บทที่ 4

การวางแผนการวิจัย

4.1 แผนการทดลอง

การทดลองทั้งหมดกระทำที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทดลองผลิตก๊าซชีวภาพกระทำโดยใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) 2 ตัว ซึ่งออกแบบและสร้างให้มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ

ตัวแปรเปลี่ยนอิสระที่ศึกษา คือ ออร์แกนิคโหลดดิง (Organic Loading) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงถึง 7 ระดับ คือ 0.833, 1.667, 3.33, 10, 15 และ 30 กก.ซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน การเปลี่ยนแปลงระดับออร์แกนิคโหลดดิงกระทำโดยเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเสียดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงระดับออร์แกนิคโหลดดิงโดยการเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดี ในน้ำเสีย

ออร์แกนิคโหลดดิง (กก.ซีโอดี ต่อ ลบ.เมตร-วัน)	0.833	1.667	3.33	6.67	10	15	30
ความเข้มข้น ซีโอดี ในน้ำเสีย (มก./ล.)	1200	2180	4450	9100	13500	19600	38800

พารามิเตอร์ที่ควบคุมให้มีค่าคงที่ตลอดทุกการทดลองได้แก่ อัตราการป้อนน้ำเสีย (20 ลิตร/วัน) เป็นผลให้เวลากักน้ำในเครื่องกรองมีค่าคงที่ (ดูตารางที่ 4.3) ตัวแปรเปลี่ยนที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของ

เครื่องกรองแต่ไม่ได้ควบคุมคืออุณหภูมิ อนึ่ง เนื่องจากสามารถเก็บตัวอย่างน้ำจากความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรอง ดังนั้น จึงสามารถศึกษาถึงผลของการหมักที่ระดับความสูงต่าง ๆ ในเครื่องกรองได้ด้วย

แม้ว่าจะมีเครื่องกรองอยู่ 2 ตัว แต่ก็ใช้เครื่องกรองเพียงตัวเดียวในการศึกษาบทบาทและความสำคัญของออร์แกนิคโหลดดิงและความสูง ที่มีต่อการทำงานของเครื่องกรอง เครื่องกรองตัวนี้เท่านั้นที่ได้รับน้ำเสียสังเคราะห์อย่างสมบูรณ์ (มีน้ำตาลด้วย) ส่วนเครื่องกรองอีกตัวหนึ่งจะได้รับน้ำเสียสังเคราะห์ที่คล้ายคลึงกันแต่ไม่มีน้ำตาล

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรเปลี่ยนตามได้แก่

1. พี เอช (pH)
2. สภาพความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)
3. สภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต (Bicarbonate Alkalinity)
4. ตะกอนแขวนลอย (Suspended solids)
5. ตะกอนโวลาไทล์ (Volatile suspended solids)
6. ปริมาณก๊าซทั้งหมด (Total Gas)
7. เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (% CH_4)
8. ไนโตรเจน (Nitrogen)
9. ฟอสฟอรัส (Phosphorus)
10. กรดโวลาไทล์ (Volatile fatty acid)
11. ซีโอดี (COD)

4.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนให้กับเครื่องกรองทั้งสองตัว มีแร่ธาตุต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเหมือนกันเกือบทุกประการ ข้อที่แตกต่างกันคือ เครื่องกรองที่ใช้ศึกษาตัวแปรอิสระจะได้รับน้ำเสียที่มีน้ำตาล แต่เครื่องกรองอีกตัวหนึ่งจะได้รับน้ำเสียที่ไม่มีน้ำตาล

เนื่องจากมีจุดมุ่งหมายเพียงที่จะศึกษาถึงความสามารถของตัวกลาง ซังข้าวโพดในฐานะสับเสตรท (Substrate) ในการผลิตก๊าซเท่านั้น ตารางที่ 4.2 เป็นสูตรสำหรับเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น ซีโอดี 7 ระดับ ซึ่งใช้ในการหาความสำคัญของออร์แกนิคโหลดดิง ถ้าไม่ต้องการให้เครื่องกรองได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ก็ไม่ต้องเติมน้ำตาล

ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์

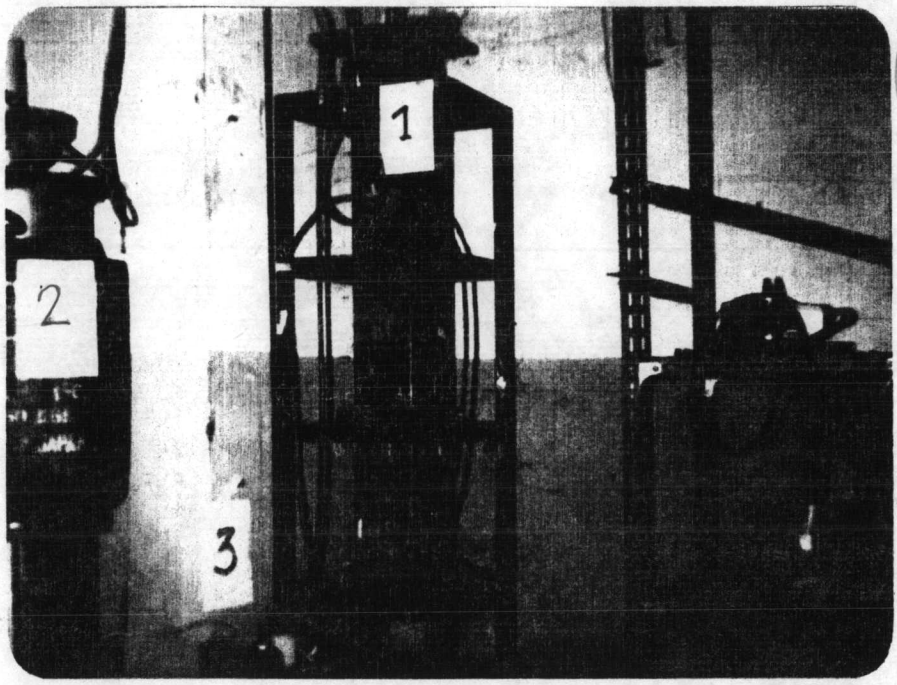
ส่วนประกอบ	ซีโอดี (มก./ล.)						
	1100	2200	4400	8800	13200	19800	39600
1. ยูเรีย (Urea) (มก.)	66.67	133	267	533	800	1200	2400
2. KH_2PO_4 (มก.)	33.3	67	133	266	399	599	1197
3. $CaCl_2$ (มก.)	3.6	7.2	14.4	28.8	43.2	64.8	130
4. $MgSO_4.7H_2O$ (มก.)	21.3	42.7	85.3	170.6	256	384	768
5. $FeCl_3$ (มก.)	1.7	3.5	6.9	13.9	20.8	31.2	62.4
6. NH_4HCO_3 (มก.)	500	1000	2000	4000	6000	9000	18000
7. $Na\ HCO_3$ (มก.)	350	700	1400	2800	4200	6300	12600
8. น้ำตาล (มก.)	1000	2000	4000	8000	12000	18000	36000
9. น้ำประปา	เจือจางและทำให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร						

<u>หมายเหตุ</u> น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมนี้จะมี COD:N:P 100:11:.70

4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.3.1 เครื่องกรองไร้ออกซิเจน

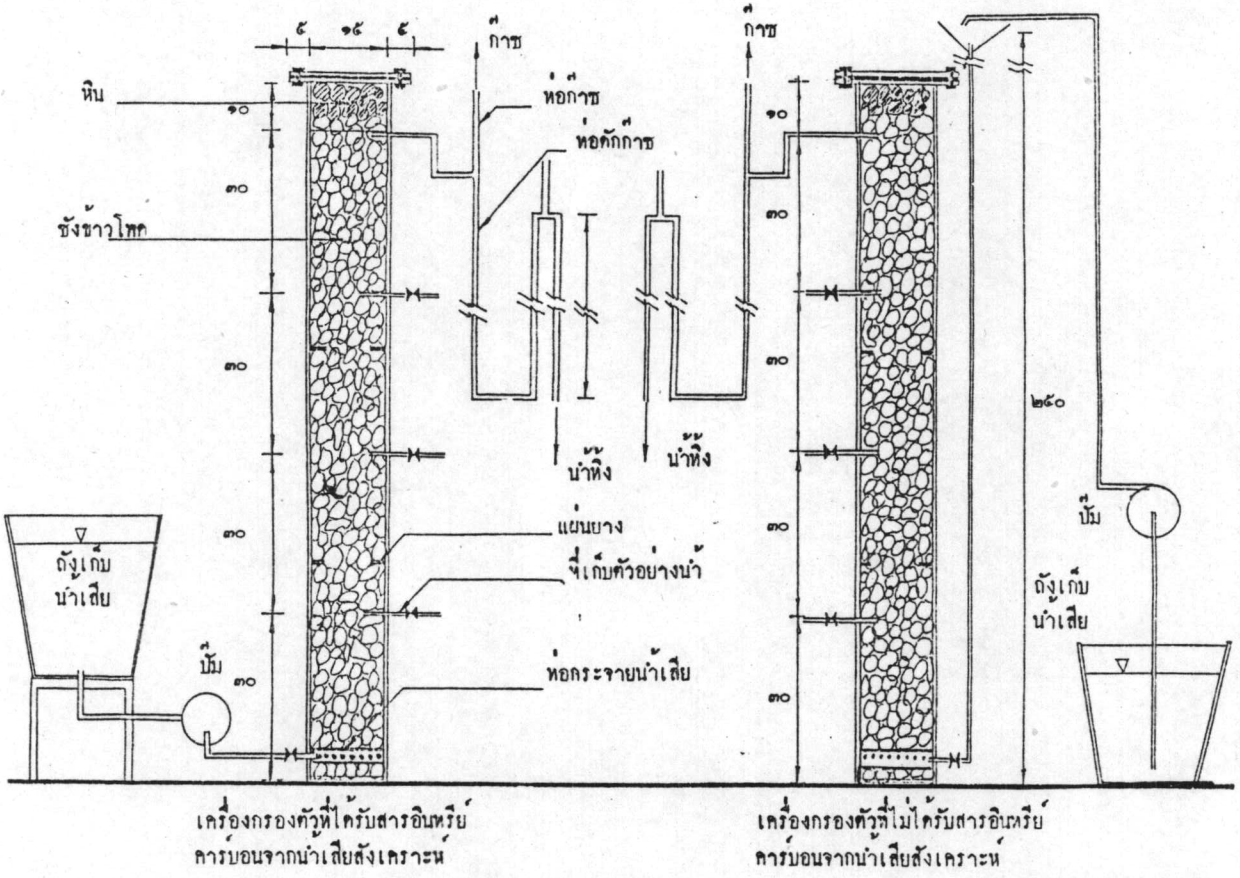
ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ในการทดลองครั้งนี้จะใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจนขนาดทดลองสองเครื่อง รูปที่ 4.1 เป็นลักษณะโดยทั่ว ๆ ไปของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ส่วนรูปที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจนซึ่งประกอบด้วย เครื่องกรอง, เครื่อง



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. เครื่องกรองไร้ออกซิเจน
2. ถังเก็บน้ำเสียสังเคราะห์
3. ไดอะแฟรมปั๊ม

รูปที่ 4.1 เครื่องกรองไร้ออกซิเจนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.2 รายละเอียดของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการทดลอง

สูบน้ำเสีย, ถังใส่น้ำเสีย ตัวเครื่องกรองทำด้วยแผ่น พี วี ซี ใสประกอบกันเป็นรูปทรงกระบอกสี่เหลี่ยมมีความสูง 1.30 เมตร วัดจากก้นถังถึงฝาปิดด้านบน หน้าตัดของเครื่องกรองเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส มีความกว้างยาวด้านละ 15 ซม. มีพื้นที่หน้าตัด 225 ซม.^{2}. ด้านล่างของเครื่องกรองปิดสนิทด้วยแผ่น พี วี ซี ส่วนตอนบนเป็นฝาปิดเปิดได้ประกอบด้วยแผ่น พี วี ซี และแผ่นยางกันซึม (สามารถเปิดได้เมื่อต้องการ) ท่อน้ำออกและก๊าซติดอยู่ ที่ระดับ 10 ซม. วัดต่ำจากตอนบนของเครื่องกรอง ท่อนี้จะต่อเข้ากับท่อรูปตัวยู (U-Tube) เพื่อแยกก๊าซและน้ำทิ้งออกจากกัน (ดูรูปที่ 4.2) ท่อนำก๊าซจะติดต่อไปยังถังเก็บก๊าซเพื่อทำการวัดปริมาณและเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน ปริมาตรของเครื่องกรองแต่ละตัว เมื่อคิดจากก้นถึงระดับผิวน้ำในถังมีประมาณ 27 ลิตร ระบบการกระจายน้ำของเครื่องกรองประกอบด้วยท่อ พี วี ซี ขนาด 1 นิ้วที่เจาะรูขนาด 1/4 นิ้วโดยรอบเสียบติดอยู่ภายในเครื่องกรองสูงจากก้นถัง 5 ซม. โดยที่ท่อนี้จะติดอยู่กับท่อน้ำเข้าจากภายนอกและทำหน้าที่กระจายน้ำเสียให้สม่ำเสมอตลอดหน้าตัดของเครื่องกรอง นอกจากนี้แล้วทุกระยะ 30 ซม. ของเครื่องกรองจะมีท่อ พี วี ซี ขนาด 1/2 นิ้วเสียบติดอยู่กับตัวถังเพื่อใช้สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำจากเครื่องกรอง อนึ่ง เพื่อป้องกันการไหลลัดทาง (Short Circuit) ไปตามผนังของเครื่องกรอง จึงได้ใส่แผ่นกัน (Baffles) ซึ่งทำด้วยแผ่นยางกว้าง 2 ซม. ทุกระยะ 40 ซม. ของเครื่องกรอง

การป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่เครื่องกรองตัวที่ได้รับอาหารจากน้ำเสียสังเคราะห์จะใช้ปั๊มสูบน้ำเสียจากถังเก็บเข้าสู่ด้านล่างของเครื่องกรองโดยตรงเลย ส่วนเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับอาหารจากภายนอกจะสูบน้ำประปาผสมแร่ธาตุที่จำเป็นจากถังเก็บให้สูงขึ้นไปยังกรวยแก้วที่อยู่เหนือเครื่องกรองก่อน แล้วจึงปล่อยให้ไหลไปตามท่อเข้าสู่ด้านล่างของเครื่องกรองด้วยแรงดึงดูดของน้ำหนัก (Gravity flow) สาเหตุที่ต้องทำเช่นนี้ก็เพราะน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้กับเครื่องกรองตัวที่ป้อนอาหารจากภายนอก เมื่อทิ้งไว้ประมาณ 12 ซม. จะมีฟองอากาศเกิดขึ้นมาก ซึ่งถ้าจะให้น้ำเสียไหลเข้าสู่เครื่องกรองตัวนี้แบบ Gravity flow แล้ว อาจมีฟองอากาศอุดตันในท่อน้ำเข้าและน้ำเสียไม่สามารถไหลเข้าสู่เครื่องกรองได้ จึงจำเป็นต้องใช้ปั๊มสูบน้ำเสียเข้าสู่เครื่องกรองโดยตรงเลย ปั๊มที่ใช้กับเครื่องกรองทั้งสองตัวเป็นแบบ ไดอะแฟรมรุ่น Model 030 ซึ่งผลิตโดยบริษัท Presto-tek Corp. ตารางที่ 4.3 จะแสดงขนาดและลักษณะทางกายภาพของเครื่องกรองทั้งสองตัว

ตารางที่ 4.3 ขนาดและลักษณะทางกายภาพของเครื่องกรองทั้งสองตัว ที่ใช้ในการทดลอง

	เครื่องกรองตัวที่ได้รับคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์	เครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับคาร์บอนจากภายนอก
น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรอง	น้ำเสียสังเคราะห์ (มีน้ำตาล)	น้ำประปาผสมแร่ธาตุที่จำเป็น
ปริมาตรของเครื่องกรอง	29 ลิตร	27.2 ลิตร
น้ำหนักชังข้าวโพด (อบแล้ว)	4012 กรัม	3878 กรัม
ปริมาตรช่องว่างในเครื่องกรอง	12.75 ลิตร	11 ลิตร
ความพรุน	0.438	0.4044
เวลากักน้ำทั้งหมด	15.3 ชม.	13.20 ชม.

หมายเหตุ - ปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรองแต่ละตัวเท่ากับ 20 ลิตร/วัน

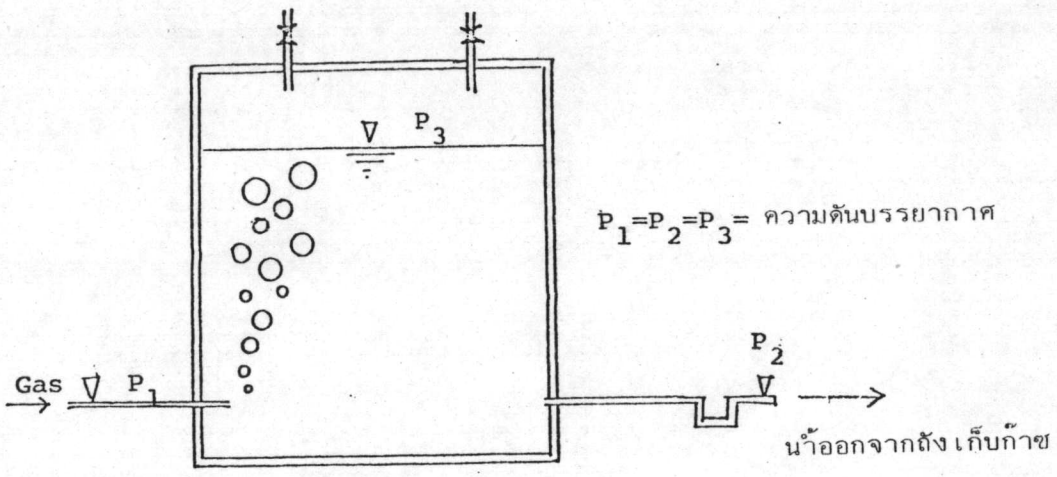
- เวลากักน้ำทั้งหมดคิดจาก Void volume

4.3.2 ตัวกลาง (Media)

ตัวกลางที่บรรจุในเครื่องกรองทั้งสองตัวเป็นชังข้าวโพดที่แกะเมล็ดออกแล้วนำไปตากแดดและอบให้แห้งตัดเป็นท่อน ๆ มีความยาวประมาณท่อนละ 1" - 1 $\frac{1}{2}$" (ดูรูปที่ 5.14) โดยชังข้าวโพดนี้จะบรรจุอยู่เต็มถังกรอง จนอยู่สูงเลยระดับที่น้ำออกขึ้นมาประมาณ 5 ซม. และช่องว่างเหนือชังข้าวโพดนี้ (มีประมาณ 5 ซม.) จะใช้หินปูนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2"-3" วางทับอยู่เพื่อป้องกันการลอยตัวของตัวกลางเมื่อปิดฝาเครื่องกรอง ชังข้าวโพดที่ใช้เป็นตัวกลางบางส่วนจะถูกนำไปอบให้แห้งและบดให้ละเอียด แล้วนำไปหาส่วนประกอบคุณสมบัติต่าง ๆ คือ ซี โอ ดี, โปรตีน, คาร์โบไฮเดรท, % โวลาไทล์และเมื่อการทดลองสิ้นสุดลงแล้ว ตัวกลางที่ใช้แล้วก็จะถูกนำไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบดังกล่าวด้วยเช่นกัน

4.3.3 ถังเก็บก๊าซ

ถังเก็บก๊าซใช้แบบแทนที่น้ำ รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นรายละเอียดของถังเก็บก๊าซ ท่อบนถังเก็บก๊าซเป็นท่อที่ใช้เติมน้ำเข้าถังเก็บก๊าซ เพราะเมื่อก๊าซเข้าถังจะไล่น้ำออกมาจากภายในถัง ดังนั้น จะต้องมีการเติมน้ำให้เต็มเมื่อเริ่มใช้งาน ส่วนอีกท่อหนึ่งมีไว้ให้ก๊าซออกขณะเติมน้ำ



รูปที่ 4.3 ถังเก็บก๊าซ

4.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำทิ้งและก๊าซ

4.4.1 การวัดและการวิเคราะห์ก๊าซ

ก๊าซทั้งหมดที่เกิดในแต่ละวันจากการหมักจะถูกเก็บด้วยวิธีแทนที่น้ำในถังเก็บก๊าซตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.3.3 แต่ในกรณีที่ปริมาณก๊าซที่เกิดต่อวันมากกว่าปริมาตรของถังเก็บก๊าซ การวัดอัตราการผลิตก๊าซต่อวันสามารถกระทำได้โดยหาปริมาณการผลิตได้ในช่วงเวลาหนึ่ง แล้วคำนวณหาปริมาณอัตราผลิตต่อวันจากค่าที่วัดได้ การวัดเปอร์เซนต์คาร์บอนไดออกไซด์ทำได้โดยใช้เครื่องมือ Orsat Gas Analyser ที่ผลิตโดยบริษัท Fisher ส่วนเปอร์เซนต์ของมีเทนได้จากผลของก๊าซทั้งหมดลบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4.4.2 <u>การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำ</u>

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ลักษณะทางเคมีและกายภาพของน้ำที่ต้องวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณตัวแปรเปลี่ยนตามได้แก่ พีเอช, สภาพความเป็นด่าง, กรดโวลาไทล์ ตะกอนแขวนลอย ตะกอนโวลาไทล์, ซีโอดี, N และ P

- พี เอช ทำการวัดโดยใช้ พี เอช มิเตอร์แบบ Zeromatic SS-33 ของบริษัท Beckman
- กรดโวลาไทล์ทำการวิเคราะห์โดยวิธี Direct Tritration Dillalo & Alberson[55]
- ส่วนตัวแปรอื่น ๆ วิเคราะห์ตามวิธีในหนังสือ American Standard Methods[56]

จุดเก็บตัวอย่างน้ำมี 4 จุด คือ ทางน้ำออกและท่อเก็บตัวอย่าง 3 อันที่ติดอยู่บนเครื่องกรองที่ระดับต่าง ๆ (ดูรูปที่ 4.2) การเก็บตัวอย่างจะเริ่มจากจุดบนก่อนลงมาที่ละจุด อนึ่ง ก่อนที่จะเก็บตัวอย่างน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุดจะปล่อยให้น้ำในเครื่องกรองไหลทิ้งไปก่อน 50 มล. ทุกครั้ง แล้วจึงจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำครั้งละประมาณ 100-200 มล. ไปทำการวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ทันที สำหรับแผนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 อนึ่ง ในแต่ละการทดลอง หลังจากเครื่องกรองทำงานอยู่ในช่วงสภาวะคงที่แล้วจะเก็บตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่างทุกจุดวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ คือ พี เอช, ความเป็นด่าง, กรดโวลาไทล์, ตะกอนแขวนลอย และซีโอดี

ตารางที่ 4.4 แผนการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์น้ำทิ้ง

ตัวแปรเปลี่ยนตาม	จุดที่เก็บ	ความถี่ในการวิเคราะห์
1. พี เอช	จุด 0.30 ม.,น้ำเข้า, น้ำออก	ทุกวัน
2. ความเป็นด่าง	จุด 0.30 ม.,น้ำเข้า, น้ำออก	ทุกวัน
3. กรดโวลาไทล์	จุด 0.30 ม.,น้ำเข้า, น้ำออก	ทุกวัน
4. ซีโอดี	น้ำเข้า, น้ำออก	วันเว้นวัน
5. ตะกอนแขวนลอย	น้ำออก	วันอังคาร, เสาร์
6. ตะกอนโวลาไทล์	น้ำออก	เป็นบางครั้ง
7. ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ท่อก๊าซ	ทุกวัน
8. % มีเทน	ท่อก๊าซ	ทุกวัน
9. ไนโตรเจน	น้ำเข้า, น้ำออก	บางครั้ง
10. ฟอสฟอรัส	น้ำเข้า, น้ำออก	บางครั้ง

4.4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวกลาง

ส่วนหนึ่งของซังข้าวโพดที่ใช้เป็นตัวกลางในการทดลองทั้งก่อนและหลังการใช้งานจะถูกนำมาอบให้แห้ง แล้วบดให้ละเอียดต่อจากนั้นจะนำไปหาค่าต่าง ๆ คือ ซีโอดี, โปรตีน, % โวลาไทล์ คาร์โบไฮเดรท เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติเหล่านี้

- % โวลาไทล์หาโดยวิธี American Standard Methods[56]
- การวิเคราะห์ซีโอดี ทำโดยเอาซังข้าวโพดที่ชั่งน้ำหนักแน่นอนแล้วมาผสมน้ำและนำไปหา ซีโอดีตามวิธี American Standard Methods[56]
- โปรตีนทำการวิเคราะห์โดยนำซังข้าวโพดอบแห้งมาหาปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนตามวิธี American Standard Methods และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณโปรตีนอีกทีหนึ่งโดยอนุโลมว่าในสารประกอบพวกโปรตีนจะมีสารอินทรีย์ไนโตรเจนอยู่ประมาณ 18 %
- ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรท ใช้วิธี Carbohydrate Anthrone Test (Ramanathan, et al)[57]