สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการยูเอเอสบี

นายทศพร เหง้าละคร

นายธชพล ณ นคร

นายธวัชชัย ใหม่กำลาย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49278
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2547

.b.....
.i.....

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Treatment of Wastewater by Upflow Anaerobic Sludge Blanket Process

Mr.Thosaporn Ngaolakhon

Mr.Thachapon Na nakorn

Mr.Tawatchai Maikonglay

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the

Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการยูเอเอสบี

นักศึกษา นายทศพร เหง้าละคร
นายธชพล ณ นคร
นายธวัชชัย ใหม่กิ่งลาย

ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล กรรมการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย กรรมการ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	

.....
(รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)
หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการยูเอเอสบี

นักศึกษา นายทศพร เหง้าละคร
นายธชพล ณ นคร
นายธวัชชัย ใหม่ก๋งลาย

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2545
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการสร้างและศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบยูเอเอสบี ขนาดโต๊ะทดลอง ซึ่งมีความจุ 4.86 ลิตร โดยได้รับหัวเชื้อจุลินทรีย์มาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีของ บริษัท ปทุมธานี บริวเวอรี่ จำกัด น้ำเสียที่ทำการทดลองมาจาก 2 แหล่ง ประกอบด้วยอาหารสังเคราะห์และน้ำเสียจากบ่อน้ำทิ้งของโรงบำบัดน้ำเสีย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาหารสังเคราะห์ประกอบด้วยซูโครสซึ่งใช้เป็นแหล่งคาร์บอน และสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ใช้เวลากักพักชลศาสตร์ควบคุมอยู่ที่ 9.72 ชั่วโมง เริ่มต้นด้วย ทำการสูบอาหารสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 2,000 ถึง 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตรเข้าถังปฏิกรณ์ โดยทำการสูบอาหารสังเคราะห์ต่อเนื่องเป็นเวลาอย่างน้อย 3 สัปดาห์ พบว่าค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในอาหารสังเคราะห์เท่ากับ 23.35% จากนั้นนำอาหารสังเคราะห์และน้ำเสียจากบ่อน้ำทิ้งมาผสมกัน โดยที่อัตราส่วนน้ำเสียจากบ่อน้ำทิ้งต่ออาหารสังเคราะห์เท่ากับ 5% , 10% , 20% , 40% , 60% และ 100% จากผลการทดลองพบว่าค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของปริมาณน้ำเสียจากบ่อน้ำทิ้ง ดังนั้นควรมีการศึกษาถึงสภาวะการทำงานที่เหมาะสมในการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบีต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Treatment of Wastewater by Upflow Anaerobic Sludge Blanket Process
Name	Mr.Thosaporn Ngaolakhon Mr.Thachapon Na nakorn Mr.Tawatchai Maikonglay
Department	Chemistry
Program	Environment Resource Chemistry
Academic Year	2002
Special Project Advisor	Asst. Pitsamai Chairat-utai

ABSTRACT

In this project , bench-scale upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors were conducted. Each reactor employed an effective volume of 4.86 liters. Cell biomass achieved from the wastewater treatment facility of Pathumthani Brewery Plant was used to inoculate the UASB system. Wastewaters were obtained from two sources , including synthetic wastewater and actual wastewater from wastewater treatment plant of Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL). Synthetic wastewater contained sucrose , as a carbon source and required nutrients for biological growth. Hydraulic retention times (HRTs) was controlled at 9.72 hours. Initially ,sole synthetic wastewater with chemical oxygen demand (COD) in between 2,000 and 2,500 mg/l was fed into the reactors.It was observed that removal efficiency of COD in synthetic wastewater by the UASB system was 23.35 percent.Then, a mixed component between synthetic wastewater and wastewater from KMITL was applied after 3 weeks of synthetic wastewater fed. The ratio of actual wastewater to synthetic wastewater were varied at 5% , 10% , 20% , 40% , 60% and 100%. The removal efficiency of COD was found to decrease with an increase of actual wastewater portion. Optimum conditions to enhance the UASB performance would be further investigated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนการแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ ซึ่งเป็นกรรมการและให้คำแนะนำในการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณปิยะพันธ์ นุชท่าโพ และคุณจารุวรรณ สุจินตนารัตน์ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการสร้างถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบยูเอเอสบี ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท ปทุมธานี บริวเวอรี่ จำกัด สำหรับเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง และคุณบัญญัติ สุดทิม ซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่ควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย ที่ให้คำแนะนำในการเริ่มต้นเดินระบบ รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมีที่ให้ความสะดวกในการทำการวิจัยในครั้งนี้ ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อม เป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงใคร่ขอขอบ พระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นายทศพร เหง้าละคร
นายธชพล ณ นคร
นายธวัชชัย ใหม่ก๋งลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ	4
2.2 ปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ	4
2.3 รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศและข้อดี-ข้อเสีย	6
2.4 หลักการทำงานของระบบยูเอเอสบี	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา	15
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	15
3.3 การทดสอบการทำงานของระบบ	20
3.4 การทดลองบำบัดน้ำเสีย	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ทดลอง 22

4.2 การบำบัดน้ำเสียในอัตราส่วนน้ำเสีย 5 เปอร์เซ็นต์ 22

4.3 การบำบัดน้ำเสียในอัตราส่วนน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ 25

4.4 การบำบัดน้ำเสียในอัตราส่วนน้ำเสีย 20 เปอร์เซ็นต์ 27

4.5 การบำบัดน้ำเสียในอัตราส่วนน้ำเสีย 40 เปอร์เซ็นต์ 30

4.6 การบำบัดน้ำเสียในอัตราส่วนน้ำเสีย 60 เปอร์เซ็นต์ 32

4.7 การบำบัดน้ำเสียในอัตราส่วนน้ำเสีย 100 เปอร์เซ็นต์ 35

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำเสียกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและผลต่างค่า พีเอช (น้ำออก-น้ำเข้า) 37

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 39

5.2 ข้อเสนอแนะ 39

บรรณานุกรม 40

ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ 41

ภาคผนวก ข องค์ประกอบของอาหารสังเคราะห์และการคำนวณ 45

ภาคผนวก ค ตารางแสดงผลการทดลอง 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงานตลอดโครงงาน	2
4.1	ลักษณะน้ำเสียจากบ่อน้ำทิ้งของโรงบำบัดน้ำเสียคณะวิทยาศาสตร์	22
4.2	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ควบคุมและน้ำเสียที่ 5%	24
4.3	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ควบคุมและน้ำเสียที่ 10%	26
4.4	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ควบคุมและน้ำเสียที่ 20%	29
4.5	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ควบคุมและน้ำเสียที่ 40%	31
4.6	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ควบคุมและน้ำเสียที่ 60%	34
4.7	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ควบคุมและน้ำเสียที่ 5%	36
4.8	ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและผลต่างค่าพีเอชที่ 0% , 5% , 10% , 20% , 40% , 60% และ 100%	38
ก.1	แสดงปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่างๆ	42
ค.1	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองที่ 1 (ถังปฏิกรณ์ควบคุม)	47
ค.2	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองที่ 1 (ถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 5%)	47
ค.3	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองที่ 1 (ถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 10%)	48
ค.4	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองที่ 2 (ถังปฏิกรณ์ควบคุม)	48
ค.5	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองที่ 2 (ถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 20%)	49
ค.6	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองที่ 2 (ถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 40%)	49
ค.7	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองที่ 3 (ถังปฏิกรณ์ควบคุม)	50
ค.8	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองที่ 3 (ถังปฏิกรณ์ 60%)	50
ค.9	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองที่ 3 (ถังปฏิกรณ์ 100%)	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน	5
2.2	องค์ประกอบหลักของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี	11
3.1	ถังปฏิกรณ์ระบบไร้อากาศแบบยูเอเอสบี	16
3.2	ผังการไหลและส่วนประกอบถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี	17
3.3	ถังควบคุมระดับ และถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี	18
3.4	ถังปฏิกรณ์ระบบไร้อากาศแบบยูเอเอสบีที่ทำการทดลอง	19
4.1	แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์ควบคุม	23
4.2	แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 5%	23
4.3	ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ควบคุม	25
4.4	ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ที่อัตราน้ำเสีย 5%	25
4.5	แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 10%	26
4.6	ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ที่อัตราน้ำเสีย 10%	27
4.7	แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์ควบคุม	28
4.8	แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 20%	28
4.9	ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ควบคุม	29
4.10	ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ที่อัตราน้ำเสีย 20%	30
4.11	แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 40%	31
4.12	ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ที่อัตราน้ำเสีย 40%	32
4.13	แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์ควบคุม	33
4.14	แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 60%	33
4.15	ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ควบคุม	34
4.16	ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ที่อัตราน้ำเสีย 60%	35
4.17	แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 100%	36
4.18	ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ที่อัตราน้ำเสีย 100%	37
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำเสียกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและผลต่างค่าพีเอช (น้ำออก-น้ำเข้า)	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันปัญหามลภาวะเป็นพิษในแหล่งน้ำได้ก่อตัวและมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมากจากการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็ว และการขยายตัวของอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ภาระในการบำบัดน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งจะต้องมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดค่อนข้างสูง ขณะที่วิธีทางชีวภาพมีราคาถูกโดยเฉพาะ ระบบบำบัดแบบไร้อากาศสามารถรับภาระสารอินทรีย์ที่มีค่าสูงมากๆ ได้ดีกว่าระบบบำบัดแบบเติมอากาศ

ระบบบำบัดไร้อากาศแบบยูเอเอสบี เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา เพื่อใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง และ ลักษณะการที่สำคัญของระบบยูเอเอสบี คือการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ให้เกาะเป็นเม็ดหรือเกล็ด (Granule or pellet) แขวนลอยอยู่ในถังหมักได้ และให้น้ำเสียเข้าทางด้านล่างของถังหมัก น้ำเสีย เชื้อจุลินทรีย์ แก๊สชีวภาพจะแยกส่วนกันจึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารเคมีปนเปื้อน เนื่องจากข้อดีของระบบที่มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ค่อนข้างสูงจึงสามารถเลี้ยงจุลินทรีย์ให้คุ้นเคย (Acclimate) และใช้กับน้ำเสียดังกล่าวเป็นระยะเวลาหนึ่ง จุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพน้ำเสียได้

ปัจจุบันโรงบำบัดน้ำเสียหลายแห่งในประเทศไทยได้หันมาให้ความสำคัญ และใช้ระบบบำบัดน้ำเสียไร้อากาศแบบยูเอเอสบีกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างดี ทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายได้อีกด้วย ดังนั้นเป็นที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งที่จะทำการศึกษาถึงหลักการในการบำบัดน้ำเสียไร้อากาศแบบยูเอเอสบี เพื่อที่จะสามารถสร้างถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบยูเอเอสบีขนาดโต๊ะทดลอง เพื่อนำมาใช้ในการทดลองบำบัดน้ำเสีย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบยูเอเอสบีขนาดโต๊ะทดลอง
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปบำบัดน้ำเสีย
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. จัดสร้างระบบยูเอเอสบีโดยใช้พลาสติกอะคลิลิกใส และท่อพีวีซีให้มีความจุประมาณ 5 ลิตร

2. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองคือน้ำเสียจากบ่อน้ำทิ้งของโรงบำบัดน้ำเสียคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3. เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้นำมาจาก ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีของ โรงงานผลิตเบียร์ บริษัท ปทุมธานี บริวเวอรี่ จำกัด

4. ตัวแปรที่ใช้ทดลองคือ ค่าซีโอดี

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ในการทดลองนี้เป็นการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ โดยจะแบ่งขั้นตอนการทดลองออกเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

ขั้นที่ 1 การสืบค้นและการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาหลักการพื้นฐานของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน รวมถึงศึกษาหลักการออกแบบอุปกรณ์ของระบบยูเอเอสบี เพื่อจะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ขั้นที่ 2 จัดหาอุปกรณ์เพื่อนำมาใช้สร้างถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี

ขั้นที่ 3 เตรียมอาหารสังเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ

ขั้นที่ 4 ทดสอบการทำงานของระบบ

ขั้นที่ 5 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงงาน

กิจกรรม	2545			2546			
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	←	—	→				
2. จัดหาอุปกรณ์และสร้างหน่วยบำบัด		←	—	—	→		
3. ทดสอบการทำงานของระบบ				←	—	—	→
4. สรุปและรายงานผล						←	— →

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบยูเอเอสบีที่สร้างขึ้นไปใช้ในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆได้

2. สามารถนำถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบยูเอเอสบีที่สร้างขึ้นไปใช้ในการเรียนการสอนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (Anaerobic Treatment)

ระบบบำบัดแบบไร้อากาศเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นแก๊สมีเทนซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดีและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งรวมเรียกว่า "แก๊สชีวภาพ" ซึ่งเป็นลักษณะจำเพาะของระบบนี้ แก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นจะแยกตัวออกอย่างรวดเร็วเพราะความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ส่วนใหญ่ระบบบำบัดแบบไร้อากาศจะใช้เป็นปฏิบัติการขั้นต้น เพื่อใช้ลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้เหลือน้อยลง ก่อนส่งต่อไปยังปฏิบัติการแบบใช้อากาศทำการกำจัดสารอินทรีย์ส่วนที่เหลือ ซึ่งสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียได้มาก ระบบบำบัดแบบไร้อากาศนี้สามารถใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำเสียชุมชนที่มีอัตราภาระอินทรีย์ค่อนข้างสูง

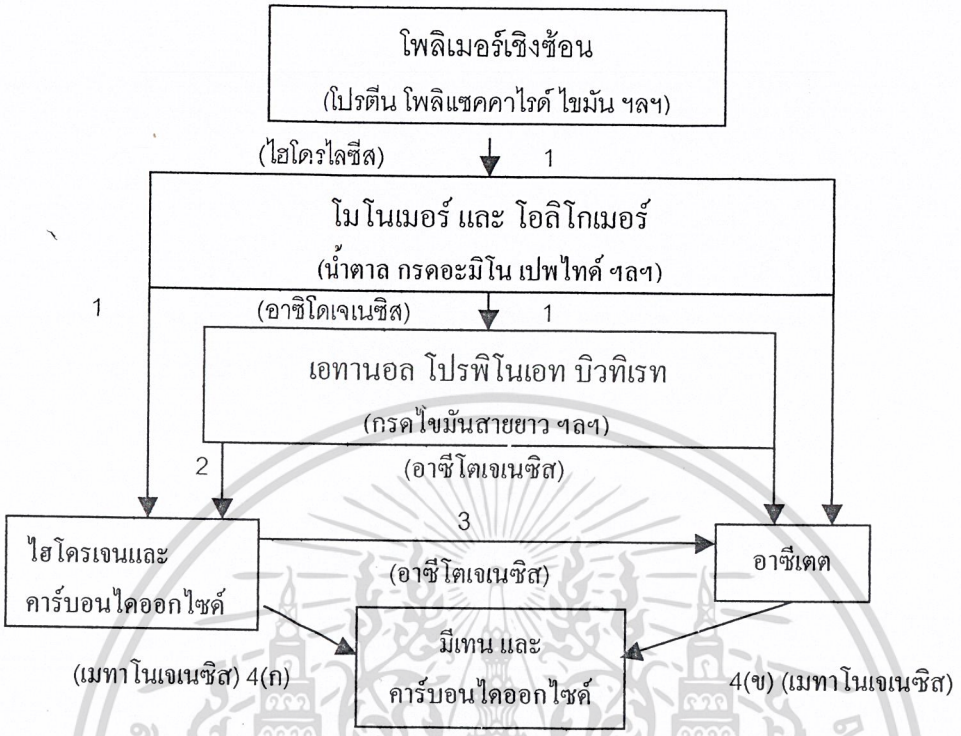
2.2 ปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

หลักการของระบบไร้อากาศนี้คือ ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีโมเลกุลใหญ่ไปเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลงเรื่อยๆ โดยอาศัยปฏิกิริยาชีวเคมี (รูปที่2.1) ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนได้แก่

2.2.1 ไฮโดรไลซีส (hydrolysis)

กระบวนการนี้เรียกอีกอย่างว่า กระบวนการแตกสลายโพลิเมอร์ (Polymer breakdown) ขั้นตอนแรกแบคทีเรียที่ผลิตกรด (Acid producing bacteria) จะปล่อยเอนไซม์ (External enzyme) ออกมาซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส ละลายอนุภาคสารอินทรีย์ ลดขนาดสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ (เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน) ให้เล็กลง และทำให้มีความสามารถในการละลายน้ำได้ (เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน และ กรดไขมัน) เพื่อให้สามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ง่าย ในขั้นตอนนี้เป็นเพียงการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อนให้เป็นสารอินทรีย์อย่างง่ายเท่านั้น ยังไม่มีการลดซีโอดี ในขั้นตอนนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1 : ไฮโดรไลติก และ นอนไฮโดรไลติก เฟอร์เมนเททีพ

2 : ซินโทรฟิค อาซีโตเจน

3 : โฮโมอาซีโตเจน

4 : (ก) ไฮโดรจีโนโทรฟิค เมทาโนเจน

(ข) อาซีโตคลาสติค เมทาโนเจน

รูปที่ 2.1 ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Amatya,P.L.,1996)

2.2.2 อาซิโดเจเนซีส (Acidogenesis)

สารประกอบอินทรย์อย่างง่ายที่ละลายน้ำจากกระบวนการไฮโดรไลซีสจะถูกแบคทีเรียที่ผลิตกรดที่สามารถดำรงอยู่ได้ทั้งสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน (Facultative Bacteria) ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานโดยการหมัก (Fermentation) ผลผลิตสุดท้ายของการหมักที่ถูกออกซิไดส์แล้วจะเป็นพวกกรดระเหยง่ายโมเลกุล คาร์บอนไม่เกิน 5 ตัว เช่น กรดอาซีติก (Acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) กรดบิวไทริก (Butyric acid)และกรดวาเลริก (Valeric acid) ขั้นตอนนี้นอกจากจะผลิตกรดอินทรีย์ต่างๆ แล้วยังเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และ สารละลายแอมโมเนียและฟอสเฟตด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$$
$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \longrightarrow 2CH_3\,CH_2COOH + 2H_2O$$
$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CH_3\,CH_2\,CH_2COOH + CO_2 + 2H_2$$

2.2.3 อาซีโตเจเนซีส (Acetogenesis)

กรดระเหยง่ายที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอาซีโตเจเนซีส จะถูก แบคทีเรียกลุ่มอาซีโตเจนิค(Acetate and Hydrogen-producing bacteria) เปลี่ยนให้เป็น อาซีเตต ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในการสร้างมีเทน ปฏิกิริยานี้ถือเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการหลีกเลี่ยงการสะสมของกรดโวลาไทล์และไฮโดรเจนในปริมาณที่สูงพอที่จะยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทนได้ แบคทีเรียกลุ่มนี้อาจถูกเรียกว่า แบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจน (Hydrogen forming bacteria) เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ได้ แต่ตัวที่สร้างกรดได้อาจไม่สามารถสร้างไฮโดรเจน จึงถือว่าแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนเป็นชนิดของแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียทั้งสองชนิดอาจรวมเรียกได้ว่า เป็นแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน (Non-methanogenic bacteria)

2.2.4 เมทาโนเจเนซีส (Methanogenesis)

ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดอาซีติก จากกระบวนการอาซีโตเจเนซีส จะถูกใช้โดยแบคทีเรียเพื่อสร้างมีเทน แบคทีเรียชนิดนี้เรียกว่า "แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic bacteria)" ซึ่ง1/3 ของมีเทนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเมทาโนเจนกลุ่มไฮโดรจีโนโทรป (Hydrogenotrophic methanogens) และ 3/4 ของมีเทนที่เกิดขึ้นได้จากการทำงานของเมทาโนเจนกลุ่มอาซีโตโทรป (Acetotrophic methanogens) ดังสมการที่ 2.1และ 2.2 ตามลำดับ

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad (2.1)$$
$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \qquad (2.2)$$

2.3 รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศและข้อดี-ข้อเสีย

2.3.1 รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ระบบหมักแบบธรรมดา (Conventional anaerobic process) และระบบหมักแบบอัตราสูง (High-rate anaerobic process)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 ระบบหมักแบบธรรมดา (Conventional anaerobic process)

ระบบบำบัดแบบดั้งเดิมนี้มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์ในระบบมีจำนวนน้อย แต่อย่างไรก็ตามเป็นระบบที่ง่าย สะดวกในการดูแล

1) บ่อเกรอะ (Septic tank)ปกติระบบนี้จะใช้กับอาคารที่พักอาศัยและอาคารสำนักงานขนาดเล็กที่มีปริมาณน้ำทิ้งไม่มากนัก สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือน้ำที่ผ่านบ่อเกรอะแล้วยังมีความสกปรกอยู่มากจึงต้องมีการบำบัดในขั้นตอนต่อไป

2) บ่อหมัก (Anaerobic pond) เป็นบ่อเปิดมีความลึกตั้งแต่ 3 เมตรเพื่อป้องกันมิให้ออกซิเจนละลายไปถึงส่วนล่างของบ่อ โดยทั่วไปมักเป็นบ่อดิน นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง โรงงานมีพื้นที่ว่างเปล่าไม่ได้ใช้ประโยชน์และเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่ำ ข้อเสียนอกจากจะมีประสิทธิภาพต่ำแล้วยังมีปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวน และสูญเสียแก๊สชีวภาพที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อีกด้วย

3) Conventional anaerobic digester เป็นระบบหมักที่ถูกพัฒนามาใช้ในการกำจัดตะกอนแบคทีเรียที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ออกซิเจนอิสระ เช่น แอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated sludge) โดยประกอบด้วยถังหมัก อาจเป็นถังเดียวหรือสองถัง ตะกอนแบคทีเรียจะถูกย่อยสลายได้แก๊สชีวภาพ แต่ประสิทธิภาพต่ำ

2.3.1.2 ระบบหมักแบบอัตราสูง(High rate anaerobic process)

เป็นระบบหมักที่ได้รับการพัฒนาในระยะหลัง เพื่อแก้ปัญหาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง การเพิ่มประสิทธิภาพโดยการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียในระบบ ด้วยการหมุนเวียนตะกอนกลับมาใช้อีกหรือโดยการหาตัวกลางที่มี พื้นที่ผิวสูงให้แบคทีเรียเกาะติด หรืออาจตกตะกอนแบคทีเรียที่ออกมากับน้ำล้นจากถังหมักแล้วสูบกลับถังหมักอีกครั้ง หรืออาจควบคุมความเร็ว ของน้ำเสียที่ไหลผ่านถังหมัก (Upflow velocity) ให้เหมาะสมจนเกิดเป็นเม็ดขนาดใหญ่ของแบคทีเรียจับกันแน่น(Granular bacteria)

1) ถังหมักแบบสัมผัส (Anaerobic contact tank) ระบบหมักนี้คล้ายกับระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated sludge) เป็นระบบปิดอยู่ในสภาวะไม่มีออกซิเจน แบคทีเรียที่ออกมากับน้ำล้นจากถังหมักจะมีปริมาณสูง แต่เนื่องจากตะกอนแบคทีเรียของระบบจะมีแก๊สเกาะติดอยู่และพาตะกอนแบคทีเรียลอยขึ้น จึงแยกแก๊สออกเสียก่อนจะทำการแยกตะกอนแบคทีเรียออกจากน้ำหรือใช้เครื่องมือกลในการแยก ตะกอนจุลชีพที่แยกออกจะถูกส่งกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อไป

2) ระบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed)ระบบนี้แบคทีเรียจะเกาะเป็นเมือกคลุมผิวตัวกลางที่เป็นเม็ดขนาดเล็ก (เล็กกว่า 1 มม.) น้ำเสียจะถูกสูบเข้าก้นถังด้วยความเร็วพอเหมาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสามารถยกเม็ดตัวกลางให้ลอย ดังนั้นการเคลื่อนที่ของเม็ดตัวกลางมากมายเหล่านี้ จึงเป็นเสมือนของเหลวคือเคลื่อนไปทุกทิศทางทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารอาหารของเสียต่างๆจากปฏิกิริยาชีวเคมีสูงมาก ส่วนบนของถังหมักจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่กว้างขึ้นดังนั้นความเร็วน้ำไหลขึ้น (Upflow velocity) จะต่ำลงจึงทำให้เม็ดตัวกลางที่มีเมือกแบคทีเรียอยู่จะตกลงมาน้ำใสเท่านั้นที่ล้นออกจากถังหมักและเนื่องจากเม็ดตัวกลางเคลื่อนไหวไปมาอย่างอิสระจึงเกิดการขัดสีชนกันตลอดเวลา ทำให้เมือกแบคทีเรียที่หลุดติดไปกับน้ำเสียจะต้องแยกออกโดยไหลผ่านถังตกตะกอน ถึงแม้ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงแต่ก็ยุ่งยากในการควบคุมและค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูงจึงไม่เป็นที่นิยม

3) ระบบเครื่องกรองไร้อากาศ(Anaerobic filter)เครื่องกรองไร้อากาศโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นถังกลมหรือทรงกระบอกหรือสี่เหลี่ยมปิดมิดชิด ภายในเครื่องกรองบรรจุด้วยตัวกรองจะมีลักษณะไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน(Up-flow) และออกจากเครื่องกรองทางตอนบนซึ่งการไหลเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมเต็มถังตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อน้ำทิ้งไหลผ่านช่องว่างของตัวกรอง ซึ่งเก็บกักตะกอนแบคทีเรียไว้ ทำให้แบคทีเรียมีโอกาสสัมผัสกับน้ำทิ้งได้อย่างทั่วถึง ตะกอนแบคทีเรียที่เกาะอยู่ตามผิวและอยู่ตามช่องว่าง ก็จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำทิ้งไปเป็นแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ และจะออกจากเครื่องกรองตอนบนทางช่องระบายแก๊ส น้ำทิ้งจะไหลออกทางตอนบนของถังในลักษณะของการไหลล้น (overflow) ซึ่งจะเกิดแรงดันสูญเสีย (Head loss)ประมาณ 2.5-7.6 เซนติเมตรต่อความสูงของถังกรอง 2 ฟุต

4) ระบบยูเอเอสบี การพัฒนาระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) เริ่มต้นในปี 1972 โดย Lettinga และคณะ ได้ทำการทดลองศึกษาการย่อยแบบไร้อากาศของน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำตาล Beet sugar แห่งหนึ่งในประเทศฮอลแลนด์เริ่มแรกเป็นการศึกษาโดยใช้ถังกรองไร้อากาศ (Anaeronbic filter) แต่ต่อมาได้มีการพัฒนาปรับปรุงอุปกรณ์ให้สามารถแยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์และแก๊สชีวภาพ ออกจากกันได้ทั้ง 3 สถานะ จึงได้ตั้งชื่อกระบวนการนี้ว่า “กระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น”(Upflow Anaerobic Sludge Blanket) และยังสามารถเลี้ยงให้เชื้อตะกอนจุลินทรีย์ภายในระบบมีลักษณะเป็นเม็ดหรือเกร็ด (Granule or Pellet)

5) กระบวนการเครื่องกรองชั้นตะกอนจุลินทรีย์ชนิดไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Sludge Blanket Filter :USBF)ระบบถังหมักแบบธรรมดาที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งหรือใช้ในการผลิตแก๊สมีเทนก็ตามประสบปัญหาบางประการ ในการออกแบบและควบคุมการทำงาน ได้แก่ การแยกตะกอนจุลินทรีย์ไม่ให้หลุดออกไม่ให้หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบนานกว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้อากาศและเสถียรภาพในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบต่ำ Guiot และ Vanden Berg ได้พัฒนารูปแบบระบบบำบัดน้ำทิ้งขึ้นมาในปี 1985 โดยทำการศึกษาถังปฏิกรณ์แบบผสม (Hybrid)ระหว่างระบบชั้นตะกอนจุลินทรีย์ชนิดไร้อากาศแบบไหลขึ้น (UASB) และระบบเครื่องกรองไร้อากาศ (AF) ซึ่งเรียกปฏิกรณ์แบบใหม่นี้ว่าระบบเครื่องกรองชั้นตะกอนจุลินทรีย์ชนิดไร้อากาศแบบไหลขึ้น

2.3.2 การเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการไร้อากาศและกระบวนการใช้อากาศ (Aerobic process)

ข้อดีของกระบวนการไร้อากาศ

1. เนื่องจากกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ ทำงานด้วยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่ให้กลายเป็นแก๊สมีเทนและพลังงานที่ใช้ในการดำรงชีพของมัน ทำให้เซลล์เกิดน้อยมาก และน้อยกว่าวิธีการบำบัดแบบไร้อากาศ ทำให้ลดปัญหาการ บำบัดตะกอน โดยทั่วไปเป็นเวลาหลายเดือนหรือหลายปีจึงจะมีการระบายตะกอนออกไปสักครั้งหนึ่ง

2. ให้ผลผลิตสุดท้ายเป็นแก๊สมีเทน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

3. สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างกระทันหัน (Shock load) ได้โดยไม่ทำให้ระบบล้มเหลวแต่ต้องใช้เวลาในการปรับตัวเล็กน้อย

4. ต้องการอาหารเสริมน้อยกว่าระบบชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน

5. ไม่สิ้นเปลืองพลังงานเพราะไม่ต้องการใช้ออกซิเจนในการทำงานของจุลินทรีย์

6. สามารถทำงานได้ดี หลังจากที่มีการหยุดทำงานไปชั่วเวลาหนึ่ง โดยไม่ต้องการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ใหม่

7. ตะกอนจุลินทรีย์มีความคงตัวสูง

ข้อเสียของกระบวนการไร้อากาศ

1. เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น

2. การใช้งานในทางปฏิบัติจริงๆ ยังมีปัญหาเกี่ยวกับการออกแบบระบบการกระจายของน้ำยังไม่ดีพอ ซึ่งทำให้เกิดการไหลลัดวงจรได้

3. น้ำออกจากระบบยังมีสารอินทรีย์อยู่สูงกว่าค่ามาตรฐานที่ทางราชการกำหนด จำเป็นต้องมีระบบแบบใช้อากาศมาบำบัดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 หลักการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี เป็นระบบบำบัดที่มีการป้อนน้ำเสียจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ขึ้นสู่ด้านบน(Upflow feeding)โดยไม่ใช้ตัวกลางหรือวัสดุใดๆในการพยุงมวลจุลินทรีย์ทั้งสิ้น ซึ่งองค์ประกอบหลักของถังปฏิกรณ์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้(รูปที่ 2.2)

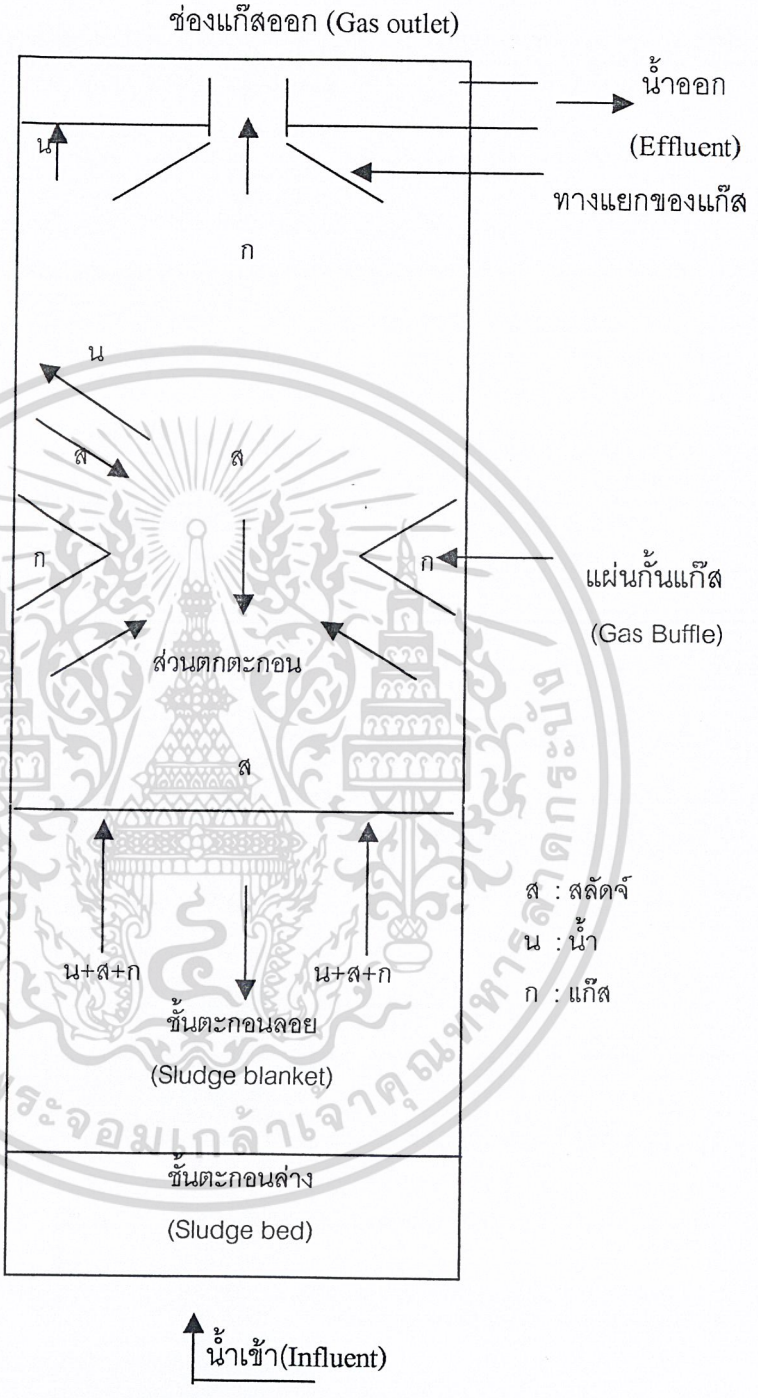
1. ส่วนของตะกอนชั้นล่าง (Sludge bed) เป็นชั้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสามารถใน การ ตกตะกอนสูงและมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้สูง

2. ส่วนของชั้นตะกอนลอย (Sludge blanket) เป็นชั้นที่ตะกอนจุลินทรีย์ลอยฟุ้งกระจายเนื่องจากแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์

3. ส่วนของอุปกรณ์แยกตะกอนจุลินทรีย์และแก๊สชีวภาพ (Gas-Solids Separator:GSS) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แยกแก๊สชีวภาพออกจากของผสม ระหว่างแก๊สชีวภาพ น้ำและตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกแยกจะไหลเข้าสู่ส่วนแยกตะกอน และแก๊สชีวภาพจะถูกรวบรวมเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานต่อไป

4. ส่วนของอุปกรณ์ในการตกตะกอน(Settlement compartment)ในส่วนของอุปกรณ์นี้จะสร้างสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดและแยกแก๊สชีวภาพออกไปจะเป็นของผสมระหว่างน้ำเสียที่มีสารมลพิษต่ำและตะกอนจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบหลักของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเมื่อน้ำเสียส่วนนี้ไหลมาถึงอุปกรณ์นี้ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะแยกตัวและตกตะกอนลงสู่ส่วนล่างของถังปฏิกรณ์ ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักเบาจะไหลปะปนไปกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว

2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบีเป็นกระบวนการไร้อากาศแบบหนึ่ง การทำงานของระบบขึ้นกับการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ปัจจัยที่มีผลต่อจุลินทรีย์แบ่งได้เป็น

2.4.1.1 อุณหภูมิ (Temperature)

ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกระบวนการไร้อากาศมี 2 ช่วง คือ

- Mesophilic ช่วงอุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส
- Thermophilic ช่วงอุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส

2.4.1.2 พีเอช (pH)

ค่าพีเอชที่เหมาะสมกับกระบวนการไร้อากาศควรอยู่ระหว่าง 6.6-7.6 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ถ้าพีเอชน้อยกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสามารถปรับตัวได้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่า ดังนั้นการควบคุมพีเอชของระบบจึงเน้นไปกลุ่มสร้างมีเทนมากกว่า

2.4.1.3 กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids)และสภาพด่าง(Alkalinity)

กรดไขมันระหว่างที่ผลิต โดยแบคทีเรียที่สร้างกรด ปกติควรมีค่าประมาณ 200-400 มก./ล. ของกรดอาซีติก กรดไขมันระเหยง่ายที่เพิ่มขึ้นรวดเร็วจะเป็นสัญญาณว่าระบบกำลังเสียสมดุลย์ เพราะทำให้พีเอชลดลงจนไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมของแบคทีเรียและตัวกรดเองที่ความเข้มข้นสูงๆเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ดังนั้นสภาพด่างจึงแสดงถึงสภาพบัฟเฟอร์ของระบบ ซึ่งจะรักษาระบบให้มีพีเอชค่อนข้างคงที่ สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันระเหยง่ายได้ กระบวนการไร้อากาศ เช่น ถังย่อยสลัดจ์ (Sludge digester) ควรมีสภาพด่างประมาณ 1,500-2,000 มก./ล. นอกจากสภาพด่างแล้วต้องพิจารณาอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างด้วย (VFA/ALK)

ถ้า VFA/ALK < 0.4 แสดงว่ามีสภาพบัฟเฟอร์สูง ระบบทำงานได้ดี

ถ้า VFA/ALK > 0.8 แสดงว่ามีสภาพบัฟเฟอร์ต่ำ อาจจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลงหรือล้มเหลวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมีที่ใช้เพิ่มความเป็นด่างให้แก่ระบบมีอยู่หลายชนิด เช่น สารไบคาร์บอเนต หรือ คาร์บอเนต โดยโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) เป็นสารเคมีที่ดีที่สุดในการใช้ควบคุมพีเอช เพราะละลายน้ำได้ดีและให้คาร์บอเนตโดยตรงต่อระบบ แต่มีราคาแพงกว่าสาร เคมีตัวอื่นๆ

2.4.1.4 ธาตุอาหารเสริม (Nutrients)

ถึงแม้ว่าเซลล์แบคทีเรียที่สร้างขึ้นมาในกระบวนการไร้อากาศจะมีน้อยกว่าแบบใช้อากาศ แต่จากอัตราส่วน C:N:P:S ในเซลล์มีค่าประมาณ 100:10:1:1 จึงจำเป็นต้องรักษาสัดส่วนนี้ไว้ไม่ให้น้อยกว่านี้ จุลินทรีย์จึงต้องการธาตุอาหารเสริมนอกจากคาร์บอน เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยค่า BOD:N:P ควรมีอัตราส่วนอย่างน้อย 100:1.1:0.2 สำหรับกระบวนการไร้อากาศ นอกจากนี้ยังมีธาตุบางอย่างที่แบคทีเรียสร้างมีเทนต้องการเป็นปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ เช่น เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล ซัลเฟอร์

2.4.1.5 สารพิษ (Toxic)

สารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบไร้อากาศ โดยเฉพาะแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทนมีหลายชนิด ความรุนแรงขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารเหล่านั้น สารที่เป็นพิษไม่ได้หมายถึงสารอันตรายโดยตรงเท่านั้น สารบางตัวเป็นสารอาหารที่จำเป็นแต่ต้องมีปริมาณพอเหมาะ ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะกลายเป็นสารพิษได้ รวมถึงอิออนบวกและโลหะหนักต่างๆควรมีการตรวจวัดปริมาณสารพิษในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบเพื่อหาทางแก้ไขหรือลดความเป็นพิษลง เช่น การตกตะกอนแยกโลหะหนักออกก่อน เป็นต้น เชื้อแบบไร้อากาศมีความทนทานต่อสารพิษมากกว่าเชื้อแบบอื่น แต่หากระบบล้มเหลวลงเนื่องจากสารพิษระบบจะใช้เวลาในการฟื้นตัวนานเช่นเดียวกัน

2.4.2 ยูเอเอสบีเปรียบเทียบกับกระบวนการไร้อากาศอื่นๆ

ข้อดีของระบบยูเอเอสบี

1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ (เทียบกับระบบเครื่องกรองไร้อากาศ หรือระบบฟลูอิดไดซ์เบด)
2. สามารถรับภาระ(Loading capacities) ได้สูงและมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงเมื่อเทียบกับระบบเครื่องกรองไร้อากาศ หรือ ระบบสัมผัสแอนแอโรบิก (Anaerobic contact)
3. โดยทั่วไปไม่จำเป็นต้องการหมุนเวียนน้ำ (Effluent recycles)

ข้อเสียของระบบยูเอเอสบี

1. การเริ่มต้นระบบ(Start-Up)ซับซ้อนและใช้เวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การสร้างตะกอนเม็ดของตะกอนจุลินทรีย์

ระยะที่ 1เป็นระยะที่ถังปฏิกรณ์รับอัตราภาระอินทรีย์ น้อยกว่า 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ในช่วงนี้ตะกอนจุลินทรีย์ที่อัดแน่นอยู่ที่ชั้นตะกอนล่างจะมีการยกตัวเนื่องจากแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้น

ระยะที่ 2 เป็นระยะที่มีอัตราภาระอินทรีย์ 2-5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ในระยะนี้จะมีการสูญเสียตะกอนแขวนลอยสูงมาก เนื่องจากการเพิ่มอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ทำให้มีอัตราส่วนของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักจำเพาะสูงจะไม่ถูกพัดพาออกจากระบบและมีโอกาสเพิ่มปริมาณมากขึ้น ผลจากการคัดเลือกนี้จะทำให้บริเวณส่วนตะกอนชั้นล่างเริ่มปรากฏตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักจำเพาะสูงและตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดมีสีดำถึงสีน้ำตาล ซึ่งอาจมีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 5 มม.

ระยะที่ 3 เป็นระยะที่มีอัตราภาระอินทรีย์สูงกว่า 3-5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน และเป็นช่วงที่ระบบสามารถรับปริมาณสารอินทรีย์ในอัตราที่ออกแบบไว้ ระยะนี้เริ่มนับตั้งแต่เมื่อพบว่ามีการเพิ่มของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดมากกว่าที่สูญเสียออกจากระบบและในที่สุดเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะเสถียรภาพแล้วการสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์จากระบบจะมีน้อยลง

2.4.4 การสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ของระบบยูเอเอสบี

การสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ของระบบยูเอเอสบีเป็นเหตุการณ์ที่อาจมีสาเหตุจาก

- ขั้นตอนการสร้างตะกอนเม็ดของตะกอนจุลินทรีย์
- ตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีปริมาณสูง
- ปริมาณช็อค(Shock load)
- สาเหตุอื่นๆ เช่น การขาดสารอาหาร (Nutrient deficiency), การรวมตะกอนที่ไม่ดี (Poorly flocculation matter)เป็นต้น

เมื่อผ่านสภาวะการสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ของระบบข้างต้นแล้ว ระบบจะใช้เวลาระยะหนึ่งเพื่อปรับตัวให้เข้าสู่สภาวะปรกติในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา

น้ำเสียที่ใช้ คือ น้ำเสียจากบ่อน้ำทิ้งของโรงบำบัดน้ำเสียคณะวิทยาศาสตร์ที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นประมาณ 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยตักน้ำเสียจากบ่อบริเวณโรงบำบัดน้ำเสียคณะวิทยาศาสตร์

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ถังปฏิกรณ์ระบบไร้อากาศแบบยูเอเอสบี

ทำการสร้างถังปฏิกรณ์ขึ้นเอง 3 ถังปฏิกรณ์จากพลาสติกอะคลิลิคใส เบอร์ 603 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 54 มิลลิเมตร โดยมีความจุคือ 4.86 ลิตรของถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง ด้านบนมีชุดแยกแก๊ส และส่วนตกตะกอนซึ่งทำจากอุปกรณ์ท่อพีวีซี รายละเอียดตามแบบรูปที่ 3.1 , 3.2 และ 3.3 โดย

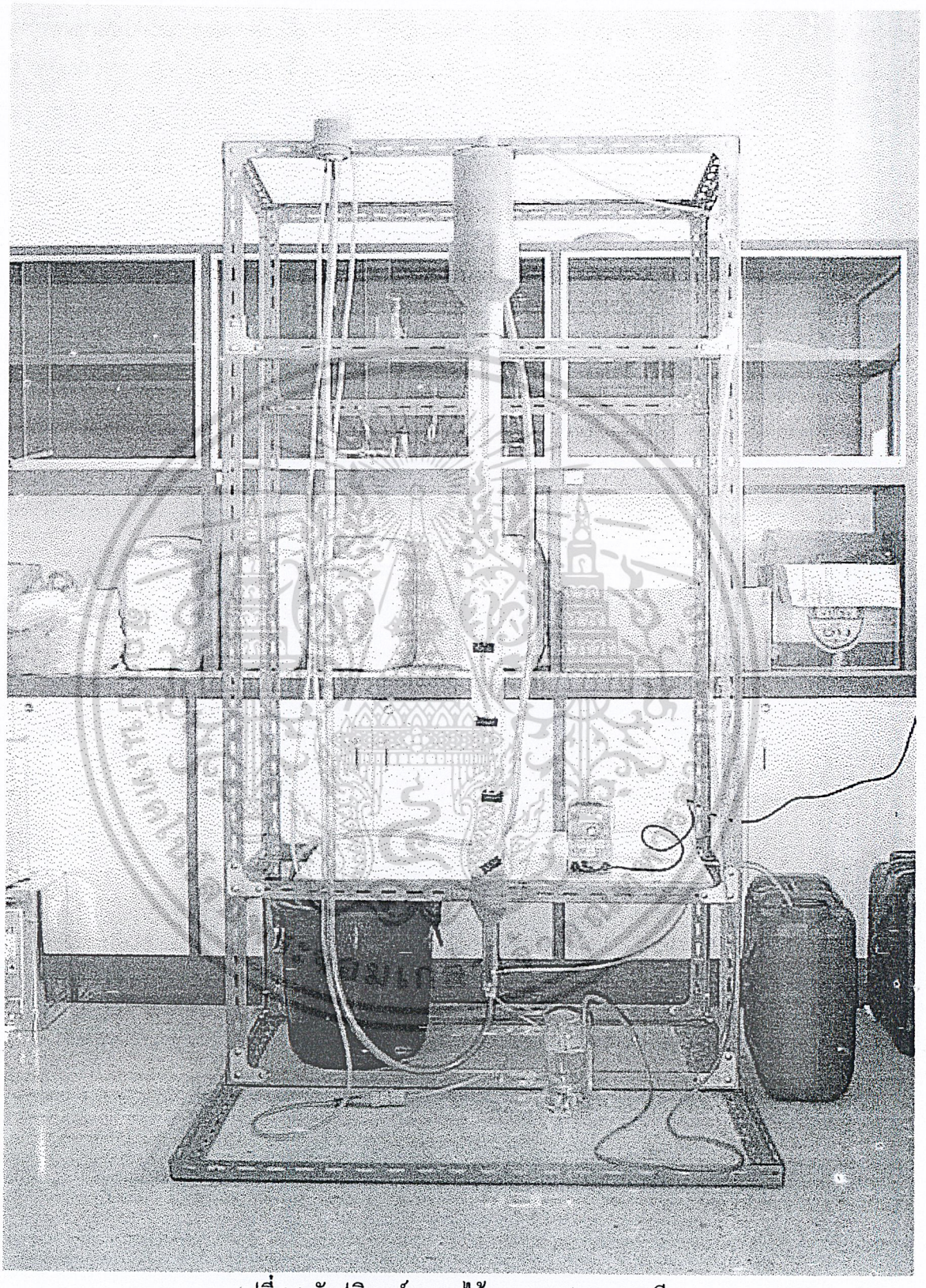
2. ถังน้ำเสียป้อนเข้าระบบและถังน้ำออก
   - ถังพลาสติกขนาด 100 ลิตร จำนวน 3 ถัง เป็นถังสำหรับใส่น้ำเสียป้อนเข้าถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง
   - ถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร จำนวน 3 ถัง เป็นถังสำหรับใส่น้ำเสีย ที่ออกจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง
3. เครื่องสูบน้ำ (Metering Pump)
   - ยี่ห้อ ProMinent gamma/4 จำนวน 1 เครื่อง
   - ยี่ห้อ ProMinent gamma/L จำนวน 2 เครื่อง
4. ถังควบคุมระดับ (Level Tank)

ทำจากหัวอุดท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้วเจาะท่อน้ำเข้า-ออกที่ด้านล่าง ส่วนด้านบนมีท่อระบายน้ำล้น ตามแบบในรูปที่ 3.3

5. เชื้อจุลินทรีย์ (Seed)

น้ำเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสีย แบบยูเอเอสบีจากโรงงานผลิตเบียร์บริษัท ปทุมธานี บริวเวอรี่ จำกัด

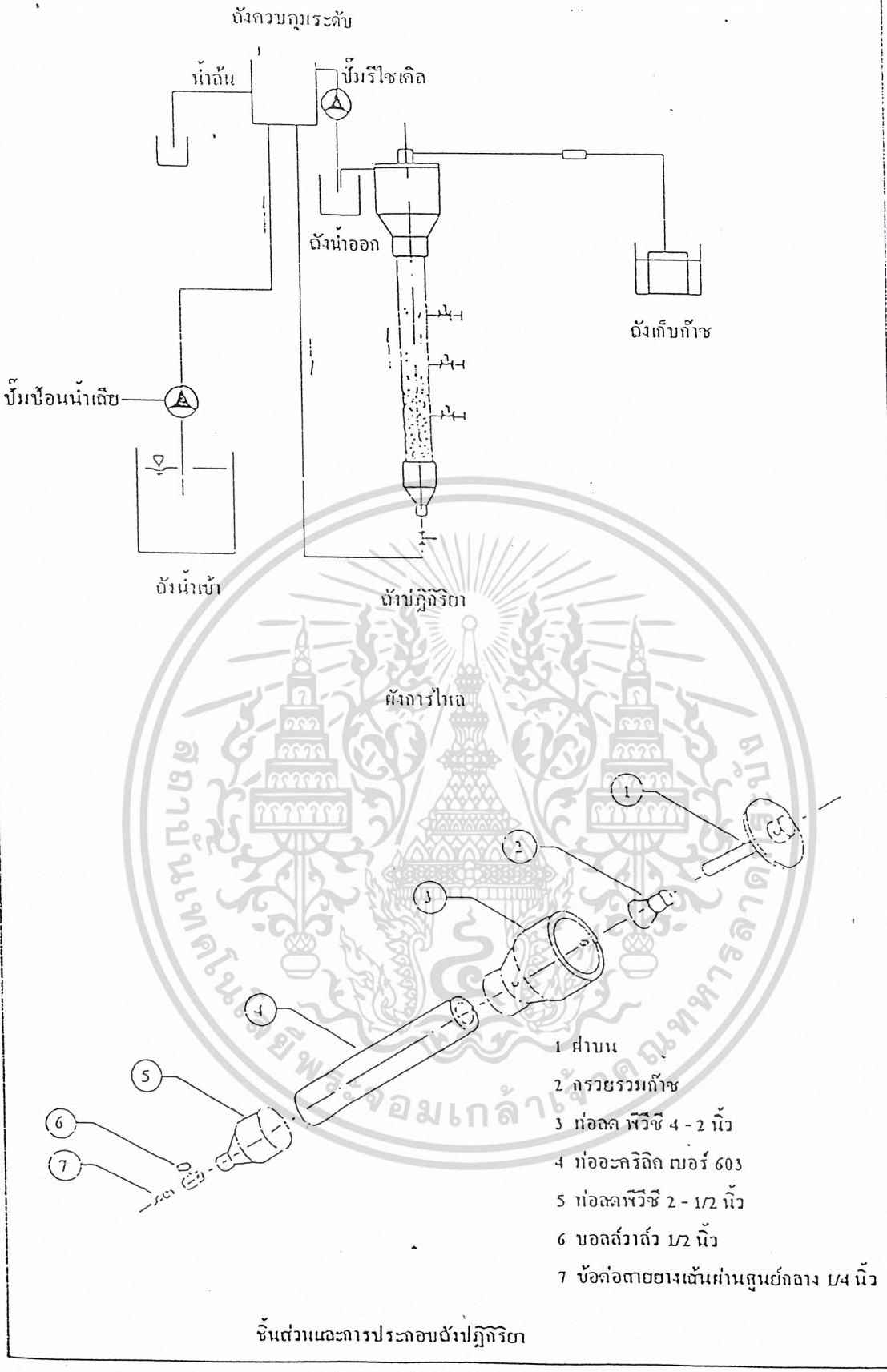
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ถังปฏิกรณ์ระบบไร้อากาศแบบยูเอเอสบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

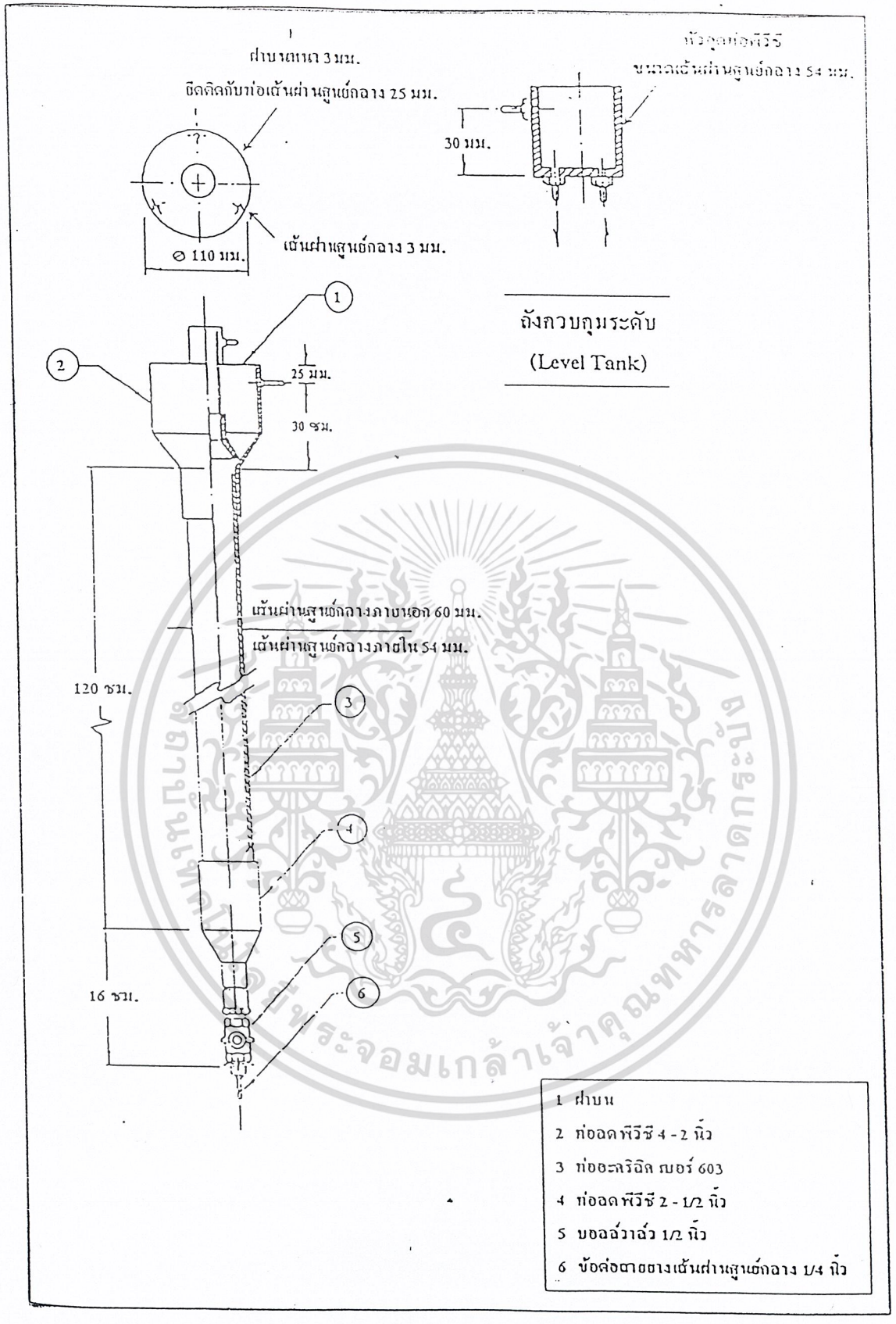
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.2 ผังการไหลและส่วนประกอบถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี

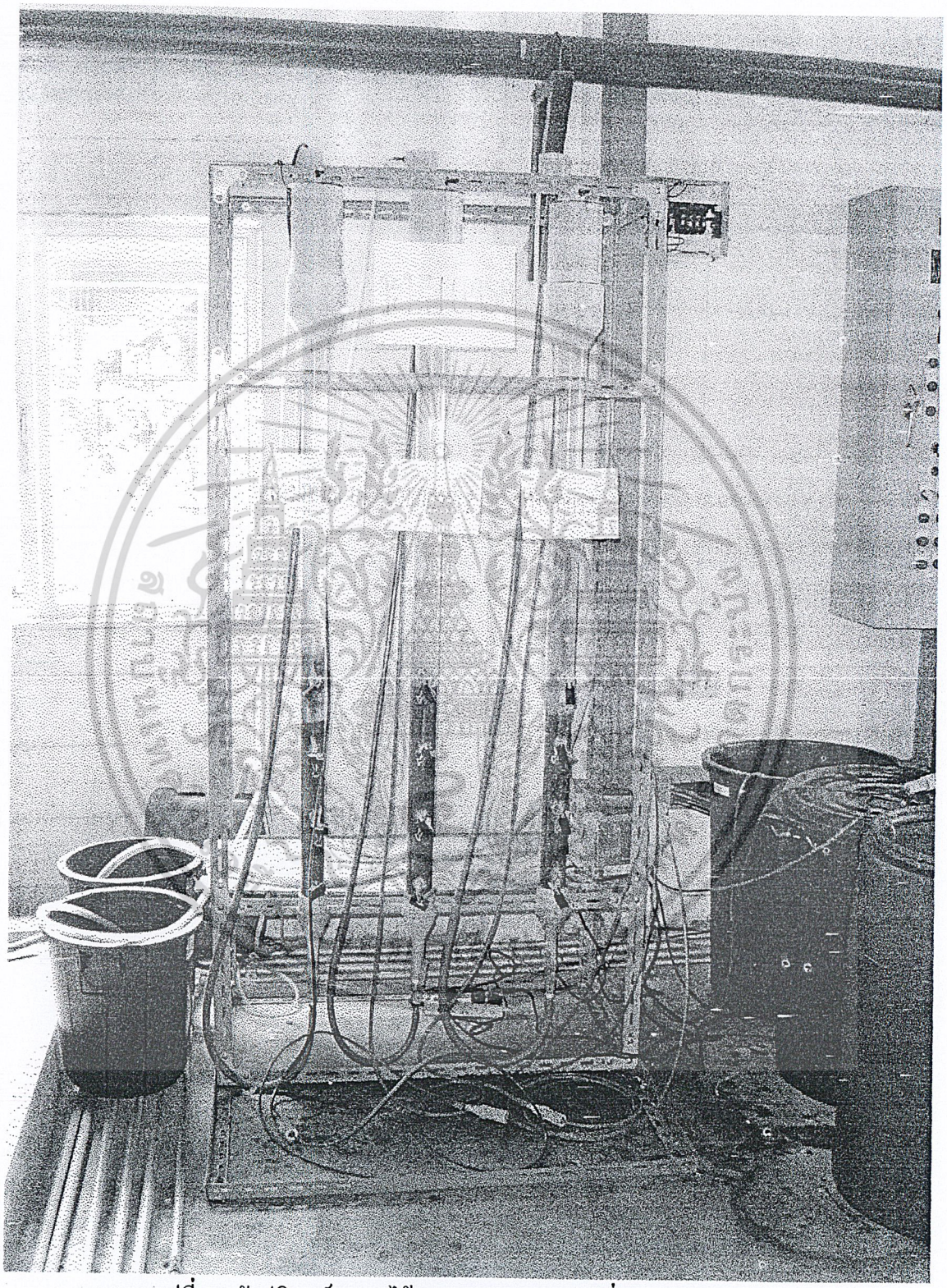
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

49278



รูปที่ 3.3 ถังควบคุมระดับ และถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ถังปฏิกรณ์ระบบไร้อากาศแบบยูเอเอสบีที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบการทำงานของระบบ

1. ผังการไหล

จากรูป 3.1 น้ำเสียจากถังน้ำเข้าถูกส่งไปยังถังควบคุมระดับด้วยเครื่องสูบน้ำ จากนั้นน้ำเสียจากถังควบคุมระดับจะไหลด้วยแรงโน้มถ่วงเข้าถังปฏิกรณ์ทางด้านล่างของถังในถังปฏิกรณ์น้ำเสียจะไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนและออกจากถังปฏิกรณ์ลงสู่ถังน้ำออก

2. วิธีปรับตั้งอัตราสูบ

ก่อนการเดินระบบต้องมีการปรับเทียบอัตราสูบจริงของเครื่องสูบน้ำ โดยใช้ภาชนะที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน ได้แก่ กระบอกตวงรองน้ำที่ไหลจากเครื่องสูบน้ำแล้วจับเวลาทำซ้ำหลายๆครั้งแล้วคำนวณหาอัตราสูบที่แท้จริงของเครื่องสูบน้ำได้ จากการปรับตั้งอัตราสูบของเครื่องสูบน้ำ 3 เครื่อง ได้ทำการปรับตั้งอัตราสูบน้ำที่ต่ำที่สุดทั้ง 3 เครื่อง คือที่อัตรา 0.5 ลิตรต่อชั่วโมง มีเวลากักพักชลศาสตร์ (HRT)เท่ากับ 9.72 ชั่วโมง (ดังภาคผนวก ข)

3. การเริ่มต้นเดินระบบ

การเริ่มต้นเดินระบบของการศึกษาครั้งนี้เริ่มจากนำเชื้อจุลินทรีย์มาจากถังปฏิกรณ์แบบยูเอ-เอสบีของโรงงานเบียร์ โดยขั้นแรกนำเชื้อจุลินทรีย์มาใส่ลงในถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง (ดังรูป 3.4) แต่ละถังปฏิกรณ์ใช้เชื้อจุลินทรีย์ 1.15 ลิตร และเริ่มเติมอาหารสังเคราะห์โดยการสูบอาหารสังเคราะห์ด้วยเครื่องสูบน้ำมีอัตราไหลเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อชั่วโมงของแต่ละเครื่อง ใช้เวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) เท่ากับ 9.72 ชั่วโมงเป็นเวลา 3 สัปดาห์ เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์มีความแข็งแรง อาหารสังเคราะห์ที่ใช้มีค่าซีโอดีประมาณ 2000-2500 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

ในอาหารสังเคราะห์ 1 ลิตรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ [Wiegant และคณะ 1985]

- ซูโครส	1.78	กรัม
- NH_4Cl	170	มิลลิกรัม
- NaH_2PO_4	37	มิลลิกรัม
- $MgCl_2 .4H_2O$	9	มิลลิกรัม
- KCl	25	มิลลิกรัม
- Na_2SO_4	70	มิลลิกรัม
- $NaHCO_3$	5	กรัม
- Yeast extract	0.1	กรัม
- Trace element	1	มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Trace element เป็นสารละลาย ซึ่งใน 1 ลิตรของ Trace element จะประกอบไปด้วย

- $FeCl_2.H_2O$	2	กรัม
- $ZnCl_2$	50	มิลลิกรัม
- $MnCl_2.4H_20$	500	มิลลิกรัม
- $CuSO_4$	30	มิลลิกรัม

3.4 การทดลองบำบัดน้ำเสีย

นำน้ำเสียจากบ่อน้ำทิ้งของโรงบำบัดน้ำเสียคณะวิทยาศาสตร์ที่มีค่าซีโอดีประมาณ 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร มาผสมกับอาหารสังเคราะห์ โดยใช้น้ำเสียจากบ่อน้ำทิ้ง 5% ,10% , 20% , 40% , 60% และ 100% โดยทำการทดลองตามลำดับดังต่อไปนี้

1. การทดลองครั้งที่ 1

- ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ใช้เป็นถังปฏิกรณ์ควบคุมโดยไม่มีการเติมน้ำเสีย
- ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ใช้น้ำเสีย 5% และอาหารสังเคราะห์ 95%
- ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ใช้น้ำเสีย 10% และอาหารสังเคราะห์ 90%

ในการทดลองเตรียมน้ำเสียของแต่ละถังปฏิกรณ์ 60 ลิตรสูบเข้าถังปฏิกรณ์ที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อชั่วโมง เวลากักพักทางชลศาสตร์ (HRT)เท่ากับ 9.72 ชั่วโมง ทำการสูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์เป็นเวลา 5 วัน เก็บตัวอย่างน้ำเข้าและน้ำออก มาวัดค่า ซีโอดี พีเอช อุณหภูมิ (ดังภาคผนวก ค)

2. การทดลองครั้งที่ 2

- ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ใช้เป็นถังปฏิกรณ์ควบคุมโดยไม่มีการเติมน้ำเสีย
- ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ใช้น้ำเสีย 20% และอาหารสังเคราะห์ 80%
- ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ใช้น้ำเสีย 40% และอาหารสังเคราะห์ 60%

ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับการทดลองครั้งที่ 1

3. การทดลองครั้งที่ 3

- ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ใช้เป็นถังปฏิกรณ์ควบคุมโดยไม่มีการเติมน้ำเสีย
- ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ใช้น้ำเสีย 60% และอาหารสังเคราะห์ 40%
- ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ใช้น้ำเสีย 100% ไม่เติมอาหารสังเคราะห์

ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับการทดลองครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองคือ น้ำเสียจากบ่อน้ำทิ้งของโรงบำบัดน้ำเสียคณะวิทยาศาสตร์โดยตักน้ำเก็บไว้ใช้ในแต่ละครั้งประมาณ 90 ลิตร ทำการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย ผลดังตารางที่ 4.1

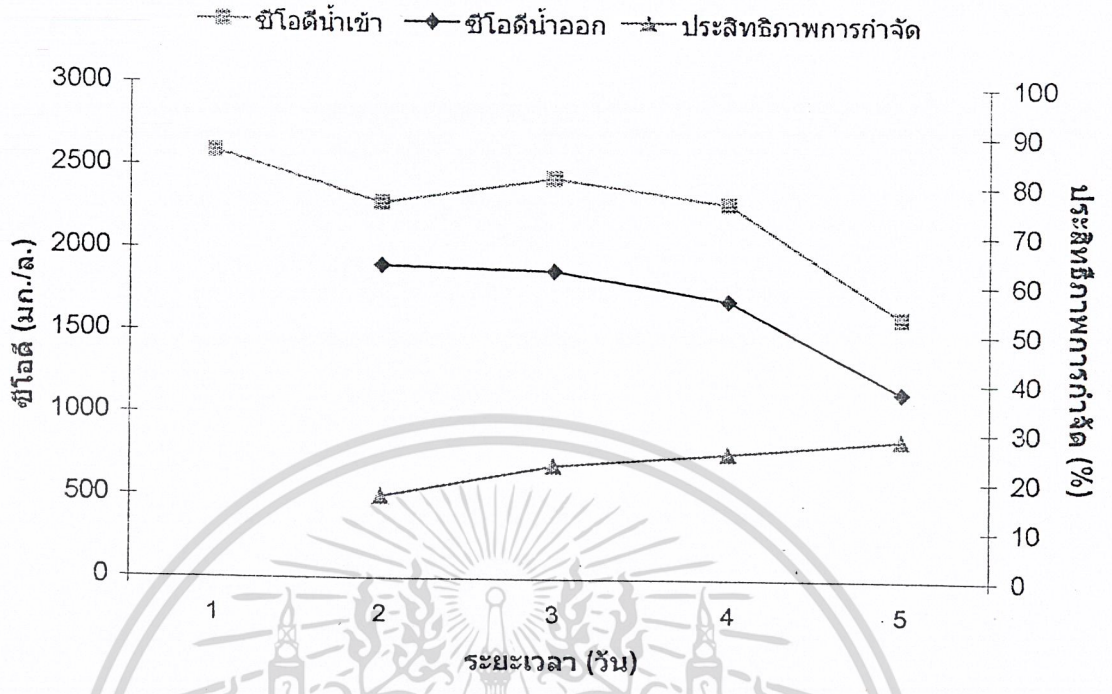
ตารางที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสียจากบ่อน้ำทิ้งของโรงบำบัดน้ำเสียคณะวิทยาศาสตร์

พารามิเตอร์ที่วัด	ค่าที่วัดได้			
	การทดลองครั้งที่1	การทดลองครั้งที่2	การทดลองครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	7.95	7.64	8.25	7.95
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	24.83	24.64	24.79	24.75
ซีโอดี (มก./ล.)	289.06	347.76	349.25	328.69

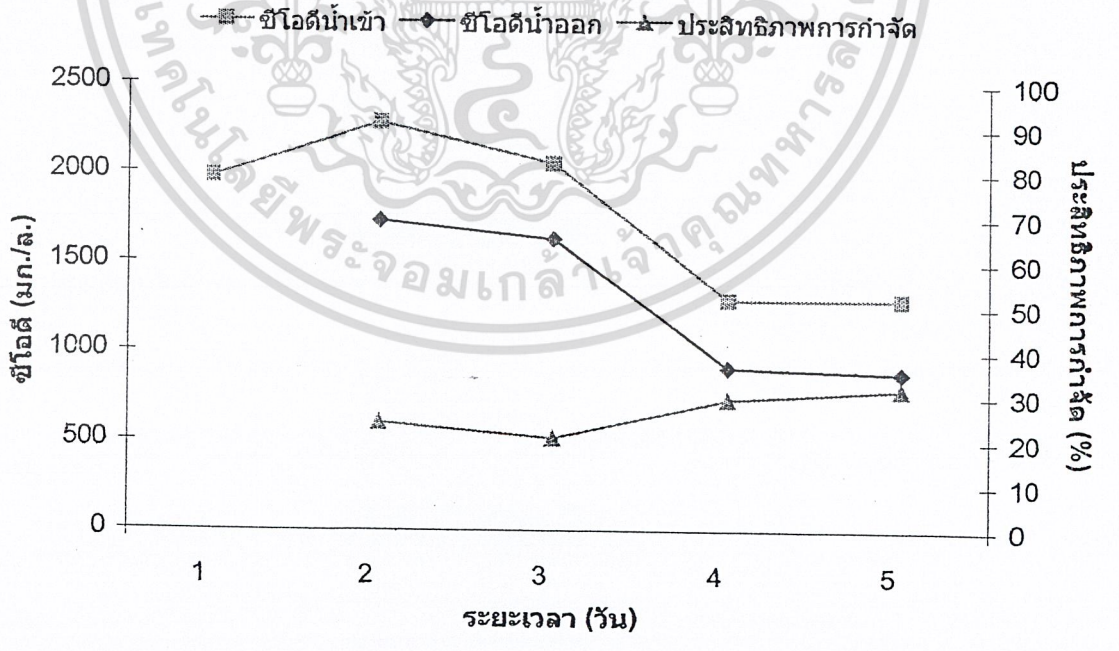
4.2 การบำบัดน้ำเสีย ในอัตราส่วนน้ำเสีย 5 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 และตารางที่ 4.2 พบว่า ค่าซีโอดีของน้ำออกในถังปฏิกรณ์ควบคุม และน้ำออกในถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าลดลงทุกวัน โดยค่าซีโอดีน้ำออกในถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 5 เปอร์เซ็นต์ ลดลงมากกว่า ถังปฏิกรณ์ควบคุม และมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของถังปฏิกรณ์ควบคุมเท่ากับ 23.49 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ ถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 5 เปอร์เซ็นต์ จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี สูงกว่า คือเท่ากับ 26.44 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า จุลินทรีย์ในระบบยังสามารถทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์ควบคุม



รูปที่ 4.2 แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

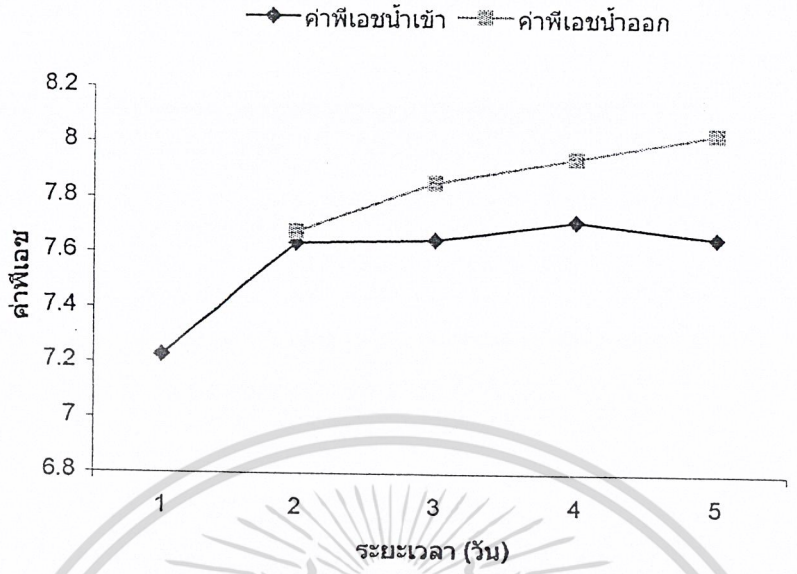
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ควบคุมและน้ำเสียที่ 5 เปอร์เซ็นต์

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้					
	ถังปฏิกรณ์ควบคุม			ถังปฏิกรณ์อัตราส่วนน้ำเสียที่ 5 %		
	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ
พีเอช	7.23-7.72 (7.58)	7.68-8.04 (7.88)	-	7.43-7.68 (7.51)	7.85-8.36 (8.11)	-
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	23.50-24.85 (24.18)	23.75-24.95 (24.35)	-	24.35-24.62 (24.49)	23.87-24.64 (24.26)	-
ซีโอดี (มก./ล.)	1599.36-2589.44 (2239.10)	1142.45-1904.64 (1654.96)	16.64-28.57 (23.49)	1294.72-2284.84 (1782.14)	884.72-1734.59 (1291.39)	20.61-31.66 (26.44)

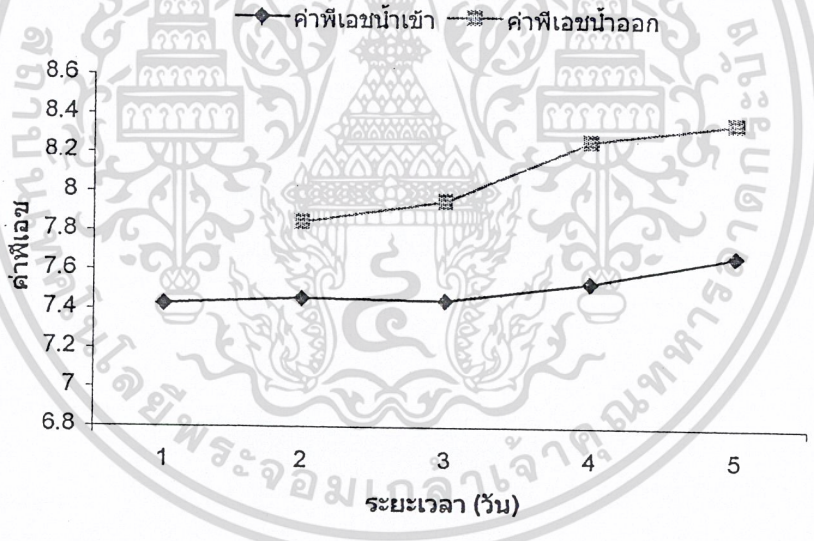
หมายเหตุ ค่าที่แสดงในวงเล็บ ( ) เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละวัน

สำหรับค่าพีเอชน้ำเข้าของถังปฏิกรณ์ควบคุม มีค่าอยู่ระหว่าง 7.23 ถึง 7.72 เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์ควบคุมแล้ว ค่าพีเอชน้ำออกของถังปฏิกรณ์ควบคุม มีค่าอยู่ระหว่าง 7.68 ถึง 8.04 พีเอชมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ในทำนองเดียวกันสำหรับค่าพีเอชน้ำเข้าของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 7.43 ถึง 7.68 เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วค่าพีเอชน้ำออกของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 7.85 ถึง 8.36 พีเอชมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการย่อยสลายสารอาหารไนโตรเจนในน้ำเสียอยู่ในรูปแอมโมเนียไอออน ทำให้พีเอชหลังการบำบัดมีค่าสูงขึ้น และอุณหภูมิน้ำเสียเข้าและออกมีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ควบคุม



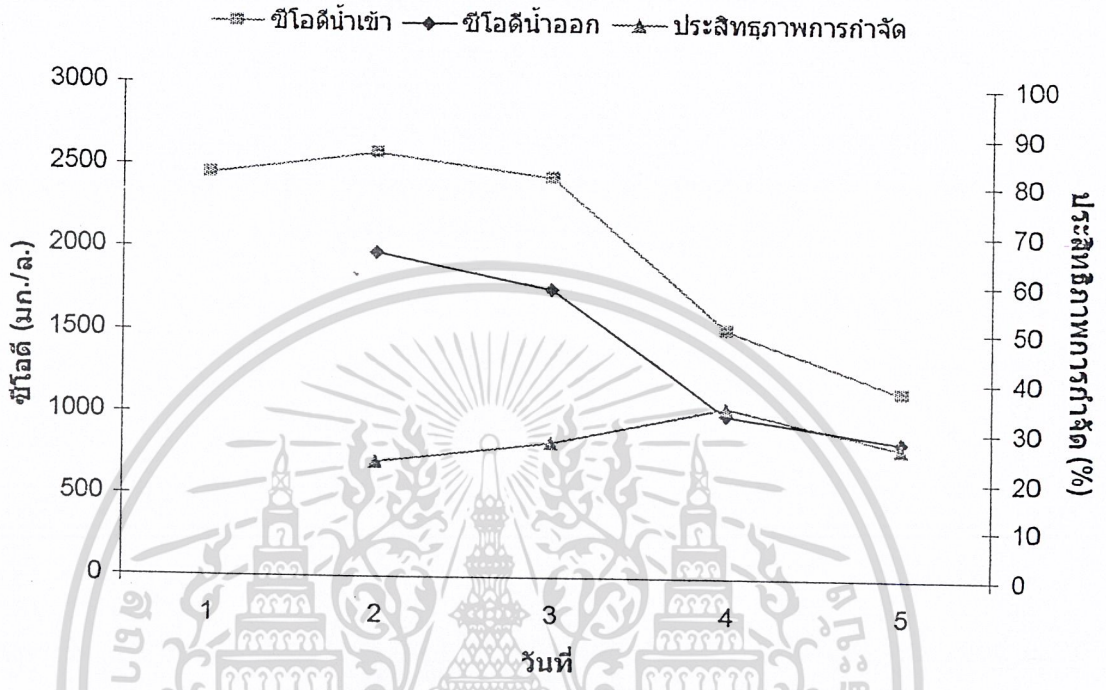
รูปที่ 4.4 ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ที่อัตราน้ำเสีย 5 เปอร์เซ็นต์

4.3 การบำบัดน้ำเสีย ในอัตราส่วนน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 และ 4.5 และตารางที่ 4.3 พบว่า ค่าซีโอดีของน้ำออกในถังปฏิกรณ์ควบคุม และน้ำออกในถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าลดลงทุกวัน โดยค่าซีโอดีน้ำออกในถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ ลดลงมากกว่า ถังปฏิกรณ์ควบคุม และมีประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ควบคุมเท่ากับ 23.49 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ ถังปฏิกรณ์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่า คือเท่ากับ 28.21 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า จุลินทรีย์ในระบบยังสามารถทำงานได้



รูปที่ 4.5 แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์

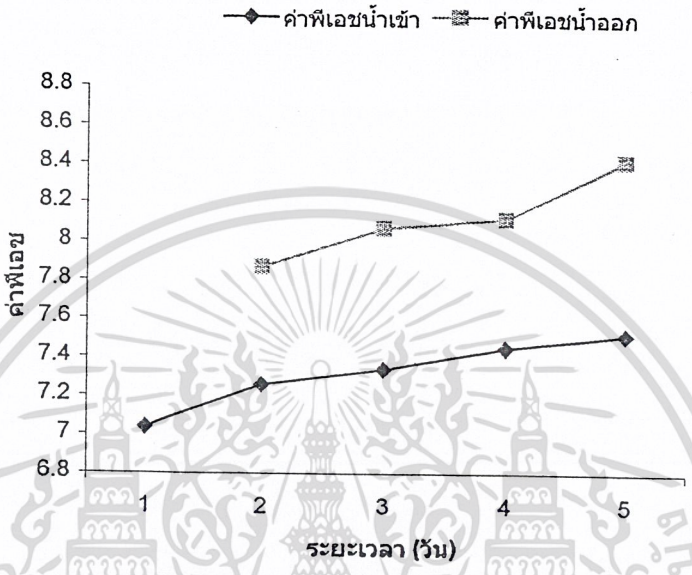
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ควบคุมและน้ำเสียที่ 10 เปอร์เซ็นต์

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้					
	ถังปฏิกรณ์ควบคุม			ถังปฏิกรณ์อัตราส่วนน้ำเสียที่10%		
	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ
พีเอช	7.23-7.72 (7.58)	7.68-8.04 (7.88)	-	7.04-7.52 (7.32)	7.87-8.42 (8.12)	-
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	23.50-24.85 (24.18)	23.75-24.95 (24.35)	-	24.63-24.84 (24.74)	24.89-25.47 (25.18)	-
ซีโอดี (มก./ล.)	1599.36-2589.44 (2239.10)	1142.45-1904.64 (1654.96)	16.64-28.57 (23.49)	1142.42-2589.44 (2029.73)	837.76-1980.16 (1393.33)	23.59-35.00 (28.21)

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในวงเล็บ ( ) เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่าพีเอชน้ำเข้าและน้ำออกของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 7.04 ถึง 7.52 และ 7.87 ถึง 8.42 ตามลำดับ ซึ่งพีเอชของน้ำออกจะมีค่าสูงขึ้นประมาณ 0.8 เช่นเดียวกับในถังปฏิกรณ์น้ำเสียที่ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.6

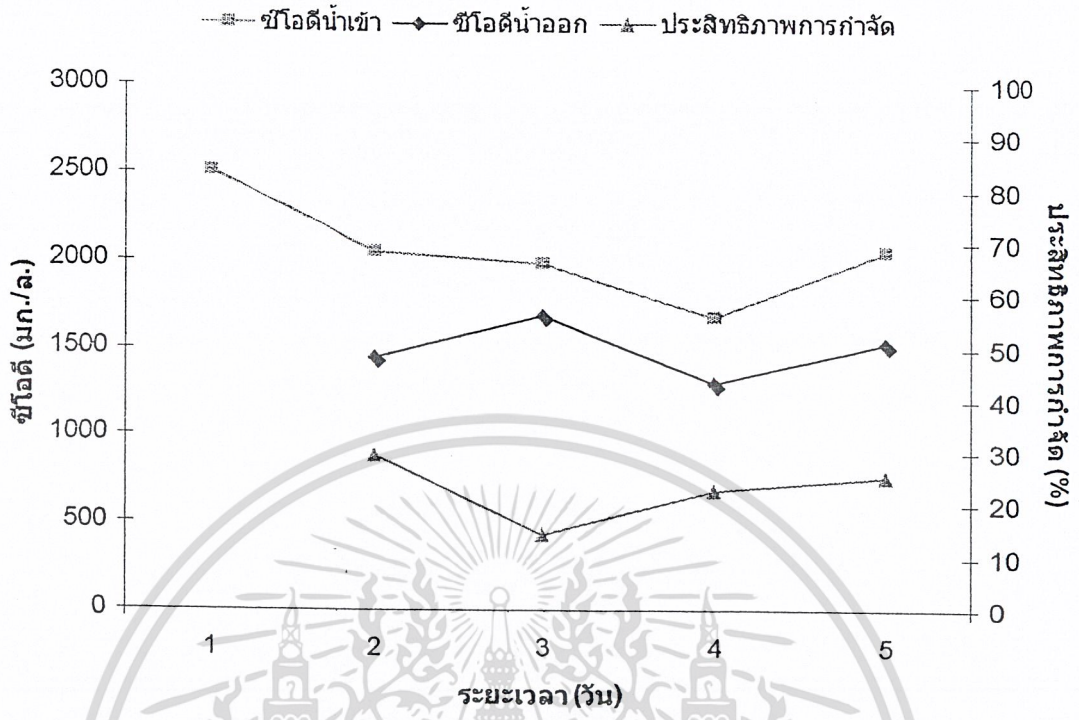


รูปที่ 4.6 ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ที่อัตราน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์

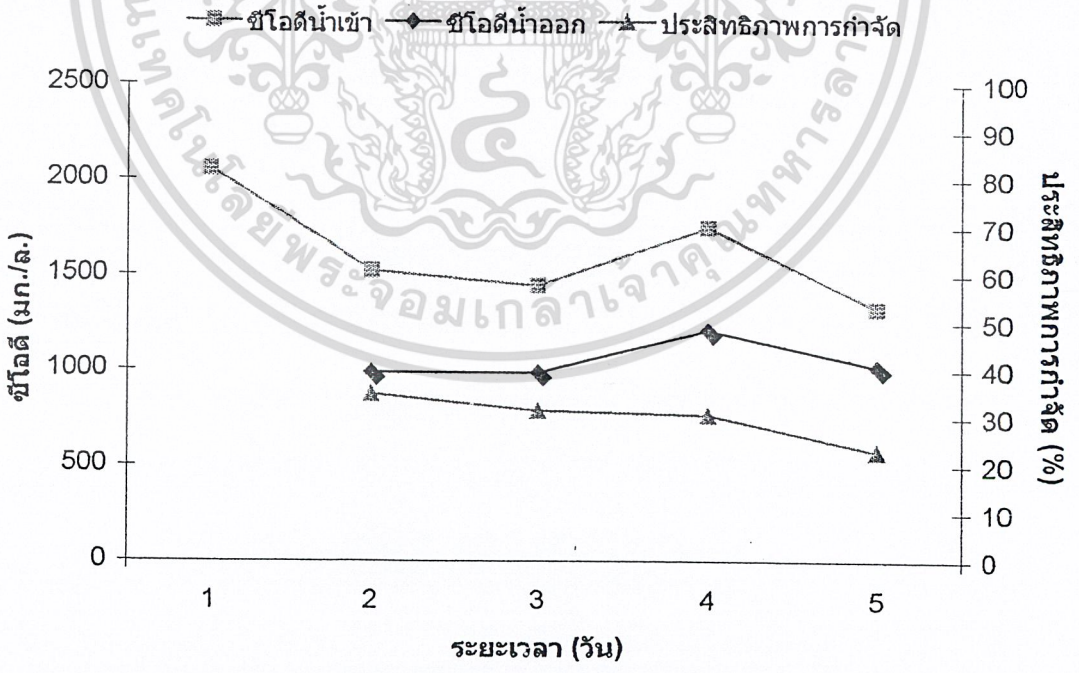
4.4 การบำบัดน้ำเสีย ในอัตราส่วนน้ำเสีย 20 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 และตารางที่ 4.4 พบว่า ค่าซีโอดีของน้ำออกในถังปฏิกรณ์ควบคุม และน้ำออกในถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าลดลงทุกวัน โดยค่าซีโอดีน้ำออกในถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 20 เปอร์เซ็นต์ ลดลงมากกว่า ถังปฏิกรณ์ควบคุม และมีประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ควบคุมเท่ากับ 23.07 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ ถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 20 เปอร์เซ็นต์ จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่า คือเท่ากับ 30.07 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า จุลินทรีย์ในระบบยังสามารถทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์ควบคุม



รูปที่ 4.8 แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 20 เปอร์เซ็นต์

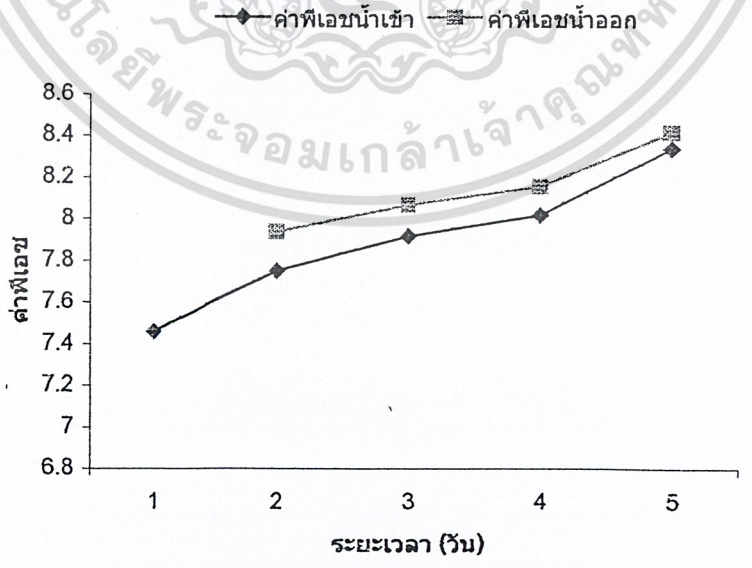
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ควบคุมและน้ำเสียที่ 20 เปอร์เซ็นต์

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้					
	ถังปฏิกรณ์ควบคุม			ถังปฏิกรณ์อัตราส่วนน้ำเสียที่20%		
	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ
พีเอช	7.46-8.34 (7.90)	7.94-8.42 (8.15)	-	7.86-8.35 (8.08)	8.56-8.80 (8.68)	-
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	24.00-25.06 (24.53)	24.65-25.14 (24.90)	-	24.65-24.90 (24.78)	24.75-24.90 (24.83)	-
ซีโอดี (มก./ล.)	1675.52-2513.28 (2036.32)	1294.72-1693.84 (1491.97)	14.45-29.63 (23.07)	1326.30-2056.32 (1620.92)	990.08-1213.81 (1053.92)	22.97-35.0 (30.07)

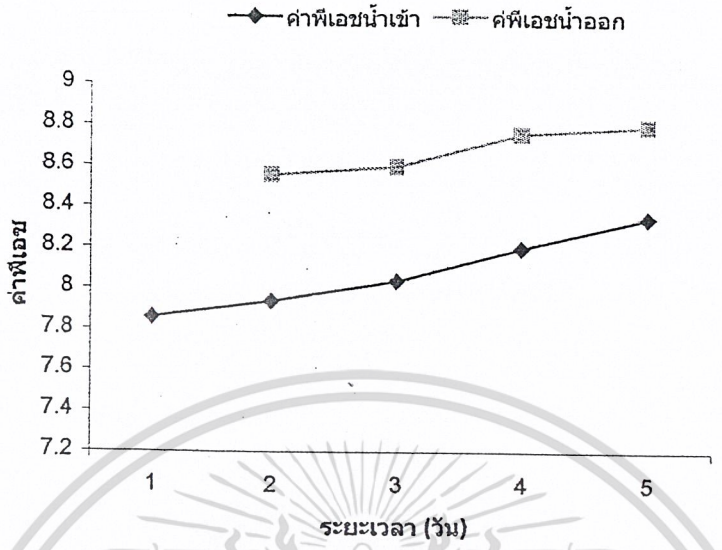
หมายเหตุ ค่าที่แสดงในวงเล็บ ( ) เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละวัน

ผลของค่าพีเอชในการทดลองครั้งที่ 2 พีเอชของน้ำเข้าในถังปฏิกรณ์ควบคุม จะสูงกว่าการทดลองครั้งที่ 1 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.90 และพีเอชน้ำออกเท่ากับ 8.15 ในทำนองเดียวกัน ค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์น้ำเสียที่ 20 เปอร์เซ็นต์ พีเอชน้ำออกจะสูงกว่าน้ำเข้าเล็กน้อย คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.68 และ 8.08 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.9 ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

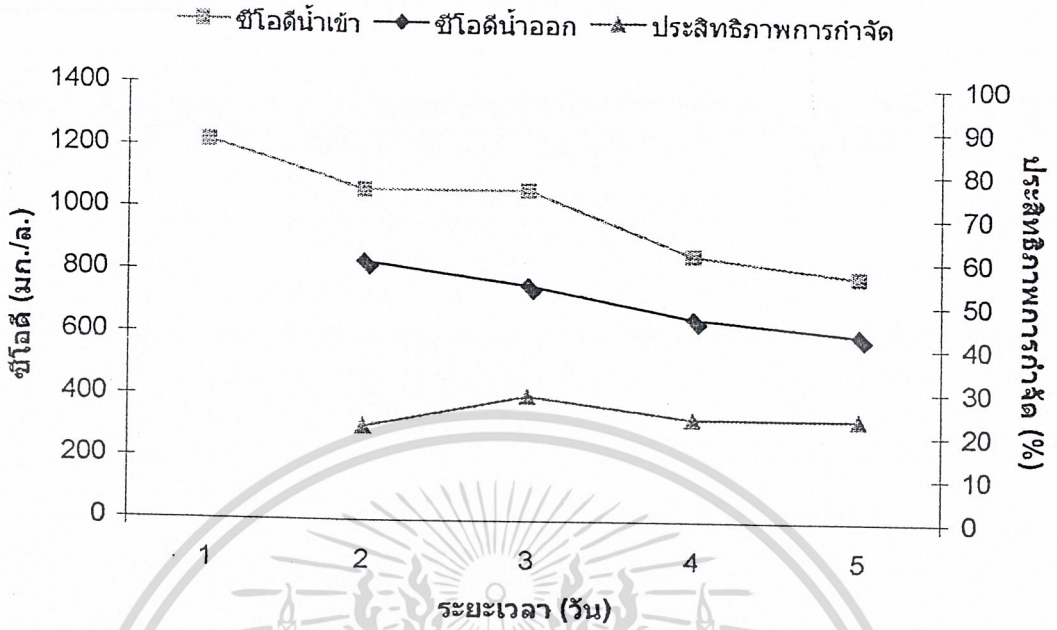


รูปที่ 4.10 ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ที่อัตราน้ำเสีย 20 เปอร์เซ็นต์

4.5 การบำบัดน้ำเสีย ในอัตราส่วนน้ำเสีย 40 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7 และ 4.11 และตารางที่ 4.5 พบว่า ค่าซีโอดีของน้ำออกในถังปฏิกรณ์ควบคุม และน้ำออกในถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าลดลงทุกวัน โดยค่าซีโอดีน้ำออกในถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 40 เปอร์เซ็นต์ ลดลงมากกว่า ถังปฏิกรณ์ควบคุม และมีประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ควบคุมเท่ากับ 23.07 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ ถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 40 เปอร์เซ็นต์ จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่า คือเท่ากับ 24.42 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า จุลินทรีย์ในระบบยังสามารถทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 40 เปอร์เซ็นต์

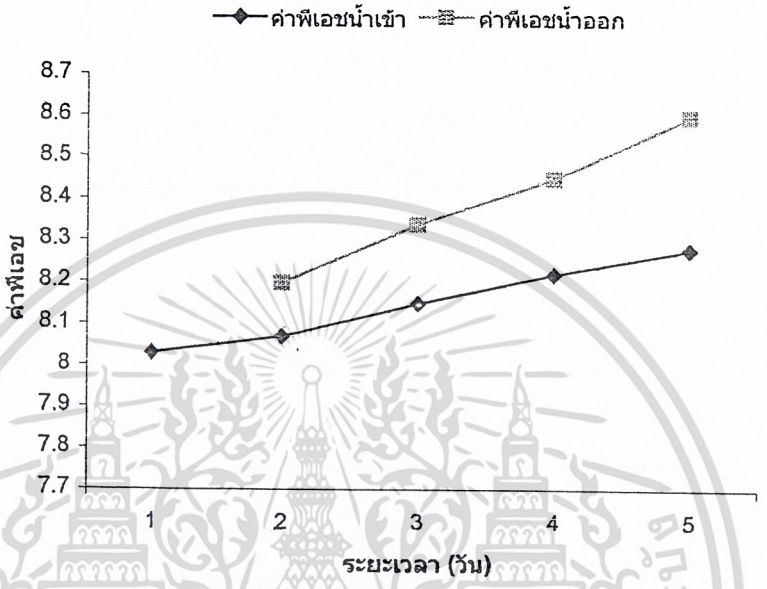
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ควบคุมและน้ำเสียที่ 40 เปอร์เซ็นต์

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้					
	ถังปฏิกรณ์ควบคุม			ถังปฏิกรณ์อัตราส่วนน้ำเสียที่40%		
	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ
พีเอช	7.46-8.34 (7.90)	7.94-8.42 (8.15)	-	8.03-8.28 (8.15)	8.20-8.60 (8.40)	-
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	24.00-25.06 (24.53)	24.65-25.14 (24.90)	-	24.55-24.80 (24.68)	24.95-25.20 (25.08)	-
ซีโอดี (มก./ล.)	1675.52-2513.28 (2036.32)	1294.72-1693.84 (1491.97)	14.45-29.63 (23.07)	789.23-1218.56 (999.29)	602.36-835.32 (712.87)	21.66-28.76 (24.42)

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในวงเล็บ ( ) เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกัน ค่าพีเอชของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์น้ำเสียที่ 40 เปอร์เซ็นต์ สูงขึ้นเล็กน้อย คือมีค่าอยู่ระหว่าง 8.20 ถึง 8.60 ดังรูปที่ 4.12

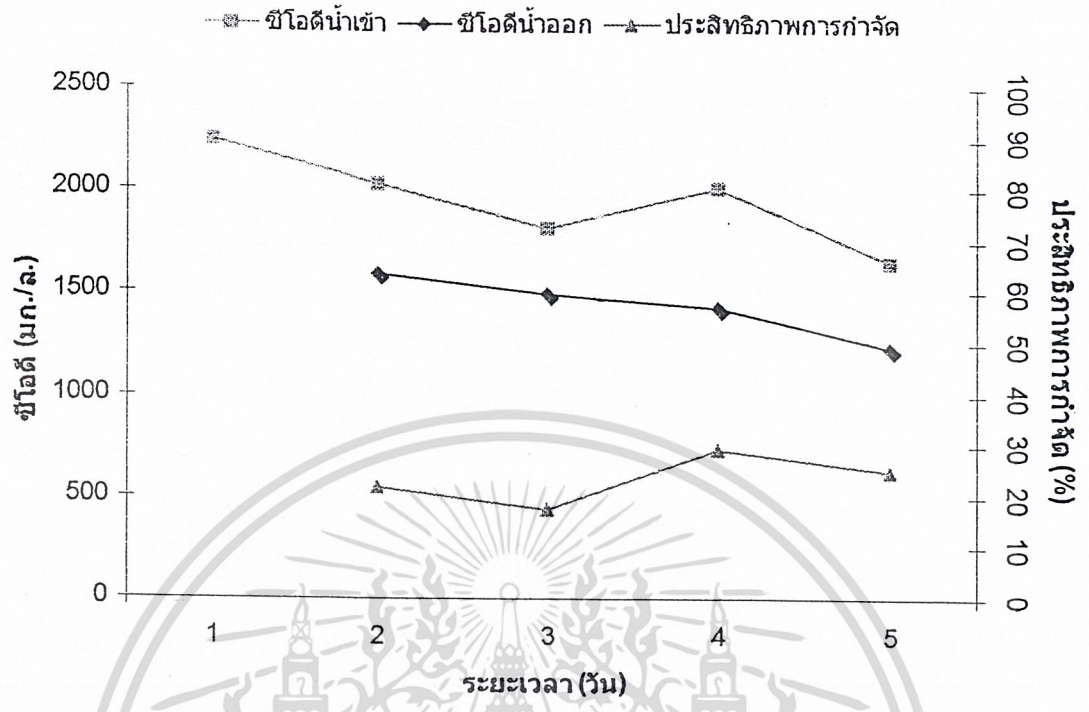


รูปที่ 4.12 ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ที่อัตราน้ำเสีย 40 เปอร์เซ็นต์

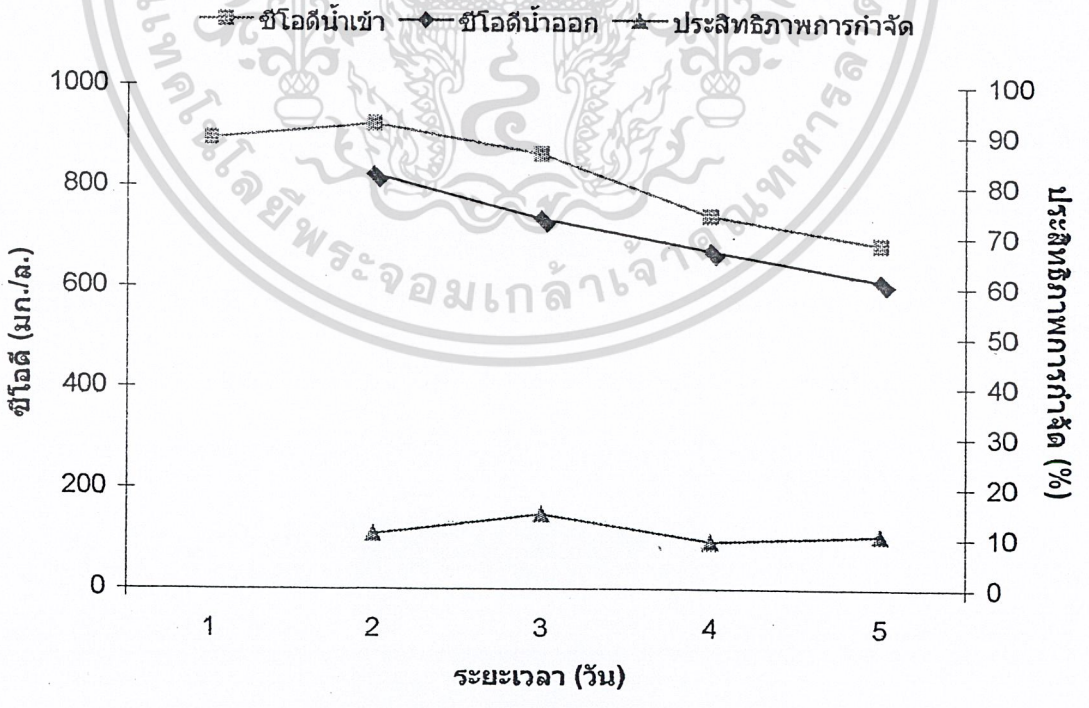
4.6 การบำบัดน้ำเสีย ในอัตราส่วนน้ำเสีย 60 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.13 และ 4.14 และตารางที่ 4.6 พบว่า ค่าซีโอดีของน้ำออกในถังปฏิกรณ์ควบคุม และน้ำออกในถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 60 เปอร์เซ็นต์ มีค่าลดลงทุกวัน โดยค่าซีโอดีน้ำออกในถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 60 เปอร์เซ็นต์ ลดลงน้อยกว่า ถังปฏิกรณ์ควบคุม และมีประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ควบคุมเท่ากับ 23.50เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ ถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 60 เปอร์เซ็นต์ จะมีประสิทธิภาพการกำจัด ต่ำกว่า คือเท่ากับ 11.46 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า จุลินทรีย์ในระบบเริ่มที่จะตายและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์ควบคุม



รูปที่ 4.14 แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 60 เปอร์เซ็นต์

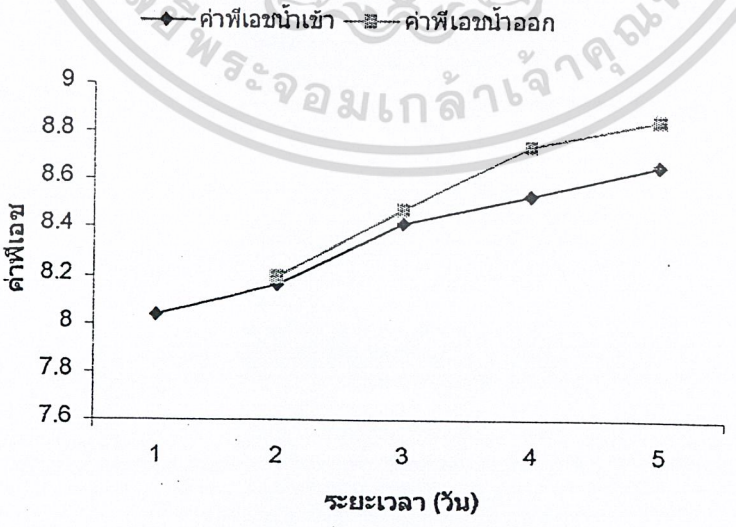
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ควบคุมและน้ำเสียที่ 60 เปอร์เซ็นต์

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้					
	ถังปฏิกรณ์ควบคุม			ถังปฏิกรณ์อัตราส่วนน้ำเสียที่60%		
	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ
พีเอช	8.04-8.66 (8.36)	8.20-8.85 (8.57)	-	8.05-8.36 (8.20)	8.32-8.74 (8.49)	-
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	24.50-25.20 (24.85)	24.80-25.25 (25.03)	-	24.25-24.65 (24.45)	24.55-24.75 (24.65)	-
ซีโอดี (มก./ล.)	1650.22-2250.32 (1954.05)	1234.57-1589.32 (1436.78)	17.67-29.27 (23.50)	685.34-925.35 (822.73)	612.35-824.36 (711.53)	9.4-14.85 (11.46)

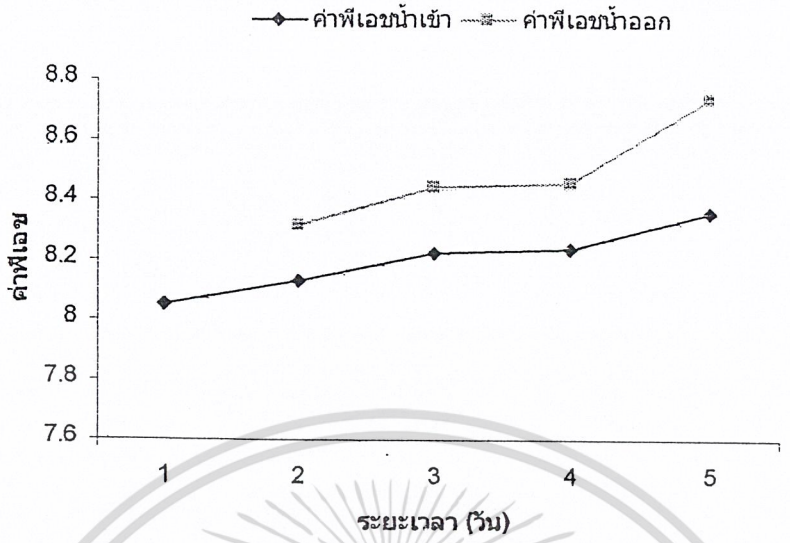
หมายเหตุ ค่าที่แสดงในวงเล็บ ( ) เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละวัน

ในการเตรียมการทดลองครั้งที่ 3 ค่าพีเอชที่ใช้ในน้ำที่ใช้ในถังปฏิกรณ์ควบคุม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.36 และผลค่าพีเอชในน้ำออกจะสูงขึ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.57 และค่าพีเอชในน้ำออกของถังปฏิกรณ์น้ำเสียที่ 60 เปอร์เซ็นต์ สูงขึ้น โดยพีเอชน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.20 และน้ำออกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.49 ดังรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

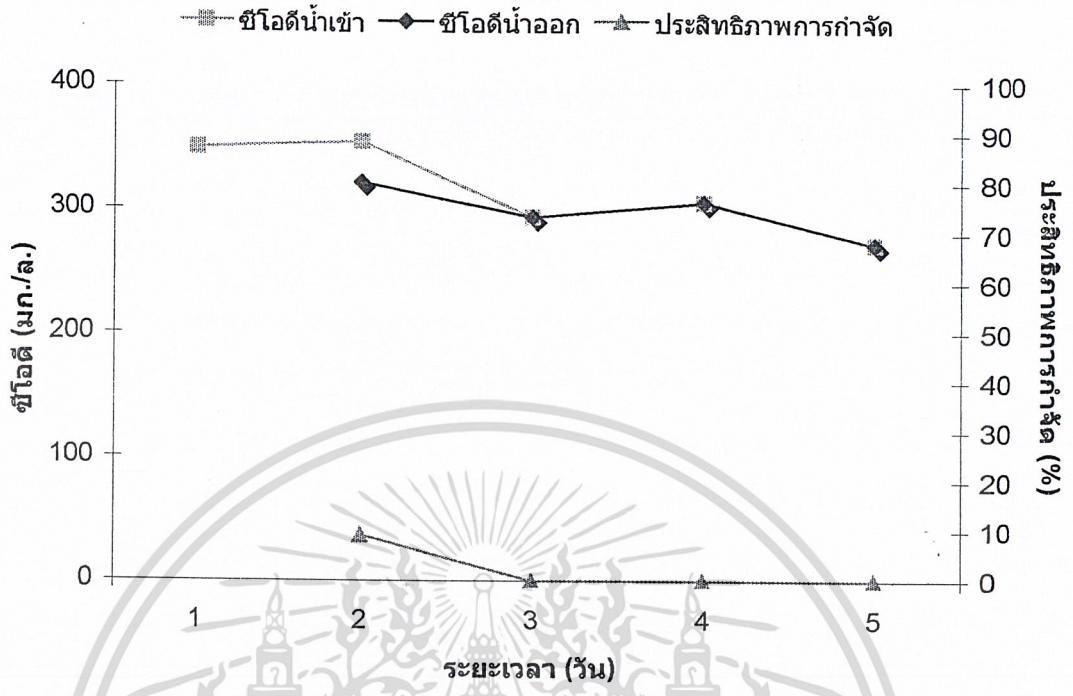


รูปที่ 4.16 ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ที่อัตราน้ำเสีย 60 เปอร์เซ็นต์

4.7 การบำบัดน้ำเสีย ในอัตราส่วนน้ำเสีย 100 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.13 และ 4.17 และตารางที่ 4.7 พบว่า ค่าซีโอดีของน้ำออกในถังปฏิกรณ์ควบคุม และน้ำออกในถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าลดลงทุกวัน โดยค่าซีโอดีน้ำออกในถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย 100 เปอร์เซ็นต์ ลดลงน้อยกว่า ถังปฏิกรณ์ควบคุมและมีประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ควบคุมเท่ากับ 23.50 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ ถังปฏิกรณ์ที่อัตราส่วนน้ำเสีย100 เปอร์เซ็นต์ จะมีประสิทธิภาพการกำจัด ต่ำกว่า คือ เท่ากับ 2.31 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า จุลินทรีย์ในระบบเริ่มที่จะตายและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 100 เปอร์เซ็นต์

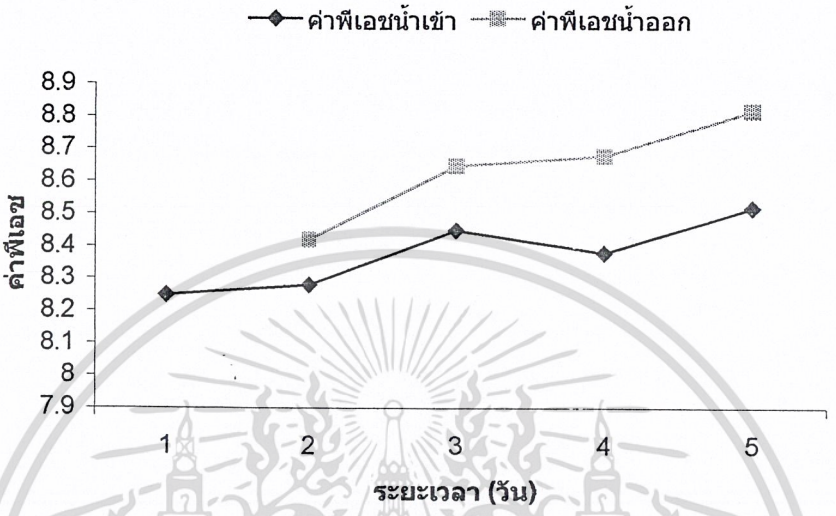
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ควบคุมและน้ำเสียที่ 100 เปอร์เซ็นต์

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้					
	ถังปฏิกรณ์ควบคุม			ถังปฏิกรณ์อัตราส่วนน้ำเสียที่100%		
	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ
พีเอช	8.04-8.66 (8.36)	8.20-8.85 (8.57)	-	8.25-8.52 (8.38)	8.42-8.82 (8.64)	-
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	24.50-25.20 (24.85)	24.80-25.25 (25.03)	-	24.85-25.15 (25.00)	24.90-25.20 (25.05)	-
ซีโอดี (มก./ล.)	1650.22-2250.32 (1954.05)	1234.57-1589.32 (1436.78)	17.67-29.27 (23.50)	271.75-354.29 (314.87)	271.75-321.52 (298.08)	0-9.25 (2.31)

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในวงเล็บ ( ) เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่าพีเอชน้ำเข้าของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 8.25 ถึง 8.52 เมื่อผ่านถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วค่าพีเอชน้ำออกของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 8.42 ถึง 8.82 ซึ่งพีเอชมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ที่อัตราน้ำเสีย 100 เปอร์เซ็นต์

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำเสียกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและผลต่างค่าพีเอช (น้ำออก-น้ำเข้า)

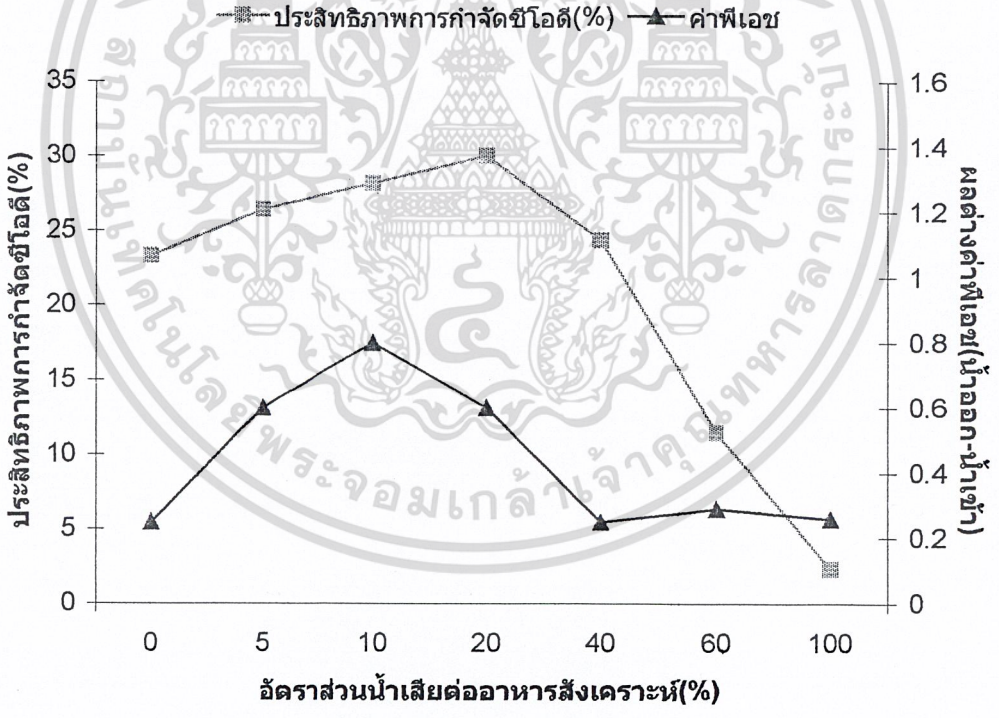
ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.19 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่อัตราส่วนน้ำเสียจากบ่อน้ำทิ้งต่ออาหารสังเคราะห์ที่ 0% , 5% ,10% , 20% , 40% , 60% และ100% มีค่าเท่ากับ 23.35% , 26.44% , 28.21% , 30.07% , 24.42% , 11.46% และ 2.31% ตามลำดับ จะพบว่าที่ 0% , 5% , 10% และ 20% ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีแนวโน้มสูงขึ้น แสดงว่าจุลินทรีย์ในระบบยังสามารถทำงานได้ ส่วนที่ 40% , 60% และ 100% ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ แสดงว่าจุลินทรีย์ในระบบทำงานได้ลดลง อาจมีสาเหตุจากเวลากักพักชลศาสตร์น้อยเกินไป ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ปรับตัวไม่ทันกับสภาพน้ำเสียที่มากขึ้น หรืออาจมีสาเหตุจากน้ำเสียในบ่อน้ำทิ้งมีสารบางชนิดที่ไปรบกวนการทำงานของจุลินทรีย์ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง

ผลต่างค่าพีเอช(น้ำออก-น้ำเข้า) ที่ 0% เท่ากับ 0.25 , ที่ 5% เท่ากับ 0.6 , ที่10% เท่ากับ 0.8 ที่ 20% เท่ากับ 0.6 ,ที่ 40% เท่ากับ 0.25 ,ที่ 60% เท่ากับ 0.29 และที่ 100% เท่ากับ 0.26 จะพบว่าที่ 0% , 5% และ 10% ผลต่างค่าพีเอชมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนที่ 20% , 40% , 60% และ 100% ผลต่างค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและผลต่างค่าพีเอชที่ 0% , 5% , 10% , 20% , 40% , 60% และ 100%

ค่าที่วัด	อัตราส่วนน้ำเสียจากบ่อน้ำทิ้งต่ออาหารสังเคราะห์						
	0%	5%	10%	20%	40%	60%	100%
ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี(%)	23.35	26.44	28.21	30.07	24.42	11.46	2.31
ผลต่างค่าพีเอช (น้ำออก-น้ำเข้า)	0.25	0.6	0.8	0.6	0.25	0.29	0.26



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำเสียกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและผลต่างค่า พีเอช (น้ำออก-น้ำเข้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ทำการสร้างชุดถังปฏิกรณ์ขนาดโต๊ะทดลอง 3 ชุด ที่มีความจุ 4.86 ลิตร
2. นำมาทดสอบการบำบัดน้ำเสียกับอาหารสังเคราะห์ได้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในอาหารสังเคราะห์เท่ากับ 23.35 เปอร์เซ็นต์
3. ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของปริมาณน้ำเสียจากบ่อน้ำทิ้ง แสดงว่าจุลินทรีย์ในระบบทำงานได้ลดลงอาจมีสาเหตุจากเวลากักพักชลศาสตร์น้อยเกินไปทำให้เชื้อจุลินทรีย์ปรับตัวไม่ทันกับสภาพน้ำเสียที่มากขึ้น หรืออาจมีสาเหตุจากน้ำเสียในบ่อน้ำทิ้งมีสารบางชนิดที่ไปรบกวนการทำงานของจุลินทรีย์ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง
4. ผลต่างค่าพีเอช(น้ำออก-น้ำเข้า) ที่ 0% เท่ากับ 0.25 , ที่ 5% เท่ากับ 0.6 , ที่10% เท่ากับ 0.8 ที่ 20% เท่ากับ 0.6 ,ที่ 40% เท่ากับ 0.25 ,ที่ 60% เท่ากับ 0.29 และที่ 100% เท่ากับ 0.26
5. อุณหภูมิโดยเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกัน ในช่วง 23 ถึง 25 องศาเซลเซียส

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาปริมาณของจุลินทรีย์ที่ใช้ในถังปฏิกรณ์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำเสีย
2. ควรศึกษาระยะเวลากักพักชลศาสตร์ โดยเฉพาะที่เวลากักพักยาวนานขึ้น
3. ควรศึกษาความเป็นไปได้ ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารพอลิเมอร์เจือปน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2535 . **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 2** . พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพ: มิตรนราการ พิมพ์.

สมชาย ดารารัตน์. 2536 .**เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบ UASB** .วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับที่ 1 .

Amatya, P.L., 1996, **Anaerobic Treatment of Tapioca Starth Industry Wastewater by bench scale Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor**, Master of Engineering Thesis, Civil Engineering Program , Asian Institute of Technology.

Lettinga , G., van Velsen , A.F.M., Hobma , S.W., de Zeeuw , W. and Klapwijk , A., . 1998 . Use of Upflow Sludge Blanket (USB) Reactor Concept for Biological Wastewater Treatment Especially for Anaerobic Treatment . **Biotechnology & Bioengineering** . Vol. XXII . No.4 . 699-734.

McCarty, P.L., 1964 , "Anaerobic Wast Treatment Fundamentals : Part One," **Public Works**, Vol.95,pp.107-112

Wiegant W.M., and G.Lettinga., . 1985 . Hemophilic Anaerobic Digestion of Sugars in Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor . **Biotechnology & Bioengineering** . No 27 . 1603-1607.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์ซีโอดีด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed Reflux, Titrimetric Method)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดย่อยสลาย (Digestion vessels) ใช้แก้วที่ทำด้วยบอโรซิลิเคต(Borosilicate culture tubes) ขนาดมาตรฐาน 10 มิลลิลิตร ที่มีฝาเกลียวชนิดที่เอฟอี (Tetrafluoroethylene; TFE)
2. ฮีทติ้งบล็อค (Heating Block) กล่องอลูมิเนียมตัน ลึก 45-50 มิลลิลิตรมีรูพรุนขนาดพอดีกับหลอดแก้ว

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย (Standard potassium digestion) 0.1 นอร์มัล
   - นำ $K_2Cr_2O_7$ อบแห้งใน 130 ^{0}C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก $K_2Cr_2O_7$ มา 4.913 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และเติมปรอทซัลเฟต 33.3 กรัม ทิ้งให้ละลายและปล่อยให้เย็นจึงเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1,000 มิลลิลตร
2. สารละลายกรดซัลฟูริก
   - ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 22 กรัมลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้นซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม(2.5 ลิตร) ทิ้งไว้ 1-2 วัน ซิลเวอร์ซัลเฟตจึงจะละลาย
3. สารละลายเฟอร์โรอีน อินดิเคเตอร์
   - ละลาย 1, 10-phenan throline monohydrae $C_{12}H_{18}N_2.H_2O$ 1.485 กรัม และไอร์ออน (II) ซัลเฟตเอปตาไฮเดรต($FeSO_4.7H_2O$) 0.695 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้เป็น 100 มิลลิลตร
4. สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.05 นอร์มัล
   - ละลายไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต Fe(NH4)2(SO4).6H2O ชนิด เอ.อาร์ (Analytical grade crystal) ประมาณ 19.6 กรัม ในน้ำกลั่นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทำให้เย็นแล้วเจือจาง 1000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต้องนำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอนทุกครั้ง กับสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมไดโครเมต ก่อนใช้โดยเติมสารเคมีทุกชนิดตามตาราง ลงในหลอดแก้วขนาดที่ต้องการโดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ ทิ้งให้เย็นลงแล้วเติมเฟอโรอินดิเคเตอร์ 1-2 แล้วไทเทรตด้วยสารละลาย FAS จุดยุติจะเปลี่ยนจากเหลืองเป็นน้ำตาลแดง

5. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต
   - ชั่ง KHP จำนวน 425 มิลลิกรัม ที่บดแห้งและอบที่อุณหภูมิ 103 ^{0}C ในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้มีซีโอดีเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (ปกติเก็บไว้ในตู้เย็นได้นาน 3 เดือน)

ตาราง ก.1 แสดงปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่างๆ

หลอดย่อยสลาย	ปริมาตรน้ำ (มล.)	ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย (มล.)	สารละลายกรดซัลฟิวริก (มล.)	ปริมาตรรวม (มล.)
หลอดแก้ว				
16 x 100 มม.	2.5	1.5	3.5	7.5
20 x 150 มม.	5.0	3.0	7.0	15.0
25 x 150 มม.	10.0	6.0	14.0	30.0
หลอดมาตรฐาน 10 มิลลิลิตร	2.5	1.5	3.5	7.5

การทดลอง

1. ล้างหลอดแก้วและฝาด้วยกรดซัลฟูริก 20% ก่อนใช้ทุกครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อน

2. หลอดแก้วที่ใช้หาค่าซีโอดีมีหลายขนาด การเลือกใช้ขึ้นกับค่าซีโอดีที่มีในตัวอย่างน้ำ ในกรณีที่ค่าซีโอดีต่ำๆ(< 50มก./ล) ให้ใช้หลอดแก้วขนาด 25*150 มม. ถ้าค่าซีโอดีสูงใช้ตัวอย่างน้ำปริมาณน้อยจึงใช้หลอดแก้วขนาดเล็ก (16*100 มม.) โดยปกติจะใช้หลอดมาตรฐานที่มีความจุสูงสุด 10 มิลลิลิตร (หรือขนาด 16*100 มม.) เพราะใช้สารเคมีน้อยที่สุด ดังนั้นตัวอย่างน้ำที่มีค่าซีโอดีต่ำมากๆ ค่ามักจะผิดพลาดเนื่องจากตัวอย่างน้ำน้อยเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อเลือกขนาดหลอดแก้วได้แล้วให้ใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำ และสารเคมีตามตาราง ก.1 โดยเติมตัวอย่างน้ำลงในหลอดแกล้วแล้วเติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลายแล้วค่อยๆ เติมสารละลายกรดซัลฟูริกให้เกิดชั้นกรดอยู่ที่ก้นแก้ว ปิดฝาให้แน่นพอดี แล้วกลับไปมาเพื่อให้สารละลายผสมกันดี

ข้อควรระวัง ควรสวมถุงมือเพื่อป้องกันความร้อนขณะกลับหลอดแก้วไปมา และควรผสมสารละลายให้เข้ากันก่อนให้ความร้อนเพื่อป้องกันการระเบิด

4. นำหลอดแก้วใส่ลงในฮีทติ้งบล็อคหรือตู้อบที่ 150 องศาเซลเซียส แล้วต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำหลอดแก้ววางลงในขาตั้ง

5. เปิดฝาหลอดแก้วแล้วใส่แท่งแม่เหล็กกวนขนาดเล็กๆที่หุ้ม TFE แล้วเติมเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด คนอย่างเร็วบนเครื่องกวนแม่เหล็กแล้วไทเทรตกับ FAS 0.05 นอร์มัลจนกระทั่งสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง หรือเทสารละลายจากหลอดแก้วลงขวดรูปกรวยก็ได้เพื่อความสะดวกในการไทเทรต แต่ต้องใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด

6. ทำแบลงค์ด้วยทุกครั้ง โดยใช้สารเคมีและน้ำกลั่นปริมาตรเท่ากับตัวอย่างน้ำ

การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี } (\text{มก.}O_2/\text{ล}) = \frac{(A-B) * N * 8000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ(มล.)}}$$

เมื่อ A = ปริมาณของ FASที่ใช้ไทเทรตแบลงค์(มล.)

B = ปริมาณของ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างน้ำ(มล.)

N = ความเข้มข้นของ FAS (นอร์มัล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **พีเอช (pH)**

วิธีการหาค่าพีเอชโดยใช้เครื่อง

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. มาตรพีเอช
2. บีกเกอร์

วิธีการวัด

หลักการหาค่าพีเอชด้วยมาตรพีเอช โดยทั่วไป

1. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างแท่งอิเล็คโทรดให้สะอาด ใช้กระดาษทิชชูชนิดเนื้อละเอียดซับน้ำให้แห้ง
2. ปรับเครื่องมือให้ได้ค่ามาตรฐานตามคำแนะนำในคู่มือของเครื่องมือนั้นๆ โดยจุ่มอิเล็คโทรดลงในสารละลายมาตรฐานที่มีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าของน้ำทิ้งตัวอย่างที่จะวัด
3. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างอิเล็คโทรดอีกครั้ง ซับน้ำให้แห้ง
4. วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำ (ตัวอย่างน้ำที่จะนำมาหาค่าต้องมีอุณหภูมิใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิของสารละลายมาตรฐานข้อ 2)

3. **อุณหภูมิ** ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

1. องค์ประกอบของอาหารสังเคราะห์

ในอาหารสังเคราะห์ 1 ลิตรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ [Wiegant และคณะ 1985]

- ซูโครส	1.78	กรัม
- NH_4Cl	170	มิลลิกรัม
- NaH_2PO_4	37	มิลลิกรัม
- $MgCl .4H_2O$	9	มิลลิกรัม
- KCl	25	มิลลิกรัม
- Na_2SO_4	70	มิลลิกรัม
- $NaHCO_3$	5	กรัม
- Yeast extract	0.1	กรัม
- Trace element	1	มิลลิลิตร

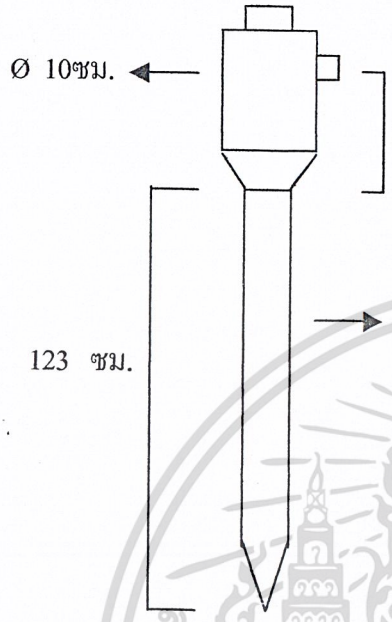
โดยที่ Trace element เป็นสารละลาย ใน 1 ลิตรของ Trace element จะประกอบไปด้วย

- $FeCl_2 .H_2O$	2	กรัม
- $ZnCl_2$	50	มิลลิกรัม
- $MnCl_2 .4H_20$	500	มิลลิกรัม
- $CuSO_4$	30	มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การคำนวณความจุของถังปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง มีความจุดังนี้



ความจุถังปฏิกรณ์ $= \frac{\pi D^2 h}{4}$

$= \frac{\pi(5.4)^2 x123}{4} + \frac{\pi(10)^2 x26}{4}$

$=$ 4859.01 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ดังนั้นความจุของถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถังเท่ากับ 4.86 ลิตร

3. วิธีการคำนวณเวลากักพักชลศาสตร์ (HRT)

ถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง มีความจุ 4.86 ลิตร และอัตราการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำทั้ง 3 เครื่องมีอัตราการสูบน้ำเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อชั่วโมง

วิธีคำนวณ

เวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) $=$ ความจุของถังปฏิกรณ์ / อัตราการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำ

$=$ 4.86 ลิตร / 0.5 ลิตร/ชั่วโมง

$=$ 9.72 ชั่วโมง

ดังนั้นเวลากักพักชลศาสตร์(HRT) มีค่าเท่ากับ 9.72 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองที่ 1 (ถังปฏิกรณ์ควบคุม)

วันที่	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ซีโอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (เปอร์เซ็นต์, %)
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
3 ก.พ. 46	7.23	-	23.50	-	2589.44	-	-
4 ก.พ. 46	7.64	7.68	23.80	23.75	2284.85	1904.64	16.64
5 ก.พ. 46	7.65	7.86	24.65	24.60	2437.12	1875.14	23.06
6 ก.พ. 46	7.72	7.95	24.75	24.80	2284.84	1698.44	25.66
7 ก.พ. 46	7.66	8.04	24.85	24.95	1599.36	1142.45	28.57

ตารางที่ ค.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองที่ 1 (ถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 5 เปอร์เซ็นต์)

วันที่	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ซีโอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (เปอร์เซ็นต์, %)
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
3 ก.พ. 46	7.43	-	24.35	-	1980.16	-	-
4 ก.พ. 46	7.46	7.85	24.45	24.58	2284.84	1734.59	24.08
5 ก.พ. 46	7.45	7.96	24.56	24.44	2056.32	1632.41	20.61
6 ก.พ. 46	7.54	8.27	24.62	24.64	1294.72	913.92	29.41
7 ก.พ. 46	7.68	8.36	24.40	23.87	1294.72	884.72	31.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองที่ 1 (ถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์)

วันที่	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ซีโอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (เปอร์เซ็นต์, %)
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
3 ก.พ. 46	7.04	-	24.70	-	2456.52	-	-
4 ก.พ. 46	7.26	7.87	24.65	25.00	2589.44	1980.16	23.53
5 ก.พ. 46	7.34	8.07	24.82	25.47	2437.12	1765.33	27.56
6 ก.พ. 46	7.45	8.12	24.63	24.95	1523.24	990.08	35.00
7 ก.พ. 46	7.52	8.42	24.84	24.85	1142.42	837.76	26.67

ตารางที่ ค.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองที่ 2 (ถังปฏิกรณ์ควบคุม)

วันที่	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ซีโอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (เปอร์เซ็นต์, %)
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
10 ก.พ. 46	7.46	-	24.05	-	2513.28	-	-
11 ก.พ. 46	7.75	7.94	24.30	24.85	2056.32	1447.04	29.63
12 ก.พ. 46	7.92	8.07	24.00	24.65	1980.16	1693.84	14.45
13 ก.พ. 46	8.02	8.16	25.06	25.12	1675.52	1294.72	22.72
14 ก.พ. 46	8.34	8.42	24.95	25.14	2056.32	1532.29	25.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองที่ 2 (ถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 20 เปอร์เซ็นต์)

วันที่	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ซีโอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (เปอร์เซ็นต์, %)
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
10 ก.พ. 46	7.86	-	24.65	-	2056.32	-	-
11 ก.พ. 46	7.94	8.56	24.75	24.85	1523.22	990.08	35.00
12 ก.พ. 46	8.04	8.60	24.80	24.75	1447.04	990.08	31.58
13 ก.พ. 46	8.20	8.76	24.90	24.85	1751.68	1213.81	30.71
14 ก.พ. 46	8.35	8.80	24.75	24.90	1326.38	1021.72	22.97

ตารางที่ ค.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองที่ 2 (ถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 40 เปอร์เซ็นต์)

วันที่	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ซีโอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (เปอร์เซ็นต์, %)
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
10 ก.พ. 46	8.03	-	24.55	-	1218.56	-	-
11 ก.พ. 46	8.07	8.20	24.60	24.95	1066.24	835.32	21.66
12 ก.พ. 46	8.15	8.34	24.70	25.00	1066.24	759.62	28.76
13 ก.พ. 46	8.22	8.45	24.65	25.15	856.21	654.19	23.59
14 ก.พ. 46	8.28	8.60	24.80	25.20	789.23	602.36	23.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองที่ 3 (ถังปฏิกรณ์ควบคุม)

วันที่	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ซีโอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (เปอร์เซ็นต์, %)
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
18 ก.พ. 46	8.04	-	24.50	-	2250.32	-	-
19 ก.พ. 46	8.16	8.20	24.60	24.80	2035.21	1589.32	21.91
20 ก.พ. 46	8.42	8.48	24.85	25.20	1820.65	1498.89	17.67
21 ก.พ. 46	8.54	8.74	24.75	25.15	2013.87	1424.35	29.27
22 ก.พ. 46	8.66	8.85	25.00	25.25	1650.22	1234.57	25.19

ตารางที่ ค.8 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองที่ 3 (ถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 60 เปอร์เซ็นต์)

วันที่	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ซีโอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (เปอร์เซ็นต์, %)
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
18 ก.พ. 46	8.05	-	24.25	-	895.24	-	-
19 ก.พ. 46	8.13	8.32	24.40	24.55	925.35	824.36	10.92
20 ก.พ. 46	8.23	8.45	24.45	24.75	865.47	736.92	14.86
21 ก.พ. 46	8.24	8.46	24.35	24.60	742.36	672.56	9.40
22 ก.พ. 46	8.36	8.74	24.65	24.70	685.34	612.35	10.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองที่ 3 (ถังปฏิกรณ์น้ำเสีย 100 เปอร์เซ็นต์)

วันที่	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ซีโอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (เปอร์เซ็นต์, %)
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
18 ก.พ. 46	8.25	-	25.10	-	349.25	-	-
19 ก.พ. 46	8.28	8.42	25.00	25.05	354.29	321.52	9.25
20 ก.พ. 46	8.45	8.65	24.95	24.90	293.81	293.81	0.00
21 ก.พ. 46	8.38	8.68	24.85	24.95	305.24	305.24	0.00
22 ก.พ. 46	8.52	8.82	25.15	25.20	271.75	271.75	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้