0.56 กก. COD $ม^3$/วัน ถึง 4.5 กก.COD /$ม^3$/วัน หรือเท่ากับ 35 ปอนด์ COD /1,000 $ฟ^3$/วัน ถึง 281.25 ปอนด์ COD /1,000 $ฟ^3$/วัน ทั้งนี้เพื่อจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิคกับระบบกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนเช่น ระบบแอคติเวทเท็ดสลัจ (Activated sludge) และเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิคที่ได้มีการทดลองและวิจัยมาแล้วในอดีต

อุณหภูมิในการทดลองและวิจัยครั้งนี้ใช้อุณหภูมิของห้องปฏิบัติการ (Room Temperature) ซึ่งไม่สามารถจะควบคุมได้ โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของห้องตั้งแต่ 25° - 34° เซ็นเซียส

<u>ระยะที่ 2 ของการทดลอง</u>

ในการทดลองระยะที่ 2 เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของเกลือทะเล (Sea salt) ต่อการทำงานของเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิค โดยใช้เครื่องกรองแบบแอนแอโรบิคเครื่องที่ 1 (Filter 1) เพียงเครื่องเดียว น้ำทิ้งที่ใช้เป็นน้ำทิ้งเทียม (Synthetic waste) ส่วนประกอบดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 10 โดยการเติมเกลือทะเล (Sea salt) ซึ่งมีส่วนประกอบและแร่ธาตุต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 11 ลงในน้ำทิ้งเทียม

ตารางที่ 10 ส่วนประกอบของน้ำทิ้งเทียม (Synthetic waste)

COD	1,000	มก./ล.
น้ำตาล (sucrose)	1,000	มก./ล,
Urea (46% N)	24	มก./ล.
KH_2PO_4 (23% P)	10	มก./ล.

COD : N : P 100 : 1.1 : 0.2

ตารางที่ 11 ส่วนประกอบของเกลือทะเล (Sea salt)*

เกลือทะเล (Sea salt)	1 กรัม
Na^+	0.400 กรัม
Mg^{++}	0.032 กรัม
Ca^{++}	0.014 กรัม
K^+	- กรัม
Cl^-	0.588 กรัม
$SO_4^=$	0.075 กรัม

* กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2502)

4.4. การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง (Sampling and Analysis)

ในการทดลองแต่ละครั้งก่อนที่จะมีการสูบน้ำทิ้งจากโรงงานทำผักกองบรรจุกระป๋องเข้าสู่เครื่องกรองแบบแอนแอโรบิคทั้ง 2 เครื่อง จะมีการวิเคราะห์คุณสมบัติทันที โดยวิเคราะห์ pH, สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity), Volatile acids, COD, ตะกอนแขวนลอย (Suspended solids) สำหรับปริมาณของ Na^+, K^+, Cl^- และ NH_3-N จะทำการวิเคราะห์วันเว้นวัน ส่วน BOD_5 จะทำการวิเคราะห์ 3 วันต่อครั้ง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total-N)และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total-P) จะทำการวิเคราะห์เมื่อมีการเก็บน้ำทิ้งใหม่แต่ละครั้ง

การเก็บตัวอย่างจากเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิคทั้ง 2 เครื่อง จะกระทำที่จุดต่าง ๆ ตาม Sampling point โดยเริ่มเก็บจากจุดสูงสุดก่อน เมื่อจะเก็บตัวอย่างจาก Sampling point แต่ละจุดจะปล่อยให้น้ำในเครื่องกรองทิ้งไป 20 ซีซี. ทุกครั้งแล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างครั้งละ 250 ซีซี. เมื่อเก็บน้ำตัวอย่างได้แล้วก็จะทำการวิเคราะห์ pH, สภาพความเป็นด่าง Volatile acids, COD (ทำการวิเคราะห์จากน้ำตัวอย่างที่มีการกรองเอาตะกอนแขวนลอยออกแล้ว), ตะกอนแขวนลอย และ NH_3-N ทันที ถ้าทำการวิเคราะห์ตัวอย่างไม่เสร็จภายในวันเดียว จะเก็บน้ำตัวอย่างที่เหลือไว้ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 5° เซ็นเซียส ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจะวัดปริมาตรพร้อมทั้งวิเคราะห์หาร้อยละของแก๊สมีเธนในแต่ละวัน การเก็บแก๊สจะใช้วิธีแทนที่น้ำที่มี pHประมาณ 4 เพื่อป้องกันการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปในน้ำ

วิธีการที่ใช้วิเคราะห์น้ำตัวอย่างต่าง ๆ ในการวิจัยครั้งนี้ส่วนใหญ่จะใช้วิธีของ Standard Method (1974) นอกจาก Volatile acids จะใช้วิธี Direct Titration Method โดย Dilallo และ Albertson (1961) การวิเคราะห์ Na^+, K^+ ใช้วิธี Flamephotometer และการวิเคราะห์ร้อยละแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ใช้เครื่องมือ Orsat Gas Analyser ส่วนร้อยละของแก๊สมีเธนคำนวณได้จากร้อยละของแก๊สที่เหลือ เมื่อหักร้อยละของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกแล้ว