การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น โดยวิธีย่อยสลายแบบไร้อากาศ

TREATMENT OF LATEX INDUSTRY WASTEWATER BY ANAEROBIC DIGESTION

โดย

นางจรรยา อินทมณี

ครูชำนาญการ 6

ทุนวิจัยประเภทนักวิจัยใหม่

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ปีงบประมาณ 2538

เลขหมู่ TD769 จ44 2540

Order ... 121A7 ...

126867

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เมษายน 2540

บทคัดย่อ

น้ำเสียจากระบบสกิมโรงงานน้ำยางข้น มีค่า ซีโอดี ประมาณ 25,000-35,000 มก/ล. การบำบัดขั้นต้นใช้วิธีการบำบัดแบบไร้อากาศ เพื่อลดค่า ซีโอดี ให้น้อยลง แล้วจึงใช้วิธีบำบัดทางชีวภาพที่เหมาะสมในขั้นต่อไป จุดประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อหาพีเอชและเวลากักเก็บที่เหมาะสมของระบบ และหาค่าคงที่ของการบำบัด (K) การทดลองทำในถังบำบัดไร้อากาศขนาด 0.15 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 1 ถัง โดยปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างให้อยู่ในช่วง 7.5-9.5 และปรับอัตราการไหลเพื่อให้มีเวลากักเก็บ 21,14 และ 10 วัน ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ที่ระยะเวลากักเก็บ 21 วัน ภาระบรรทุกซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 0.2 กก./ม^3-วัน เมื่อผ่านระบบบำบัด ซีโอดี ลดลงประมาณ 41.6 % เกิดกรดไขมันระเหยได้ประมาณ 7,000 - 9,000 มก/ล (อะซีติค) พีเอช 7.6 -7.8 ที่ระยะเวลากักเก็บ 14 วัน ภาระบรรทุกซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 0.3 กก/ม^3-วัน เมื่อผ่านระบบบำบัด ซีโอดี ลดลงประมาณ 41.6 % เกิดกรดไขมันระเหยได้ประมาณ 7,800 - 9,500 มก/ล พีเอช 6.8 - 7.2 ส่วนที่ระยะเวลากักเก็บ 10 วัน ภาระบรรทุกซีโอดีเท่ากับ 0.4 กก./ม^3-วัน ระบบเริ่มล้มเหลว ซีโอดีของน้ำออกจากระบบบำบัด ลดลงประมาณ 19% เกิดกรดไขมันระเหยได้ประมาณ 10,000 - 12,000 มก/ล พีเอช 6.3 - 6.7 ค่าคงที่ของการบำบัด เท่ากับ 0.045 ต่อวัน ดังนั้นระยะเวลากักเก็บที่เหมาะสมควรมากกว่า 14 วัน เนื่องจากค่า พีเอช อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการดำรงชีพของแบคทีเรียสร้างมีเทน จากผลการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปพัฒนาแนวทางในการวิจัยต่อไป โดยทำการทดลองในถังบำบัด 2 ถัง ถังแรกเป็นถังกรด ถังที่สองเป็นถังมีเทน

Abstract

Wastewater from the rubber skim processes has COD 25,000-30,000 mg/l. The first treatment,in general, used anaerobic digestion which can reduce the great amout of COD. After that it can follow by any suitable biological treatment. The purposes of this study is to find the optimum pH and hydralic retention time (HRT), and determimed anaerobic digestion constant (K). The experiments were performed by treating wastewater from rubber skim process in anaerobic tank. The wastewater was continuously fed into 0.15 cubic meter anaerobic tank. The pH was controled to be in the range of 7.5-9.5 and the flow rate was varied inorder to get HRT 21,14 and 10 days. At HRT 21 days, COD load was about 0.2 kg/m^3-day, COD removal was 41.6%, volatile acid was 7,000 - 9,000 mg/l(as acetic acid) and pH was 7.6 - 7.8. At HRT 14 days, COD load was about 0.3 kg/m^3-day, COD removal was 41.6%,volatile acid was 7,800 - 9,500 mg/l, pH was 6.8 - 7.2. At HRT 10 days COD load was 0.4 kg/m^3-day, COD removal was 19%,volatile acid was 10,000 - 12,000 mg/l, pH was 6.3 - 6.7. The kinetics of COD removal was 0.045/day. It can describe that the best HRT was longer than 14 days because pH of the effluent had good condition for methane former bacteria in methane tank. The results from this research shown that it should have two anaerobic tanks,one for acid tank and another one for methane tank.

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(4)
สารบาญ	(5)
รายการตาราง	(7)
รายการภาพประกอบ	(8)
คำย่อและสัญลักษณ์	(9)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
2. การตรวจเอกสาร	5
2.1 กลไกการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ	5
2.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ	7
2.3 สภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	7
2.4 ประเภทของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ	8
2.5 การดูแลระบบบำบัดแบบไร้อากาศ	13
2.6 ผลงานวิจัยและรายงานที่เกี่ยวกับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ	14
3. อุปกรณ์ วิธีการทดลองและผลการทดลอง	18
3.1 อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	18
3.2 การเก็บตัวอย่างและจุดเก็บตัวอย่าง	20
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง	21
4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	22
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	22

4.2 การเตรียมแบคทีเรียให้คุ้นเคยกับน้ำเสีย 23
4.3 การศึกษาระยะเวลากักเก็บที่เหมาะสม 24
4.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและกรดไขมันระเหยได้ 25
4.5 ผลการทดลอง 25
4.6 สัดส่วนการเกิดกรดไขมันระเหยได้กับซีโอดีที่ลดลง 29
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างบีโอดีและซีโอดี 31
4.8 ประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัด 31
4.9 การทดลองหาค่าคงที่ของการบำบัด 31
4.10 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 34
บรรณานุกรม 36
ภาคผนวก ก 39
ภาคผนวก ข 41
ประวัติผู้เขียน 65

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1.	คุณสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	22
2.	ผลการวิเคราะห์น้ำเข้าระบบบำบัดและออกจากระบบบำบัด ที่เวลากักเก็บ 21 วัน	26
3.	ผลการวิเคราะห์น้ำเข้าระบบบำบัดและออกจากระบบบำบัด ที่เวลากักเก็บ 14 วัน	27
4.	ผลการวิเคราะห์น้ำเข้าระบบบำบัดและออกจากระบบบำบัด ที่เวลากักเก็บ 10 วัน	28
5.	สัดส่วนซีโอดี ที่ลดลงกับกรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้น ที่เวลากักเก็บ 21 วัน	29
6.	สัดส่วนซีโอดี ที่ลดลงกับกรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้น ที่เวลากักเก็บ 14 วัน	30
7.	สัดส่วนซีโอดี ที่ลดลงกับกรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้น ที่เวลากักเก็บ 10 วัน	30
8.	ผลการทดลองหาค่า ซีโอดี เพื่อหาค่าคงที่ของการบำบัด	32
9.	ข้อมูล ซีโอดี เริ่มต้นและค่า (So - Se)/t	33

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1.	ขั้นตอนการผลิตและจุดเกิดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น	2
2.	แผนภูมิการเกิดมีเทน	6
3.	บ่อแอนแอโรบิค	9
4.	บ่อเกรอะ	9
5.	ถังหมักชนิดอัตรากำจัดต่ำ	10
6.	ถังหมักชนิดอัตรากำจัดสูง	11
7.	ถังหมักแบบสองเฟส	11
8.	ถังกรองแอนแอโรบิค	12
9.	ระบบแอนแอโรบิคฟลูอิดไดซ์เบด	12
10.	ระบบจานชีวหมุนแบบไร้ออกซิเจน	13
11.	ระบบบำบัดจำลอง	18
12.	กราฟแสดงพีเอชของน้ำป้อนเข้าระบบ	23
13.	กราฟแสดง พีเอช ที่ระยะเวลากักเก็บ 21 วัน	24
14.	กราฟแสดง พีเอช ที่ระยะเวลากักเก็บ 14 วัน	24
15.	กราฟแสดง พีเอช ที่ระยะเวลากักเก็บ 10 วัน	25
16.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช และกรดไขมันระเหยได้ที่เวลากักเก็บ 10 วัน	25
17.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (So - Se)/t และ Se	33

คำย่อและสัญลักษณ์

BOD	=	Biochemical Oxygen Demand
BOD_{ult}	=	BOD ultimate
COD	=	Chemical Oxygen Demand
DO	=	Dissolved Oxygen
HRT	=	Hydraulic Retention Time
K	=	digestion constant
Kg	=	Kilogram
m^3	=	cubic meter
M	=	Molar
ml	=	milliliter
mg/l	=	milligram per liter
pH	=	a concentration of hydrogen ion in a solution
SS	=	Suspended Solids
So	=	ค่า ซีโอดี เริ่มต้น
Se	=	ค่า ซีโอดี ที่เวลากักเก็บใดๆ
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
VFA	=	Volatile Fatty Acid
$ม^3$	=	ลูกบาศก์เมตร
ลบ.ซม.	=	ลูกบาศก์เซ็นติเมตร
ลบ.ดม.	=	ลูกบาศก์เดซิเมตร

บทที่ 1
บทนำ

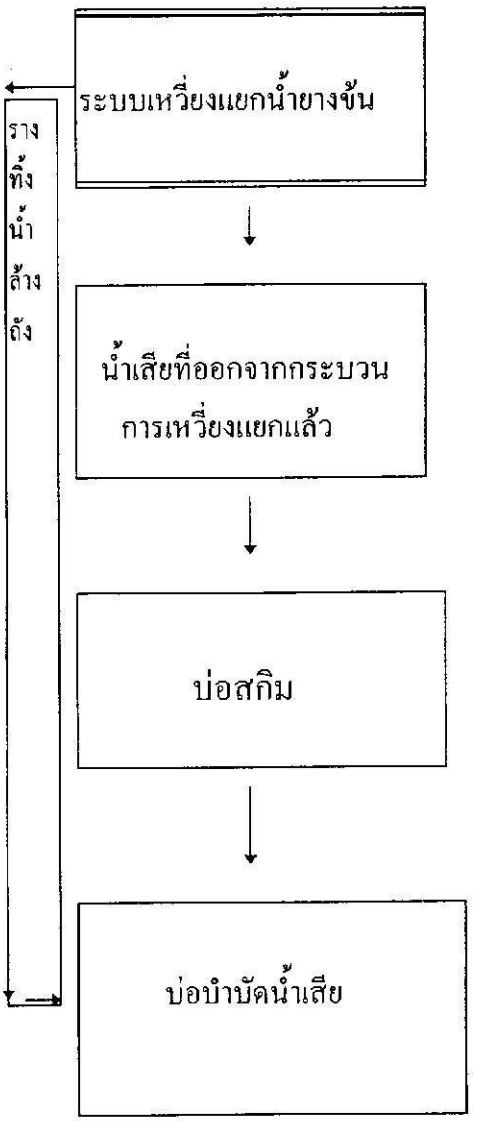
1.1 ที่มาของปัญหา

อุตสาหกรรมน้ำยางข้น นับว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญมากในภาคใต้ เนื่องจากปัจจุบันความต้องการใช้ผลผลิตจากยางพารามีมาก และมีหลายรูปแบบ เช่น ยางแผ่น ยางแท่งยางเครป น้ำยางข้น โดยเฉพาะอุตสาหกรรมน้ำยางข้นตลาดมีความต้องการมาก เพราะสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบได้หลายรูปแบบ เช่น ใช้ผลิตถุงมือยางสำหรับแพทย์ ใช้ด้านอุตสาหกรรมแปรรูปอย่างอื่น เช่น ทำฟองน้ำ ที่นอน โฟม เป็นต้น

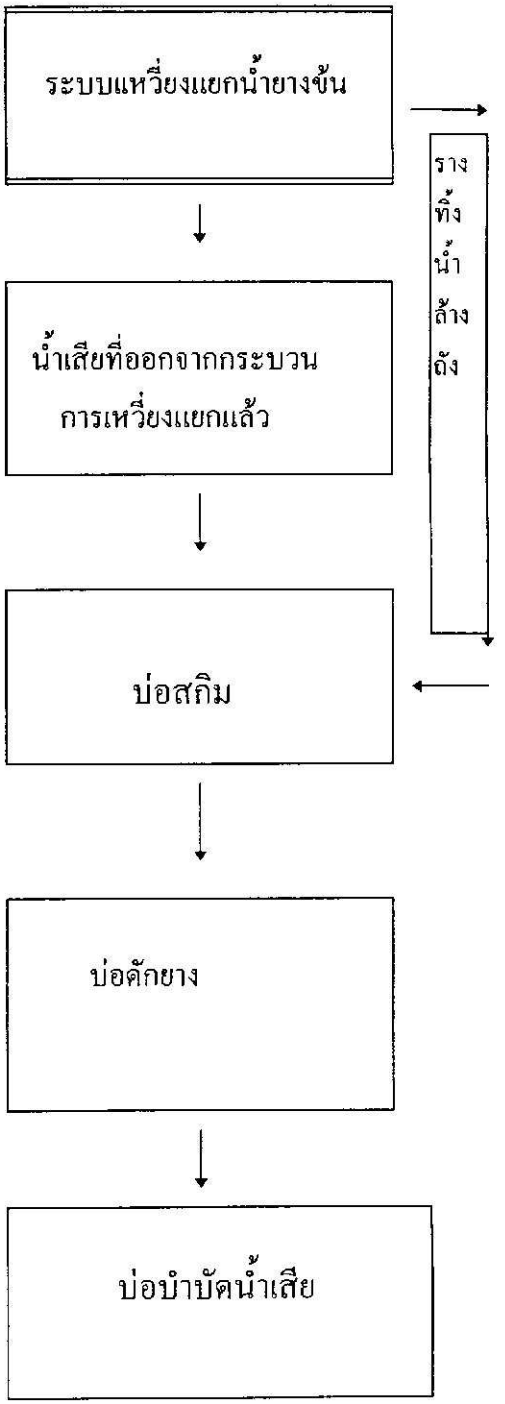
โรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้น รับซื้อน้ำยางแล้วนำมาแยกน้ำออกด้วยกระบวนการเหวี่ยงแยก(centrifuge)เพื่อส่งขายต่อไปยังโรงงานแปรรูปยางพาราต่าง ๆ ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ จากการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลของผู้วิจัยและอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผศ.ดร.กัลยาศรีสุวรรณ และ ดร. วีระศักดิ์ ทองลิมป์ พบว่าเครื่องจักรกลที่ใช้การผลิตน้ำยางข้นของโรงงานต่างๆเป็นยี่ห้อเดียวกัน กรรมวิธีการผลิตคล้ายคลึงกัน กำลังผลิตประมาณ 600 ลิตรต่อชั่วโมง การทำงานของเครื่องเหวี่ยงแยกเป็นการทำงานแบบแบ็ช(batch) แบ็ชละประมาณ 3 ชั่วโมง น้ำยางสดจากสวนที่รับซื้อ มีเนื้อยางแห้งประมาณ 25-45 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยางได้แก่ เศษเปลือกยาง ขยะ ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เป็นหางยาง 50-70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง ส่วนที่เป็นหางยาง จะมีเนื้อยางตกค้างอีกประมาณ 5-10% จะถูกส่งไปยังบ่อสกิม เพื่อแยกเอายางที่ยังตกค้างอยู่ออกอีกครั้งหนึ่ง โดยการเติมกรดซัลฟุริกเข้มข้น 95% สำหรับโรงงานซึ่งผู้วิจัยเลือกศึกษาคือ โรงงาน บริษัท ไชยาพรลาเท็กซ์ จำกัด ใช้สัดส่วนกรดซัลฟุริกเข้มข้น 45 กก ต่อ หางยาง 3 ลูกบาศก์เมตร เนื้อยางจะจับตัวกันเป็นก้อน แยกออกจากน้ำนำเข้าเครื่องรีดน้ำออก ได้เป็นเศษยาง ส่งขายต่อไปยังโรงงานทำยางเครฟและยางแท่ง น้ำที่แยกออกมาจะปล่อยไปสู่บ่อกักเก็บน้ำเสียของโรงงาน น้ำเสียที่ออกจากบ่อสกิม จากการวิเคราะห์พบว่ามีค่าซีโอดี ประมาณ 25,000-35,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชประมาณ 3.2-4.7 จากการสำรวจโรงงานน้ำยางข้น 2-3 โรงงาน พบว่า ลักษณะบ่อบำบัดน้ำทิ้งเป็นบ่อดินแบบบ่อธรรมชาติ บ่อแรกจะมีลักษณะเป็นบ่อหมัก เนื่องจากบริเวณผิวหน้าของบ่อมีแผ่นยางลอยตัวจับกันหนาปกคลุมผิวหน้าของบ่อ ทำให้เกิดเป็นบ่อหมักมีกลิ่นเหม็น หากโรงงานอยู่ใกล้ชุมชนจะส่งกลิ่นรบกวนชาวบ้านมาก

ที่มาของน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นและกระบวนการบำบัดขั้นต้นก่อนลงสู่บ่อบำบัด เท่าที่สำรวจอาจสรุปได้ 2 แบบ

แบบที่ 1



แบบที่ 2



รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตและจุดเกิดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้น

น้ำเสียซึ่งออกจากบ่อสกิม มีค่า บีโอดี ซีโอดี สูง เนื่องจากในน้ำเสียมีโปรตีน คาร์โบไฮเดรต เนื้อยางที่เหลือจากการสกิม ฯลฯ ส่วนโรงงานที่มีระบบการดักยาง(rubber trap) จะมีค่า บีโอดี และซีโอดีไม่สูงมาก เนื่องจาก ระยะเวลาที่ผ่านระบบดักยางหลายๆ บ่อ เนื้อยางส่วนที่ แยกไม่หมดลอยตัวขึ้นด้านบนของบ่อ น้ำใสจะลอดออกทางด้านล่างของบ่อ ส่วนน้ำล้างถังจะส่งผ่านรางระบายไปสู่ระบบสกิม เพื่อแยกเอาเนื้อยางส่วนที่ยังแยกไม่หมด แต่บางโรงงานมีความเห็นว่าน้ำล้างถังมีปริมาณเนื้อยางน้อย ไม่คุ้มกับการนำไปสกิมจึงส่งต่อไปยังบ่อบำบัดที่ 1 เพื่อให้เนื้อยางที่ยังเหลืออยู่แยกตัวออกจากน้ำ ซึ่งต้องใช้เวลาหลายวัน เมื่อเนื้อยางแยกออกจากน้ำจะจับตัวเป็นก้อนยางลอยปิดผิวหน้าของบ่อบำบัด ทำให้ส่วนล่างของบ่อมีลักษณะคล้ายบ่อปิด ยางที่จับเป็นก้อนนำขึ้นจากบ่อโดยใช้แรงงานคนแล้วนำไปอัดเป็นเศษยาง

การบำบัดน้ำเสียสำหรับโรงงานน้ำยางข้น ยังไม่มีผลงานวิจัยหรือรูปแบบวิธีการบำบัดมาตรฐานเหมือนโรงงานประเภทอื่นๆ เนื่องจากเป็นโรงงานอุตสาหกรรมค่อนข้างใหม่ การศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียยังมีน้อย ระบบบำบัดที่ใช้อยู่ส่วนมากเป็นบ่อผึ่ง เมื่อเศษยางลอยตัวปิดผิวหน้าบ่อจะกลายเป็นบ่อไร้อากาศ มีกลิ่นเหม็น ก่อให้เกิดปัญหาต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมมาก ผู้วิจัยสนใจศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากระบบสกิมโดยวิธีการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียซึ่งออกจากระบบสกิมจากโรงงานน้ำยางข้น โดยวิธีการบำบัดแบบไร้อากาศ โดยใช้ถังปฏิกรณ์ 1 ถัง และกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัยไว้ ดังนี้

1.2.1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้น โดยวิธีการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

1.2.2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัด (optimum condition) เพื่อให้สามารถควบคุมระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2.3. เพื่อหาค่าคงที่ของการบำบัด (K)

1.2.4. เพื่อประเมินแนวทางในการบำบัดให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด

1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1. ทำให้ทราบประสิทธิภาพของระบบบำบัด

1.3.2. ทำให้ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมระบบให้มีประสิทธิภาพ

1.3.3. หากประสิทธิภาพของระบบดี สามารถนำค่าคงที่ ไปใช้ออกแบบระบบได้

1.3.4. ทำให้ทราบแนวทางในการที่จะพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพต่อไปได้

1.4. ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1. วิเคราะห์สัดส่วนสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

1.4.2. ศึกษา สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัด เพื่อให้สามารถควบคุมระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ พารามิเตอร์ที่ศึกษาได้แก่ พีเอช ระยะเวลาการกักเก็บที่เหมาะสม(HRT) ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมนี้ประเมินได้จากการวิเคราะห์ บีโอดี ซีโอดี พีเอช และสารแขวนลอย

1.4.3. วัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและวิเคราะห์องค์ประกอบ

1.4.4. ทดลองหาค่าคงที่ของการบำบัด

1.4.5. ประเมินแนวทางในการบำบัดให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น เพื่อจะได้มีผลต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1. กลไกการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศนิยมใช้ในการบำบัดขั้นต้น เพื่อช่วยลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้น้อยลง แล้วจึงพิจารณาการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ที่เหลือต่อไป หลักการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ สรุปได้ 3 ขั้นตอน คือ

2.1.1. กระบวนการไฮโดรไลซีส (hydrolysis) เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่โมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลง โดยแบคทีเรียพวก ไฮโดรไลติค(hydrolytic bacteria)

คาร์โบไฮเดรต	ถูกย่อยเป็น	น้ำตาล
โปรตีน	ถูกย่อยเป็น	กรดอะมิโน
ไขมัน	ถูกย่อยเป็น	กรดไขมัน

ในกระบวนการนี้อาจมีการเกิดปฏิกริยาการหมักเกิดขึ้นด้วย โดยแบคทีเรียเฟอร์เมนเตทีฟ (fermentative bacteria)

2.1.2. กระบวนการสร้างกรด (acid fermentation) สารอินทรีย์ที่ได้จากขั้นตอนไฮโดรไลซีส จะถูกแบคทีเรียสร้างกรด (acidogenic bacteria) เปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นกรดไขมันระเหยได้(volatile fatty acid) เช่น กรดอะซีติค กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทีริก เป็นต้น

2.1.3. กระบวนการสร้างมีเทน (methane fermentation) เป็นการสร้างก๊าซมีเทนจากกรดไขมันระเหยได้ที่ได้จากกระบวนการสร้างกรด โดยแบคทีเรียกลุ่มเมธาโนจีนิก (methanogenic bacteria) การสร้างมีเทนจากกรดอินทรีย์ระเหยได้สร้างได้หลายวิธี เช่น

1) สร้างจากกรดอะซีติค

$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$$

2) สร้างจากกรดโพรไพโอนิก

(1) $CH_3CH_2COOH + 0.5\ H_2O \rightarrow CH_3COOH + 0.25\ CO_2 + 0.75CH_4$

(2) $CH_3\ COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$

ปฏิกิริยารวม (1) + (2)

$CH_3CH_2COOH + 0.5H_2O \rightarrow 1.25CO_2 + 1.75\ CH_4$

2) สร้างจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน

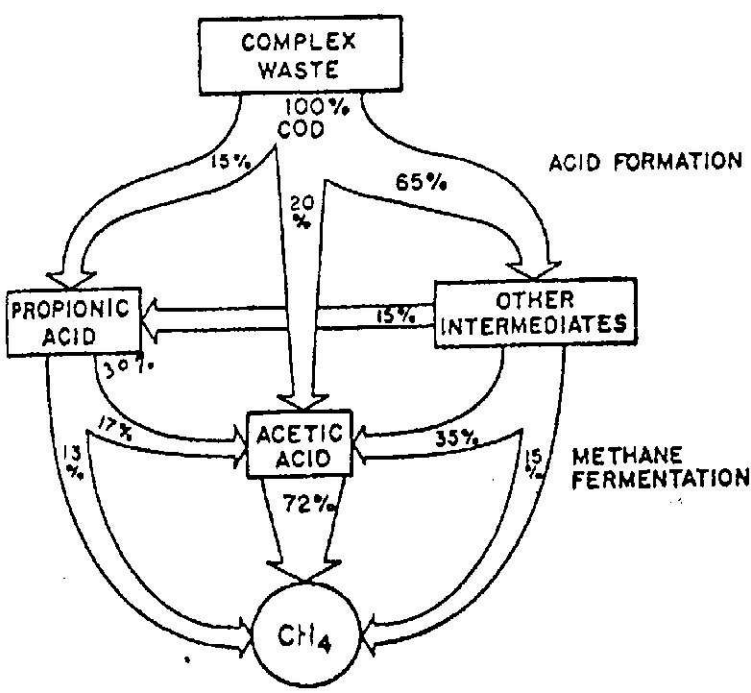
$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$

3) สร้างจากกรดฟอร์มิก

$4HCOOH \rightarrow 4CO_2 + 4H_2$

$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$

จากสมการทั้งหมด สามารถสรุปเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



รูปที่ 2 แผนภูมิการเกิดมีเทน

ที่มา : เสริมพล รัตสุข และคณะ,2525:216

2.2. แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ

ในกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศจะมีแบคทีเรียอยู่ 2 กลุ่มคือ

2.2.1. แบคทีเรียกลุ่มไม่สร้างมีเทน (non-methanogenic bacteria) ได้แก่ แบคทีเรียที่ทำให้เกิดกระบวนการไฮโดรไลซีส และกระบวนการเกิดกรด แบคทีเรียพวกนี้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดีเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 4.0-6.5 สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งที่มีอากาศและไม่มีอากาศส่วนใหญ่เป็นแฟคคัลเททีฟแอนแอโรบิคแบคทีเรีย (facultative anaerobic bacteria) ได้แก่ แบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียที่สร้างกรดอะซีติคและสามารถผลิตไฮโดรเจน และแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซีติคเพียงอย่างเดียว

2.2.2. แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (methanogenic bacteria) เป็นแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน ส่วนใหญ่จะอยู่ได้เฉพาะในสภาวะที่ไม่มีอากาศเท่านั้น (obligate anaerobe) เจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 6.8-7.2 มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้ไม่ดี อัตราการเจริญเติบโตช้า แบคทีเรียทั้งสองประเภทถึงแม้จะเจริญเติบโตได้ในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน แต่สามารถทำงานร่วมกันได้เป็นอย่างดี โดยแบคทีเรียพวกไม่สร้างมีเทน ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง แล้วเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ที่ระเหยได้ พวกแบคทีเรียสร้างมีเทนจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างก๊าซมีเทน การดำรงชีวิตของ แบคทีเรียทั้งสองประเภทนี้ จะพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน เช่น พวกไม่สร้างมีเทนจะช่วยลดออกซิเจนในระบบโดยการดึงไปใช้ และผลิตกรดอินทรีย์จากสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ๆ แบคทีเรียพวกสร้างมีเทนจะดึงไฮโดรเจนไปใช้ในการผลิตมีเทน

2.3. สภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

ระบบบำบัดแบบไร้อากาศจะต้องมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ที่สำคัญได้แก่

2.3.1. อุณหภูมิ ปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงเมโสฟิลิค (mesophilic) ช่วงอุณหภูมิ 30-38°ซ และช่วงเทอร์โมฟิลิก(thermophilic) ช่วงอุณหภูมิ 48-57°ซ ดังนั้นในประเทศหนาวจะต้องมีการเพิ่มอุณหภูมิของ

น้ำทิ้งให้อยู่ในช่วงเมโสฟิลิก แต่สำหรับประเทศไทยระบบทำงานได้ที่ช่วงเมโสฟิลิก ไม่ต้องให้ความร้อนช่วย เนื่องจากมีอุณหภูมิพอเหมาะอยู่แล้ว แต่ศิริวรรณ จัง (2534) ได้ทดลองพบว่าถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็น 40-42°ซ การผลิตก๊าซชีวภาพและปริมาณกรดไขมันระเหยได้จะสูงขึ้น

2.3.2. สภาพไร้ออกซิเจน การที่จะให้ระบบทำงานได้ดีจะต้องไม่มีออกซิเจนอยู่เลย

2.3.3. อาหารเสริม น้ำทิ้งควรมีอาหารเสริมอย่างเพียงพอการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยทั่วไปต้องการธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอัตราส่วน 11% และ 2% ของปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้น คือ BOD:N:P เท่ากับ 100:1.1:0.2

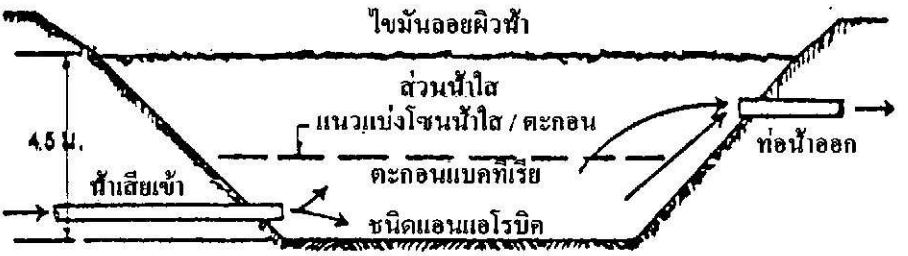
2.3.4. สภาพความเป็นกรด-ด่าง ช่วงพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.6-7.6 ถ้าสูงหรือต่ำกว่านี้ ประสิทธิภาพของระบบจะลดลง การควบคุมพีเอชทำได้โดยการควบคุมปริมาณกรดไขมันระเหยได้ต่อปริมาณด่างให้อยู่ในอัตราส่วน 0.3-0.4

2.3.5. สารที่เป็นพิษ ได้แก่สารประกอบของโลหะโซเดียม โปตัสเซียม แมกนีเซียม คลอไรด์ ฯลฯ ถ้ามีความเข้มข้นสูงเกินไปจะเป็นการทำลายระบบ

2.4. ประเภทของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ เป็นระบบบำบัดที่มีลักษณะจำเพาะคือ หากสามารถควบคุมระบบได้ดี จะช่วยลดบีโอดีประมาณ 70-80% และผลสุดท้ายจะได้ ก๊าซมีเทนอีกด้วย ระบบนี้มีการพัฒนาปลีกย่อยออกตามแบบและความเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น

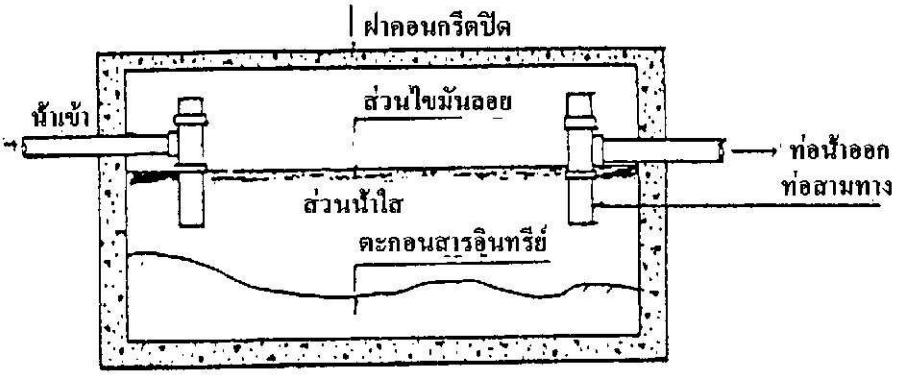
2.4.1. บ่อแอนแอโรบิคหรือบ่อไร้ออกซิเจน (anaerobic pond) บ่อชนิดนี้จะเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ ความลึกประมาณ 3-4.5 เมตร ระยะเวลากักเก็บประมาณ 1 เดือน โดยมีท่อระบายน้ำเสียเข้าสู่ส่วนล่างของบ่อ เพื่อให้เกิดตะกอนและเกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศ เกิดเป็นกรดอินทรีย์ แบคทีเรียสร้างมีเทนจะใช้ผลิตมีเทนต่อไป ระบบนี้ต้องการพื้นที่มาก มีกลิ่นเหม็น เหมาะสำหรับชนบทหรือชานเมืองซึ่งมีผู้คนอยู่น้อย



รูปที่ 3 บ่อแอนแอโรบิค

ที่มา : เพชรพร เชาวกิจเจริญ ,2537:293

2.4.2. บ่อเกรอะ (septic tank) สร้างเป็นบ่อคอนกรีตปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าอยู่ใต้ผิวดิน ใช้รับน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนที่มีน้ำเสียไม่มากนัก มีระยะเวลาการกักเก็บประมาณ 1-3 วัน การทำงานของระบบจะเหมือนบ่อแอนแอโรบิค น้ำใสที่ล้นออกมาจะระบายไปยังบ่อเขียว ระบบนี้จะลดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีได้ประมาณ 30 เปอร์เซนต์ นิยมใช้ในอาคารบ้านเรือนควบคู่กับบ่อซึม

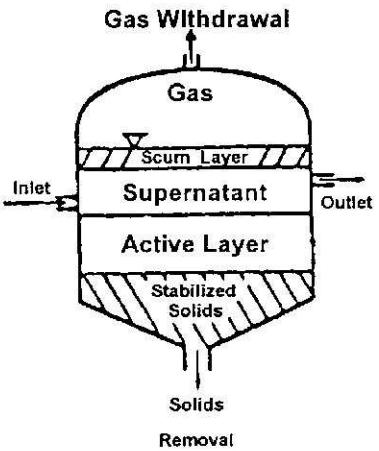


รูปที่ 4 บ่อเกรอะ

ที่มา : เพชรพร เชาวกิจเจริญ ,2537:293

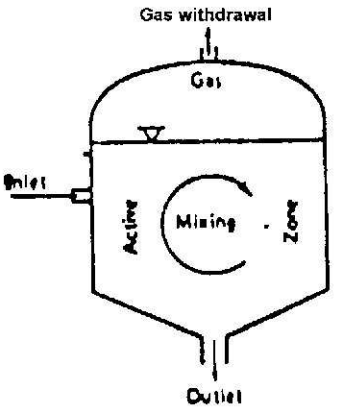
2.4.3. ถังหมักแบบธรรมดา (conventional anaerobic digester) เป็นระบบที่ใช้ในการย่อยสลายตะกอนในระบบแอคติเวดเต็ดสลัดจ์ ตัวระบบเป็นถังคอนกรีตมีฝาปิดเพื่อเก็บความร้อนและกลิ่น บนฝาปิดจะมีทางระบายก๊าซที่เกิดขึ้น ถังหมักแบบธรรมดา มี 2 แบบ คือ

1. ถังหมักชนิดอัตรากำจัดต่ำ(low rate anaerobic digestion) ภายในถังไม่มีเครื่องกวน ตะกอนหนักจะจมลงสู่ก้นถัง ส่วนตะกอนเบาจะลอยสู่ชั้นบน ถังชนิดนี้เกิดการลัดวงจรได้ง่าย



รูปที่ 5 ถังหมักชนิดอัตรากำจัดต่ำ
ที่มา : เพชรพร เชาวกิจเจริญ ,2537:295

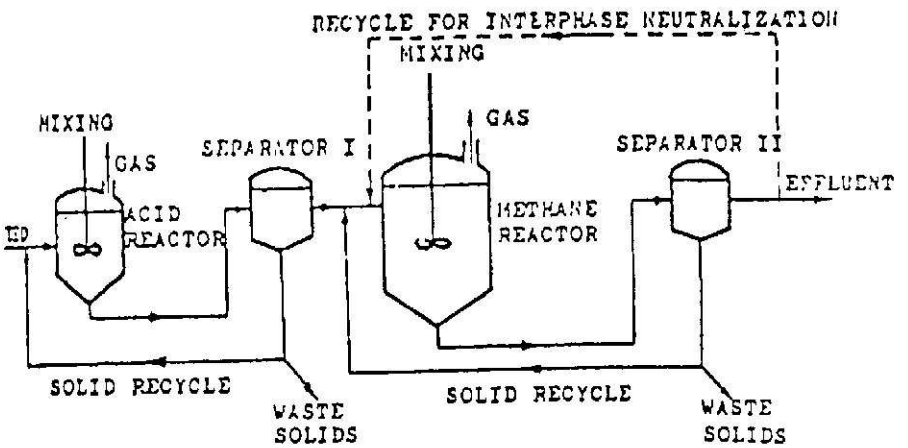
2. ถังหมักชนิดอัตรากำจัดสูง(high rate anaerobic digestion) ภายในถังมีเครื่องกวนทำให้เกิดการผสมอย่างทั่วถึง เกิดการลัดวงจรน้อย มีประสิทธิภาพดีกว่าชนิดอัตรากำจัดต่ำ



รูปที่ 6 ถังหมักชนิดอัตราก้ำจัดสูง

ที่มา : เพชรพร เชาวกิจเจริญ ,2537:295

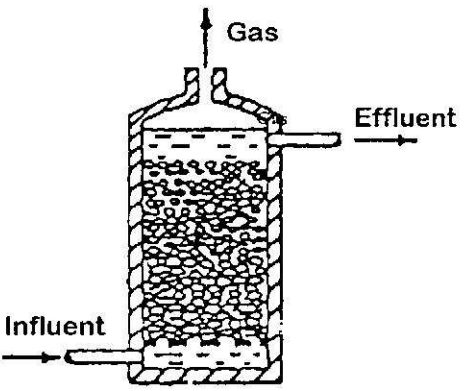
2.4.4. ถังหมักแบบสองเฟส (two-phase anaerobic digester) คือแยกถังหมักออกเป็นสองส่วน คือถังส่วนที่ 1 เป็นถังแบคทีเรียสร้างกรด ส่วนถังส่วนที่ 2 เป็นถังแบคทีเรียสร้างมีเทน



รูปที่ 7 ถังหมักแบบสองเฟส

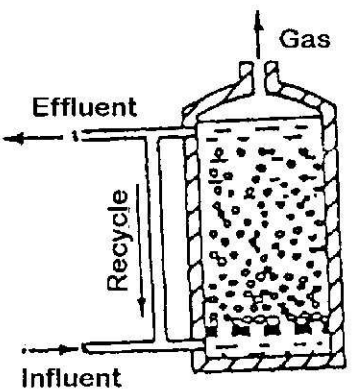
ที่มา : เพชรพร เชาวกิจเจริญ ,2537:297

2.4.5. ถังกรองแอนแอโรบิค(anaerobic filter) ส่วนประกอบของถังต้องมีตัวกรองภายในบรรจุด้วยหินขนาด 1.5 - 2 นิ้ว หรืออาจใช้ตัวกลางทำด้วยพลาสติก น้ำเสียไหลจากส่วนล่างของถังขึ้นมาข้างบน แบคทีเรียจะเกาะที่ตัวกลางซึ่งใส่ไว้ น้ำที่ล้นออกมาจะมีลักษณะใส ส่วนจะตะกอนตกอยู่ที่ก้นถัง



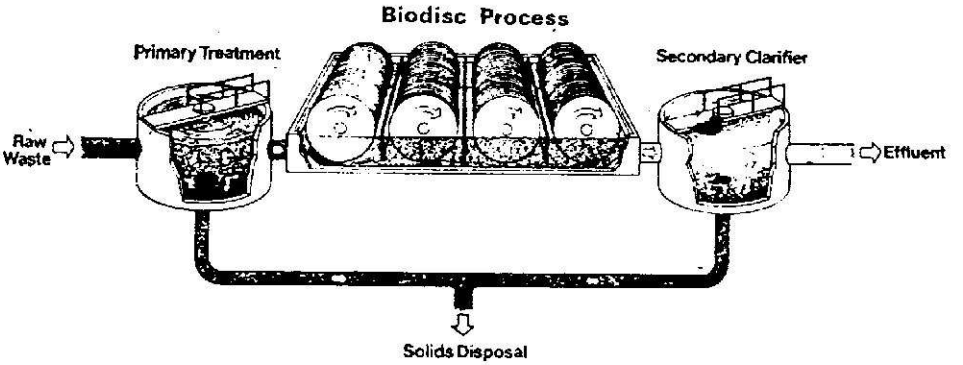
รูปที่ 8 ถังกรองแอนแอโรบิค
ที่มา : เพชรพร เชาวกิจเจริญ ,2537:300

2.4.6. ระบบแอนแอโรบิคฟลูอิดไดซ์เบด (anaerobic fluidized bed (AFB) ส่วนประกอบภายในถังจะมีตัวกลางขนาดเล็ก เช่น เม็ดแก้ว เม็ดทราย น้ำเสียซึ่งไหลเข้าระบบจะต้องมีอัตราการไหลสูงมากจนสามารถทำให้ตัวกลางเกิดการลอยตัวได้



รูปที่ 9 ระบบแอนแอโรบิคฟลูอิดไดซ์เบด
ที่มา : เพชรพร เชาวกิจเจริญ ,2537:300

2.4.7. ระบบจานชีวหมุนแบบไร้ออกซิเจน (anaerobic rotating biological contactor, RBC) ระบบนี้ประยุกต์ระบบจานชีวหมุนมาใช้ในระบบไร้ออกซิเจน โดยการปิดระบบไม่ให้สัมผัสกับอากาศ



รูปที่ 10 ระบบจานชีวหมุน
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์,2525:20

2.5. การดูแลระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

การดูแลระบบบำบัดแบบไร้อากาศ จะต้องเอาใจใส่ระมัดระวัง เนื่องจากเป็นระบบที่มีความอ่อนไหวต่อสภาวะแวดล้อมมาก สิ่งที่เป็นสัญญาณเตือนถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นต่อระบบ อันเป็นสาเหตุทำให้การทำงานของระบบล้มเหลวได้แก่

2.5.1. ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ โดยปกติถ้าระบบทำงานได้ดีจะมีกรดไขมันระเหยได้ประมาณ 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร(ในเทอมของกรดอะซีติค) และมีแบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ ถังหมักอาจทำงานได้ดีถึงแม้ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้สูงกว่า 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้ามีปริมาณแบคทีเรียมากพอ แต่ถ้าอัตราการใช้กรดระเหยได้ช้า จะทำให้ความเป็นกรดของระบบสูงขึ้น จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน

2.5.2. ระดับความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต (bicarbonate alkalinity) สภาพความเป็นด่างบอกให้ทราบว่ามความจุบัฟเฟอร์ เหลืออยู่เท่าใด ถ้าความจุบัฟเฟอร์ต่ำปริมาณกรดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้พีเอชลดลงได้อย่างมากและรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนมาก อัตราส่วนของความ

เข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ต่อความเป็นด่างเท่ากับ 0.4 ถึง 0.8 แต่ถ้าอัตราส่วนนี้มากกว่า 0.8 ระบบไร้อากาศจะมีระดับของ พีเอช ลดลงอย่างรวดเร็ว หากมีการเพิ่มของกรดไขมันระเหยได้เพียงเล็กน้อย

2.5.3. ระดับพีเอช ต้องควบคุมค่าพีเอชให้เหมาะสมกับระบบ มิฉะนั้นการเติบโตของแบคทีเรียจะถูกยับยั้งทำให้ระบบล้มเหลวได้

2.5.4. อัตราการผลิตมีเทน แบคทีเรียสร้างมีเทนจะผลิตมีเทนโดยการดึงไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จากกรดไขมันระเหยได้ อัตราการผลิตก๊าซจะต้องเร็ว ไม่มีการสะสมของกรดไขมันระเหยได้มาก

2.6. ผลงานวิจัยและรายงานเกี่ยวกับการใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

จากการค้นคว้าผลงานวิจัยของนักวิจัย มีนักวิจัยและผู้สนใจทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานต่าง ๆ โดยเฉพาะโรงงานที่มีน้ำเสียมีความเข้มข้นสูง ได้แก่

เบญจมาศ ทิพย์มณเฑียร (2531) ศึกษาการพัฒนาของแบคทีเรียไร้อากาศบนตัวกลาง ในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสัมปะหลัง ตัวกลางที่ใช้เป็นวงแหวน พีวีซี บรรจุในถังปฏิกรณ์ตัวกรอง และตาข่ายไนลอนในถังปฏิกรณ์แบบตรึงฟิล์ม การศึกษามุ่งศึกษาประเภทกลุ่มแบคทีเรียที่เกาะบนตัวกลางทั้งสองชนิด ว่าตัวกลางชนิดใดกลุ่มแบคทีเรียจะเกาะมากกว่ากัน การศึกษากลุ่มแบคทีเรียนั้นศึกษาความแตกต่างของรูปร่างของเซลแบคทีเรีย โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน พบว่าแบคทีเรียที่เกาะบนตัวกลางทั้ง 2 แบบ มีชนิดไม่ต่างกัน การเกาะของแบคทีเรียบนตาข่ายไนลอนเกิดได้เร็วกว่าบนวงแหวนพีวีซี การเพิ่มของปริมาณแบคทีเรียบนฟิล์มขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบ และเมื่อแบคทีเรียเกาะมากเต็มที่แล้วปริมาณแบคทีเรียจะคงที่ ซึ่งภาระบรรทุกซีโอดีสูงสุดที่ทดลองก็ยังไม่อาจสรุปได้ว่าแบคทีเรียที่เกาะนั้นสูงสุดแล้วหรือยัง

	ถังปฏิกรณ์ตัวกรอง	ถังปฏิกรณ์ตรึงฟิล์ม
ความจุถัง (ลิตร)	24.5	34.5
ภาระบรรทุกซีโอดี (กก./$ม^3$-วัน)	6.2	5
ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	3	4
ก๊าซชีวภาพ ($ม^3/ม^3$ ถัง-ปฏิกรณ์/วัน)	3-3.5	2-2.5

จากผลการทดลองในตารางผู้วิจัยมุ่งเน้นศึกษาชนิดของแบคทีเรียที่เกิดบนฟิล์มพบว่ากลุ่มเซลที่มีจำนวนสูงสุด คือกลุ่มเซลท่อนยาวใหญ่ปลายตัดตรงและเซลท่อนสั้น แต่มิได้สรุปคุณภาพน้ำเข้าระบบและออกจากระบบบำบัด

นันทนิตย์ ทัศน์เอี่ยม (2531) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำบีบเปลือกสับปะรด ในถังปฏิกรณ์แบบตัวกรอง ขนาดปริมาตร 32 ลิตร แต่ให้ความสูงต่างกัน โดยใช้กระบวนการหมักแบบขั้นตอนเดียว และสองขั้นตอน

การหมักแบบขั้นตอนเดียว ทำในถังปฏิกรณ์ตัวกรอง 2 ใบ เป็นถังสั้น 1 ใบ และถังยาว 1 ใบ ภายในถังทั้งสองมีวงแหวน พีวีซี บรรจุอยู่ ผลการทดลองเปรียบเทียบได้ดังนี้

	ถังยาว บรรจุพีวีซี	ถังสั้น บรรจุพีวีซี
ปริมาตร(ลิตร)	32	32
ภาระบรรทุกซีโอดี (กก./$ม^3$-วัน)	1.58	1.32
ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	10.2	30.6
ก๊าซชีวภาพ ($ม^3/ม^3$ ถัง-ปฏิกรณ์/วัน)	0.89	0.73
มีเทน(%)	62	66

การหมักแบบสองขั้นตอน แบ่งเป็น

ตอนที่ 1 เป็นการหมักน้ำบีบเปลือกสับปะรดเพื่อผลิตกรดอินทรีย์ โดยเปรียบเทียบน้ำหมัก 3 แบบ

-น้ำหมักธรรมดา

-น้ำหมักมีตะกอนจุลินทรีย์และมีการกวน

-น้ำหมักมีตะกอนจุลินทรีย์แต่ไม่กวน

พบว่าการเติมภาระบรรทุกซีโอดีเท่ากันและระยะเวลากักเก็บเดียวกัน การใช้น้ำหมักที่มีตะกอนจุลินทรีย์จะมีประสิทธิภาพดีกว่า ส่วนการกวนและไม่กวนนั้นประสิทธิภาพในการผลิตกรดอินทรีย์ใกล้เคียงกัน

ตอนที่ 2 เป็นการผลิตก๊าซชีวภาพจากกรดอินทรีย์ที่ได้จากถังผลิตกรด ทำการทดลองเปรียบเทียบในถังปฏิกรณ์สั้น มีตัวกรองอิฐหัก และในถังปฏิกรณ์ยาว มีตัวกรองเป็นท่อ พีวีซี ผลการทดลองดังนี้

	ถังยาว บรรจุพีวีซี	ถังสั้น บรรจุอิฐหัก
ปริมาตร(ลิตร)	32	32
ภาระบรรทุกซีโอดี (กก./$ม^3$-วัน)	1.58	0.57
ระยะเวลากักเก็บ (วัน)	10.2	8
ก๊าซชีวภาพ ($ม^3/ม^3$ ถัง-ปฏิกรณ์/วัน)	0.89	1.58
มีเทน(%)	62	67

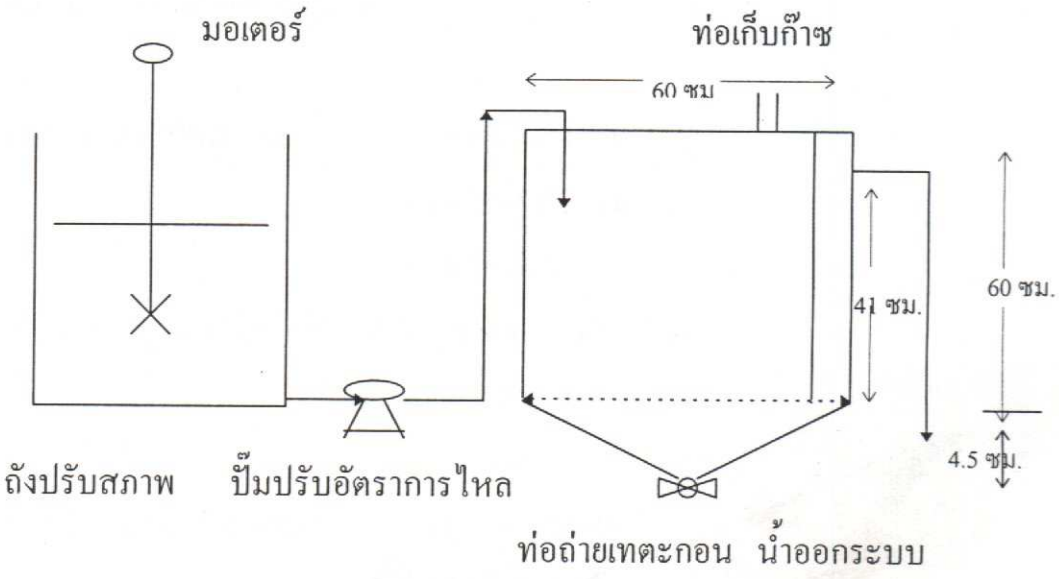
สรุปผลการทดลองว่า การผลิตก๊าซชีวภาพ โดยกระบวนการสองขั้นตอนมีประสิทธิภาพสูงกว่าการหมักแบบขั้นตอนเดียว

ศิริวรรณ จัง (2534) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปอาหารทะเลด้วยระบบไม่ใช้อากาศในถังหมักตัวกรองขนาดความจุ 5.1 ลิตร โดยเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วง 0.30-1.77 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ระยะเวลาในการกักเก็บเริ่มจาก35.3 วัน จนลดลงเหลือ 5.8 วัน ภายในถังหมักมีตัวกรองทำด้วยท่อพีวีซี เพื่อให้แบคทีเรียยึดเกาะ ผลการทดลองพบว่า อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่ำ ระบบสามารถลดค่าซีโอดี ของน้ำเสียได้สูง ถึงแม้อัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงสุดและระยะเวลากักเก็บต่ำ ระบบยังสามารถลดซีโอดี ได้ถึง 78.36 % และพบว่าการหมักที่อุณหภูมิสูง 40-42 °ซ มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าการผลิตที่อุณหภูมิ 30-35 °ซ

บทที่ 3

อุปกรณ์ วิธีการทดลองและผลการทดลอง

3.1. อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 11 ระบบบำบัดจำลอง

3.1.1. ถังบำบัดแบบไร้อากาศ เป็นถังสเตนเลสสี่เหลี่ยมทึบทุกด้าน ขนาดกว้าง x ยาว x สูง = 60 ซม. x 60 ซม. x 60 ซม. ก้นถังทำเป็นท่อระบายตะกอนรูปปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม ความสูง 4.5 ซม. ท่อสำหรับน้ำเสียล้นออกจากระบบ อยู่ที่ความสูง 41 ซม. จากฐาน ภายในตัวถังมีแผ่นกั้นไม่ให้ตะกอนเศษยางซึ่งลอยตัวล้นออกจากถังได้ ด้านบนของถังมีท่อเติมน้ำเสียและท่อระบายก๊าซดังรูปที่ 10

ปริมาตรถังรูปสี่เหลี่ยม = 60 x 60 x 41 ซม.
= 147600 ลบ. ซม
= 147.6 ลิตร

ส่วนก้นถังรูปปิรามิดมีปริมาตร= 1/3 x 60 x 60 x 4.5 ซม
= 5400 ลบ. ซม.
= 5.4 ลิตร

ดังนั้นปริมาตรถังทั้งหมด = 147.6+5.4 ลิตร
= 153 ลิตร
= 0.153 $ม^3$

3.1.2. ถังปรับสภาพ เป็นถังสเตนเลสทรงกลมปริมาตร 100 ลิตร มีท่อสำหรับส่งตัวอย่างจะอยู่ด้านข้างถังด้านล่าง เป็นถังเปิดด้านบน

3.1.3. เครื่องวัดพีเอช ยี่ห้อ ORION รุ่น 420A

3.1.4. มอเตอร์กวนตัวอย่าง เพื่อปรับ พีเอช

3.1.5. อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณเคดาห์ลไนโตรเจน ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี

3.1.6. เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV-120-01 สำหรับวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

3.1.7. ตัวอย่างน้ำเสียซึ่งใช้ในการทดลอง เป็นน้ำเสียซึ่งออกจากกระบวนการสกิมหางน้ำยาง ของบริษัท ไชยาพรลาเท็กซ์ จำกัด ตั้งอยู่กิ่งอำเภอบางกล่ำ จ. สงขลา ปริมาณน้ำเสียขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิต ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล เช่น

CENTRAL LIBRARY
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY

ช่วง มิ.ย .- กย. ฝนตกน้อย ผลิตปริมาณมาก

ต.ค. - ธ.ค. เริ่มเข้าสู่ฤดูฝน ผลิตเริ่มน้อยลง

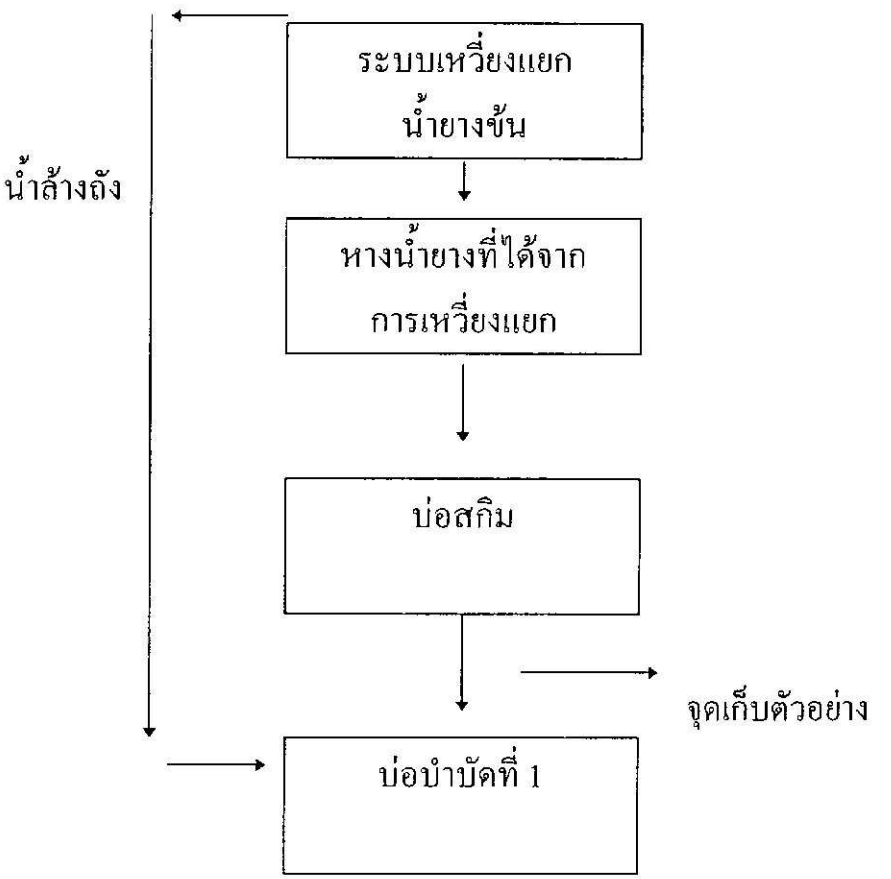
มี.ค. - พ.ค. เนื่องจากต้นยางผลัดใบ ผลิตน้อย

โรงงานหยุดผลิตช่วงกลางเดือนเมษายน และเริ่มผลิตใหม่ราวๆเดือนมิถุนายน เป็นต้นไป สำหรับการเก็บตัวอย่างช่วงที่โรงงานหยุดผลิต โดยเก็บตัวอย่างแช่ห้องเย็นที่ 4° ซ

3.1.8. ภาชนะเก็บตัวอย่าง ใช้ถังพลาสติคขนาด 20 ลิตร 10 ใบ

2. **การเก็บตัวอย่างและจุดเก็บตัวอย่าง**

เก็บตัวอย่างแบบแกรบ (grap sampling) ใส่ถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร ครั้งละประมาณ 5 ถัง เก็บไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 °ซ. เมื่อต้องการใช้ตัวอย่างนำออกจากห้องเย็นทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิน้ำเสีย เท่าอุณหภูมิห้อง (33-35 °ซ) จุดเก็บตัวอย่าง คือ บริเวณสำรางน้ำทิ้งระบบสกิม ดังแผนผัง



จากแผนผังเส้นทางของน้ำเสียมี 2 เส้นคือ น้ำซึ่งออกจากบ่อสกิมและน้ำที่ออกจากการล้างถังเซนตริฟิวจ์ การเก็บตัวอย่างเลือกเก็บจุดซึ่งออกจากบ่อสกิมมาศึกษาเนื่องจากเป็นน้ำเสียหลักที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดส่วนน้ำเสียซึ่งออกจากการล้างถังมีเป็นบางช่วงไม่สม่ำเสมอ

3.3. วิธีการดำเนินการทดลอง

3.3.1. เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ออกจากระบบสกิม วิเคราะห์ บีโอดี พีเอช ไนโตรเจน คลอไรด์ ฟอสฟอรัส เพื่อประเมินความเหมาะสมในการที่จะนำมาบำบัดด้วยระบบไร้อากาศ

3.3.2. เตรียมจุลินทรีย์ให้คุ้นเคยกับน้ำเสีย โดยนำตะกอนจากจากบ่อบำบัดน้ำเสียซึ่งเป็นบ่อบำบัดไร้อากาศ จำนวน 5 ลิตร ใส่ถังบำบัด ปรับพีเอชน้ำตัวอย่างที่จะเลี้ยงแบคทีเรียให้เท่ากับ 7.5 ปรับอัตราการไหลน้ำป้อนเข้าระบบ ให้มีอัตราการไหล 5 มล.ต่อนาที วันละ 300 มล. จนกระทั่งน้ำล้นล้นจากถังบำบัด

3.3.3. เริ่มทำการทดลอง ปรับพีเอชเป็น 7.5, 8.0 และ 9.5 โดยแต่ละพีเอช ให้มีระยะเวลากักเก็บ 21 วัน 14 วัน และ10 วัน ตามลำดับ

3.3.4. เก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าระบบและน้ำออกจากระบบบำบัด ที่แต่ละ ระยะเวลากักเก็บ วิเคราะห์ บีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอย และกรดไขมันระเหยได้

3.3.5. ประเมินประสิทธิภาพของระบบ จากเปอร์เซ็นต์การลดลงของ บีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอย และกรดไขมันระเหยได้

3.3.6. วัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยการแทนที่น้ำ ใช้ขวดขนาด 500 มล.

3.3.7. ประเมินระยะเวลากักเก็บ ที่เหมาะสมของระบบบำบัด

3.3.8. หาค่าคงที่ของระบบบำบัด (K)

3.3.9. สรุปผลการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 3 ตอน คือ วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ต่อมาเริ่มต้นระบบโดยเลี้ยงแบคทีเรียเติมน้ำเสียทีละน้อยเพื่อให้แบคทีเรียเคยชินกับน้ำเสีย และเริ่มทำการทดลอง ผลการทดลองจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

4.1. **วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสีย** เพื่อดูความเหมาะสมที่จะนำมาบำบัด โดยวิธีย่อยสลายแบบไร้อากาศ สัดส่วน BOD:N:P = 100:1.1:0.2 ถ้าสัดส่วนใดขาดไปต้องเพิ่มเติมเข้าไปผลการวิเคราะห์มีดังนี้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำเสียที่ ใช้ในการทดลอง

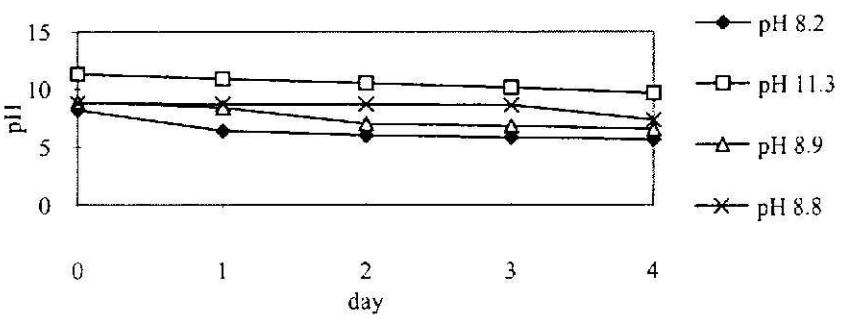
วันที่เก็บตัวอย่าง	BOD (mg/l)	pH	TKN(mg/l)	Chloride(mg/l	T-phosphorous(mg/l)
21/2/39	22093	4.4	3836	17.1	23.4
25/2/39	24000	4.4	2828	14	64.6
1/4/39	24000	4.7	3394	15	63.3
8/4/39	22200	3.5	1397	7.4	33.8
9/4/39	22093	3.2	3836	10.5	55.4
10/4/39	24000	3.3	3394	13.5	60.7
เฉลี่ย	21398	3.9	3280	12.9	50.2

ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 20,000-25,000 ค่าพีเอช อยู่ในช่วง 3.2-4.7 แต่จะต้องปรับพีเอช ให้อยู่ในช่วง 6.6-7.6 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ สัดส่วนสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียของน้ำเสียตัวอย่าง BOD:N:P= 100:15:0.2 ซึ่งค่าไนโตรเจนมากกว่าทฤษฎีประมาณ 15 เท่า ผู้วิจัยได้พยายามค้นคว้าเกี่ยวกับการที่ค่าไนโตรเจนของระบบบำบัดไร้อากาศสูงเกินความ

จำเป็นว่ามีผลต่อระบบอย่างไร ขณะนี้ยังไม่สามารถค้นข้อมูลได้ แต่ในระบบที่ใช้ออกซิเจนต้องการไนโตรเจน 5 ส่วน การวิเคราะห์ไนโตรเจนน้ำเสียจะวิเคราะห์ในรูปของ TKN คือ ปริมาณแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจนรวมกัน แบคทีเรียจะสามารถดึงแอมโมเนียมาใช้ในการเจริญเติบโต ถ้ามีแอมโมเนียเหลือมาก จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรดและไนไตรท์ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์.2537:439) แต่ในระบบไม่ใช้ออกซิเจนแบคทีเรียต้องการไนโตรเจน 1 ส่วน ในบีโอดี 100 ส่วน โดยดึงออกซิเจนจากสารประกอบไนเตรด$(NO_3)^-$ หรือ ซัลเฟต $(SO_4)^=$ มาใช้ ทำให้ได้พลังงานและสารประกอบอื่นๆ และได้ก๊าซมีเทนเกิดขึ้น (จารุรัตน์ วรนิสรากุล.2531:16)

4.2. **เตรียมแบคทีเรียให้คุ้นเคยกับน้ำเสีย** โดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากบ่อบำบัดไร้อากาศโรงงานบริษัท ไชยาพรลาเท็กซ์ จำกัด จำนวน 5 ลิตร ป้อนตัวอย่างน้ำเสียซึ่งปรับพีเอชเป็น 7.5 เข้าระบบบำบัด อัตราการไหล 5 มล.ต่อนาที เพื่อให้แบคทีเรียคุ้นเคยกับน้ำเสีย เก็บตัวอย่างน้ำป้อนเข้าระบบวิเคราะห์ บีโอดี ซีโอดี พีเอช และสารแขวนลอย ปรากฏว่าพีเอชของน้ำตัวอย่างในถังป้อนเข้าระบบลดลงจาก 7.5 ไปเป็น 6.8, 6.4 จึงหยุดป้อนตัวอย่าง หากป้อนตัวอย่างต่อไปอาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ แสดงว่าน้ำประเภทนี้มีปัญหาเรื่องการรักษาระดับพีเอชให้คงที่ เตรียมตัวอย่างใหม่โดยปรับพีเอช ของน้ำป้อนเข้าระบบให้พีเอช 8.2 ป้อนเข้าระบบ ปรากฏว่าพีเอชของน้ำป้อนเข้าระบบก็ยังลดลงจาก 8.2 เป็น 6.4, 6.0, 5.8 ตามลำดับวัน จึงทดลองปรับพีเอชให้สูงขึ้นไปอีกเป็น 11.3 ปรากฏว่าพีเอชของน้ำป้อนเข้าระบบเปลี่ยนแปลงช้าลง แต่ก็ยังมีการลดของพีเอชอยู่ ดังกราฟ

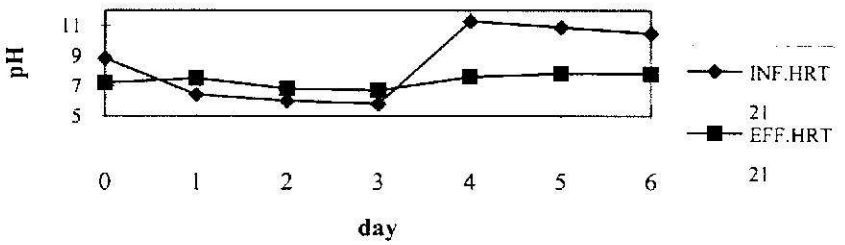
รูปที่ 12 กราฟแสดงค่า พีเอช ของน้ำป้อนเข้าระบบ



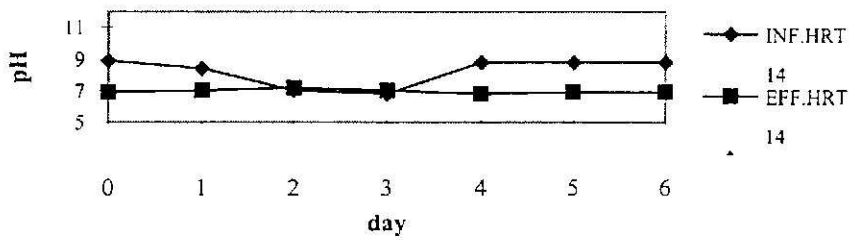
การที่พีเอช ของน้ำตัวอย่างในถังป้อนเข้าระบบมีค่าพีเอชลดลง แสดงว่าในขณะนั้นเกิดการย่อยสลายของแบคทีเรีย และมีบางส่วนเกิดปฏิกริยาการหมัก(fermentation) แล้วมีกรดไขมันระเหยได้เกิดขึ้น

4.3. **ศึกษาเวลากักเก็บที่เหมาะสม** โดยปรับอัตราการไหลของน้ำตัวอย่างให้ มีเวลากักเก็บ 21, 14 และ 10 วัน ตามลำดับ โดยให้ค่าพีเอชของน้ำป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วง 8.5-9.5 เก็บตัวอย่างน้ำป้อนเข้าสู่ระบบและน้ำออกจากระบบบำบัดวิเคราะห์ พีเอช บีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอย และ กรดไขมันระเหยได้ จากผลการทดลองดังตารางที่ 2,3 และ 4 ผลการทดลองที่ระยะเวลากักเก็บ 21,14 และ 10 วัน พบว่าน้ำป้อนเข้าระบบบำบัด ค่าพีเอช ลดต่ำลงจนต้องปรับพีเอชใหม่ ส่วนน้ำออกจากระบบบำบัด ค่าพีเอชจะลดต่ำลงเช่นเดียวกัน แต่เมื่อปรับพีเอชน้ำก่อนเข้าระบบใหม่ พีเอชของน้ำออกจากระบบ จะมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย ดังนั้นการปรับพีเอช ของน้ำก่อนเข้าระบบให้อยู่ในช่วง 8.5-9.5 จะช่วยทำให้พีเอช ของน้ำในระบบสูงขึ้น แต่ในการทดลองที่เวลากักเก็บ 10 วัน ปรากฏว่า พีเอช ของระบบลดลงอย่างรวดเร็ว จึงวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ปรากฏว่ามีปริมาณสูง ดังแสดงในกราฟ

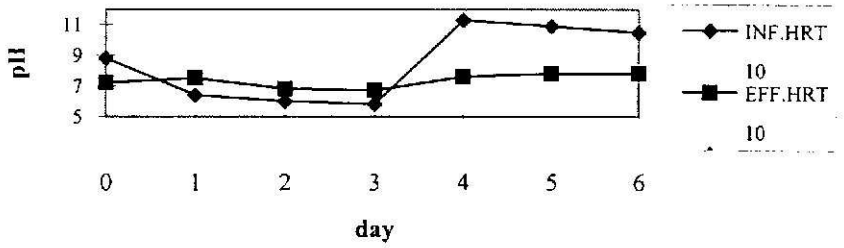
รูปที่ 13 กราฟแสดงพีเอช ที่ระยะเวลากักเก็บ 21 วัน



รูปที่ 14 กราฟแสดงพีเอช ที่ระยะเวลากักเก็บ 14 วัน

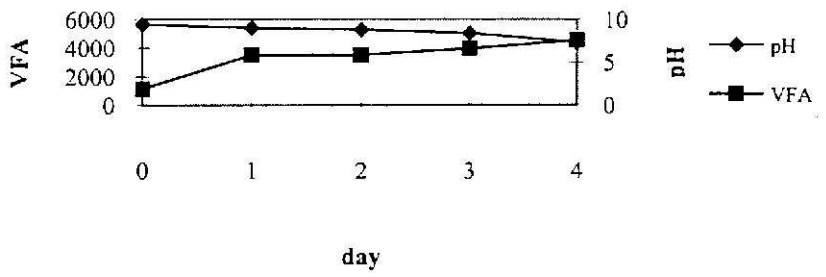


รูปที่ 15 กราฟแสดงพีเอช ที่ระยะเวลากักเก็บ 10 วัน



4.4. **ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและกรดไขมันระเหยได้** จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอชและกรดระเหย ซึ่งทำการทดลองเฉพาะที่เวลากักเก็บ 10 วัน แสดงให้เห็นว่า เมื่อพีเอชลดต่ำลง กรดไขมันระเหยได้จะเพิ่มขึ้น และเมื่อพีเอชสูงขึ้น กรดไขมันระเหยได้ลดลง แต่สัดส่วนการเพิ่มหรือลดของพีเอช ไม่สามารถเทียบสัดส่วนกับการเพิ่มหรือลดลงของกรดไขมันระเหยได้ เนื่องจากปริมาณการเกิดกรดไขมันระเหยได้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และความเหมาะสมของระบบที่จะเอื้ออำนวยให้เกิดปฏิกริยาดำเนินไปด้วยดี และถ้าพีเอชไม่เหมาะสม แบคทีเรียซึ่งเป็นตัวใช้กรดไขมันระเหยได้มีไม่เพียงพอ เมื่อนั้นปริมาณกรดไขมันระเหยได้จะสะสมมากขึ้น ทำให้พีเอชของระบบลดลง และเป็นอันตรายต่อระบบบำบัดได้

รูปที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ พีเอชและกรดระเหย ที่ HRT 10



4.5. **ผลการทดลอง**

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์น้ำก่อนเข้าระบบและน้ำออกจากระบบ
ที่เวลากักเก็บ 21 วัน

วันที่เริ่มทดลอง	อัตราการไหล	COD load	น้ำเสียก่อนการบำบัด				น้ำเสียหลังการบำบัด							% การลดลง		
	m^3/วัน	ก.ก/m^3/วัน	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	pH	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	pH	SS (mg/l)	VFA (mg/l acetic acid)	Alkalinity (mg/l CaCO3)	ก๊าซชีวภาพ CC	BOD	COD	SS
1	$7.21x10^{-3}$	0.25	19500	34661	8.2	1545	8850	15206	7.2	576	7920	7350		55	56	63
2		0.23	17000	32075	6.4	2040	8400	15840	75	620	7500	7100		51	51	70
3		0.23	23000	31557	6.0	1955	11100	16157	6.8	684	8670	7550		52	49	65
4		0.25	23500	34144	5.8	3600	10200	17107	6.7	764	9105	7850	ไม่	57	50	79
5	เตรียมตย.ใหม่	0.17	19400	23880	11.3	1520	9540	17474	7.6	958	9075	7430	สามารถ	51	27	37
6		0.17	19400	23621	10.9	1420	9150	17424	7.8	901	9045	7600	เก็บ	53	26	37
7		0.17	19450	23104	10.5	1420	9900	16315	7.8	868	9108	6600	ก๊าซ	49	29	39
8		0.16	19350	22587	10.1	1500	9765	15840	7.8	818	9002	6600	ได้	50	30	45
9		0.21	22100	29156	9.8	1195	11700	15365	7.3	1490	9053	8000		47	47	34
10		0.21	21500	28712	9.6	1130	11100	15840	7.6	730	8790	7950		48	45	35
11		0.22	16500	30781	9.5	1050	12600	16060	7.5	374	8700	7950		23	48	64

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์น้ำก่อนเข้าระบบและน้ำออกจากระบบ
ที่เวลากักเก็บ 14 วัน

วันที่เริ่มทดลอง	อัตราการไหล	COD load	น้ำเสียก่อนการบำบัด				น้ำเสียหลังการบำบัด							% การลดลง		
	m^3/วัน	กก/m^3/วัน	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	pH	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	pH	SS (mg/l)	VFA (mg/l acetic acid)	Alkalinity (mg/l CaCO3)	ก๊าซชีวภาพ CC	BOD	COD	SS
1	$10.8x10^{-3}$	0.32	21500	30005	8.9	1116	11700	16487	6.9	988	9765	6950		46	45	11
2		0.31	20500	28712	8.4	1476	11100	16339	7.0	1152	8558	7200		46	43	22
3		0.32	21000	29488	7.0	2436	11700	15603	7.2	1088	6758	7300	ไม่	44	47	55
4		0.31	19000	28971	6.8	1508	11700	16928	7.0	289	8145	7700	สามารถ	38	42	80
5	เตรียมตย.ใหม่	0.28	19000	26125	8.8	1612	12900	18694	6.8	944	9705	7500	เก็บ	32	28	41
6		0.30	19050	27936	8.8	2788	12900	18989	6.9	504	8903	8300	ก๊าซ	32	32	82
7		0.30	20500	27936	8.8	1700	12900	18106	6.9	1016	9113	9200	ได้	44	35	40
8		0.30	21000	27936	8.6	3808	11400	16733	6.8	1105	9525	9875		42	40	71
9		0.28	19200	26152	7.3	3400	12128	13285	6.8	986	9515	9880		37	49	71
10		0.29	17900	26987	7.3	1128	10944	12115	6.9	884	9490	9900		39	55	21

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์น้ำก่อนเข้าระบบและน้ำออกจากระบบ

ที่เวลากักเก็บ10 วัน

วันที่เริ่มทดลอง	อัตราการไหล $ม^3$/วัน	COD load กก./$ม^3$/วัน	น้ำเสียก่อนบำบัด						น้ำออกจากระบบบำบัด							% การลดลง		
			BOD (mg/l)	COD (mg/l)	pH	Alkalinity (mg/l $CaCO_3$)	VFA (mg/l acetic acid)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	pH	Alkalinity (mg/l $CaCO_3$)	VFA (mg/l acetic acid)	SS (mg/l)	ก๊าซชีวภาพ CC	BOD	COD	SS
1	$14.4x10^{-3}$	0.40	17500	28000	9.4	5500	1148	1640	13500	21760	6.4	9350	10478	1056		23	22	36
2		0.38	16900	26667	9.0	4900	3398	1652	13500	21080	6.3	13550	10463	1192	ไม่	20	17	28
3		0.36	16500	24800	8.8	5300	3518	1636	11700	21080	6.6	13600	10833	1208	สามารถ	22	16	26
4		0.34	16300	23467	8.4	5600	3968	1620	11680	19985	6.6	13000	11873	1112	เก็บ	28	15	31
5		0.33	16650	22600	7.3	4500	4538	1880	11820	18989	6.7	13800	10590	1152	ก๊าซ	29	16	38
6	เตรียมตย.ใหม่	0.38	15400	26667	9.3	-	3015	1304	-	-	-	-	-	-	ได้	-	-	-
7		0.37	18300	25867	8.6	5150	3060	1440	11800	18253	6.9	23250	1163	1160		36	29	19

4.7. **สัดส่วนการเกิดกรดไขมันระเหยได้กับค่าซีโอดีที่ลดลง** จากผลการวิเคราะห์ ซีโอดีที่ลดลง และกรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้น ที่แต่ละช่วงเวลาการกักเก็บ และนำมาเทียบสัดส่วนกับซีโอดีที่ลดลงได้ดังนี้

ตารางที่ 5 สัดส่วนซีโอดีที่ลดลงกับกรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้น ที่ HRT 21 วัน

ซีโอดี ก่อนบำบัด (มก/ล)	ซีโอดี หลังบำบัด (มก/ล)	ซีโอดี ที่ลดลง (มก/ล)	กรดไขมันระเหยได้ (มก/ล อะซิติค)	พีเอช	กรดไขมันระเหยได้ต่อซีโอดีที่ลดลง
34661	15206	19445	7920	7.2	0.41
32075	15840	16235	7500	7.5	0.46
31557	16175	15400	8670	6.8	0.56
34144	17107	17037	9105	6.7	0.54
23880	17474	6406	9075	7.6	1.42
23621	17424	6197	9045	7.8	1.46
23104	16315	6789	9108	7.8	1.34
22587	15840	6747	9002	7.8	1.33
29156	15365	13791	9053	7.3	0.66
28712	15840	12872	8790	7.6	0.68
30781	16060	14721	8700	7.5	0.59

จากข้อมูลจะเห็นว่าแบคทีเรียที่จะใช้กรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้นมีน้อย จึงมีปริมาณกรดไขมันระเหยได้เหลืออยู่ในปริมาณที่สูง และที่ พีเอช 7.6 - 7.8 แบคทีเรียซึ่งใช้กรดไขมันระเหยได้ทำงานไม่ดี ปริมาณกรดสะสมมากกว่าช่วงพีเอช 7.2 - 7.6 สัดส่วนของกรดไขมันระเหยได้ต่อซีโอดีที่ลดลงมากกว่า ดังนั้นช่วงพีเอชที่เหมาะสมคือช่วง พีเอช 7.2 - 7.6

ข้อสังเกต พีเอชของระบบที่ระยะเวลาการกักเก็บนี้ จะปรับตัวได้สูงขึ้น ซึ่งในทางทฤษฎีคาดว่าน่าจะมีการเกิดบัพเฟอร์ขึ้นในระบบจึงทำให้ พีเอช ของระบบสูงขึ้น และเป็นจุดน่าจะทำการศึกษาในโอกาสต่อไป

ตารางที่ 6 สัดส่วนซีโอดีที่ลดลงกับกรดไขมันระเหยได้ที่ HRT 14 วัน

ซีโอดี ก่อนบำบัด (มก/ล)	ซีโอดี หลังบำบัด (มก/ล)	ซีโอดี ที่ลดลง (มก/ล)	กรดไขมันระเหยได้ (มก/ล อะซิติค)	พีเอช	กรดไขมันระเหยได้ต่อซีโอดีที่ลดลง
30005	16487	13518	9765	6.9	0.72
28712	16339	12373	8558	7.0	0.69
29488	15603	13885	6758	7.2	0.49
28971	16928	12043	8145	7.0	0.67
26125	18694	7431	9705	6.8	1.3
27936	18989	8947	8903	6.9	1.0
27936	18106	9830	9113	6.9	0.9
27936	16733	11203	9525	6.8	0.8
26152	13285	12867	9515	6.8	0.7
26987	12115	14872	9490	6.9	0.6

ที่ HRT 14 วัน ตัวอย่างน้ำมี ระยะเวลาการกักเก็บน้อยลง ค่าพีเอช ของระบบอยู่ในช่วง 6.8 - 7.2 เป็นช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน จะเห็นว่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ที่สะสมไม่สูงมากนัก

ตารางที่ 7 สัดส่วนซีโอดีที่ลดลงกับกรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้น ที่ HRT 10 วัน

ซีโอดี ก่อนบำบัด (มก/ล)	ซีโอดี หลังบำบัด (มก/ล)	ซีโอดี ที่ลดลง (มก/ล)	กรดไขมันระเหยได้ (มก/ล อะซิติค)	พีเอช	กรดไขมันระเหยได้ต่อซีโอดีที่ลดลง
28000	21760	6240	10478	6.4	1.7
26667	21080	5587	10463	6.3	1.9
24800	21080	3720	10883	6.6	2.9
23467	19985	3482	11873	6.6	3.4
22600	18981	3619	10590	6.7	2.9
25867	18253	7614	1163	6.9	0.2

ที่ HRT 10 วัน ระบบเริ่มล้มเหลว พีเอชของระบบเริ่มลดลง ปริมาณกรดไขมันระเหยได้สะสมมากขึ้น สัดส่วนกรดไขมันระเหยได้ต่อซีโอดีที่ลดลงสูง แสดงว่าการทำงานของแบคทีเรียในระบบช้ามาก ทำให้มีกรดไขมันระเหยได้สะสมมาก

4.7. **ความสัมพันธ์ระหว่างบีโอดีต่อซีโอดี** จากผลการทดลองพบว่าบีโอดีของน้ำก่อนเข้าระบบบำบัด ประมาณ 60-75 % ของค่าซีโอดี ส่วนบีโอดีของน้ำออกจากระบบบำบัดประมาณ 55-70 % ของค่าซีโอดี

4.8. **ประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัด** พบว่าที่ เวลากักเก็บ 21 วัน ค่า ซีโอดี ลดลงประมาณ 41.6% ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ประมาณ 8,000-9,000 มกต่อลิตร คาดว่า ในถังนี้เกิดปฏิกริยา อะซิโดจินิค เฟอร์เมนเทชั่น (acidoginic fermentation) แบคทีเรียจะใช้สารอินทรียในน้ำเสียเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน ผลของปฏิกริยาเกิดกรดไขมันระเหยได้ขึ้น แต่ยังสามารถควบคุมค่า พีเอช ให้อยู่ในช่วง 7.2-7.6 ซึ่งเป็นช่วงที่แบคทีเรียสร้างมีเทนทำงานได้ ส่วนการทดลองที่ เวลากักเก็บ 14 วัน ค่า ซีโอดี ลดลงประมาณ 41.6% ค่าพีเอชของระบบอยู่ในช่วง 6.8-7.2 การสะสมของกรดไขมันระเหยได้ประมาณ 7,000-9,000 มก ต่อลิตร โดยกรดไขมันระเหยได้ขึ้นกับพีเอช ถ้าพีเอชสูง กรดไขมันระเหยได้จะลดลง แต่ที่เวลากักเก็บ 10 วัน การทำงานของระบบเริ่มล้มเหลว เปอร์เซ็นต์การลงลงของ ซีโอดี ลดลงน้อยมาก พีเอช อยู่ใน ช่วง 6.3-6.9 ปริมาณกรดไขมันระเหยได้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากระยะเวลาที่อยู่ในระบบน้อย แบคทีเรียที่จะใช้กรดไขมันระเหยได้มีน้อย ดังนั้น เวลากักเก็บที่เหมาะสม ควรมากกว่า 14 วัน

4.9. **ทดลองหาค่าคงที่ของระบบบำบัด (K) โดยใช้วิธีของ Eckenfelder** (Warren. Viessman, JR.1985:391)

จากสมการ

$$(So - Se)/t = K\,Se$$

เมื่อพลอตกราฟระหว่าง (So - Se)/t และ Se จะได้กราฟเส้นตรง ค่า K หาได้จากค่าความชัน (slope)

โดย

So = ค่า ซีโอดี เริ่มต้น

Se = ค่า ซีโอดี ที่ เวลากักเก็บ t

t = ระยะเวลากักเก็บ

วิธีทดลอง

1. เตรียมตัวอย่างน้ำเสียจากระบบสกิมให้มีค่า ซีโอดี เริ่มต้นแตกต่างกัน 3 ช่วง โดยเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นและเติมตะกอนแบคทีเรีย ดังนี้

   ชุดที่ 1 ใช้ตัวอย่างน้ำเสีย 100 เปอร์เซนต์ จำนวน 1 ลิตร

   ชุดที่ 2 ใช้ตัวอย่างน้ำเสีย 50 เปอร์เซนต์ จำนวน 1 ลิตร

   ชุดที่ 3 ใช้ตัวอย่างน้ำเสีย 25 เปอร์เซนต์ จำนวน 1 ลิตร

2. เติมตะกอนแบคทีเรียจากระบบบำบัดไร้อากาศลงในตัวอย่างที่ทดลองทุกชุดๆ ละ 10 เปอร์เซนต์ (เติมชุดละ 100 มล.)
3. ทำแบลงค์ของเชื้อที่เติม โดยใช้น้ำกลั่น 1 ลิตร เติมตะกอนแบคทีเรียไร้อากาศ 100 มล. นำค่า ซีโอดี ของแบลงค์ที่เปลี่ยนแปลงที่เวลากักเก็บเดียวกัน ลบออกจากตัวอย่างที่ทดลอง
4. วิเคราะห์ ซีโอดี เริ่มต้น (So) ของตัวอย่างที่ใช้ทดลอง ปิดฝาขวดไว้ไม่ให้อากาศเข้า ปล่อยให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ เมื่อครบ 21 วัน (t) นำตัวอย่างที่ทดลองวิเคราะห์ ซีโอดี (Se)
5. ผลการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างที่ทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ซีโอดีเพื่อหาค่าคงที่ของการบำบัด

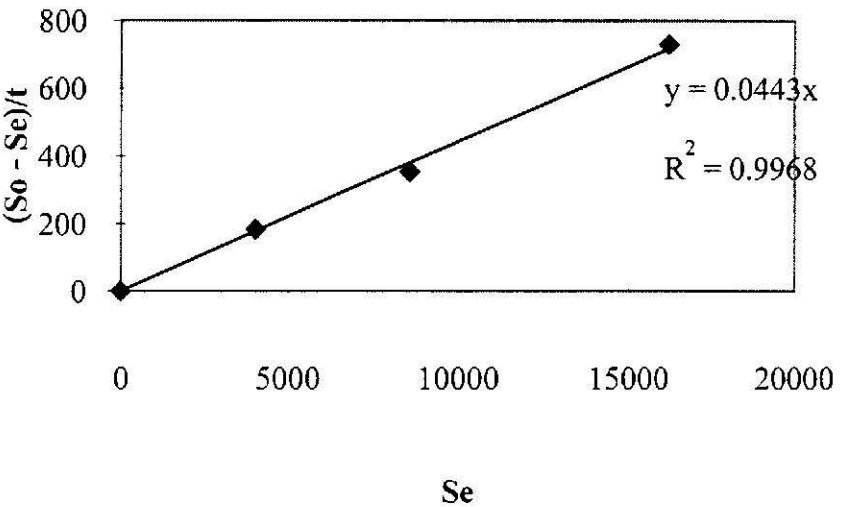
ตัวอย่างทดลองชุดที่	ซีโอดีเริ่มต้น	ซีโอดีแบลงค์เริ่มต้น	ซีโอดีที่ HRT 21 วัน	ซีโอดีแบลงค์ที่ HRT 21 วัน
1	33457	1900	16990	790
2	17900	1900	9368	790
3	9780	1900	4808	790

ตารางที่ 9 ข้อมูลซีโอดีเริ่มต้น และ ข้อมูล (So -Se)/t

ตัวอย่างทดลองชุดที่	ซีโอดีตัวอย่างเริ่มต้น (So)	ซีโอดี ที่เวลากักเก็บ 21 วัน (Se)	(So -Se)/t
1	31557	16200	731
2	16000	8178	373
3	7880	3939	188

6. พลอตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง (So - Se)/t และ Se เพื่อหาความชัน

รูปที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง(So - Se)/t และ Se



ดังนั้นค่า K = 0.04 ต่อวัน

4.10. สรุปผลการทดลอง

การบำบัดน้ำเสียจากระบบสกิมของโรงงานน้ำยางข้น ซึ่งมีสารอินทรีย์สูงโดยใช้ถังบำบัด 1 ถัง จากการทดลองพบว่า ระบบสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ลงได้ประมาณ 40% ใช้เวลากักเก็บมากกว่า14 วัน นับว่ามีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องการย่อยสลายในขั้นต้นเป็นการย่อยสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้โมเลกุลเล็กลง บางส่วนจะเกิดปฏิกริยาอะซิโดจินิคเฟอร์เมนเทชั่นได้กรดไขมันระเหยได้ ถ้าภาวะเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน แบคทีเรียตัวนี้จะใช้กรดไขมันระเหยได้และมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้น แต่ถ้าแบคทีเรียมีน้อยจะไม่เพียงพอต่อการใช้กรดไขมันระเหยได้ ทำให้กรดสะสมมากขึ้น พีเอชของระบบจะลดลงทำให้ระบบล้มเหลว ดังนั้นจึงควรเพิ่มถังบำบัดอีก 1 ถัง ให้น้ำออกจากระบบที่พีเอชเหมาะสมกับแบคทีเรียสร้างมีเทน เข้าสู่ถังบำบัดไร้อากาศที่ 2 พยายามควบคุมไม่ให้มีอากาศเข้าไปได้ เพราะออกซิเจนเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน ตามจุดมุ่งหมายที่วางไว้จะเก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำ ปรากฏว่าไม่สามารถเก็บก๊าซได้ เนื่องจากก๊าซอาจรั่วซึมทางรอยข้อต่อของถัง ซึ่งการทดลองต่อไปต้องใส่ปะเก็นทุกรอยต่อของถัง ส่วนค่าคงที่ของการบำบัดเท่ากับ 0.04 ต่อวัน ผู้วิจัยทำการทดลองเพียงครั้งเดียว อาจจะต้องทำการทดลองซ้ำหลายๆ ครั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

4.11. ข้อเสนอแนะ

4.11.1. จากจุดมุ่งหมายของการทดลอง ได้ปรับพีเอชของน้ำก่อนเข้าระบบบำบัดให้มีพีเอช ประมาณ 8.0 - 9.5 เพื่อต้องการลดปัญหาเรื่องกลิ่น แต่ปรากฏว่าพีเอช ของน้ำป้อนเข้าระบบก็ยังลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า ในน้ำก่อนเข้าระบบเกิดปฏิกริยาไฮโดรไลซีสและบางส่วนเกิดปฏิกริยาการหมัก สารที่โมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ฯลฯ ซึ่งมีอยู่ในน้ำยางจะถูกย่อยสลายทำให้โมเลกุลเล็กลง แบคทีเรียซึ่งทำให้เกิดปฏิกริยาการหมักนี้เจริญเติบโตได้ดีที่ พีเอช 4.0 - 6.5 การที่ปรับพีเอชน้ำก่อนเข้าระบบให้เป็น 8.0 - 9.5 จะทำให้แบคทีเรียทำงานได้ไม่ดี การย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อให้มีโมเลกุลเล็กลงก็หยุดชงักไปด้วย ดังนั้นน้ำเสียที่เข้าไปในระบบบำบัดซึ่งเป็นแบบไร้อากาศจะเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่และย่อยสลายได้ช้ากว่า ทำให้ประสิทธิภาพ

ของระบบที่ 1 ไม่ดี ผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่า หากปรับพีเอชของน้ำก่อนเข้าระบบให้อยู่ในช่วง 4.0 - 6.5 และให้แบคทีเรียย่อยสลายให้สารอินทรีย์มีโมเลกุลเล็กลง ก่อน แล้วจึงปล่อยเข้าสู่ถังบำบัด จะทำให้ระบบทำงานได้ดีขึ้น

4.11.2. ผู้วิจัยมีความเห็นว่า ค่าบีโอดี ซีโอดี ของน้ำออกจากระบบบำบัดสูง ยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปบำบัดด้วยวิธีอื่น ควรมีถังบำบัดแบบไร้อากาศเพิ่มอีก 1 ถัง

4.11.3. การออกแบบถังบำบัดไม่มีการป้องกันการรั่วซึมของก๊าซที่ดี ทำให้ไม่สามารถเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นได้ หากต้องการเก็บก๊าซจะต้องมีปะเก็นบริเวณข้อต่อของถัง

4.11.4. ระยะเวลาการกักเก็บที่เหมาะสมควรมากกว่า 14 วัน

บรรณานุกรม

กัลยา ศรีสุวรรณ และ วีระศักดิ์ ทองลิมป์.2539. การบำบัดน้ำเสีย , ในเอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรผู้ควบคุมระบบป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ รุ่นที่ 2. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2537. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี . กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2537. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จารุรัตน์ วรนิสรากุล. 2531. หลักการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีววิทยา, ในเอกสารการฝึกอบรมทางวิชาการเรื่อง น้ำเสีย. กรุงเทพฯ:จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ อุษา วิเศษสุมน, บรรณาธิการ. 2535. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นันทนิตย์ ทัศน์เอี่ยม. 2531. การเปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำบีบเปลือกสับปะรดในถังปฏิกรณ์แบบชั้นกรอง ระหว่างกระบวนการหมักแบบขั้นตอนเดียวและ2ขั้นตอน (The Comparison on Biogas Production from Liquid Squeezed from pineapple Solids Waste in Anaerobic Filter Reactor between Single and Two-Stage Fermentation) วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะพลังงาน และวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี

เบ็ญจมาศ ทิพย์มณเฑียร. 2531. การใช้เทคนิคด้าน Scanning Electron Micrograph ศึกษาการเกิดฟิล์มชีวในถังปฏิกรณ์บำบัดน้ำเสีย (The Use of Scanning Electron Micrograph to Study Biofilm Development in Anaerobic Digester) วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ. 2537. ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ในเอกสารอบรมการควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 283-310.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2531. ในเอกสารประกอบการฝึกอบรมเรื่อง น้ำเสีย กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศิริวรรณ จัง. 2534. การบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปอาหารทะเลด้วยระบบไม่ใช้อากาศในถังหมักตัวกรอง (Anaerobic Treatment of Fishery Wastewater Using Filter Reactor) วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุจินต์ พนาปวุฒิกุล.2531. ในเอกสารประกอบการฝึกอบรมเรื่อง น้ำเสีย กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. กรุงเทพฯ: สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

APHA, AWWA and WPCF. 1971. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 13th.Ed. Washingtion,D.C.:American Public Health Association.

APHA, AWWA and WPCF. 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th.Ed. Washingtion,D.C.: American Public Health Association.

Warren Viessman,JR. and Mark J. Hammer. 1985. Water Supply and Pollution Control. 4th.Ed. New York:Harper & Row Publishers.

ภาคผนวก ก

การคำนวณเกี่ยวกับระบบบำบัด

1. **ปริมาตรถังบำบัด**

ปริมาตรรูปทรงสี่เหลี่ยม = กว้าง x ยาว x สูง

= 60 x 60 x 41 ซม.

= 147600 ลบ.ซม.

= 147.6 ลิตร

ปริมาตรก้นถังรูปปิรามิด = $\frac{1}{3}$ x 60 x 60 x 4.5

= 5400 ลบ.ซม

= 5.4 ลิตร

ดังนั้นปริมาตรถังทั้งหมด = 147.6 + 5.4 ลิตร

= 0.153 $ม^3$

2. **ภาระบรรทุกซีโอดี**

ภาระบรรทุกซีโอดี = ความเข้มข้น(มก/ล) x อัตราการไหล ($ม^3$ / วัน)

= COD(33109 มก/ล) x 7.2 x 10^{-3} $ม^3$/วัน x 0.001

= 0.24 กก./$ม^3$-วัน

3. **ระยะเวลากักเก็บ (HRT)**

ระยะเวลากักเก็บ = $\frac{\text{ปริมาตรถัง}}{\text{อัตราการไหล}}$

= $\frac{0.153\ ม^3}{10.8 \times 10^{-3}\ ม^3/วัน}$

= 14 วัน

4. **อัตราการไหล**

สมมติอัตราการไหล 30 มล./นาที $= \frac{30 \times 60 \times 24}{1000}$

$= 43.2$ ลิตร/วัน

$= 43.2 \times 10^{-3}$ $ม^3$/วัน

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

1. การวิเคราะห์บีโอดี

การวิเคราะห์บีโอดี เป็นการหาปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการใช้ในปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ค่า บีโอดี เป็นค่าที่บอกคุณลักษณะของน้ำนั้นๆ ว่ามีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่มากน้อยเพียงใด ถ้า ค่า บีโอดี มีค่าน้อย น้ำนั้นมีการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์น้อย แต่ถ้ามีค่า บีโอดี สูง แสดงว่ามีการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์สูง

1.1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1. ขวด บีโอดี ขนาดความจุ 300 มล. มีจุกปิดสนิทปากกว้างบานออก สำหรับหล่อน้ำกลั่นในขณะที่ควบคุมอุณหภูมิในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (incubator) ที่ 20° ซ

1.1.2. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 20° ซ มีลักษณะคล้ายตู้เย็นธรรมดา แตกต่างกันตรงที่ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลา

1.1.3. กระบอกตวงขนาด 5 ลิตร สำหรับใช้ในการเตรียมเจือจางน้ำตัวอย่าง

1.2. สารเคมี

1.2.1. น้ำกลั่นบริสุทธิ์คุณภาพสูง ปราศจากคลอรีน คลอรามีน ความเป็นด่าง ความเป็นกรดและสารอินทรีย์ มีทองแดงปนได้ไม่เกิน 0.01 มก/ลิตร

1.2.2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ละลายโปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 8.5 กรัม ไดโปตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) 21.7 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($Na_2HPO_4.H_2O$) 33.4 กรัม และ แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1.7 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มล. แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

1.2.3. สารละลายแมกเนเซี่ยมซัลเฟต ละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4.7H_2O$) 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

1.2.4. สารละลายแคลเซี่ยมคลอไรด์ ละลายแคลเซียมคลอไรด์ (anhydrous $CaCl_2$) ที่อบแห้ง 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

1.2.5. สารละลายเฟอริคคลอไรด์ ละลายเฟอรริคคลอไรด์ ($FeCl_3$ $6H_2O$) 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1 ลิตร

1.2.6. สารละลายโซเดี่ยมซัลไฟท์ 0.0125 โมล/ลิตร ละลายโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) ที่อบแห้ง 1.575 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

1.2.7. สารละลายกรดซัลฟูริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมล/ ลิตร สำหรับใช้ปรับค่า พีเอช ให้เป็นกลาง

1.3. **การเตรียมการทดลอง** เนื่องจากตัวอย่างน้ำมีค่า บีโอดี สูง จะต้องวิเคราะห์โดยวิธีเจือจาง สำหรับในการทดลองนี้ ใช้วิธีการเจือจางแบบปีเปตโดยตรงในขวด บีโอดี ขนาดปริมาตร 300 มล.

ตารางการเจือจางตัวอย่าง

ปริมาตรน้ำตัวอย่าง(มล)	ช่วงค่าบีโอดี(มก/ล)
0.02	30,000-105,000
0.05	12,000-42,000
0.10	6,000-21,000
0.20	3,000-10,500
0.50	1,200-4,200
1.0	600-2,100
2.0	300-1,050
5.0	100-420
10.0	60-210
20.0	30-105
50.0	12-42
100	6-21
300	0-7

1.4. **การเตรียมน้ำสำหรับการเจือจาง** โดยใช้น้ำกลั่นเป่าอากาศ โดยใช้เครื่องปั๊มอากาศของตู้เลี้ยงปลา ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้มีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำอิ่มตัวเนื่องจากในขณะทดลองทดลองปริมาณสารอาหารที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรียได้แก่ เหล็ก แมกนีเซียม แคลเซียม อาจจะมีปริมาณน้อยไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของแบคทีเรีย จึงต้องมีการเติมสารเหล่านี้ให้แก่น้ำจะใช้เจือจางด้วย สารที่เติมต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร มีดังนี้ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 1 มล. เพื่อปรับ พีเอช ของน้ำ แมกนีเซียมซัลเฟต 1 มล. แคลเซียมคลอไรด์ 1 มล. เฟอริก คลอไรด์ 1 มล. สำหรับตัวอย่างน้ำที่จะนำมาวิเคราะห์ บีโอดี จะต้องตรวจสอบความเป็น กรด - ด่าง (pH) ก่อน โดยจะต้องปรับให้เป็นกลางคือ ประมาณ 7 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมล/ลิตร หรือกรดซัลฟูริก 1 โมล/ลิตร และถ้าตัวอย่างน้ำมีคลอรีนตกค้างอยู่ จะต้องกำจัดโดยใช้โซเดียมซัลไฟท์เสียก่อน แต่โดยปกติคลอรีนจะระเหยหมดถ้าทิ้งไว้ประมาณ 1 ชม

1.5. **วิธีการเจือจาง**

1.5.1. ใช้ขวด บีโอดี ขนาด 300 มล. จำนวน 2 ใบ

1.5.2. เลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำตามช่วง บีโอดี โดยประมาณ เช่นประมาณค่าบีโอดี อยู่ในช่วง 2,000 มกต่อลิตร การเลือกช่วงการเจือจางอาจเลือกได้2 ช่วง ได้แก่ช่วง 600 - 2,100 ให้ปิเปตตัวอย่างใส่ขวด บีโอดีที่เตรียมไว้ ขวดละ 1 มล. ส่วนช่วง 1,200 - 4,200 ปิเปตตัวอย่างใส่ขวด บีโอดีขวดละ 0.50 มล. โดยแต่ละขวดจะต้องเขียนฉลากข้างขวดให้ชัดเจนมิฉะนั้นจะเกิดการสับสนได้

1.5.3. นำขวด บีโอดี ที่เตรียมตัวอย่างไว้ ไปเติมน้ำเจือจางที่เตรียมไว้ ขณะเทน้ำเจือจางให้ตะแคงขวดแล้วค่อยๆ รินน้ำเจือจาง อย่าให้เกิดฟองอากาศจนน้ำเต็มแค่คอขวดใส (ถ้าล้นจนถึงส่วนมัว ของขวด จะทำให้ปริมาตรผิดไป) ถ้ามีฟองอากาศ ใช้จุกแก้วเคาะเบา ๆ ฟองอากาศจะหลุดออกไป

1.5.4. ปิดฝาขวด จะมีน้ำล้นขึ้นมาเล็กน้อย เขย่าแบบพลิกมือเพื่อให้ตัวอย่างผสมเป็นเนื้อเดียวกัน นำขวดที่ 1 ไปวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจน

ละลาย (DO_1) ส่วนขวดที่ 2 นำไปแช่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ) ที่อุณหภูมิ 20°ซ เป็นเวลา 5 วัน เมื่อครบกำหนดนำออกมาวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO_5)

1.5.5. การคำนวณ

$$BOD(mg/l) = \frac{DO_1 - DO_5 x300}{\text{ml of sample}}$$

เมื่อ DO_1 = ปริมาณออกซิเจนละลายวันที่เริ่มทดลอง

DO_5 = ปริมาณออกซิเจนละลายวันที่ 5 ของการทดลอง

2. **การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen,DO) โดยวิธีไอโอโดเมตริก** การหาปริมาณออกซิเจนละลาย เพื่อต้องการทราบปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำที่ทดลอง วิธีการวิเคราะห์ อาจวัดโดยการวัดด้วยเครื่องวัดปริมาณออกซิเจน (dissolved oxygen meter, DO meter)หรือ วิเคราะห์โดยวิธีไอโอโดเมตริก (iodometric method)

2.1. **สารเคมี**

2.1.1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต เตรียมโดยละลายแมงกานีสซัลเฟตเตดตราไฮเดรต ($MnSO_4 . 4 H_2O$) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ($MnSO_4 . 2H_2O$) 400 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($MnSO_4 . H_2O$) 364 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

2.1.2. สารละลายอัลคาไลด์ - ไอโอไดด์ - อาไซด์ เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม และโซเดียมไอโอไดด์ (NaI) 135 กรัมแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร หลังจากนั้นเตรียมสารละลายโซเดียมอาไซด์ (NaN_3) โดยละลายโซเดียมอาไซด์ 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มล. คนให้สารละลายจนหมด นำไปเติมลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เตรียมไว้ก่อนแล้ววางไว้ให้เย็นก่อนนำมาใช้

2.1.3. กรดซัลฟูริกเข้มข้น

2.1.4. น้ำแป้ง (starch solution) เตรียมโดยละลายแป้ง (soluble starch) 5 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 50 มล. เทใส่ลงในน้ำกลั่นซึ่งต้มเดือด 800 มล. แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร ต้มให้เดือดต่อไปอีกประมาณ 3 นาที เติมกรด ซาลิไซลิก (salicylic acid) 1.25 กรัม เพื่อเก็บไว้นานๆ วางทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำมาใช้งาน

2.1.5. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.0125 โมล/ ลิตร เตรียมโดยละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 . 5 H_2O$) 6.205 กรัม ในน้ำกลั่น ที่ต้มเดือดใหม่ๆ รอให้เย็นเจือจางเป็น 1 ลิตร เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม ต่อลิตร สารละลายนี้ 1 มล. สมมูลย์กับออกซิเจน 0.200 มก.

2.1.6. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมท 0.0042 โมล/ ลิตร เตรียมโดย ละลาย โปตัสซียมไดโครเมท ที่อบแห้งแล้ว 1.446 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

2.1.7. วิธีการหาค่ามาตรฐาน

2.1.7.1.ละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2 กรัม ด้วยน้ำกลั่นประมาณ 150 มล. ในขวดรูป ชมพู่ขนาด 500 มล.

2.1.7.2.เติมกรดซัลฟูริก (1+9) 10 มล.(กรดซัลฟูริก (1+9) คือ เจือจางกรดเข้มข้น 1 ส่วน ลงในน้ำกลั่น 9 ส่วน) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน โปตัสเซียมไดโครเมท (0.0042 โมลต่อลิตร) ปริมาตร 20 มล.ใส่ลงในสารละลายที่เตรียมไว้ วางไว้ในที่มืด 5 นาที

2.1.7.3.เติมน้ำกลั่นจนปริมาตร 200 มล. นำมาติเตรดกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.0125 โมลต่อลิตร จนได้สีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้ง 1-2 มล. ติเตรดต่อจนจุดยุติ เปลี่ยนจากสารละลายสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี คำนวณความเข้มข้นจากสูตร

$$M = \frac{\text{ml } K_2Cr_2O_7 \times 0.0042 \times 3}{\text{ml } Na_2S_2O_3}$$

2.2. **วิธีการทดลอง**

2.2.1. จากตัวอย่างน้ำในขวดบีโอดีปริมาตร 300 ซีซี เปิดจุกขวด ปิเปตสารละลายมังกานีสซัลเฟต 2 มล. ใส่ลงไปโดยให้ปลายปิเปตจุ่มในน้ำเล็กและปิเปตสารละลายอัลคาไลด์-ไอโอไดด์-อาไซด์ ตามลงไปทันที 2 มล โดยให้ปลายปิเปตจุ่มอยู่ใต้ตัวอย่างน้ำเล็กน้อย

2.2.2. ปิดจุกระวังอย่าให้มีฟองอากาศติดอยู่ข้างขวด หากมีฟองอากาศให้ใช้จุกขวดเคาะเบาๆ ข้างขวด ฟองอากาศจะหลุดออกมา

2.2.3. จับขวดโดยให้นิ้วชี้กดอยู่บนฝาจุก แล้วเขย่าเบาแบบพลิกมือขึ้นลงสลับกันอย่างน้อย 15 ครั้ง เพื่อให้สารเคมีทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอย่างทั่วถึง

2.2.4. ปล่อยทิ้งไว้ให้ตกตะกอน ถ้ามีออกซิเจนจะได้ตะกอนสีน้ำตาล รอจนตกตะกอน น้ำส่วนใสด้านบนประมาณ 100 มล.

2.2.5. ค่อย ๆ เปิดจุก แล้วเติมกรดซัลฟูริคเข้มข้นลงไป 2 มล. ระวังอย่าให้ปลายปิเปตสัมผัสตัวอย่างน้ำ เนื่องจากกรดรวมกับน้ำจะเกิดความร้อนและกรดจะกระเด็นมาถูกตัวผู้ทดลองได้

2.2.6. ปิดฝาจุกเขย่าแบบพลิกมือกลับหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งตะกอนละลายจะได้สารละลายสีเหลืองของไอโอดีน เราสามารถคำนวณหาปริมาณ O_2 ละลายได้ โดยนำสารละลายมาทำการติเตรดด้วยสารละลาย $Na_2S_2O_3$ 0.0125 โมล/ลิตรโดย I_2 1 โมล เกิดจาก MnO_2 2 โมล และ MnO_2 1 โมล เกิดจาก O_2 1/2 โมล หรือคำนวณได้จาก การเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้น 0.0125 มล/ลิตร เมื่อนำไปติเตรด 1 มล. ของ $Na_2S_2O_3$ 0.0125 โมล/ลิตร จะทำปฏิกิริยาพอดีกับออกซิเจน 0.200 มก.

2.2.7. การติเตรด จากสารละลาย I_2 ที่เกิดขึ้นหลังจากเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นแล้วตวงสารละลายมา 203 มล. ปริมาตรนี้แทนตัวอย่างน้ำจริง ๆ 200 มล. เนื่องจากตัวอย่างน้ำถูกแทนที่ด้วยน้ำยาทั้งหมด 4 มล. ($MnSO_4$ = 2 มล, Alkali = 2 มล.) ดังนั้นปริมาตร ที่นำมาติเตรดจริง ๆ จึงควรเป็น 200 + 300/(300-4) = 203 มล. ติเตรดด้วยสาร

ละลายมาตรฐาน โซเดียม-ไทโอซัลเฟต 0.0125 โมล/ลิตร จนได้สารละลาย สีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้ง 1-2 มล. ติเตรดต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป

2.2.8. การคำนวณหาค่าปริมาณออกซิเจนละลาย สมมุติทำการติเตรดได้ 7 มล. เนื่องจาก

1 มล. ของ $Na_2S_2O_3$ ปฏิกิริยาพอดีกับ O_2 = 0.200 มก

1 มล. $Na_2S_2O_3$ สมมูลย์กับ O_2 = 0.200 มก

7 มล. $Na_2S_2O_3$ สมมูลย์กับ O_2 = 0.200 x 7 มก

ในสารละลาย 200 มล. มี O_2 = 0.200 x 7 มก

ในสารละลาย 1000 มล. มี O_2 $= \frac{0.200 \times 7 \times 1000}{200}$

ดังนั้นปริมาณออกซิเจน = 7 มก./ลิตร

3. **การวิเคราะห์ซีโอดี (chemical oxygen demand)**

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ ที่มีอยู่ในน้ำเสีย การย่อยวิธีนี้จะแตกต่างจากการย่อยทาง บีโอดี คือในการวิเคราะห์ บีโอดี ตัวที่จะเป็นตัวย่อยของเสียหรือสารอินทรีย์ในน้ำคือแบคทีเรีย แต่ในการวิเคราะห์ ซีโอดี ตัวที่จะทำการย่อย คือสารเคมี ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาที่นี้คือ โปตัสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เป็นสารออกซิไดซิ่งเอเจนต์(oxidizing agent) คือมีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง การเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น เพื่อให้สารละลายมีสภาพเป็นกรด และช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ นำไปย่อยด้วยความร้อนซึ่งเรียกว่า รีฟลั๊กซ์ (reflux) ไอของสารที่ระเหยออกมาจะถูกทำให้ควบแน่นตกกลับลงไปในภาชนะที่บรรจุ ไม่ระเหยออกไปภายนอก

3.1. **เครื่องมือและอุปกรณ์**

3.1.1. ชุดเครื่องมือการกลั่นแบบไหลกลับคืน

3.1.2. เตาให้ความร้อน (heaters)

3.1.3. ขวดกลั่น ขนาด 250 มล.

3.2. **สารเคมี**

3.2.1. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) อบแห้งที่อุณหภูมิ 103°ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ชั่งสาร 12.259 กรัม ละลายในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟามิค 0.12 กรัม แล้วเจือจาง เป็น 1 ลิตร

3.2.2. กรดซัลฟูริกเข้มข้น(H_2SO_4) เติม ซิลเวอร์ซัลเฟต(Ag_2SO_4) ลงไป 22กรัม/2.65 ลิตร (ปกติกรดซัลฟูริกขนาดบรรจุขวด 9 ปอนด์ = 2.65 ลิตร) การเติม ซิลเวอร์ซัลเฟต เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)

3.2.3. สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเฟอรัสซัลเฟต $(Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 6H_2O$เตรียมโดยชั่งผลึกแอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟต 39 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 100 มล. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มล. คนให้สารละลายรอให้เย็น เจือจางเป็น 1 ลิตร สารนี้ใช้เป็นสารติเตรดหาความเข้มข้นของโปตัสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ในปฏิกิริยา และจะต้องหาค่ามาตรฐานทุกครั้งที่ใช้ ดังนี้นำสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 0.0417 โมล/ลิตร ปริมาตร 10.0 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นประมาณ 90 มล. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 30 มล. ทิ้งไว้ให้เป็นในที่มืด 5 นาที หยดสารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด นำไปติเตรดจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวแกมฟ้าเป็นสีน้ำตาลแดง เป็นจุดยุติ คำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟต ได้ดังนี้

$$M = \frac{\text{ml } K_2Cr_2O_7 \times 0.0417 \times 6}{\text{ml. ammonium ferrous sulfate}}$$

3.2.4. สารละลายเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์ (ferroin indicator solution) ละลาย 1,10 ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต [1,10-phenanthroline monohydrate $(C_{12}H_8N_2.H_2O)$] 1.485 กรัม และไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮบต้าไฮเดรต ($FeSO_4.7H_2O$) 0.695 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 100 มล.

3.3. **วิธีการทดลอง**

3.3.1. ใช้ขวดกลั่นขนาด 250 มล.

3.3.2. ชั่งเมอร์คิวรีซัลเฟต ($HgSO_4$) ประมาณ 0.4 กรัม ใส่ลงในขวดกลั่น

3.3.3. ปิเปตตัวอย่างน้ำใส่ลงไป 20 มล. (หรือส่วนของตัวอย่างที่เจือจางเป็น 20 มล.)

3.3.4. ปิเปตสารละลายโปตัสเซียมไดโครเมต 0.0417 ปริมาตร 10 มล. ใส่ ลูกแก้ว 5-6 เม็ด เพื่อช่วยให้การเดือดสมบูรณ์

3.3.5. นำขวดสารที่เตรียมไว้ ไปต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์ของอุปกรณ์รีฟลั๊กซ์ แล้วเปิดน้ำหล่อเย็น ป้องกันไม่ให้สารที่ต้มระเหยออกไปได้

3.3.6. ค่อย ๆ เติมกรด ซัลฟูริกเข้มข้น ซึ่งมีซิลเวอร์ซัลเฟตอยู่แล้วลงไป 30 มล. โดยเติมผ่านคอนเดนเซอร์ ขณะเติมค่อย ๆ เทลงไปทีละน้อย ๆ เพื่อไม่ให้เกิดความร้อนจัด ในขณะเทกรด

3.3.7. เปิดเตาให้ความร้อน ต้มสารจนเดือดติดต่อกันเป็นเวลา 2 ชม.

3.3.8. เมื่อครบกำหนดเวลา ปิดเตาปล่อยไว้ให้เย็น ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างคอนเดนเซอร์เพื่อให้สารที่ค้างอยู่ในคอนเดนเซอร์ลงไปในขวดกลั่น

3.3.9. เจือจางด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ปริมาตรประมาณ 140 ซีซี หยดอินดิเคเตอร์ 2-3หยดนำไปติเตรดด้วยสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเฟอรัสซัลเฟต จนกระทั่งจุดยุติเปลี่ยนจากสีเขียวแกมฟ้า เป็นสีน้ำตาลแดง

3.3.10. การทำแบลงค์ (blank) ทำไปพร้อม ๆ กับน้ำตัวอย่างโดยใช้สารเคมีเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง แตกต่างกันตรงที่ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่าง

3.4. การคำนวณ

$$COD = \frac{(a - b) \times C \times 8000}{\text{ml sample}}$$

เมื่อ

a = มล. ของสารละลายแอมโมเนียมฟอรัสซัลเฟตที่ใช้กับ Blank

b = มล.ของสารละลายแอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟตที่ใช้กับตัวอย่าง

C = ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟต 0.1 โมล/ ลิตร

4. **การวิเคราะห์แอมโมเนียไนโตรเจนโดยการกลั่น**

แอมโมเนียไนโตรเจนจะถูกกลั่นออกมาที่พีเอชประมาณ 7.4 ดังนั้นจะต้องควบคุมพีเอชโดยการเติมบัฟเฟอร์ ให้แอมโมเนียกลั่นที่กลั่นได้ลงในสารละลายบอริก แล้วนำสารละลายบอริกไปติเตรดด้วยสารละลายกรดซัลฟุริก 0.01 โมล/ลิตร จะสามารถทราบปริมาณแอมโมเนียได้

4.1. **อุปกรณ์**

4.1.1. ชุดกลั่นเจลดาห์ล (Kjeldahl flask) ขนาด 800 มิลลิลิตร

4.1.2. กระเปาะแก้วคอนเนคติ้งบัล์ม (connecting bulb)

4.1.3. คอนเดนเซอร์ ชนิดตรง

4.1.4. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

4.1.5. พีเอชมิเตอร์

4.2. **สารเคมี**

4.2.1. น้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนียเตรียมโดยผ่านน้ำกลั่นลงในคอลัมน์ซึ่งมี แคทอิออนเรซิ่นอยู่ (cation-exchange resin)

4.2.2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (phosphate buffer) เตรียมโดยละลายโมโนโปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 14.3 กรัม และไดโปตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) 68.8 กรัม ในน้ำกลั่นคนให้ละลาย แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายที่เตรียมได้จะมีพีเอช 7.4

4.2.3. สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) ละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.9 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ควรจะเตรียมเมื่อต้องการใช้

4.2.4. สารละลายปรับพีเอชน้ำตัวอย่างให้เป็นกลาง ได้แก่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมล/ลิตร และสารละลายกรดซัลฟุริก 0.5 โมล/ลิตร

4.2.5. สารละลายกรดบอริก (boric acid , H_3BO_3) เตรียมโดยละลาย กรดบอริก 20 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

4.2.6. สารละลายมิกซ์อินดิเคเตอร์ เตรียมโดยละลายเมทิลเรดอินดิเคเตอร์ 200 มิลลิกรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ (ร้อยละ 95) 100 มิลลิลิตร และละลายเมทิลลีนบลู 100 มิลลิกรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ (ร้อยละ 95) 50 มิลลิลิตร แล้วผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน สารละลายนี้ควรเตรียมทุก ๆ เดือน เมื่อหยดลงในสารละลายกรดบอริกจะได้สารละลายสีม่วง และเมื่อมีแอมโมเนียกลั่นออกมาในสารละลายบอริกจะได้สารละลายสีเขียว

4.2.7. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริก 0.01 โมล /ลิตร เตรียมโดย เจือจางกรดซัลฟุริก 0.5 โมล/ลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร นำสารละลายกรดซัลฟุริกที่เตรียมได้ไปหาค่ามาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 โมล/ลิตร

4.3. **วิธีการทดลอง**

4.3.1. ตวงตัวอย่างที่ปรับค่าพีเอชให้เป็นกลาง แล้วใส่ลงในขวดเจลดาห์ล 500 มิลลิลิตร(ปริมาตรขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่างน้ำ ถ้าตัวอย่างค่อนข้างจะสกปรกอาจจะลดปริมาตรตัวอย่างลงเหลือ 300 หรือ 200 มิลลิลิตรก็ได้)

4.3.2. เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 20 มิลลิลิตร

4.3.3. นำขวดกลั่นต่อเข้ากับคอนเน็คติ้งบัล์ม แล้วต่อให้ปลายคอนเดนเซอร์จุ่มอยู่ในสารละลายบอริก 50 มิลลิลิตร

4.3.4. ให้ความร้อนแก่สารที่จะกลั่น และเปิดน้ำหล่อเย็น กลั่นและเก็บสารละลายโดยจุ่มให้ปลายคอนเดนเซอร์จมในสารละลายบอริก รอให้ได้สารละลายทั้งหมดประมาณ 250 มิลลิลิตร ปิดเครื่องกลั่นพร้อมกับนำขวดกรดบอริกออกทันที

4.3.5. นำกรดบอริกที่กลั่นได้ ไปติเตรดด้วยกรดซัลฟุริก 0.01 โมลต่อลิตร

4.3.6. ทำแบลงค์โดยใส่รีเอเจนต์เหมือนกับตัวอย่าง นำไปกลั่นพร้อมกับตัวอย่าง

4.4. **การคำนวณ**

$$mg/l\ NH_3 = \frac{(A - B \times 1000 \times M \times 28}{ml\ sample}$$

เมื่อ

A = มล. ของกรดซัลฟุริกที่ติเตรดตัวอย่าง

B = มล. ของกรดซัลฟุริกที่ติเตรดแบลงค์

M = โมล/ลิตรของกรดซัลฟุริกที่ใช้

5. **การวิเคราะห์หาเจลดาห์ลไนโตรเจน**

5.1. **อุปกรณ์**

5.1.1. ชุดกลั่นแอมโมเนีย

5.1.2. ตู้ควัน

5.2. **สารเคมี**

5.2.1. สารละลายกรดบอริก เตรียมตามวิธีหาแอมโมเนีย-ไนโตรเจนโดยการกลั่น

5.2.2. สารละลายสำหรับย่อยสลาย (digest solution) เตรียมโดย ละลายโปตัสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 134 กรัม ในน้ำกลั่น 650 มล. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 200 มล. ลงไปทีละน้อยๆ จนสารละลายเข้ากันหมด เตรียมสารละลาย เมอร์คิวรีออกไซด์ (แดง) [mercury (II)oxide (red). H_2O] 2 กรัม ละลายในกรดซัลฟุริก 3 โมล/ลิตร ปริมาตร 50 มล. นำไปเติมในสารละลาย โปตัสเซียมซัลเฟตที่เตรียมไว้ตอนต้น คนให้เข้ากัน วางไว้ให้เย็นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

5.2.3. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ ละลายฟีนอล์ฟทาลีนไดโซเดียม 5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร หรือละลายฟีนอลทาลีน 5 กรัม ในเอทิลอัลกอฮอล์ร้อยละ 95 แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตร 1 ลิตร

5.2.4. สารละลายมิกซ์อินดิเคเตอร์ เตรียมตามวิธีหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

5.2.5. สารละลายกรดบอริก เตรียมตามวิธีหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

5.2.6. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริก 0.01 โมล/ลิตร เตรียมตามวิธีหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

5.2.7. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไธโอซัลเฟต โดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 กรัม และโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

5.3. **วิธีการทดลอง**

5.3.1. ใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำ 100 มล. หรือส่วนของตัวอย่างที่เจือจางเป็น 100 มล. ใส่ขวดเจลดาห์ล

5.3.2. เติมสารละลายสำหรับย่อยสลาย (digest solution) 50 มิลลิลิตรนำส่วนผสมนี้ไปย่อยสลายในตู้ควัน จนกระทั่งได้สารละลายใส หากสารละลายยังไม่ใส ให้เติมสารละลายย่อยสลายเพิ่มอีก 20 มิลลิลิตร ย่อยสลายต่อไปจนกระทั่งได้สารละลายใส ปล่อยให้เย็น เติมน้ำกลั่นลงไป 300 มิลลิลิตร

5.3.3. ทำให้เป็นด่าง โดยใช้สารละลายฟีนอลฟ์ทาลีน หยดลงในขวดเจลดาห์ล แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ -โซเดียมไธโอซัลเฟต ประมาณ 50 มิลลิลิตร สังเกตุสีของฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพู ถ้ายังไม่เปลี่ยนเป็นสีชมพูให้เติมลงไปทีละน้อย จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีชมพูเข้ม

5.3.4. รีบต่อข้อต่อของชุดกลั่นทันที ป้องกันไม่ให้ไอของสารระเหยออกไป ซึ่งไอสารนั้นอาจจะมีแอมโมเนียออกมาด้วย

5.3.5. กลั่นตัวอย่างโดยให้ควบแน่นผ่านคอนเดนเซอร์แบบตรงลงในสารละลายบอริก จนกระทั่งได้สารละลายทั้งหมด 200 มิลลิลิตร

5.3.6. นำสารละลายที่กลั่นได้ไปติเตรดกับสารละลาย มาตรฐานกรดซัลฟุริก 0.01 โมล/ลิตร คำนวณหาปริมาณออร์แกนนิคไนโตรเจน

$$\text{mg / l as N} = \frac{(A - B) \times M \times 1000 \times 28}{\text{ml sample}}$$

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้โดยวิธีติเตรด

6.1. **อุปกรณ์**

6.1.1. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

6.1.2. บิวเร็ต ขนาด 50 ลบ. ซม. 2 อัน พร้อมขาตั้ง

6.1.3. เตาไฟฟ้า (hot plate)

6.1.4. เครื่องกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็ก (magnetric strirrer)

6.1.5. บีกเกอร์ 250 ลบ. ซม.

6.2. **สารเคมี**

6.2.1. สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 7.0 (ซื้อสำเร็จรูป)

6.2.2. สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 4.0 (ซื้อสำเร็จรูป)

6.2.3. กรดมาตรฐานซัลฟุริก ความเข้มข้น 0.05 โมล/ลบ. ซม. เตรียมโดยเจือจางสารละลายกรดซัลฟุริก 1 โมล/ลบ. ซม. จำนวน 50 มล. เจือจางเป็น 1 ลิตร หาค่ามาตรฐานโดยใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์

6.2.4. ละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 M เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม เจือจางเป็น 1 ลิตร หาค่ามาตรฐานด้วยสารละลายโปตัสเซียมไบพตเลต 0.1 M ใช้ฟีนอล์ฟทาลีน เป็นอินดิเคเตอร์

6.3. **วิธีการวิเคราะห์**

6.3.1. ตวงตัวอย่าง 50 มล. ใส่บีกเกอร์

6.3.2. วัดพีเอชของตัวอย่าง

6.3.3. ติเตรดตัวอย่างด้วยสารละลายกรดซัลฟุริก 0.05 จนกระทั่งพีเอช 4 จดจำนวนกรดที่ใช้ นำไปคำนวณค่าเป็นด่างของน้ำทิ้ง (total alkalinity)

6.3.4. ติเตรดต่อจนกระทั่งพีเอชอยู่ในช่วง 3.0-3.3

6.3.5. นำตัวอย่างในข้อ 4 ต้มให้เดือดเบา ๆ ในตู้ควัน ประมาณ 3 นาที แล้ววางไว้ให้เย็นในอ่างน้ำเย็น จนอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้อง

6.3.6. ติเตรดตัวอย่างต่อจากข้อ 5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 จนสารละลายพีเอช 4. แล้วติเตรดต่อจนกระทั่งพีเอช 7 จดจำนวนโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ ติเตรดจากพีเอช 4 จนถึง 7

6.4. **การคำนวณ**

ความเป็นด่างของน้ำทิ้ง (มก/ลบ.ดม. $CaCO_3$)

= (มล. กรดซัลฟุริก พีเอช 4) x 100

ความเป็นด่างเนื่องจากกรดระเหย

= (มล. ด่างจากพีเอช 4-7) x 100

ถ้าความเป็นด่างเนื่องจากกรดระเหยมากกว่า 180

กรดระเหย = ความเป็นด่างของกรดระเหย x 1.5

ถ้าความเป็นด่างเนื่องจากกรดระเหยน้อยกว่า 180

กรดระเหย = ความเป็นด่างเนื่องจากกรดระเหย x 1.0

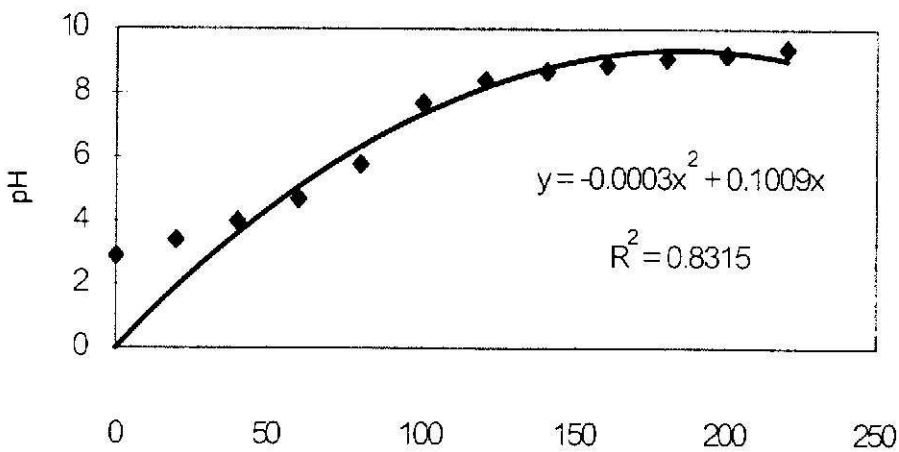
7. การหาปริมาณกรดด่างที่ต้องใช้ในการปรับพีเอช

การหาปริมาณกรดหรือด่างที่ต้องใช้ในการปรับพีเอช ทำได้ในห้องปฏิบัติการ เช่น ถ้าต้องการลดพีเอช ต้องใช้กรด เช่น กรดเกลือ หรือ กรดกำมะถัน หากต้องการเพิ่มพีเอช ใช้โซดาไฟ (NaOH) หรือปูนขาว ($Ca(OH)_2$) เป็นต้น การหาปริมาณกรดหรือด่างที่ต้องใช้ทำได้โดยเติมกรดหรือด่างปริมาณหนึ่งลงในตัวอย่างน้ำ กวนให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยทั่วถึง บันทึกค่า พีเอช และปริมาณกรดที่ต้องใช้ในแต่ละพีเอช จนกระทั่งผ่านจุดพีเอชที่ต้องการ นำผลที่ได้มาพล๊อต กราฟ

ตัวอย่าง ใช้ตัวอย่างน้ำจากโรงงานน้ำยางข้น 500 มล. ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 M สำหรับปรับพีเอชให้เป็นด่าง

ปริมาตรด่าง,มล	พีเอช
0	2.9
20	3.4
40	4
60	4.7
80	5.8
100	7.7
120	8.4
140	8.7
160	8.9
180	9.1
200	9.2
220	9.4

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร NaOH กับ pH

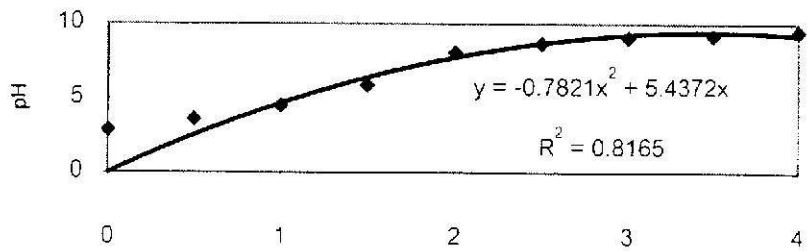


เนื่องจากน้ำเสียจากระบบสกิมมีความเป็นกรดต่ำมาก ต้องใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับพีเอชเป็นจำนวนมาก และในการทดลองครั้งนี้ปรับพีเอชแบบ

แบค(batch) ซึ่งต้องใช้ในปริมาณมาก จึงเปลี่ยนจากการเติมสารละลายมาเป็นการเติมผลึกของโซเดียมไฮดรอกไซด์แทน

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (กรัม)	พีเอช
0.0	2.9
0.5	3.6
1.0	4.5
1.5	5.9
2.0	8.1
2.5	8.7
3.0	9.1
3.5	9.2
4.0	9.5

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างนน. NaOH กับ pH



การคำนวณ จากกราฟ ถ้าต้องการปรับพีเอชเป็น 9.2 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.5 กรัม/น้ำเสีย 500 มล. หรือ 7 กรัมต่อลิตร

8. การวิเคราะห์คลอไรด์โดยวิธีเมอร์คิวรีไนเตรด

8.1. อุปกรณ์

8.1.1. บิวเรตชนิดอ่านได้ละเอียด ถึง 0.5 มล. ขนาด 25 มล. พร้อมขาตั้ง 1 ชุด

8.1.2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. 3 ใบ

8.1.3. ปิเปตขนาด 25 มล. 2 อัน

8.1.4. บีกเกอร์ขนาด 100 มล. 1 ใบ

8.2. **สารเคมี**

8.2.1. น้ำกลั่นปราศจากอิออน

8.2.2. กรดไนตริก 0.05 โมลต่อลิตร เตรียมโดยปิเปตกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 70 จำนวน 3.2 มล. แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร

8.2.3. สารละลายไฮโดรควิโนน (hydroquionone solution) ละลายไฮโดรควิโนน 1 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางจนมีปริมาตรเป็น 100 ลบ. ซม. สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนใช้

8.2.4. กรดไนตริกเข้มข้นประมาณ 0.05 โมล/ลบ. ดม. ปิเปตกรดไนตริกเข้มข้น 16 โมล/ลบ. ดม. หรือร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก จำนวน 3.2 ลบ. ซม. แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1000 ลบ. ซม.

8.2.5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นประมาณ 0.05 โมล/ลบ. ดม. ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1000 ลบ. ซม.

8.2.6. สารละลายมาตรฐานเมอร์คิวรี (II) ไนเตรต โมโนไฮเดรต [Hg (NO) HO] ละลายเมอร์คิวรี (II) ไนเตรต 5.04 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 50 ลบ. ซม. ซึ่งมีเป็น 1000 ลบ. ซม. ถ้าขุ่นต้องกรอง นำไปเทียบกับมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ โดยปรับความเข้มข้นจนได้สารละลายนี้ 1.0 ลบ. ซม. ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 1.0 คลอไรด์

8.2.7. วิธีเทียบมาตรฐานทำเช่นเดียวกับวิธีวิเคราะห์ แต่ใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์แทนน้ำตัวอย่าง

8.2.8. สารละลายอินดิเคเตอร์ ละลายซิม - ไดเฟนิลคาร์บาโซน (sym-diphenylcarbazone) 0.5 กรัม และโบรโมฟีนอลบลู (bromophenol

blue) 0.05 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร 100 ลบ. ซม. เก็บไว้ในขวดสีชา

8.3. **วิธีการวิเคราะห์**

8.3.1. ปิเปตน้ำตัวอย่าง 50 มล. หรือส่วนของตัวอย่างที่เจือจางเป็น 50 มล. ใส่ในขวดเออร์เลนเมเยอร์

8.3.2. ถ้ามี Cr (VI) และ Fe (III) ปริมาณมากกว่า 10 มก./ลบ. ดม. ให้เติมสารละลายไฮโดรควิโนน 5 ลบ. ซม.

8.3.3. เติมอินดิเคเตอร์ 5-10 หยด ถ้าสารละลายเกิดสีฟ้า ฟ้าม่วง หรือแดง ให้เติมกรดไนตริก 0.05 โมล/ลบ.ดม. ทีละหยด จนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แล้วจึงเติมกรดไนตริก 0.05 โมล/ลบ. ดม. เพิ่มอีก 1.0 ลบ. ซม. ถ้าสารละลายเกิดสีเหลืองหรือส้ม ให้เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมล/ลบ.ดม. ทีละหยด เขย่าจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ฟ้าม่วง หรือ แดง แล้วเติมกรดไนตริก 0.05 โมล/ลบ.ดม. จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองจึงเติมกรดไนตริก 0.05 โมล/ลบ.ดม. เพิ่มอีก 1.0 ลบ. ซม.

8.3.4. ติเตรตสารละลายมาตรฐานเมอร์คิวรี (II) ไนเตรต จนถึงจุดยุติ สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นฟ้าม่วง

8.3.5. ทำแบลงค์ โดยใช้น้ำกลั่น 50 ลบ. ซม. แทนน้ำตัวอย่าง แล้วทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

8.3.6. มก./ลบ. ดม. คลอไรด์ $= \dfrac{(V_1 - V_2) \times 1000}{V}$

เมื่อ

V_1 = ลบ. ซม. ของเมอร์คิวรี (II) ไนเตรตที่ใช้ในการติเตรตน้ำตัวอย่าง

V_2 = ลบ. ซม. ของเมอร์คิวรี (III) ไนเตรตที่ใช้ในการติเตรตกับแบลงค์

V = ลบ. ซม. ของน้ำตัวอย่าง

9. **การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสโดยวิธีแอสคอร์บิค**

9.1. **อุปกรณ์**

1) ตู้ควัน

2) เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร (nm) ความยาวช่องแสงผ่าน 1 ซม.

3) เตาไฟฟ้า สำหรับต้มสารละลายเพื่อย่อยสลาย

4) ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ล้างด้วยกรดไนตริกร้อน ก่อนใช้งาน แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง เพื่อล้างสารซักฟอกซึ่งตกค้างจากการล้างขวด

5) ภาชนะทุกชนิดจะต้องล้างด้วยกรดไนตริกร้อน แล้วล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง

9.2. **สารเคมี**

1) กรดซัลฟุริกเข้มข้น

2) กรดไนตริกเข้มข้น

3) สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน

4) กรดซัลฟุริก 2.5 โมล/ลิตร เตรียมโดยเจือจางกรดซัลฟุริก เข้มข้น 140 มิลลิลิตร เจือจางลงในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร อย่างช้า ๆ รอให้สารละลายที่เตรียมเย็นลงเล็กน้อย แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

5) สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต เตรียมโดย ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต $[(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O]$ 20 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดพลาสติกที่ 4^0ซ.

6) สารละลายแอนติโมนีโปตัสเซียมตาเตรด เตรียมโดยละลายแอนติโมนีโปตัสเซียมตาเตรด $[K(SbO)\ C_4H_4O_6\ 0.5\ H_2O)]$ 4.388 กรัม ในน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชาที่ 4°ซ.

7) กรดแอสคอร์บิก ละลายกรดแอสคอร์บิก 1.76 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้ควรเตรียมครั้งละน้อย ๆ เนื่องจากจะเสื่อมเร็ว

8) สารเคมีรวม (Combined reagent) นำสารเคมีข้อ 4-7 มาผสมรวมกันโดยสัดส่วนดังนี้สารละลายข้อ 4:5:6:7 = 10:1:3:6

9) สารละลายสต๊อกฟอสเฟต (stock phosphate solution) เตรียมโดยละลายโปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 0.2195 กรัม ลงในน้ำกลั่นเล็กน้อย คนให้สารละลาย เทใส่ลงในขวดวัดปริมาตรแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ 1 มิลลิลิตรจะมีฟอสฟอรัส 50 ไมโครกรัม

10)สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (standard phosphate solution) นำสารละลายสต๊อกซึ่งเตรียมไว้ในข้อ 6 จำนวน 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร แล้วเจือจางให้เป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ 1 มิลลิลิตร จะมีฟอสฟอรัส 2.50 ไมโครกรัม

9.3. **วิธีการย่อยสารละลาย**

1) ล้างภาชนะสำหรับย่อยสารละลาย ให้สะอาดด้วยกรดล้างแก้ว แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น หลาย ๆ ครั้ง

2) ใช้ปริมาตรตัวอย่างตามความเหมาะสม ถ้าเป็นน้ำสกปรกน้อยใช้ตัวอย่างประมาณ 25-50 มิลลิลิตร แต่ถ้าเป็นน้ำสกปรกลดปริมาตรตัวอย่างลง 2 หรือ 5 มิลลิลิตร ก็ได้

3) ตวงน้ำตัวอย่างใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่ล้างไว้แล้ว เติมกรดซัลฟุริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร และกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร นำไปย่อยสลายจนกระทั่งได้สารละลายใสไม่มีสี และปริมาตรที่ย่อยเหลือประมาณ 2-3 มิลลิลิตร วางไว้ให้เย็น ใช้น้ำกลั่นล้างขวดให้ทั่ว ประมาณ 5 มิลลิลิตร

4) หยดฟินอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด และหยดโซเดียมไฮดรอกไซด์ (1 โมล/ลิตร) ทีละหยด จนกระทั่งสารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็น สีชมพูอ่อน ๆ ถ้าสารละลายที่ได้ขุ่นให้กรองเสียก่อน เจือจางสารละลายที่เป็นกลางแล้ว ให้ปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดวัดปริมาตร นำไปเติมสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ฟอสฟอรัส ตามวิธีกรดแอสคอร์บิคต่อไป

9.4. **วิธีการวิเคราะห์**

1) เตรียมสารละลายเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน โดยใช้สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่เตรียมไว้ตามข้อ 10 จำนวน 2,4,6,8,10,12,16,20 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดสำหรับย่อยสลายขั้นต้น (อาจจะใช้ขวด เจลดาห์ ขนาดเล็กหรือใช้ขวดชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตรก็ได้) เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรรวม 20

มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟุริก 1 มิลลิลิตร และกรดไนตริก 5 มิลลิลิตร นำไปย่อยสลายในตู้ควันจนกระทั่งสารละลายระเหยและไอกรดสีขาวระเหยหมด จะได้สารละลายใสที่ย่อยสลายประมาณ 1-2 มิลลิลิตร ปล่อยไว้ให้เย็น

2) ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างภายในรอบ ๆ ขวดเล็กน้อย หยดฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด ปรับสารละลายให้เป็นกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (อย่าให้เป็นสีชมพูถาวร) ถ้าสารละลายที่ได้เป็นสีชมพูให้ใช้กรดซัลฟุริก 2.5 โมล/ลิตร หยดลงไปเล็กน้อยจนสารละลายจะเปลี่ยนเป็นไม่มีสี

3) เทสารละลายที่เป็นกลางแล้วใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มลแล้วเจือจางจนถึงขีดวัดปริมาตรสารละลายจะมีฟอสฟอรัส. 10,15,20,25,30,40,50 ไมโครกรัม ต่อ 50 มิลลิลิตรของสารละลายที่เตรียม

4) นำสารละลายที่เตรียมได้เทใส่ภาชนะเดิม เติมสารเคมีรวม 8 มิลลิกรัม ถ้ามีฟอสฟอรัสจะได้สารละลายสีน้ำเงิน

5) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง พลอตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแอบซอบแบนซ์ และค่าความเข้มข้น

6) การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสสำหรับน้ำตัวอย่าง ใช้น้ำตัวอย่างตามความเหมาะสม โดยดูจากลักษณะของตัวอย่างน้ำ ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร (ขวดรูปชมพู่จะต้องล้างด้วยกรดไนตริกร้อน และน้ำกลั่นให้สะอาด)

7) เติมกรดซัลฟุริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร และกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตรนำไปย่อยสลายบนเตา ในตู้ดูดควัน จนกระทั่งแห้ง และไอกรดสีขาวระเหยจนหมด

8) นำตัวอย่างที่ย่อยสลายได้มาปรับให้เป็นกลาง โดยหยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมล/ลิตร ปรับสารละลายให้เป็นกลาง

9) ค่อย ๆ เทสารละลายใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร ล้างภาชนะใส่ลงไปจนหมด แล้วเจือจางเป็น 50 มิลลิลิตร

10)เทสารละลายที่เตรียมได้ ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขวดเดิม ปิเปตสารละลายสารเคมีรวม 8 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในแต่ละขวดตัวอย่าง ถ้าตัวอย่างมีฟอสฟอรัสจะได้สีน้ำเงิน

11)นำสารละลายสีที่ได้ไปวัดค่าแอบซอบแบนซ์แล้วพลอตหาค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัส

9.5. **การคำนวณ**

ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ลิตร) = $\frac{\text{ไมโครกรัมของฟอสฟอรัส}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้}}$

ฟอสเฟต (มก./ลิตร) = ฟอสฟอรัสทั้งหมด x 3.06

10. **การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอย**

10.1. **อุปกรณ์**

1) กรวยกรอง อาจจะใช้กรวยกรองแบคทีเรีย หรือกรวยบุคเนอร์ (buchner funnel)

2) กระดาษกรองใยแก้วขนาด 7 ซม. (glass microfiber filter Whatman GF/G)

3) กระจกนาฬิกา (watch glass) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.0 ซม.

4) เครื่องกรองสูญญากาศ

5) ตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103-105°C

6) เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

7) โถดูดความชื้น

10.2. **วิธีการวิเคราะห์**

1) นำกระดาษกรอง (GF/C) ซึ่งอบแห้งและปล่อยให้เย็นวางไว้ในโถดูดความชื้น

2) ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง (A, กรัม) แล้วนำไปวางบนกรวยกรอง ฉีดน้ำกลั่นให้กระดาษเปียก

3) ตวงตัวอย่างน้ำด้วยกระบอกตวงปริมาตร 100 มิลลิลิตร เทผ่านกระดาษกรองจนกระทั่งสารที่กรองแห้งแล้ว ปิดเครื่องกรอง