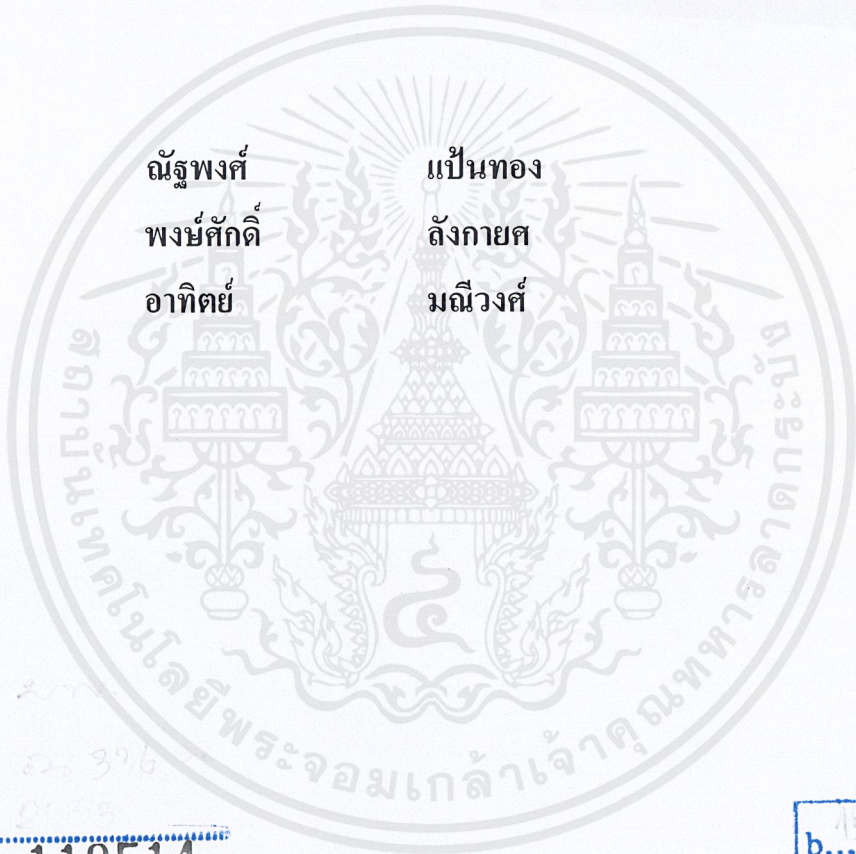


แนวทางในการกำจัดตะกอนส่วนเกินในระบบบำบัดน้ำเสีย  
แบบตะกอนเร่ง(แบบใช้อากาศ)



T119514



ณัฐพงศ์                      เปิ่นทอง  
พงษ์ศักดิ์                  ลังกายศ  
อาทิตย์                        มณีวงศ์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **119514**  
วัน,เดือน,ปี.....**ร.ร.ร. 2554**

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **Study on the Reduction of the Excess Sludge in Activated Sludge**

## **Wastewater Treatment**



**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ปริญญาบัตรเรื่อง	แนวทางในการกำจัดตะกอนส่วนเกินในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง(แบบใช้อากาศ)
โดย	นายฉัฐพงศ์ เป้ทอง นายพงษ์ศักดิ์ ลังกายศ นายอาทิตย์ มณีวงศ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.นริศรา ทองบุญชู

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการทดลองเพื่อหาแนวทางในการลดตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง โดยการนำน้ำเสียจากระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมาทำการบำบัดโดยระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งขนาด pilot scale จากนั้นน้ำที่ผ่านการบำบัดถูกบำบัดด้วยโอโซนในคอลัมน์ โดยการแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของโอโซน และผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา ทำการทดลองในถังเติมอากาศขนาด 20 ลิตร โดยใช้ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์จากหน่วยบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจาก บริษัท ปทุมธานีบริวเวอรี่ เป็นเชื้อเริ่มต้น ใช้น้ำเสียที่เจือจางจนมีค่า Chemical Oxygen Demand(COD) เท่ากับ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลจากการทดลองพบว่าเวลาในการบำบัดที่เหมาะสมคือ 48 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของระบบ อยู่ในช่วง 25-50 % ในขณะที่ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนหรือ MLSS มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 49-119% หลังจากผ่านน้ำเสียต่อไปยังคอลัมน์ของโอโซน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของโอโซนที่แตกต่างกัน จะมีผลต่อการลดของ MLSS โดยพบว่าที่ความเข้มข้นของโอโซนสูงสุดที่ 1,905 mg/l สามารถลด MLSS ได้เร็วกว่าที่ 1,364 และ 655 mg/l หลังจากทำการบำบัดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่า MLSS ลดลงเท่ากับ 76 51 และ 55% ตามลำดับ เมื่อทำการคำนวณหาเวลาที่เหมาะสมในการลดตะกอนส่วนเกินสำหรับแต่ละความเข้มข้นให้เหลือ 50 % เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดสำหรับที่ความเข้มข้น 1,905 1,364 และ 655 mg/l คือ 1 3 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการจัดการตะกอนส่วนเกินพบว่าที่ความเข้มข้นโอโซน 655 mg/l มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำสุดเท่ากับ 11.6 บาท ต่อ กิโลกรัมของตะกอน ในขณะที่ความเข้มข้น 1,364 และ 655 mg/l มีค่าใช้จ่าย 13.28 และ 35.19 บาทตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Report Title</b>	Study on the Reduction of the Excess Sludge in Activated Sludge Wastewater Treatment
<b>By</b>	Mr. Nuttapon Pantong Mr. Pongsak Lungkayote Mr. Athit Maneewong
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering
<b>Program</b>	Chemical Engineering
<b>Year</b>	2010
<b>Advisor</b>	Dr. Narisara Thongboonchoo

### ABSTRACT

This research is aim to find an approach to reduce the excess sludge from activated sludge wastewater treatment. The effluent from anaerobic treatment of wastewater from processes of ethanol plant from molasses was treated in a pilot scale activated sludge system. The treated wastewater was then treated by ozone in a column. The effect of ozone concentration and treatment time were studied. The experiments were carried out in a 20 liter aeration tank using seeding sludge from activated sludge plant of Pathumthani Brewery and effluent that dilute to concentration that chemical oxygen demand (COD) was 400 mg/l. The result showed that the appropriate treatment time was 48 hrs. The COD removal efficiency of the system was 25-50% while concentration of sludge or MLSS was increased by 49-119%. After passed the treated water to the ozone column, the results showed that the variations of ozone concentration yielded the different reduction of MLSS. The maximum concentration at 1,905 mg/l reduced MLSS faster than that of 1,364 and 655 mg/l. After 4 hrs of treatment, MLSS was reduced about 76, 51 and 55%, respectively. The treatment time required to reduce 50% of sludge for each ozone concentration was then calculated for economic evaluation. The results show that treatment time for ozone concentration 1,905 1,364 and 655 mg/l was 1, 3, and 4 hr, respectively. When compare the cost of treatment of excess sludge, the concentration of 655 mg/l gave the cheapest price at 11.6 baht/ 1 kg of sludge while the cost of concentration 1,905 and 1,364 mg/l was 13.28 and 35.19, respectively.

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรเล่มนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ดังนี้ คือ

ดร.นริศรา ทองบุญชู สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำรวมทั้งความรู้และประสบการณ์ในการทำงาน

คณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้และคำแนะนำในเรื่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่วิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ เรื่อง ตลอดระยะเวลาการทำงาน

บริษัท เอกรัฐพัฒนา จำกัด ที่ให้โอกาสเข้าไปศึกษาระบบผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและให้ความอนุเคราะห์น้ำเสียเพื่อใช้ในการทดลอง

บริษัท ปทุมธานี บริวเวอรี่ จำกัด ที่ให้โอกาสเข้าไปศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานและให้ความอนุเคราะห์ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์รวมถึงคำแนะนำจนทำให้สามารถเดินระบบบำบัดได้สำเร็จ

นางสาวฉันทยาภรณ์ วุฒิ นางสาวพรชนก ห่วงมาก และนางสาวเยาวลักษณ์ ตั้งจิตปิยะนนท์ที่ให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไร้อากาศสำหรับการใช้ในการทดลอง

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดาและทุกคนในครอบครัวที่ให้อำนาจใจความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนที่ดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และผู้วิจัยยินดีให้นำข้อมูลอันจะมีประโยชน์แก่ผู้สนใจ สามารถนำไปประกอบการศึกษาค้นคว้าด้วยความยินดี

นายณัฐพงศ์ แป้นทอง

นายพงษ์ศักดิ์ ตั้งกายศ

นายอาทิตย์ มณีวงศ์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VI
สารบัญรูป .....	VII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ .....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี .....	3
2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ออกซิเจน .....	3
2.2 การบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง.....	5
2.3 การเติมอากาศ.....	7
2.4 ถังตกตะกอน.....	15
2.5 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง .....	16
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบตะกอนเร่ง .....	18
2.7 วิธีการกำจัดตะกอนส่วนเกิน.....	20
2.8 โอโซน .....	23
2.9 การประยุกต์ใช้งานแก๊สโอโซน.....	25
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	27
บทที่ 3 การดำเนินโครงการ.....	28
3.1 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง .....	28
3.2 การจัดเตรียมจุลินทรีย์.....	30
3.3 ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาในถังเติมอากาศของระบบตะกอนเร่ง.....	30

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ศึกษาหาสภาวะการใช้โอโซนที่มีผลต่อการกำจัดตะกอนและCOD .....	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและสรุป .....	33
4.1 การหาเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาในถังเติมอากาศ .....	33
4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้โอโซนกำจัดตะกอน.....	34
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	38
5.1 สรุปผล.....	38
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	39
บรรณานุกรม.....	40
ภาคผนวก .....	41
ภาคผนวก ก ข้อมูลดิบ .....	42
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ .....	49
ภาคผนวก ค ภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ .....	51
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสียและตัวแปรที่ใช้ในการเดินระบบตะกอน เร่ง .....	55

# สารบัญตาราง

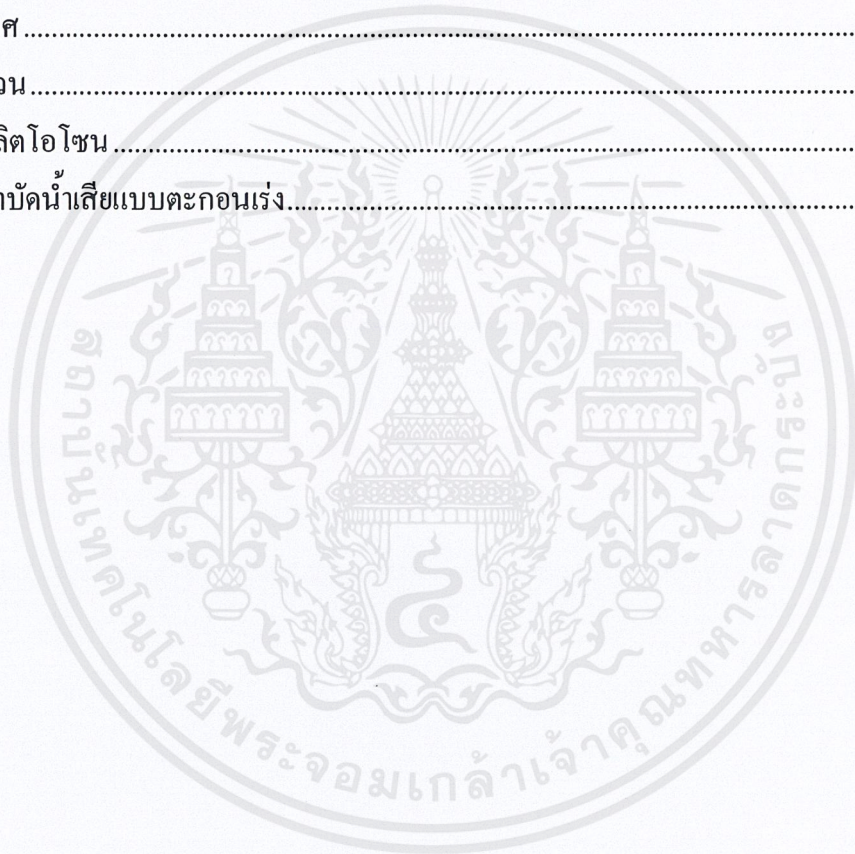
ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบการละลายของ โอโซน และออกซิเจนในน้ำ.....	24
3.1 ออกแบบการทดลอง.....	32
4.1 แสดงปริมาณตะกอนที่เพิ่มขึ้นในการเดินระบบบำบัด.....	34
4.2 แสดงค่าใช้จ่ายในการใช้โอโซนกำจัดตะกอนส่วนเกินให้ลดลง 50% .....	35
ก.1 ผลการทดลองหาค่า Hydraulic Retention Time .....	41
ก.2 น้ำหนักตะกอนที่เพิ่มขึ้นและค่า COD ที่ลดลงของการทดลองที่ 1.....	43
ก.3 น้ำหนักตะกอนที่เพิ่มขึ้นและค่า COD ที่ลดลงของการทดลองที่ 2.....	43
ก.4 น้ำหนักตะกอนที่เพิ่มขึ้นและค่า COD ที่ลดลงของการทดลองที่ 3.....	43
ก.5 ผลการทดลองที่ 1.....	44
ก.6 ผลการทดลองที่ 2.....	45
ก.7 ผลการทดลองที่ 3.....	46
ข.1 แสดงค่าใช้จ่ายของการใช้โอโซน .....	49
ข.2 รายจ่ายในการลดตะกอนส่วนเกิน .....	49
ข.3 แสดงปริมาณ โอโซนที่ใช้กำจัดตะกอน.....	50
ข.4 ค่าใช้จ่ายใช้กำจัดตะกอน.....	50
ง.1 ปริมาณตัวอย่างและรีเอเจนต์ที่ใช้สำหรับขนาดต่างๆ ของภาชนะที่ใช้ย่อยสลายสำหรับการ วิเคราะห์ COD โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด .....	57

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะการทำงานของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง.....	5
2.2 แสดงลักษณะของถังปฏิกริยาแบบ Plug flow .....	6
2.3 แสดงลักษณะของถังปฏิกริยาแบบ Step-feed Aeration .....	6
2.4 แสดงลักษณะของการติดตั้งเครื่องเติมอากาศของถังปฏิกริยาแบบ Tapered Aeration .....	7
2.5 แสดงถังปฏิกริยาแบบ Complete-mix .....	7
2.6 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบแผ่น .....	9
2.7 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบท่อ .....	9
2.8 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบหมวกยอดกลม .....	10
2.9 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบแผ่นงาน .....	10
2.10 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบไม่ใช่รูพรุน (Fixed Orifice).....	11
2.11 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบอื่นๆ (Jet).....	11
2.12 แสดงการจัดวางตัวกระจายอากาศในถังเติมอากาศ .....	12
2.13 แสดงโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโอโซน .....	23
3.1 ถังเติมอากาศและมอเตอร์พร้อมใบกวน .....	28
3.2 การวางตัวของหัวกระจายอากาศภายในถังเติมอากาศ .....	29
3.3 ถังตกตะกอน .....	29
3.4 แผนผังจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง .....	30
3.5 คอลัมน์เติมโอโซนและหัวทรายกระจายอากาศแบบงาน .....	31
3.6 แผนผังจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งที่มีคอลัมน์โอโซนเป็นหน่วยกำจัดตะกอน .....	32
4.1 แสดงค่า COD ที่เวลาต่างๆ .....	33
4.2 แสดงปริมาณ MLSS ในการทดลองที่ภาวะและเวลาต่างๆ.....	34
4.3 แสดง % MLSS ที่ลดลงในการทดลอง ตามระยะเวลาในการทดลอง.....	35
4.4 แสดงผลการทดลองการลดตะกอนด้วยโอโซนที่มีผลต่อ COD .....	36
4.5 แสดงสีของน้ำเสียที่ผ่าน โอโซนที่ ทุกๆ 30 นาทีของการทดลอง.....	37
ก.1 สีของน้ำเสียที่ผ่าน โอโซนในการทดลองที่ 1.....	47
ก.2 สีของน้ำเสียที่ผ่าน โอโซนในการทดลองที่ 2.....	47
ก.2 สีของน้ำเสียที่ผ่าน โอโซนในการทดลองที่ 3.....	48

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.1 ถังเติมอากาศก่อนเนืงงาน.....	51
ค.2 หัวทรายกระจายอากาศ .....	51
ค.3 ถังตกตะกอน .....	51
ค.4 คอลัมน์โอโซนพร้อมติดตั้งหัวกระจายอากาศแบบจาน .....	52
ค.5 ปุ่ม .....	52
ค.6 ปุ่มอากาศ .....	52
ค.7 เครื่องกวน .....	53
ค.8 เครื่องผลิตโอโซน .....	53
ค.9 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง.....	54



# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VI
สารบัญรูป .....	VII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ .....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี .....	3
2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ออกซิเจน .....	3
2.2 การบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง.....	5
2.3 การเติมอากาศ.....	7
2.4 ถังตกตะกอน.....	15
2.5 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง.....	16
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบตะกอนเร่ง .....	18
2.7 วิธีการกำจัดตะกอนส่วนเกิน.....	20
2.8 ไอโซน .....	23
2.9 การประยุกต์ใช้งานแก๊สไอโซน.....	25
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	27
บทที่ 3 การดำเนินโครงการ.....	28
3.1 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง .....	28
3.2 การจัดเตรียมจุลินทรีย์.....	30
3.3 ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาในถังเติมอากาศของระบบตะกอนเร่ง.....	30

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเอทานอลจากกากน้ำตาลจะมี COD สูงมาก (100,000-15,000 mg/l) ซึ่งจะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์หลากหลายประเภทนอกจากนี้แล้วยังมีสีน้ำตาลคล้ำ หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ โดยปราศจากการบำบัดก็จะส่งผลให้แหล่งน้ำเน่าเสียและไม่สามารถใช้อุปโภคและบริโภคได้

การบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการจัดการน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าว โดยทั่วไปการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีการบำบัดน้ำเสีย โดยกักเก็บน้ำในบ่อขนาดใหญ่และปล่อยให้เกิดการบำบัดโดยใช้จุลินทรีย์ที่อยู่ในธรรมชาติแต่วิธีการดังกล่าวยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะนำน้ำระบายสู่แหล่งน้ำได้ ดังนั้นจึงต้องมีการบำบัดด้วยระบบทางชีวภาพที่สามารถรองรับความสกปรกได้ในปริมาณสูง ได้แก่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ แต่กระนั้นคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดก็ยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน จึงต้องมีระบบบำบัดอีกหนึ่งขั้นตอน โดยระบบที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันคือ ระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) ที่มีจุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย แม้ระบบตะกอนเร่งจะเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย แต่กระบวนการบำบัดแบบตะกอนเร่งมีข้อจำกัดพอสมควรเช่นสิ้นเปลืองพลังงานในการเติมอากาศ ปัญหาการตกตะกอนและตะกอนส่วนเกิน เป็นต้น ปัญหาตะกอนส่วนเกินซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของกระบวนการ เนื่องจากปัจจุบันมีข้อกำหนดที่ควบคุมการปล่อยของเสียออกจากโรงงานอย่างเข้มงวด จึงต้องมีการกำจัดตะกอนส่วนเกินนี้ โดยปัจจุบันจะใช้วิธีการฝังกลบซึ่งจะต้องมีค่าใช้จ่ายในการขนย้ายและไปจัดการ จึงมีงานวิจัยที่พยายามหาวิธีการในการกำจัดตะกอนส่วนเกินนี้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น มีการนำโอโซนมาใช้กำจัดตะกอนส่วนเกิน พบว่าสามารถกำจัดตะกอนส่วนเกินได้ผลดีในระดับหนึ่ง นอกจากนี้การศึกษาการใช้โอโซนในงานวิจัยที่เกี่ยวกับการกำจัดสีของน้ำเสียในอุตสาหกรรมอาหาร พบว่าโอโซนสามารถบำบัดสีได้อีกด้วย

ดังนั้นในโครงการนี้จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาระบบการกำจัดตะกอนส่วนเกินส่วนเกินด้วยโอโซน โดยจะทำการออกแบบและสร้างเครื่องปฏิกรณ์จำลองระบบการบำบัดแบบตะกอนเร่งในอุตสาหกรรมเพื่อสามารถทั้งลดตะกอนส่วนเกินและบำบัดสีได้ในคราวเดียวกัน และหาสภาวะและขั้นตอนที่เหมาะสมสำหรับการบำบัด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปฏิญานិพนธ์

1. ศึกษาการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง
2. หาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่งเพื่อกำจัดตะกอนส่วนเกินอย่างมีประสิทธิภาพ
3. หาแนวทางที่เหมาะสมในการนำไอ โชนมาใช้งานกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

## 1.3 ขอบเขตของปฏิญานิพนธ์

1. ใช้ตะกอนเร่งที่ได้เก็บรวบรวมมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของบริษัท ปทุมธานี บริวเวอรี่ จำกัด เท่านั้น
2. ทำการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลเท่านั้น
3. ในการวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะปัจจัยหลัก ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดและวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย เฉพาะปัจจัยที่สามารถวิเคราะห์ได้เท่านั้น เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องงบประมาณและเครื่องมือวิเคราะห์

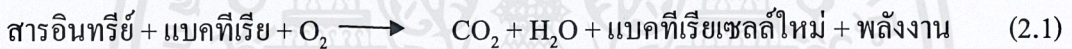
## บทที่ 2

### ทฤษฎี

การศึกษาและแนวทางการกำจัดตะกอนส่วนเกินของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ต้องอาศัยทฤษฎีต่าง ๆ มาประกอบการศึกษาหลาย ๆ ด้าน ซึ่งทฤษฎีต่าง ๆ เหล่านี้ประกอบไปด้วย

#### 2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ออกซิเจน (Aerobic treatment process) [1]

กระบวนการบำบัดโดยใช้ออกซิเจนเป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพที่ต้องควบคุมให้มีก๊าซออกซิเจนอยู่ในระบบ เพื่อให้มีสถานะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียพวกแอโรบิกในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งเมื่อแบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์แบคทีเรียจะใช้พลังงานดังกล่าวในการสร้างเซลล์ใหม่โดยประมาณ 50% ของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายไป แบคทีเรียจะนำไปสร้างเซลล์ใหม่ ส่วนที่เหลือจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานออกมดั่งสมการที่ (2.1)



ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนดังกล่าวนี้ยังแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ลักษณะตามลักษณะการจับตัวหรือแขวนลอยของจุลินทรีย์ดังนี้

2.1.1 กระบวนการที่จุลินทรีย์จับตัวอยู่ที่ตัวกลางหรือตัวกรอง (Media) ที่ทำจากวัสดุประเภทต่างๆ เช่น ก้อนหิน พลาสติก เป็นต้น ในกระบวนการแขวนลอยแบบนี้จุลินทรีย์จะจับตัวอยู่บนตัวกลางสามารถแบ่งย่อยได้เป็น

ก. กระบวนการถังกรองจุลชีพ (Trickling filter) หรือระบบ ไพรยกรอง

ระบบนี้จะประกอบด้วยตัวกลางบรรจุอยู่ในถังให้จุลชีพเกาะตามผิวตัวกลาง การเติมอากาศจะอาศัยออกซิเจนจากอากาศผสมกับน้ำเสียก่อนที่จะไหลผ่านผิวตัวกลางที่จุลชีพเกาะอยู่ ซึ่งมีลักษณะเป็นเมือกหนาเพียงพอที่ออกซิเจนแทรกซึมเข้าไปได้ ซึ่งการเลือกผิวตัวกลางเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมากเพราะว่าผิวตัวกลางที่มีความขรุขระมากจะมีพื้นที่ให้ออกซิเจนแทรกซึมผ่านไปได้มาก และพบว่าผิวดินเผามีความขรุขระมาก เมื่อเทียบกับก้อนหิน หรือพลาสติกในการเดินระบบจะมีการให้น้ำ

ข. ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactors)

ระบบ RBC ประกอบด้วยแผ่นที่ทำด้วยวัสดุใดๆ ที่แข็งแรงทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ในน้ำได้ โดยมากทำด้วยพลาสติก หลักการบำบัดน้ำเสียในระบบ RBC คือ จุลชีพที่มาจากน้ำเสียเริ่มขยายพันธุ์เกาะตามบริเวณผิวตัวกลางของแผ่นกลมที่หมุนอยู่ ซึ่งเป็นจุลชีพประเภทจุลชีพเกาะผิว

ตัวกลาง (Attached microbial growth) จนกระทั่งจำนวนจุลชีพมีมากเกาะเต็มทั่วทั้งแผ่นกลม และมีลักษณะคล้ายเมือกปกคลุมแผ่นกลมหนาประมาณ 1 ถึง 3 มม. ของจุลชีพ ขณะที่แผ่นกลมหมุน ออกซิเจนในอากาศภายนอกถึงจะถ่ายเทผ่านเข้าไปในผิวเมือกจุลชีพ และนำออกซิเจนลงไปใต้น้ำเสีย ทำให้เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีที่ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสียด้วยปริมาณออกซิเจนและจำนวนจุลชีพที่พอเหมาะ โดยทั่วไปเมือกจุลชีพที่เกาะอยู่บนผิวกลางจะค่อยๆ หลุดออกบ้าง เนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดจากการหมุนแผ่นกลม ซึ่งทำให้มีบางส่วนลอยอยู่ในน้ำเสียภายในถัง ทำให้ได้จุลชีพอีกประเภทคือ จุลชีพแขวนลอย (Suspended microbial growth) ดังนั้นการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) ในน้ำเสียในระบบนี้จึงมีประสิทธิภาพดี

2.1.2 กระบวนการที่จุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในถังปฏิกรณ์ (Aerobic suspended growth treatment processes) ในกระบวนการแบบนี้สามารถแบ่งย่อยได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

#### ก. กระบวนการตะกอนเร่ง (Activated sludge process)

กระบวนการเอเอสมีอยู่ด้วยกันหลายกระบวนการ ประกอบด้วยถังเติมอากาศและถังตกตะกอนเป็นหลัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการจัดวางและรูปแบบของถังเติมอากาศ ซึ่งเกิดจากการวิจัยพัฒนาระบบอย่างต่อเนื่อง โดยพยายามคำนึงถึงการประหยัดพลังงาน ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย และการควบคุมดูแลระบบ โดยใช้วิธีต่างๆ หลายรูปแบบมาจัดการกระบวนการบำบัด อาจใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอาหารกับปริมาณจุลชีพเพื่อพัฒนาระบบเอเอส หรือใช้ค่าอายุสลัดจ์ในระบบเพื่อมาพัฒนาระบบเอเอส หรือใช้รูปร่างถังเติมอากาศ หรือใช้วิธีการเติมน้ำเสียลงในตามส่วนต่างๆ ของถังเติมอากาศ หลักเกณฑ์ในการพิจารณารูปแบบกระบวนการระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ซึ่งอาศัยหลักเกณฑ์เป็นหลักในการสร้างระบบเอเอสแบบต่างๆ หลักเกณฑ์มีดังต่อไปนี้

- 1) การเลือกชนิดของรูปแบบถัง
- 2) เกณฑ์ค่าภาระที่มีต่อระบบ
- 3) ปริมาณสลัดจ์ที่เพิ่มขึ้น
- 4) ความต้องการของออกซิเจนและการถ่ายเทออกซิเจน
- 5) ความต้องการของอาหาร
- 6) ระบบควบคุมจุลชีพแบบเส้น (Filamentous Organisms) และ
- 7) ลักษณะของน้ำทิ้งออก

#### ข. ระบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon System)

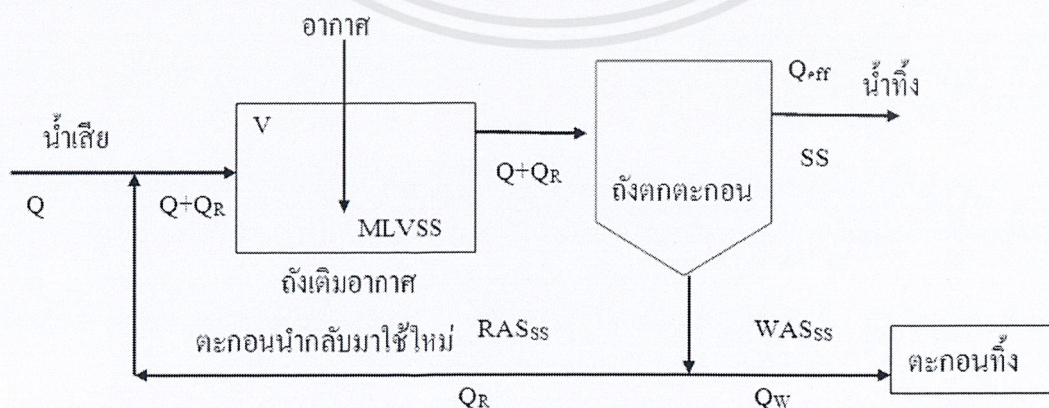
สระเติมอากาศบางครั้งนิยมเรียกว่าบ่อเติมอากาศ โดยพัฒนาจากบ่อย่อยสลายธรรมชาติที่ส่งกลิ่นเหม็น จึงมีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศ เพื่อช่วยรับภาระน้ำเสียที่เข้ามาให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้ลดกลิ่นเหม็นจากบ่อดังกล่าว สระเติมอากาศมักจะเป็นบ่อดิน หรือบ่อคาคอนกรีต น้ำเสียได้ไหลผ่านสระเติมอากาศแบบไม่มีการนำสลัดจ์ไหลวนกลับ และมีการนำสลัดจ์ไหลวนกลับ เครื่องเติมอากาศที่ใช้ในระบบนี้อาจเป็นเครื่องเติมอากาศผิวน้ำ (Surface Aerator) หรือเครื่องเติมอากาศแบบฟุ้ง (Diffused-air Aerator) โดยเครื่องเติมอากาศมีหน้าที่ให้ออกซิเจนแก่จุลชีพในระบบ พร้อมๆ กันนั้นช่วยให้จุลชีพได้แขวนลอยอยู่ในน้ำในสระเติมอากาศ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้ไม่ต้องควบคุมระบบมากนัก เพราะไม่ต้องการนำสลัดจ์ไหลวนกลับมาเพิ่มจุลชีพในถังเติมอากาศ และกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบนี้มีลักษณะคล้ายกับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอสแบบยืดเวลา คือมีอายุสลัดจ์ประมาณ 10 วัน เหมือนกัน มีข้อแตกต่างกันก็คือ บ่อเติมอากาศของระบบนี้เป็นบ่อคิน หรือบ่อคาคด้วยคอนกรีตหรืออื่นๆ และอาจไม่ได้ใช้ระบบนำสลัดจ์ไหลวนกลับก็ได้ ถ้าระบบสระเติมอากาศไม่มีระบบนำสลัดจ์ไหลวนกลับมาใช้ ก็ควรมีถังหรือบ่อตกตะกอนขนาดใหญ่เพื่อแยกน้ำใส่นอกจากระบบบำบัด ทำให้ได้ค่า TSS ของน้ำใส่นอกได้มาตรฐานของรัฐที่กำหนดไว้ สำหรับระบบสระเติมอากาศที่ไม่มีการนำสลัดจ์ไหลวนกลับจะมีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน (MLSS) อยู่ประมาณ 80 ถึง 200 มก./ล. ในสระเติมอากาศ

## 2.2 การบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ( Activated – Sludge Process, AS ) [1]

เป็นระบบที่มีการเลี้ยงตะกอน โดยมีการเติมอากาศอย่างต่อเนื่องเพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียและแขวนลอยอยู่ในน้ำสำหรับให้พลังงานและการเจริญเติบโตซึ่งเกิดขึ้นในถังเติมอากาศ (acrated tank) ในถังเติมอากาศเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์หลายชนิดซึ่งมีความสัมพันธ์กันในเชิงนิเวศวิทยา โดยน้ำเสียจะมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ แบคทีเรียที่ใช้ ออกซิเจนในการดำรงชีวิต (Aerobic bacteria) จะใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) มาใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้พลังงาน และเซลล์ใหม่ แบคทีเรียในน้ำเสียมักมีลักษณะเป็นตะกอนเบาเล็กๆ (Floc) แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย โปรโตซัวซึ่งเป็นผู้บริโภคในลำดับที่สูงขึ้นจะกินแบคทีเรียเป็นอาหาร และใช้ DO ในน้ำในการดำรงชีวิต เซลล์แบคทีเรียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงาน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และโปรโตซัวตัวใหม่ขึ้นมาซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย ตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นมากมายนี้จะถูกแยกออกจากน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วโดยถังตกตะกอน ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปกำจัดต่อไป อีกส่วนจะนำกลับเข้าถังเติมอากาศอีกครั้งซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้มีความคุ้นเคยกับน้ำเสียเป็นอย่างดี จึงสามารถใช้สารอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็วโดยไม่เสียเวลาปรับตัว ลักษณะการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



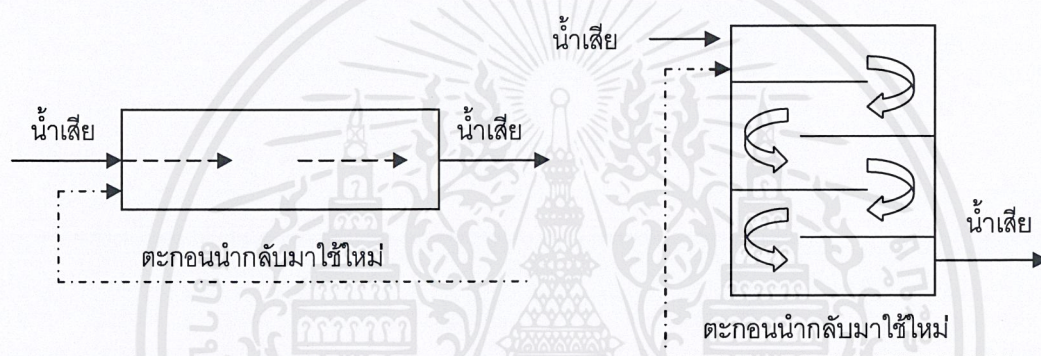
รูปที่ 2.1 ลักษณะการทำงานของระบบการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยถังเติมอากาศ (Aeration Tank) เป็นถังปฏิบัติที่รับน้ำเสีย มีการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศ (Aerator) เพื่อให้ออกซิเจนกับจุลินทรีย์ โดยการเติมอากาศมีหลากหลายประเภทได้แก่

### 1. ระบบ Plug flow

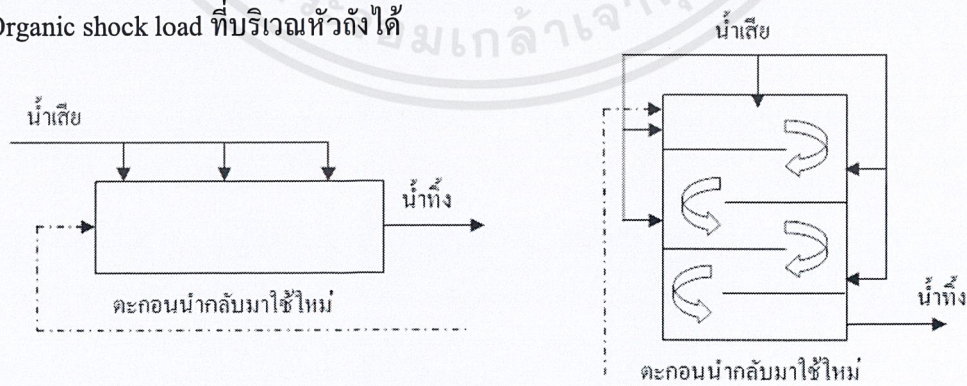
เป็นระบบ AS ที่พัฒนามาแบบแรก ๆ เป็นถังเติมอากาศที่มีความยาวของถังมากกว่าความกว้างในอัตราส่วนมากกว่า 4:1 มีการเติมอากาศสม่ำเสมอตลอดความยาวถัง น้ำเสียจะไหลเข้าที่หัวถังเพียงจุดเดียวและไหลออกที่ปลายสุดอีกด้านของถังมีลักษณะดังรูปที่ 2.2 ถังเติมอากาศแบบ Plug flow มีอัตราการบำบัดในช่วงอัตราธรรมชาติคือ สามารถรับ BOD ในช่วง 500 – 650 g BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.d รับน้ำเสียเทศบาลทั้งความเข้มข้นต่ำ ปานกลางและสูงได้ ถ้าน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่า BOD สูงเกินไป เช่น น้ำเสียจากอุตสาหกรรมบางชนิด จะทำให้เกิด Organic shock load ทำให้เกิดสถานะแอนเอโรบิกที่บริเวณหัวถังได้



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของถังปฏิบัติแบบ Plug flow

### 2. ระบบ Step-feed Aeration

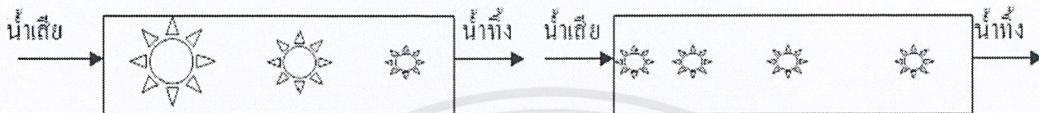
เป็นถังปฏิบัติที่ดัดแปลงมาจาก Plug flow โดยดัดแปลงให้มีการป้อนน้ำเสียเข้าถังหลายๆ จุดเพื่อเฉลี่ยภาระ BOD ให้ใกล้เคียงตลอดความยาวถังมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 ระบบนี้ช่วยลดปัญหา Organic shock load ที่บริเวณหัวถังได้



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของถังปฏิบัติแบบ Step-feed Aeration

### 3. ระบบ Tapered Aeration

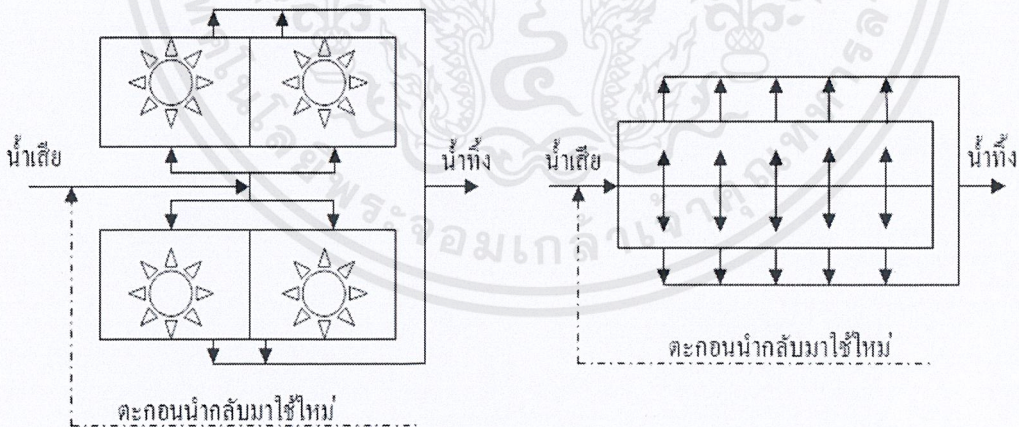
เป็นการเติมอากาศแบบเรียลเวลิ่งให้สอดคล้องกับความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือการลดลงของ BOD ในถังปฏิกริยาแบบ Plug flow บริเวณหัวถังจะใช้เครื่องเติมอากาศที่มีกำลังสูง และใช้เครื่องเติมอากาศที่มีกำลังลดลงตามความยาวของถัง หรืออาจใช้เครื่องเติมอากาศด้วยค่าแรงม้าคงที่แต่เพิ่มจุดติดตั้งให้ถี่ขึ้นบริเวณหัวถัง และห่างกันออกไปบริเวณปลายถัง ทำให้ปริมาณอากาศที่ให้สอดคล้องกับค่า BOD ของน้ำเสียซึ่งมีค่าสูงบริเวณหัวถังและลดต่ำลงที่ปลายถังลักษณะของระบบแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของการติดตั้งเครื่องเติมอากาศของถังปฏิกริยาแบบ Tapered Aeration

### 4. Complete-mix or Continuous-flow-stirred tank

เป็นถังปฏิกริยาที่มีการกวนผสมน้ำเสียอย่างทั่วถึงทำให้ค่า BOD คงที่ตลอดถัง การเติมอากาศเฉลี่ยทั่วถังมีค่าเท่ากัน ถังปฏิกริยาอาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ติดตั้งเครื่องเติมอากาศไว้ตรงกลางซึ่งทำหน้าที่ทั้งเติมอากาศและปั่นกวนน้ำเสีย ถังปฏิกริยาเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำให้เกิดการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ได้โดยจัดให้มีจุดที่น้ำเสียเข้าและออกหลายจุด ทำให้ค่า BOD คงที่ อัตราการเติมอากาศเฉลี่ยตลอดความยาวถังคงที่ลักษณะของระบบแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงถังปฏิกริยาแบบ Complete-mix

## 2.3 การเติมอากาศ (Aeration) [3]

ก๊าซออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ระบบ AS ทำงานอยู่ได้ จุลินทรีย์ในระบบตะกอนเร่งต้องการออกซิเจนเช่นเดียวกับอาหาร อัตราการใช้ออกซิเจน (Oxygen Uptake Rate; OUR) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์จะสอดคล้องกับสถานะของเมตาโบลิซึม หรืออัตราการเพิ่มมวลของจุลินทรีย์และอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์หรืออัตราการใช้อาหาร (BOD) อัตราการใช้ออกซิเจน (OUR) หาได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในถังเดิมอากาศที่มีจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่มาเติมอากาศให้ออกซิเจนละลายจนอิ่มตัว จากนั้นวัดการเปลี่ยนแปลง DO ที่ลดลงในช่วงเวลาต่างๆ อัตราการใช้ออกซิเจนมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมออกซิเจนในน้ำเสีย 1 ลิตร ในหนึ่งหน่วยเวลา (mg/l-min) ถ้าคิดอัตราการใช้ออกซิเจนต่อหน่วยมวลของจุลินทรีย์ค่าที่ได้เรียกว่า อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ (Specific Oxygen Uptake Rate; SOUR) ดังสมการที่ (2.2) ถึง (2.5)

$$\text{อัตราการใช้ออกซิเจน (OUR)} = \frac{\text{การลดลงของ } O_2 \text{ หรือ DO}}{\text{เวลา}} \quad (2.2)$$

$$\text{OUR} = \frac{\text{mg } O_2/\text{L}}{\text{min}} \text{ หรือ } \frac{\text{mg } O_2/\text{L}}{\text{hr}} \quad (2.3)$$

$$\text{อัตราการใช้ออกซิเจน (SOUR)} = \text{อัตราการใช้ออกซิเจนต่อเวลาต่อมวลของจุลินทรีย์} \quad (2.4)$$

$$\text{SOUR} = \frac{\text{mg } O_2/\text{L}}{\text{hr.gMLSS}} \quad (2.5)$$

ในการเติมอากาศลงไปในน้ำเสียจะใช้เครื่องเติมอากาศ ซึ่งมีอยู่กันหลายแบบโดยสามารถแบ่งประเภทใหญ่ๆ คือ แบบตัวกระจายอากาศ (Diffused Aeration) แบบตีน้ำ (Mechanical Aeration) และแบบใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ (High-purity Oxygen)

### 2.3.1 ระบบเติมอากาศแบบตัวกระจาย (Diffused Aeration)

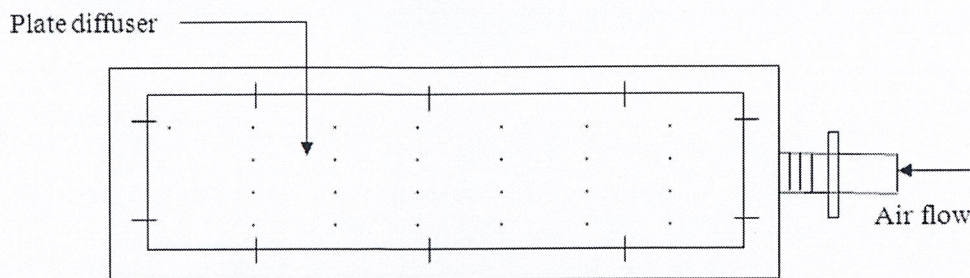
ระบบเติมอากาศแบบใช้ตัวกระจายอากาศ ซึ่งอาศัยหลักการให้อากาศจากเครื่องเติมอากาศหรือเครื่องดูดอากาศทำการพ่นหรือเป่าลงไปใต้น้ำเสีย โดยอาศัยตัวกระจายอากาศเป็นตัวจ่ายอากาศ โดยมากอากาศที่ถูกพ่นลงไปใต้น้ำ จะมีลักษณะเป็นฟองอากาศ ซึ่งจะมีฟองขนาดต่างๆ ได้แก่ขนาดเล็ก (Fine bubble) ขนาดกลาง (Medium bubble) และขนาดใหญ่ (Coarse bubble) สำหรับตัวกระจายอากาศ (Diffusers) ที่ใช้ในระบบนี้สามารถแบ่งประเภทต่างๆ ได้ 3 ประเภทดังนี้

1. แบบรูพรุนเล็ก (Porous diffusers) ตัวกระจายแบบนี้จะมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนประมาณ 6 ถึง 30% มีอัตราการถ่ายเทออกซิเจนที่สถานะมาตรฐานเท่ากับ 1 ถึง 2 กิโลกรัม  $O_2$ /กิโลวัตต์-ชม. ตัวกระจายอากาศแบบรูพรุนเล็กมีรูปลักษณะต่างๆ ดังนี้

ก. แบบแผ่น (Plate diffusers) ตัวกระจายอากาศแบบแผ่นอยู่ในกลุ่มของแบบรูพรุนเล็กมีลักษณะเป็นแผ่น Ceramic สีเหลืองดังรูปที่ 2.6 โดยมากจะทำจาก Silica หรือ Aluminum Oxide ที่มี Ceramic เป็นตัวยึดประสาน ตัวกระจายอากาศแบบนี้จะยึดติดกับพื้นของถังเติมอากาศ แผ่นกระจายอากาศจะถูกออกแบบจัดวางในตำแหน่งที่เหมาะสมเป็นกลุ่มๆ โดยมีท่ออากาศเดิน ไปยังแต่ละกลุ่ม ซึ่งจะมีวาล์วควบคุมการเปิดปิดของแต่ละกลุ่ม ข้อเสียของระบบนี้คือ มีปัญหาการกระจายอากาศของแต่ละกลุ่มอาจมีไม่เท่ากัน ไม่สะดวกในการถอดชิ้นมาบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนแผ่นเนื่องจากได้ถูกยึดติดกับพื้นถังเติมอากาศ มีความยุ่งยากมากถ้าต้องการเพิ่มตัวตัวกระจาย

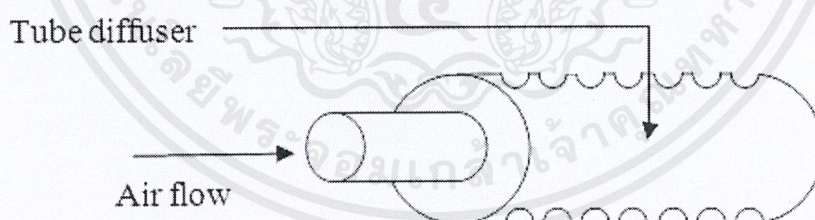
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศขึ้นในถังเดิมอากาศนี้ไม่นิยมใช้กันมากนัก สำหรับข้อดีของตัวกระจายอากาศแบบแผ่นคือมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนสูงและมีอายุการใช้งานนาน



รูปที่ 2.6 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบแผ่น

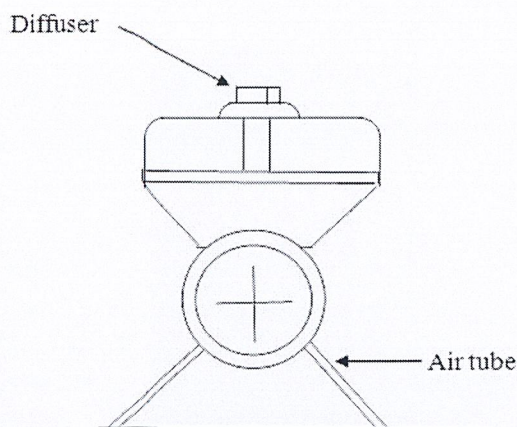
ข. แบบท่อ (Tube diffusers) ตัวกระจายอากาศแบบท่ออยู่ในกลุ่มของแบบรูปทรงเล็กมีลักษณะเป็นท่อตั้งรูปที่ 2.7 ซึ่งทำจาก Aluminum Oxide หรือพวกร HDPE (High Density Polyethylene) หรือพวกร Styrene-acrylonitrile copolymer โดยอาจเป็นแบบแข็ง (Rigid) หรือแบบโค้งงอได้ (Nonrigid) ตัวกระจายแบบท่อแข็งนี้ โดยทั่วไปมีขนาดยาว 50-60 ซม. มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกเท่ากับ 6.5-7.5 ซม. ซึ่งผิวของตัวกระจายอากาศแบบเยื่อหุ้มจะความหนาเพียง 0.6-2.5 มม. แบบผิว HDPE จะมีความหนา 6.4 มม. แบบผิว Styrene-acrylonitrile จะมีความหนา 9.5-12.7 มม. สำหรับตัวกระจายอากาศแบบท่อโค้งงอได้นี้โดยทั่วไปจะเป็นพวกร HDPE มีขนาดยาวถึง 90 ซม. มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางนอก 25 มม. และมีความหนาประมาณ 3 มม. โดยทั่วไปตัวกระจายอากาศแบบท่อมีความยาว 50-60 ซม. สามารถออกแบบให้มีอัตราการไหลของอากาศ 0.5-4.7 ลิตรต่อวินาทีต่อตัวกระจายอากาศหนึ่งตัว



รูปที่ 2.7 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบท่อ

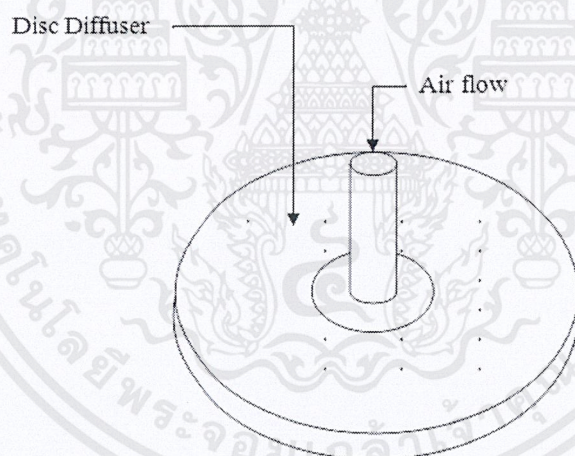
ค. แบบห่มกยอคกลม (Dome diffusers) ตัวกระจายกระจายอากาศแบบห่มกยอคกลมอยู่ในกลุ่มของแบบรูปทรงเล็กมีลักษณะเป็นห่มกยอคกลมตั้งรูปที่ 2.8 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 ซม. มีความหนาประมาณ 38 มม. มีแผ่นกระจายอากาศ (Media) บริเวณขอบรอบๆ ห่มกยอคและบริเวณส่วนผิวบนของห่มกยอค ซึ่งมีความหนาประมาณ 15 มม. และ 19 มม. ตามลำดับ โดยทำด้วย Aluminum Oxide ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบห่มกยอคกลม ซึ่งตัวกระจายอากาศแบบนี้สามารถออกแบบให้มีอัตราการไหลของอากาศ 0.24 ถึง 1.20 ลิตรต่อวินาทีต่อตัวกระจายอากาศหนึ่งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบหมวกยอดกลม

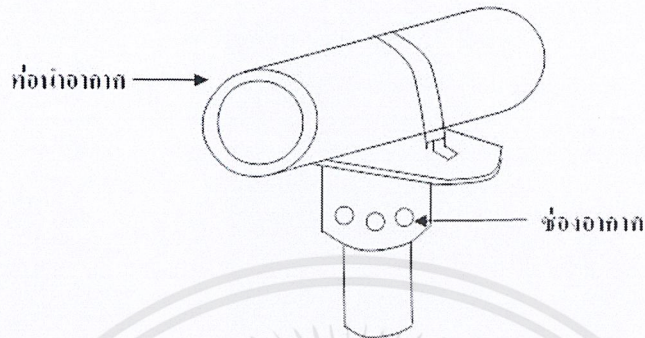
ง. แบบแผ่นจาน (Disc diffusers) ตัวกระจายอากาศแบบแผ่นจานอยู่ในกลุ่มของแบบรูปวงรีเล็กมีลักษณะเป็นแผ่นจานดังรูปที่ 2.9 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18-24 ซม. มีความหนา 13-19 มม. โดยลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบแผ่นจานอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ แผ่นจาน Ceramic แผ่นจาน Glass bead แผ่นจาน Aluminum Oxide แผ่นจาน Polyethylene ซึ่งได้ถูกยึดติดกับท่อกระจายอากาศ PVC



รูปที่ 2.9 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบแผ่นจาน

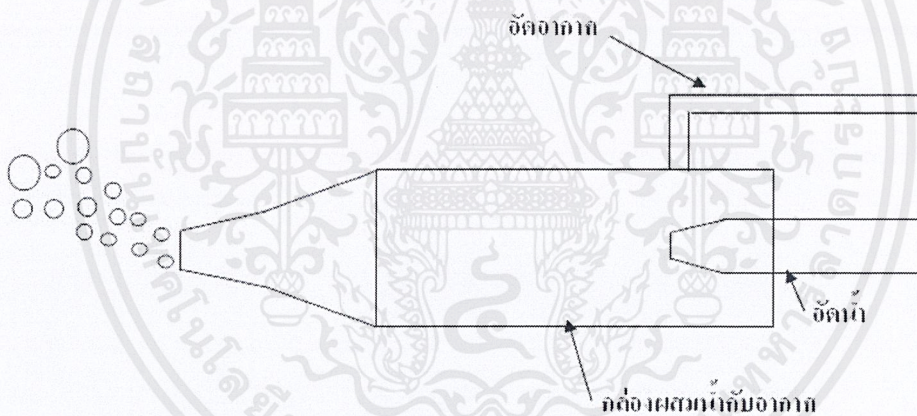
2. แบบไม่ใช่รูพรุนเล็ก (Nonporous diffusers) ตัวกระจายอากาศแบบ Nonporous diffusers มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่พวก Fixed Orifice พวก Valved orifice พวก Static tubes และพวก Perforated hose ตัวกระจายแบบนี้จะมีฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าของแบบรูปวงรีเล็ก ดังนั้นจึงเป็นแบบที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบรูปวงรีเล็ก แต่มีข้อดีตรงที่ราคาถูกกว่าและการบำรุงรักษาต้องการน้อยกว่าแบบ สำหรับแบบ Static tube aerator อากาศที่ถูกจ่ายเข้าไปในตัวกระจายอากาศจะเข้าไปในส่วนกลางของแท่งซึ่งมีความสูงตั้งแต่ 0.5-1.25 ม. โดยภายในตัวแท่งมีตัวหักเหติดตั้งเป็นช่วงๆ เพื่อเพิ่มการสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำเสีย การกวนของระบบนี้จะเปรียบเสมือนกับเครื่องสูบน้ำแบบ Airlift ในการติดตั้ง Static tube aerator โดยทั่วไปจะติดตั้งในลักษณะเป็นแถว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั่วบริเวณพื้นตั้งเดิมอากาศ สำหรับตัวกระจายแบบไม่ใช่รูพรุนเล็กนี้จะมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนประมาณ 4-8% มีอัตราการถ่ายเทออกซิเจนประมาณ 0.6-1.0 กก. $O_2$ /(กิโวลต์·ชม.) ยกเว้นของแบบ Static tube aerator ที่มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนประมาณ 7-10% มีอัตราการถ่ายเทออกซิเจนประมาณ 1.2-1.6 กก.  $O_2$ /(กิโวลต์·ชม.)



รูปที่ 2.10 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบไม่ใช่รูพรุน (Fixed Orifice)

3. แบบอื่นๆ ตัวกระจายอากาศแบบอื่นๆ ได้แก่พวก Jet พวก Aspirating และพวก U-tube



รูปที่ 2.11 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบอื่นๆ (Jet)

#### สมรรถภาพของตัวกระจายอากาศ

ในการเลือกตัวกระจายอากาศจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน โดยมีปัจจัยดังต่อไปนี้

- ชนิด ขนาด รูปร่างของตัวกระจายอากาศ
- อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเข้าไปในน้ำ
- ความลึกของน้ำที่ต้องการพ่นอากาศเข้าไป
- ขนาดรูปร่าง กว้าง ยาว ลึก ของถัง
- การเลือกตำแหน่งของตัวกระจายอากาศบนพื้นตั้งเดิมอากาศ
- ลักษณะของน้ำเสีย

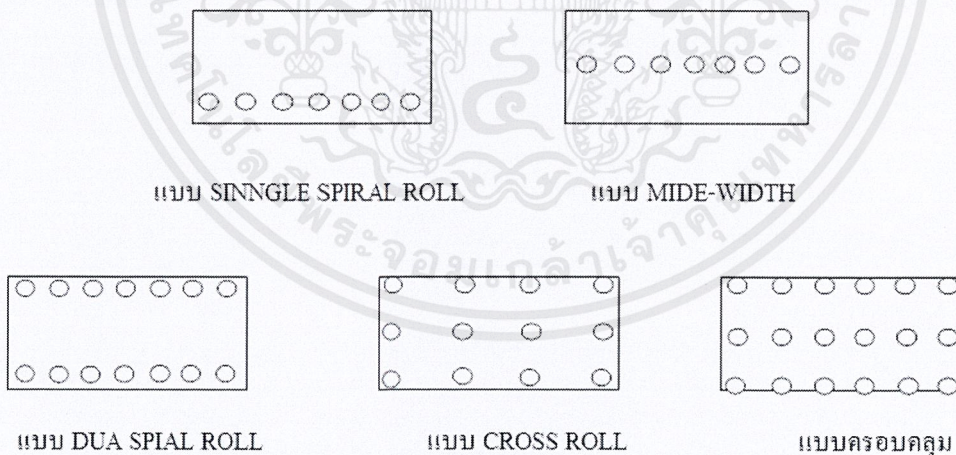
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขนาดของฟองอากาศ
- การปั่นป่วนของน้ำในถังเติมอากาศ

ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ (Oxygen-Transfer Efficiency, OTE) ของตัวกระจายอากาศจะมีค่าลดลง เนื่องจากสิ่งสกปรกต่างๆ เกาะบริเวณผิวช่องกระจายอากาศ ซึ่งโดยมากจะมาจากเมือกจุลชีพ สารอินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นตะกอน หรือเศษดินทรายต่างๆ และอาจเนื่องจากเกิดการอุดตันขึ้นภายในตัวกระจายอากาศซึ่งเป็นสาเหตุที่เกิดขึ้นมาจากสิ่งสกปรกในอากาศ โดยปราศจากการติดตั้งเครื่องกรองอากาศ ดังนั้นจำเป็นต้องติดเครื่องกรองอากาศ และจำเป็นต้องหมั่นทำความสะอาดตัวกระจายอากาศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ

### การจัดวางตัวกระจายอากาศในถังเติมอากาศ

การจัดวางตัวกระจายอากาศในพื้นที่ถังเติมอากาศมีความสำคัญมากในการเติมอากาศให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนสูงสุด สามารถทำการบำรุงรักษาได้สะดวกที่สุด และใช้พลังงานน้อยที่สุด ในการจัดวางตัวกระจายอากาศในถังเติมอากาศต้องการให้มีการกวนน้ำที่พอเพียงทั่วทั้งถัง ระยะห่างระหว่างตัวกระจายอากาศเพื่อให้มีเวลาเพียงพอกับการเดินไปทำการบำรุงรักษาตัวกระจายอากาศแต่ละตัวได้สะดวก โดยปกติขอบถึงขอบของตัวกระจายอากาศอย่างน้อยควรมีระยะห่าง 50 ซม. โดยการจัดวางตัวกระจายอากาศแบบต่างๆ ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงการจัดวางตัวกระจายอากาศในถังเติมอากาศ

### เครื่องเป่าอากาศ

เครื่องเป่าอากาศมีหลายประเภท โดยทั่วไประบบเติมอากาศสำหรับถังเติมอากาศ ต้องการความดันบรรยากาศประมาณ 0.65-1.0 ความดันบรรยากาศ (10-15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ดังนั้นเมื่อพิจารณาจะพบว่าต้องการเครื่องเป่าอากาศ (Blower) ในการเติมอากาศ ซึ่งนิยมใช้ประเภท Rotary positive displacement units หรือประเภท Centrifugal units

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขนาดถังเติมอากาศ

สำหรับระบบเติมอากาศแบบใช้ตัวกระจายอากาศเป่าอากาศ ขนาดรูปร่างของถังเติมอากาศจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการเติมอากาศ และจะมีผลในการกวนน้ำให้ทั่วถึงด้วย พบว่าความลึกของน้ำในถังเติมอากาศควรมีประมาณ 4.5 ถึง 7.5 ม. เพื่อให้ตัวกระจายอากาศสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และควรมีระดับสูงของขอบถังเหนือระดับน้ำประมาณ 0.3 ถึง 0.6 ม. ถ้าลักษณะการกวนเป็นแบบไหลเป็นเกลียว หรือไหลวนจากส่วนบนผิวน้ำไปส่วนล่างของถัง สลับกันไปมา ขนาดความกว้างของถังจะมีความสำคัญมาก โดยพบว่าค่าอัตราส่วนระหว่างความกว้างของถังกับระดับน้ำลึกของถังควรอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.0 ถึง 2.2:1 โดยนิยมใช้ค่า 1.5:1 ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวของถังกับความกว้างของถังควรมีค่าน้อย 5:1 แต่ขนาดความกว้างของถังเติมอากาศอาจมีขนาดใหญ่ขึ้นได้โดยไม่ก่อให้เกิดจุดนิ่งหรือเกิดบริเวณที่มีการกวนไม่เพียงพอ เพราะการเกิดจุดนิ่งนี้จะทำให้เกิดการตกตะกอนของตะกอนแขวนลอยต่างๆ ได้ภายในถัง ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic) ซึ่งก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรอบๆ บริเวณถังเติมอากาศได้

ถังเติมอากาศจำเป็นต้องมีประตูน้ำ หรือทางน้ำเข้าออก เพื่อสามารถถ่ายน้ำทิ้งออกจากถังได้หมด ด้วยการติดตั้งช่องระบายน้ำทิ้งที่ก้นถัง หรือเดินท่อระบายน้ำทิ้งออกไปที่สถานีสูบน้ำเสีย เพื่อสูบน้ำในถังเติมอากาศออกให้หมด โดยทั่วไปถ้าเป็นถังเติมอากาศขนาดเล็กอาจใช้วิธีสูบน้ำออกจากถังโดยตรงด้วยเครื่องสูบน้ำแบบ เคลื่อนย้ายได้ ระบบถ่ายน้ำทิ้งของถังเติมอากาศควรออกแบบให้สามารถถ่ายน้ำทิ้งออกให้หมดได้ภายใน 16 ชม. ในการออกแบบโครงสร้างของถัง ควรพิจารณาทั้งเมื่อไม่มีน้ำในถัง และเมื่อมีน้ำเต็มถัง พร้อมทั้งควรพิจารณาถึงการป้องกันการทรุดตัวของถัง และการป้องกันการยกลอยขึ้นมามากด้วย

### 2.3.2 ระบบเติมอากาศแบบตีน้ำ (Mechanical Aeration)

ระบบเติมอากาศแบบตีน้ำที่ใช้ในการเติมอากาศลงไปใต้น้ำ ในขณะที่เดียวกันตีกวนน้ำในบ่อหรือถังเติมอากาศด้วย ระบบเติมอากาศแบบนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

#### 1. เครื่องเติมอากาศแบบอยู่บนผิวน้ำในแนวตั้ง

เครื่องเติมอากาศแบบอยู่บนผิวน้ำในแนวตั้งมีลักษณะลอยอยู่บนผิวน้ำ โดยอาจยึดกับโครงสร้างถาวร หรือสามารถลอยได้ด้วยตัวเอง หลักการในการเติมอากาศลงไปใต้น้ำอาศัยการตีน้ำบริเวณผิวน้ำ เพื่อให้ชั้นผิวน้ำอากาศ-น้ำเกิดการสับเปลี่ยนกันอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการถ่ายเทอากาศลงไปใต้น้ำมากๆ เครื่องเติมอากาศแบบอยู่บนผิวน้ำสามารถแบ่งแยกออกเป็นประเภทต่างๆ ได้โดยอาศัยลักษณะของใบพัด (Impeller) โดยมีขนาดของเครื่องเติมอากาศตั้งแต่ 1 ถึง 150 แรงม้า หรือ 0.75 ถึง 100 กิโลวัตต์

หากแบ่งประเภทตามชนิดจะแบ่งได้เป็นแบบแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal) แบบแรงเหวี่ยง – ตามแกน (Radial-Axial) และแบบตามแกน (Axial)

หากแบ่งประเภทตามรอบความเร็วหมุนของใบพัดจะแบ่งได้เป็นรอบความเร็วต่ำ (Low Speed) และรอบความเร็วสูง (High Speed)

โดยทั่วไปใบพัดชนิดแรงหนีศูนย์กลางจัดอยู่ในพวกความเร็วต่ำ ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 20-60 รอบต่อนาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่ใหญ่ สามารถใช้งานได้ดีทั้งกับบ่อที่รูปร่างต่างๆ หรือขนาดต่างๆ มีการกวนที่อยู่ในระดับดี ราคาเครื่องเติมอากาศค่อนข้างสูง การบำรุงรักษาต้องกระทำสม่ำเสมอสำหรับใบพัดชนิดแบบตามแกน (Axial) จัดอยู่ในพวกรอบความเร็วสูง ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 300-1,200 รอบต่อนาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่เล็ก ดังนั้นจึงสามารถใช้งานได้ดีกับบ่อที่มีขนาดรูปร่างเหมาะสมกับเครื่องเติมอากาศเท่านั้น สามารถใช้ได้กับบ่อที่มีระดับน้ำเปลี่ยนแปลงบ่อย มีราคาเครื่องเติมอากาศที่ไม่สูงมากนัก โดยมากนิยมติดตั้งบนทุ่นลอย

## 2 เครื่องเติมอากาศแบบจุ่มอยู่ในน้ำในแนวตั้ง

เครื่องเติมอากาศแบบจุ่มอยู่ในน้ำในแนวตั้ง จะมีการเติมอากาศแบบกระจายอากาศ (Diffusion) ลงไปในน้ำที่ระดับลึกระดับหนึ่งในถังเติมอากาศ แกนเพลลาใช้มอเตอร์หมุนที่ติดตั้งอยู่เหนือผิวน้ำ ซึ่งทำหน้าที่กวนฟองอากาศและน้ำที่อยู่ถังเติมอากาศ เครื่องเติมอากาศแบบนี้นิยมเรียกเป็นภาษาอังกฤษว่า Turbine Aeration Unit ตัวใบพัดกั้นที่จุ่มอยู่ใต้น้ำจะทำหน้าที่เคลื่อนฟองอากาศให้แตกกระจายออกด้วยความเร็วที่สูงมาก ระบบนี้อาจใช้การหมุนปั่นซึ่งก่อให้เกิดผลการดูดอากาศเข้าไปในน้ำ (Suction effect) และอาจเลือกใช้การเติมอากาศแบบเครื่องเป่าอากาศหรือเครื่องอัดอากาศก็ได้ แต่วิธีใช้เครื่องเป่าอากาศหรือเครื่องอัดอากาศจะมีความสามารถในการเติมออกซิเจนลงไปใต้น้ำได้ปริมาณมากกว่าแบบระบบดูดอากาศ (Suction)

## 3. เครื่องเติมอากาศแบบอยู่บนผิวน้ำในแนวนอน

เครื่องเติมอากาศแบบอยู่บนผิวน้ำในแนวนอนแบบนี้นิยมใช้ในถังเติมอากาศแบบคลองวนเวียน ซึ่งจะทำหน้าที่ทั้งเติมอากาศและการหมุนเวียนของน้ำในถัง รูปลักษณะของเครื่องเติมอากาศแบบนี้นิยมเรียกเป็นภาษาอังกฤษว่า Brush-Type Aerator มีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กกันสนิมขนาดเล็กหลายๆ แผ่นติดอยู่รอบๆ แกนหมุนโดยตัวแกนหมุน โดยตัวแกนหมุนจะกึ่งลอยอยู่ในน้ำ ถูกหมุนด้วยมอเตอร์ เพื่อให้แผ่นเหล็กเหล่านี้ตีน้ำทำให้มีกาถ่ายเทออกซิเจนจากบริเวณผิวน้ำลงสู่น้ำ เครื่องเติมอากาศแบบนี้นิยมใช้กันมานาน และได้มีการพัฒนาตัวแผ่นตีน้ำไปเป็นหลายลักษณะ เช่น ใช้แผ่นพลาสติกแทนการใช้แผ่นเหล็ก ใช้แผ่นไม้เพื่อทำหน้าที่ตีน้ำ เป็นต้น

## 4. เครื่องเติมอากาศแบบจุ่มอยู่ในน้ำในแนวแกนนอน

เครื่องเติมอากาศแบบนี้จะมีหลักการเช่นเดียวกันข้อ 3 เพียงแต่แตกต่างกันที่แผ่นตีน้ำ ซึ่งจะใช้แผ่นจานหรือแผ่นตีน้ำที่ถูกหมุนด้วยมอเตอร์และแกนเพลลา แผ่นจานจะจุ่มอยู่ในน้ำที่ถูกหมุนมอเตอร์และแกนเพลลา แผ่นจานจะจุ่มในน้ำลึกประมาณ  $1/8$  ถึง  $3/8$  ของเส้นผ่านศูนย์กลางจานตีน้ำ ระยะห่างระหว่างจานขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้และความต้องการในการกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปกำลังงานที่ต้องการจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.15 ถึง 1.00 แรงม้าต่อจานตึ้น้ำ (0.1 ถึง 0.75 กิโลวัตต์ต่อจานตึ้น้ำ)

### 2.3.3 ระบบเติมอากาศแบบใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ (High-purity Oxygen)

ระบบเติมอากาศแบบนี้เป็นการเติมออกซิเจน โดยตรงที่มีออกซิเจนบริสุทธิ์แทนการใช้อากาศเติมลงไปใต้น้ำที่ถังเติมออกซิเจน โดยระบบแบบนี้มีถังเติมอากาศซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 3 ถัง หรือ 3 ส่วน ด้วยแผงกั้นขวาง เพื่อทำให้ระบบมีลักษณะการไหลแบบ Plug flow มีฝาปิดที่ถังเติมอากาศด้วยเมื่อออกซิเจนบริสุทธิ์ถูกพ่นเข้าไปภายในถัง ก็จะเกิดการถ่ายเทออกซิเจนลงไปใต้น้ำ และภายในถังจะมีช่องระบายก๊าซออกด้วย ซึ่งจะประกอบไปด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน และประมาณอีก 10-20% ของออกซิเจนที่เติมเข้าไปในตอนต้น ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีววิทยา เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเติมอากาศแบบอื่นๆ ที่ใช้อากาศเติมลงไปใต้น้ำ ระบบนี้สามารถรับการเพิ่มขึ้นของน้ำเสียทั้งด้านความสกปรกและปริมาณได้ดีอีกด้วย สามารถป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นขึ้นใต้น้ำเสียได้ เนื่องจากระบบอยู่ในสภาพมีอากาศตลอดเวลา

## 2.4 ถังตกตะกอน [2]

ถังตกตะกอนมีความสำคัญมากในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เพราะจะทำหน้าที่แยกสลัดจ์ที่มาจากถังเติมอากาศด้วยถังตกตะกอนโดยปกติ ถังตกตะกอนนี้จะมีน้ำไหลเข้าและออกและมีสลัดจ์บริเวณก้นถังถูกสูบกลับไปถังเติมอากาศอีกครั้งและบางส่วนถูกถ่ายทิ้งออกไปเพื่อนำไปบำบัดและกำจัดตะกอนสลัดจ์ ดังนั้นในการออกแบบถังตกตะกอนไม่สามารถใช้วิธีการออกแบบเช่นเดียวกับถังเติมอากาศได้

ต่อไปนี้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ และข้อควรพิจารณาในการออกแบบถังตกตะกอนสำหรับระบบตะกอนเร่ง

1. ควรใช้ค่าอัตราการไหลเข้าสูงสุดของน้ำเสียโดยจะไปใช้กับการคำนวณค่าอัตราน้ำล้นบนพื้นผิวของถัง ค่าอัตราการระเหยและค่าอัตราการของแข็ง
2. ถ้าใช้ถังรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือถังรูปทรงกลม ขนาดความยาวหรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังมีค่าไม่เกินกว่า 10 เท่าของความลึกของน้ำในถัง
3. ระบบถ่ายสลัดจ์ที่ออกจากถังตกตะกอนพบว่า ระบบท่อดูดสลัดจ์ออกโดยอาศัยแรงดันของน้ำในถังเป็นวิธีที่เหมาะสมดี
4. บริเวณทางเข้าของถังตกตะกอนเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าควรมีความเร็วน้ำที่เข้าไม่เกิน 0.5 เมตรต่อวินาที

5. บริเวณทางเข้าของถังตกตะกอนเป็นแบบวงกลมจะมีแผ่นกั้นวงกลมติดตั้งไว้ ส่วนกลางของถังตกตะกอนซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.15-0.20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังตกตะกอน

6. ค่าอัตราการระเหยของแข็งประมาณ 2.5 และ 6.2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร·ชั่วโมง ณ อัตราการไหลเข้าโดยเฉลี่ยและสูงสุด ตามลำดับ

7. ค่าอัตราน้ำล้นของถัง ณ อัตราไหลเข้าสูงสุดโดยไม่ได้รวมถึงสลัดจ์ที่ไหลวนกลับเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบขนาดของถังตกตะกอน โดยพิจารณาความเข้มข้นของน้ำสลัดจ์และปริมาณที่ไหลวนกลับ

8. อัตราการระเหยควรมีค่าต่ำกว่า 370 ลบ.ม. ต่อเมตร·วัน เมื่อติดตั้งฝายห่างจากขอบถังอย่างน้อย 3.5 เมตร และมีค่าต่ำกว่า 250 ลบ.ม ต่อ เมตร·วัน เมื่อตั้งฝายเกือบใกล้ชิดขอบถัง ทั้งนี้ต้องเป็นค่าที่คำนวณจากค่าอัตราไหลเข้าสูงสุด

## 2.5 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง [1]

ในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจะต้องมีการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ค่า F/M (Food to Microorganism ratio)

ปริมาณอาหาร (Food) หมายถึง ปริมาณสารอินทรีย์ที่แสดงในรูปของค่า BOD ที่เข้าสู่ถังเติมอากาศในเวลา 1 วัน คำนวณได้ตามสมการที่ (2.6)

$$\begin{aligned} F &= Q \times BOD \quad (\text{g/d}) & (2.6) \\ \text{โดยที่} \quad Q &= \text{อัตราการไหลของน้ำเสีย} \quad (\text{m}^3/\text{d}) \\ BOD &= \text{ค่า BOD ในน้ำเสีย} \quad (\text{mg/L หรือ g/m}^3) \end{aligned}$$

มวลจุลินทรีย์ (Microorganism) หมายถึง น้ำหนักของจุลินทรีย์ทั้งหมดในถังเติมอากาศ โดยจะเรียกปริมาณจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในถังเติมอากาศว่า MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid) มีหน่วยเป็น mg/L โดยการหามวลจุลินทรีย์จากค่า MLSS แสดงดังสมการที่ (2.7)

$$\begin{aligned} M &= V \times MLSS & (2.7) \\ \text{โดยที่} \quad V &= \text{ปริมาตรของถังเติมอากาศ} \quad (\text{m}^3) \\ MLSS &= \text{ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่แขวนลอย} \\ &\quad \text{ในถังเติมอากาศ} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad F/M = \frac{Q \times BOD}{V \times MLSS} \quad (2.8)$$

2. อายุตะกอน (Sludge age หรือ Sludge Retention Time, SRT)

อายุของตะกอนหรือเวลาที่ตะกอนอยู่ในถังเติมอากาศมีความสัมพันธ์กับสถานะของเมตาบอลิซึมการหาอายุตะกอนหรือ SRT หาได้จากสมการที่ (2.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SRT = \frac{V \times MLSS}{WAS_{ss} \times Q_w} \quad (2.9)$$

โดยที่	SRT	=	เวลาที่ตะกอนอยู่ในระบบหรืออายุตะกอน (วัน)
	V	=	ปริมาตรของถังเติมอากาศ
	MLSS	=	ความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศ (mg/L, g/m <sup>3</sup> )
	WAS <sub>ss</sub>	=	ความเข้มข้นของตะกอนในท่อสูบน้ำทิ้ง (mg/L)
	Q <sub>w</sub>	=	อัตราการสูบน้ำทิ้ง (m <sup>3</sup> /d)

อายุของตะกอนหรือเวลาที่ตะกอนอยู่ในระบบมีหน่วยเป็นวัน ในขณะที่ Hydraulic Retention Time (HRT) หรือเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบมีหน่วยเป็นชั่วโมง การที่ตะกอนอยู่ในระบบนานกว่าน้ำเสียโดยการหมุนเวียนจุลินทรีย์กลับมา เป็นการเพิ่มมวลจุลินทรีย์ ในถังเติมอากาศทำให้มีการเจริญเติบโตและการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ค่า BOD จึงลดลงอย่างรวดเร็ว เวลาที่น้ำเสียเข้ามาอยู่ในระบบเพียง 3-10 ชั่วโมง ก็เพียงพอที่จุลินทรีย์จะบำบัดสารอินทรีย์ให้ได้น้ำที่มีค่า BOD ต่ำและปล่อยทิ้งไป นอกจากนี้อายุตะกอนยังมีผลต่อการจมตัวของตะกอนด้วย ถ้าตะกอนมีอายุน้อยจะจมตัวได้ไม่ดี ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมอายุตะกอนด้วยการสูบน้ำทิ้ง

### 3. อัตราการสูบน้ำทิ้ง (Return sludge Rate, R)

การสูบน้ำทิ้งจากถังตกตะกอนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศเพื่อไม่ให้ตะกอนตกค้างอยู่ในถังตกตะกอนนานเกินไปและควบคุมความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศ อัตราการสูบน้ำทิ้งกลับคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำเสียที่ไหลเข้า หาได้จากสมการที่ (2.10)

$$R = \frac{Q_R}{Q} \quad \text{หรือ} \quad R = \frac{Q_R}{Q} \times 100 \quad (2.10)$$

โดยที่	Q (R)	=	{Q (W) x MLSS(A)} / {MVSS (R) - MLSS(A)}
	Q (E)	=	{MLSS(A) x Vol.(A)} / {Sludge Age x MLSS(R)}
	Q (R)	=	อัตราการสูบน้ำทิ้งย้อนกลับ (ลบ.ม./วัน)
	Q (E)	=	อัตราการสูบน้ำทิ้ง (ลบ.ม./วัน)
	Q (W)	=	อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ (ลบ.ม./วัน)
	MVSS(A)	=	ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ภายในบ่อเติมอากาศ (m <sup>3</sup> /L)
	MVSS (R)	=	ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ของตะกอนย้อนกลับ (m <sup>3</sup> /L)
	Vol.(A)	=	ปริมาตรของบ่อเติมอากาศ (ลบ.ม.)
	Sludge Age	=	อายุตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ (วัน)

### 4. ประสิทธิภาพ (Efficiency) ของการบำบัด

ประสิทธิภาพของการบำบัดหาได้จากสมการที่ (2.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \text{ Efficiency} = \frac{\text{BOD}_{\text{in}} - \text{BOD}_{\text{eff}}}{\text{BOD}_{\text{in}}} \times 100 \quad (2.11)$$

### 5. การจมตัวของตะกอน (Sludge Settle ability)

ความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบ AS นอกจากขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นพลังงานและเซลล์ใหม่แล้ว ยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการจมตัวของตะกอน จุลินทรีย์ ถ้าตะกอนจมตัวไม่ดี เช่น ในกรณีที่เกิดแบคทีเรียหัวเข็มหมุด (Pin flocc) หรือแบคทีเรียพวกเส้นใย (Filamentous) การเกิดปัญหาตะกอนลอยอืด (Sludge bulking) อันเนื่องมาจากการเดินระบบที่ไม่มีประสิทธิภาพ เช่น เติมน้ำอากาศไม่พอ ขาดแคลนสารอาหาร มีสารพิษเข้าระบบ หรือ Overloading ทำให้ระบบล้มเหลว เกิดตะกอนอืดไหลไปกับน้ำทิ้ง ทั้งนี้การจมตัวของตะกอนขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วน F/M และอายุตะกอน กล่าวคือในระบบที่มีการเติมน้ำอากาศอย่างเพียงพอ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ดี มวลของจุลินทรีย์มีค่าสูงเมื่อเทียบกับอาหาร จึงทำให้มีการจมตัวที่ดี แต่ถ้ามีการเติมน้ำอากาศอย่างไม่เพียงพอ จุลินทรีย์เจริญได้ไม่ดีมีขนาดเซลล์เล็กและว่องไวทำให้การจมตัวในถังตกตะกอนยากกว่า ประสิทธิภาพการลด BOD ต่ำกว่าโดยทั่วไปค่า F/M ที่เหมาะสมต่อการบำบัดทั่วไปเป็น 0.2-0.5 สามารถลด BOD ได้มากและตะกอนจมตัวได้ดี ปริมาณถังเติมน้ำอากาศต้องไม่ใหญ่เกินไปให้มีปริมาตรเพียงพอสำหรับเติมน้ำอากาศให้น้ำเสีย 5-7 ชั่วโมง การตรวจสอบการจมตัวของตะกอนทำได้โดยการหาค่า Sludge Volume Index (SVI) ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของตะกอน ต่อน้ำหนักตะกอน 1 กรัมโดยหาได้จากสมการที่ (2.12)

$$\text{SVI} = \frac{V}{\text{MLSS}} \times 1,000 \quad (\text{ml/g}) \quad (2.12)$$

โดยที่  $V =$  ปริมาตรของกระบอกตวงในน้ำ 1 ลิตร

ถ้า SVI มีค่าต่ำกว่า 100 การจมตัวของตะกอนจะดีมาก ถ้ามากกว่า 100 ml/g การจมตัวลดลงอาจมีส่วนอาจมีตะกอนบางส่วนไหลไปกับน้ำทิ้ง ถ้ามากเกินไปเกิน 200 ml/g ระบบมีปัญหาเกิดตะกอนลอยอืด (Sludge bulking) โดยทั่วไปจะเดินระบบให้มีค่า SVI อยู่ในช่วง 75-100 ml/g

## 2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบตะกอนเร่ง [5]

ในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจะต้องมีการคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

### 1. ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบตะกอนเร่ง ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบโดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง(มีอาหารมาก) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป (Dispersed growth) แทนที่การรวมตัวกันนั้นจะเป็นกลุ่มก้อนดี (Floc) ส่งผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี ทำให้น้ำที่ออกจากระบบขุ่น และมีค่า

สารอินทรีย์ หรือ บีโอดีเหลืออยู่สูงหรืออาจจะเกิดขึ้นในทางตรงกันข้าม คือมีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ(มีอาหารน้อย) จนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลงซึ่งถึงแม้ตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็วแต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็ก ๆ ตกลงมาหมดได้ ทำให้น้ำที่ออกจากถังตะกอนขุ่น

## 2. อาหารเสริม

จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม (Nutrient) ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก นอกเหนือจาก สารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งจุลินทรีย์นำมาใช้เป็นพลังงาน ปกติแร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียชุมชน แต่อาจจะมีไม่พอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดสารอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างตะกอนขนาดเล็กเติบโตได้ไม่ดีจนทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใย (Filamentous) เจริญเติบโตได้มากกว่าซึ่งจะทำให้ตะกอนร่วนแตกตะกอนได้ยากและเกิดเป็นชั้นอัดขึ้นมาสูงในถังและอาจไหลล้นออกมากับน้ำทิ้งจนระบบไม่สามารถทำงานต่อไปได้อีก นอกจากนั้นการที่จุลินทรีย์หลายชนิดเจริญเติบโตไม่ดีจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานต่าง ๆ ของระบบต่ำลงด้วย

## 3. ออกซิเจนละลายน้ำ

ในถังจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณของอากาศหรือออกซิเจน ที่ใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูง จุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากก็จะต้องการออกซิเจนมาก แต่ที่อุณหภูมิสูง ออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิ่มตัว (Saturation Value) ต่ำ จึงทำให้ต้องใช้ออกซิเจนมากเพื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น ในทางกลับกันหากอุณหภูมิต่ำก็จะมีความต้องการการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

## 4. ระยะเวลาในการบำบัด (Hydraulic retention time)

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจะต้องมีมากพอเพียงที่จุลินทรีย์จะใช้ในย่อยสลายสารต่างๆ หากมีระยะเวลาต่ำเกินไปสารที่สารถ่อยยาก ๆ จะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้มีค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก

## 5. ค่าพีเอช

พีเอช(pH)เป็นค่าแสดงความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอช 6.5-8.5 ในกรณีที่ระบบใช้แบคทีเรีย

## 6. สารพิษ

สารเป็นพิษแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ พิษแบบเฉียบพลัน (Acute Toxicity) ซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง และแบบพิษออกฤทธิ์ช้า (Chronic Toxicity) ซึ่งใช้เวลานานและค่อย ๆ ตายการเกิดพิษเฉียบพลันสังเกตดูได้ง่ายเนื่องจากมีผลเกิดขึ้นรวดเร็ว สารพิษจำพวกนี้ ได้แก่ ไซยาไนด์ อาร์เซนิก เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดง และโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนักต่าง ๆ จุลินทรีย์จะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด นอกจากนี้อาจจะเกิดจากสารอินทรีย์ก็ได้ เช่น แอมโมเนียซึ่งมีค่าความเข้มข้นสูงเกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### 7. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการตะกอนเร่ง โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของน้ำในระบบทำได้ยาก ดังนั้นผู้ควบคุมจึงต้องปรับค่าความเข้มข้นของตะกอนเร่งในถัง หรือ MLVSS ให้มีค่าน้อยเมื่อมีอุณหภูมิของอากาศร้อนและเพิ่มปริมาณให้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำ

#### 8. การกวน

ภายในถังจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึงในชั้นเดิมอากาศ เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอนและทำให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัดโดยใช้เป็นอาหารและลดมลสารต่าง ๆ รวมทั้งจะได้จับตัวกันเป็นตะกอนขนาดเล็กที่ดี การกวนที่ถูกต้องจะป้องกันมิให้น้ำเสียไหลลัดวงจรและทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูง การกวนที่สมบูรณ์จะต้องมีค่า MLVSS และค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำสม่ำเสมอทั่วถึง

#### 9. อัตราการไหลของน้ำเสีย

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสีย ที่ส่งเข้าระบบบำบัดมีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยา หากน้ำเสียมีอัตราการไหลของน้ำเสียมากขึ้นจะทำให้มีระยะเวลาในการบำบัดน้อยลง มีค่าสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการตกตะกอนจะลดลงด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง ส่วนอัตราการไหลที่น้อยเกินไปก็มีผลเสียเช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงควรมีการควบคุมให้มีการส่งน้ำเสียเข้ามาบำบัดอย่างสม่ำเสมอในอัตราที่ใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบไว้

### 2.7 วิธีการกำจัดตะกอนส่วนเกิน [4],[6],[8],[9]

ในการกำจัดตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง สามารถทำได้หลายวิธี โดยวิธีที่นิยมได้แก่

#### 1. การฝังกลบ

การนำตะกอนส่วนเกิน ไปฝังกลบเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในปัจจุบัน แต่วิธีการนี้อาจมีต้นทุนสูงหากต้องสร้างหลุมฝังกลบเอง และยังเป็นภารกิจตะกอนส่วนเกินโดยเปล่าประโยชน์ นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างความไม่พอใจกับประชาชนที่อาศัยใกล้บริเวณหลุมฝังกลบ โดยทั่วไปการฝังกลบมีขั้นตอนดังนี้

- การปรับเสถียร คือการปรับสภาพของเสียอันตรายให้มีความเป็นพิษน้อยลง เช่น การปรับ pH ให้เป็นกลางหรือการห่อหุ้มโดยผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อป้องกันการชะล้างและให้กากของเสียอยู่ในสภาพคงตัว

- การฝังลงหลุมฝังกลบ โดยที่หลุมฝังกลบจะมีการออกแบบและเลือกพื้นที่สำหรับสร้างหลุมเป็นอย่างดีตามหลักสุขาภิบาล นอกจากนี้ยังต้องมีการควบคุมตลอดระยะตามที่ของเสียจะย่อยสลาย

## 2. ระบบเผาตะกอนส่วนเกิน

ระบบเผาตะกอนส่วนเกินจะทำการเปลี่ยนของแข็งอินทรีย์ให้เป็นก๊าซ  $\text{CO}_2$  และน้ำด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ข้อดีของระบบเผาตะกอนส่วนเกิน

- สามารถลดปริมาณตะกอนส่วนเกินได้มาก ทำให้ปริมาณตะกอนส่วนเกินที่นำไปทิ้งสุดท้ายมีน้อย

- สามารถกำจัดสารพิษและเชื้อโรคได้มาก

- อาจนำพลังงานที่ได้กลับมาใช้อีก

- ทำให้ไม่ต้องมีพื้นที่ที่ทิ้งตะกอนส่วนเกินขนาดใหญ่

ข้อเสียของระบบเผาตะกอนส่วนเกิน

- มีค่าใช้จ่ายสูงทั้งค่าลงทุนและค่าดำเนินการ

- ต้องการผู้ดำเนินการที่มีประสบการณ์สูง

- ผลที่เกิดจากการเผาตะกอนส่วนเกินคืออากาศเสียและเถ้า อาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

- การนำกากตะกอนส่วนเกินที่เผาแล้วไปทิ้งอาจเป็นสารเสี่ยงอันตรายได้

ในการเผาตะกอนส่วนเกินหากตะกอนส่วนเกินได้ถูกทำให้แห้งด้วยเครื่องทำความร้อน จะช่วยให้เตาเผาทำงานได้ง่ายขึ้นมาก ในหลายแห่งได้ใช้เตาเผาขยะชุมชนมาเผาพร้อมกับตะกอนส่วนเกินด้วยเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายลง

## 3. ระบบการทำไอโซเนชัน

ไอโซเนชันเป็นตัวออกซิแดนท์ (Oxidant) ที่ดีมาก ซึ่งสามารถทำลายตัวจุลชีพที่ไม่ต้องการได้ดี ด้วยการไปทำลายผนังเซลล์ของตัวจุลชีพ ทำให้ปริมาณของจุลชีพลดลงและยังเป็นการไปเพิ่มค่าอาหาร (ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส) ของจุลชีพอีกด้วย การทำไอโซเนชันยังส่งผลต่อน้ำหลังผ่านการบำบัดน้อยมากเพราะไอโซเนชันจะไม่ไปตกค้างในน้ำเนื่องจาก ไอโซเนชันจะแตกกระจายในน้ำที่ได้อย่างรวดเร็วด้วยการเป็นออกซิเจน และต้นทุนในการลงทุนและดำเนินการน้อยเป็นวิธีที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมและไม่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์เพราะไอโซเนชันเป็นสารที่ไม่เสถียรจะสลายตัวได้ง่ายและรวดเร็วมาก

โอโซนเป็นก๊าซที่สามารถนำมาใช้ฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ สำหรับการฆ่าเชื้อในน้ำหึ่งยังไม่เป็นที่นิยมนัก เพราะมีราคาแพงกว่าคลอรีน โอโซนก็มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับคลอรีน คือสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพสูง และในขณะเดียวกันยังช่วยดับกลิ่น ได้ดีกว่าคลอรีน หลังจากทำปฏิกิริยาแล้ว ไม่มีสารตกค้างที่เป็นอันตราย เป็นตัวทำลายสารดีดีที ยาฆ่าแมลง และสารก่อมะเร็งได้อีกด้วย

#### จุดเด่นของการใช้โอโซน

- จุดย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยการสลายพันธะ Carbon-Nitrogen ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว

- กำจัดสี รส และกลิ่นของน้ำเสียได้

- ใช้พลังงานในการทำปฏิกิริยาต่ำ โดยทั่วไปโอโซนจะละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 35 องศาเซลเซียส ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดโอโซน จึงเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานกระตุ้นในการทำให้เกิดปฏิกิริยา

- ปฏิกิริยาโอโซนไม่ก่อให้เกิด Trihalomethanes (THMs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งแต่โอโซนยังสามารถสลายสารพิษจากปฏิกิริยา (By-product) ของคลอรีน ได้แก่ Chloramine ซึ่งมีกลิ่นไม่ดีและทำให้ระคายเคืองต่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย, Chloro-organic compounds หรือ Trihalomethanes (THMs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

- โอโซนไม่ทำให้ pH ของน้ำเปลี่ยนแปลง

- โอโซนสามารถคุมการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำ (Algae) และราเมือก (Fungi) ได้ดี

- เมื่อทำปฏิกิริยาแล้วจะสลายตัวได้เร็วมาก (ภายใน 1 ชั่วโมง) ซึ่งถ้าใช้โอโซนในระบบบำบัดน้ำเสีย ขั้นสุดท้ายสามารถปล่อยน้ำลงคลองสาธารณะได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม

- เพิ่ม Dissolved Oxygen (DO) ในน้ำ

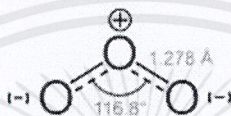
- สามารถสลายกลิ่นได้ดี เช่น กลิ่นจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) หรือก๊าซไข่เน่าซึ่งพบมากในน้ำเสียที่ค่า DO ต่ำ

- สามารถสลายสารพิษได้ดีเช่น จาก Cyanides, Arsenic เป็นต้นโดยการสลายโครงสร้างของสารพิษโดยตรง

- ค่าใช้จ่ายในการใช้งานและบำรุงรักษาต่ำมากและใช้ได้ตลอดไป ไม่ต้องเปลี่ยนอันใหม่เหมือนสารเคมีดับกลิ่นอื่นๆ

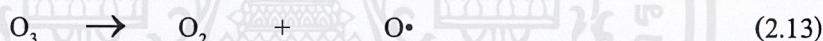
## 2.8 โอโซน [9]

โอโซน (Ozone หรือ  $O_3$ ) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม รูปร่างโมเลกุลของโอโซนมีการจัดเรียงตัวในลักษณะค้งรูปที่ 2.7 ซึ่งมีคุณสมบัติต่างกันอย่างมากมายคือ  $O_2$  จะสามารถคงสภาพอยู่ได้หลายสภาวะ หรือ กล่าวได้ว่ามีความเสถียร (Stable) แต่ก๊าซโอโซน ( $O_3$ ) จะไม่คงตัวหรือไม่เสถียร (Unstable) เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความร้อน ความดัน และการสัมผัสกับสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) อย่างรวดเร็ว ซึ่ง  $O_3$  มีปฏิกิริยาสูงถึง 2.07 Volt (Oxidation Potential)

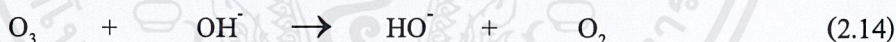


รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโอโซน

โอโซนเป็นออกซิแดนท์ (Oxidant) ที่รุนแรง โอโซนที่ละลายอยู่ในน้ำมีความเสถียรค่อนข้างต่ำและสลายตัวกลายเป็นออกซิเจนได้อย่างรวดเร็วในช่วงแรกซึ่งมีอันดับของปฏิกิริยาเป็น 1 ดังสมการที่ (2.13) ซึ่ง การนำโอโซนมาใช้งานจึงต้องผลิตแล้วนำมาใช้ในทันที



โอโซนยังสลายตัวเป็นสารออกซิแดนท์อีกรูปหนึ่งคือ อนุมูลของไฮดรอกซิล (Hydroxyl free radical หรือ  $\cdot OH$ ) ดังปฏิกิริยาในสมการที่ (2.14) ถึง (2.15)



จากปฏิกิริยาข้างต้นจึงสามารถนำโอโซนมาใช้ประโยชน์ในการฆ่าเชื้อโรค เชื้อแบคทีเรีย บำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

### คุณสมบัติเด่นของโอโซน

- มีกลิ่นคล้ายคลอรีนเจือจาง
- มีสีน้ำเงินเข้ม จะมองเห็นได้เมื่อความเข้มข้นสูงมากกว่า 1,000 ppm
- สามารถละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจน ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าการละลายของออกซิเจนและโอโซนแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบการละลายของโอโซน และออกซิเจนในน้ำ

ก๊าซ(% โดยน้ำหนักในอากาศ)	การละลายในน้ำที่อุณหภูมิ(มิลลิกรัม/ลิตร)			
	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C
ออกซิเจน				
100%	70.5	54.9	44.9	38.2
21%	14.8	11.5	9.4	8.0
โอโซน				
100%	1,374.3	1,114.9	789.0	499.6
21%	55.0	44.6	31.6	20.0

### ประสิทธิภาพในการละลายน้ำของโอโซน

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของโอโซน

1. อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณ โอโซนที่ละลายในน้ำลดลง เนื่องจาก โอโซนสลายตัวได้เร็วขึ้น ความคงตัวของ โอโซนรวมทั้งความเข้มข้นเริ่มต้นของโอโซน ขึ้นกับ อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

2. ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย (pH) มีความสำคัญในการทำปฏิกิริยาของ โอโซน ต่อสารอินทรีย์ต่างๆ ในสถานะที่มีค่า pH น้อยกว่า 7 โอโซนจะทำปฏิกิริยากับอินทรีย์สารต่างๆ ได้ ช้า แต่ที่ pH มากกว่า 8 ปฏิกิริยาจะเกิดอย่างรวดเร็ว เนื่องจากโอโซนสลายตัวให้ ไฮดรอกซีแรดคัล (OH) ที่เป็นออกซิไดซ์ที่รุนแรง

3. ความเค็มของน้ำ เมื่อน้ำทะเลมีค่าความเค็มสูงขึ้น จะทำให้โอโซนสลายได้ลดน้อยลง ถ้า ตัวแปรอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิ และค่า pH ของน้ำทะเลมีค่าคงที่

4. คุณสมบัติของสารละลาย ปริมาณของสารประกอบ และอนุภาคแขวนลอยต่างๆ ในน้ำมี ความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายของก๊าซ โอโซน กล่าวคือถ้ามีสารประกอบ และอนุภาคต่างๆ ในปริมาณมาก จะทำให้ปริมาณ โอโซนละลายลดลง

5. ขนาดของฟองก๊าซโอโซน จำนวนและขนาดช่องของหัวทรายที่ใช้พ่นก๊าซ โอโซนมีผล ต่อขนาดของฟองก๊าซโอโซน ฟองก๊าซขนาดใหญ่ ทำให้การผสมผสานระหว่างระหว่างก๊าซโอโซน กับน้ำไม่สมบูรณ์ ปริมาณ โอโซนละลายจึงมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับปริมาณ โอโซนละลายที่ได้จาก ฟองก๊าซขนาดเล็ก นอกจากนี้ความดันอากาศในการผลิตก๊าซ โอโซนยังมีผลต่อขนาดของฟอง เนื่องจากที่ความดันสูง จะทำให้ฟองก๊าซมีขนาดใหญ่ ทำให้โอโซนละลายได้น้อย

6. วิธีการที่โอโซนสัมผัสกับสารละลาย การเป่าพ่นก๊าซโอโซนและนำไปพร้อมๆ กันทำ ให้เกิดการแยกชั้นระหว่างก๊าซและของเหลวอย่างชัดเจน ปริมาณ โอโซนละลายที่ได้จึงมีค่าน้อยแต่

การเป่าฟองโอโซนลงไปในพื้นที่ตั้งอยู่ในคอลัมน์ จะทำให้โอโซนผสมกับของเหลวได้ดีกว่าปริมาณโอโซนละลายที่ได้จึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

## 2.9 การประยุกต์ใช้งานก๊าซโอโซน [9]

เนื่องจากก๊าซโอโซนมีสมบัติสำคัญ คือ เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมากและมีค่าศักย์ไฟฟ้าของการรีดักชัน 2.07 โวลต์ จึงสามารถออกซิไดซ์หรือเติมออกซิเจนให้กับสารเคมีหลายชนิด ปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเกิดในการระบบของน้ำ ในปัจจุบันมีการนำก๊าซโอโซนมาใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายด้าน

การนำก๊าซโอโซนไปใช้ในการบำบัดน้ำมี 2 แบบ คือ

1. การบำบัดน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ปกติน้ำดังกล่าวจะมีสารเจือปนอยู่ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย สลัด และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งสารเหล่านี้ล้วนแต่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงต้องทำการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

2. การปรับปรุงคุณภาพน้ำดี เช่น น้ำดื่ม น้ำใช้ในกระบวนการผลิต น้ำใช้ในหม้อน้ำ น้ำหล่อเย็น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาต่อกระบวนการผลิต จึงจำเป็นต้องทำการบำบัดให้ได้มาตรฐานก่อนใช้งาน

ตัวอย่างสำหรับการนำโอโซนไปใช้ประโยชน์เพื่อวัตถุประสงค์ในการกำจัดสารที่ไม่ต้องการมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 1) การกำจัดเหล็กและแมงกานีส

ไอออน (II) ไอออนที่สามารถละลายน้ำได้ จะถูกออกซิไดซ์อย่างรวดเร็วด้วยก๊าซโอโซน กลายเป็นไอออน (III) ไอออนที่ไม่ละลายน้ำ ในทางทฤษฎีก๊าซโอโซนประมาณ 0.4 มิลลิกรัม จะใช้ออกซิไดซ์ไอออน (II) ไอออน 1 มิลลิกรัม จากนั้นไอออน (III) ไอออน จะตกตะกอนอยู่ในรูปไอออน (III) ไฮดรอกไซด์ และสามารถกำจัดออกจากน้ำได้

### 2) การกำจัดสี

สีที่เกิดขึ้นในน้ำดื่มโดยปกติแล้ว จะเกี่ยวข้องกับการเกิดสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำในธรรมชาติ และส่วนมากมีสาเหตุมาจากรูปแบบพันธะคาร์บอน-คาร์บอนที่ประกอบด้วยพันธะคู่และพันธะเดี่ยวสลับกัน หรือเกิดกลุ่มสีที่ประกอบด้วยสารประกอบที่มีหมู่  $-OH$  และ  $-NH_2$  ซึ่งเรียกว่า โครโมฟอร์ (Chromophores)

ก๊าซโอโซนมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับพันธะคู่คาร์บอน-คาร์บอน และกลุ่มโครโมฟอร์ิก ( $-OH$  และ  $-NH_2$ ) โดยทั่วไปแล้วการกำจัดสีด้วยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเป็นการทำลายกลุ่มเหล่านี้ อย่างไรก็ตามไม่ได้หมายความว่าสารประกอบอินทรีย์จะต้องถูกกำจัดทั้งหมด แต่จะกำจัดกลุ่มที่ทำให้เกิดสีเริ่มต้น ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปฏิกิริยาจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารพวกคีโตน อัลดีไฮด์ และกรด องค์กรประกอบที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารประกอบที่ทำให้เกิดสี ปริมาณของโอโซนที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา และสถานะที่มีผลอื่นๆ

### 3) การกำจัดรสและกลิ่น

รสและกลิ่นที่พบในการบำบัดน้ำจะเกี่ยวข้องกับปริมาณของสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ที่อาจจะไวต่อการออกซิไดซ์ด้วยโอโซน ในความเป็นจริงนั้นพบว่าก๊าซโอโซนเป็นสารออกซิไดซ์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการควบคุมรสของสารอินทรีย์ และสารประกอบที่มีกลิ่น ประสิทธิภาพดังกล่าวนี้สามารถรวมถึงการกำจัดรสและกลิ่นของสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดโดยธรรมชาติ เช่น เห็ดรา และพืชที่เน่าเปื่อย รวมทั้งสารประกอบในอุตสาหกรรม เช่น ฟีนอล เป็นต้น แม้ว่าประสิทธิภาพโดยทั่วไปของโอโซนจะสามารถควบคุมรสและกลิ่นได้ แต่ความสามารถของโอโซนไม่จำเป็นต้องใช้ได้ทั่วไป เพราะความว่องไวของโมเลกุลโอโซนจะขึ้นกับลักษณะของสารประกอบที่ถูกออกซิไดซ์

โอโซนสามารถเป็นสารออกซิแดนท์ที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับกำจัดรสและกลิ่นที่เกิดจากแพลนตอน ปกติแล้วสามารถกำจัดกลิ่นควาได้อย่างสมบูรณ์ แต่ไม่สามารถกำจัดรสฝาดบางชนิดได้ ขณะที่กลิ่นคล้ายผลไม้ถูกผลิตขึ้นในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของส่วนประกอบบางชนิดได้ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดรสและกลิ่น การเกิดกลิ่นคล้ายผลไม้โดยปกติจะเกี่ยวข้องกับการเกิดอัลดีไฮด์

### 4) เพิ่มการรวมตัวของตะกอน

การออกซิเดชันสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติด้วยโอโซน เช่น องค์กรประกอบอินทรีย์ที่ละลายในน้ำตามธรรมชาติ สามารถส่งผลกระทบต่อกระบวนการรวมตัวของตะกอน เมื่อใช้ปริมาณ โอโซนต่ำๆ การออกซิเดชันบางส่วน (Partial oxidation) สามารถเกิดขึ้นได้ เป็นผลให้เกิดการปรับปรุงองค์กรประกอบโครงสร้างที่แน่นของสารอินทรีย์ โดยไม่มีการแตกโครงสร้างโมเลกุล สารอินทรีย์จำนวนมากที่ถูกออกซิไดซ์บางส่วนเหล่านี้พบว่า สามารถทำอันตรกิริยากันมีผลทำให้เกิดการรวมตัวกัน การประยุกต์ใช้โอโซนที่ความเข้มข้นต่ำอาจจะปรับปรุงการสะเทิน (Neutralization) และการรวมกันเป็นก้อนของคอลลอยด์ (Agglomeration)

### 5) การนำไปใช้ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย

ผลของโอโซนที่มีต่อเชื้อแบคทีเรีย ปฏิกิริยาการเข้าทำลายเซลล์สิ่งมีชีวิตของโอโซน เริ่มจากการที่โอโซนจะออกซิไดซ์เยื่อหุ้มเซลล์ที่บริเวณพื้นระอุของกรดไขมัน จนเกิดการเสียหายและแยกออกจากกัน จากนั้นโอโซนจะเข้าไปออกซิไดส์สารชีวโมเลกุลอื่นๆ ภายในเซลล์ ทำให้การสร้างโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ และโครงสร้างโมเลกุลหยุดชะงัก เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างของ DNA และ RNA เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อออกแกแนลส์ต่างๆ ในเซลล์ถูกทำลายจะทำให้ตาย

ในที่สุด อย่างไรก็ตามถ้าเชื้อหุ้มเซลล์ไม่ถูกทำลายจนแตกแยกออกจากกัน เซลล์จะกลับมามีชีวิตใหม่ได้

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [6],[7]

Sheng-bing He, Gang Xuec และ Bao-zhen Wang. [6] ศึกษาเกี่ยวกับการลดตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียด้วยตะกอนเร่ง (Activated Sludge) แบบเติมอากาศ ด้วยวิธีการทำโอโซนชั้น โดยโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ว่องไวมากโดยจะไปทำลายผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ที่อยู่ในตะกอนเร่งทำให้จุลินทรีย์นั้นตายลง แล้วจุลินทรีย์ที่ตายจะสามารถย่อยสลายไปเองได้ เมื่อย่อยสลายยังได้ธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ( ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส ) ซึ่งธาตุอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย และพบว่าต้นทุนที่ใช้ลดตะกอนส่วนเกินเท่ากับ 0.096 หยวนต่อปริมาตรของน้ำเสีย หรือประมาณไม่ถึง 50 สตางค์ต่อน้ำเสีย 1 m<sup>3</sup>

Tan Phong Nguyen, Nicholas P. Hankins, Nidal Hilal.[7] ศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรม การรวมตะกอนและคุณสมบัติสุดท้ายของตะกอนเร่งและตะกอนสังเคราะห์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ตะกอนสังเคราะห์ที่ใช้เตรียมจากเส้นใยโพลีสไตรีนแทนเส้นใยธรรมชาติ ศึกษาพฤติกรรมรวมตะกอนหลังจากออกจากถังทำปฏิกิริยา โดยมีการเพิ่ม CaCl<sub>2</sub> ในความเข้มข้นต่างๆ พบว่าตะกอนเร่งมีการตกตะกอนที่ดีกว่าตะกอนสังเคราะห์ และการเพิ่มความเข้มข้นของ CaCl<sub>2</sub> ช่วยทำให้ตะกอนมีการรวมตัวและตกตะกอนดีขึ้น

## บทที่ 3

### การดำเนินการ

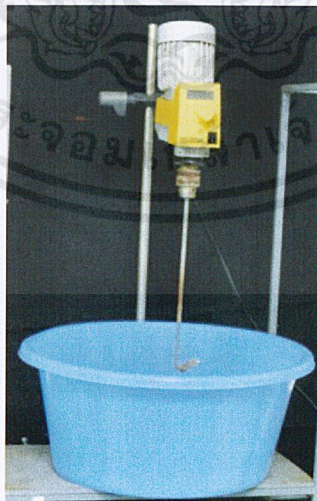
ในการศึกษาโครงการนี้มีขั้นตอนการดำเนินงาน 4 ขั้นตอน คือ ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งเพื่อใช้สำหรับในห้องปฏิบัติการ จัดเตรียมจุลินทรีย์ให้จำนวนมากพอสำหรับการทดลอง ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาในถังเติมอากาศของระบบตะกอนเร่ง และศึกษาหา สภาวะการใช้ไอโซนที่มีผลต่อการกำจัดตะกอนและCOD

#### 3.1 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการประกอบระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งจากวัสดุที่หาง่ายและมีในท้องตลาด โดยทั้งระบบขึ้นมามีประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

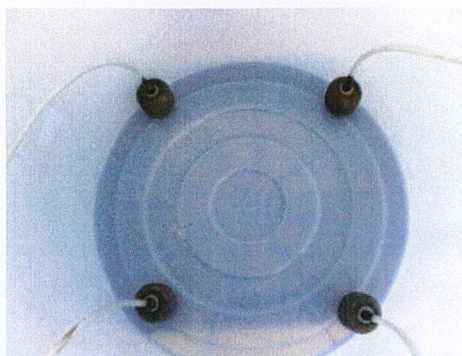
1. ถังเติมอากาศและระบบเติมอากาศระบบนี้ประกอบด้วย
  - 1) กะละมังพลาสติกแบบก้นลึกขนาดประมาณ 20 ลิตร
  - 2) มอเตอร์และใบพัดกวน
  - 3) เครื่องอัดอากาศ
  - 4) หัวกระจายอากาศแบบหัวทรายจำนวน 4 หัวที่ใช้สำหรับตู้ปลา

ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 ถังเติมอากาศและมอเตอร์พร้อมใบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การวางตัวของหัวกระจายอากาศภายในถังเติมอากาศ

## 2. ถึงตกตะกอน

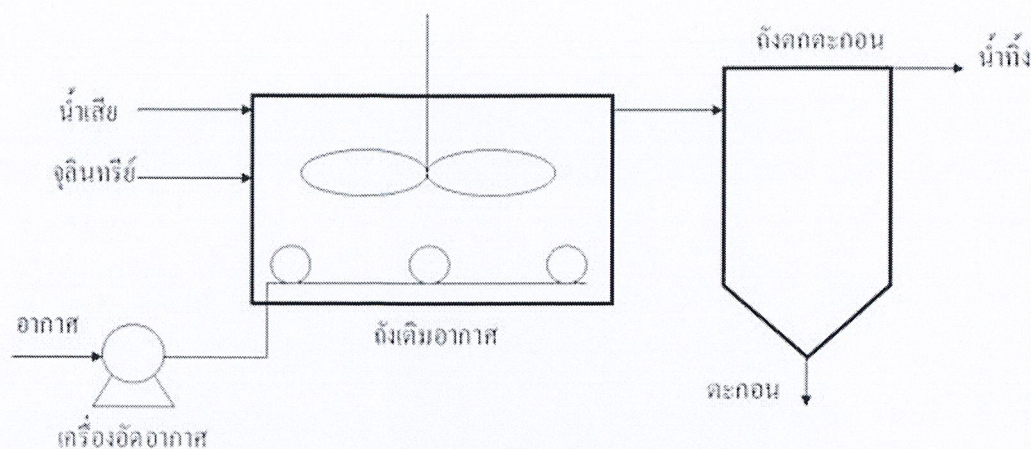
ทำจากถังน้ำดื่มขนาด 20 ลิตร มาตัดส่วนก้นออก จากนั้นติดตั้งข้อต่อพลาสติกพีวีซีมีขนาดแตกต่างกันที่คอขวดเพื่อทำให้มีลักษณะเป็นรูปกรวยและติดตั้งวาล์วเพื่อระบาย จากนั้นนำอุปกรณ์ที่ประกอบขึ้นมาติดตั้งบนโครงเหล็กในลักษณะดังคว่ำลงดังแสดงในรูป 3.3

ประกอบอุปกรณ์ทั้งสองส่วนจะติดตั้งประกอบกันตามลักษณะดังรูป 3.4 โดยน้ำเสียและจุลินทรีย์จะถูกป้อนเข้าสู่ถังเติมอากาศโดยมีการเติมอากาศผ่านเครื่องอัดอากาศทางด้านล่างและชุดมอเตอร์ทางด้านบน



รูปที่ 3.3 ถึงตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผนผังจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

### 3.2 การจัดเตรียมจุลินทรีย์

ขั้นตอนการเตรียมจุลินทรีย์แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1. นำตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของบริษัท ปทุมธานี บรวิเวอรี่ จำกัด ซึ่งเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C มาทำการกระตุ้นให้ทำงานในถังเติมอากาศที่จัดสร้างขึ้น โดยจะใช้น้ำเสียจากบริษัท ปทุมธานี บรวิเวอรี่ จำกัด มาใช้ในการทดลองเนื่องจากจุลินทรีย์มีความคุ้นเคยอยู่โดยทำการทดลองเป็นเวลา 48 ชั่วโมงและปรับสัดส่วนปริมาณอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) เท่ากับ 0.4 ตามข้อกำหนดของบริษัท ปทุมธานี บรวิเวอรี่ จำกัด

2. ค่อยๆ เติมน้ำเสียที่ได้จากการเจือจางน้ำเสียจากระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากกลุ่มของนางสาวธันยาภรณ์ วุฒิ นางสาวพรชนก ห่วงมากและนางสาวเยาวลักษณ์ ตั้งจิตปิยะนนท์ มาเจือจางให้มีความเข้มข้นประมาณ 400 mg/l ลงไปเพื่อให้จุลินทรีย์มีความคุ้นเคยกับน้ำเสียใหม่ โดยจะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 15 วัน

3. นำน้ำเข้าส่วนของถังตกตะกอนเพื่อแยกส่วนตะกอนที่เข้มข้นออกมา

### 3.3 ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาในถังเติมอากาศของระบบตะกอนเร่ง

นำจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพแล้วในตอนที่ 3.2 มาหาเวลาที่เหมาะสมในถังเติมอากาศโดย

1. นำน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจากกลุ่มของนางสาวธันยาภรณ์ วุฒิ นางสาวพรชนก ห่วงมากและนางสาวเยาวลักษณ์ ตั้งจิตปิยะนนท์เจือจางให้มีค่า COD ประมาณ 400 mg/L

2. ผสมจุลินทรีย์ที่ทราบค่าความเข้มข้นตะกอนกับน้ำเสียในถังเติมอากาศโดยสัดส่วน F/M ให้มีค่าประมาณ 0.4 เติมน้ำเข้าผ่านหัวทรายกระจายอากาศลงในน้ำเสียผสมจุลินทรีย์ที่เตรียมไว้

3. เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่า COD ทุก ๆ 6 ชั่วโมง จนกระทั่งค่า COD คงที่ จะได้เวลาในการทำปฏิกิริยา

### 3.4 ศึกษาหาสภาวะการใช้โอโซนที่มีผลต่อการกำจัดตะกอนและ COD

ทดลองโดยการนำน้ำเสียมาทำปฏิกิริยากับจุลินทรีย์ในถังเดิมอากาศ จากนั้นมาทำปฏิกิริยากับโอโซนในคอลัมน์ที่สร้างขึ้น เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกอนส่วนเกิน โดยอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับขั้นตอนประกอบด้วย

1. เครื่องผลิตโอโซน( OZZON MODEL : OZ-735 )
2. คอลัมน์โอโซน

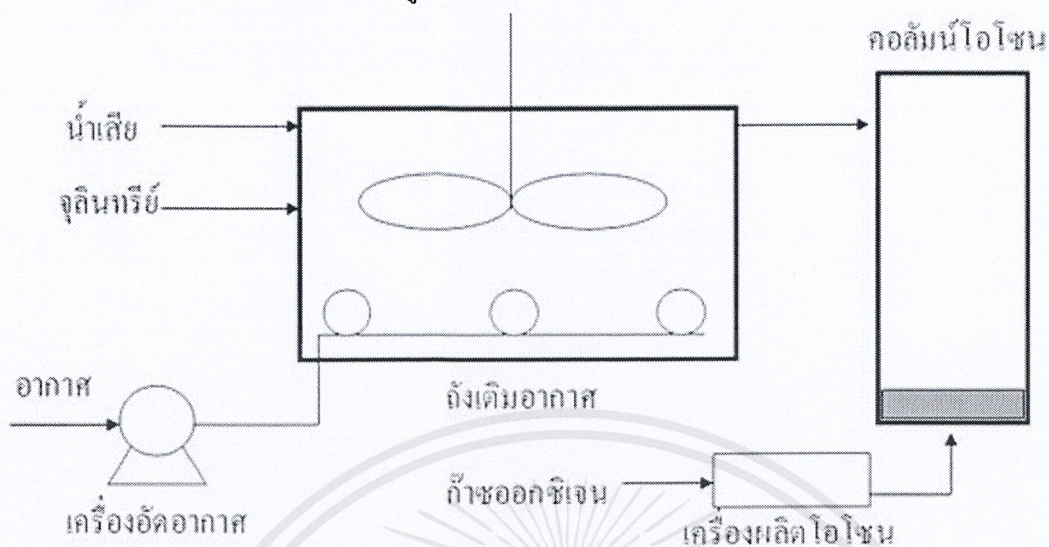
ใช้แผ่นอะคริลิกหนา 3 มิลลิเมตร ทรงกระบอกสูง 50 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร ขนาดความจุ 8 ลิตร มีระบบเติมโอโซนโดยใช้หัวกระจายอากาศแบบงานที่ด้านล่างของคอลัมน์ ตั้งลักษณะที่แสดงในรูปที่ 3.5

3. ถังเดิมอากาศจากตอนที่ 3.1



รูปที่ 3.5 คอลัมน์เติม โอโซนและหัวทรายกระจายอากาศแบบงาน

โดยมีการติดตั้งระบบให้มีลักษณะดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนผังจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนร่งที่มีคอลัมน์โอโซนเป็นหน่วยกำจัดตะกอน โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ทำการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศที่สร้างขึ้น ด้วยวิธีการเดียวกับตอนที่ 3.3

2. เมื่อครบเวลาทำปฏิกิริยา (HRT) แล้วนำน้ำเสียและตะกอนจำนวน 8 L เติมในคอลัมน์โอโซน โดยเลือกเปลี่ยนความเข้มข้นและอัตราการไหลที่สามารถทำได้ค่าอัตราการไหลเชิงมวล โดยการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเป็น 2,500 1,500 และ 500 โดยให้ระดับความเข้มข้นโอโซนเป็น 500 300 และ 100 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ออกแบบการทดลอง

การทดลอง	O <sub>2</sub> flow (cc/min)	Level O <sub>3</sub> (mg/h)	O <sub>3</sub> concentration (mg/h)
1	2,500	500	1,905
2	1,500	300	1,364
3	500	100	655

3. เก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการหาศักยภาพของการลดตะกอนโดยใช้โอโซน ซึ่งตัวแปรที่เก็บข้อมูลได้แก่ MLSS ทุกๆ 30 นาที และ COD ทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งค่า MLSS เริ่มคงที่

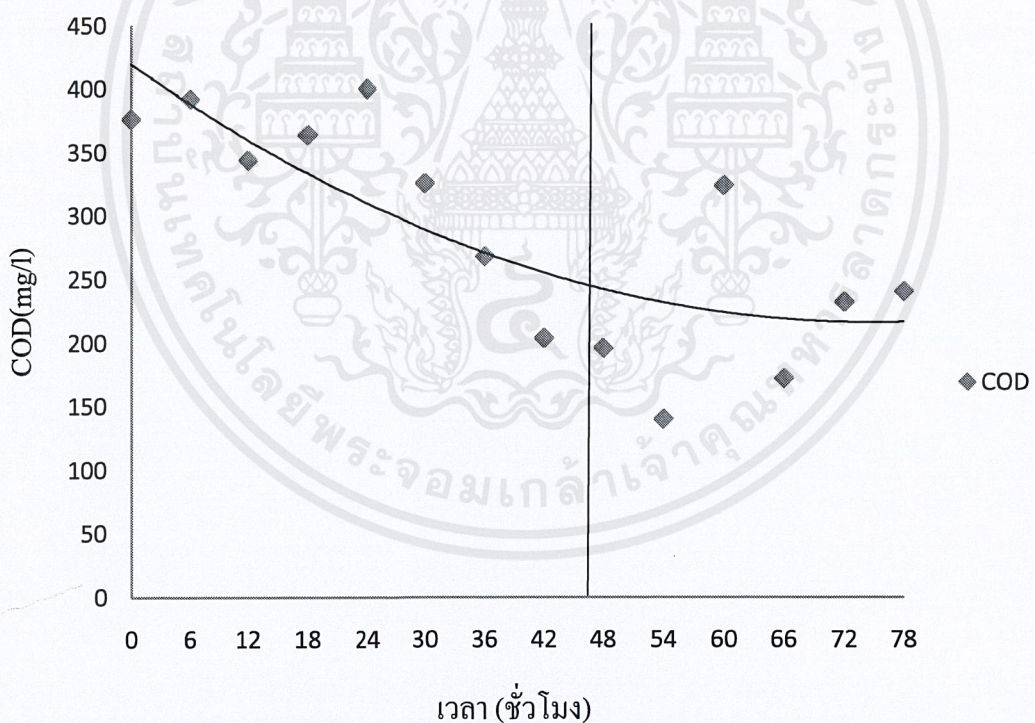
## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

วัตถุประสงค์ของปฏิญานิพนธ์นี้คือการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้โอโซนกำจัดตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากการการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ดังนั้นในส่วนของกรอภิปรายผลจะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองตั้งแต่เริ่มต้น คือ การศึกษาเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาในถังเติมอากาศ การใช้โอโซนกำจัดตะกอนส่วนเกินดังกล่าวเพื่อให้สามารถกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกอนที่มีประสิทธิภาพ และคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

#### 4.1 การหาเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาในถังเติมอากาศ

ผลจากการทดลองเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาในถังเติมอากาศแสดงดังในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงค่า COD ที่เวลาต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COD กับเวลาในการทดลองโดยใช้น้ำเสียที่มีค่า COD เริ่มต้น 370 mg/l สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ จากเส้นแนวโน้มของ COD เทียบกับเวลาจะเห็นว่าหลังจากผ่านไปแล้ว 48 ชั่วโมง ค่า COD จะมีแนวโน้มคงที่ ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการนำตะกอนชนิดนี้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานเอทานอลจากกากน้ำตาล คือ 48 ชั่วโมง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การหาสถานะที่เหมาะสมในการใช้โอโซนกำจัดตะกอน

ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศจำนวน 3 สภาวะ เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณโอโซนที่ 655 1,364 และ 1,905 mg/h ตามลำดับ โดยข้อมูลค่า COD และ MLSS ในตอนเริ่มต้นและตอนสุดท้ายของการทำปฏิกิริยาแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณตะกอนที่เพิ่มขึ้นในการเดินระบบบำบัด

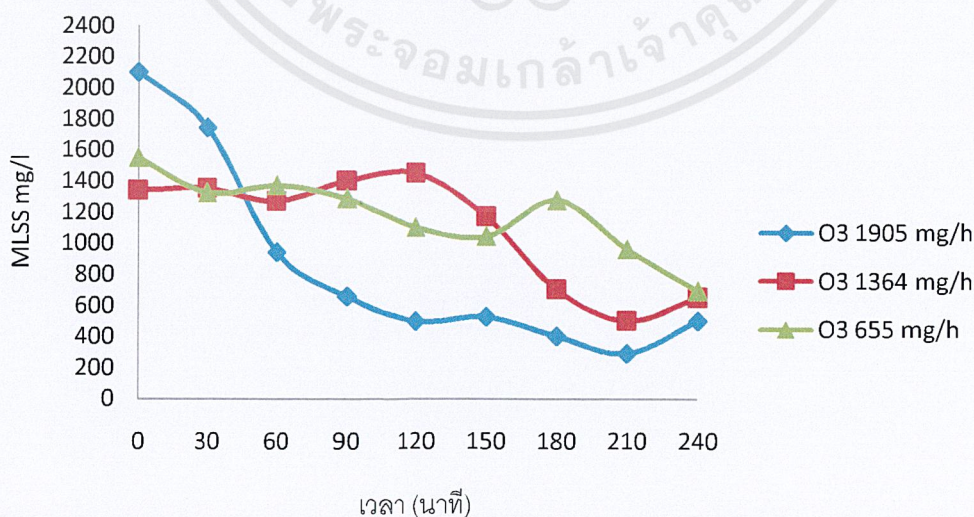
การทดลอง	MLSS			COD		
	MLSS เริ่มต้น	MLSS สุดท้าย (48 h)	%MLSS เพิ่มขึ้น	COD เริ่มต้น	COD สุดท้าย (48h)	%COD ลดลง
1	942.5	2,065	119	400	200	50
2	917	1,370	49	400	300	25
3	927.5	1,550	67	400	280	30

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าแม้กำหนดสภาวะเริ่มต้นใกล้เคียงกันแต่ผลของการลด COD และปริมาณ MLSS ที่เพิ่มขึ้นจะไม่เท่ากัน โดย COD ลดลงตั้งอยู่ในช่วง 25-50% และ %MLSS เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 49-119% และพบว่าปริมาณตะกอนที่เพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับการลดลงของ COD

### 4.2.1 ผลของการใช้โอโซนต่อ MLSS

การเปลี่ยนแปลงค่า MLSS ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในคอลัมน์โอโซนกับเวลาแสดงดัง

รูปที่ 4.2



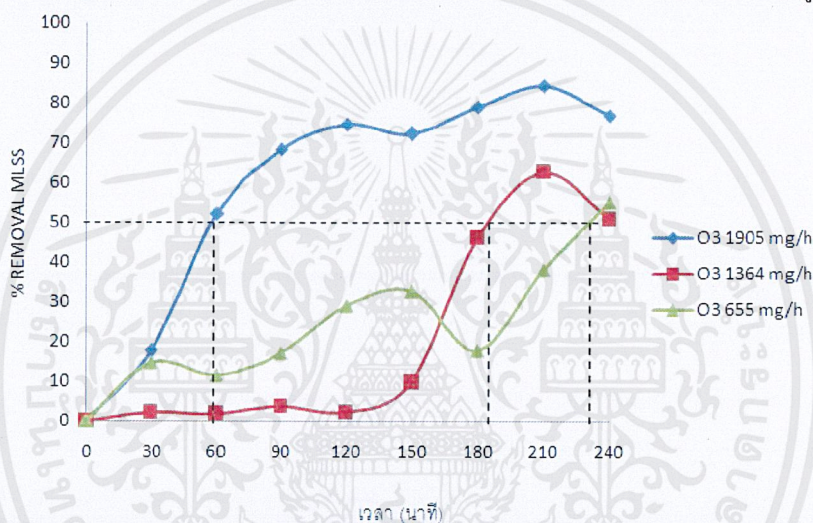
รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณ MLSS ในการทดลองที่ภาวะและเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าค่า MLSS ในกรณีโอโซน 1,905 mg/h จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 1 ชั่วโมง แรกจากนั้นจะค่อยลดช้าลงชั่วโมงที่ 2 และคงที่ในตอนสุดท้าย ในขณะที่อัตราการป้อนโอโซนที่ 1,364 mg/h และ 655 mg/h จากเส้นกราฟพบว่าอัตราการลดลงในช่วง 2 ชั่วโมง แรกลดลงค่อนข้างช้า ซึ่งการลดลงของ MLSS ถึง 600 mg/h ต้องใช้เวลาถึง 4 ชั่วโมง ในขณะที่อัตราการป้อน 1,364 mg/h ใช้เวลาเพียง 2 ชั่วโมง

#### 4.2.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการกำจัดตะกอนเร่งด้วยโอโซน

ในการวิเคราะห์จะพิจารณาที่ MLSS ลดลง 50 % จากตอนเริ่มต้น โดยจะประเมินจากความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งคิดต้นทุนค่าก๊าซออกซิเจนที่ใช้ และค่าไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดโอโซนใช้ เมื่อนำค่าอัตราการกำจัดตะกอนตามเวลาในการทดลองทั้ง 3 การทดลองจะแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดง % MLSS ที่ลดลงในการทดลอง ตามระยะเวลาในการทดลอง

จากรูปที่ 4.3 พบว่าที่สภาวะการทดลอง อัตราการป้อนโอโซน 1,905 mg/h ใช้เวลาในการลดตะกอนให้เหลือ 50% เพียง 60 นาที ในขณะที่อัตราการป้อนโอโซน 1,364 และ 655 mg/h จะใช้เวลา 180 และ 240 นาที ตามลำดับ เมื่อนำมาประเมินต้นทุนค่าใช้จ่ายซึ่งจะมี 2 ส่วนคือ ต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องกำเนิดโอโซน และค่าก๊าซออกซิเจนที่ป้อนเครื่องกำเนิดโอโซน สามารถแสดงค่าใช้จ่ายได้ดังตารางที่ 4.2

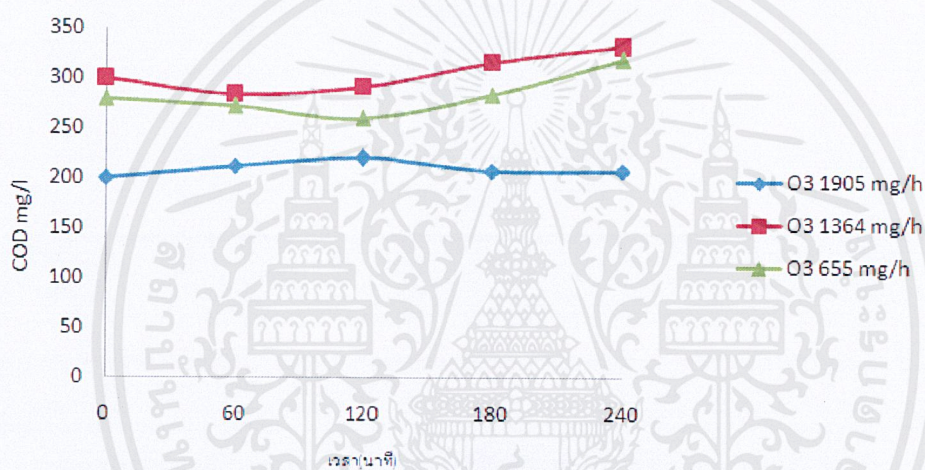
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าใช้จ่ายในการใช้โอโซนกำจัดตะกอนส่วนเกินให้ลดลง 50%

การทดลอง	O <sub>3</sub> (mg/h)	เวลา (h)	ไฟฟ้า (Baht/h)	ค่าใช้จ่าย (Baht)	โอโซนต่อตะกอนที่ถูกกำจัด (mgO <sub>3</sub> /mgMLSS)	ค่าใช้จ่ายต่อการกำจัดตะกอน (Baht/kgMLSS)
1	1,905	1	0.11	0.11	0.23	13.28
2	1,364	3	0.06	0.18	0.8	35.19
3	655	4	0.02	0.08	0.38	11.60

จากตารางที่ 4.2 พบว่าที่สภาวะอัตราการป้อนโอโซน 655 mg/h (อัตราการไหล 500 cc/min ระดับโอโซน 100 mg/h) มีต้นทุน 0.08 บาท และค่าใช้จ่ายต่อการกำจัดตะกอน 11.60 บาท/กก.ตะกอน ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แม้ต้องใช้เวลาในการทดลองถึง 4 ชั่วโมง แต่ที่อัตราการป้อนโอโซน 1,364 mg/h (อัตราการไหล 1,500 cc/min ระดับโอโซน 300 mg/h) และอัตราการป้อนโอโซน 1,905 mg/h (อัตราการไหล 2,500 cc/min ระดับโอโซน 500 mg/h) ใช้เวลาในการทดลอง 3 และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับมีค่าใช้จ่ายมากกว่า ดังนั้นสภาวะการทดลองที่เหมาะสมที่สุดคืออัตราการป้อนโอโซน 655 mg/h (อัตราการไหลก๊าซออกซิเจน 500 cc/min ระดับโอโซน 100 mg/h)

#### 4.2.4 ผลของการใช้โอโซนต่อค่า COD

การเปลี่ยนแปลงค่า COD ในคอลัมน์โอโซนที่เวลาต่างแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการลดตะกอนด้วยโอโซนที่มีผลต่อ COD

จากรูปที่ 4.4 พบว่าโดยทั่วไปแล้วแนวโน้มของการใช้โอโซนจะมีผลกระทบคือทำให้ COD มีค่าสูงขึ้นซึ่งก็เป็นผลมาจากการที่โอโซนเข้าทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์เซลล์จุลินทรีย์ทำให้เซลล์แตกตัว สารอินทรีย์จึงแพร่กระจายตัวออกมกับน้ำเสีย ค่า COD จึงสูงขึ้น แต่ที่เวลาในการทดลองช่วง 1-2 ชั่วโมงแรกค่า COD จะลดลงและเมื่อเวลาผ่านไปค่า COD จะเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการไหลก๊าซออกซิเจน 2,500 cc/min ระดับโอโซน 500 mg/h ค่า COD เพิ่มขึ้น 4% ที่อัตราการไหลก๊าซออกซิเจน 1,500 cc/min ระดับโอโซน 300 mg/h COD เพิ่มขึ้น 10% และที่อัตราการไหลก๊าซออกซิเจน 500 cc/min ระดับโอโซน 100 mg/h COD เพิ่มขึ้น 14%

#### 4.2.5 ผลของโอโซนที่มีต่อสีของน้ำเสีย

จากทดลองพบว่าโอโซนสามารถลดสีของน้ำเสียได้เมื่อมีการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ COD สามารถแสดงรูปเปรียบเทียบสีของน้ำเสียที่ผ่านโอโซนได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงสีของน้ำเสียที่ผ่าน โอโซนที่ ทุกๆ 30 นาทีของการทดลอง

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าการใช้โอโซนในการกำจัดตะกอนส่วนเกินสามารถกำจัดสีของน้ำเสียได้ การกำจัดสีที่เกิดขึ้นจะเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างโอโซนกับสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดสี โดยโอโซนจะทำลายกลุ่มพันธะคู่ระหว่าง คาร์บอน-คาร์บอน และกลุ่มโครโมฟอร์ริก ( $-OH$  และ  $-NH_2$ ) ของสารอินทรีย์ซึ่งเป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดสีเริ่มต้น เมื่อพันธะเหล่านี้ถูกทำลายลงสีของน้ำเสียจึงใสขึ้น

## บทที่ 5

# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและศึกษาการกำจัดตะกอนส่วนเกินโดยใช้โอโซน สามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะดังนี้

### 5.1 สรุปผล

1. จากการทดลองบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น COD เริ่มต้น 400 mg/l โดยใช้ระบบเดิมอากาศที่สร้างขึ้น พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาในถังเดิมอากาศเท่ากับ 48 ชั่วโมง

2. การทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด COD และการเพิ่มขึ้นของ MLSS พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD อยู่ระหว่าง 25-50% และ MLSS เพิ่มขึ้นในช่วง 49-119%

3. การศึกษาผลของโอโซนที่มีต่อ MLSS และ COD พบว่าการใช้โอโซนที่อัตรา 1,905 mg/h จะทำให้ MLSS ลดลงได้มากที่สุดและใช้เวลาน้อยที่สุดคือ 1 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โอโซน 1,364 mg/h จะใช้เวลา 3 ชั่วโมง และเมื่อใช้โอโซน 655 mg/h จะใช้เวลา 4 ชั่วโมง

4. การศึกษาการกำจัดตะกอนด้วยโอโซนจากผลการทดลองพบว่าสถานะ การใช้โอโซน 1,905 mg/h (อัตราการไหล 2,500 cc/min ระดับโอโซน 500 mg/h) ใช้เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง มีต้นทุน 0.11 บาท และค่าใช้จ่ายต่อการกำจัดตะกอน 13.28 บาท/กิโลกรัมตะกอน การใช้โอโซน 1,364 mg/h (อัตราการไหล 1,500 cc/min ระดับโอโซน 300 mg/h) ใช้เวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง มีต้นทุน 0.18 บาท และค่าใช้จ่ายต่อการกำจัดตะกอน 35.19 บาท/กิโลกรัมตะกอน และการใช้โอโซน 655 mg/h (อัตราการไหล 500 cc/min ระดับโอโซน 100 mg/h) ใช้เวลาในการทดลอง 4 ชั่วโมง มีต้นทุน 0.08 บาท และค่าใช้จ่ายต่อการกำจัดตะกอน 11.60 บาท/กิโลกรัมตะกอน ซึ่งเป็นต้นทุนที่ต่ำที่สุด ดังนั้นสถานะการทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราการไหล 500 cc/min ความเข้มข้นโอโซน 100 mg/h

5. จากการศึกษาการกำจัดตะกอนส่วนเกินด้วยโอโซนพบว่านอกจากโอโซนจะสามารถกำจัดตะกอนส่วนเกินได้แล้วยังสามารถกำจัดสีของน้ำเสียได้อีกด้วย ด้วยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างโอโซนกับสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยคอโซนจะเข้าทำลายพันธะระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน หรือ กลุ่มโครโมฟอร์ริก (-OH และ -NH<sub>2</sub>)

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1.ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียอาจมี COD ต่ำกว่า 150 mg/l หากมีการพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น การควบคุมตัวแปร pH อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำรวมถึงตัวแปรอื่นๆของการเดินระบบอย่างรัดกุม ระบบจะลด COD ได้มากกว่านี้

2.วิธีการวัดค่า COD ที่กระทำในการทดลองมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ถึง  $\pm 40$  mg/l เมื่อพิจารณาที่ COD ต่ำๆค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าสูง ซึ่งจะมีผลต่อการพิจารณาการปล่อยน้ำทิ้งตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม ดังนั้นถ้าต้องการลดความคลาดเคลื่อนในส่วนนี้ควรวิเคราะห์ค่า COD ด้วยวิธีอื่นเช่น วิธีการเชิงแสง

3.ในการดำเนินระดับอุตสาหกรรมควรใช้อากาศแทนแก๊สออกซิเจนซึ่งจะทำให้ต้นทุนดำเนินการถูกลงไปได้อย่างมาก

4.ในการขยายขนาดของระบบจากระดับกึ่งอุตสาหกรรมเป็นระดับอุตสาหกรรมควรอ้างอิงค่าตัวเลขไร้มิติของการทดลองในระดับกึ่งอุตสาหกรรม 2 ค่าได้แก่ Froude number และ Reynolds number

## เอกสารอ้างอิง

- [1] พรชวรณ ศรีนาค .2552. การควบคุมมลพิษทางน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] ชีระ เกรอด. 2539. วิศวกรรมน้ำเสีย การบำบัดทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์. 2545. วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 3. พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี : เอส อาร์ พรินติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด
- [4] เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์. 2547. วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 5. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : เอส อาร์ พรินติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด
- [5] เฉลิมชัย วุฒินันท์สุระสิทธิ์ พัชรรัตน์ แยมแก่นจันทร์ และ อาภาสี นาคสุข. 2547. การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งโดยใช้จุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6] Sheng-bing He, Gang Xue and Bao-zhen Wang.2006. **Activated sludge ozonation to reduce sludge production in membrane bioreactor (MBR).** Journal of Hazardous Materials B135. 406–411
- [7] Tan Phong Nguyen, Nicholas P. Hankins and Nidal Hilal.2007. **A comparative study of the flocculation behaviour and final properties of synthetic and activated sludge in wastewater.** Treatment, Desa lination 204. 277–295
- [8] กรมควบคุมมลพิษ. “การจัดการขยะมูลฝอยชุมชน”.  
[Online].Available : <http://www.pcd.go.th/download/waste.cfm>. 2010
- [9] P.S.C.TRADING&DEVELOPMENT CO.,LTD. “คุณสมบัติเด่นของโอโซน”.  
[Online].Available : <http://www.ozone-otech.com/ozone.htm>. 2010

## ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## ข้อมูลดิบ

## ก.1 ข้อมูลการทดลองในการหาค่าเวลาในการทำปฏิกิริยา (Hydraulic Retention Time)

ตารางที่ ก .1 ผลการทดลองหาค่า Hydraulic Retention Time

เวลา (hour)	ปริมาณTritrant (ml)		COD (mg/l)
	blank	น้ำเสีย	
0	5.16	4.22	376
6	5.16	4.24	392
12	5.16	4.3	344
18	5.16	4.4	364
24	5.16	4.22	400
30	5.16	4.34	326
36	5.16	4.54	268
42	4.4	3.88	204
48	4.4	3.9	196
54	4.4	4.02	140
60	4.4	3.54	324
66	4.4	4	172
72	4.4	3.8	232
78	4.4	3.88	240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.2 ข้อมูลการทดลองบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

ตารางที่ ก.2 น้ำหนักตะกอนที่เพิ่มขึ้นและค่า COD ที่ลดลงของการทดลองที่ 1

การบำบัดน้ำเสียการทดลองที่ 1				
เวลา(ชั่วโมง)	MLSS(mg/l)	COD(mg/l)	%increase MLSS	%removal COD
0	942.5	400	-	-
48	2065	200	119.0981432	50

ตารางที่ ก.3 น้ำหนักตะกอนที่เพิ่มขึ้นและค่า COD ที่ลดลงของการทดลองที่ 2

การบำบัดน้ำเสียการทดลองที่ 2				
เวลา(ชั่วโมง)	MLSS(mg/l)	COD(mg/l)	%increase MLSS	%removal COD
0	917.5	400	-	-
48	1370	300	49.31880109	25

ตารางที่ ก.4 น้ำหนักตะกอนที่เพิ่มขึ้นและค่า COD ที่ลดลงของการทดลองที่ 3

การบำบัดน้ำเสียการทดลองที่ 3				
เวลา(ชั่วโมง)	MLSS(mg/l)	COD(mg/l)	%increase MLSS	%removal COD
0	927.5	400	-	-
48	1550	280	67.11590296	30

### ก.3 ข้อมูลการทดลองเพื่อใช้การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกอนส่วนเกินในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองที่ 1 (อัตราการไหล 2,500 cc/min ความเข้มข้นไอโซน 500 mg/h)

เวลา(min)	น้ำหนักกระดาดกรอง(g)		MLSS1 (mg/l)	น้ำหนักกระดาดกรอง 2(g)		MLSS2 (mg/l)	MLSS (mg/l)	ปริมาณ (ml)		COD (mg/l)
	ไม่มีตะกอน	มีตะกอน		ไม่มีตะกอน	มีตะกอน			blank	น้ำเสีย	
0	0.5349	0.5762	2030	0.5431	0.5851	2100	2065	4.22	3.72	200
30	0.5489	0.5828	1650	0.5344	0.5692	1740	1695	4.22	-	-
60	0.5522	0.5719	1030	0.5549	0.5737	940	985	4.22	3.69	212
90	0.5412	0.5542	645	0.5487	0.5618	655	650	4.22	-	-
120	0.5441	0.5545	550	0.5466	0.5565	495	522.5	4.22	3.67	220
150	0.5642	0.5755	615	0.5575	0.568	525	570	4.22	-	-
180	0.5524	0.561	460	0.5248	0.5328	400	430	4.22	3.7	208
210	0.5411	0.547	355	0.5388	0.5446	290	322.5	4.22	-	-
240	0.5487	0.5582	450	0.5448	0.5548	500	475	4.22	3.7	208

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองที่ 2 (อัตราการไหล 1,500 cc/min ความเข้มข้น โอลิโก 300 mg/h)

เวลา(min)	น้ำหนักกระดากกรอง(g)		MLSS1 (mg/l)	น้ำหนักกระดากกรอง 2(g)		MLSS2 (mg/l)	MLSS (mg/l)	ปริมาณ (ml)		COD (mg/l)
	ไม่มีตะกอน	มีตะกอน		ไม่มีตะกอน	มีตะกอน			blank	น้ำเสีย	
0	0.5251	0.5531	1400	0.5567	0.5835	1340	1370	4.28	3.53	300
30	0.5396	0.5694	1490	0.546	0.578	1600	1545	4.28	-	-
60	0.5412	0.5782	1850	0.5787	0.6143	1780	1815	4.28	3.57	284
90	0.5361	0.5609	1240	0.5436	0.5716	1400	1320	4.28	-	-
120	0.5237	0.5483	1230	0.5701	0.5991	1450	1340	4.28	3.55	292
150	0.5223	0.5483	1300	0.5329	0.5563	1170	1235	4.28	-	-
180	0.5226	0.538	770	0.5234	0.5374	700	735	4.28	3.49	316
210	0.5323	0.5427	520	0.5438	0.5538	500	510	4.28	-	-
240	0.5203	0.5341	690	0.5673	0.5803	650	670	4.28	3.45	332

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองที่ 3 (อัตราการไหล 500 cc/min ความเข้มข้น 100 mg/h)

เวลา(min)	น้ำหนักกระดวยกรอง(g)		MLSS1 (mg/l)	น้ำหนักกระดวยกรอง 2(g)		MLSS2 (mg/l)	MLSS (mg/l)	ปริมาณ (ml)		COD (mg/l)
	ไม่มีตะกอน	มีตะกอน		ไม่มีตะกอน	มีตะกอน			blank	น้ำเสีย	
0	0.5299	0.5619	1600	0.564	0.594	1500	1550	4.22	3.52	280
30	0.5509	0.578	1355	0.5532	0.579	1290	1322.5	4.22	-	-
60	0.5333	0.5613	1400	0.5643	0.5911	1340	1370	4.22	3.54	272
90	0.5293	0.5533	1200	0.5505	0.5779	1370	1285	4.22	-	-
120	0.5472	0.5672	1000	0.5496	0.5736	1200	1100	4.22	3.57	260
150	0.5405	0.5619	1070	0.5543	0.5746	1015	1042.5	4.22	-	-
180	0.5311	0.5571	1300	0.566	0.591	1250	1275	4.22	3.51	284
210	0.5469	0.5659	950	0.5675	0.5869	970	960	4.22	-	-
240	0.547	0.561	700	0.5328	0.5465	685	692.5	4.22	3.42	320

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 สีของน้ำเสียที่ผ่าน โอโซนในการทดลองที่ 1



รูปที่ ก.2 สีของน้ำเสียที่ผ่าน โอโซนในการทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 สีของน้ำเสียที่ผ่านโอโซนในการทดลองที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ตัวอย่างการคำนวณและผลการคำนวณ

#### ข. ตัวอย่างการคำนวณ

##### ข.1 ค่าใช้จ่าย

##### ไฟฟ้า

Level 500 ให้กำลังไฟฟ้า 36 watt คิดเป็นเงิน 0.036 unit/ชั่วโมง

ใช้อัตราค่าไฟ unit ละ 3 บาท จะคิดเป็นเงิน  $0.036 \times 3 = 0.108$  บาท/ชั่วโมง

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าใช้จ่ายของการใช้โอโซน

การทดลอง	Flow rate (ml/min)	Level O <sub>3</sub> (mg/h)	กำลังไฟฟ้า (W)	ไฟฟ้า (Bath/h)
1	2,500	500	36	0.11
2	1,500	300	21.6	0.06
3	500	100	7.2	0.02

##### ข.2 รายจ่ายในการลดตะกอนส่วนเกิน

เวลาในการใช้โอโซนที่สามารถลดตะกอนได้ 50%

ค่าใช้จ่าย = เวลา x อัตราค่าใช้จ่าย

การทดลองที่ 1 = 1 ชั่วโมง x 0.11 บาท/ชั่วโมง

ตารางที่ ข.2 รายจ่ายในการลดตะกอนส่วนเกินของแต่ละสภาวะ

การทดลอง	Flow rate (ml/min)	Level O <sub>3</sub> (mg/h)	เวลาที่ใช้ (h)	รวมค่าใช้จ่าย (Bath)
1	2,500	500	1	0.11
2	1,500	300	3	0.18
3	500	100	4	0.08

### ข.3 ปริมาณโอโซนต่อปริมาณตะกอนที่ถูกกำจัด

คิดปริมาณโอโซนที่ใช้กำจัดตะกอนส่วนเกิน 1 กรัม

การทดลองที่ 1

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณตะกอนที่ถูกกำจัด } 50\% \quad 1,080 \text{ mgMLSS/l} \times 8 \text{ l} &= 8,640 \text{ mgMLSS} \\
 \text{ใช้โอโซน } 1,905 \text{ mgO}_3/\text{h} \times 1 \text{ h} &= 1,905 \text{ mgO}_3 \\
 \text{ปริมาณ โอโซนต่อปริมาณตะกอน} &= 1,905/8,640 \\
 &= 0.23 \text{ mgO}_3/\text{mgMLSS}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข.3 แสดงปริมาณ โอโซนที่ใช้กำจัดตะกอน 1 มิลลิกรัม

การทดลอง	O <sub>3</sub> flow rate (mg/h)	ปริมาณการใช้โอโซน(mg)	ปริมาณตะกอนที่ถูกกำจัด(mg)	ปริมาณ โอโซนต่อปริมาณตะกอน(mgO <sub>3</sub> /mgMLSS)
1	1,905	1,905	8,260	0.23
2	1,364	4,092	5,080	0.8
3	655	2,620	6,860	0.38

### ข.4 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอน

การทดลองที่ 1

$$\begin{aligned}
 \text{รายจ่าย } 10.82 \text{ บาท} \quad \text{ผลิตโอโซนได้} & 1,905 \text{ mgO}_3 \\
 \text{สามารถกำจัดตะกอนได้} & 1,080 \text{ mgMLSS/l} \\
 \text{อัตราการปริมาณ โอโซนต่อปริมาณตะกอนที่ถูกกำจัด} & 0.23 \text{ mgO}_3/\text{mgMLSS} \\
 \text{ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนหนึ่งหน่วย} & \\
 = 0.11 \text{ บาท}/1,905 \text{ mgO}_3 \times 0.23 \text{ mgO}_3/\text{mgMLSS} & \\
 = 1.32 \times 10^{-5} \text{ บาท}/\text{mgMLSS} & \\
 = 13.28 \text{ บาท}/\text{kgMLSS} &
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข.4 ค่าใช้จ่ายใช้กำจัดตะกอน

การทดลอง	O <sub>3</sub> (mg)	ค่าใช้จ่ายในการผลิต(Bath)	ปริมาณ โอโซนต่อปริมาณตะกอนที่ถูกกำจัด (mgO <sub>3</sub> /mgMLSS)	ค่าใช้จ่ายต่อการกำจัดตะกอน(Bath/kgMLSS)
1	1,905	0.11	0.23	13.28
2	4,092	0.18	0.8	35.19
3	2,620	0.08	0.38	11.60

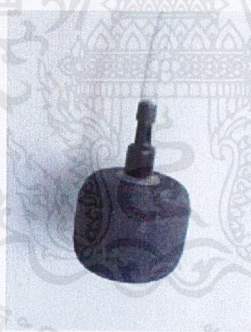
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### ภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ



รูปที่ ค.1 ถังเดิมอากาศก่อนเนินงาน

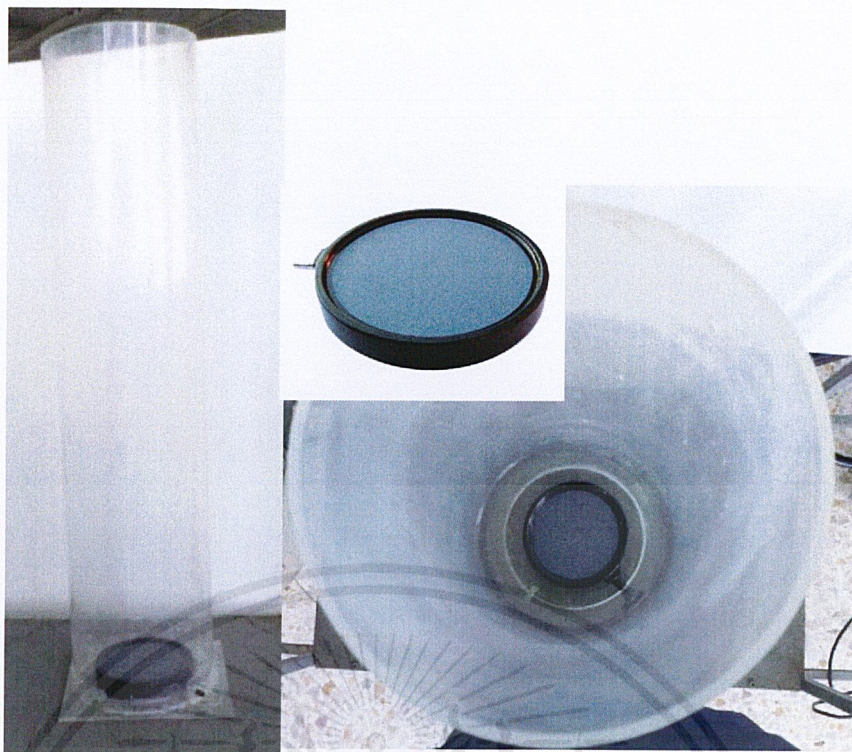


รูปที่ ค.2 หัวทรายกระจายอากาศ



รูปที่ ค.3 ถังตกตะกอน

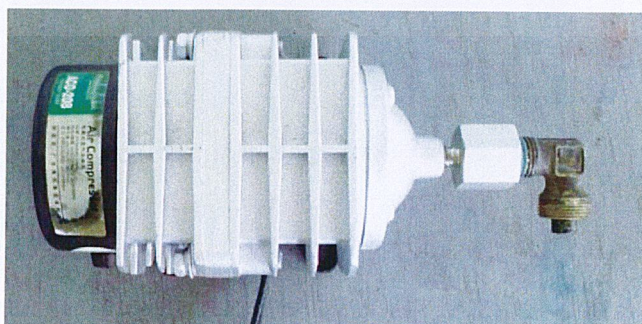
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.4 คอลัมน์ไอโซนพร้อมติดตั้งหัวกระจายอากาศแบบงาน



รูปที่ ค.5 ปัม



รูปที่ ค.6 ปัมอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.7 เครื่องกวน



รูปที่ ค.8 เครื่องผลิตโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.๑ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

# การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียตัวแปรที่ใช้การเดินระบบ

### ง.1 การวัด COD

COD คือ ค่าที่บอกความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบกับในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์

#### รีเอเจนต์และอุปกรณ์

1. หลอดไตเจสต์แก้ว โบโรซิคลิเกต (Borosilicate) ขนาด 25×150 mm ชนิดฝาเกลียว
2. ตู้อบ
3. สารมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ , 294.185 g/mole) อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งให้เย็นในเคซิเคเตอร์
4. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc.  $H_2SO_4$ )
5. สารซัลเฟอร์ซัลเฟต ( $Ag_2SO_4$ , technical grade)
6. สาร  $HgSO_4$
7. สารมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulphate, FAS)
8. สารละลายไตเจสต์ (0.0167 M  $K_2Cr_2O_7$ ) ละลาย 0.4913 g  $K_2Cr_2O_7$  ที่ผ่านการอบแล้ว น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 16.7 มิลลิลิตร ทำให้เป็นสารละลาย ตั้งให้เย็น แล้วเจือจางเป็นสารละลาย 100 มิลลิลิตร
9. สารละลายอินดิเคเตอร์ Ferroin ละลาย 0.1845 g 1,10-phenanthroline monohydrate and 695 mg  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็นสารละลาย 100 มิลลิลิตร

การเทียบสารละลายมาตรฐาน

ก) การเตรียมสารละลาย 0.1 N FAS

1. ละลาย 3.92 g  $Fe(NH_4)_2(SO_4) \cdot 2.6H_2O$
2. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
3. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร

ข) การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ 0.1 N FAS

1. เติมน้ำกลั่น 5.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง COD
2. ปิเปตสารละลายไตเจสต์ 3.0 มิลลิลิตร
3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 7.0 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง
5. เติมอินดิเคเตอร์ Ferroin 2 หยด
6. เขย่า แล้วไทเทรตกับสารละลาย FAS จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองอมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง ซึ่งเป็นจุดยุติของการไทเทรต บันทึกปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรต

### คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน FAS การวิเคราะห์ COD ในน้ำตัวอย่าง

เติมสารละลายต่อไปนี้ตามลำดับ ดังนี้

1. ปิเปิดตัวอย่าง 5.00 มิลลิลิตร
2. ปิเปิดสารละลายไดเจสต์ 3.00 มิลลิลิตร
3. ก้อยๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 7.0 มิลลิลิตร โดยให้ไหลลงข้างๆ หลอด เพื่อให้เกิดชั้นกรดใต้ชั้นของสารละลาย
4. ปิดฝาให้แน่น พร้อมเขย่าแบบไม่ต้องคว่ำและหงาย เพื่อให้สารละลายผสมกันสมบูรณ์และป้องกันความร้อนเฉพาะที่ ซึ่งอาจจะระเบิดได้
5. เตรียมแบลนค์เหมือนตัวอย่าง โดยใช้ น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง
6. นำหลอดตัวอย่างและแบลนค์ใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
7. นำหลอดทดลองตัวอย่าง และหลอดแบลนค์ออกจากตู้อบ ตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมอินดิเคเตอร์ Ferroin จำนวน 1-2 หยด ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน FAS



จากสมการ (ง.1)

$$\text{น้ำหนักสมมูลของ } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = \text{น้ำหนักโมเลกุล}/6 = 294.19/6 = 49.03 \text{ g/eq}$$

$$\text{น้ำหนักสมมูลของ FAS} = \text{น้ำหนักโมเลกุล}/1$$

$$\text{Normality of } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = \frac{\text{mass of } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}{49.03 \frac{\text{g}}{\text{eq}}} = y \text{ meq/mL} \quad (\text{ง.2})$$

$$\text{จำนวนสมมูลของ FAS} = \text{จำนวนสมมูลของ } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$$

$$(\text{Normality of FAS}) \times (\text{mL of FAS}) = (\text{Normality of } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \times (\text{mL of } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$$

$$\text{แทนค่า} \quad \text{Normality of } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = y \text{ meq/mL} \text{ และ } \text{ของ } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 3.00 \text{ mL}$$

$$\text{Normality of FAS} = N_{\text{FAS}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณการวิเคราะห์ตัวอย่าง

จำนวนสมมูลของ FAS = จำนวนสมมูลของ  $K_2Cr_2O_7$

จำนวนสมมูลของสารตัวอย่าง = จำนวนสมมูลของ  $K_2Cr_2O_7$  (a-b) ml  $\times$  ( $N_{FAS}$ ) meq/mL

ถ้าต้องการรายงานเป็น mg ของออกซิเจนในตัวอย่าง 1 ลิตร สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$mgO_2 = mgCOD = \frac{(a-b)mL \times \frac{(NFAS)meq}{mL} \times \frac{(8mg)}{(meq)}}{(mL \text{ of sample}) \times \frac{(1L)}{(100mL)}} \quad (ง.3)$$

โดยที่ a = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตเบลงค์ (mL)  
 b = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำตัวอย่าง (mL)  
 (a-b) = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตไดโครเมตที่ทำปฏิกิริยา  
 พอดีกับสารตัวอย่าง (mL)  
 $O_2 = \frac{32}{4} = 8 \text{ mg/meq}$

ตารางที่ ง.1 ปริมาณตัวอย่างและรีเอเจนต์ที่ใช้สำหรับขนาดต่างๆ ของภาชนะที่ใช้ย่อยสลายสำหรับการวิเคราะห์ COD โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

ขนาดหลอดแก้วที่ใช้ในการย่อยสลาย	ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มล.)	ปริมาณสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้ในการย่อยสลาย	กรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์ (มล.)	ปริมาตรทั้งหมด (มล.)
16 $\times$ 100 มม.	2.5	1.5	3.5	7.5
20 $\times$ 150 มม.	5.0	3.0	7.0	15.0
25 $\times$ 150 มม.	10.0	6.0	14.0	30.0

ที่มา : ธงชัย และอุษา (2535)

## ง.2 เอมแอลเอสเอส (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS)

### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระจกทรงใยแก้ว GF/C เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 ซม.
2. กรวยบุษนอร์ ความจุ 100 ลบ.ซม.
3. เครื่องดูดอากาศ
4. เตาอบแห้ง
5. โถทำแห้ง (desiccators)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. เครื่องชั่งอย่างละเอียด

### วิธีวิเคราะห์

1. อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส นานหนึ่งชั่วโมงทิ้งให้เย็นในโถทำแห้งแล้วชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง
  2. ทำซ้ำข้อ 1 จนน้ำหนักกระดาษกรองคงที่ หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงร้อยละ 4 สมมติให้เป็น A มิลลิกรัม
  3. เลือกปริมาตรน้ำตัวอย่างซึ่งจะให้ค่าของแข็งอย่างน้อย 2.5 มก.
  4. กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ
  5. นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนกว่าจะแห้งในเวลา 1 ชม.
  6. ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้งแล้วชั่งน้ำหนัก
  7. ทำซ้ำข้อ 5,6 จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมติว่าเป็น B มิลลิกรัม
- การคำนวณ

$$MLSS = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น}(B-A) \times 1,000}{\text{ลบ.ชม.ของน้ำหนัตัวอย่าง}} \quad (ง.4)$$

## ง. 3 ตัวแปรที่ใช้ในกาเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

ตัวแปรที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

### ง.3.1 เวลากักเก็บ (Hydraulic Retention time: HRT)

เวลากักเก็บคือ เวลาของน้ำเสียในถังบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยออกจากระบบซึ่งต้องมากพอที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารต่างๆ หากมีเวลาเก็บตกเกินไป สารที่ย่อยยากๆ จะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้ายทำให้ BOD มีอยู่ในน้ำเสียมาก สามารถแสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ ง.5

$$(Q)(HRT) = V \quad (ง.5)$$

โดยที่  $V$  คือ ปริมาตรของระบบ ( $m^3$ )  
 $Q$  คือ อัตราการไหลของน้ำเสีย ( $m^3/day$ )

### ง.3.2 อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio)

สารอาหารในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ ถ้าหากมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยแสดงความสัมพันธ์ของ F/M ratio ดังสมการที่ ง.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{F}{M} \text{ ratio} = \frac{BOD \times Q}{MLSS \times V} \quad (ง.6)$$

โดยที่	Q	คือ	อัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย (m <sup>3</sup> /day)
	BOD	คือ	Biochemical oxygen demand (mg/L)
	V	คือ	ปริมาตรของระบบ (m <sup>3</sup> )

### ง.3.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD คือ ค่าที่บ่งบอกความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์

### ง.3.4 ค่า pH

คือค่าที่บ่งบอกความเป็นกรดต่างของระบบ ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งควรมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6-7

### ง.3.5 MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids)

MLSS คือ ปริมาณของแข็งแขวนลอยภายในน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสีย