# บทที่ 4

## การวางแผนการวิจัย

### 4.1 แผนการทดลอง

การทดลองทั้งหมดกระทำที่ห้องปฏิบัติการกำจัดขยะ ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทดลองจะกระทำโดยใช้ แบบจำลองแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ 2 ชุด ซึ่งออกแบบและสร้างให้มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ ส่วนแบบจำลองแอเรตเต็ดลากูน จะใช้เพียงชุดเดียวเท่านั้น

4.1.1 ระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ ตัวแปรเปลี่ยนอิสระที่ศึกษา คือ Solid retention time ( $\theta_c$ ) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่า 4 ค่า คือ 5 , 10 , 15 และ 20 วัน เนื่องจากมีแบบจำลองอยู่ 2 ชุด จึงทำการทดลองพร้อมกัน โดยทดลอง 2 ชุดแรก ที่ $\theta_c$ เท่ากับ 10 และ 20 วัน ส่วน 2 ชุดหลังทดลองที่ $\theta_c$ เท่ากับ 5 และ 15 วัน ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงค่า $\theta_c$ กระทำโดยเปลี่ยนแปลงอัตราการระบาย ตะกอนออกจากถังเติมอากาศ

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลง Solid retention time ( $\theta_c$ ) โดยการเปลี่ยนอัตราการระบายตะกอนออกจากถังเติมอากาศ

| $\theta_c$ (วัน) | ขนาดถังเติมอากาศ (ลิตร) | อัตราการระบายตะกอน ( ลิตร/วัน ) |
|---|---|---|
| 5 | 10 | 2.00 |
| 10 | 10 | 1.00 |
| 15 | 10 | 0.66 |
| 20 | 10 | 0.55 |

พารามิเตอร์ที่ควบคุมให้มีค่าคงที่ตลอดทุกการทดลอง ได้แก่ อัตราการป้อนน้ำเสีย ( 30 ลิตร/วัน ) เป็นผลให้เวลากักน้ำในแบบจำลองมีค่าคงที่ด้วยเท่ากับ 8 ช.ม.

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรเปลี่ยนตามได้แก่

1 ออกซิเจนละลาย ( Dissolved oxygen )

2 ระดับของพีเอช ( pH )

3 ตะกอนแขวนลอย ( Suspended solids )

4 ตะกอนโวลาไทล์ ( Volatile suspended solids )

5 TKN ( Total kjeldahl nitrogen )

6 $NO_2$- N ( Nitrite )

7 $NO_3$- N ( Nitrate )

8 TOTAL - P ( Total phosphate )

9 BOD ( Biochemical oxygen demand )

10 COD ( Chemical oxygen demand )

11 FOG ( Fat oil & grease )

4.1.2 ระบบแอเรตเต็ดลากูน ตัวแปรอิสระที่ศึกษา คือ Hydraulic Retention Time ( HRT , $\tau$ ) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลง 3 ค่า คือ 3 , 5 และ 10 วัน การเปลี่ยนค่า กระทำโดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนน้ำเสีย ดังนี้คือ

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลง Hydraulic Retention Time ($\tau$) โดยการเปลี่ยนอัตราการป้อนน้ำเสีย

| $\tau$ (วัน) | ขนาดถังเติมอากาศ (ลิตร) | อัตราการป้อนน้ำเสีย (ลิตร/วัน) |
|---|---|---|
| 3 | 75 | 25 |
| 5 | 75 | 15 |
| 10 | 75 | 7.5 |

เนื่องจากแบบจำลองแอเรตเต็ดลากูนออกแบบเป็น CSTR แบบไหลทิ้ง ( โดยไม่หมุนเวียนกลับคืน ) ดังนั้นตัวอย่างน้ำจากถังเติมอากาศ และตัวอย่างน้ำทิ้งจะมีลักษณะสมบัติเหมือนกัน

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรเปลี่ยนตามได้แก่

1 ออกซิเจนละลาย ( Dissolved oxygen )

2 ระดับของพีเอช ( pH )

3 ตะกอนแขวนลอย ( Suspended solids )

4 ตะกอนโวลาไทล์ ( Volatile suspended solids )

5 TKN ( Total kjeldahl nitrogen )

6 $NO_2$- N ( Nitrite )

7 $NO_3$- N ( Nitrate )

8 TOTAL - P ( Total phosphate )

9 BOD ( Biochemical oxygen demand )

10 COD ( Chemical oxygen demand )

11 FOG ( Fat oil & grease )

## 4.2 การเตรียมน้ำเสียสิ่งปฏิกูล

น้ำเสียที่ป้อนให้กับระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ และ แอเรตเต็ดลากูน เป็นน้ำเสียที่ได้จากรถขนถ่ายสิ่งปฏิกูล เนื่องจากน้ำเสียดังกล่าว มีตะกอนแขวนลอยสูงมาก จึงจำเป็นต้องกำจัดสิ่งแขวนลอยต่าง ๆ ในน้ำเสียออกเสียก่อน โดยมีขั้นตอนในการกำจัดตามลำดับ ดังนี้ คือ

4.2.1 น้ำเสียสิ่งปฏิกูลจากรถขนถ่าย จะถูกนำมาผ่านตะแกรงหยาบและละเอียดเพื่อกรองตะกอนที่ลอยปะปนมากับน้ำเสีย ตะกอนเหล่านี้เป็นตะกอนที่ยังคงสภาพเดิมอยู่ ได้แก่ เยื่อกระดาษ เศษผ้า เม็ดพริก เป็นต้น

4.2.2 น้ำเสียที่ผ่านตะแกรงหยาบและละเอียดแล้ว จะถูกนำมาตกตะกอนด้วยตัวเองเป็นเวลา 1 ช.ม. เพื่อลดความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย ในขั้นตอนนี้สามารถกำจัดตะกอนแขวนลอยได้มากกว่า 80 % การที่สามารถตกตะกอนในเวลา 1 ช.ม.ได้มากเช่นนี้ เนื่องจาก

น้ำเสียสิ่งปฏิกูลที่นำมาทดลองได้ผ่านกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนในถังเกรอะมาระยะเวลาหนึ่ง ตะกอนที่ถูกย่อยสลายแล้วจึงสามารถจมตัวได้ง่ายและรวดเร็ว แต่ก็มีตะกอนแขวนลอยบางส่วนที่มีขนาดเล็กมาก ยังคงแขวนลอยอยู่ ซึ่งไม่สามารถตกตะกอนด้วยตัวเองได้ หรือ ตกตะกอนได้ช้ามาก

4.2.3 การตกตะกอนด้วยสารเคมี น้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนด้วยตัวเองแล้ว ลักษณะของน้ำเสียยังคงมีสีและความขุ่นของตะกอนแขวนลอยอยู่อีกมาก การเติมสารเคมี จะทำให้ตะกอนที่มีขนาดเล็กเหล่านี้สามารถรวมตัวกันด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ตกตะกอนได้รวดเร็วขึ้น ในการหาปริมาณสารเคมีที่พอเหมาะในการตกตะกอนนั้น อาศัยการทดลองจาร์เทสต์ เพื่อนำผลของการทดลองมาใช้ในการเตรียมน้ำเสียต่อไป

ในการทดสอบจาร์เทสต์ใช้สารส้มเป็นสารโคแอกกูแลนต์ ทำการทดสอบจนกว่าจะหาปริมาณที่เหมาะสมเพื่อตกตะกอนให้ได้มากที่สุด โดยใช้ สีของน้ำเสียเป็นพารามิเตอร์เพื่อชี้ให้เห็นถึงความสำเร็จในการเกิดโคแอกกูเลชัน กล่าวคือ ปริมาณของสารส้มที่พอเหมาะจะทำให้น้ำเสียที่นำมาทดสอบนั้น มีความขุ่น และ สี เหลือน้อยที่สุด เมื่อได้ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนได้แน่นอนแล้ว จึงนำผลมาใช้ในการเตรียมน้ำเสียต่อไป น้ำเสียสิ่งปฏิกูลที่ใช้ตลอดการทดลองได้รับจากรถขนถ่ายทั้งหมด 10 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งที่ได้รับน้ำเสียมาแล้ว จะทดลองตกตะกอนด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังกล่าว ก่อนที่จะนำเข้าสู่ระบบกำจัดทางชีวเคมีต่อไป

อนึ่ง น้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มแล้ว พบว่าสามารถลดความสกปรกส่วนใหญ่ของน้ำเสียได้มากกว่า 90 % การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความสกปรกส่วนใหญ่ของน้ำเสียอยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอย มีข้อสังเกตุประการหนึ่งคือ ถึงแม้ว่าตะกอนแขวนลอยสามารถตกตะกอนได้โดยสมบูรณ์ แต่ปริมาณความเข้มข้นของ TKN ถูกกำจัดไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การที่เป็นเช่นนี้ เพราะ TKN ส่วนใหญ่ที่อยู่ในน้ำเสียอยู่ในรูปของสารละลายไม่ทำปฏิกิริยากับสารส้ม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้กระบวนการทางชีวเคมี กำจัด TKN ก่อนที่จะทิ้งลงสู่ลำน้ำสาธารณะต่อไป

## 4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้ทดลองได้สร้างแบบจำลองแอกติเวเต็ดสลัดจ์ 2 ชุด และแบบจำลองแอเรเต็ดลากูน 1 ชุด โดยทำการทดลองพร้อมกัน น้ำเสียที่ได้จากการตกตะกอนดังกล่าวแล้ว จะถูกป้อนเข้าสู่ถังเติมอากาศของระบบทั้งสอง ด้วยเครื่องสูบน้ำแบบรีดสาย และ

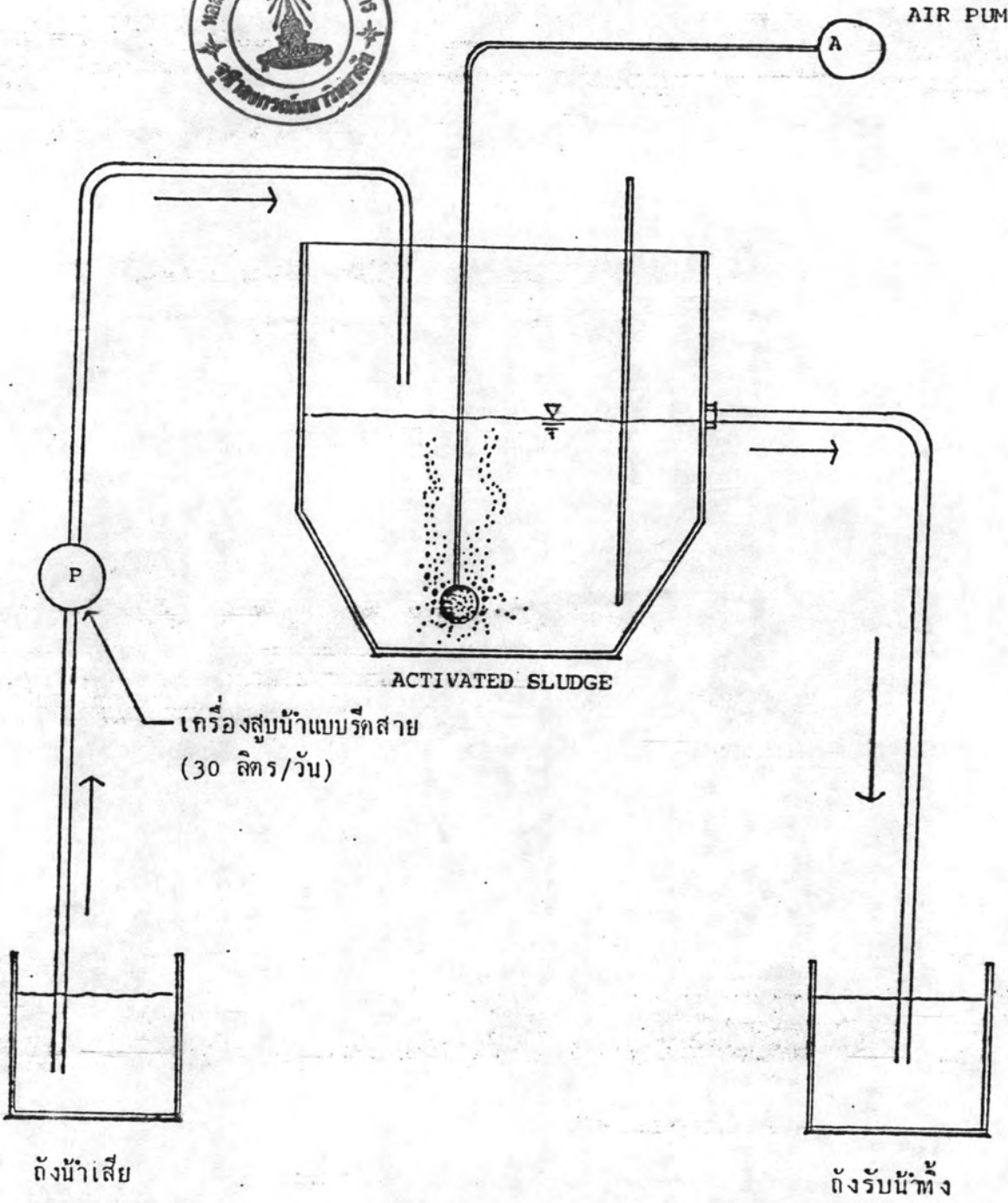
เครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม ตามลำดับ ภายในถังเติมอากาศมีเครื่องเป่าอากาศซึ่งทำหน้าที่เพิ่มปริมาณออกซิเจน และ ช่วยในการกวนสมบูรณ์ ทิศทางการไหลของน้ำเสียตลอดจนการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองทั้งสองระบบนี้ แสดงอยู่ในภาพที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.2

4.3.1 เครื่องสูบน้ำแบบรีดสาย ( Peristaltic pump ) MODEL 502 S ผลิตโดย บริษัท WATSON - MARLOW จำกัด สามารถติดตั้งหัวจ่ายน้ำได้หลายหัวจ่าย ในการทดลองจะใช้เครื่องสูบน้ำชนิดนี้จ่ายน้ำให้กับ ระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ โดยควบคุมอัตราการไหลคงที่ คือ 30 ลิตร / วัน ทั้ง 2 ชุด

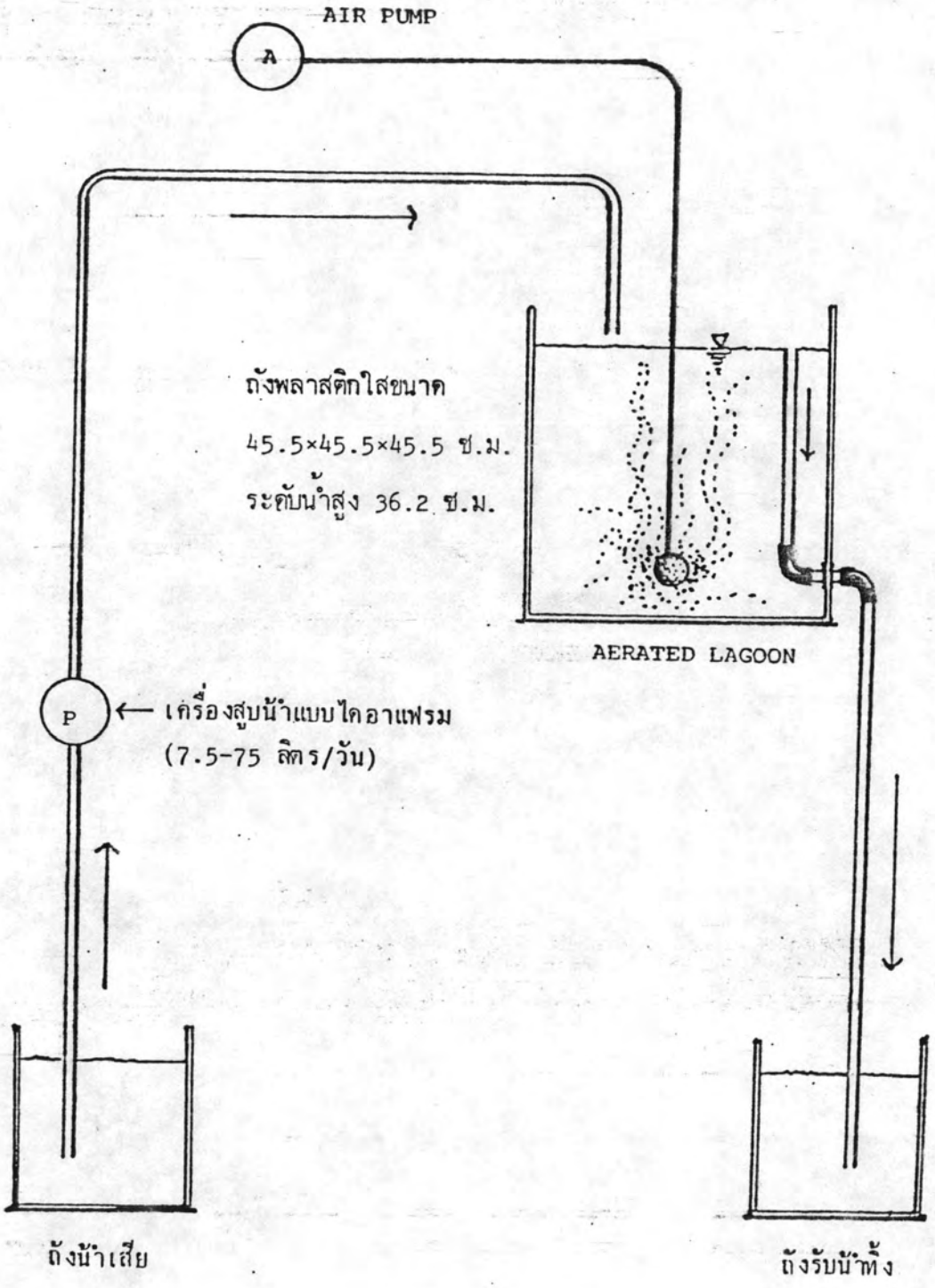
4.3.2 เครื่องสูบน้ำไดอะแฟรม ( Diaphragm Pump ) ยี่ห้อ PROMINENT รุ่น E 1201 ผลิตโดยบริษัท Chemie & Filter GMBH เยอรมัน เป็นเครื่องสูบน้ำที่มีมอร์เตอร์ขับเคลื่อนด้วยระบบอีเล็กทรอนิค สามารถควบคุมอัตราการไหลต่ำมาก ๆ ได้ ในการทดลองจะใช้เครื่องสูบน้ำชนิดนี้กับระบบแอเรตเต็ดลากูน ทั้งนี้เพราะระบบดังกล่าวจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลเข้าสู่ระบบ ตามการเปลี่ยนแปลงของ HRT อัตราการไหลต่ำสุดที่ใช้ คือ 7.5 ลิตร/วัน ซึ่งอัตราการไหลต่ำมากนี้ เครื่องสูบน้ำแบบรีดสายไม่สามารถทำได้

4.3.3 เครื่องเป่าอากาศ ( Air Pump ) ในการทดลองจะใช้เครื่องเป่าอากาศของ National Air Pump บริษัทผู้ผลิต Matsushita Electric Works เครื่องเป่าอากาศชนิดนี้สามารถแยกหัวเป่าได้หลายหัว ทำหน้าที่ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจน และ การกวนสมบูรณ์ในถังเติมอากาศ โดยใช้ทั้งระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ และ ระบบแอเรตเต็ดลากูน

4.3.4 แบบจำลองแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ แบบจำลองนี้สร้างขึ้น 2 ชุด มีขนาดและรูปร่างเหมือนกันทุกประการ ดังภาพที่ 4.3 และ 4.4 โดยสร้างขึ้นจากแผ่นพลาสติกใส ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนเติมอากาศมีปริมาตร 8.5 ลิตร ส่วนตกตะกอนมีปริมาตร 1.5 ลิตร มีแผ่นพลาสติกที่ปรับสูงต่ำได้กั้นอยู่ ที่ด้านข้างของส่วนตกตะกอนมีท่อระบายน้ำทิ้งซึ่งอยู่สูงจากก้นถัง 18 ซ.ม. ต่อไปยังถังรับน้ำทิ้ง ในการคำนวณอัตราการระบายตะกอนออกจากถังเติมอากาศ ใช้ปริมาตรรวมทั้งหมดของถังเติมอากาศ และ ถังตกตะกอนคือ 10 ลิตร โดยนำแผ่นพลาสติกที่กั้นอยู่ออกก่อน แล้วจึงระบายตะกอน

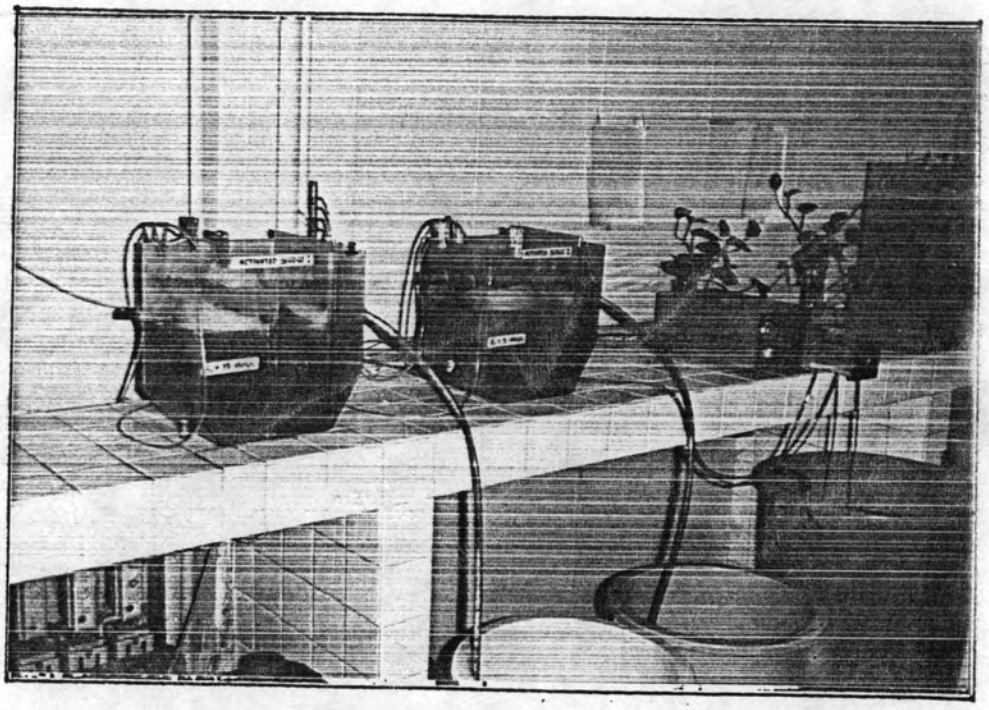



ภาพที่ 4.1 แสดงรายละเอียดและการติดตั้งระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์

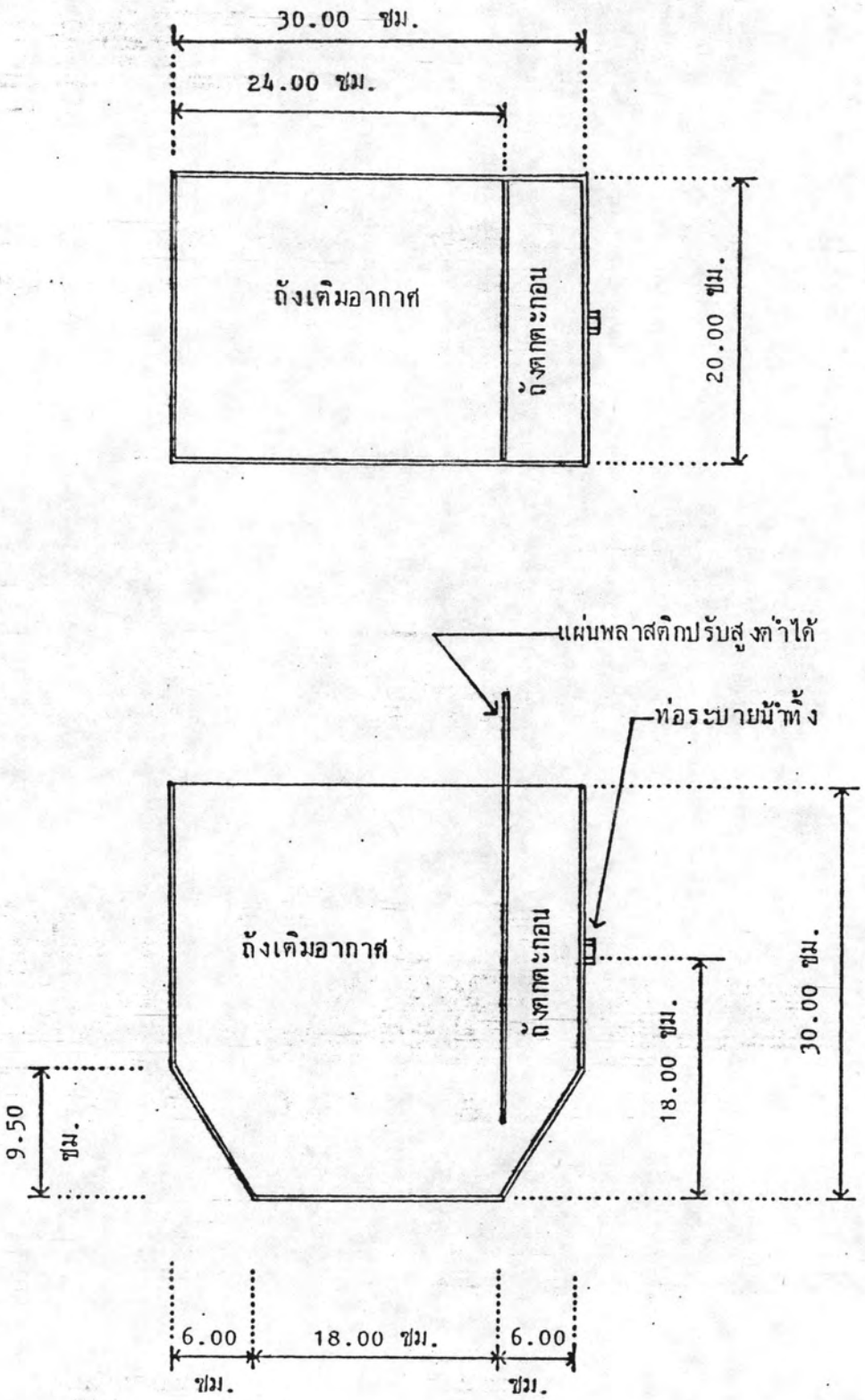



ภาพที่ 4.2 แสดงรายละเอียดและการติดตั้งระบบแอเรตเต็ดลากูน

I 1029 5471



ภาพที่ 4.3 ระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองกำจัดสิ่งปฏิกูล




ภาพที่ 4.4 แสดงรูปร่าง ขนาด ของถังเติมอากาศและถังตกตะกอนระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์

การป้อนน้ำเสียสิ่งปฏิกูล จะใช้เครื่องสูบน้ำแบบรีดสายป้อนน้ำเสียเข้าสู่ส่วนเติมอากาศ ด้วยอัตราคงที่ คือ 30 ลิตร / วัน โดยมีเครื่องเป่าอากาศทำหน้าที่ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจน และการกวนสมบูรณ์ น้ำเสียที่ถูกบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวเคมีแล้ว จะไหลลอดใต้แผ่นกั้น เข้าสู่ส่วนตกตะกอน ซึ่งที่ส่วนนี้ตะกอนจะแยกออกจากน้ำ โดยน้ำใสอยู่ส่วนบน ตะกอนจะอยู่ส่วนล่าง ตะกอนบางส่วนจะหมุนเวียนกลับไปยังส่วนเติมอากาศอีก ส่วนน้ำใสที่อยู่ตอนบนนั้นจะไหลออกทางท่อระบายน้ำทิ้ง ลงสู่ถังรับน้ำทิ้งต่อไป

4.3.5 แบบจำลองแอเรตเต็ดลากูน ในการทดลองครั้งนี้ใช้แบบจำลอง 1 ชุด ภาพที่ 4.5 และ 4.6 แสดงรูปร่างและขนาดของถังเติมอากาศ แบบจำลองนี้ สร้างขึ้นจากแผ่นพลาสติกใส ลักษณะเป็นถังสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 45.5 × 45.5 × 45.5 ซ.ม. โดยมีทางระบายน้ำล้น ซึ่งทำด้วยท่อ พีวีซี ควบคุมระดับน้ำภายในถังให้มีระดับคงที่อยู่ตลอดเวลา ที่ความสูง 36.2 ซ.ม. จากก้นถัง ดังนั้นปริมาตรของน้ำภายในถังจะมีค่าคงที่เช่นเดียวกัน คือ 75 ลิตร

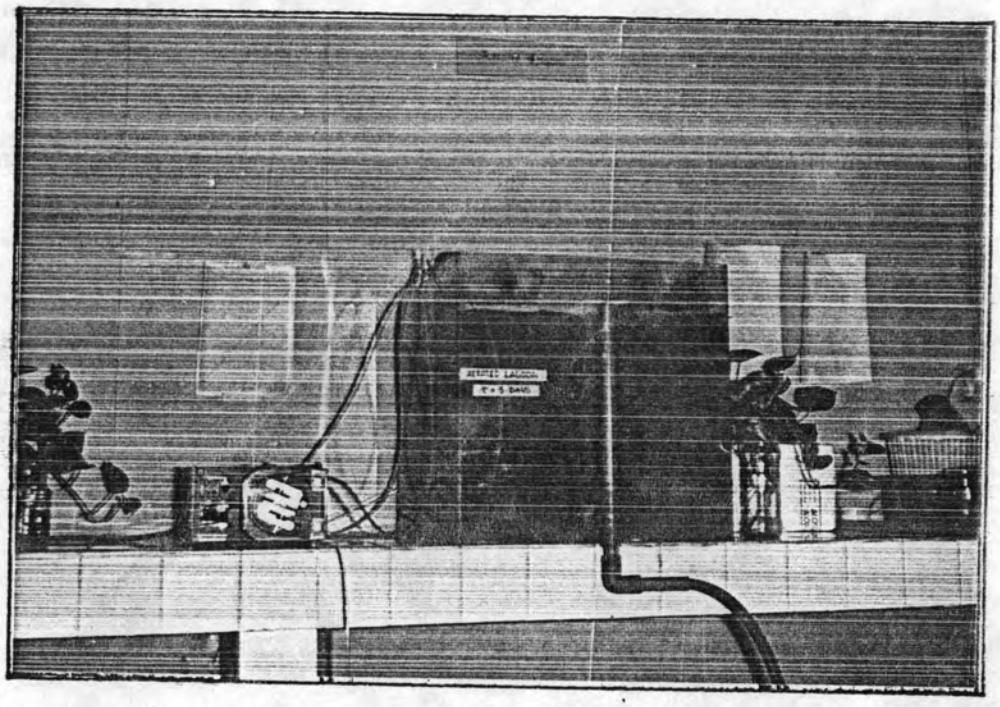
การป้อนน้ำเสียสิ่งปฏิกูลจะใช้เครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม ป้อนน้ำเข้าสู่ถังเติมอากาศด้วยอัตราที่เปลี่ยนแปลงไปตาม การเปลี่ยนแปลงของ HRT โดยมีเครื่องเป่าอากาศทำหน้าที่ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจน และ การกวนสมบูรณ์ น้ำเสียที่ถูกบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวเคมีแล้ว จะไหลล้นออกทางท่อ พีวีซี ลงสู่ถังรองรับน้ำทิ้ง เนื่องจากแบบจำลองแอเรตเต็ดลากูนออกแบบเป็น CSTR แบบไหลทิ้ง ( โดยไม่หมุนเวียนตะกอนกลับคืน ) ดังนั้นตัวอย่างน้ำจากถังเติมอากาศ และ น้ำทิ้ง จึงมีลักษณะสมบัติเหมือนกัน

## 4.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำต่าง ๆ

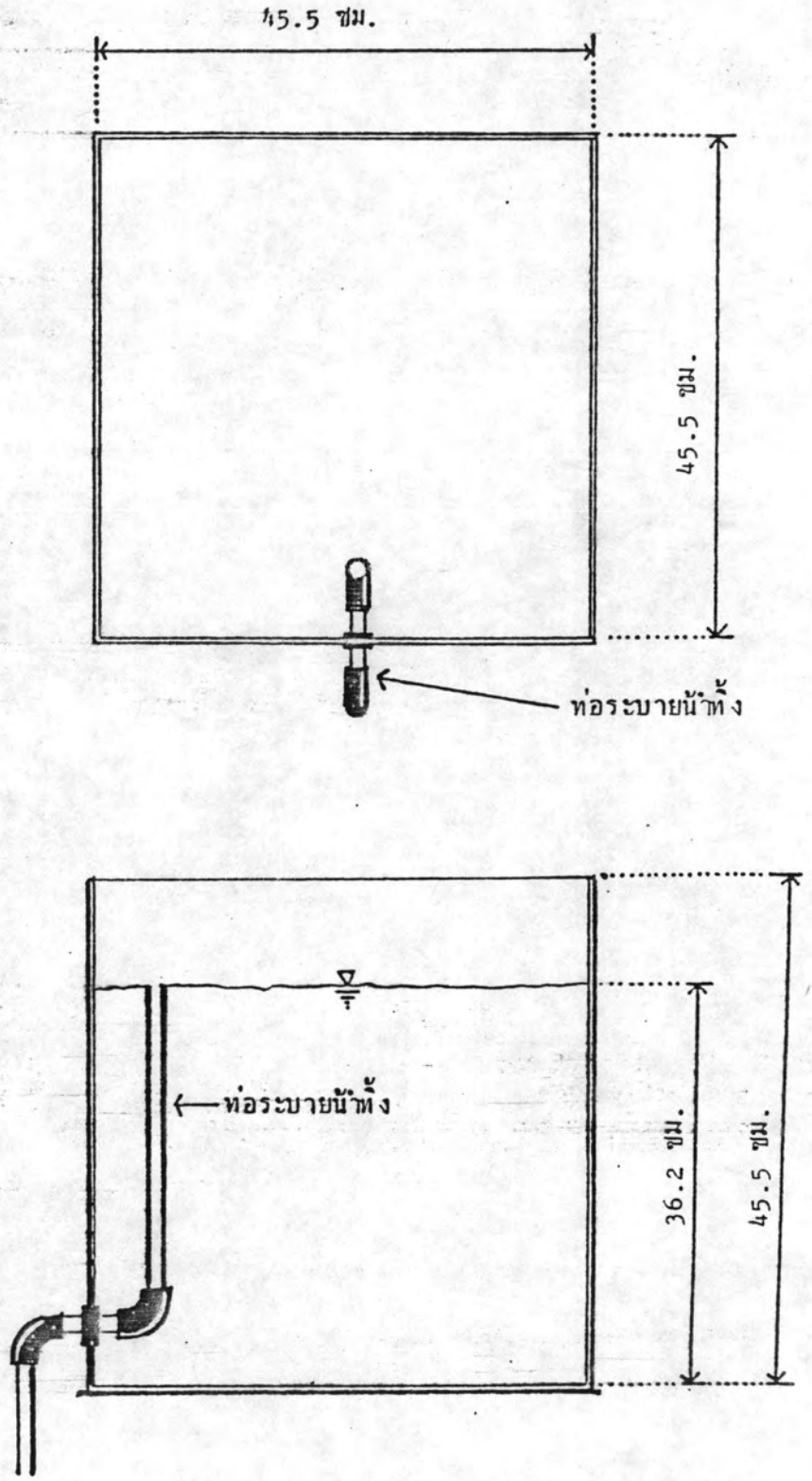
ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ลักษณะทางเคมีและกายภาพของน้ำที่ต้องวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณตัวแปรเปลี่ยนตามได้แก่ ออกซิเจนละลาย , พีเอช , อุณหภูมิ , ตะกอนแขวนลอย , ตะกอนโวลาไทล์ , TKN , $NO_2$- N , $NO_3$- N , TOTAL - P , BOD , COD ,และ FOG

- ออกซิเจนละลาย ( Dissolved oxygen ) ทำการวัดโดยใช้ DO Meter รุ่น YSI MODEL 51 B บริษัทผู้ผลิต Yellow Springs Instrument

- อุณหภูมิ ทำการวัดพร้อมกันกับ ออกซิเจนละลายทุกครั้ง โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่อยู่ใน DO Meter



ภาพที่ 4.5 ระบบแอเรตเต็ดลากูนที่ใช้ในการทดลองกำจัดสิ่งปฏิกูล




ภาพที่ 4.6 แสดงรูปร่างและขนาดของถังเติมอากาศ ระบบแอเรตเต็ดลากูน

- พีเอช ทำการวัดโดยใช้ pH Meter 7020 บริษัทผู้ผลิต คือ Electronic Instruments Ltd. , Chertsey . Surrey ประเทศอังกฤษ

- ส่วนตัวแปรอื่น ๆ วิเคราะห์โดยใช้วิธีการตามหนังสือ American Standard Methods ของ APHA , AWWA ,และ WPCF พิมพ์ครั้งที่ 15 ( 47 )

อนึ่ง ในแต่ละการทดลอง หลังจากที่ระบบอยู่ในสภาวะคงที่แล้ว จะเก็บตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่างทุกจุดมาวิเคราะห์ติดต่อกัน 3 วัน สำหรับแผนการเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการวิเคราะห์ แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แผนการเก็บตัวอย่างและความถี่ในการวิเคราะห์น้ำเสียสิ่งปฏิกูล

| ตัวแปรเปลี่ยนตาม | จุดที่เก็บตัวอย่าง | ความถี่ในการวิเคราะห์ |
|---|---|---|
| 1 DO | ถังเติมอากาศ | ทุกวัน |
| 2 pH | ถังใส่น้ำเสีย ,ถังเติมอากาศ , ถังรับน้ำทิ้ง | ทุกวัน |
| 3 Temp. | ถังเติมอากาศ | ทุกวัน |
| 4 SS | ถังเติมอากาศ , ถังรับน้ำทิ้ง | ทุกวัน |
| 5 VSS | ถังเติมอากาศ | ทุกวัน |
| 6 TKN | ถังใส่น้ำเสีย , ถังรับน้ำทิ้ง | จันทร์ , พุธ , ศุกร์ |
| 7 $NO_2$- N | ถังรับน้ำทิ้ง | จันทร์ , พุธ , ศุกร์ |
| 8 $NO_3$- N | ถังรับน้ำทิ้ง | จันทร์ , พุธ , ศุกร์ |
| 9 TOTAL - P | ถังใส่น้ำเสีย , ถังรับน้ำทิ้ง | จันทร์ , พุธ , ศุกร์ |
| 10 BOD | ถังใส่น้ำเสีย , ถังรับน้ำทิ้ง | 3 วันติดต่อกันเมื่ออยู่ในสภาวะคงที่ |
| 11 COD | ถังใส่น้ำเสีย , ถังรับน้ำทิ้ง | จันทร์ , พุธ , ศุกร์ |
| 12 FOG | ถังใส่น้ำเสีย , ถังรับน้ำทิ้ง | 3 วันติดต่อกันเมื่ออยู่ในสภาวะคงที่ |