การศึกษาการบำบัดสีและ COD จากโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก ด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน

Removal of color and COD in Ozonation Process treating corrugated boxes manufactory wastewater

รัตน์ระพินทร์ แสงพิทักษ์

หฤทัย แก้วคำ

ภานุวัฒน์ สายชล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ. 2556

การศึกษาการบำบัดสีและ COD จากโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก ด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน

Removal of color and COD in Ozonation Process treating corrugated boxes manufactory wastewater

รัตน์ระพินทร์ แสงพิทักษ์

หฤทัย แก้วคำ

ภานุวัฒน์ สายชล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญานิพนธ์ การศึกษาการบำบัดสีและซีโอดีจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน

ชื่อ-สกุล นางสาวรัตน์ระพินทร์ แสงพิทักษ์

นางสาวหฤทัย แก้วคำ

นายภานุวัฒน์ สายชล

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์กิติยศ ตั้งสัจจวงศ์

อาจารย์วรนุช ดีละมัน

ดร.วรินธร บุญยะโรจน์

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

นางสาววรนุช ดีละมัน

ประธานกรรมการ

ดร.วรินธร บุญยะโรจน์

กรรมการ

นายกิติยศ ตั้งสัจจวงศ์

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญานิพนธ์ การศึกษาการบำบัดสีและซีโอดีจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน

ชื่อ-สกุล นางสาวรัตน์ระพินทร์ แสงพิทักษ์

นางสาวหฤทัย แก้วคำ

นายภานุวัฒน์ สายชล

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดซีโอดีจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกด้วยกระบวนการโอโซนเนชันซึ่งใช้เครื่องผลิตโอโซนที่มีกำลังการผลิตอยู่ในช่วง 24.5-59.0 มิลลิกรัมต่อชั่วโมงโดยศึกษาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียดังกล่าว ซึ่งประกอบด้วยปัจจัย ดังนี้ พีเอช 4 7 และ 10 ระยะเวลาสัมผัสโอโซน 120 นาทีและความเข้มข้นของซีโอดีเริ่มต้น 200 – 720 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงาน จากการศึกษาพบว่าปัจจัยทั้ง 3 ประการ ที่กล่าวมาข้างต้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีด้วยกระบวนการโอโซนเนชันโดยที่ pH4จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีสูงสุดเมื่อเทียบกับ pH7 และ pH10 นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นของซีโอดีเริ่มต้นสูงขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดก็จะลดลง ซึ่งผลการทดลองสามารถบำบัดซีโอดีได้สูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 81.6 ในการบำบัดน้ำเสียที่มีซีโอดีเริ่มต้นที่ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเสียเริ่มต้นเป็น 450 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 720 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีลดลงเหลือร้อยละ 71.2 และ 64.4 ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นและสีของน้ำเสียด้วยกระบวนโอโซนเนชันจะเป็นในแนวทางเดียวกันกับประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีโดยประสิทธิภาพในการบำบัดจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของซีโอดีเริ่มต้นสูงขึ้น

independent Study Title Removal of color and COD in Ozonnation Process treating corrugated boxes manufactory wastewater.

Name and Surname Rutrapin Sangpitak

Haruthai Kaewkam

Panuwat Saishon

Degree Bachelor of Science

Major program Environmental Science and Natural Resources Faculty of Science and Technology

Academic Year 2013

ABSTRACT

This research aims to study the removal of color and chemical oxygen demand (COD) from the corrugated industry with the ozonnation. The use of ozone with capacity in the range of 24.5-59.0 mg per hr. By studying the factors and conditions that are suitable for the treatment of COD in wastewater which consists of the following factors.pH 4, 7 and 10 ozone exposure period of 120 minutes and initial COD concentration of 200-720 mg per liter. Have conducted experiments using real wastewater from the plant mentioned above affect the performance of the reactor COD with the ozonnation. At pH 4 to provide maximum efficiency in the treatment of COD compared to pH 7 and pH 10. In addition, the concentration of the starting COD higher performance of the reactor is reduced. The results suggest that, the treated of COD up to 81.6 percent. COD in wastewater treatment is started at 200 mg per liter. When the concentration of COD in wastewater from the 450 mg and 720 mg per liter. Found that the performance of the reactor, the COD decreased to 71.2 and 64.4 percent, respectively. For effective treatment of wastewater with turbidity and color ozone process Nation to be aligned with the performance of the reactor COD. The performance of the reactor is decreased when the concentration of the starting COD higher.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจากคณาจารย์หลายท่านผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ อาจารย์วรนุช ดีละมัน ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์และ ดร.วรินธร บุญยะโรจน์ กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่สละเวลาในการช่วยเหลือ ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาตลอดจนช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการ บริษัทโทอิทสึ แพคเกจ จำกัด ที่อนุเคราะห์น้ำเสียในการทำการวิจัย และขอขอบคุณ คุณชัยยุทธ ศรีนิล ที่เป็นธุระในการติดต่อเรื่องขอความอนุเคราะห์น้ำเสีย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ที่อนุเคราะห์เครื่องผลิตโอโซนที่สำหรับใช้ในการทดลองครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท แฮ็ช เอ็นจิเนียร์ริ่ง จำกัด ที่อนุเคราะห์เครื่องผลิตโอโซนที่สำหรับใช้ในการทดลองครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คณาครูอาจารย์ที่อบรมสั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ความสามารถต่างๆ ให้แกคณะผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบันทุกท่าน จนคณะผู้วิจัยสำเร็จการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์มาโนช หลักฐานดี หัวหน้าสาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย รวมทั้งอุปกรณ์ในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้มอบทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 เพื่อเป็นทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เมตตา อบรมสั่งสอน ให้มีความรู้จนถึงปัจจุบันรวมถึงเพื่อนๆ วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ รุ่น3 ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจในการศึกษาวิจัยและทดลอง จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

นางสาวรัตน์ระพินทร์ แสงพิทักษ์

นางสาวหฤทัย แก้วคำ

นายภานุวัฒน์ สายชล

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(ก)
บทคัดย่อ	(ข)
บทคัดย่ออังกฤษ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ช)
สารบัญรูปภาพ	(ซ)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 กรอบแนวคิดในการศึกษา	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 นิยามศัพท์	5
1.7 ระยะเวลาการทำวิจัย	6
บทที่ 2 การทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บริษัท โทอิทสึ แพคเกจ จำกัด	7
2.2 กระดาษ	7
2.2.1 ฝุ่นละออง	7
2.2.2 การแบ่งประเภทกระดาษตามลักษณะการใช้งาน	8
2.2.3 กระดาษลูกฟูก	9
2.2.4 ประเภทของกระดาษลูกฟูก	9
2.3 กระบวนการโอโซนเนชัน	9
2.3.1 คุณสมบัติของโอโซน	10
2.3.2 การนำโอโซนไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ	11
2.3.3 การบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน	11
2.4 น้ำเสีย	13
2.4.1 ลักษณะน้ำเสีย	13
2.4.2 ประเภทของน้ำเสีย	14
2.5 ประโยชน์และโทษของโอโซน	16
2.6 ค่าพารามิเตอร์	17
2.6.1 สี (color)	17
2.6.2 ความขุ่น (Turbidity)	17
2.6.3 พีเอช (pH)	17

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	
3.1 รูปแบบการวิจัย	19
3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	19
3.2.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โอโซน	19
3.2.2 วัสดุอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ซีโอดีแบบปิด	20
3.2.3 วัสดุอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ S.U. (space Unit)	20
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	21
3.3.1 เครื่องผลิตโอโซน	21
3.3.2 เครื่องวัดความขุ่น	21
3.3.3 เครื่องวัด pH	22
3.3.4 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	22
3.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	22
3.4.1 สารเคมีที่ใช้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโอโซน	22
3.4.2 สารเคมีที่ใช้ทำการวิเคราะห์COD	22
3.4.3 สารเคมีที่ใช้ทำการวิเคราะห์สี	22
3.5 วิธีการวิเคราะห์	23
3.5.1 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณโอโซน	23
3.5.2 วิธีการวิเคราะห์ COD	23
3.6 ขั้นตอนการเตรียมงานวิจัย	27
3.6.1 ขั้นตอนการเตรียมงานวิจัย	27
3.6.2 ขั้นตอนการทดลอง	27
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล	
4.1 ผลการวิเคราะห์	30
4.2 โอโซนที่ผลิตได้จากเครื่องโอโซน	30
4.2.1 ผลการทดลองของอัตราการผลิตโอโซนต่อปริมาณโอโซนที่ไม่เข้าทำปฏิกิริยา	31
4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโอโซนเนชันในการลดค่าสีและ COD	31
4.3.1 ปัจจัยของพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการโอโซนเนชัน	32
4.3.2 ปัจจัยของความเข้มข้น COD เริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการโอโซนเนชัน	33
4.3.3 ปัจจัยของระยะเวลาสัมผัสโอโซนที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการโอโซนเนชัน	34
4.3.4 การลดสีในน้ำเสียด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน	35

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3.5 การลดความขุ่นด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน	36
4.4 ปริมาณโอโซนที่เหมาะสมต่อการบำบัด COD ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก	37
4.5 ผลของกระบวนการโอโซนเนชันต่อการบำบัดทางชีวภาพ	37
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	43
ภาคผนวก ก	44
ภาคผนวก ข	47
ภาคผนวก ค	50
ภาคผนวก ง	53
ประวัติผู้วิจัย	56

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 ขนาดตัวอย่างและอัตราเจือจางที่เหมาะสม	25
ตารางที่ 3.2 ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม	25
ตารางที่ 4.1 ปริมาณโอโซนที่ไม่เข้าทำปฏิกิริยา	31
ตารางที่ 4.2 การศึกษาหาค่า pH ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน โดยมีค่า COD เริ่มต้นที่ทำการบำบัด คือ 200 mg/L	32
ตารางที่ 4.3 การศึกษาหาค่า COD เริ่มต้นที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย ด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน ที่สภาวะ pH 4	33
ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัด COD (Removal Percentage) โดยกระบวนการโอโซนเนชันที่ระยะเวลาต่างๆ ที่สภาวะ pH 4	34
ตารางที่ 4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีในการบำบัดน้ำเสีย โดยกระบวนการโอโซนเนชัน ที่สภาวะ pH 4	35
ตารางที่ 4.6 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความขุ่นในการบำบัดน้ำเสีย โดยกระบวนการโอโซนเนชัน ที่สภาวะ pH 4	36
ตารางที่ 4.7 ปริมาณโอโซนที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก	37
ตารางที่ 4.8 การบำบัด COD ด้วยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ	37
ตารางที่ 4.9 การบำบัดสีด้วยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ	38
ตารางที่ 4.13 การบำบัดความขุ่นด้วยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ	38
ตารางผนวกที่ ก1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโอโซน	45
ตารางผนวกที่ ข1 ค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้	48
ตารางผนวกที่ ค1 ผลปริมาณ COD ที่เหลืออยู่หลังผ่านกระบวนการโอโซนเนชัน ในระยะเวลาต่างๆ	51
ตารางผนวกที่ ค2 ผลการกำจัด COD (Removal Percentage)	52
ตารางผนวกที่ ง1 ผลการทดลองที่ใช้กระบวนการโอโซนเนชันในการย่อยสลาย COD ที่ความเข้มข้น COD เริ่มต้น ร้อยละ25	54
ตารางผนวกที่ ง2 ผลการทดลองที่ใช้กระบวนการโอโซนเนชันในการย่อยสลาย COD ที่ความเข้มข้น COD เริ่มต้น ร้อยละ50	55
ตารางผนวกที่ ง3 ผลการทดลองที่ใช้กระบวนการโอโซนเนชันในการย่อยสลาย COD ที่ความเข้มข้น COD เริ่มต้น ร้อยละ100	56

สารบัญรูปภาพ

ภาพ	หน้า
ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดเดิม	3
ภาพที่ 1.2 กรอบแนวคิดใหม่	4
ภาพที่ 3.1 กระบอกทดลองทำด้วยท่ออะคริลิค	19
ภาพที่ 3.2 ขวดแก้วทดลองปริมาณโอโซน	20
ภาพที่ 3.3 กระดาษกรอง	20
ภาพที่ 3.4 กรวยกรอง	21
ภาพที่ 3.5 เครื่องผลิตโอโซน	21
ภาพที่ 3.6 เครื่องวัดความขุ่น	21
ภาพที่ 3.7 เครื่องวัด pH	22
ภาพที่ 3.8 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	22
ภาพที่ 3.9 การทดลองหาปริมาณโอโซน (ozone dose) ที่ผลิตจากเครื่องผลิตโอโซน	23
ภาพที่ 3.10 การวัดสีโดยใช้วิธี Space Unit (S.U.)	26
ภาพที่ 3.11 ติดตั้งอุปกรณ์	28
ภาพที่ 3.12 ขั้นตอนการทดลองการบำบัดด้วยกระบวนการทางเคมี	28
ภาพที่ 3.13 ขั้นตอนการทดลองการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพ	29
ภาพที่ 4.1 ปริมาณโอโซนที่ผลิตได้ในแต่ละครั้งของการทดลอง	30
ภาพที่ 4.2 การศึกษาหาค่า pH ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน	32
ภาพที่ 4.3 การศึกษาหาค่า COD เริ่มต้นที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย ด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน	33
ภาพที่ 4.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด COD (Removal Percentage) โดยกระบวนการโอโซนเนชันเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่สัมผัส	34
ภาพที่ 4.5 การศึกษาหาค่าสีของ pH 4 ที่เหลืออยู่หลังถูกกำจัดเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่สัมผัส	35
ภาพที่ 4.6 การศึกษาหาค่าความขุ่นของ pH 4 ที่เหลืออยู่หลังถูกกำจัดเมื่อเทียบกับ ระยะเวลาที่สัมผัส	36
ภาพผนวกที่ ข1 กราฟแสดงค่ามาตรฐานของสี	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกซึ่งมีการใช้สีต่างๆในการฉีดพ่นผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษ ทำให้มีสีหกปนเปื้อนอยู่ในบริเวณพื้นที่ทำงาน ซึ่งในแต่ละวันผู้ปฏิบัติงานจะต้องมีการฉีดล้างทำความสะอาดสีดังกล่าวทำให้เกิดเป็นน้ำเสียที่จะต้องมีการบำบัดก่อนที่จะปล่อยทิ้งออกสู่สาธารณะได้ นอกจากนี้เครื่องจักรต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกยังมีสีที่ตกค้างและต้องระบายทิ้งเป็นน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกสูง การปล่อยน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกจึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

สีของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกเป็นปัญหาสำคัญต่อสภาพแวดล้อม จากการศึกษาพบว่าแหล่งที่มาของสีมาจากกระบวนการผลิต ได้แก่ การพิมพ์ และขั้นตอนของการล้างอุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆ โดยสารประกอบลิกนินเป็นสารประกอบหลักที่ทำให้เกิดสีในน้ำทิ้ง กระบวนการบำบัดน้ำทิ้งโดยระบบโอโซนเนชัน (Ozonation) จัดว่าเป็นกระบวนการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก และมีการพิสูจน์แล้วว่าสามารถกำจัดสารประกอบที่อาจก่อให้เกิดพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้การปล่อยน้ำทิ้งที่ถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะต้องมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด แต่น้ำทิ้งที่ระบายออกไปยังคงพบว่า มีสีที่สีดำเข้ม และมีกลิ่นของสารเคมี ซึ่งตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรมยังไม่สามารถระบุไว้อย่างชัดเจนในส่วนเกี่ยวกับสีของน้ำทิ้ง แต่มีกำหนดไว้ว่าสีของน้ำทิ้งไม่ควรเป็นที่น่ารังเกียจซึ่งการปล่อยน้ำทิ้งเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดผลด้านลบในแง่จิตวิทยาต่อชุมชนและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในทางกายภาพ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการบำบัดสีของน้ำเสียด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน โดยกระบวนการนี้สามารถบำบัดสีและลดค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand,COD) ในน้ำเสียได้

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นทางเลือกหนึ่งซึ่งถือเป็นการลดค่าใช้จ่าย ลดขั้นตอนในกระบวนการบำบัดและ เพื่อประหยัดเวลาในการบำบัดน้ำเสีย โดยการเปลี่ยนขั้นตอนการบำบัดการจากการบำบัดระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor,SBR) ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไหลต่อเนื่องและตกตะกอนด้วยสารเคมีมาเป็นกระบวนการโอโซนเนชันเพื่อลดสีและค่าซีโอดีก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อบำบัดสีจากน้ำเสียของโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกโดยกระบวนการโอโซนเนชัน
2. เพื่อบำบัดความสกปรกของน้ำเสียในรูป COD ของโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกโดยกระบวนการโอโซนเนชัน
3. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกโดยกระบวนการโอโซนเนชัน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ทำการศึกษาทดลองน้ำเสียที่ห้องปฏิบัติการทางสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
2. น้ำเสียที่ใช้ทดลองเป็นน้ำเสียจริงที่ได้จากกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกของบริษัทโทอิทสึ แพคเกจ จำกัด
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการโอโซเนชัน ได้แก่

    3.1 ระยะเวลาสัมผัสโอโซน (Contact Time)

    - 0 , 30 , 60 , 90 , 120 นาที

    3.2 pH ที่เหมาะสมในการบำบัด

    - pH 4 , pH 7 , pH 10

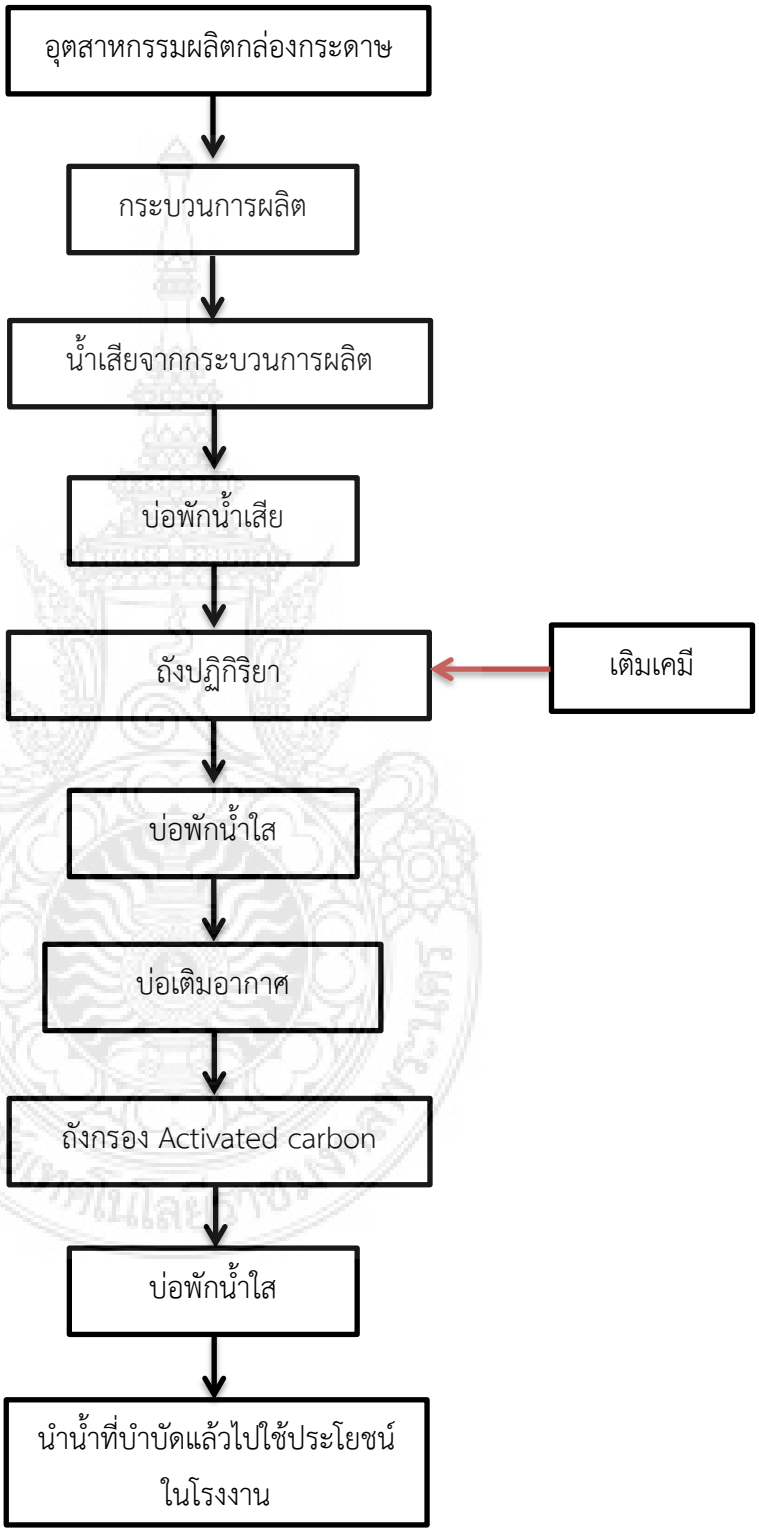
    3.3 ความเข้มข้นของ COD เริ่มต้น

    - 375 mg/L , 750 mg/L , 1500 mg/L

4. พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ Color, pH, Turbidity, COD
5. โอโซนที่ผลิตได้จากเครื่อง Ozone generator ขนาดกำลังการผลิตเฉลี่ย 24.48-59.04mg/hr.

1.4 กรอบแนวคิดในการศึกษา

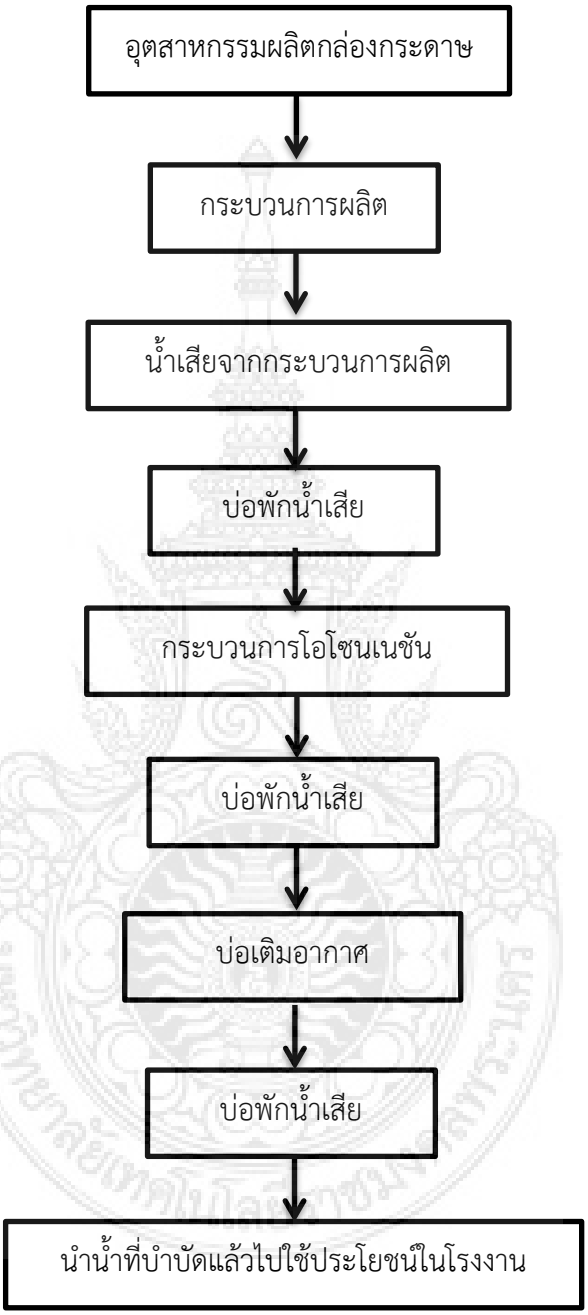
กรอบแนวคิดเดิม



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดเดิม

1.4 กรอบในคิดในการศึกษา

กรอบแนวคิดใหม่



ภาพที่ 1.2 กรอบแนวคิดใหม่

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถบำบัดสีจากน้ำเสียของโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกได้

2. ช่วยลดค่า COD ที่เกิดจากกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

3. ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการโอโซนเนชัน

4.ช่วยลดค่าใช้จ่ายภายในโรงงาน

1.6 นิยามศัพท์

1. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชั่นสารอินทรีย์ ในน้ำให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

2. สี (Color) ของน้ำสีของน้ำเกิดจากการปนเปื้อนของสารต่างๆทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำสีในน้ำอาจจะเป็นผลมาจากน้ำนั้นมีอิออนของโลหะในธรรมชาติ เช่น เหล็ก และแมงกานีส เป็นต้น ฮิวมัสแพลงค์ตอนวัชพืชและสารปนเปื้อนจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสีสามารถถูกกำจัดเพื่อทำให้เหมาะกับการใช้โดยทั่วไป และการใช้ในทางอุตสาหกรรมได้ ถ้าปรากฏว่าน้ำทิ้งอุตสาหกรรมมีสีซึ่งเป็นที่น่ารังเกียจโรงงานอุตสาหกรรมนั้นต้องกำจัดสีของน้ำให้เป็นตามที่กำหนดก่อนที่จะระบายออกนอกโรงงานลงสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้ง สารที่ทำให้เกิดสีในน้ำมีที่มาทั้งจากธรรมชาติ และจากมนุษย์ เช่น ขยะชุมชน และขยะอุตสาหกรรม เป็นต้น

2.1 สีแท้หรือสีจริง (True color) หมายถึง สีที่เกิดจากสารต่างๆ ในน้ำ และละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ โดยสารที่มีผลต่อการเกิดสีแท้ส่วนใหญ่ ได้แก่ สารอินทรีย์ซึ่งย่อยสลายยาก ประเภทกรดฮิวมิค และฟัลวิค (Humic acid and fulvic acid) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสิ่งมีชีวิตและผลผลิตจากกระบวนการเมทาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีความคงตัวสูงมากจนไม่สามารถ ย่อยสลายและแยกออกโดยการกรองได้ การกำจัดสีแท้จึงทำได้ยาก(George *etal.,* 2003 ; กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์, 2547 ; สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

2.2 สีปรากฏ (Apparent color) หมายถึง สีที่เกิดจากสารแขวนลอยในน้ำที่สะท้อนแสงปรากฏให้เห็นแก่สายตา เช่น แพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์ เกล็ดของซากพืชซากสัตว์ ตะกอนของดินและทราย สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีทางกายภาพ เช่น การกรอง หรือการตกตะกอน (George *etal*., 2003 ;กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์, 2547)

3. pH (พีเอช) เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรดจากปฏิกิริยาของอิออนของไฮโดรเจน (H^+) สามารถทดสอบได้หลายวิธี โดยวิธีที่นิยมและง่ายสุดคือทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสจากการเปลี่ยนสี

สำหรับตัวเลขที่แสดงค่าพีเอช ถ้ามีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารนั้นเป็นกลางไม่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเบส ถ้ามีค่าน้อยกว่า 7 แสดงว่าเป็นกรด และถ้ามากกว่า 7 แสดงว่าเป็นเบส

4. ความขุ่นของน้ำ (Turbidity) ความสามารถของน้ำที่แสงส่องผ่านหรือดูดซับปริมาณแสงไว้ โดย สิ่งที่ทำให้น้ำขุ่น ได้แก่ อินทรีย์และอนินทรีย์สารในน้ำ ตลอดจนสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ โดยปรากฏอยู่ในลักษณะของสารแขวนลอย เช่น อนุภาคของดิน ทราย แพลงก์ตอน แบคทีเรีย เป็นต้น ความขุ่นมีหน่วยเป็น NTU (Nephelometric Turbidity Units) ซึ่งน้ำธรรมชาตินั้นจะมีความขุ่นอยู่เสมอ

1.7 ระยะเวลาการทำวิจัย

กิจกรรม	พ.ศ.2556						พ.ศ.2557		
	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค
1.ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	←→								
2.จัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี		←→							
3.ทำการทดลองขั้นต้น			←→	←→					
4.ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ					←→	←→			
5.รวบรวมและวิเคราะห์ผล							←→	←→	
6.สรุปผลและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์								←→	←→

บทที่2

การทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการบำบัดสีและซีโอดีจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกด้วยกระบวนการโอโซนเนชันมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับความรู้ต่างๆหลากหลายซึ่งต้องนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบพิจารณาการอ้างอิงและการวิเคราะห์ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจในเรื่องต่างๆอย่างชัดเจนผู้วิจัยได้ศึกษารวบรวมและนำเสนอดังนี้

2.1 บริษัท โทอิทสึ แพคเกจ จำกัด

บริษัทโทอิทสึ แพคเกจ จำกัด เป็นบริษัทผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกและส่วนประกอบ กรรมการบริหาร คือ นายจ่าง ลีลาธนาพิพัฒน์ ตั้งอยู่บริเวณ 56/4 หมู่ 3 ตำบลคลองพระอุดม อำภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี รหัสไปรษณีย์ 11120 มีจำนวนพนักงาน 180 คน มีกำลังผลิต 9,000 ตันต่อปี

ระบบบำบัดที่ใช้เป็นระบบ : ตกตะกอนเคมี และ Sequencing Batch Reactor (SBR) : ซึ่งมีข้อมูล ดังนี้

-ปริมาณน้ำเสีย (เฉลี่ย) 2.29 m^3/d

-ปริมาณน้ำทิ้ง (เฉลี่ย) 2.29 m^3/d

-ปริมาณการใช้น้ำ (เฉลี่ย) 13.68 m^3/d

-ปริมาณผลผลิตรวมเฉลี่ย/วัน 17.2 Ton

2.2 กระดาษ

2.2.1 ประเภทของกระดาษ

การเรียกชื่อกระดาษในภาษาไทย จะเป็นคำนามรวมสำหรับวัสดุที่ผลิตจากเยื่อหรือเส้นใยของพืช โดยศัพท์เทคนิคที่ใช้เรียกวัสดุนี้มีหลายคำ ซึ่งแบ่งตามความหนาหรือความแข็งแรง

- กระดาษ (Paper) หมายถึง วัสดุที่ได้จากการสานอัดแน่นของเส้นใยพืชจนเป็นแผ่นบาง โดยทั่วไปมีความหนาไม่เกิน 0.012 นิ้ว หรือน้ำหนักมาตรฐาน (Basis Weight) ไม่เกิน 225 กรัมต่อตารางเมตร
- กระดาษแข็ง (Paperboard) หมายถึง กระดาษแข็ง มีความหนามากกว่า 0.012 นิ้ว
- กระดาษลูกฟูก (Corrugated Fiberboard) หมายถึง กระดาษลูกฟูกได้จาก Paperboardหลายชั้น ประกอบด้วยกระดาษผิวหน้า (Liner) และลอนลูกฟูก (CorrugatedMedium) เรียงประกบติดสลับชั้นกัน

2.2.2 การแบ่งประเภทกระดาษตามลักษณะการใช้งาน แบ่งได้เป็น 7 ประเภท ดังต่อไปนี้

2.2.2.1. กระดาษคราฟท์ (Kraft Paper) หรือกระดาษเหนียว หมายถึง กระดาษที่ผลิตจากเยื่อซัลเฟตหรือเยื่อคราฟท์ล้วนๆ หรือต้องมีเยื่อคราฟท์อย่างน้อยร้อยละ 80 กระดาษคราฟท์ที่ใช้งานทั่วไปมีทั้งประเภทไม่ฟอกสี (กระดาษสีน้ำตาล) สำหรับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูง และกระดาษคราฟท์ฟอกสีเพื่อความสวยงาม เพื่อผลิตเป็นกระดาษสีสันต่างๆนิยมใช้กระดาษเหนียวทำถุงเพื่อการขนส่ง และห่อผลิตภัณฑ์ทั่วไป

2.2.2.2. กระดาษเหนียวชนิดยืด (Stretchable Paper) หมายถึง กระดาษเหนียวที่ปรับปรุงให้สามารถยืดตัวได้มากกว่าปกติ จึงสามารถทนทานแรงดึงได้สูงกว่ากระดาษเหนียวธรรมดา นิยมใช้ทำถุงเพื่อการขนส่ง

2.2.2.3. กระดาษแข็งแรงขณะเปียก (Wet Strength Paper) หมายถึง กระดาษเหนี่ยวที่เติมเมลามีนฟอร์มอลดีไฮด์ (Melamine Formaldehyde) หรือยูเรียฟอร์มอลดีไฮด์ (Urea Formaldehyde) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กระดาษแม้ขณะเปียก นิยมให้ห่อผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง และใช้ทำถุงเพื่อการขนส่งที่มีโอกาสเปียกน้ำสูง

2.2.2.4. กระดาษกันไขมัน (Greaseproof Paper) เป็นกระดาษที่ผลิตจากเยื่อที่ผ่านการตีป่นเป็นเวลานานจนเส้นใยกระจาย และบวมน้ำมากเป็นพิเศษ ทำให้กระดาษมีความหนาแน่นสูง และชิ้นส่วนอะไหล่ที่มีน้ำมันเคลือบกันสนิม

2.2.2.5. กระดาษกลาซีน (Glassine) ทำจากกระดาษกันไขมันที่ผ่านการรีดเรียบร้อยด้วยลูกกลิ้งภายใต้อุณหภูมิสูงๆขณะกระดาษเปียกชื้น ทำให้ความหนาแน่นของกระดาษเพิ่มขึ้น และยังมีการขัดผิว ทำให้กระดาษกลาซีนมีเนื่อแน่นและผิวเรียบมันวาว นิยมใช้ห่อผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง

2.2.2.6. กระดาษทิชชู่ (Tissue Paper) กระดาษที่มีความนุ่มและบางเป็นพิเศษ น้ำหนักมาตรฐานประมาณ 17-30 กรัมต่อตารางเมตร นิยมใช้ห่อผลิตภัณฑ์ที่ต้องการป้องกันรอยขูดขีดผิว ห่อของขวัญ หรือห่อผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงเป็นการช่วยเสริมความสวยงามและความพิถีพิถัน เช่น น้ำหอม นาฬิกา และเครื่องประดับ เป็นต้น

2.2.2.7. กระดาษพาร์ชเมนต์ (Parchment Paper) เป็นกระดาษที่ผ่านกระบวนการผลิตพิเศษ โดยการจุ่มกระดาษในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นเวลาสั้นๆ แล้วนำไปล้างและทำให้เป็นกลางก่อนจะนำไปอบรีดให้แห้ง กระดาษนี้จะมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้เป็นอย่างดี

2.2.3 กระดาษลูกฟูก

กระดาษลูกฟูกมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ

2.2.3.1. กระดาษผิวหน้า (Liner) เป็นกระดาษที่ติดบนกระดาษลอนลูกฟูก จะใช้กระดาษคราฟท์ไม่ฟอกสีสำหรับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูง นอกจากนี้อาจใช้กระดาษที่ผลิตจากเยื่อกระดาษเก่าสำหรับงานทั่วไป

2.2.3.2.กระดาษลอนลูกฟูก (Corrugated Medium) ใช้กระดาษที่ผลิตจากเยื่อคราฟท์ เยื่อฟางข้าวหรือเยื่อกระดาษเก่า ขึ้นกับความแข็งแรงที่ต้องการนำมาขึ้นลอน กระดาษลอนลูกฟูกนี้สามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท ตามขนาดของลอน

2.2.4 ประเภทของกระดาษลูกฟูก

2.2.4.1.กระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single Face) ประกอบด้วยกระดาษผิวและกระดาษลอนอย่างละ 1 แผ่น ประกบติดกันด้วยกาว

2.2.4.2.กระดาษลูกฟูกชั้นเดียว (Single Wall) ประกอบด้วยกระดาษลอน 1 แผ่น ประกบติดกัน ทั้งสองหน้าด้วยกระดาษผิว (ต้องใช้กระดาษผิวสองแผ่น)

2.2.4.3.กระดาษลูกฟูก 2 ชั้น (Double Wall) ประกอบด้วยกระดาษลอน 2 แผ่น อาจจะเป็นลอนชนิดเดียวกันหรือต่างกันก็ได้ ประกบติดสลับชั้นกับกระดาษผิว โดยใช้กระดาษผิวทั้งหมด 3 แผ่น มีความแข็งแรงมากกว่ากระดาษลูกฟูกชั้นเดียว

2.2.4.4.กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ประกอบด้วยกระดาษผิว 5 แผ่นเรียบสลับกับกระดาษลอน 3 แผ่น มีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น ใช้กับการบรรจุขนาดใหญ่ และต้องการความแข็งแรงสูง

2.3 กระบวนการโอโซนเนชัน (Ozonation)

กระบวนการโอโซนเนชันเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยไม่ก่อให้เกิดผลผลิตที่เป็นพิษ กระบวนการออกซิเดชันโดยโอโซน เป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้โอโซนในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ เนื่องจากโอโซนเป็นสารออกซิไดซ์ซิงเอเจนต์ที่รุนแรง โอโซนสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน

น้อยลงได้ ผลของการใช้โอโซนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ พบว่าสามารถลดความเป็นพิษของสารอินทรีย์ และเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพได้

โอโซนจึงถูกนำมาใช้เพื่อควบคุม สี กลิ่น รส และใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรคในน้ำ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนานำโอโซนมาใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียด้วย โดยที่โอโซนถูกใช้เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ประสิทธิภาพของโอโซนในการบำบัดสิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสิ่งปนเปื้อน ตัวอย่างเช่น โอโซนสามารถลดความเข้มสีในน้ำเสีย จากโรงงานฟอกย้อมได้ดี แต่ไม่สามารถลดค่า BOD ของน้ำเสียได้ นอกจากนี้การใช้สารออกซิไดส์ เช่น เปอร์ออกไซด์ แสง UV หรือสภาวะที่มี pH สูงๆมาใช้ร่วมกับโอโซน จะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสิ่งปนเปื้อนทำได้ดียิ่งขึ้น

2.3.1 คุณสมบัติของโอโซน

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของโอโซน โอโซน (Ozone) มีสูตรโมเลกุล คือ O_3 และมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 48 อยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิและความดันปกติ มีจุดเดือดเท่ากับ 111.9 ^{o}C ที่ความดันบรรยากาศและไม่เสถียร โอโซนเป็นตัวออกซิแดนซ์ (Oxidant/oxidizing agent) ที่รุนแรง มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายกลิ่น สี และรสในน้ำ และสามารถละลายในน้ำได้ประมาณ 20 เท่าของการละลายในน้ำของออกซิเจนแต่จะไม่เสถียรในน้ำ โอโซนมีความเสถียรในอากาศมากกว่าในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอากาศที่เย็นและแห้ง (Weber, 1972; Cheremisinoff and Cheremisinoff,1993) ความสามารถในการละลายน้ำของโอโซนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันของโอโซนในฐานก๊าซ

โอโซนมีสีอ่อนมาก อาจมีแววสีน้ำเงินให้เห็นบ้าง ความหนาแน่นประมาณ 1.6 เท่าของอากาศ ที่ความเข้มข้นน้อยๆ อาจกล่าวได้ว่าเป็นก๊าซไร้สี ไร้กลิ่น และไม่เผาไหม้ที่ความเข้มข้นต่ำ แต่ที่ระดับความเข้มข้นสูง โอโซนจะมีกลิ่นฉุนค่อนข้างรุนแรง (มั่นสิน, 2539)

โอโซนเป็นก๊าซที่มีโมเลกุลที่เคลื่อนไหวคล่องแคล่วว่องไว เกิดจากการรวมตัวของออกซิเจน 3 ตัว ในสภาวะไม่เสถียรในช่วงอุณหภูมิปกติ 18-30 ^{o}C โอโซนจะแยกตัวกลายเป็นอะตอมของออกซิเจน ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Majumdar and Sproul,1974) เครื่องผลิตโอโซนแบบ Commercial จะสามารถผลิตโอโซนจากอากาศได้เข้มข้นประมาณ 1-3 % แต่ถ้าผลิตจากออกซิเจนบริสุทธิ์จะมีความเข้มข้นสูงถึง 2-6 % (Metcalf and Eddy. 1991; Cheremisinoff and Cheremisioff, 1993) ภาชนะบรรจุหรืออุปกรณ์สัมผัสโอโซนต้องเป็นวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิแดนท์ที่รุนแรงมาก และปฏิกิริยาออกซิเดชันของโอโซนจะปล่อยความร้อนออกมา (มั่นสิน, 2539)

โอโซนเป็นก๊าซที่ก่อให้เกิดความระคายเคืองอย่างรุนแรงถ้าได้รับโดยตรงและในปริมาณเข้มข้นที่สูง (เป็นอันตรายโดยตรงต่อปอดและตา ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์อักเสบ)ผู้ที่อยู่ในบรรยากาศของโอโซนที่เข้มข้นอาจถึงแก่ความตายได้ อย่างไรก็ตามโอโซนความเข้มข้นเพียง 0.01-0.02 ppm โดยปริมาตร (Cheremisinoff and Cheremisioff, 1993; สุรพล, 2543) ก็มีกลิ่นเหม็นให้คนรู้ตัว คน

สามารถทนโอโซนได้ถึง 0.1 ppm โดยไม่เป็นอันตราย แต่ถ้าความเข้มข้นสูงถึง 1 และ 4 ppm คนจะทนได้ 8 และ 1 นาทีตามลำดับ โดยไม่มีอาการผิดปกติ แต่ถ้านานกว่านี้จะเกิดอาการผิดปกติ เช่น ไอ คอแห้ง หายใจลำบาก เคืองตา มีน้ำตาไหล ปวดหัว และแสบเยื่อจมูก ถ้าให้คนดมโอโซนเข้มข้นประมาณ 1 % (ที่ผลิตได้จากเครื่องโดยตรง) จะถึงแก่ความตายภายใน 1 นาที (มั่นสิน, 2539)

การผลิตโอโซน ในการผลิตโอโซนกระทำได้โดยผ่านอากาศแห้งหรือออกซิเจนบริสุทธิ์ (O_2) ไปยังช่องแคบระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่มีความต่างศักย์ประมาณ 15,000-20,000 โวลต์(สภาวะนี้เรียกว่า Corona discharge หรือ Cold plasma discharge) ซึ่งโมเลกุลของออกซิเจนบางส่วนจะแตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน (O) โดยการวิ่งชนของอิเลคตรอน (e^-) จากนั้นอะตอมของออกซิเจนจะรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนกลายเป็นโอโซน (O_3) (Cheremisinoff and Cheremisioff, 1993; มั่นสิน, 2539; วราภรณ์, 2540)

2.3.2 การนำโอโซนไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ

1. ด้านอุตสาหกรรม

ในอุตสาหกรรม เมื่อน้ำผ่านการใช้งานแล้วจะมีกลิ่นเหม็นและสีที่เปลี่ยนไปตามลักษณะของอุตสาหกรรม ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ซึ่งก๊าซโอโซนมีคุณสมบัติทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้กับสารเคมีและเชื้อโรคต่างๆ ดังนั้นก๊าซโอโซนจึงมีประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นสารฟอกสี กำจัดไซยาไนด์ ฆ่าเชื้อโรคแทนสารละลายหรือก๊าซคลอรีน กำจัดกลิ่นเน่าเหม็นของน้ำ

2. ใช้เป็นระบบบำบัดขั้นต้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดขั้นต้น หรือ การบำบัดขั้นปฐมภูมิมักเป็นขั้นตอนหลังการบำบัดขั้นเตรียมการ มีจุดประสงค์หลักเพื่อกำจัดอนุภาคอินทรีย์หรือน้ำมัน/ไขมัน ซึ่งเป็นการลดภาระการบำบัด (หรือลดขนาด) ซึ่งโอโซนสามารถบำบัดสีได้ จึงนำโอโซนมาใช้เป็นระบบบำบัดขั้นต้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการบำบัดขั้นสอง (กระบวนการทางชีวภาพ)

2.3.3 การบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน

โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียร สามารถสลายตัวเป็นออกซิเจนได้อย่างรวดเร็วเมื่อโอโซนละลายน้ำจะแตกตัวให้ radicals ต่าง ๆ ได้แก่ Hydroxyl radicals (OH°), HO°_2, HO°_3 , HO°_4 และ Super oxide (O_2^-) ซึ่ง radical ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะมีความว่องไวมากในการทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ โอโซนจะย่อยสลายสมบูรณ์หรือไม่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์นั้นๆด้วย การใช้โอโซนในการสลายพันธะ สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนจะได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายขึ้น

การสลายตัวของโอโซนในน้ำเป็นลักษณะที่สำคัญที่นำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการโอโซนเนชัน เนื่องจากโอโซนสามารถออกซิไดซ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความแน่นอนสูงปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวของโอโซน (Tomiyaso et al.,1985) คือ

- pH ของสารละลาย

- แสงUV

- ความเข้มข้นของโอโซน

- Free Radical ที่มีอยู่ในสารละลาย

โอโซนมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ใช้ในการกำจัดเหล็กและแมงกานีส

การใช้โอโซนในการกำจัดเหล็กและแมงกานีส ถึงแม้ว่าเหล็กและแมงกานีสที่ละลายน้ำจะไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ (Bablon et al., 1986) แต่ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดสีในน้ำ ดังนั้นจึงมีการกำจัดเหล็กและแมงกานีสทั้งในอุตสาหกรรมน้ำดื่มและน้ำเสีย เหล็กและแมงกานีสที่พบในน้ำส่วนมากอยู่ในรูป $Fe(HCO_3)_2$ และ $Mn(HCO_3)_2$ ในการกำจัดเหล็กและแมงกานีสทำได้โดยการเปลี่ยนรูปของสารละลายให้อยู่ในรูปสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำแล้วนำไปกรองแยกจากน้ำ การเปลี่ยนรูปของสารที่ละลายน้ำ (Fe^{2+} และ Mn^{2+}) ให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (Fe^{3+} และ Mn^{4+}) ทำได้โดยการออกซิไดซ์ด้วยโอโซน การเปลี่ยนรูปของเหล็กโดยการออกซิไดซ์ด้วยโอโซนทำได้ง่ายกว่าการเปลี่ยนรูปของแมงกานีสซึ่งจะใช้โอโซน 4.3 mg/mg Fe^{2+} (Bablon et al., 1986)

2. การใช้โอโซนในการกำจัดสี

เนื่องจากสารอินทรีย์เป็นสาเหตุขั้นต้นที่ทำให้เกิดสีในน้ำ ในการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน จะเป็นการออกซิไดส์สารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสีทำให้เกิดเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ก่อให้เกิดสี ได้ทำการเติมโอโซนในน้ำเสียจากโรงกลั่นเพื่อกำจัด organic matter และdecolorizationพบว่าสามารถลดสีได้ถึง 80% เมื่อเติมโอโซน 50 mg/L (C.G Alfara.,1999)

ปัญหาที่สำคัญของการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมคือสี เนื่องจากสีเป็นสารที่โครงสร้างซับซ้อนไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมักจะใช้หลายวิธีด้วยกัน ทั้งด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพ โดยทั่วไปมักจะใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมีเพื่อกำจัดสีซึ่งถือเป็นส่วนที่กำจัดยากที่สุด แล้วตามด้วยกระบวนการกำจัดทางชีววิทยาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ยังเหลืออยู่ หรืออาจใช้เพียงวิธีการใดวิธีการหนึ่งในการบำบัดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำเสียและประสิทธิภาพของระบบเป็นสำคัญ โอโซนเป็นทางเลือกที่มีการนำมาใช้เพื่อกำจัดสีในน้ำเสียฟอกย้อม (Gottschalk et al.,2000)

3. การใช้โอโซนในการฆ่าเชื้อโรค

การฆ่าเชื้อโรค (กำจัดแบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อรา) เป็นจุดประสงค์หลักของการบำบัดน้ำในอุตสาหกรรมน้ำดื่ม ซึ่งแต่เดิมจะใช้คลอรีนเท่านั้นในการฆ่าเชื้อโรค โดยมีข้อดี คือ เป็นวิธีที่ง่าย ราคาถูก และเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย แต่มีข้อเสียคือ จะมีกลิ่นคลอรีนและอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ กล่าวคือ ปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับสารอินทรีย์จะทำให้เกิดสาร Organochloride ชนิด Trihalomethane (THM) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ทำให้ความนิยมในการใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคลดลง และได้มีการนำโอโซนมาใช้ในการฆ่าเชื้อโรคมากขึ้น แม้ว่าโอโซนจะมีราคาแพงกว่าคลอรีน แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้คลอรีนกับโอโซนพบว่าโอโซนสามารถฆ่าเชื้อโรคได้รวดเร็วกว่าการใช้คลอรีนถึง 5,000 เท่า และไม่ทำให้เกิดกลิ่นในน้ำ

นอกจากนี้โอโซนยังถูกใช้เพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียจากชุมชน และภาคอุตสาหกรรมควบคู่ไปกับการบำบัดทางกายภาพ เคมี และ ชีวภาพ เนื่องจากโอโซนสามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วกับสารประกอบอินทรีย์หลายชนิดและจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย อีกทั้งไม่ก่อให้เกิดรส กลิ่น และสารตกค้างในน้ำเหมือนการใช้คลอรีน ซึ่งย่อยสลายได้ยากและเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการพัฒนากระบวนการโอโซนเนชันจึงมีผลดีกว่าในด้านการดูแลสิ่งแวดล้อม

4. การใช้โอโซนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสร้างตะกอนและกำจัดความขุ่น

โอโซนจะไปทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยโอโซนจะทำให้เกิดโมเลกุลที่มีขั้ว ซึ่งโมเลกุลดังกล่าวสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารสร้างตะกอนและรวมตัวเป็นตะกอน นอกจากนี้การเติมโอโซนยังไปออกซิไดซ์สาร อินทรีย์จึงทำให้น้ำมีความขุ่นลดลง (Chang and Singer, 1991)

2.4 น้ำเสีย

2.4.1 ลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนและปนเปื้อนอยู่ในของเหลว น้ำเสียจากแหล่งต่างๆจะมีลักษณะของสมบัติที่แตกต่างกันออกไป รายละเอียดของลักษณะน้ำเสียเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญสำหรับวิศวกรในการออกแบบเพื่อให้ได้ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูง และสำหรับผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถควบคุมระบบให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องเหมาะสม (กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์, 2549)

2.4.2 ประเภทของน้ำเสีย

การแบ่งน้ำเสีย สามารถแบ่งได้ดังนี้

2.4.2.1 การแบ่งประเภทของน้ำเสียตามแหล่งกำเนิด

การแบ่งประเภทของน้ำเสียตามแหล่งกำเนิดมักเป็นที่นิยมใช้กันมาก ทั้งนี้เนื่องจากทำให้ทราบถึงแหล่งที่มาของน้ำเสีย รวมทั้งสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียด้วย การแบ่งประเภทของน้ำเสียโดยวิธีการนี้สามารถแบ่งน้ำเสียได้เป็น 3 ประเภทคือ (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์,2552)

(1) น้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชนหรืออาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า น้ำโสโครก (Sewage) ได้แก่ น้ำทิ้งที่มาจากชุมชน บ้านเรือนที่พักอาศัย อาคาร ร้านค้า ภัตตาคาร โรงแรม เป็นต้น โดยน้ำเสียดังกล่าวมักจะเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ น้ำเสียส่วนนี้มักปนเปื้อนสิ่งสกปรกจำพวกสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร อุจจาระ ปัสสาวะ นอกจากนี้ยังมีผงซักฟอก สบู่ และสารลดแรงตึงผิวที่เป็นส่วนประกอบในผงซักฟอก สบู่ ตลอดจนจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ซึ่งอาจจะมีน้ำที่เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ทั่วไป

(2) น้ำเสียเกษตรกรรม

น้ำเสียจากทางการเกษตรเป็นน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากพื้นที่ที่มีกิจกรรมเกี่ยวกับการเกษตรไม่ว่าจะเป็นพื้นที่เพาะปลูกหรือพื้นที่เลี้ยงสัตว์ สิ่งที่ปนเปื้อนในน้ำเสียที่มาจากพื้นที่เลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่มักเป็นสารอินทรีย์ซึ่งมากจากเศษอาหารสัตว์และสิ่งที่ขับถ่ายออกมาจากตัวสัตว์ ซึ่งน้ำเสียส่วนนี้มักจะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง ส่วนน้ำเสียที่มาจากพื้นที่เพาะปลูกมักมีการปนเปื้อนของสารเคมี ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช ที่ถูกใช้ในพื้นที่เพาะปลูก ดังนั้นน้ำเสียจากการเกษตรกรรมมักจะมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์เป็นจำนวนมากรวมทั้งสารเคมีด้วย

(3) น้ำเสียอุตสาหกรรม (Industrial wastewater)

น้ำเสียอุตสาหกรรมจะเป็นน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสิ่งสกปรกที่แตกต่างกันและปริมาณของสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนก็แตกต่างกันด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม วัตถุดิบที่ใช้ตลอดจนขบวนการผลิตที่ใช้ โดยสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนอาจเป็นสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ หรืออาจเป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ก็ได้ น้ำเสียอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิตและจากกิจกรรมของพนักงานในโรงงานด้วยผสมกัน แต่โรงงานบางแห่งที่แยกน้ำเสียทั้ง 2 ส่วนออกจากกันอย่างเด่นชัดและมีการบำบัดแยกออกจากกันโดยเด็ดขาด

2.4.2.2 การแบ่งประเภทของน้ำเสียตามลักษณะสมบัติของสิ่งสกปรก
(Classification of wastewater by type of impurities)

การจำแนกชนิดของน้ำเสีย วิธีการนี้อาศัยแบ่งตามลักษณะของสิ่งปนเปื้อน โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

(1) น้ำเสียอินทรีย์ (Organic wastewater)

น้ำเสียอินทรีย์เป็นน้ำเสียที่มีสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนเป็นสารอินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ น้ำประเภทนี้ ได้แก่ น้ำเสียชุมชน น้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารและแปรรูปอาหาร น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ น้ำเสียจากโรงงานฆ่าสัตว์ และน้ำเสียจากห้องเย็น เป็นต้น

(2) น้ำเสียอนินทรีย์ (Inorganic wastewater)

น้ำเสียอนินทรีย์เป็นน้ำเสียที่มีสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนเป็นสารอนินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ น้ำเสียประเภทนี้ได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเคมี อุตสาหกรรมผลิตสารเคมี อุตสาหกรรมการชุบโลหะ อุตสาหกรรมฟอกย้อม เป็นต้น

2.4.2.3 ลักษณะน้ำเสีย
สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

(1) ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ คือ สสารที่อยู่ในน้ำเสียที่จำแนกออกได้ในรูปของของแข็งชนิดต่างๆ กลิ่น อุณหภูมิ สี และความขุ่น

(2) ลักษณะน้ำเสียทางเคมี คือ สสารที่อยู่ในน้ำเสียที่จำแนกออกได้ในรูปของสารอินทรีย์ (Organics) เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันและน้ำมัน นิยมทำการตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของ บีโอดี, ซีโอดี, ทีโอซี และสารอนินทรีย์ (Inorganic)

(3) ลักษณะน้ำเสียทางชีวภาพ คือ น้ำเสียที่มีส่วนประกอบทางชีวภาพ เช่น แบคทีเรีย รา สาหร่ายโปรโตซัวไวรัส เป็นต้น

ประเทศไทยได้ก้าวสู่ประเทศอุตสาหกรรม ภาคอุตสาหกรรมทำรายได้ให้กับประเทศมากกว่าภาคการเกษตรอย่างน้อย 2 เท่า ในขณะที่เศรษฐกิจของประเทศมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปัญหาสิ่งแวดล้อมก็ได้เพิ่มมากข้น ปัญหามลพิษน้ำไม่ได้หยุดอยู่ที่ค่าความสกปรกในรูปบีโอดี ได้ขยายครอบคลุมไปถึงโลหะหนัก สารพิษ สารอันตรายอื่นๆ เนื่องจากการที่มีประเภทโรงงานตั้งเพิ่มขึ้นอันเป็นผลจากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมลสารเหล่านี้ยากที่จะทำลาย

จากการที่โรงงานอุตสาหกรรมมีมากมายหลายประเภท จึงเป็นไปไม่ได้ที่ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะเหมือนกันทุกโรงงาน แม้กระทั่งในโรงงานประเภทเดียวกัน ลักษณะของน้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานนั้นยังแตกต่างกัน และช่วงเวลาทำงานก็แตกต่างกัน บาง

โรงงานผลิต 8-12 ชั่วโมง บางโรงงานผลิต 24 ชั่วโมง โดยเฉพาะโรงงานที่มีผลิตภัณฑ์หลายอย่าง ลักษณะน้ำเสียในแต่ละเวลาก็จะแตกต่างกันมาก

2.5 ประโยชน์และโทษของโอโซน

ประโยชน์ของโอโซน

(1) โอโซนช่วยในการขจัดกลิ่นเหม็น กลิ่นไม่พึงประสงค์ต่างๆ โดยส่วนประกอบไอระเหยของสารอินทรีย์จะถูกโอโซนเข้าทำลาย ส่งผลให้กลิ่นไม่พึงประสงค์หรือ กลิ่นอับชื้นต่างๆถูกขจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว

(2) โอโซนช่วยในการทำลาย และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค เซลล์โปรตีนที่ห่อหุ้มและหล่อเลี้ยงเชื้อโรคต่างๆ เช่น แบคทีเรีย ไวรัส สปอร์ หรือเชื้อรา จะถูกโอโซนเข้าไปทำลาย ทำให้เชื้อโรคไม่สามารถเจริญเติบโตได้

(3) โอโซนช่วยในการสลายก๊าซพิษ โดยจะเข้าไปทำลายโครงสร้างของก๊าซพิษต่างๆ ทำให้เกิดการสลายตัวหรือเปลี่ยนรูป

(4) โอโซนมีคุณสมบัติในการฟอกสี ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีโอโซนเข้ามาใช้ใน การผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดการบำบัดน้ำเสีย และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากโอโซนมีคุณสมบัติในการฟอกสี และบำบัดน้ำ ทำให้น้ำเสียที่เคย ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทั้งทางน้ำและอากาศสามารถกลับมาเป็นน้ำที่ใสและ คุณลักษณะของน้ำที่ดีขึ้น ไม่เป็นพิษต่อสภาพแวดล้อม

โทษของโอโซน

(1) เมื่อหายใจเข้าไปโอโซนทำอันตรายต่อปอด แม้ว่าจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยโอโซนสามารถทำให้เกิดอาการเจ็บหน้าอก ไอ หายใจไม่ออก เจ็บคอ ระคายเคืองคอ

(2) โอโซนสามารถทำให้เกิดปัญหาโรคระบบทางเดินหายใจอย่างเรื้อรัง อย่างเช่น โรคหอบ

(3) ทำให้ภูมิคุ้มกันของร่างกายที่จะต่อสู้กับโรคติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจลดลง

2.6 ค่าพารามิเตอร์

2.6.1 สี (color)

สีของน้ำเกิดจากการปนเปื้อนของสารต่างๆทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ สีในน้ำอาจจะเป็นผลมาจากน้ำนั้นมีอิออนของโลหะในธรรมชาติ เช่น เหล็ก และ แมงกานีส เป็นต้น ฮิวมัสแพลงค์ตอนวัชพืชและสารปนเปื้อน จากน้ำทิ้งอุตสาหกรรม สีสามารถถูกกำจัดเพื่อทำให้เหมาะกับการใช้โดยทั่วไป และการใช้ในทางอุตสาหกรรมได้ ถ้าปรากฏว่าน้ำทิ้งอุตสาหกรรมมีสีซึ่งเป็นที่น่ารังเกียจ โรงงานอุตสาหกรรมนั้นต้องกำจัดสีของน้ำให้เป็นไปตามที่กำหนดก่อนที่จะระบายออกนอกโรงงานลงสู่แหล่งรับรองน้ำทิ้ง สารที่ทำให้เกิดสีในน้ำมีที่มาทั้งจากธรรมชาติและจากมนุษย์ เช่น ขยะชุมชน และขยะอุตสาหกรรม เป็นต้น

2.6.1.1 สีแท้หรือสีจริง (True color) หมายถึง สีที่เกิดจากสารต่างๆในน้ำ และละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ โดยสารที่มีผลต่อการเกิดสีแท้ส่วนใหญ่ ได้แก่ สารอินทรีย์ซึ่งย่อยสลายยากประเภทกรดฮิวมิค และฟัลวิค (Humic acid and fulvic acid) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสิ่งมีชีวิตและผลผลิตจากกระบวนการเมทาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีความคงตัวสูงมากจนไม่สามารถย่อยสลายและแยกออกโดยการกรองได้ การกำจัดสีแท้จึงทำได้ยาก (George *et al*, 2003 ; กัณฑรีย์ ศรีพง-พันธุ์, 2547 ; สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

2.6.1.2 สีปรากฏ (Apparent color) หมายถึง สีที่เกิดจากสารแขวนลอยในน้ำที่สะท้อนแสงปรากฏให้เห็นแก่สายตา เช่น แพลงค์ตอนพืช และแพลงค์ตอนสัตว์ เกล็ดของซากพืชซากสัตว์ตะกอนของดินและทราย สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีทางกายภาพ เช่น การกรอง หรือการตกตะกอน (George *et al*,2003 ; กัณฑรีย์ ศรีพงพันธุ์, 2547)

2.6.2 ความขุ่น (Turbidity)

ความสามารถของน้ำที่แสงส่องผ่านหรือดูดซับปริมาณแสงไว้ โดยสิ่งที่ทำให้น้ำขุ่นได้แก่ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำ ตลอดจยสิ่งมีชีวิตเล็กๆ โดยปรากฏอยู่ในลักษณะของสารแขวนลอย เช่น อนุภาคของดิน ทราย แพลงก์ตอน แบคทีเรีย เป็นต้น ความขุ่นมีหน่วยเป็น NTU (Nephelometric Turbidity Units) ซึ่งน้ำธรรมชาตินั้นจะมีความขุ่นอยู่เสมอ

2.6.3 พีเอช (pH)

pH (ย่อมาจาก power of Hydrogen ion) เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรดเป็นเบส (ที่เราเรียกว่า ด่าง) ของสารเคมีจากปฏิกิริยาของอิออนของไฮโดรเจน (H^+) สามารถทดสอบได้หลายวิธี โดยวิธีที่นิยมและง่ายสุดคือทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสจากการเปลี่ยนสี

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pena *et al*. (2003) ได้ทำทดลองโดยใช้ วิธีการ Chemical Oxidation ซึ่งใช้โอโซนกำจัดสีในน้ำเสีย พบว่าเมื่อเติมโอโซนให้กับน้ำเสียเป็นเวลา 30 นาที สามารถลดสี และ COD ได้ 93% และ 25% ตามลำดับ

นวพรรษ (2545) ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียจากขยะมูลฝอยโดยใช้โอโซน พบว่าที่สภาวะเหมาะสม ของการทดลองบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่ภาระบรรทุก 100%pH7 เวลาสัมผัส 2.5 ชั่วโมง สามารถลดCOD และสีได้ 27.27% 83.68% ตามลำดับ และเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยอัตราส่วน BOD_5/COD เพิ่มจาก 0.047 เป็น 0.084

M.F Seuimliและ C.Kinaci (2002) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการเติมโอโซน และ Fenton process เพื่อกำจัดสีและลดค่า COD โดยสีที่ทดลองคือ Acid red 337 และ Reactive orange 16 ได้สนใจทำการทดลองหาค่าปริมาณโอโซนที่เติมและค่า pH พบว่าการเพิ่มปริมาณ โอโซนจะช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและลด COD ได้เพิ่มขึ้น การใช้โอโซนเพื่อการลดสีต่อหนึ่งหน่วยสีและการลด COD มีค่าคงที่ถึงแม้ว่าจะมีการแปรเปลี่ยนปริมาณโอโซนที่เติมก็ตาม ผลการทดลองที่ได้คือสามารถกำจัดสีได้ 60-91% และให้ประสิทธิภาพ การลด CODได้ 9-17% เมื่อมีการเติมโอโซนให้กับระบบ 30 นาที ในส่วนของกระบวนการ Fenton Oxidation ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการคือ pH , อุณหภูมิ, ปริมาณ ferrous sulphateและปริมาณ H_2O_2ที่เติมเข้าสู่ปฏิกิริยา การศึกษาอัตราส่วนระหว่าง Fe(II)/H_2O_2 ก็เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่ผู้ทำการ ทดลองสนใจ ผลที่ได้รับคือ สามารถลดสีได้ 99% และลด COD ได้82% ค่า pHและอุณหภูมิไม่ได้ มีผลต่อการลดสีของกระบวนการ Fenton oxidation การเพิ่มปริมาณ Ferrous sulphateและ H_2O_2จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีและลด CODได้ ค่าอัตราส่วน Fe (II)/ H_2O_2ที่ได้จากการศึกษาคือ 0.5-0.8

Alfafara et al. (1999) ศึกษาการทำโอโซนเนชันในน้ำเสียจากโรงกลั่น เพื่อกำจัด organic matter และ decolorization (กำจัดสีของ polymeric pigment ที่เรียกว่า melanoidins) อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจากการทดลองสามารถกำจัด COD ได้ 16% กำจัดสีได้ 80% เพิ่ม BOD/COD ratio ได้ 40% (จาก 0.3 เป็น 0.5) และลดมวลโมเลกุลของ melanoidins ได้ 10% ซึ่งจะเห็นได้ว่า โอโซนมีผลโดยตรงในการกำจัดสี และพัฒนาการย่อยสลายทางชีววิทยา จึงเสนอว่าควรใช้เป็น treatment step ก่อนเข้า anaerobic digestion ในระบบบำบัดน้ำเสียนี้ และนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียประเภทอื่น

วีระพงศ์ (2548) ศึกษาความสามารถในการลดสีของกระบวนการโอโซนเนชั่น เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอโซนเนชั่นที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง กำลังการผลิตโอโซน และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.0,กำลังการผลิตโอโซนเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง และ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 4.0 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ 69.20%

บทที่3

วิธีดำเนินการ

3.1 รูปแบบการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาการบำบัดสีและซีโอดีจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน

3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์ในการวิเคราะห์โอโซน

3.2.1.1 กระบอกทดลองทำด้วยท่ออะคริลิค ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ยาว 140 เซนติเมตร ด้านล่างมีท่อต่อเป็นท่อน้ำออกและด้านบนมีท่อต่อให้ระบายอากาศออก

ภาพที่ 3.1 กระบอกทดลองทำด้วยท่ออะคริลิค

3.2.1.2 ขวดแก้วขนาด1 ลิตร จำนวน 2 ขวด

ภาพที่ 3.2 ขวดแก้วทดลองปริมาณโอโซน

3.2.1.3 สายยาง

3.2.1.4 ถังพลาสติกสำหรับเก็บน้ำตัวอย่างขนาด 20 ลิตร

3.2.2 วัสดุอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ซีโอดีแบบปิด (Closed reflux) ได้แก่

3.2.2.1 ภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย (digestion vessel)

3.2.2.2 เครื่องให้ความร้อนหรือเตาอบ (block heater or oven)

3.2.3 วัสดุอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ SU (space unit)

3.2.3.1 กระดาษกรอง เบอร์ 5 (filter paper)

ภาพที่ 3.3 กระดาษกรอง

3.2.3.2 กรวยกรอง(Funnel)

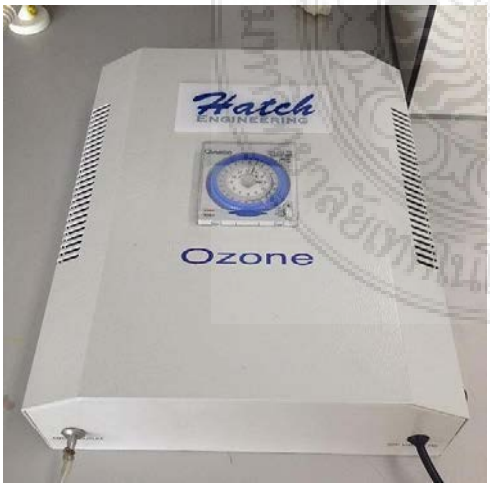
ภาพที่ 3.4 กรวยกรอง

3.2.3.3 คิวเวทท์

3.2.3.4 กระดาษทิชชูชำระ

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 เครื่องผลิตโอโซน (Ozone generator) ขนาด 500 mg/hr.



ภาพที่ 3.5 เครื่องผลิตโอโซน

3.3.2 เครื่องวัดความขุ่น (Turbidity)

ภาพที่ 3.6 เครื่องวัดความขุ่น

3.3.3 เครื่องวัดpH

ภาพที่ 3.7 เครื่องวัด pH

3.3.4 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

ภาพที่ 3.8 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.4.1 สารเคมีที่ใช้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโอโซนได้แก่

3.4.1.1 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

3.4.1.2 แป้ง

3.4.1.3 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดส์ (KI)

3.4.2 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ COD ได้แก่

3.4.2.1 โพแตสเซียม ไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)

3.4.2.2 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

3.4.2.3 ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4)

3.4.2.4 เมอร์คิวริกซัลเฟต ($HgSO_4$)

3.4.2.5 เฟอโรอีนอินดิเคเตอร์ ($C_{36}H_{24}FeN_6O_4S$)

3.4.3 สารเคมีที่ใช้ทำการวิเคราะห์สี

3.4.3.1 โพแทสเซียมคลอโรแพลทติเนต (K_2PtCl_6)

3.4.3.2 โคบอลต์ คลอไรด์ ($CoCl_2.6H_2O$)

3.4.3.3 กรดไฮโดรคลอริก (conc.HCL)

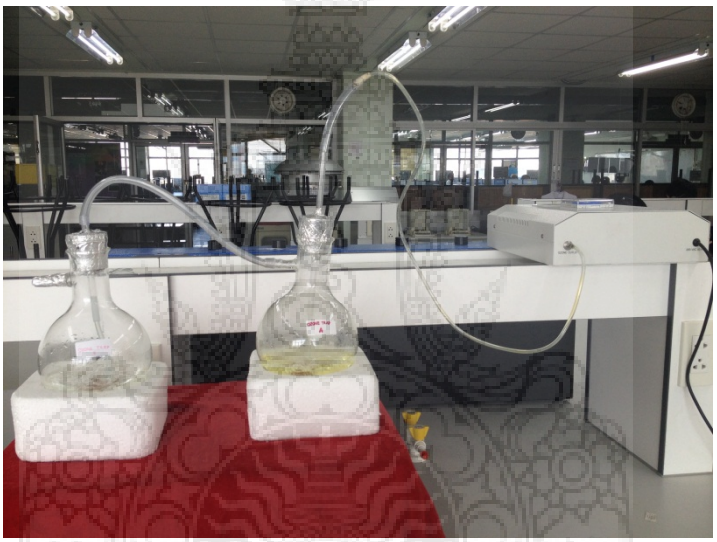
3.5 วิธีการวิเคราะห์

3.5.1 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณโอโซน

การวิเคราะห์ปริมาณโอโซน ใช้วิธีวิเคราะห์ตาม Standard Method Number 2350E ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

3.5.1.1 เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดส์ 2% อย่างน้อย 500 มิลิลิตร ใส่ภาชนะปิด ซึ่งอย่างน้อยใช้ 2 ขวดต่ออนุกรมกัน (Trap A, Trap B) ทำการเติมโอโซนไปในสารละลาย สีของสารละลายจะค่อยๆเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้ม

3.5.1.2 นำสารละลายที่ได้จาก (Trap A, Trap B) มาเติมน้ำแป้ง 1 มิลลิลิตร ทำการไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 N จนถึงจุดยุติ จะได้สารละลายใสไม่มีสี



ภาพที่ 3.9 การทดลองหาปริมาณโอโซน (Ozone dose) ที่ผลิตจากเครื่องผลิตโอโซน

3.5.2 วิธีการวิเคราะห์ COD

การวิเคราะห์ค่าซีโอดีมี 2 วิธีคือ

3.5.2.1 วิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open Reflux Method)

3.5.2.2 วิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Close Reflux Method)

วิธีรีฟลักซ์แบบเปิดเหมาะสำหรับค่าซีโอดีในช่วงกว้างๆต้องการใช้ปริมาณตัวอย่างมากส่วนวิธีรีฟลักซ์แบบปิดจะใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่า และประหยัดการใช้สารเคมี แต่ก็เหมาะสมกับตัวอย่างน้ำที่มีสารแขวนลอยที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน วิธีรีฟลักซ์ยังแบ่งออกได้ 2 แบบ คือการไตเตรทและการเทียบสี

ซึ่งโครงการนี้ได้เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์หาซีโอดีแบบวิธีรีฟลิกซ์แบบปิด/การไตเตรท (close Reflux,Titrimetric method)

หลักการการวิเคราะห์ซีโอดีแบบวิธีรีฟลักซ์แบบปิดมีหลักการเช่นเดียวกับวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด แต่จะรีฟลักซ์ในหลอดแก้วที่มีฝาเกลียวปิดใส่อยู่ในเตาที่มีอุณหภูมิ 150 ± 2˚C โดยไม่ต้องใช้คอนเดนเซอร์ สิ่งที่รบกวนการวิเคราะห์เหมือนการรีฟลักซ์แบบเปิด แต่การรีฟลักซ์แบบปิดสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่ระเหยได้อย่างสมบูรณ์

วิธีการวิเคราะห์ COD แบบปิด (Close reflux method)

1. การเลือกขนาดของหลอดแก้วสำหรับต้มซีโอดีให้เหมาะสม

ถ้าตัวอย่างน้ำที่มีซีโอดีต่ำให้เลือกใช้หลอดแก้วขนาด 25×150 มม. (ปริมาตรตัวอย่างน้ำ 10 มล.) ถ้าซีโอดีค่อนข้างสูงให้ใช้หลอดแก้วขนาด 20×150 มม.(ปริมาตรตัวอย่างน้ำ 5มล.) และถ้าซีโอดีสูงสามารถใช้หลอดแก้วขนาด 16×100 มม. (ปริมาตรตัวอย่างน้ำ 2.5มล.) ในที่นี้ขอแนะนำว่าไม่จำเป็นต้องใช้หลอดทดลองหลายขนาดใช้เพียง 2 ขนาดคือ 25×150 มม.สำหรับหาซีโอดีที่มีขนาดต่ำและขนาด 20×150 มม.สำหรับหาซีโอดีที่มีค่าสูง ถ้าตัวอย่างมีค่าสูงมากก็ให้เจือจางตัวอย่างน้ำก่อน

2. การเลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำ

ถ้าเป็นน้ำสะอาด น้ำธรรมชาติหรือน้ำที่มีค่า ซีโอดีต่ำ (<40มก./ล.) ควรใช้ตัวอย่างน้ำ 10 มล. โดยใช้หลอดแก้วขนาด 25×150 มม. แต่ถ้ามีค่าซีโอดีสูงกว่านั้นให้ใช้หลอดแก้วขนาด 20×150 มม. โดยใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำมากสุด 5 มล.หรือใช้น้อยแล้วเติมน้ำกลั่นให้เป็น 5 มล.และถ้าตัวอย่างน้ำมีค่า ซีโอดีสูงมากต้องเจือจางตัวอย่างน้ำก่อนนำมาใช้ ควรประมาณค่าซีโอดีของตัวอย่างน้ำคร่าวๆ ก่อน เพื่อที่จะได้เลือกใช้ปริมาตรตัวอย่างได้อย่างเหมาะสม การประมาณค่าซีโอดีสามารถทำได้โดยพิจารณาจากลักษณะตัวอย่างน้ำแหล่งที่มาของน้ำ และจากค่า Rapid cod การเลือกขนาดตัวอย่างน้ำที่จะใช้วิเคราะห์ให้เหมาะสมอาจดูได้จากตารางที่ 3.1 ในทางปฏิบัติ ควรเลือกใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำให้ผลต่างของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรทแบลงค์และตัวอย่างน้ำอยู่ระหว่าง 1-5 มล.

ตารางที่ 3.1 ขนาดตัวอย่างและอัตราเจือจางที่เหมาะสม

ช่วงซีโอดี	ขนาดตัวอย่าง(มล.)	อัตราเจือจาง
<200	5	1:1
200-400	4	1:1
400-800	2	1:1
800-1,600	1	1:1
1,600-3,200	5	1:10
2,700-5,300	3	1:10
4,000-8,000	4	1:20
8,000-1,6000	2	1:20
13,000-26,500	3	1:50
20,000-40,000	2	1:50
40,000-80,000	2	1:100
80,000-160,000	1	1:100

หมายเหตุ ควรใช้ FAS ความเข้มข้น 0.05 นอร์มัล และ $K_2Cr_2O_7$ 0.1 นอร์มัล เมื่อทำการเลือกน้ำตัวอย่างที่จะใช้

3. ใส่น้ำตัวอย่าง

3.1 ใส่น้ำตัวอย่างลงในหลอดแก้วขนาดเหมาะสม เติมน้ำย่อยสลายหรือโปแตสเซียมไดโครเมต ตามด้วยกรดกำมะถันอย่างช้าๆในปริมาณที่แสดงอยู่ในตารางที่ 14.2 (ถ้าใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำน้อยกว่าที่แสดงไว้ในตารางให้เติมน้ำกลั่น ให้ครบตามจำนวน) ปิดฝาให้แน่นและเขย่าผสมกันให้ดี สำหรับแบลงค์ใช้น้ำกลั่นแล้วทำเหมือนตัวอย่างทุกอย่าง

ตารางที่3.2 ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม

ขนาดหลอดแก้ว (มม.)	ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)	สารละลายไดโครเมต (มล.)	สารละเลยกรดซัลฟุริก (มล.)	ปริมาตรทั้งหมด (มล.)
16×100	2.5	1.5	3.5	7.5
20×150	5.0	3.0	7.0	15.0
25×150	10.0	6.0	14.0	30.0

3.2 วางหลอดแก้วในบล็อค แล้วใส่ตู้อบ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 150±2ºC เป็นเวลา 2 ชม. เมื่อครบ 2 ชม. แล้วนำออกจากตู้อบปล่อยทิ้งให้เย็น

4. การทำไตรเตรชัน

เทสารละลายออกจากหลอดแก้วลงในขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด แล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวย เติมเฟอโรอีนอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานเอฟเอเอส สีของสารละลายจะค่อยๆเปลี่ยนจากเหลืองไปเป็นสีเขียวอมเหลืองไปเป็นสีฟ้าไปเป็นสีน้ำตาลแดง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดยุติจดปริมาณเอฟเอเอสที่ใช้ไตเตรท

การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี,มิลลิกรัม/ลิตร} = \frac{(A-B)\times N\times 8000}{\text{มล.ของตัวอย่างน้ำ}}$$

เมื่อ A = มล.ของFAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบงค์

B = มล.ของFAS ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่างน้ำ

N = ความเข้มข้นของFAS,นอร์มัล

ที่มาจาก : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์,2551

3.5.3 วิธีการวิเคราะห์สี

วิธีการวิเคราะห์สีของน้ำมี 3 วิธีดังนี้

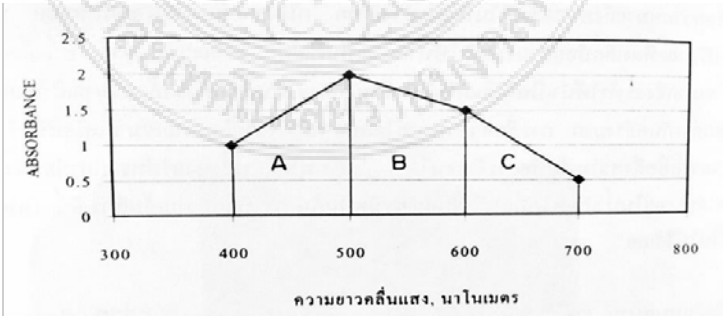
1.วิธีเปรียบเทียบโดยใช้หลอดเนสเลอร์

2.วิธีเปรียบเทียบโดยใช้ Test Kit

3.วิธี SU (space Unit)

วิธี SU (space Unit) ซึ้งเป็นวิธีที่ใช้ในงานวิจัยที่ยังไม่แพร่หลายนักและยังไม่ใช่วิธีมาตรฐาน แต่เป็นวิธีที่มีความหมายและใช้ได้ง่าย วิธี SU (space Unit)วิธีนี้เป็นการวัด Absorbance (A) ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวเคลื่อนแสง 400-700 นาโนเมตร และคำนวณพื้นที่ใต้กราฟเป็นค่า SU ช่วงคลื่นความดังกล่าวเป็นของสีต่างๆที่ตามมองเห็น ดังนั้นค่า SU จึงใช้ได้กับทุกสี สีที่เข้มมากก็จะดูดกลืนแสงมากทำให้ได้ค่า A สูง

หลักการ การวัดสีแบบเอสยู (S.U=Space Unit)เป็นหน่วยการวัดสีโดยวัดการดูดกลืนคลื่นแสง (Absorbance) ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตามมนุษย์มองเห็นได้ (400-700นาโมเมตร) โดยใช้วัดช่วงละ 100 นาโมเมตร แล้วนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟ โดยให้ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงเป็นแกนตั้งและความยาวคลื่นแสงในหน่วยนาโนเมตรเป็นแกนนอน จากนั้นคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ



ภาพที่ 3.10 การวัดสีโดยใช้วิธี Space Unit(S.U)
ที่มา: มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์,2551

จากตัวอย่างรูปที่ 3.10 คำนวณพื้นที่ใต้กราฟ

A = (1+2)×100/2 =150

B = (2+1.5)×100/2=175

C = (1.5+0.5)×100/2=100

รวมพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด = A+B+C = 425 หน่วยเอสยู

เพราะฉะนั้น สีในตัวอย่างมีค่าความเข้มข้นสีเท่ากับ 425 หน่วยเอสยู

ที่มาจาก : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์,2551

3.6 ขั้นตอนการเตรียมงานวิจัย

3.6.1 ขั้นเตรียมการเตรียมงานวิจัย

3.6.1.1 กำหนดพื้นที่ศึกษา คือ บริษัท โทอิทสึ แพคเกจจำกัด

3.6.1.2 เก็บน้ำตัวอย่างจากโรงงานเพื่อทำการทดลองเบื้องต้น (Pre Test)

3.6.1.3 กำหนดกรอบแนวคิด

3.6.1.4 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

3.6.1.5 เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์

3.6.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.6.2.1 ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆดังภาพที่ 3.11 โดยต่อสายยางกับขวดแก้วทดลองปริมาณโอโซนดังภาพที่ 3.9 และต่อสายยางอีกเส้นเข้ากับเครื่องโอโซน แล้วดำเนินการทดลองตามที่แสดงในแผนภูมิที่ 3.1 และ 3.2 ใช้ชุดกระบอกทดลองที่ทำด้วยท่ออะคริลิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 140 เซนติเมตรเชื่อมกับเครื่องกำเนิด ozone และต่อด้วย ozone trap 2 ขวด ดังภาพที่ 3.1.1

3.6.2.2 นำน้ำเสียตัวอย่างเทลงในชุดกระบอกทดลองปริมาตร 2,000 mg ทำการเปิดเครื่องโอโซนและเก็บน้ำเสียทุกๆ 30 นาที ปริมาณ 250 ml จากนั้นนำไปวิเคราะห์ หาค่าสี,ค่าพีเอช ,ค่าความขุ่น,และค่าซีโอดี

3.6.2.3 ทำจนครบ 3 ระดับความเข็มข้นของ COD คือ 375 mg/L , 750 mg/L , 1500 mg/L

3.6.2.4 บันทึกผล และหาค่า พีเอชที่เหมาะสม

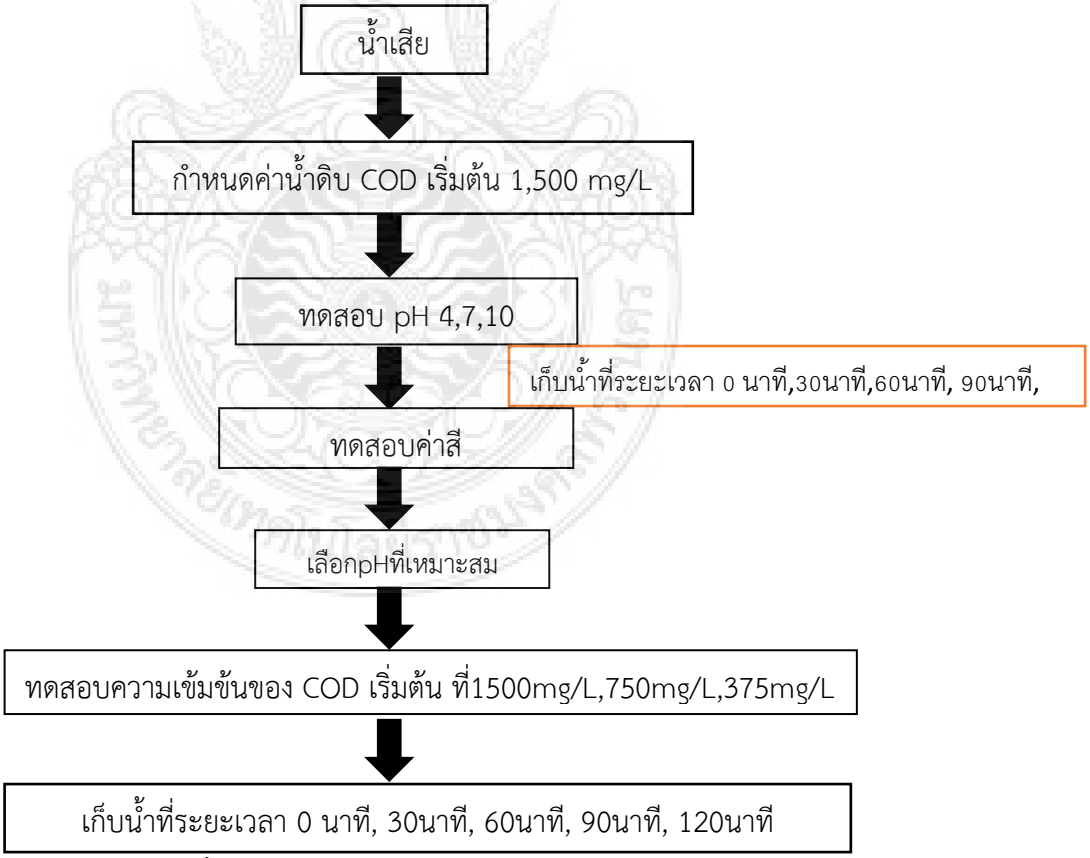
3.6.2.5 นำน้ำเสียที่ได้จากการพิจารณาค่า พีเอชที่เหมาะสมบำบัดต่อด้วยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

3.6.2.6 ทำจนครบ 3 ระดับความเข้มข้นของ COD คือ 375 mg/L , 750 mg/L , 1500 mg/L

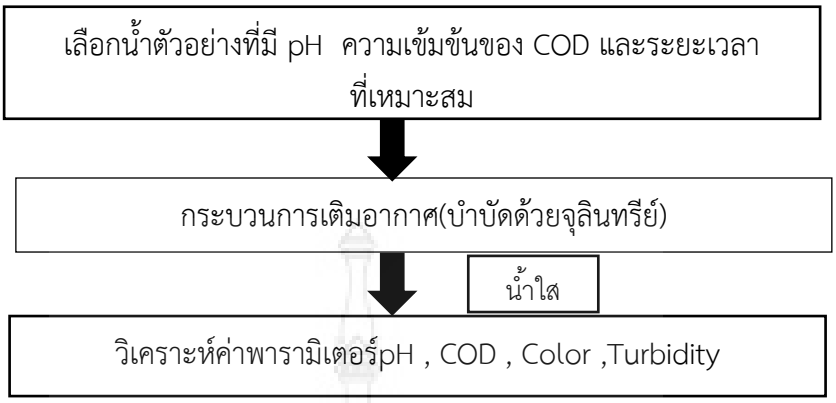
3.6.2.7 จากนั้นนำไปวิเคราะห์ หาค่าสี, ค่าพีเอช,ค่าความขุ่น,และค่าซีโอดี

3.6.2.8 บันทึกผล

ภาพที่ 3.11 ติดตั้งอุปกรณ์



ภาพที่ 3.12 ขั้นตอนการทดลองการบำบัดด้วยกระบวนการทางเคมี



ภาพที่ 3.13 ขั้นตอนการทดลองการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

บทที่4

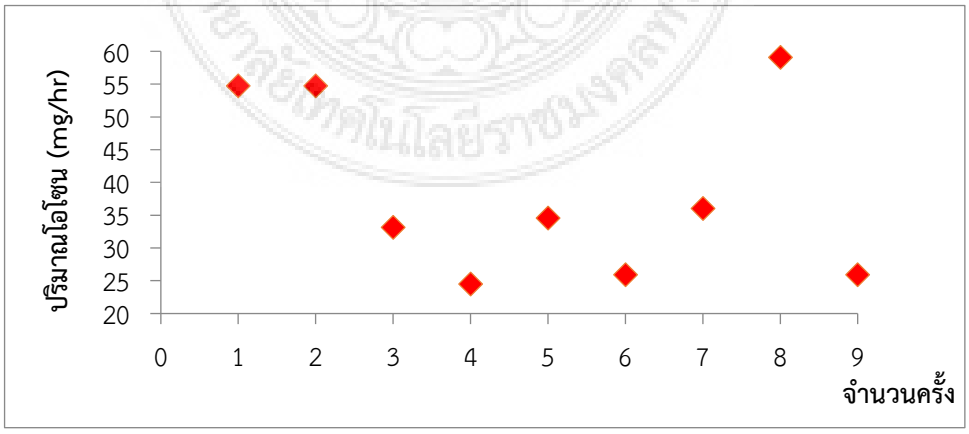
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์

การทดลองของโครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อบำบัดค่าสี และ COD ในน้ำเสียของโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโอโซนเนชันซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณโอโซน (Ozone dose) ความเข้มข้นของ COD เริ่มต้น pH ที่เหมาะสมในการบำบัดและระยะเวลาสัมผัสโอโซน ทั้งนี้ในการทดลองได้กำหนดค่า COD เริ่มต้น ร้อยละ100 อยู่ในช่วง 840-1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร, ค่า COD เริ่มต้น ร้อยละ50 อยู่ในช่วง 350-420 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า COD เริ่มต้น ร้อยละ25 อยู่ในช่วง 165-200 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 โอโซนที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตโอโซน (Ozone Generator)

ปริมาณโอโซนที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตโอโซนจะแตกต่างกันซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ (Gottschalk, 2000) ดังนั้น จึงต้องทำการทดลองหาปริมาณโอโซนก่อนทำการทดลองทุกครั้งโดยใช้วิธี Wet Chemistry Method โดยทำการเป่าโอโซนลงไปในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ครั้งละ 10 นาที พบว่า เครื่องโอโซนที่ใช้ในการทดลองสามารถผลิตโอโซนได้ในปริมาณใกล้เคียงกัน โดยโอโซนที่ผลิตได้จะอยู่ในช่วง 24.48-59.04 mg/hr คิดเป็นปริมาณโอโซนเฉลี่ยเท่ากับ 38.11 mg/hr ซึ่งปริมาณโอโซนที่ได้จากการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ปริมาณโอโซนที่ผลิตได้ในแต่ละครั้งของการทดลอง

4.2.1 ผลการทดลองของอัตราการผลิตโอโซนต่อปริมาณโอโซนที่ไม่เข้าทำปฏิกิริยา

การหาปริมาณโอโซนที่หลุดออกมาระหว่างการทดลองในแต่ละครั้ง โดยได้ทำการไตเตรทสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ในชุดดักจับโอโซน (Ozone trap) เพื่อหาปริมาณโอโซนที่สูญเสียขณะทำการทดลองพบว่าที่ pH 4 ค่า COD เริ่มต้น ร้อยละ25 มีปริมาณโอโซนที่หลุดออกมาจากถังปฏิกิริยาน้อยกว่า เมื่อเทียบกับการทดลองที่สภาวะ pH 7 และ pH 10 ทั้งนี้ปริมาณโอโซนที่ไม่เข้าทำปฏิกิริยา (Ozone offgas) สามารถสรุปได้ดังแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณโอโซนที่ไม่เข้าทำปฏิกิริยา

สภาวะ ความเข้มข้นของ COD เริ่มต้น / pH	ระยะเวลาในการเติมโอโซน 120 นาที	
	อัตราการผลิตโอโซนของเครื่องผลิตโอโซน (mg/hr)	ปริมาณโอโซนที่ไม่เข้าทำปฏิกิริยา (Ozone offgas) (mg/hr)
ร้อยละ 25		
pH 4 (200 mg/l)	59.04	7.20
pH 7 (245 mg/l)	34.56	4.32
pH 10 (162 mg/l)	54.72	5.76
ร้อยละ 50		
pH 4 (450 mg/l)	38.88	4.32
pH 7 (414 mg/l)	25.92	2.88
pH 10 (324 mg/l)	33.12	4.32
ร้อยละ 100		
pH 4 (720 mg/l)	34.56	4.32
pH 7 (840 mg/l)	24.48	2.88
pH 10 (666 mg/l)	33.12	4.32

4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโอโซนเนชันในการลดค่าสี และ COD

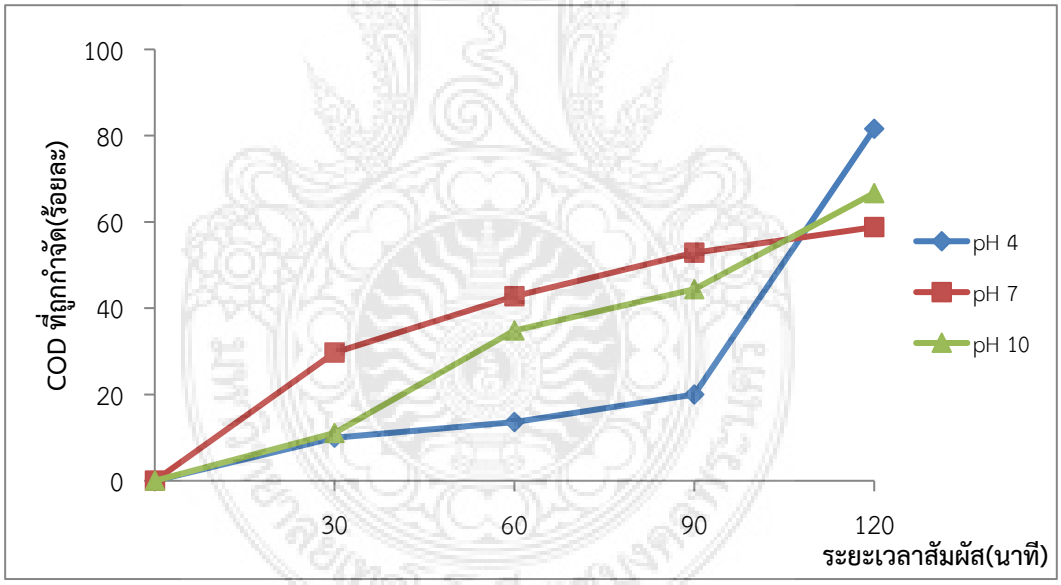
ประสิทธิภาพในการบำบัดสี และCOD ด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ การทดลองที่สภาวะของน้ำเสียแตกต่างกันจะมีประสิทธิภาพในการลดค่าสี และ COD แตกต่างกันด้วยในการศึกษานี้ได้พิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด ได้แก่ ปริมาณโอโซนที่ทำปฏิกิริยา พีเอช ความเข้มข้นของ COD เริ่มต้น และระยะเวลาสัมผัสโอโซน

4.3.1 ปัจจัยของพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการโอโซนเนชัน

จากการทดลองที่สภาวะเพื่อพิจารณาค่า pH ที่เหมาะสม พบว่า pH 4 จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัด COD ได้ระยะสูงสุดในระยะเวลาสัมผัสโอโซน 120 นาที รองลงมาคือ ที่สภาวะ pH 10 และ pH 7 สามารถกำจัด COD ได้ ร้อยละ 81.6, ร้อยละ 66.7 และร้อยละ 58.8 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการบำบัด COD ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การศึกษาหาค่า pH ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน โดยมีค่า COD เริ่มต้นที่ทำการบำบัด คือ 200 mg/L

pH ที่ทำการศึกษา	COD ที่ถูกกำจัดหลังผ่านกระบวนการโอโซนเนชันในระยะเวลาต่างๆ (ร้อยละ)				
	0 นาที	30 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที
pH 4	0	10.0	13.6	20.0	81.6
pH 7	0	29.7	42.8	52.9	58.8
pH 10	0	11.1	34.8	44.4	64.4



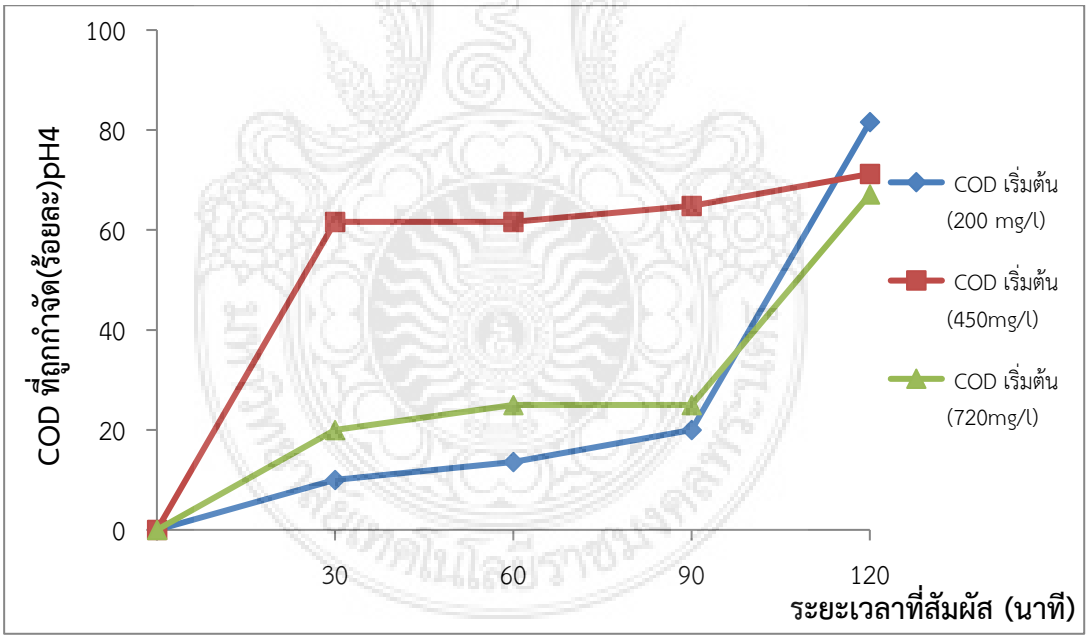
ภาพที่ 4.2 การศึกษาหาค่าpHที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน

4.3.2 ปัจจัยของความเข้มข้น COD เริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการโอโซนเนชัน

ปริมาณความเข้มข้น COD เริ่มต้น เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน ซึ่งการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณความเข้มข้น COD สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงดังแสดงในตารางที่ 4.3 ภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การศึกษาหาค่า COD เริ่มต้นที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโอโซนเนชันที่สภาวะ pH 4

ความเข้มข้นของ COD เริ่มต้นที่ศึกษา	COD ที่ถูกกำจัดหลังผ่านกระบวนการโอโซนเนชันระยะเวลาต่างๆ (ร้อยละ)				
	0 นาที	30 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที
ร้อยละ 25 (200 mg/l)	0	10.0	13.6	20.0	81.6
ร้อยละ 50 (450mg/l)	0	61.6	61.6	64.8	71.2
ร้อยละ100 (720mg/l)	0	20.0	25.0	25.0	64.4



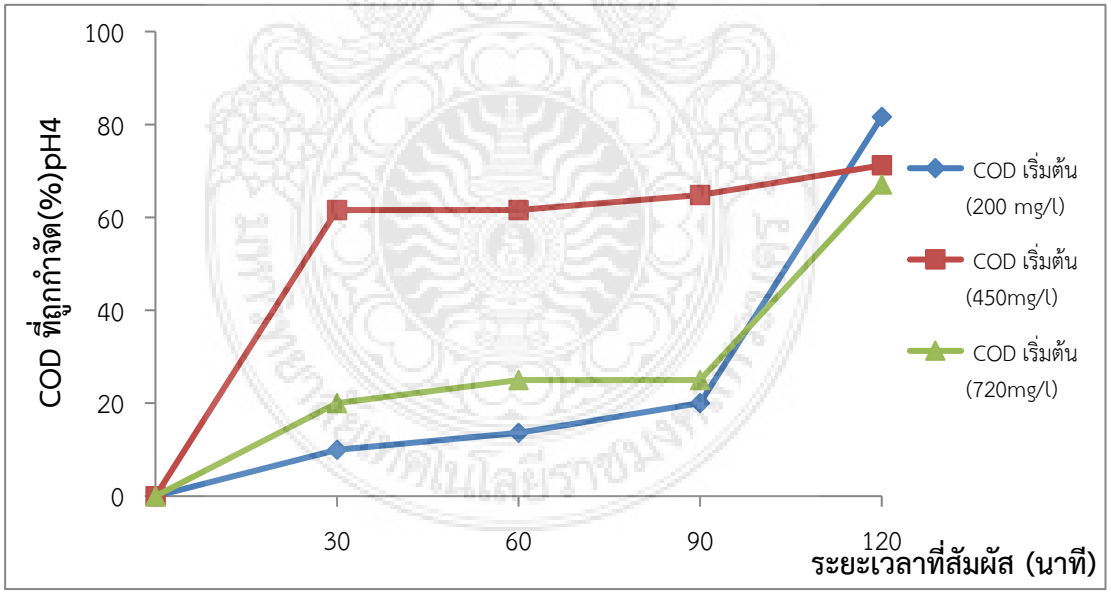
ภาพที่ 4.3 การศึกษาหาค่า COD เริ่มต้นที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน

4.3.3 ปัจจัยของระยะเวลาสัมผัสโอโซนที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการโอโซนเนชัน

ระยะเวลาสัมผัสโอโซนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน ซึ่งการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาสัมผัสโอโซนมากจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้นดังแสดงในตาราง 4.4 ภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัด COD (Removal Percentage) โดยกระบวนการโอโซนเนชันระยะเวลาต่างๆ ที่สภาวะ pH 4

ความเข้มข้นของ COD เริ่มต้นที่ศึกษา	COD ที่ถูกกำจัดหลังผ่านกระบวนการโอโซนเนชันระยะเวลาต่างๆ (ร้อยละ)				
	0 นาที	30 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที
ร้อยละ 25 (200 mg/l)	0.00	10.00	13.60	20.00	81.60
ร้อยละ 50 (450mg/l)	0.00	61.60	61.60	64.80	71.20
ร้อยละ100 (720mg/l)	0.00	20.00	25.00	25.00	64.40



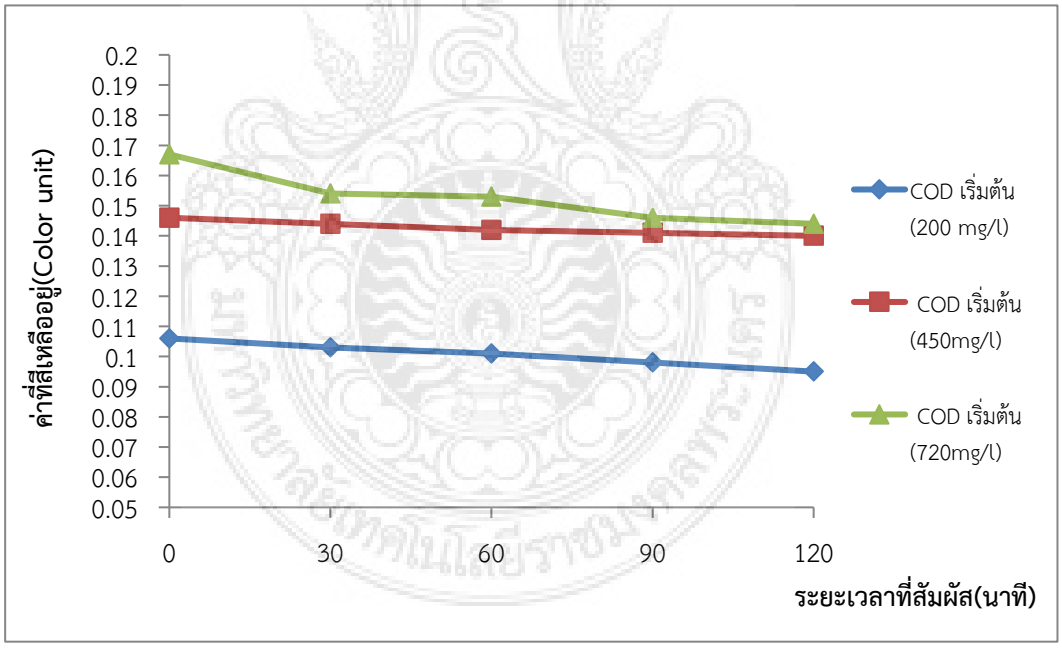
ภาพที่ 4.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด COD (Removal Percentage) โดยกระบวนการโอโซนเนชันเทียบกับระยะเวลาที่สัมผัส

4.3.4 การลดสีในน้ำเสียด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน

ผลการทดลอง การเปลี่ยนแปลงของสีในการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการโอโซนเนชัน สีที่ถูกกำจัดได้ในการเติมโอโซน พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเติมโอโซนเพิ่มมากขึ้น สีของน้ำเสียจะลดลงตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.5 ภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีในการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการโอโซนเนชันระยะเวลาต่างๆ ที่สภาวะ pH 4

ความเข้มข้นของCOD เริ่มต้นที่ศึกษา	สีที่ถูกกำจัดหลังผ่านกระบวนการโอโซนเนชันในระยะเวลาต่างๆ (Color unit)				
	0 นาที	30 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที
ร้อยละ 25(200mg/l)	0.106	0.103	0.101	0.098	0.095
ร้อยละ 50 (450mg/l)	0.146	0.144	0.142	0.141	0.140
ร้อยละ 100 (720mg/l)	0.167	0.154	0.153	0.146	0.144



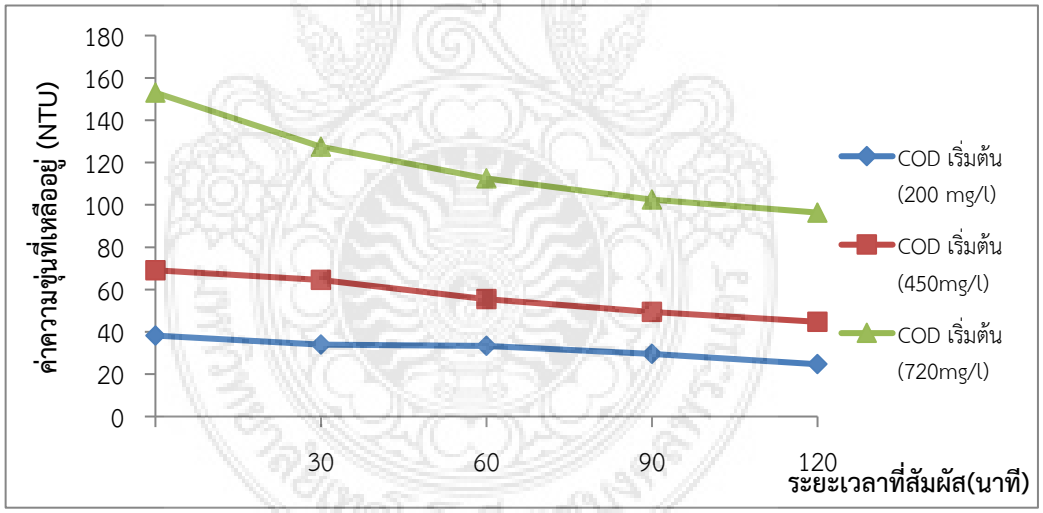
ภาพที่ 4.5 การศึกษาหาค่าสีของ pH 4 ที่เหลืออยู่หลังถูกกำจัดเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่สัมผัส

4.3.5 การลดความขุ่นในน้ำเสียด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเติมโอโซนเพิ่มมากขึ้น ความขุ่นของน้ำเสียจะลดลงตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการโอโซนเนชันซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดอินทรีย์จึงมีผลให้ค่า ความขุ่นลดลงค่าความขุ่นของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการโอโซนเนชันแสดงดังตารางที่ 4.6 ภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความขุ่นในการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการโอโซนเนชัน ระยะเวลาต่างๆ ที่สภาวะ pH 4

ความเข้มข้นของCOD เริ่มต้นที่ศึกษา	ค่าความขุ่นที่ลดลงหลังผ่านกระบวนการโอโซนเนชันในระยะเวลาต่างๆ (NTU)				
	0 นาที	30 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที
ร้อยละ 25 (200mg/l)	38.25	33.95	33.30	29.55	24.70
ร้อยละ 50 (450mg/l)	69.10	64.45	55.45	49.40	44.75
ร้อยละ 100 (720mg/l)	153.00	127.50	112.50	102.50	96.35



ภาพที่ 4.6 การศึกษาหาค่าความขุ่นของ pH 4ที่เหลืออยู่หลังถูกกำจัดเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่สัมผัส

4.4 ปริมาณโอโซนที่เหมาะสมต่อการบำบัดCODในน้ำเสียจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

จากการทดลองพบว่า 1 มิลลิกรัมโอโซน สามารถกำจัด COD ได้ประมาณ 4-10 มิลลิกรัม ในช่วงระยะเวลา 2 ชั่วโมง ผลจากการศึกษาปัจจัยทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่าปริมาณโอโซนที่เหมาะสมต่อการบำบัดโดยมีปริมาณโอโซนเฉลี่ย 0.512 mg/min แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาณโอโซนที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

ระยะเวลา (min)	ปริมาณโอโซน (mg) ระยะเวลาXปริมาณโอโซนเฉลี่ย	COD ที่ถูกกำจัด (mg)	อัตราส่วนการบำบัด
0	0.00	0.00	0.00
30	15.36	144.00	9.38
60	30.72	180.00	5.86
90	46.08	180.00	3.91
120	61.44	252.00	4.10

4.5 ผลของกระบวนการโอโซนเนชันต่อการบำบัดทางชีวภาพ

จากการนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการโอโซนเนชันมาบำบัดต่อด้วยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบเติมอากาศโดยได้ทำการทดลองที่ความเข้มข้น COD เริ่มต้น ร้อยละ 100 พบว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ สามารถลดค่า COD ให้อยู่ในเกณฑ์มาตราฐานน้ำทิ้งของมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัด COD ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การบำบัด COD ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

ความเข้มข้น COD เริ่มต้น ที่ pH 4	COD ก่อนบำบัดด้วยจุลินทรีย์ (mg/L)	COD หลังบำบัดด้วยจุลินทรีย์ (mg/L)	ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)
ร้อยละ25	320	72	77.50
ร้อยละ50	638	117	81.66
ร้อยละ100	1,200	160	86.67

จากการตรวจวัดค่าสีหลังผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพพบว่าที่ความเข้มข้น COD เริ่มต้นร้อยละ100 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีสูงที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 41.88 รองลงมาที่ความเข้มข้น COD เริ่มต้น ร้อยละ25 และร้อยละ50 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การบำบัดสีด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

ความเข้มข้น COD เริ่มต้น ที่ pH 4	สีก่อนบำบัดด้วยจุลินทรีย์ (Color unit)	สีหลังบำบัดด้วยจุลินทรีย์ (Color unit)	ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)
ร้อยละ25	0.163	0.138	15.34
ร้อยละ50	0.194	0.165	14.95
ร้อยละ100	0.234	0.136	41.88

นอกจากนี้จากการตรวจวัดค่าความขุ่นหลังผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพพบว่าที่ความเข้มข้น COD เริ่มต้น ร้อยละ100 มีประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นสูงที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 93.52 รองลงมาที่ความเข้มข้น COD เริ่มต้น ร้อยละ 50 และ ร้อยละ 25 ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การบำบัดความขุ่นด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

ความเข้มข้น COD เริ่มต้น ที่ pH 4	ความขุ่นก่อนบำบัดด้วยจุลินทรีย์ (NTU)	ความขุ่นหลังบำบัดด้วยจุลินทรีย์ (NTU)	ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)
ร้อยละ25	9.11	1.67	81.67
ร้อยละ50	20.04	1.95	90.44
ร้อยละ100	39.80	2.58	93.52

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดค่าCOD และสีด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน จากน้ำเสียของบริษัท โทอิทสึ แพคเกจ จำกัด มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการบำบัด COD และสีด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน ผู้วิจัยสามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะไว้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ร้อยละ 25 ช่วงระยะเวลาที่ 30, 60, 90 และ 120 นาที กระบวนการโอโซนเนชันสามารถลดค่าสี ได้ร้อยละ 2.83, 4.72 ,7.55 และ 10.38 ตามลำดับ โดยน้ำเสียก่อนบำบัดมีค่าเท่ากับ 0.106 Color unit โดยลักษณะสีของน้ำ คือใส,ไม่มีสี

5.1.2 ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ร้อยละ 25 ช่วงระยะเวลาที่ 120 นาที กระบวนการโอโซนเนชันสามารถลดค่า COD ได้ดีที่สุด โดยน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าเท่ากับ 200 mg/L เมื่อน้ำเสียผ่านการการบำบัดแล้วลดลงเหลือ 36.8 mg/L คิดเป็นร้อยละ 81.6%

5.1.3 ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ร้อยละ 25 ช่วงระยะเวลาที่ 30, 60, 90 และ 120 นาที กระบวนการโอโซนเนชันสามารถลดค่าความขุ่น ได้ร้อยละ 11.24, 13.73, 22.75 และ 35.42 โดยน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าเท่ากับ 38.25 NTU เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดแล้วลดลงเหลือ 24.70 NTU โดยลักษณะความขุ่นของน้ำ คือ ใส ไม่ขุ่น

5.1.4 ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ร้อยละ 50 ช่วงระยะเวลาที่ 30, 60, 90 และ 120 นาที กระบวนการโอโซนเนชันสามารถลดค่าสี ได้ร้อยละ 1.37, 2.74, 3.42 และ 4.11 ตามลำดับ โดยน้ำเสียก่อนบำบัดมีค่าเท่ากับ 0.146 Color unit โดยลักษณะสีของน้ำ คือใส,ไม่มีสี

5.1.5 ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ร้อยละ 50 ช่วงระยะเวลาที่ 120 นาที กระบวนการโอโซนเนชันสามารถลดค่า COD ได้ดีที่สุด โดยน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าเท่ากับ 450 mg/L เมื่อน้ำเสียผ่านการการบำบัดแล้วลดลงเหลือ 129.6 mg/L คิดเป็นร้อยละ 71.2%

5.1.6 ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ร้อยละ 50 ช่วงระยะเวลาที่ 30, 60, 90 และ 120 นาที กระบวนการโอโซนเนชันสามารถลดค่าความขุ่น ได้ร้อยละ 6.73, 19.75, 28.51 และ 35.24 โดยน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าเท่ากับ 69.10 NTU เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดแล้วลดลงเหลือ 44.75 NTU โดยลักษณะความขุ่นของน้ำ คือใส

5.1.7 ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ร้อยละ 100 ช่วงระยะเวลาที่ 30, 60, 90 และ 120 นาที กระบวนการโอโซนเนชันสามารถลดค่าสี ได้ร้อยละ 7.78, 8.38, 12.57 และ 13.77 ตามลำดับ โดยน้ำเสียก่อนบำบัดมีค่าเท่ากับ 0.167 Color unit โดยลักษณะสีของน้ำ คือใส,ไม่มีสี

5.1.8 ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ร้อยละ 100 ช่วงระยะเวลาที่ 120 นาที กระบวนการโอโซนเนชันสามารถลดค่า COD ได้ดีที่สุด โดยน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าเท่ากับ 720 mg/L เมื่อน้ำเสียผ่านการการบำบัดแล้วลดลงเหลือ 256 mg/L คิดเป็นร้อยละ 64.4%

5.1.9 ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ร้อยละ 100 ช่วงระยะเวลาที่ 30, 60, 90 และ 120 นาที กระบวนการโอโซนเนชันสามารถลดค่าความขุ่น ได้ร้อยละ 16.67, 26.47, 33.01 และ 37.03 โดยน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าเท่ากับ 153 NTU เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดแล้วลดลงเหลือ 96.35 NTU โดยลักษณะความขุ่นของน้ำ คือ ใส ไม่ขุ่น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

จากผลการศึกษาครั้งนี้ มีข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่ต้องการทำการศึกษาในครั้งต่อไปดังนี้

5.2.1.1 ควรศึกษาปัจจัยของลักษณะอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ว่ามีผลต่อการผลิตโอโซนอย่างไร

5.2.1.2 ควรมีการศึกษาองค์ประกอบของน้ำเสียที่นำมาทดลองอย่างละเอียด ว่ามีกลุ่มสารที่ย่อยสลายได้ยากตัวใดปนเปื้อนอยู่บ้าง เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ผลให้ถูกต้องมากขึ้น

5.2.2 ข้อเสนอสำหรับการนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

5.2.2.1 จากกรณีศึกษา โรงงาน โทอิทสึ แพคเกจ จำกัด ซึ่งประสบปัญหาน้ำทิ้งเนื่องจากเมื่อผ่านการบำบัดแล้วลักษณะสีของน้ำยังไม่เป็นที่พึงประสงค์ การศึกษาในครั้งนี้สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยต้องพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียโดยต้องติดตั้งระบบโอโซนเนชัน ซึ่งเครื่องผลิตโอโซน จะต้องมีกำลังการผลิตประมาณ 6-15 g/o_3 พร้อมกับจัดทำ Reactor สำหรับนำน้ำเสียเข้าระบบ นอกจากนี้ทางโรงงานจะต้องมีการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานโดยการเพิ่มถังปฏิกิริยามาแทนที่ในกระบวนการเติมเคมี

เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2549). **ตำราระบบบำบัดมลพิษทางน้ำ** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว

กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์. (2547). **มลพิษทางน้ำ.** (พิมพ์ครั้งที่ 3) กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

นวพรรษ ลักขณานุรักษ์. (2545). **การบำบัดน้ำชะมูลฝอยขั้นต้นด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน**. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภานุมาศ พวงแก้ว. 2548. **กระบวนการโอโซนเนชันในการย่อยสลายฟีนอล.** วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2539. **วิศกรรมการประปา เล่ม2**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วราภรณ์ กัลยาเลิศ. 2540. **การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยโอโซน.**วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล

วีรยา อาจองค์. 2549. **การบำบัดสีจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงงานเบียร์โดยกระบวนการโอโซนเนชัน**. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2549). **ระบบบำบัดน้ำเสีย:การเลือกใช้การออกแบบการควบคุมและการแก้ปัญหา**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ บริษัท สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด.

สุรพล รักปทุม. 2545. **โอโซน เพื่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม.** โรงพิมพ์ภาพพิมพ์, กรุงเทพฯ.

Alfafara, C.G., V.P. Migo, J.A. Amarante, R.F. Dallo and M. Matsumura. 1999. **Ozone treatment of distillery slope waste**, pp. 565-570. IAWQ Asia-Pacific Regional Conference 7th ed. Taipei.

Bablon, G., B.M. Saunier and R.S. Miltner. 1986. **Combined Use of Ozone and BAC in Large Treatment Plant**. Wat.Sup. 4(3): 34-40.

Chang, D.S. and P.C. Singer.1991. **The impact of ozonation on particle stability and the removal of TOC and THM precursors**. J. AWWA. 83(3): 71-78

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

Cheremisinoff, N.P. and P.N. Cheremisinoff. 1993. **Water Treatment and Waste Recovery Advanced Technology and Applications**. Prentice Hall, Inc., New Jersey.

Engineering: **Treatment and Reuse**. 4th ed. Boston, McGraw-Hill c2003.

George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, & David Stensel H. (2003). Wastewater

Gottschalk, C., J. A. Libra and A. Saupe. 2000. **Ozonation of Water and Waste Water**. WILEY-VCH, Inc., Germany. 189 p.

Majumdar, S.B. and O.J. Sproul. 1974. **Technical and Economic Aspects of Water and Wastewater Ozonation**. Rat. Res. 9: 253-260.

Tomiyaso, H., H. Fukutomi and G. Gordan. 1985. **Kinetics and Mechanisms of Ozone Decomposition in Basic Aqueous Solotion.** Inorg.Chem. 24: 2962-2985.

Weber, W.J., Jr. 1972. **Physicochemical Processes for Water Quality Control**. John Wiley and Sons, Inc., New York.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก กำลังการผลิตโอโซนที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตโอโซน

กำลังการผลิตโอโซนที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตโอโซน

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโอโซนโดยใช้สารละลาย KI ใส่ใน Trap AและTrap B จำนวน Trapละ 250 ml เป่าโอโซนครั้งละ 10 นาที แล้วทำการไตเตรทด้วยสารละลาย $Na_2S_2O_3$ โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเป็นสีใส ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางผนวกที่ ก1

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโอโซน

ครั้งที่	ระยะเวลาในการเติมโอโซน (นาที)	ปริมาณ $Na_2S_2O_3$ 0.1 N ที่ใช้ไตเตรต (mL)			mg O_3/min
		Trap A	Trap B	Total	
1	10	3.7	0.1	3.8	54.72
2	10	3.6	0.2	3.8	54.72
3	10	2.2	0.1	2.3	33.12
4	10	1.6	0.1	1.7	24.48
5	10	2.3	0.1	2.4	34.56
6	10	1.7	0.1	1.8	25.92
7	10	2.2	0.3	2.5	36
8	10	3.6	0.5	4.1	59.04
9	10	1.7	0.1	1.8	25.92
10	10	2.3	0.1	2.4	34.56
11	10	3.6	0.2	3.8	54.72
12	10	2.2	0.1	2.3	33.12
13	10	2.3	0.1	2.4	34.56
14	10	1.7	0.2	1.9	27.36
15	10	2.5	0.2	2.7	38.88

ครั้งที่	ระยะเวลาในการเติมโอโซน (นาที)	ปริมาณ $Na_2S_2O_3$ 0.1 N ที่ใช้ไตเตรต (mL)			mg O_3/min
		Trap A	Trap B	Total	
ค่าพิสัย					34.56
ค่าเฉลี่ยปริมาณโอโซน					38.11
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					11.82

ตัวอย่างการคำนวณ

แสดงการคำนวณปริมาณโอโซนที่เครื่องผลิตโอโซนผลิตได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ระยะเวลาในการเป่าโอโซน 10 นาที ปริมาณ $Na_2S_2O_3$ 0.1 N ที่ใช้ไตเตรท Trap A 3.7ml และ Trap B 0.1 ml นำปริมาณ $Na_2S_2O_3$ ไปคำนวณปริมาณโอโซนตามสมการ

$$\text{ปริมาณโอโซน (mg/hr)} = \frac{(A+B) \times N \times 24}{\text{เวลาเติมโอโซน (นาที)}} \times 60$$

$$\text{แทนค่า ปริมาณโอโซน (mg/hr)} = \frac{(3.7+0.1) \times 0.1 \times 24}{10} \times 60$$

ปริมาณโอโซนที่เครื่องผลิตได้ = 54.72 mg/hr

เมื่อ A = ปริมาณโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรต Trap A (ml)

B = ปริมาณโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรต Trap B (ml)

N = Normality ของโซเดียมไธโอซัลเฟต

ภาคผนวก ข กราฟแสดงค่ามาตรฐานของสี

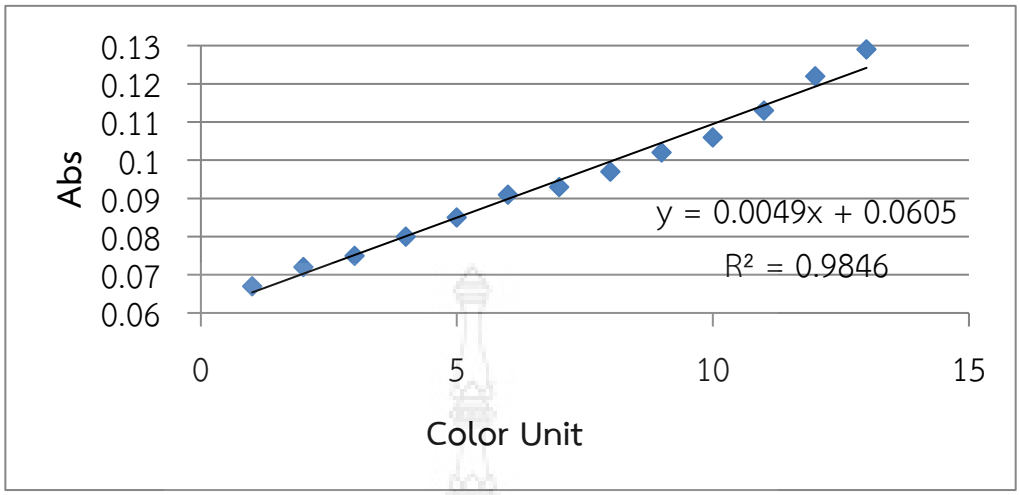
กราฟแสดงค่ามาตรฐานของสี

เตรียมสีที่ความเข้มข้นต่างๆ นำไปวัดค่าดูดกลืนแสง (Absorbance) ซึ่งค่าดูดกลืนแสง Absorbance (Abs) ที่ได้แสดงดังตารางที่ ข1

ตารางผนวกที่ ข1 ค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้

Stock (color unit)	Absorbance(Abs)
0	0.067
0.5	0.072
1	0.075
1.5	0.08
2	0.085
2.5	0.091
3	0.093
3.5	0.097
4	0.102
4.5	0.106
5	0.113
6	0.122
7	0.129

นำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟระหว่างค่ามาตรฐานกับค่าดูดกลืนแสง Absorbance(Abs) เพื่อหาความสัมพันธ์และใช้กราฟมาตรฐานในการหาปริมาณสี



ภาพผนวกที่ ข1 กราฟแสดงค่ามาตรฐานของสี

สมการ y = 0.0049+0.0605

โดยที่ y = ค่าดูดกลืนแสง Absorbance (Abs)

X = Stock (color unit)

ภาคผนวก ค รายการคำนวณ

รายการคำนวณ

จากข้อมูลในตารางผนวกที่ 3 จะใช้เป็นตัวแทนเพื่อแสดงตัวอย่างการคำนวณ การกำจัด COD การคำนวณ COD และ การตรวจสอบค่านอร์มัลลิตี้ของ FAS ซึ่งรายละเอียดการคำนวณแสดงดังต่อไปนี้

ตารางผนวกที่ ค1 ผลปริมาณ COD ที่เหลืออยู่หลังผ่านการบวนการโอโซนเนชันในระยะเวลาต่างๆ

ความเข้มข้นของ COD เริ่มต้น/pH	ปริมาณ COD ที่เหลืออยู่หลังผ่านกระบวนการโอโซนเนชันในระยะเวลาต่างๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	0 นาที	30 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที
ร้อยละ 25					
pH 4 (200 mg/l)	0	180.0	172.8	160.0	36.8
pH 7 (245 mg/l)	0	172.0	140.0	115.2	100.8
pH 10 (162 mg/l)	0	144.0	105.0	90.0	54.0

แสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณ COD

จากผลการทดลองในตารางที่ ค1 ความเข้มข้นของCODเริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเติมโอโซน 30นาที มีค่า COD เท่ากับ 180 มิลลิกรัมต่อลิตร นำค่าที่ได้จากการทดลองคำนวณหาปริมาณ COD ตามสมการ

$$\text{COD (mg/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{ปริมาณน้ำตัวอย่าง}}$$

$$\text{แทนค่า COD (mg/L)} = \frac{(4.9-3.9) \times 0.09 \times 8000}{4}$$

$$\text{COD ที่ได้} = 180 \text{ mg/L}$$

เมื่อ A = ปริมาณของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรต blank (ml)

B = ปริมาณของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตน้ำตัวอย่าง (ml)

N = Normality ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรต

ตารางผนวกที่ ค2 ผลการกำจัด COD (Removal Percentage) โดยกระบวนการโอโซนเนชันที่ระยะเวลาต่างๆ

ความเข้มข้นของ COD เริ่มต้น/pH	COD ที่ถูกกำจัดหลังผ่านกระบวนการโอโซนเนชันในระยะเวลาต่างๆ (ร้อยละ)				
	0 นาที	30 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที
ร้อยละ 25					
pH 4 (200 mg/l)	0	10.0	13.6	20.0	81.6
pH 7 (245 mg/l)	0	29.7	42.8	52.9	58.8
pH 10 (162 mg/l)	0	11.1	34.8	44.4	66.7

แสดงการคำนวณผลการกำจัด COD

จากผลการทดลองในตารางที่ ค2 ความเข้มข้นCOD เริ่มต้น200 mg/l เมื่อเป่าโอโซนผ่านไป 30 นาที ปริมาณCOD ถูกกำจัด เท่ากับ 10 % นำค่าที่ได้จากการทดลองคำนวณหาปริมาณ COD ตามสมการ

$$\text{COD Removal} = \left[\frac{A \times 100}{\text{COD ที่ระยะเวลา 0 นาที}} \right] - 100$$

$$\text{แทนค่า COD Removal} = \left[\frac{180 \times 100}{200} \right] - 100$$

$$\text{COD Removal} = 10$$

เมื่อ A แทน ค่า COD แต่ละช่วงเวลา (30, 60, 90 และ120 นาที) มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาคผนวก ง ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ง1 ผลการทดลองใช้กระบวนการโอโซนเนชันในการย่อยสลาย COD ที่ความเข้มข้นCOD เริ่มต้น ร้อยละ25

สภาวะ	time	pH	ความขุ่น	สี	COD
pH4	0	4.28	38.25	0.106	200
	30	4.30	33.95	0.103	180
	60	4.33	33.3	0.101	172.8
	90	4.34	29.55	0.098	160
	120	4.36	24.7	0.095	36.6
pH7	0	7.81	60.7	0.139	244.8
	30	7.74	58.55	0.139	172.0
	60	7.69	51.95	0.139	140.0
	90	7.59	49.1	0.138	115.2
	120	7.20	47.2	0.138	100.8
pH10	0	9.46	62.7	0.141	162.0
	30	9.43	62.1	0.140	144.0
	60	9.32	63	0.140	105.0
	90	9.29	52.85	0.139	90.0
	120	9.25	43.45	0.138	54.0

ตารางผนวกที่ ง2 ผลการทดลองใช้กระบวนการโอโซนเนชันในการย่อยสลาย COD ที่ความเข้มข้นCOD เริ่มต้น ร้อยละ50

สภาวะ	time	pH	ความขุ่น	สี	COD
pH4	0	4.06	69.1	0.146	201.6
	30	4.03	64.45	0.144	172.8
	60	4.04	55.45	0.142	172.8
	90	4.03	49.4	0.141	158.4
	120	4.03	44.75	0.140	129.6
pH7	0	7.90	133.5	0.148	414.0
	30	7.87	121	0.148	324.0
	60	7.85	119.5	0.146	306.0
	90	7.74	98.5	0.145	256.0
	120	7.59	82.55	0.145	256.0
pH10	0	9.46	62.7	0.141	162.0
	30	9.43	62.1	0.140	144.0
	60	9.32	63	0.140	105.0
	90	9.29	52.85	0.139	90.0
	120	9.25	43.45	0.138	54.0

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นามสกุล นางสาวรัตน์ระพินทร์ แสงพิทักษ์

วัน เดือน ปีเกิด 20 มิถุนายน พ.ศ.2533

ภูมิลำเนา อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม

ประวัติการศึกษา

2545	ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดพระปฐมเจดีย์ราชวรมหาวิหาร จังหวัดนครปฐม
2548	มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย จังหวัดนครปฐม
2551	มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย จังหวัดนครปฐม
2555	ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นามสกุล นางสาวหฤทัย แก้วคำ

วัน เดือน ปีเกิด 2 ธันวาคม 2534

ภูมิลำเนา เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

2546	ประถมศึกษา	โรงเรียนผดุงศิษย์พิทยา กรุงเทพมหานคร
2549	มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนวัดน้อยนพคุณ กรุงเทพมหานคร
2552	มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนวัดน้อยนพคุณ กรุงเทพมหานคร
2556	ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นามสกุล นายภานุวัฒน์ สายชล

วัน เดือน ปีเกิด 30 เมษายน 2535

ภูมิลำเนา เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

2546	ประถมศึกษา	โรงเรียนมังคละศึกษา กรุงเทพมหานคร
2549	มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนธนบุรีวรเทพีพลารักษ์ กรุงเทพมหานคร
2552	มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนธนบุรีวรเทพีพลารักษ์ กรุงเทพมหานคร
2556	ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร