



การบำบัดสีและกลิ่นของน้ำเสียจากห้องฟนสีด้วยโอโซน

โดย

นายภัทรพล กล้าเสือ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

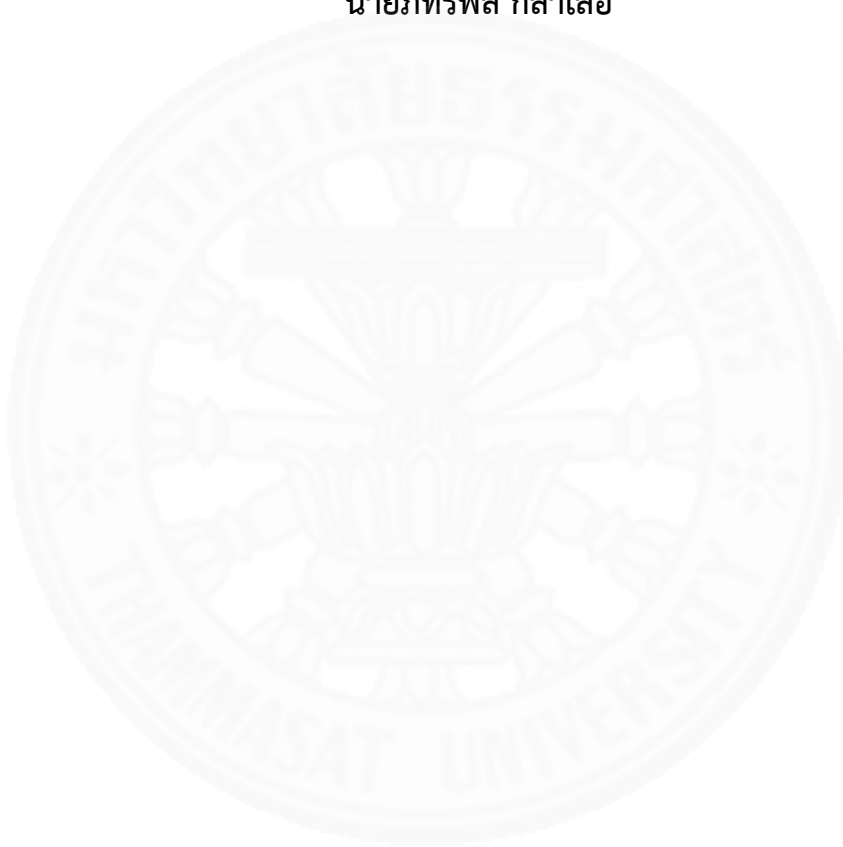
ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การบำบัดสีและกลิ่นของน้ำเสียจากห้องฟั่นสีด้วยโอโซน

โดย

นายภัทรพล กล่ำเสื่อ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

REMOVAL OF COLOUR AND ODOUR OF WASTEWATER
FROM SPRAY PAINT ROOM BY OZONE

BY

MR. PATTARAPON KLUMSUAE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER DEGREE OF ENGINEERING
(ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY MANAGEMENT)
DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2017
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSI

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นายภัทรพล กล่ำเสื่อ

เรื่อง

การบำบัดสีและกลิ่นของน้ำเสียจากห้องฟ้นสีด้วยโอโซน

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2561

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรัตน์ ปิตรประกร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภณิดา ช้ายขวัญ)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรภรณ์ วุฒิเจริญมงคล)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.สุทธิสสา ยายืด)

คณบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีร เจียศิริพงษ์กุล)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดสีและกลิ่นของน้ำเสียจากห้องฟั่นด้วยโอโซน
ชื่อผู้เขียน	นายภัทรพล กล้าเสือ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	เทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาณิดา ช้ายขวัญ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. สุทธิสา ยาอืด
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

เนื่องจากน้ำเสียที่มาจากห้องฟั่นสีกล่องไม้เคลือบเงามีปริมาณไม่มากนัก จึงต้องเก็บน้ำไว้ในบ่อพักน้ำเสียจนได้ปริมาณที่มากพอจึงจะทำการบำบัดด้วยวิธีเดิมสารเคมี ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเก็บน้ำเสียไว้ในบ่อพักน้ำเสีย คือ ปัญหาเรื่องกลิ่น งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาการนำโอโซนมาบำบัดน้ำเสียในระหว่างที่อยู่ในบ่อพักน้ำเพื่อแก้ไขปัญหากลิ่นที่เกิดขึ้น โดยศึกษาผลของโอโซนต่อค่าพารามิเตอร์น้ำเสียต่าง ๆ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียแทนกระบวนการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งใช้สารเคมีเป็นปริมาณมาก ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้ปฏิบัติงาน

เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน และเพื่อศึกษาผลของการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์น้ำเสียที่ได้มาจากห้องฟั่นสีขึ้นงานหลังทำการบำบัดด้วยโอโซน (1,000 mg/hr) โดยทดลองกับน้ำเสียปริมาณ 20 ลิตร ตามช่วงเวลาต่างๆ (0.5 – 8 ชม.) พบว่าค่า pH, BOD, COD, TDS, TSS, สีและกลิ่น ของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดด้วยโอโซน โดยพบว่าโอโซนสามารถกำจัดสีและกลิ่นของน้ำเสียได้เป็นอย่างดี โดยพบว่าระยะเวลา 8 ชม. เป็นระยะเวลาที่ลดสีและกลิ่นมากที่สุด หลังการบำบัดด้วยโอโซนเป็นเวลา 8 ชม. พบว่าค่า pH เพิ่มขึ้น 3.53% ในขณะที่ค่า BOD, COD, TDS, TSS ลดลง 14.39%, 23.72%, 32.58% และ 31.57% ตามลำดับ

เพื่อศึกษาว่าสารอินทรีย์กลุ่มใดที่ถูกบำบัดด้วยโอโซน จึงมีการวิเคราะห์สารอินทรีย์ในน้ำเสียตัวอย่างด้วยเทคนิค Fluorescence Excitation Emission Matrix (FEEM) พบว่าโอโซนสามารถบำบัดสารอินทรีย์ประเภทกรดฮิวมิก (Humic acid) และกรดฟุลวิก (Fulvic acid) ได้เป็น

อย่างดี เนื่องจากสารอินทรีย์สองกลุ่มนี้เป็นสาเหตุของกลิ่นและสีของน้ำเสีย ผลการศึกษาด้วย FEEM จึงอธิบายได้สาเหตุที่ทำให้การบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนสามารถกำจัดกลิ่น และสีของน้ำได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียก่อนเข้ากระบวนการบำบัดหลัก สามารถช่วยแก้ปัญหาเรื่องกลิ่นได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังช่วยให้ค่าพารามิเตอร์บางค่าของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซนมีค่าใกล้เคียงค่าที่ยอมรับได้ของน้ำเสียที่จะปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการบำบัด COD และ BOD ของโอโซนยังค่อนข้างต่ำ ดังนั้นหากต้องการนำโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จะต้องมีการบำบัดอื่นเพิ่มเติม ที่มีประสิทธิภาพในการลดค่า COD และ BOD ต่อไป

คำสำคัญ: บำบัดน้ำเสีย, กลิ่น, โอโซน

Thesis Title	REMOVAL OF COLOUR AND ODOUR OF WASTEWATER FROM SPRAY PAINT ROOM BY OZONE
Author	Mr. Pattarapon Klumsuae
Degree	Master of Engineering
Department/Faculty/University	Energy and Environmental Technology Management Engineering Thammasat University
Thesis Advisor	Asst. Prof. Phanida Saikhwan, Ph.D.
Thesis Co-Advisor	Sutisa yaeed, Ph.D.
Academic Years	2017

ABSTRACT

Since a little amount of wastewater occurs after spray painting of wooden boxes, the wastewater was kept to a certain amount before being treated. Major problem with the storing the wastewater is unpleasant odour. Hence, this research aimed to investigate a treatment by ozone during the storage of the wastewater to solve the odour issue. Effects of ozone on parameters of the wastewater were also studied in order to explore the possibility of replacing the current wastewater treatment with ozone.

In order to find the optimum treatment time and the effects of ozone on parameters of the wastewater, the parameters of wastewater (20 L) treated by ozone (1,000 mg/hr) at various time (0.5 – 8hr) were estimated. It was found that pH, BOD, COD, TDS, TSS, colour and odour of the wastewater varied with treatment time. Colour and odour were reduced significantly after 8 hr of the treatment by ozone. Hence, 8 hr was selected as the optimum treatment time. After 8 hr, pH of the wastewater increased by 3.53% whereas BOD, COD, TDS, TSS decreased by 14.39%, 23.72%, 32.58% and 31.57%, respectively.

Fluorescence Excitation Emission Matrix (FEEM) technique was adopted to elucidate effects of ozone on removal of organic substances in the wastewater. The result showed that humic acids and fulvic acids were removed significantly by ozone. This result explains the high efficiency in colour and odour removal of the treatment by ozone.

Hence, treatment of wastewater during the storage by ozone could solve the odour issue. In addition, some parameters of the wastewater treated by ozone were closer to the accepted values for wastewater effluent. Nevertheless, BOD and COD were poorly removed by the ozone treatment. Therefore, additional wastewater treatment should be used after the treatment by ozone if ozone treatment is to be used to replace the current method of wastewater treatment.

Keywords: odour, ozone, wastewater treatment

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.ภณิดา ช้ายขวัญ และ ดร.สุทธิสา ยาอิด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาแนะนำอย่างดีและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์, ขอขอบคุณคุณชาย ธรรมสุนทร (ในเรื่องการให้ข้อมูลระบบน้ำเสีย), ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำหรับการอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือทดลองจนสารเคมีที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์นี้

ทั้งนี้ขอระลึกถึงคุณตาเสงี่ยม เพ็ชรน้อย ที่ให้ความกรุณาอบรมสั่งสอนผู้วิจัยมาโดยตลอดจนเติบโต, ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เล็งเห็นความสำคัญของการศึกษาทำให้เรามีโอกาสเข้ามาศึกษา ณ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์แห่งนี้, ขอขอบคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการทำงานครั้งนี้ และสุดท้ายขอขอบพระคุณคณาจารย์, ท่านกรรมการสอบวิทยานิพนธ์, เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาแนะนำตลอดเวลาและช่วยในการตรวจทานรายงานการวิจัยที่ทำให้รายงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

หากผลการศึกษานี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้ศึกษาขอน้อมรับไว้เพื่อปรับปรุงแก้ไขในการศึกษาครั้งต่อไป

นายภัทรพล กล้าเชื้อ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการประเมิน	2
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ	2
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3	
2.1 กระบวนการพ่นสี	3
2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไอโซน	3
2.3 สีในน้ำเสีย	11
2.4 กลิ่นในน้ำเสีย	13
2.5 เทคโนโลยีการกำจัดสีและกลิ่นในน้ำเสียอุตสาหกรรม	14

2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณไอโซน	15
2.7 ปัจจัยที่ควบคุมการสลายตัวของไอโซน	16
2.8 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสีย	16
2.9 การใช้เทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ในการตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Fluorescent Excitation Emission Matrix (FEEM))	18
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	23
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ	23
3.2 วิธีการทดลอง	23
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	26
3.4 สถานที่ศึกษาวิจัย	27
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	28
4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	28
4.2 ผลการตรวจวัดกลุ่มสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากห้องพ่นสีด้วยเทคนิค fluorescent excitation-emission matrix (FEEM)	32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	35
5.1 สรุปผลการวิจัย	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
รายการอ้างอิง	38
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย (วิธีเติมสารเคมี)	43
ภาคผนวก ข. วิธีคำนวณค่าใช้จ่ายและปริมาณไอโซนที่ใช้ในการวิจัย	44

ภาคผนวก ค. มาตรฐานของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	45
ภาคผนวก ง. สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการพ่นสี	47
ภาคผนวก จ. สีของน้ำเสียก่อนและหลังบำบัด	48
ภาคผนวก ฉ. แสดงลักษณะการเติมโอโซนในการทดลอง	49
ภาคผนวก ช. แสดงการบำบัดด้วยสารเคมี	50
ภาคผนวก ซ. ผลวิเคราะห์ fluorescent excitation-emission matrix (FEEM)	51
ประวัติผู้เขียน	57



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสามารถในการละลายน้ำของไอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ	6
2.2 การเปรียบเทียบความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารออกซิแดนซ์ต่างๆ	7
3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับ Standard method	27
4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์การเติมไอโซนตามช่วงเวลาต่างๆ	31
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์การบำบัดด้วยสารเคมี	32
4.3 ค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำทิ้งจากห้องฟ่นสี	34
ก.1 รายการสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย 7,000 ลิตร	43
ค.1 มาตรฐานน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	45
ง.1 ตารางแสดงรายการสารเคมีที่ใช้ในโรงงาน	46

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กระบวนการฟอสซี	3
2.2 การเกิดโอโซนตามธรรมชาติ	4
2.3 แสดงการเกิดโอโซนจากสนามไฟฟ้าแบบ Corona Discharge	5
2.4 ปฏิกริยาการแตกตัวของโอโซนในน้ำ	7
2.5 การทำปฏิกิริยาของโอโซนกับสารอินทรีย์ แบบ Direct attack	10
2.6 การทำปฏิกิริยาของโอโซนกับสารอินทรีย์ แบบ Indirect attack	11
3.1 เก็บตัวอย่างน้ำและจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ	24
3.2 จุดเก็บตัวอย่างและผังลำดับการบำบัดน้ำเสียของห้องฟอสซีในโรงงาน	24
3.3 เติมโอโซนในน้ำเสีย	25
3.4 เก็บตัวอย่างน้ำเสียไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	25
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับ เวลา	28
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง TDS และ TSS กับเวลา	29
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และ COD กับเวลา	30
4.4 ผล FEEM รูปแบบสามมิติและเส้นชั้นความสูงน้ำก่อนบำบัด	33
4.5 ผล FEEM รูปแบบสามมิติและเส้นชั้นความสูงน้ำหลังบำบัด	33
4.6 Location of FEEM peak based on literature reports and operationally defined excitation and emission wavelength boundaries	34
จ.1 ก่อนและหลัง บำบัดด้วยสารเคมี	48
จ.2 ก่อนและหลังบำบัดด้วยโอโซน	48
ฉ.1 แสดงลักษณะการเติมโอโซน	49
ฉ.2 แสดงกระบวนการผลิตก๊าซโอโซน ด้วยเทคนิคไฟฟ้า/ความถี่สูง	49
ช.1 แสดงกระบวนการบำบัดด้วยสารเคมี	50
ช.1 แสดงผลวิเคราะห์ FEEM ก่อนบำบัด พบค่าสูงสุดที่ 485 _{Em} นาโนเมตร	51
ช.2 แสดงผลวิเคราะห์ FEEM ก่อนบำบัด พบค่าสูงสุดที่ 377 _{Ex} นาโนเมตร	52
ช.3 แสดงผลวิเคราะห์ FEEM หลังบำบัด พบค่าสูงสุดที่ 409 _{Em} นาโนเมตร	53
ช.4 แสดงผลวิเคราะห์ FEEM หลังบำบัด พบค่าสูงสุดที่ 299 _{Ex} นาโนเมตร	54
ช.5 แสดงกราฟสามมิติ ก่อนบำบัด	55

ช.6 แสดงกราฟเส้นชั้นความสูง ก่อนบำบัด	55
ช.7 แสดงกราฟสามมิติ หลังบำบัด	56
ช.8 แสดงกราฟเส้นชั้นความสูง หลังบำบัด	57



รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำเต็ม/คำจำกัดความ
BOD ₅	Biochemical oxygen demand (mg/l)
COD	Chemical oxygen demand (mg/l)
TDS	Total dissolved solids (mg/l)
TSS	Total suspended solid (mg/l)
VOC _s	Valatile organic compounds
pH	Potential of hydrogen ion
FEEM	Fluorescence Excitation Emission Matrix

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตกล่องไม้เคลือบเงา (บรรจุภัณฑ์เครื่องประดับ) มีการพ่นสีกล่องไม้โดยใช้หมาน้ำในการดักจับฝุ่นละอองสีแล้วจึงส่งไปยังบ่อบำบัด ซึ่งจะมีปริมาณน้ำเสียไม่มากนักจึงมักจะเก็บสะสมไว้ในบ่อพักเพื่อให้ได้ปริมาณ 2,000 – 4,000 ลิตร (ครบรอบสัปดาห์ หรือสิ้นสุดตัวผลิตภัณฑ์) จึงจะทำการบำบัด ซึ่งในการบำบัดจะใช้สารเคมีเพื่อปรับค่า pH และทำให้งอกตะกอนเพื่อให้น้ำใสขึ้นตามเกณฑ์ควบคุมก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทั้งนี้ในการบำบัดน้ำเสียแต่ละครั้งจะใช้สารเคมีหลายประเภทในสัดส่วนที่มากเพื่อทำให้น้ำเสียได้ค่าตามเกณฑ์ที่ต้องการ จึงมีความเสี่ยงสูงต่อผู้ใช้งานเองที่สัมผัสโดยตรงหากอุปกรณ์ป้องกันไม่ครบสมบูรณ์ หรือไม่ใส่อุปกรณ์ป้องกันอย่างถูกวิธี นอกจากนี้การบำบัดโดยใช้สารเคมีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันยังไม่สามารถบำบัดน้ำเสียให้ผ่านเกณฑ์ควบคุมอย่างครบถ้วนได้ โดยปัญหาหลักพบว่าน้ำที่บำบัดแล้วยังมีกลิ่นไม่พึงประสงค์และสี หลงเหลืออยู่มาก ซึ่งแม้ว่ากลิ่นและสีบางชนิดจะไม่นับเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตแต่จะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสียโดยทำให้แหล่งน้ำเกิดสภาพไม่น่าดูและสีก็ยังกั้นขวางปริมาณแสงที่ส่องผ่านสู่แหล่งน้ำทำให้ลดการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำทำให้การผลิตออกซิเจนลดลงจึงมีออกซิเจนไม่เพียงพอและไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ (กัญทรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์, 2547; Chulhwan et al. 2007; Shaobin, 2008)

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานส่งไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการพบว่าค่าน้ำเสียตัวอย่างยังเกินมาตรฐานน้ำทิ้งที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด รวมทั้งสีและกลิ่นที่ยังคงหลงเหลืออยู่ ซึ่งเป็นผลมาจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีในน้ำเสียนั่นเอง จากผลวิเคราะห์น้ำจะเห็นว่าวิธีเดิมที่ใช้สารเคมีจำนวนมากซึ่งเสี่ยงอันตรายไม่สามารถบำบัดค่าน้ำเสียลงได้เท่าที่ควรทางผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีอื่นๆ เช่น การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ การใช้กระบวนการกรองด้วยเยื่อแผ่น และกระบวนการเฟ้นตัน แต่มีข้อจำกัดเรื่องกระบวนการ และวิธีการที่เหมาะสมในการทดลองครั้งนี้คือการใช้ออโซน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือควบคุมปริมาณแรงดันน้ำใดๆ เพียงติดตั้งเครื่องผลิตโอโซนในพื้นที่ที่สามารถผลิตโอโซนจ่ายลงน้ำเสียที่ต้องการบำบัดได้ทันที ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่มีงานวิจัยอ้างอิงว่าสามารถใช้บำบัดน้ำเสียเพื่อลดกลิ่นและสี หรือเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในน้ำได้ดี (วนิดา ชูอักษร, 2555)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการนำโอโซนมาบำบัดน้ำเสียในบ่อพักก่อนเข้ากระบวนการบำบัด สีและกลิ่นของน้ำเสีย และเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์อื่นๆประกอบด้วย เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียแทนการใช้สารเคมีต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนเพื่อบำบัดสีและกลิ่น ในถังพักน้ำเสียที่รอการบำบัด โดยดูผลจากการทดลองเปรียบเทียบระหว่างใช้โอโซนและสารเคมี ได้แก่ สี, กลิ่น และพารามิเตอร์ของน้ำเสียและเพื่อพิจารณาเลือกใช้โอโซนทดแทนการบำบัดด้วยสารเคมี

1.2.2 ศึกษาหาการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ ที่อยู่ในน้ำเสียก่อนและหลังบำบัดด้วยโอโซน โดยการวิเคราะห์ Fluorescence Excitation Emission Matrix (FEEM)

1.3 ขอบเขตการประเมิน

1.3.1 น้ำเสียที่ศึกษาเป็นน้ำเสียจากห้องพ่นสีเคลือบเงาไม้ โดยใช้ผลิตภัณฑ์ PU MDF SEALER ทำการเก็บน้ำเสียปริมาณ 20 ลิตร จากถังพักน้ำเสียที่รอการบำบัด

1.3.2 ผลการบำบัดด้วยโอโซน ใช้ระยะเวลาในการบำบัด 8 ชั่วโมง

1.3.3 พารามิเตอร์น้ำเสียที่ศึกษา ได้แก่

- สี, กลิ่น, pH, BOD, COD, TDS และ TSS

1.3.4 การวิเคราะห์ผลของโอโซนต่อสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ใช้การวิเคราะห์สารอินทรีย์ที่พบในน้ำเสียก่อนการบำบัดและหลังการบำบัดแล้ว โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ FEEM

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ลดกลิ่นและสีของน้ำเสียในถังพักน้ำเสียที่รอการบำบัด

1.4.2 ลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อสารเคมีสำหรับบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีราคาสูงและมีสารเคมีตกค้างซึ่งเป็นอันตราย

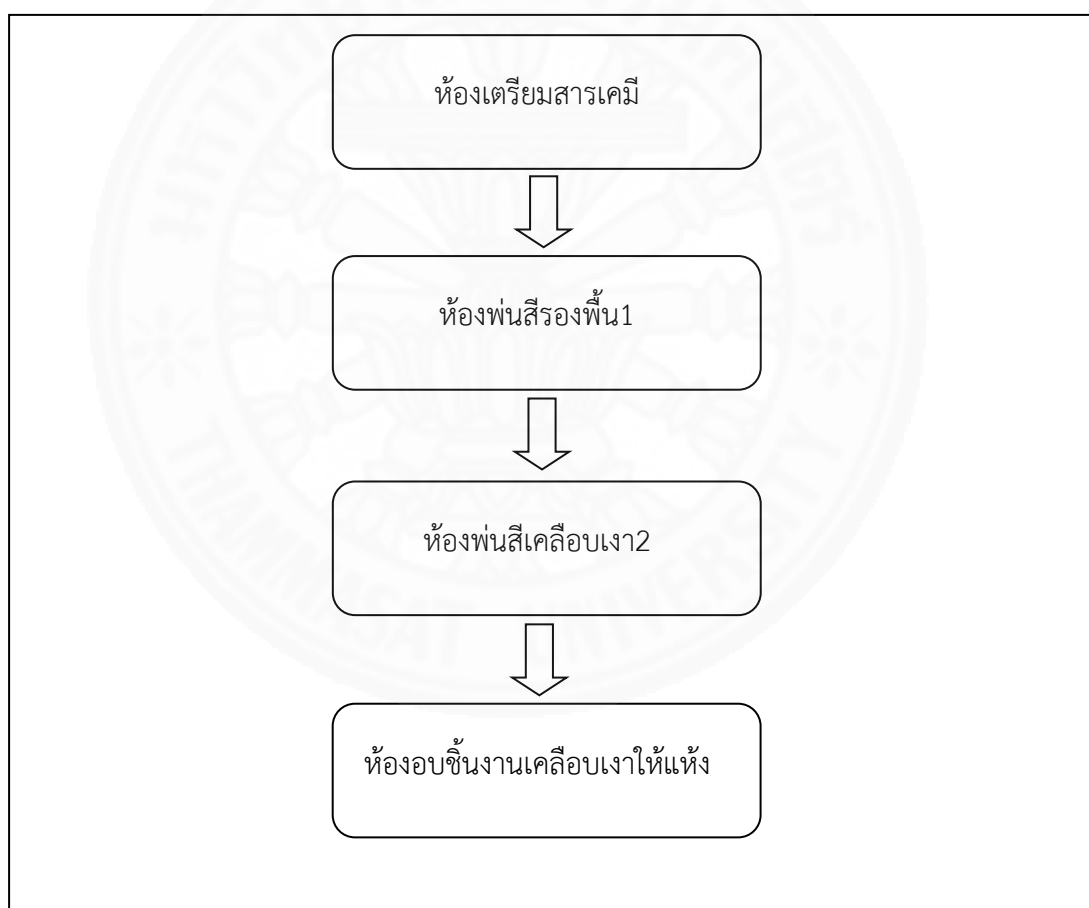
1.4.3 เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งาน ให้กับนักศึกษาหรือผู้ที่สนใจ เพื่อพัฒนาระบบให้ดีขึ้นและนำไปใช้งานได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการพ่นสี

โรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องไม้เคลือบเงาแห่งนี้ จะมีกระบวนการในส่วนของการทำสีต่างๆ ได้แก่ การเตรียมสารเคมี, การพ่นสีรองพื้นรอบแรก, การพ่นสีจริงรอบที่สอง และขั้นสุดท้ายคือนำชิ้นงานไปอบแห้ง (ตามภาพที่ 2.1) ซึ่งน้ำเสียจากกระบวนการจะถูกส่งไปยังบ่อกักเก็บน้ำเสียสุดท้ายของแต่ละประเภท



ภาพที่ 2.1 กระบวนการพ่นสี. จาก โรงงานบรรจุภัณฑ์กล่องไม้เคลือบเงาแห่งหนึ่ง (ไม่เปิดเผยชื่อ)

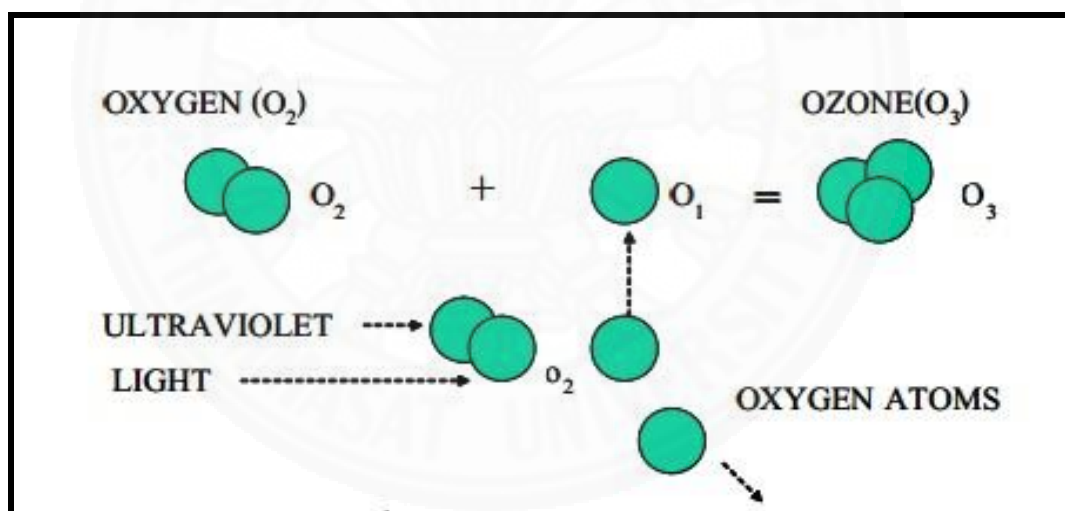
2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโอโซน

ก๊าซโอโซนพบมากในชั้นบรรยากาศของโลกในระดับความสูงประมาณ 10 ถึง 50 กิโลเมตร เหนือผิวโลกที่เรียกว่าชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratospheres) ซึ่งช่วยลดอันตรายจากรังสีอัล

ตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ในธรรมชาติ ก๊าซโอโซนเกิดจากกระแสไฟฟ้าแรงสูงในอากาศเนื่องจากฟ้าผ่าหรือฟ้าแลบทำให้ออกซิเจนโมเลกุลแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมแล้วรวมกับออกซิเจนโมเลกุลตัวอื่นในบริเวณใกล้เคียงเกิดเป็นโอโซนโมเลกุล วิธีการแตกตัวของ O_2 โดยวิธีนี้เรียกว่า Corona discharge หรือ Electric discharge (พิเชษฐ์ ลิ้มสุวรรณ และคณะ, 2556)

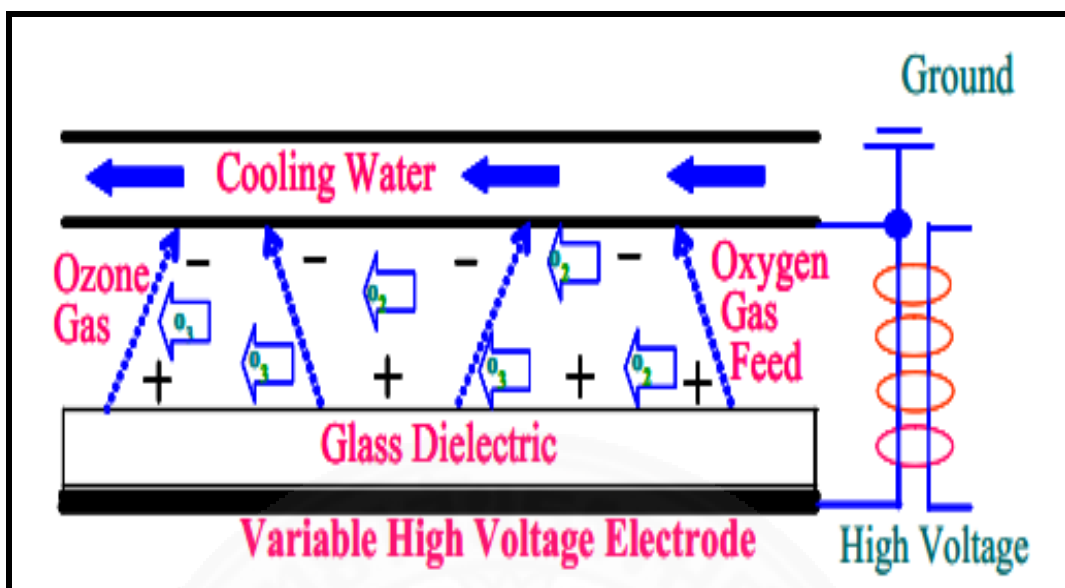
โอโซนที่เกิดในธรรมชาติยังเกิดจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่น 185 นาโนเมตรทำให้ออกซิเจนโมเลกุล (O_2) แตกตัว แต่โอโซน (O_3) ที่เกิดโดยวิธีนี้มีความเข้มข้นน้อยประมาณ 0.01 - 0.10% โอโซนมีสถานะเป็นก๊าซที่ความดันและอุณหภูมิปกติ ความสามารถในการละลายของโอโซนในน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน รวมทั้งค่าความเป็นกรดต่างเป็นสำคัญ โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรอัตราการสลายตัวจึงเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิสูงขึ้น

เครื่องผลิตก๊าซโอโซนโดยทั่วไปจะใช้หลักการของ Electric Discharge คือ สนามไฟฟ้าแรงสูง ทำให้ออกซิเจนโมเลกุล (O_2) แตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอม (O) แล้วรวมกับออกซิเจนโมเลกุลตัวอื่น ๆ กลายเป็นโอโซน (O_3) ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การเกิดโอโซนตามธรรมชาติ. จาก *ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโอโซน*, โดย พิเชษฐ์ ลิ้มสุวรรณ และคณะ, 2556, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะวิศวกรรมศาสตร์. สืบค้นเมื่อ 14 ก.ย. 2560 จาก <http://www2.lib.kmutt.ac.th/faq.html>

นอกจากการเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติแล้วโอโซนยังสามารถเกิดขึ้นได้จากการผ่านอากาศแห้งและมีคุณสมบัติที่เหมาะสมเข้าไปยังสนามไฟฟ้าแบบ Corona Discharge ทำให้ออกซิเจนในอากาศบางส่วนแตกตัวเกิดอะตอมออกซิเจนซึ่งจะรวมตัวกับออกซิเจนเกิดเป็นโอโซนได้ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงการเกิดโอโซนจากสนามไฟฟ้าแบบ Corona Discharge จาก การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากบริษัทดอยคำผลิตภัณฑ์อาหารจำกัดด้วยโอโซน, โดย อภิชาติ นารถชัย และคณะ, 2556, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, คณะวิศวกรรมศาสตร์. สืบค้นเมื่อ 23 ม.ค. 2561 จาก <http://library.kku.ac.th>

โอโซน (Ozone) หรือ O_3 มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 48 อยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิและความดันปกติ มีจุดเดือดเท่ากับ $-111.9^{\circ}C$ ที่ความดันบรรยากาศ และไม่เสถียร โอโซนเป็นตัวออกซิแดนท์ (Oxidant/Oxidizing agent) ที่รุนแรงมาก มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายกลิ่น สี และรสในน้ำ โดยสามารถละลายในน้ำได้ประมาณ 20 เท่าของการละลายในน้ำของออกซิเจนแต่จะไม่เสถียรในน้ำ โอโซนมีความเสถียรในอากาศมากกว่าในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอากาศที่เย็น และความสามารถในการละลายน้ำของโอโซนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันของโอโซน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

โอโซนเป็นก๊าซที่โมเลกุลเคลื่อนไหวคล่องแคล่วว่องไวเกิดจากการรวมตัวของออกซิเจน 3 ตัวในสภาวะไม่เสถียรในช่วงอุณหภูมิปกติ $18 - 30^{\circ}C$ โอโซนจะแยกตัวกลายเป็นอะตอมของออกซิเจนซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เครื่องผลิตโอโซนแบบ Commercial จะสามารถผลิตโอโซนจากอากาศได้เข้มข้นประมาณ 1 – 3 % แต่ถ้าผลิตจากออกซิเจนบริสุทธิ์จะมีความเข้มข้นสูงถึง 2 – 6 % ภาชนะบรรจุหรืออุปกรณ์สัมผัสกับโอโซนต้องเป็นวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน เช่น สแตนเลส เซรามิก อะลูมิเนียม แก้ว หรือเทฟลอน เป็นต้น ทั้งนี้เพราะโอโซนเป็นตัวออกซิแดนท์ที่ตีมาก และปฏิกิริยาออกซิเดชันของโอโซนจะปล่อยความร้อนออกมา (วีรยา อาจอง, 2549)

ตารางที่ 2.1

ความสามารถในการละลายน้ำของโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ

Temperature (°C)	Bunsen coefficient (α_B)	Henry coefficient ($K_H \times 10^{-4}$)
0	0.49	3.95
5	0.44	3.55
10	0.375	3.00
20	0.285	2.29
30	0.2	1.61
40	0.145	1.17
50	0.105	0.85

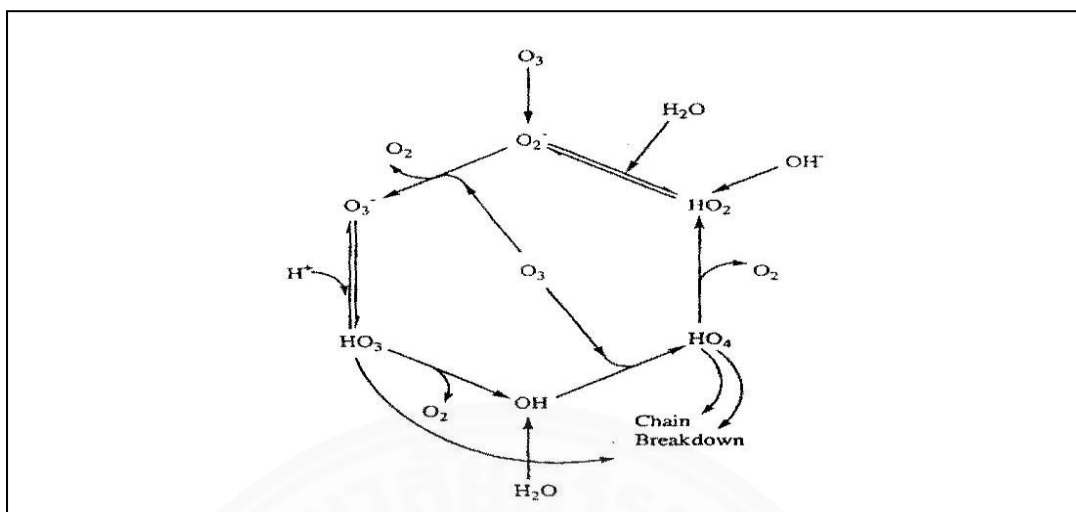
หมายเหตุ. จาก *Physicochemical Processes for water Quality Control*, โดย Weber, 1972, John Wiley and Sons, Inc., New York.

$$\alpha_B = \frac{\text{conc.of } O_3 \text{ in water}}{\text{conc.of } O_3 \text{ in gas, reduced to STP}} \quad (1)$$

$$K_H = \frac{\text{conc.of } O_3 \text{ in water}}{\text{conc.of } O_3 \text{ in gas, reduced to STP}} \quad (2)$$

2.2.1 การสลายตัวของโอโซนในน้ำ

โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรสามารถสลายตัวเป็นออกซิเจนโดยแตกตัวให้ Radical ต่างๆ ได้แก่ Hydroxyl radical ($OH^\bullet$), HO_3 , HO_4 และ Superoxide ($O_2^\bullet$) ดังภาพที่ 2.4 ซึ่ง Radical ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะมีความว่องไวมากในการทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ (Strong oxidant) ตารางที่ 2.2 แสดงความสามารถของโอโซนในการออกซิไดส์สูงกว่าคลอรีนถึง 1.52 เท่า และสูงกว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) (อภิชาติ นารณชัย และคณะ, 2556)



ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยาการแตกตัวของโอโซนในน้ำ จาก *Ozone in Water Treatment*, โดย Langlais et al., 1991, Application and Engineering. Lewis Publ. Inc., Chelsea.

การสลายตัวของโอโซนในน้ำเป็นลักษณะที่สำคัญที่นำไปใช้ประยุกต์ในกระบวนการโอโซนเนชั่น เนื่องจากโอโซนสามารถออกซิไดซ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความแน่นอนสูง ปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวของโอโซน คือ pH ของสารละลาย, แสง UV, ความเข้มข้นของโอโซน และ Free Radical ที่มีอยู่ในสารละลาย (อภิชาติ นารณชัย และคณะ, 2556)

ตารางที่ 2.2

การเปรียบเทียบความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารออกซิแดนต์ต่างๆ

Compound	oxidation potential (Volts)	Relative power of chlorine
Fluorine	3.06	2.25
Hydroxyl radical ($OH^\bullet$)*	2.80	2.05
Atomic Oxygen	2.42	1.78
Ozone	2.07	1.52
Hydrogen peroxide	1.77	1.3
Perhydroxyl radical	1.70	1.25
Permanganate	1.67	1.23

ตารางที่ 2.2

การเปรียบเทียบความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารออกซิแดนท์ต่างๆ (ต่อ)

Compound	Oxidation potential (Volts)	Relative power of chlorine
Chlorine oxide	1.50	1.10
Hypochlorous acid	1.49	1.10
Chlorine	1.36	1.00
Bromine	1.36	1.00
Hydrogen peroxide	0.87	0.64
Iodine	0.54	0.40
Oxygen	0.40	0.29

หมายเหตุ. *= formed when ozone decomposed

จาก *Looking to Treat Wastewater? Try Ozone*, โดย Lin and Yeh, 1993, Chem. Eng. 28:112-116.

การสลายตัวของโอโซนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นด่าง (Alkalinity) เพิ่มขึ้นทำให้โอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำและ Hydroxide ion (OH^-) เป็นตัว promoter ของปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซน ดังนั้นครึ่งชีวิต (Half Life) ของโอโซนจึงค่อนข้างสั้นในสภาพที่เป็นด่าง โดยที่ pH 10 ครึ่งชีวิตของโอโซนในน้ำบริสุทธิ์มีค่าประมาณ 30 นาที สารอินทรีย์ในธรรมชาติเป็นทั้งตัว Initiator และตัว Promoter ของปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซน (Langlais et al., 1991; Ku et al., 1996)

2.2.2 การนำโอโซนมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากคุณสมบัติของโอโซนดังต่อไปนี้ (บจ. โปรเฟสชันแนล โอโซนไนซ์ อินเตอร์เนชั่นแนล, 2558)

2.2.2.1 โอโซนมีคุณสมบัติเป็นสารที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาเคมีทั้งกับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้กว้างขวางโดยไม่ก่อผลตกค้างที่เป็นพิษ

2.2.2.2 โอโซนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีเป็นที่ยอมรับว่าโอโซนสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ดีกว่าคลอรีนถึง 3,125 เท่า เช่น

- โอโซนละลายน้ำที่ความเข้มข้น 0.01 ส่วนในล้านส่วนฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้

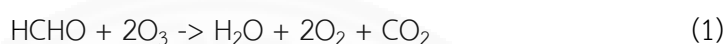
99% ภายใน 1 นาที

- โอโซนละลายน้ำที่ความเข้มข้น 0.4 ส่วนในล้านส่วน ฆ่าเชื้อไวรัสได้

99% ภายใน 4 นาที

2.2.2.3 โอโซนมีประสิทธิภาพในการสลายกลืนของสารระเหยต่าง ๆ ได้ดีด้วยการทำปฏิกิริยาเคมีและเปลี่ยนโครงสร้างสาร เช่น

- โอโซนทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลีนได้น้ำ ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ได้สมการเคมีดังนี้



- โอโซนทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกได้น้ำ ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ได้สมการเคมีดังนี้



2.2.2.4 โอโซนมีประสิทธิภาพในการสลายความเป็นพิษของสารเคมีด้วยการทำปฏิกิริยาเคมีและเปลี่ยนโครงสร้างสารเช่น

- โอโซนทำปฏิกิริยากับไซยาไนด์เป็น ไซยาเนท ได้สมการเคมีดังนี้



2.2.2.5 โอโซนมีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์โลหะหนักในน้ำเสียต่าง ๆ เช่น ทำปฏิกิริยาโดยออกซิไดซ์สนิมเหล็ก Fe^{2+} เป็น Fe^{3+} + ซึ่งตกตะกอนและกรองออกได้

2.2.2.6 โอโซน มีประสิทธิภาพในการสลายสีในน้ำทิ้งน้ำเสียได้ดีด้วยการทำปฏิกิริยาเคมีและเปลี่ยนโครงสร้าง

2.2.2.7 โอโซนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายและตะไคร่น้ำ ในระบบน้ำหล่อเย็น (Cooling Tower) ทำให้การถ่ายเทความร้อนของระบบดีขึ้นและช่วยประหยัดพลังงานได้มากขึ้น

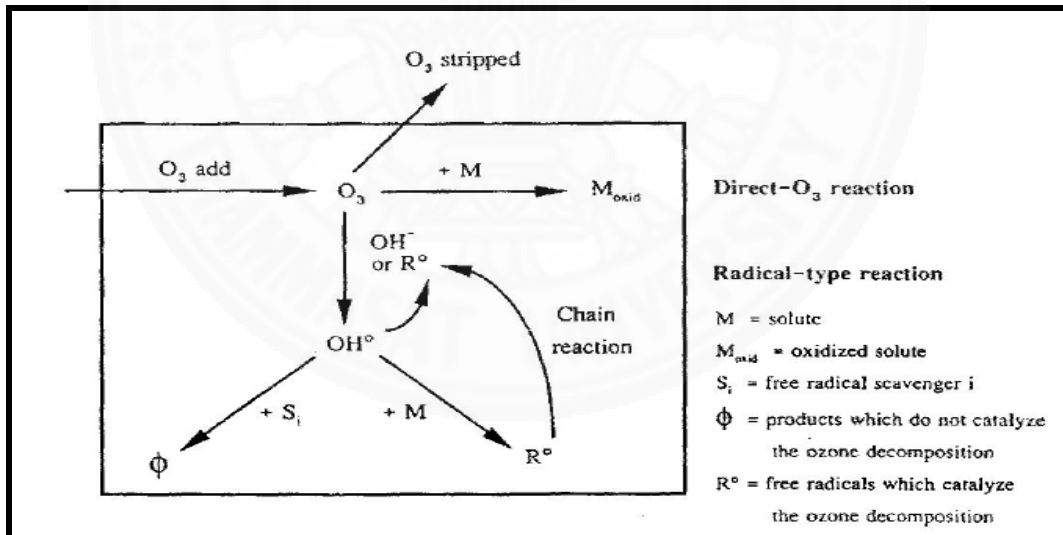
2.2.3 ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารอินทรีย์กับโอโซน

การออกซิไดซ์สารอินทรีย์โดยโอโซนอาจสมบูรณ์หรือไม่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์นั้นๆ อธิบายกลไกปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารอินทรีย์กับโอโซนว่าประกอบด้วย 2 ขั้นตอน (วีรยา อาจองค์, 2549)

2.2.3.1 Direct attack สารอินทรีย์จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของโอโซนโดยตรง (ปฏิกิริยา Electrophilic หรือ Dipolar cycloaddition) โอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์บริเวณพันธะคู่ ($C=C$, $C=C-O-R$, $C=C-X$) หรืออะตอมที่มีประจุลบ (N , P , O และ S) สาร Aromatic ที่มีหมู่ OH , CH_3 หรือ OCH_3 อยู่ตรงตำแหน่ง Ortho จะทำปฏิกิริยากับโอโซนได้ดี (High reactivity) แต่ถ้ามีหมู่ NO_2 , $COOH$ หรือ CHO ปฏิกิริยาจะเกิดช้า ดังแสดงสมการที่ 4 ดังนี้

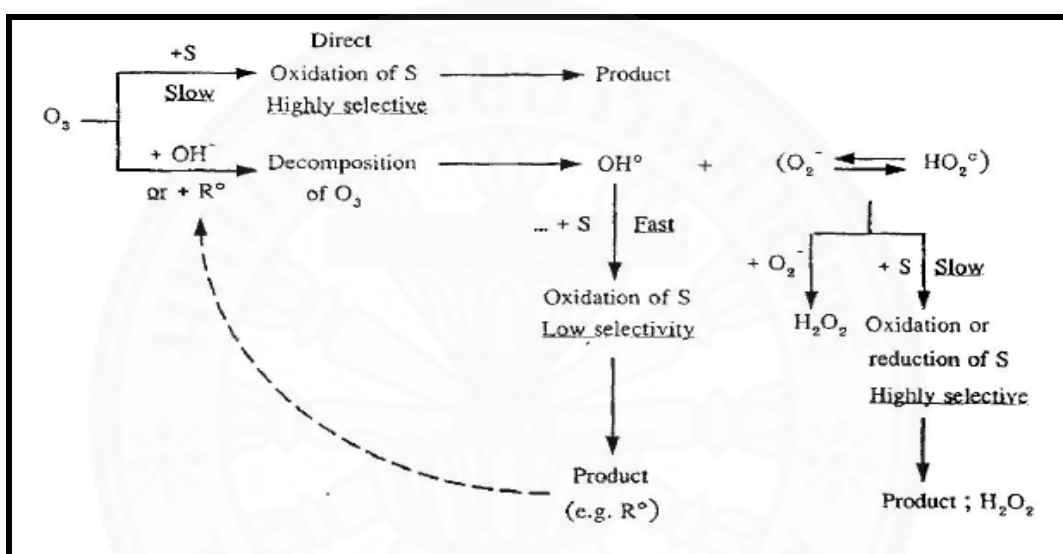
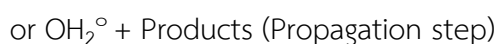


เมื่อ M คือสารอินทรีย์ ภาพที่ 2.5 และ 2.6 แสดงการทำปฏิกิริยาของโอโซนกับสารอินทรีย์ทั้งโดยตรงและโดยอ้อม ทั้งนี้ขึ้นกับค่า pH เป็นสำคัญในการกำหนดปริมาณการทำปฏิกิริยาดังกล่าว



ภาพที่ 2.5 การทำปฏิกิริยาของโอโซนกับสารอินทรีย์ แบบ Direct attack จาก การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยโอโซน, วราภรณ์, 2540, (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท) มหาวิทยาลัยมหิดล.

2.2.3.2 Indirect attack สารอินทรีย์จะถูกทำปฏิกิริยากับ Free radicals ที่เกิดจากปฏิกิริยาขั้นที่ 1 อันได้แก่ $\text{OH}^\bullet$ และ $\text{OH}_2^\bullet$ ซึ่งประจุเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์อีกทีหนึ่ง และสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ประเภท Acid, Aldehydes, Ketones และพวก Less highly activated aromatic ได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก ดังแสดงในสมการที่ 5 ดังนี้



ภาพที่ 2.6 การทำปฏิกิริยาของโอโซนกับสารอินทรีย์ แบบ Indirect attack จาก การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยโอโซน, วราภรณ์, 2540, (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต) มหาวิทยาลัยมหิดล.

2.3 สีในน้ำเสีย

2.3.1 สีที่พบในน้ำเสียแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ สีแท้จริงและสีปรากฏ

2.3.1.1 สีแท้หรือสีจริง (True Color) หมายถึง สีที่เกิดจากสารต่างๆ ในน้ำและละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำโดยสารที่มีผลต่อการเกิดสีแท้ส่วนใหญ่ ได้แก่ สารอินทรีย์ซึ่งย่อยสลายยากประเภทกรดฮิวมิกและฟัลวิก (Humic acid and fulvic acid) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของ

สิ่งมีชีวิตและผลผลิตจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของสิ่งมีชีวิตซึ่งมีความคงตัวสูงมากจนไม่สามารถย่อยสลายและแยกออกโดยการกรองได้ การกำจัดสีแท้จริงทำได้ยาก

2.3.1.2 สีปรากฏ (Apparent Color) หมายถึง สีที่เกิดจากสารแขวนลอยในน้ำที่สะท้อนแสงปรากฏให้เห็นแก่สายตา เช่น แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ เกล็ดของซากพืช ซากสัตว์ ตะกอนของดินและทราย สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีทางกายภาพ เช่น การกรองหรือการตกตะกอน (กัณธรีย์ ศรีพงศ์พันธ์, 2547)

สำหรับสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมมีทั้งสีแท้และสีปรากฏ โดยสีแท้มักเป็นน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มและอบไม้ยางพารา ส่วนสีปรากฏมักเกิดจากสารแขวนลอยในน้ำจาก 2 กรณี คือ สีของน้ำเสียเอง เนื่องจากการปนเปื้อนมาแต่แรกในน้ำเสีย เช่น สีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทอผ้า, ฟอกย้อมเยื่อกระดาษ ซึ่งสีที่เกิดขึ้นเป็นสีปรากฏจากสารเคมีในกระบวนการผลิต รวมทั้งลิกนินและแทนนิน (มงคล ดำรงค์ศรี และคณะ, 2546) โดยอาจแบ่งประเภทตามการแตกตัวให้ประจุเส้นใยที่ใช้ย้อมหมู่ช่วยละลายรวมทั้งโครงสร้างทางเคมีของสี นอกจากนี้สีที่เกิดขึ้นในน้ำเสียหลังจากการเก็บกัก หรือหลังจากผ่านการบำบัด เช่น ในระบบบำบัดแบบบ่อผึ่ง (Oxidation pond) ที่อาศัยสาหร่ายให้ออกซิเจนแต่สาหร่ายทำให้น้ำมีสีเขียว เป็นต้น

2.3.2 การกำจัดสี

ปัญหาหลักอย่างหนึ่งคือความต้องการในการลดสีของน้ำเสีย การปล่อยน้ำทิ้งที่มีสีเจือปนแม้ว่าจะไม่เป็นพิษแต่ก็ทำให้แหล่งน้ำดูหน้ารังเกียจ เกิดปัญหาทางด้านสุนทรียภาพและน้ำเสียยังขัดขวางการเดินทางของแสงลงสู่แหล่งน้ำซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์แห่งแหล่งน้ำนั้น นอกจากนี้การกำจัดสีนั้นยังยากแก่การบำบัดออกด้วยวิธีการตกตะกอนดั้งเดิม (Conventional sedimentation) และวิธีการบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) นอกจากนี้ยังมีการนำโอโซนไปใช้กำจัดสีในน้ำเสีย โดยจะทำให้พันธะของโมเลกุลที่ทำให้เกิดสี (Chromophores) แตกออกกลายเป็นโมเลกุลเล็กและสีจะหายไป โดยสามารถแยกสลายโมเลกุลของสีที่มีความยาวมากให้มีขนาดสั้นลง ทำให้สีของน้ำเสียลดลงซึ่งโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายสีในน้ำได้ประมาณ 20 เท่าของการละลายในน้ำของออกซิเจน สามารถกำจัดสีแท้จริงทำลายโครงสร้างโมเลกุลแบบโครงสร้างแบบโซ่ของสารอินทรีย์ ความสามารถในการกำจัดสีมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสกับโอโซนให้นานขึ้นและสีของน้ำลดลงมากที่สุด เมื่อผ่านน้ำทิ้งเข้าระบบเป็นเวลา 60 นาที ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำเสียเป็นปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโอโซนออกซิเดชัน ในการกำจัดสีโดยความเป็นกรดต่างเท่ากับ 12 ± 0.1 เป็นสภาวะที่สามารถกำจัด

สื่ด้วยกระบวนการโอโซนออกซิเดชันได้ดีที่สุด (วรารณ อภิวัฒนาภิวัด และคณะ, 2550) ก๊าซโอโซนจะไม่เสถียรสามารถสลายตัวกลายเป็นออกซิเจนได้ง่ายจึงต้องผลิตขึ้นมาใช้ ณ สถานที่ใช้งานเลยหรือเป็นแบบติดอยู่กับที่ (Generated on-site) โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซโอโซน คืออากาศหรือออกซิเจน โดยออกซิเจน 2 โมเลกุลจะผลิตก๊าซโอโซนได้ 1 โมเลกุล (ดังสมการ 6 และ 7) การผลิตก๊าซโอโซนโดยอากาศด้วยเครื่องผลิตโอโซนจะได้ก๊าซโอโซนประมาณร้อยละ 0.5 – 3 ในขณะที่การผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้ออกซิเจนจะได้ก๊าซโอโซนประมาณร้อยละ 1 - 6 การผลิตโอโซนจะอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีในการเปลี่ยนออกซิเจนเป็นก๊าซโอโซน โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาเคมีกับสารเคมีบางชนิดที่เป็นสารให้ออกซิเจนหรือปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีโดยป้อนออกซิเจนเข้าไปในห้องปฏิกิริยาที่มีขั้วประจุไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงมาก แล้วทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลของออกซิเจนเป็นอนุมูลออกซิเจนอิสระและไปรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนเป็นก๊าซโอโซน ซึ่งการผลิตที่เป็นที่นิยมก็คืออาศัยหลักการปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในการผลิต



2.4 กลิ่นในน้ำเสีย

ส่วนใหญ่มาจากสารที่ทำให้เกิดกลิ่นซึ่งมีหลายชนิดมักเป็นพวกสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) ซึ่งปนเปื้อนมาจากกระบวนการผลิต ซึ่งกลิ่นที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภทจะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันไป การรับรู้กลิ่นและการตอบสนองของแต่ละบุคคลจะขึ้นอยู่กับความไวต่อการรับรู้กลิ่น (ซีเอ็มเอส เอ็นจิเนียริง แอนท์แมนเนจเม้นท์, 2543) ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมพลาสติก โรงงานปลาปน โรงงานฟอกหนัง โรงงานเคมีภัณฑ์ต่างๆ

ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงกลิ่นที่เกิดจากกระบวนการพ่นสีและการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งปัญหากลิ่นมักจะเกิดจากการระเหยของตัวทำละลายและแม่สี ได้แก่ สารกลุ่มอโรมาติก, สารกลุ่มเอสเทอร์ และสารกลุ่มคีโตน ซึ่งเป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอน เช่น xylene, toluene, ethylbenzene, n-butyl acetate, methyl ethyl ketone, n-butanol เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนผสมในสีและตัวทำละลาย ในกระบวนการผลิต เนื่องจากการใช้สีพ่นชิ้นงานจะสูญเสียมากกว่าการทาด้วยแปรงเป็นอย่างมาก เพราะจะสิ้นเปลืองสีและตัวทำละลายที่ไม่ติดผิววัตถุ จึงกลายเป็นเศษสารเคมีไหลลงสู่ชุดม่านน้ำตก จับละอองสีเป็นจำนวนมากต่อการพ่นสี 1 ครั้ง ซึ่งทุกครั้งที่เปลี่ยนผลิตภัณฑ์เจ้าหน้าที่จะทำการล้าง

ห้องพนัสทั้งหมด โดยน้ำที่ใช้ล้างห้องพนสนี้ก็จะปนเปื้อนไปด้วยสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการและสิ่งสกปรกต่าง ๆ มากมาย ซึ่งน้ำจำนวนนี้จะถูกส่งไปยังบ่อพักน้ำทิ้งเพื่อรอการบำบัดต่อไป ดังนั้นระหว่างรอการบำบัดจึงมีกลิ่นเหม็นภายในบ่อพักเป็นอย่างมาก

2.5 เทคโนโลยีการกำจัดและกลั่นในน้ำเสียอุตสาหกรรม

เทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดและกลั่นในน้ำเสียอุตสาหกรรมมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ วิธีทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีวภาพดังต่อไปนี้ (วนิดา ชูอักษร, 2551)

2.5.1 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงแต่มีข้อจำกัด คือการนำกลับมาใช้ใหม่จะต้องฟื้นฟูสภาพด้วยการเผาที่ความร้อนสูงซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง

2.5.2 การใช้กระบวนการกรองด้วยเยื่อแผ่น ก็จะต้องควบคุมระดับความดันน้ำ อัตราการไหลของน้ำ ค่าความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิ

2.5.3 การสร้างตะกอนและการรวมตะกอน โดยใช้สารส้ม ปูนขาว และสารประกอบเหล็กก็เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง แต่จะมีกากตะกอนเกิดขึ้นในปริมาณมากซึ่งยุ่งยากในการนำไปกำจัด

2.5.4 กระบวนการเฟ้นต้น ก็ต้องควบคุมความเข้มข้นของเหล็กความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดต่างและระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

2.5.5 การใช้โอโซน เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ก็ต้องควบคุมอุณหภูมิ ความดัน ค่าความเป็นกรดต่างและความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

2.5.6 การใช้เทคโนโลยีทางกายภาพและเคมี มีข้อจำกัดเนื่องจากการใช้สารเคมีในการกำจัดนอกจากจะสิ้นเปลืองแล้วตะกอนที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากและเป็นการเพิ่มสารเคมีในสิ่งแวดล้อมด้วย

2.5.7 การใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพ ได้แก่ การดูดซับด้วยสาหร่าย การย่อยสลายโดยใช้เชื้อราบางชนิด มีข้อจำกัดในเรื่องความสะดวกในการใช้งาน การเก็บรักษา การขนส่ง รวมถึงการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับและการย่อยสลาย

ดังนั้นการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับน้ำเสียของอุตสาหกรรมแต่ละประเภท ต้องคำนึงถึงลักษณะน้ำเสีย ปริมาณน้ำเสีย ประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ ในทางปฏิบัติควรมีการนำน้ำเสียมาทดสอบก่อนเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมปัจจุบันน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอกระดาษเยื่อผ้า-พิมพ์ผ้า สกัดน้ำมันปาล์ม ฯลฯ มักมีปัญหาสีของน้ำ (Radha K.V., 2009) ถึงแม้สีบางชนิดจะไม่ใช่พิษ แต่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสียโดยทำให้แหล่งน้ำเกิดสภาพไม่น่าดูและกันขวางปริมาณแสงส่องผ่านสู่แหล่งน้ำลดลง ลดการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำจืด ผลิตออกซิเจนลดลง แหล่งน้ำมีออกซิเจนไม่เพียงพอ และไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ (กัญทิพย์ ศรีพงศ์พันธ์, 2547; Chulhwan et al.2007; Shaobin, 2008) นอกจากนี้สีที่เป็นสารอินทรีย์ละลาย หรือคอลลอยด์ สามารถย่อยสลายได้ส่งผลให้ออกซิเจนละลายน้ำลดลง (สันทัต ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) อย่างไรก็ตามปัจจุบันมีเทคโนโลยีการกำจัดสีทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันทำให้ต้องมีการเลือกใช้ให้เหมาะสมสำหรับน้ำเสียของแต่ละอุตสาหกรรม

สำหรับวิธีการเติมโอโซน (Ozonation) โอโซนใช้ในการกำจัดกลิ่นในน้ำดื่ม ตลอดจนการใช้โอโซนในการย่อยสลายสารประกอบสี โอโซนเป็นสารออกซิแดนท์ที่ดีกว่าคลอรีนและพบว่ากลไกที่ได้จากการออกซิแดนท์น้ำเสียที่มีสี ไม่ทำให้เกิดมลพิษจากสารพวก Chlorinated organics การออกซิไดซ์ด้วยโอโซนเป็นการออกซิไดซ์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ในโมเลกุลสี แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำทิ้งอย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถบำบัดน้ำทิ้งที่มีปริมาณมากและสามารถลดค่า COD ของน้ำทิ้งที่บำบัดได้ (กัญทมาศ, 2513)

2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณโอโซน

การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโอโซนสามารถวัดได้ที่ Ozone generator, Contactor off – gases และปริมาณโอโซนที่เหลือใน Ozonized water (อภิชาติ นารณชัย และคณะ, 2556)

2.6.1 วิธีการวัดปริมาณโอโซนโดยทั่วไป ได้แก่ Simple “sniff” test, Draeger-type detector tube, wet chemistry potassium iodide method, Amperometric type instruments, Gas-phasechemiluminescence และ Ultraviolet radiation adsorption

2.6.2 วิธี Wet chemistry potassium iodide method เป็นการวัดปริมาณโอโซนที่ผลิตจาก Ozone generator ในรูปสารละลาย (Solution phase) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ทางเคมีอย่างง่ายอาศัยหลักการทำปฏิกิริยากันอย่างรวดเร็วระหว่างโอโซนและไอโอดีน

2.7 ปัจจัยที่ควบคุมการสลายตัวของโอโซน

ปัจจัยที่ควบคุมการสลายตัวของโอโซน คือ pH, อุณหภูมิ, ปริมาณสารอินทรีย์ และสารประกอบอนินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ การใช้โอโซนในการกำจัดเชื้อโรคไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียงที่เป็นอันตรายตกค้าง ไม่ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย โอโซนยังสามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้โดยจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ในน้ำ ทำให้ค่า BOD และค่า COD ลดลง ใช้ในการบำบัดสีและกลิ่นของน้ำเสีย โอโซนมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรคดีกว่าการใช้วิธีอื่นๆ แต่การใช้โอโซนในการกำจัดเชื้อโรคเป็นเทคนิคที่มีค่าใช้จ่ายสูงมากเมื่อเทียบกับการใช้วิธีอื่นๆ และจะต้องมีการผลิตโอโซนในพื้นที่ทำให้เกิดความไม่สะดวกในการดำเนินการ การบำรุงรักษาค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน ดังนั้นการใช้โอโซนในการกำจัดเชื้อโรคจึงยังไม่ถูกใช้อย่างกว้างขวางมากนัก (วีรยาอาจง, 2549)

2.8 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสีย

ในการวิเคราะห์น้ำเสียจะมีตัวแปรสำคัญต่างๆ ดังต่อไปนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

2.8.1 pH เป็นค่าแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจน (H^+) ในน้ำแสดงถึงความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ซึ่งค่า pH จะมีค่าอยู่ในช่วง 0-14 โดยน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจะมี pH ต่ำกว่า 7 ส่วนน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นด่างจะมี pH มากกว่า 7

2.8.2 BOD (Biochemical Oxygen Demand) ปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่บ่งบอกถึงผลกระทบของน้ำเสียที่มีต่อออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยทั่วไปจะวัดในรูป BOD_5 ซึ่งหมายถึงปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ถ้าค่า BOD มีค่าสูงแสดงว่าน้ำมีความสกปรกมากตามค่าที่สูงนั้น

2.8.3 COD (Chemical Oxygen Demand) คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และในระบบไม่ใช้อากาศก็จะกลายเป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งถ้าค่า COD สูง แสดงว่าน้ำเสียมีความสกปรกมากในการออกแบบระบบก๊าซชีวภาพค่า COD จะบ่งบอกถึงปริมาณก๊าซชีวภาพ โดยค่า COD 1 kg. จะให้ก๊าซมีเทน = 0.3 ลบ.ม. โดยประมาณ และค่า COD จะมีมากกว่า BOD เสมอ โดยอยู่ในอัตราส่วน 4:1

2.8.4 DO (Dissolved Oxygen) คือ การหาปริมาณออกซิเจนซึ่งละลายอยู่ในน้ำเป็นลักษณะสำคัญที่จะบอกให้ทราบว่าน้ำนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และแนวการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในน้ำว่าเป็นแบบใช้ออกซิเจนอิสระ (Aerobic) หรือไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ (Anaerobic) ปริมาณออกซิเจนซึ่งละลายในน้ำมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ, ความดันบรรยากาศ และสิ่งเจือปนในน้ำ

2.8.5 TDS (Total Dissolve Solid) คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายเจือปนอยู่ในน้ำซึ่งไม่เห็นด้วยตาเปล่า เนื่องจากมีขนาดเล็กมีหน่วยวัดเป็น mg/l, ppm หรือ ppt น้ำเสียที่ออกจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องมีควบคุมค่า TDS เสมอ โดยปกติดน้ำบริสุทธิ์นั้นเป็นเพียงโมเลกุลที่ประกอบด้วย ไฮโดรเจน 2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม ประกอบกันเป็น H₂O ออกจากนั้นสิ่งอื่นที่ปรากฏอยู่ในน้ำต้องถือว่าเป็นสิ่งเจือปนทั้งหมด โดยมี 3 สถานะคือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

2.8.5.1 สิ่งเจือปนในน้ำที่เป็นของแข็ง ประกอบด้วยสารแขวนลอย หรือตะกอนแขวนลอย สาหร่าย และจุลินทรีย์ เป็นต้น

2.8.5.2 สิ่งเจือปนในน้ำที่เป็นเหลว ก็จะเป็นพวกสารละลายที่มีแร่ธาตุ เกลือ หรือสารประกอบต่างๆละลายอยู่ในน้ำ

2.8.6 TSS (Total Soluble Solid) คือ ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมด หากค่า TSS สูงแสดงว่ามีสารแขวนลอยในน้ำเสียเยอะจำเป็นต้องบำบัดด้วยการกรอง หรือการเติมสารเคมีเพื่อให้ตกตะกอนสารแขวนลอยที่เป็นของแข็งออกก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

2.9 การใช้เทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ในการตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Fluorescent Excitation Emission Matrix (FEEM))

เทคนิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรสโกปี (fluorescence spectroscopy) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติของสารโดยการอาศัยการดูดกลืนรังสียูวีที่ส่งผลให้โมเลกุลถูกกระตุ้น และมีการสั่นภายในโมเลกุลจากระดับชั้นพลังงานสถานะพื้น (ground state) ไปสู่ระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้น (excited state) เรียกว่าการดูดพลังงาน (excite energy) โมเลกุลที่มีการเคลื่อนที่ไปอยู่ในระดับของชั้นพลังงานที่สูงจะไม่มีเสถียรจึงมีการปลดปล่อยพลังงาน และตกลงมาในชั้นระดับพลังงานที่ต่ำกว่าพลังงานที่โมเลกุลปลดปล่อยจากระดับชั้นพลังงานกระตุ้นชั้นที่หนึ่งสู่ระดับชั้นพลังงานสถานะพื้น จะทำให้เกิดการคายโฟตอน (emission of photon) ทำให้เกิดสเปกตรัมในช่วงฟลูออเรสเซนซ์ ณ ค่าพลังงานที่กระตุ้นที่จำเพาะของสารแต่ละชนิด (ศุภยัณนาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2558)

Fluorescence spectroscopy เป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในการหาแหล่งกำเนิดของตัวอย่างสารอินทรีย์ในทะเล ซึ่งมีสิ่งมีชีวิตในน้ำและดิน ซึ่งมีเทคนิค 3 ประเภท ดังนี้

2.9.1 Conventional fluorescent spectroscopy เป็นเทคนิคที่ใช้ความยาวคลื่นกระตุ้นที่เจาะจงค่าหนึ่ง ที่สแกนความยาวคลื่นที่คายพลังงานได้ emission spectrum ซึ่งเทคนิคนี้ง่าย มีข้อจำกัดน้อย และสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจวัดได้โดยตรง (Rodriguez and Sanz, 2000)

2.9.2 Synchronous fluorescent spectroscopy เป็นการสแกนทั้งความยาวคลื่นกระตุ้นและความยาวคลื่นการคายในเวลาเดียวกัน โดยให้ความแตกต่างของความยาวคลื่น ระหว่างความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้นและความยาวคลื่นที่คายแสงออกมากองที่และจะบันทึกค่าความเข้มข้นของการคายแสง หรือค่าความเข้มข้นของการกระตุ้น ที่ผ่านมาได้มีการประยุกต์ใช้เพื่อประเมินคุณภาพน้ำเสีย อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย (Galapate et al., 1998)

2.9.3 Excitation emission matrices (EEM) เป็นเทคนิคที่สแกน synchronous อย่างซ้ำๆ หลายครั้ง แต่จะเร็วกว่าโดยมีกระบวนการตรวจวัดอย่างชัดเจนและตรงเป้าหมาย ข้อมูลของเทคนิค excitation emission matrices จะอยู่ในรูปของ fluorescent contour plot นอกจากนี้ fluorescent excitation emission matrices peak intensity สามารถตรวจวัดคุณสมบัติของสารละลายอินทรีย์ในน้ำและดิน ติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำธรรมชาติ (Matthews et al., 1996) และน้ำเสียได้ (Baker and Curry, 2004)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วีรยา อางองค์ ได้ทำการศึกษาการบำบัดสีจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงงานเปียร์ โดยกระบวนการโอโซนเนชั่นเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอโซนเนชั่นในการลดสีในน้ำทิ้งของโรงเปียร์ที่ผ่านระบบบำบัดทางชีวภาพแล้วโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการโอโซนเนชั่นในการลดสีที่ค่า pH ด้วยอัตราการผลิตโอโซนและระยะเวลาการสัมผัสต่างๆพบว่าสภาวะที่เหมาะสมได้แก่ค่า pH 10 อัตราการผลิตโอโซน 200 mg/L/hr และระยะเวลาสัมผัส 25 นาทีที่มีประสิทธิภาพในการลดสี 74.26 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่า BOD/COD เพิ่มขึ้น 77.78 เปอร์เซ็นต์ และค่าของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น 92.15 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวไปทำการทดลองกระบวนการโอโซนเนชั่นในถังปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องพบว่าให้ผลสอดคล้องกับผลการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบแบทช์ โดยมีประสิทธิภาพในการลดสี 74.12 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่า BOD/COD เพิ่มขึ้น 44.44 เปอร์เซ็นต์ และค่าของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น 77.01 เปอร์เซ็นต์ การที่ค่า BOD/COD ของน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าสีในน้ำตัวอย่างบางส่วนเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อนและย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก ถูกออกซิไดซ์ด้วยโอโซนให้อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายขึ้นและไม่ก่อให้เกิดสี ส่วนการที่ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นนั้นแสดงให้เห็นว่าสีในน้ำตัวอย่างบางส่วนถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของของแข็งแขวนลอย ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำตัวอย่างได้ด้วยการกรอง และในการลดสีด้วยกระบวนการโอโซนเนชั่นนั้นต้องเสียค่าไฟในการผลิตโอโซน 70 บาทต่อน้ำเสีย 1 m³

อภิชาติ นารถชัย และภัสวัญญ์ นิลมัย ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียจากบริษัท ดอยคำผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ด้วยโอโซน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโดยมีตัวแปรในการศึกษาคือ ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH), ค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO), ค่าบีโอดี (BOD), ค่าซีโอดี (COD), ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและค่าไนเตรต-ไนโตรเจน โดยทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน ผลการทดลองในสภาวะที่เหมาะสมพบว่าปริมาณโอโซน 32 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงของมาตรฐานน้ำเสียของอุตสาหกรรม พบว่าค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าเพิ่มขึ้น 48.5, 19.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ, ค่าบีโอดี (BOD), ค่าซีโอดี (COD), ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและค่าไนเตรต-ไนโตรเจน มีค่าลดลงคือ 65.37, 63.2, 75.1 และ 23.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีโอโซนคิดเป็นเงิน 0.1099 บาท/100 ลิตร

Zhang และคณะ ทำการศึกษาสารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved organic matters: DOM) ในน้ำจากแม่น้ำที่ผ่านการกรองและแยกด้วยเรซิน XAD-8 และ XAD-4 ด้วยเทคนิคFEEM โดย

ศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารอินทรีย์ละลายที่ผ่านการโอโซน และการโอโซนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเกอไทด์สังเคราะห์ (FeOOH) และซีเรียมไดออกไซด์ (CeO_2) ที่พีเอช 7 เวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที สัดส่วนของโอโซนต่อสารอินทรีย์คาร์บอนละลาย (DOC) เท่ากับ 1 ซึ่งผลจากการทำ FEEM พบว่า DOM ที่ผ่านการแยกด้วยเรซินแล้วนำมาทำการโอโซน โครงสร้างสารกลุ่มอะโรมาติกที่เป็น humic-like ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับโอโซนสามารถเพิ่มการทำลายสารกลุ่ม humic-like ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนที่ซับซ้อนได้

Kongnoo และคณะ ทำการศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสี และการกำจัดสารอินทรีย์ออกไปจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยกระบวนการของเพนตันโดยปกติแล้วโรงงานจะต้องใช้น้ำประมาณ 1.5 ลูกบาศก์เมตร เพื่อผลิตน้ำผลไม้สดจำนวนครึ่งหนึ่งและอีกครึ่งหนึ่งของปริมาณนี้จะกลายเป็นน้ำมันปาล์มน้ำเสียโรงงาน (POMW) ซึ่งเป็นของเหลวสีน้ำตาลหนาที่ปล่อยออกมาที่อุณหภูมิสูง (80°C - 90°C) ประกอบด้วยสารอินทรีย์ละลายน้ำหลายตัว เช่น แอนโธไซยานิน แคโรทีน โพลีฟีนอล กรดฮิวมิก กรดฟุลวิก ลิกนิน และเทนิน ซึ่งจากการใช้เทคนิค FEEM วิเคราะห์หาการลดลงของสารอินทรีย์จากกราฟแสดงค่า PEAK A & PEAK B คือ 315/415 nm. และ 260/445 nm. คือค่ากรดฮิวมิก และกรดฟุลวิก ตามลำดับซึ่งเป็นเหตุของสีในน้ำเสียส่วนหนึ่งจากการวิจัยผลที่ได้ คือกระบวนการเพนตันสามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 66.5 ในเวลา 5 นาที และร้อยละ 90.0 ในเวลา 30 นาที ของเวลาในการทำปฏิกิริยาของกระบวนการ (reaction time) และสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในรูปที่ละลายอยู่ในน้ำ (soluble chemical oxygen) ได้ที่ร้อยละ 82.0 เป็นเวลา 1 ชม.

Janhom และคณะ ทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเบียร์ ด้วยเครื่องมือสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ชนิดใช้เกรตติง (spectro fluorometry) ซึ่งได้เก็บตัวอย่างน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงเบียร์ในท้องถิ่นทั้งสามแห่งอันประกอบไปด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบ upflow anaerobic sludge blanket (UASB) และระบบแอกติเวตเตดสลัดจ์ (activated sludge : AS) ซึ่งได้เก็บรวบรวม และตรวจสอบสารอินทรีย์ประเภทที่ละลายน้ำ (dissolved organic matter : DOM) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FEEM จะมีความแม่นยำพอสมควรในการประเมินการลดลงของ DOM ระหว่างช่วงระยะเวลาในการบำบัด ค่าสูงสุดของสารเรืองแสงทั้งแปดครั้งจะตรวจพบได้ด้วยเทคนิค FEEM โดยที่ค่าสูงสุดของ 'A กับ B' และ 'C กับ D' จะมีความเกี่ยวข้องกับสารที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับ tyrosine, tryptophan ตามลำดับ ขณะที่ค่าสูงสุดของ E, F และ G ในแต่ละตำแหน่งจะมีความเกี่ยวข้องกับสารที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับกรดฮิวมิก และฟุลวิก ค่าสูงสุดของ C, D, F และ H มักจะพบได้ในน้ำเสียจากแหล่งน้ำจากโรงเบียร์ทุกแห่ง ขณะที่น้ำเสียจะแสดงเฉพาะค่าสูงสุดของ F เท่านั้น จุดเริ่มต้นของค่าสูงสุด H จะไม่มีอีกนัยหนึ่งที่ได้รับการยอมรับและไม่ได้รับการระบุเอาไว้ใน

การดำเนินการครั้งนี้ จึงสรุปได้ว่า FEEM อาจจะไม่ถูกนำมาใช้เพื่อเฝ้าสังเกตการลดลงใน DOM เพียงเท่านั้น แต่ยังให้รายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบจากสารอินทรีย์ของน้ำเสียอีกด้วย

Nkambule และคณะ ได้ทำการศึกษาความสามารถในการบำบัดได้ และการแสดงลักษณะของสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ (NOM) ในแหล่งน้ำของแอฟริกาใต้ที่มีการใช้วิธีดำเนินการที่เพิ่งจะได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้น การจัดการสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ (NOM) เป็นสารผสมของสารประกอบอินทรีย์ในจุดเริ่มต้นของมนุษย์ที่ได้มาจากส่วนที่เหลือของพืชและเชื้อจุลินทรีย์การจัด NOM อย่างไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดความสามารถของกระบวนการบำบัดอื่นๆ เพื่อขจัดกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ หรืออินทรีย์ขนาดเล็กที่อาจจะปรากฏขึ้นในแหล่งน้ำ เนื่องจากความซับซ้อนในองค์ประกอบและโครงสร้างของ NOM เทคนิคในปัจจุบันจะใช้โดยเทคนิคคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (DOC), คาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (BDOC) และ Fluorescence Emission Excitation Matrices (FEEM) จะถูกนำมาใช้เพื่อแสดงถึง NOM จากตัวอย่างของน้ำจากแหล่งต่างๆ ที่เก็บรวบรวมได้บริเวณแอฟริกาใต้ผลการแสดงลักษณะได้มอบข้อบ่งชี้ลักษณะของ NOM ที่ปรากฏอยู่ในตัวอย่างของน้ำทั้งหมดผลจากเทคนิค FEEM และ UV-Vis ได้บ่งชี้ให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำส่วนใหญ่จะเป็นสารอะโรมาติดตามธรรมชาติเนื่องจากมีปริมาณของสารที่คล้ายคลึงกับกรดฮิวมิกและมีสมบัติไม่ละลายน้ำสูง

Wei และคณะ ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมและการแสดงลักษณะของ DOM ระหว่างการบำบัดด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีการไหลได้ผิวชั้นกรองในแนวนอนในระดับห้องปฏิบัติการ: ผลกระทบของ DOM ที่ได้จากใบและรากกับเทคนิคคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (DOC) การลดลงระหว่างการบำบัดด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีการไหลได้ผิวชั้นกรองในแนวนอนในระดับห้องปฏิบัติการ (HSFW) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค excitation-emission matrixes (EEMs) จะดำเนินการในฐานะที่เป็นตัวติดตามในการพยายามที่จะเข้าใจหน้าที่การทำงานทางชีวภาพหรือทางเคมีกายภาพของสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อนในครั้งนี้ การใช้ XAD-8/XAD-4 resins โดยที่ DOM ในน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ, น้ำเสียจาก HSFW และ DOM ที่ได้จากใบและราก (DOML&R) จะแบ่งออกได้เป็นประเภทคือ hydrophobic acid (HPO-A), hydrophobic neutral (HPO-N), transphilic acid (TPI-A), transphilic neutral (TPI-N) และ hydrophilic fraction (HPI) เทคนิค DOC จะขจัดออกไปได้ร้อยละ 37.2 ระหว่างการบำบัด

ธนภุต พรหมทอง ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสีและสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยน้ำหมักชีวภาพ โดยแบ่งศึกษาเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาการบำบัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยน้ำหมักชีวภาพ ที่ 3 ระดับความเข้มข้น คือ 0.5, 2 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่าน้ำหมักชีวภาพทำให้ความเข้มแสง บีโอดี และซีโอดี เริ่มต้นของ

น้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีค่าสูงขึ้นตามลำดับความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพที่ใช้บำบัดและทุกชุดการทดลองมีความเข้มข้น บีโอดี และซีโอดี สูงกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการบำบัด ส่วนที่สองเป็นการศึกษาการกำจัดสีและสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยแพลนตันรีเจนต์ ลำดับการศึกษาเริ่มจากหาความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออนที่ความเข้มข้น 0.2 – 2.5 มิลลิโมลาร์ จากนั้นหาความเข้มข้นเริ่มต้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 10 – 150 มิลลิโมลาร์ ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมของเฟอร์รัสไอออนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คือ 1.0 และ 50 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับและมีพีเอสที่เหมาะสมคือ 3.0 ซึ่งสามารถกำจัดสีและสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีได้ 61.11 และ 81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีสลัดจ์เกิดขึ้นจากการบำบัด 315 – 350 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้การใช้แสงยูวีร่วมกับแพลนตันรีเจนต์ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มสูงขึ้นเป็น 81.04 เปอร์เซ็นต์ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าน้ำหมักชีวภาพไม่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เนื่องจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากด้วยกระบวนการทางชีวภาพ แต่อาจจะช่วยลดปัญหาเรื่องกลิ่นของน้ำเสียได้ ขณะเดียวกันผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแพลนตันรีเจนต์มีความสามารถในการกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดต้นทุนการใช้แพลนตันรีเจนต์ร่วมกับวิธีการบำบัดอื่นๆหรืออาจใช้เป็นระบบบำบัดแบบผสมผสาน (Hybrid system) เพื่อให้สามารถนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

ในส่วนการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากห้องฟนสีเคลือบเงาห้องไม้ จากโรงงานทำบรรจุภัณฑ์เครื่องประดับ ด้วยวิธีการเติมโอโซนลงในบ่อพักน้ำเสีย โดยให้นำตัวอย่างน้ำเสียมาศึกษาหาค่าต่างๆได้แก่ สี, กลิ่น, ความเป็นกรด - ด่าง (pH), BOD, COD, TDS, TSS และสารอินทรีย์ในน้ำที่ถูกกำจัดด้วยโอโซน เพื่อจะเปรียบเทียบค่าก่อนและหลังทำการทดลอง โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

3.1.1 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน โดยจะมีการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เวลา 0.5, 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

3.1.2 การศึกษากลุ่มสารอินทรีย์ที่ถูกบำบัดด้วยโอโซน โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังบำบัดด้วยโอโซน ส่งไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fluorescent excitation-emission matrix (FEEM) ในห้องปฏิบัติการ

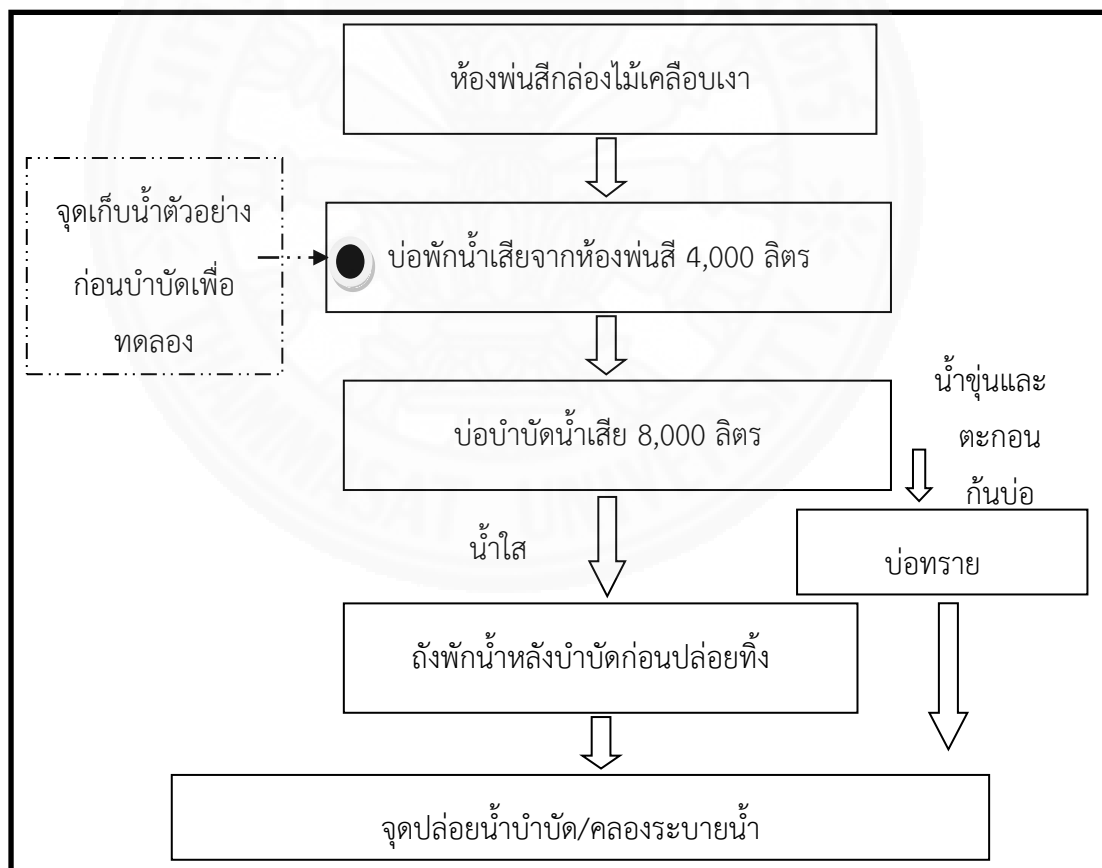
สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำเสียคือ บ่อพักน้ำทิ้งจากกระบวนการฟนสี โดยจะเก็บตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 2 ตัวอย่าง ได้แก่ 1) สำหรับบำบัดด้วยโอโซนจำนวน 20 ลิตร และ 2) สำหรับบำบัดด้วยสารเคมีจำนวน 20 ลิตร

3.2 วิธีการทดลอง มีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมอุปกรณ์ในการทดลองและเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อพักน้ำเสีย (แสดงในภาพ 3.1, 3.2)

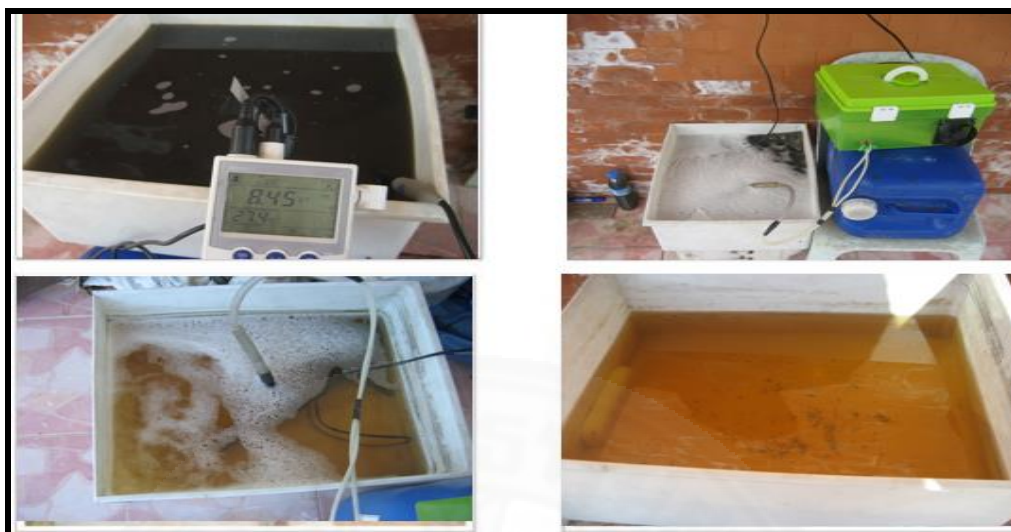


ภาพที่ 3.1 เก็บตัวอย่างน้ำและจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ



ภาพที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่างและผังลำดับการบำบัดน้ำเสียของห้องฟนีสีในโรงงาน

3.2.2 ขั้นตอนที่ 2 การปล่อยโอโซนให้กับน้ำเสียและเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ



ภาพที่ 3.3 เติมโอโซนในน้ำเสีย

3.2.3 ขั้นตอนที่ 3 ทำการเติมสารเคมีเพื่อบำบัดน้ำเสีย ตามอัตราส่วนเดิมที่โรงงานใช้ และเก็บตัวอย่างหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ

3.2.4 ขั้นตอนที่ 4 นำตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้โอโซนและสารเคมี ไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ หลังการบำบัด



ภาพที่ 3.4 เก็บตัวอย่างน้ำเสียไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

3.2.5 ขั้นตอนที่ 5 การตรวจวัดกลุ่มสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง ก่อนและหลังเติมโอโซน ด้วยเทคนิค **Fluorescent excitation-emission matrix (FEEM)** โดยดำเนินการดังนี้

1) เก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนบำบัด จำนวน 3 ขวดๆละ 50 ml ในภาชนะทึบแสง เพื่อส่งห้องปฏิบัติการ

2) เก็บตัวอย่างน้ำเสียหลังเติมโอโซนครบ 8 ชม. จำนวน 3 ขวดๆละ 50 ml ในภาชนะทึบแสง เพื่อส่งห้องปฏิบัติการ

3) ห้องปฏิบัติการทำการตรวจวัดโดยเริ่มต้นจากกรองน้ำตัวอย่างด้วยแผ่นกรองใยแก้ว GF/F ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (อัศวินท์ พุ่มไพศาลชัย, 2548) จากนั้นตรวจวัดน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยเครื่อง Spectrofluorometer ที่ Excitation wavelength 200 – 7350 นาโนเมตร และ Emission wavelength 210 – 750 นาโนเมตร และนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลในโปรแกรม model ที่สร้างจากโปรแกรม excel จากนั้นนำผลข้อมูลจากโปรแกรม model มาสร้างกราฟในรูปแบบเส้นชั้นความสูงและสามมิติ ด้วยโปรแกรม sigmaplot และอ่านค่า Excitation และ Emission จากกราฟแล้วนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับ putative origins (Chen et al., 2003)

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

อธิบายประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องป่นสีด้วยโอโซนตามระยะเวลาต่างๆ เปรียบเทียบกับการบำบัดด้วยสารเคมี จากผลการวิเคราะห์น้ำได้แก่ สี, กลิ่น, pH, TDS, TSS, BOD, COD โดยดูเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่านี้ และสุดท้ายนำค่าหลังบำบัดไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงาน ซึ่งวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับ *Standard method*

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
สี	วิเคราะห์ความเข้มของสีเปรียบเทียบสีน้ำก่อนและหลัง ด้วยโปรแกรม ImageJ
กลิ่น	เปรียบเทียบกลิ่นน้ำก่อน/หลัง ด้วยสัมผัส
pH	PH meter /APHA 4500-H ⁺ B
TDS (mg/L)	Dried at 180 °C /APHA 2540C
TSS (mg/L)	Dried at 103-105 °C /APHA 2540D
BOD ₅ (mg/L)	Azide modification of Winkler method /APHA 5210B
COD (mg/L)	Closed reflux titration /APHA 5220C

3.4 สถานที่ศึกษาวิจัย

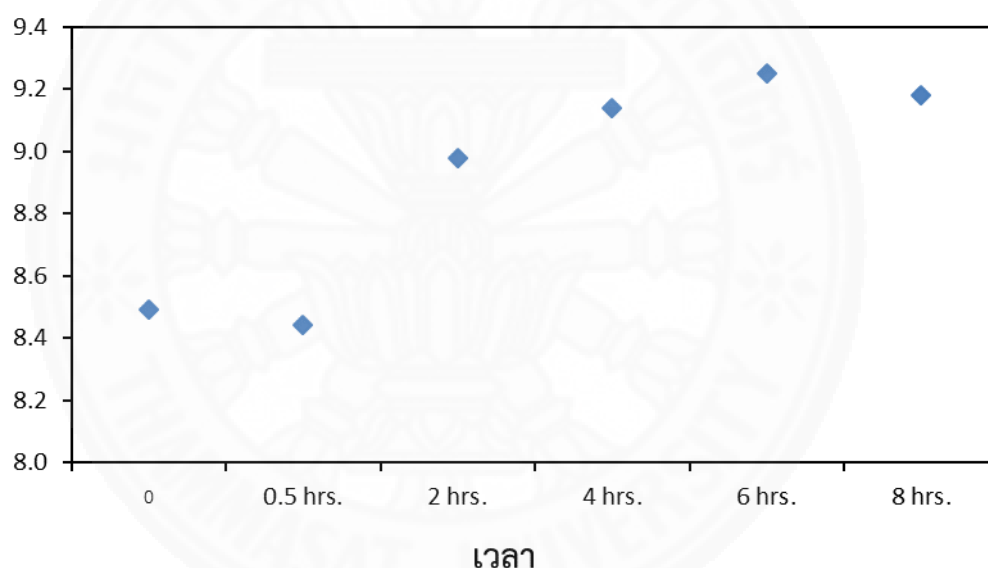
ทำการทดลอง ณ โรงงานที่เก็บน้ำเสียตัวอย่างและเก็บตัวอย่างส่งห้องปฏิบัติการศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

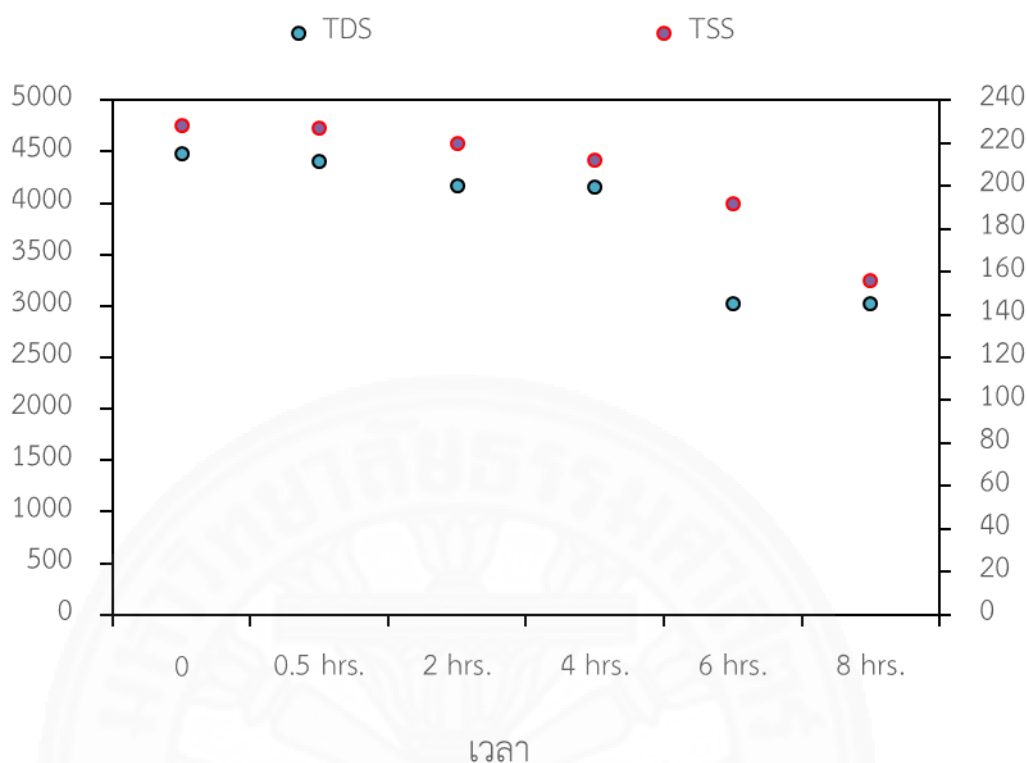
4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียจากห้องฟันทรี ก่อนและหลังเติมโอโซน โดยมีพารามิเตอร์ที่ศึกษาคือ สี, กลิ่น, ความเป็นกรด-ด่าง(pH), BOD, COD, TDS, TSS และสารอินทรีย์ในน้ำ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และเมื่อนำค่าพารามิเตอร์มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์กับเวลาจะได้ผลแสดงดังนี้



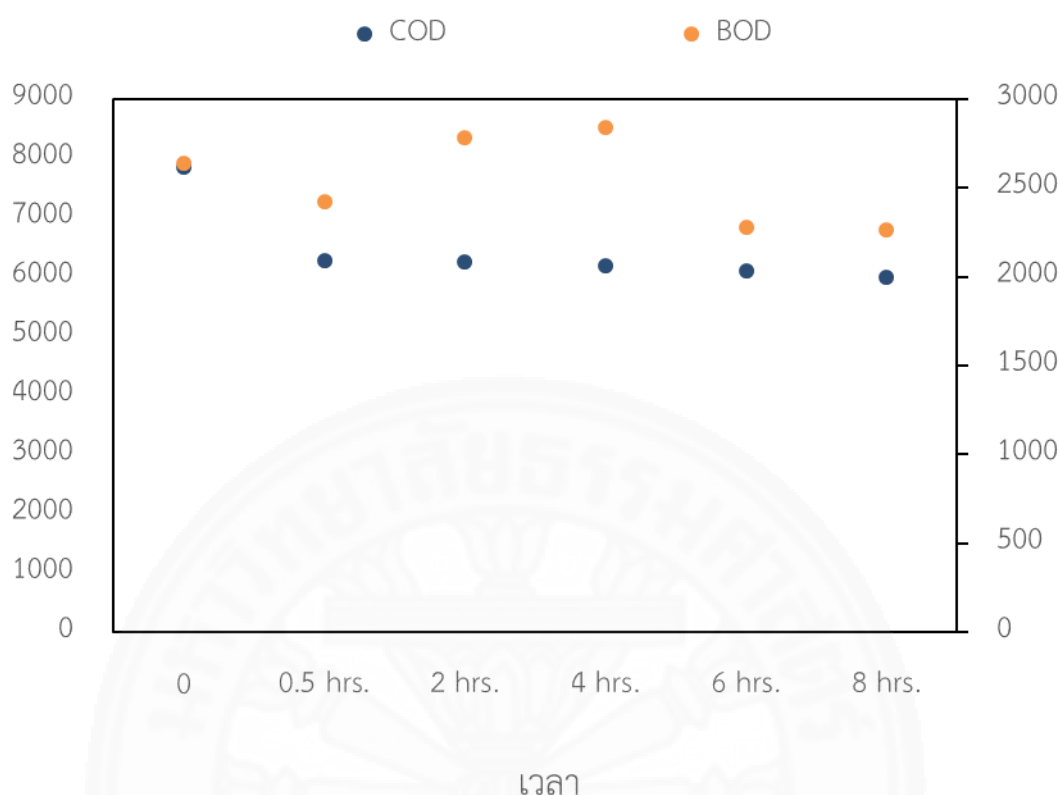
ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับ เวลา

จากภาพที่ 4.1 พบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับเวลา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่อปล่อยโอโซนให้กับน้ำเสียในเวลามากขึ้นค่า pH เพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำเสียจะมีสภาพดีขึ้นเป็นต่างมากขึ้น



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง TDS และ TSS กับเวลา

จากภาพที่ 4.2 น้ำทิ้งจากห้องฟ่นสีมีค่าของแข็งละลายน้ำเริ่มต้นเท่ากับ 4,480 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเริ่มเติมโอโซนพบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง TDS กับเวลา มีแนวโน้มลดลง เมื่อเติมโอโซนครบ 8 ชั่วโมง คงเหลือค่าของแข็งละลายน้ำเท่ากับ 3,020 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงคิดเป็นร้อยละ 32.58 และน้ำทิ้งจากห้องฟ่นสีมีค่าของแข็งแขวนลอยเริ่มต้นเท่ากับ 228 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเริ่มเติมโอโซนพบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง TSS กับเวลา มีแนวโน้มลดลง เมื่อเติมโอโซนครบ 8 ชั่วโมง คงเหลือค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 156 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงคิดเป็นร้อยละ 31.57



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และ COD กับเวลา

จากภาพที่ 4.3 การเติมโอโซนเพื่อบำบัดค่า BOD ให้ผลลดลง ร้อยละ 14.39 ซึ่งน้อยมาก โดยเกิดจากการออกซิเดชันของโอโซนทำให้เชื้อแบคทีเรียและเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำเสียถูกทำลาย จึงไม่เกิดปฏิกิริยาการย่อยด้วยออกซิเจนกับสารอินทรีย์ ทำให้ค่าสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการใช้โอโซนจึงไม่ค่อยเหมาะสมที่จะใช้บำบัดค่า BOD ในน้ำเสียจากโรงงาน และการเติมโอโซนเพื่อบำบัดค่า COD ให้ผลลดลง ร้อยละ 23.72 ซึ่งไม่มากนัก อาจเกิดจากการเติมโอโซนในเวลานานทำให้ค่าความเป็นด่างสูง ปฏิกิริยา Strong Oxidizing Agents ($K_2Cr_2O_7$) ที่ใช้ออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์ในสถานะที่เป็นกรด ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ได้ลดลง น้ำเสียจึงยังมีสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีอยู่มากนั่นเอง จึงควรบำบัดร่วมกับวิธีเติมอากาศก่อน จะได้ผลที่ดีกว่าเดิม โอลิโซนโดยตรง

ตารางที่ 4.1

ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์การเติมโอโซนตามช่วงเวลาต่างๆ

ตัวแปร	0 hr	0.5 hr	2 hr	4 hr	6 hr	8 hr	เพิ่ม	ลด
สี	เทาเข้ม	เทาเข้ม	เทาเข้ม	เทาอ่อน	ขาวขุ่น	ขาวขุ่น	-	70%
กลิ่น	เหม็น	เหม็น	เหม็น	เหม็น	เหม็นน้อย	ไม่มีกลิ่น	-	100%
PH	8.49	8.44	8.98	9.14	9.25	9.18	8.12%	-
TSS	228	227	220	212	192	156	-	31.57%
TDS	4480	4400	4168	4156	3024	3020	-	32.58%
BOD	2640	2420	2780	2840	2280	2260	-	14.39%
COD	7840	6280	6250	6180	6100	5980	-	23.72%

หมายเหตุ: หน่วยของ TSS, TDS, BOD และ COD คือ mg/l

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าหลังเติมโอโซนลงไปใต้น้ำเสียจะมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ครั้งแรกครั้งแรก และจะค่อยลดลงตามลำดับ แต่ค่า pH จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาของโอโซนในน้ำที่เพิ่มความแตกต่างให้กับน้ำเสียนั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนบำบัดกับหลังบำบัดครบ 8 ชม. พบว่าโอโซนมีผลอย่างมากต่อสีและกลิ่นของน้ำเสีย คือ กำจัดกลิ่นและสีได้ดี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นด้วยโอโซนเพื่อแก้ปัญหาของกลิ่นที่เกิดขึ้นเมื่อต้องเก็บสะสมน้ำเสียก่อนนำไปบำบัด นอกจากกลิ่นและสีที่ลดลงแล้ว ยังพบว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนทำให้สารแขวนลอยในน้ำและปริมาณของแข็งรวมในน้ำลดลง สังเกตจากค่า TSS และ TDS ซึ่งลดลงได้ถึง 31.57% และ 32.58% ตามลำดับ ส่วนค่า BOD และ COD ก็ลดลงแต่ลดลงในอัตราที่น้อยกว่าพารามิเตอร์อื่นๆ อย่างไรก็ตามผลน้ำเสียหลังบำบัดเมื่อไปเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมก็ยังไม่ผ่านเกณฑ์ควบคุม ซึ่งอาจต้องศึกษาเพิ่มเติม เช่น บำบัดด้วยโอโซนนานกว่า 8 ชม. หรือศึกษาการบำบัดด้วยโอโซนควบคู่กับวิธีอื่น ๆ ต่อไป

ตารางที่ 4.2

ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์การบำบัดด้วยสารเคมี

ตัวแปร	ก่อน	หลัง	เพิ่ม	ลด
สี	เทาเข้ม	เทาอ่อน	-	20%
กลิ่น	เหม็น	เหม็น	-	0%
PH	8.49	8.1	-	4.59%
TSS	228	160	-	29.82%
TDS	4480	3754	-	16.20%
BOD	2640	2020	-	23.48%
COD	7840	4120	-	47.44%

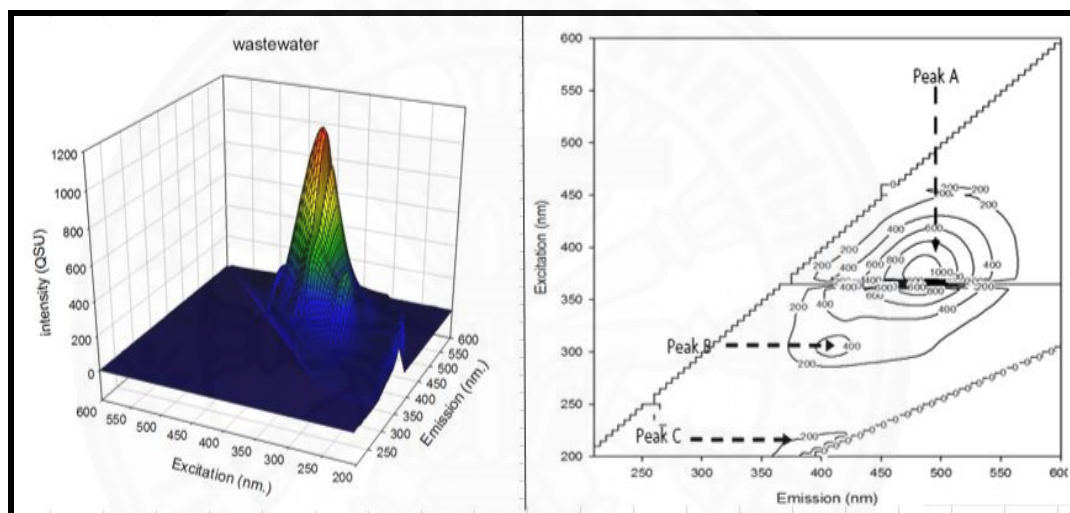
หมายเหตุ: หน่วยของ TSS, TDS, BOD และ COD คือ mg/l

จากตารางที่ 4.2 การเติมสารเคมีในปริมาณน้ำเสีย 20 ลิตร ทำให้ค่าต่าง ๆ ลดลง ได้แก่ TSS, TDS, BOD, COD อัตราที่ลดลงคือ 29.82%, 16.20%, 23.48% และ 47.44% ตามลำดับ หลังการบำบัดพบว่ามีการตกตะกอนอยู่ด้านล่างจำนวนมาก ซึ่งเกิดจากการเติมสารส้มและพอลิเมอร์เป็นตัวดักจับสารแขวนลอยและเร่งให้ตกตะกอนลงด้านล่าง การบำบัดน้ำเสียด้วยสารเคมีนี้สามารถกำจัดสีและกลิ่นลงได้ไม่มากนัก และค่าน้ำเสียหลังบำบัดก็ยังไม่ผ่านเกณฑ์ควบคุมเช่นเดียวกัน

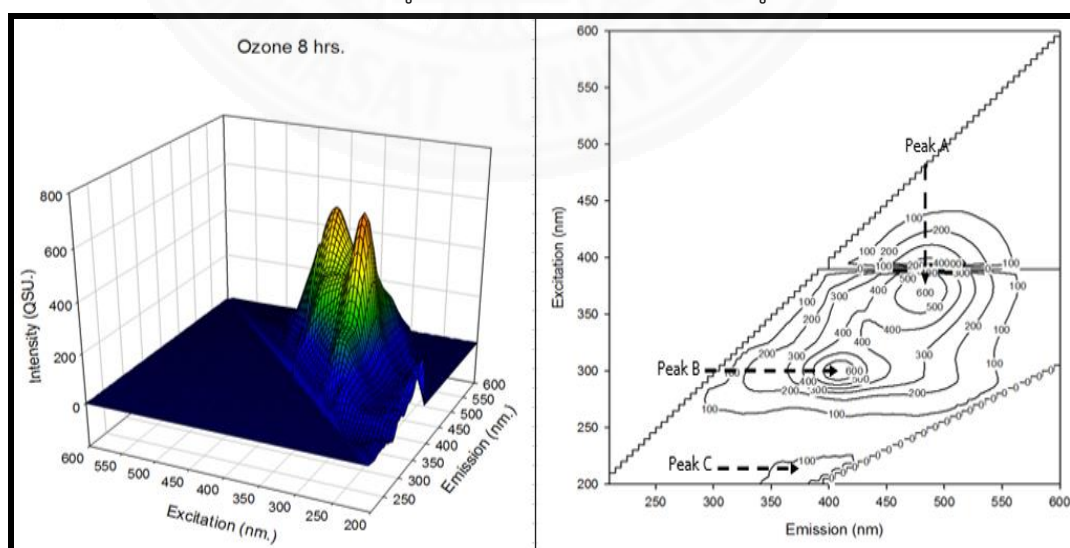
4.2 ผลการตรวจวัดกลุ่มสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากห้องฟั่นสีด้วยเทคนิค fluorescent excitation-emission matrix (FEEM)

จากการตรวจวัดกลุ่มสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำในน้ำเสียจากห้องฟั่นสีก่อนและหลังบำบัดด้วยโอโซนด้วยเทคนิค fluorescent excitation-emission matrix (FEEM) ที่ excitation wavelength 200-600 นาโนเมตร และ emission wavelength 210-600 พบว่าตำแหน่งที่มีความเข้มข้นแสงฟลูออเรสเซนส์สูงอย่างชัดเจน (fluorescent peak) โดยน้ำก่อนเติมโอโซนประกอบด้วย peak A: 377 nm_{Ex} / 485 nm_{Em} และ peak B: 310 nm_{Ex} / 415 nm_{Em} และ peak C: 210 nm_{Ex} / 400 nm_{Em} ในรูปที่ 4.6 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับขอบเขตของ putative origins ที่พัฒนาโดย Chen และคณะ (2003) รูปที่ 4.8 พบว่า fluorescent peak ตำแหน่ง peak A, peak B และ

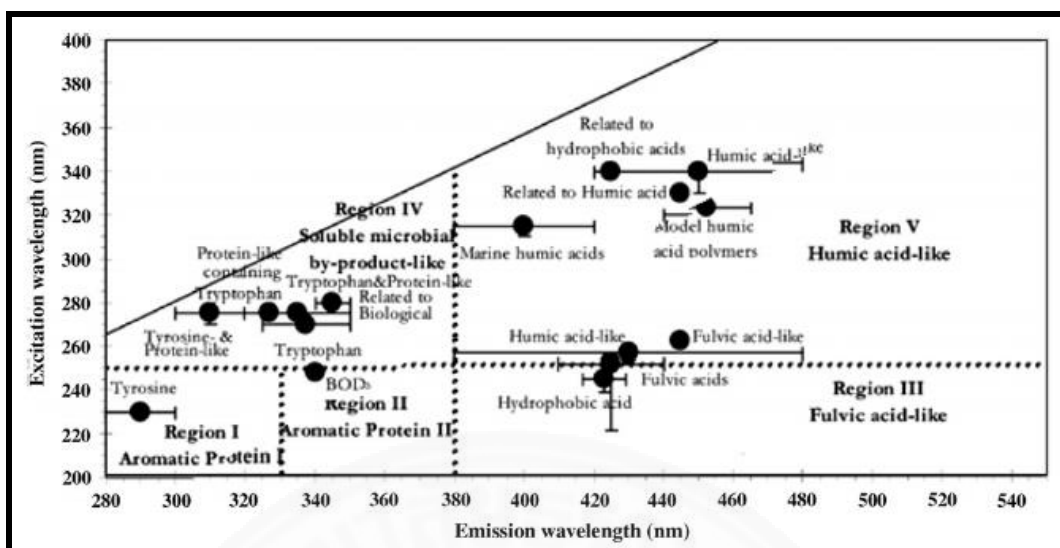
peak C ที่ตรวจพบในน้ำเสียก่อนเติมโอโซนเกิดจากสารอินทรีย์กลุ่ม humic acid-like substances และ fulvic acid-like substances ซึ่งเป็นสารอินทรีย์กลุ่มหลักอีกกลุ่มหนึ่งที่ทำให้เกิดสีในน้ำทิ้งจากห้องฟนสี นอกเหนือจากสีปรากฏที่มาจากสารแขวนลอยและสาร VOC_s ที่เป็นส่วนประกอบของแม่สีต่างๆในการผลิต และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นแสงฟลูออเรสเซนซ์ ณ ตำแหน่ง peak A, peak B และ peak C ของน้ำหลังบำบัดด้วยโอโซน พบว่าค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์มีค่าลดลง 50.54 เปอร์เซ็นต์ในหน่วยควินินซัลเฟต(quinine sulfate unit; QSU) (Janhom et al., 2009) (ตารางที่ 4.3) ดังนั้นกล่าวได้ว่าโอโซนสามารถลดสารอินทรีย์กลุ่ม humic acid-like substances และ fulvic acid-like substances ในน้ำทิ้งโรงงานฟนสีแห่งนี้ลงได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 4.4 ผล FEEM รูปแบบสามมิติและเส้นชั้นความสูงน้ำก่อนบำบัด



ภาพที่ 4.5 ผล FEEM รูปแบบสามมิติและเส้นชั้นความสูงน้ำหลังบำบัด



ภาพที่ 4.6 Location of FEEM peak based on literature reports and operationally defined excitation and emission wavelength boundaries. จาก *Fluorescence spectroscopic studies of natural organic matter fractions*. โดย Chen et al., 2003, Chemosphere 50, 639-647.

ตารางที่ 4.3

ค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำทิ้งจากห้องพ่นสี

ตัวอย่างน้ำ	ความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ (QSU) ¹
น้ำเสียก่อนบำบัด	831
น้ำเสียหลังบำบัดด้วยโอโซน 8 ชั่วโมง	420 (50.54 %) ²

หมายเหตุ:

1. quinine sulfate unit

2. เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากห้องฟันทิ้งกลิ่นไม่เคลือบเงาด้วยวิธีโอโซน สามารถกำจัดกลิ่นและสีของน้ำเสียได้ดี เหมาะสมสำหรับลดปัญหาที่เกิดจากบ่อกักน้ำเสียห้องฟันทิ้งแห่งนี้และยังสามารถใช้ทดแทนการบำบัดวิธีเดิมสารเคมีได้ด้วย โดยแสดงเปรียบเทียบผลการวิจัยได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียจากห้องฟันทิ้งเปรียบเทียบกับสารเคมีกับโอโซน

ตัวแปร	ก่อน	สารเคมี	โอโซน 8 hr.	วิธีที่เหมาะสม	ค่ามาตรฐาน
สี	เทาเข้ม	เทาอ่อน	ขาวขุ่น	โอโซน	ใส
กลิ่น	เหม็น	เหม็น	ไม่มีกลิ่น	โอโซน	ไม่มีกลิ่น
PH	8.49	8.1	9.18	โอโซน	5.5 - 9
TSS	228	160	156	โอโซน	≤ 50 mg/l
TDS	4480	3754	3020	โอโซน	≤ 3,000 mg/l
BOD	2640	2020	2260	สารเคมี	≤ 20 mg/l
COD	7840	4120	5980	สารเคมี	≤ 120 mg/l

หมายเหตุ: หน่วยของ TSS, TDS, BOD และ COD คือ mg/l

จากตาราง 5.1 เมื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์น้ำเสียที่ได้จากการบำบัดด้วยโอโซน เทียบกับการเติมสารเคมี พบว่าการใช้โอโซนบำบัดจะทำให้ค่า สี, กลิ่น, pH, TSS, TDS ดีขึ้นกว่าการเติมสารเคมี ส่วนค่า BOD และ COD นั้นการเติมสารเคมีช่วยให้ค่าน้ำดีกว่าโอโซน แต่ถึงอย่างไรก็ตามการบำบัดทั้ง 2 วิธี ค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียหลังบำบัดยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นหากต้องการนำการใช้โอโซนมาแทนการบำบัดที่ใช้อยู่จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมในการปรับปรุงวิธีการให้เหมาะสม หรือหาวิธีการอื่นร่วมด้วยเพื่อให้สามารถลดค่าน้ำเสียก่อนปล่อยทิ้งลงได้ตามเกณฑ์ควบคุมต่อไป

ผลการวิเคราะห์น้ำเสียในการวิจัยนี้สามารถสรุปผลได้ดังนี้คือ สีและกลิ่นจากตัวอย่างน้ำเสียก่อนผ่านก๊าซโอโซนมีกลิ่นเหม็นจากสีและสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนมาจากกระบวนการฟั่นสี ซึ่งหลังจากบำบัดด้วยโอโซน 6 ชั่วโมงแรก กลิ่นและสีจะเริ่มลดลงไปเรื่อยๆ และเมื่อครบ 8 ชั่วโมงพบว่าไม่มีกลิ่นเหม็นจากน้ำเสียตัวอย่าง และสีก็จางลงมากจึงแสดงว่าโอโซนไปกำจัดสารอินทรีย์ละลายต่างๆและสาร VOCs บางตัวที่เป็นส่วนประกอบในสีและตัวทำละลาย ซึ่งดูได้จากผล FEEM ที่สามารถกำจัดได้ถึง 46 เปอร์เซ็นต์ที่เป็นสาเหตุในการเกิดกลิ่นลดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้ผลดีกว่าการบำบัดด้วยสารเคมี

สำหรับค่า pH น้ำเสียจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อเติมโอโซนครบ 8 ชั่วโมง พบว่าค่า pH อยู่ที่ 9.18 ซึ่งผ่านเกณฑ์ควบคุมน้ำเสียจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด ซึ่งการเติมโอโซนจะเพิ่มความแตกต่างในน้ำตามระยะเวลาที่บำบัดและความเข้มข้นของโอโซนนั้นๆ สำหรับค่า TSS และ TDS จะเริ่มเปลี่ยนแปลงลดลงครึ่งชั่วโมงแรกและเมื่อเติมโอโซนครบ 8 ชั่วโมงพบว่ามีอัตราการลดลงจากก่อนบำบัด 31.57% และ 32.58% ตามลำดับ ซึ่งจากการสังเกตพบที่เกิดตะกอนที่ด้านล่างจำนวนหนึ่งเป็นเพราะโอโซนไปทำปฏิกิริยากับของแข็งละลายและสารแขวนลอยช่วยให้รวมตัวกันได้ส่วนหนึ่งแล้วตกลงสู่ก้นภาชนะเมื่อหยุดเครื่องกำเนิดโอโซน

ในการทดลองนี้ค่า BOD และ COD พบว่ามีอัตราการลดลงจากก่อนบำบัด 14.39% และ 23.72% ตามลำดับซึ่งเป็นลดลงไม่มากนัก อาจเป็นเพราะว่าปริมาณโอโซนไม่เพียงพอที่จะทำให้สลายโครงสร้างของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำได้ทั้งหมด เนื่องจากการออกแบบเครื่องโอโซนในการทดลองนี้ คิดจากปริมาณน้ำเสียเพียง 20 ลิตรเท่านั้น จึงควบคุมและเลือกใช้ปั๊มเติมโอโซนที่มีแรงดันอากาศไม่สูงมาก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการกระเพื่อมของผิวน้ำเสียจนทำให้เกิดเป็นการเติมออกซิเจนส่วนอื่นเข้าในกระบวนการบำบัด จึงอาจทำให้ได้ปริมาณโอโซนที่ไม่เพียงพอกับค่า BOD และ COD ของน้ำเสียแห่งนี้

จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าต้องใช้โอโซนร่วมกับการบำบัดแบบแอดดิเวทสแต็คส์จึงจะสามารถบำบัดน้ำเสียได้มีประสิทธิภาพ โดยทำติดตั้งโอโซนภายหลังจากที่ได้ผ่านกระบวนการตกตะกอนแล้ว จะสามารถกำจัดสีและกลิ่นได้อย่างดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ถึงแม้ว่าจะสามารถนำโอโซนมาใช้ในการกำจัดกลิ่นและลดสีของน้ำเสียในบ่อพักน้ำที่รอการบำบัดได้จริงและสามารถใช้ร่วม หรือทดแทนการบำบัดด้วยสารเคมีได้ แต่อย่างไรก็ตาม

ประสิทธิภาพไม่เพียงพอที่จะทำให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่สำคัญ ผ่านเกณฑ์ควบคุมน้ำเสีย ได้แก่ TSS, TDS, BOD และ COD หากว่ามีผู้ที่สนใจจะวิจัยเพิ่มเติมผู้วิจัยขอแนะนำดังนี้

5.2.1 ทางผู้วิจัยขอแนะนำให้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนบำบัดไปวิเคราะห์คุณลักษณะและค่าต่าง ๆ ก่อน เพื่อดูว่าจะใช้วิธีบำบัดแบบไหนจึงจะเหมาะสม และเพื่อเลือกใช้เครื่องผลิตโอโซนที่ให้ปริมาณเข้มข้นเพียงพอกับน้ำเสียนั้น ๆ เนื่องจากงานวิจัยนี้ น้ำเสียตัวอย่างมีค่า TSS, TDS, BOD และ COD สูงมาก จึงทำให้ปริมาณโอโซนที่ใช้ไม่เพียงพอในการออกซิเดชันสารอินทรีย์ละลายได้ทุกชนิด ทำให้ผลน้ำหลังบำบัดจึงลดลงไม่มากนัก ดังนั้นหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่น, สีและกำจัดเชื้อโรคต่าง ๆ ในน้ำเสีย จึงควรเลือกวิธีเติมโอโซนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายแทนจะได้ผลที่ดีกว่า

5.2.2 ทางผู้วิจัยแนะนำให้เลือกภาชนะบรรจุน้ำเสียขณะทำการทดลองเติมโอโซน เป็นแบบทรงกรวย เนื่องจากตะกอนต่างๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาจะตกลงไปรวมอยู่ด้านล่าง เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายจากแรงดันของเครื่องเติมโอโซนนั่นเอง ซึ่งจะทำให้สามารถเก็บข้อมูลผลน้ำได้ผลที่ชัดเจนดีกว่า

5.2.3 จากงานวิจัยนี้พบว่า การที่หลังบำบัดด้วยโอโซนแล้วน้ำเสียยังมีค่า COD และ BOD ที่ค่อนข้างสูงเป็นเพราะว่าโอโซนมีผลในการกำจัดสารอินทรีย์บางชนิดเท่านั้น เนื่องจากน้ำเสียยังมีองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ ดังนั้นในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อนำโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ควรมีการศึกษามูลค่าของการใช้โอโซนต่อสารอินทรีย์ในน้ำด้วย

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

- กัณฐกรีย์ ศรีพงศ์พันธ์. (2547). *มลพิษทางน้ำ* (พิมพ์ครั้งที่3). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สันทัต ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2549). *ระบบบำบัดน้ำเสีย: การเลือกใช้การออกแบบ การควบคุม และการแก้ปัญหา*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.

บทความวารสาร

- บริษัท ซีเอ็มเอส เอ็นจิเนียริง แอนด์แมเนจเม้นท์ จำกัด. (2543). การศึกษาความเหมาะสมของการกำหนดค่ามาตรฐานและวิธีตรวจวัดกลิ่นจากฟาร์มสุกร. *กรมควบคุมมลพิษ*, 5(8), 8-10.
- มงคล ดำรงศรี และ ต่อพงศ์ กริธาชาติ. (2546). การลดสีจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงงานเยื่อและกระดาษโดยกระบวนการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอน. *มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิศวกรรมศาสตร์และสาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41* (น. 261-268). กรุงเทพฯ.
- วนิดา ชูอักษร. (2555). เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 5 (17), 181-191.
- วรารณ อภิวัฒนาภิวัด, ต่อพงศ์ กริธาชาติ และพิลาณี ไฉนอมสัจย์. (2550). การลดสีน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษโดยโอโซนออกซิเดชัน. *มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45* (น. 825-834). กรุงเทพฯ.

วิทยานิพนธ์

- กัณฐมาศ สุทธิเรืองวงศ์. (2513). *การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

ธนภุต พรหมทอง. (2552). *การกำจัดสีและสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยน้ำหมักชีวภาพและเพนตันรีเอเจนต์*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม.

วรภรณ์ กัลยาเลิศ. (2540). *การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยโอโซน*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยมหิดล, คณะสาธารณสุขศาสตร์, สาขาสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม.

วีรยา อัจจงค์. (2549). *การบำบัดสีจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงงานเบียร์โดยกระบวนการโอโซนเนชั่น*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

อัศวินท์ พุ่มไพศาลชัย. (2558). *การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในอ่างเก็บน้ำโดยโคแอกกูเลชันที่ใช้สารส้ม*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2545). *ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม*. มาตรฐานน้ำทิ้ง. สืบค้นเมื่อ 14 ก.ย. 2560 จาก <http://pcd1.pcd.go.th/information/regulation/waterquality>

บริษัท โพรเพลชั่นแนล โอโซนไนซ์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด. (2558). *ประโยชน์ของโอโซน*. สืบค้นเมื่อ 2 เม.ย. 2559 จาก <http://www.ozoneinter.com/benefit.html>

พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ, อาจารย์สุรพล บุญดวง และนักศึกษา. (2556). *ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโอโซน*. (กลุ่มวิจัยทางด้านโอโซน ปริญญาเอก/โท). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะวิศวกรรมศาสตร์. สืบค้นเมื่อ 14 ก.ย. 2560 จาก <http://www2.lib.kmutt.ac.th/faq.html>

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2558). *รายการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ภายในหน่วยงาน*. สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, งานพัฒนาธุรกิจ ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีฯ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ระดับนาโน. สืบค้นเมื่อ 6 มิ.ย. 2560 จาก <http://www2.nanotec.or.th>

อภิชาติ นารถชัย และ ภัสวัญญ์ นิลมัย. (2556). *การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากบริษัทดอยคำผลิตภัณฑ์อาหารจำกัดด้วยโอโซน*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, คณะวิศวกรรมศาสตร์. สืบค้นเมื่อ 23 ม.ค. 2561 จาก <http://library.kku.ac.th>

Books and Articles

Baker, A. and Curry, M. (2004). Fluorescence of leachates from contrasting landfills. *Water Res*, (38), 2605-2613.

Chen, J., Le Boeuf, E.J., Dai, S., Gu, B., (2003). Fluorescence spectroscopic studies of natural organic matter fractions. *Chemosphere*, (50), 639-647.

Chulhwan P., Myunggu L., Byunghwan L., SeungWook K., Howard A. C., Jinwon L., & Sangyong K. (2007). Biodegradation and biosorption for decolorization of synthetic dyes by *Funaliatrogii*. *Biochemical Engineering Journal*, (36), 59-65.

Galapate, R.P., Base, A.U., Ito, K., Mukai, T., Shoto, E. and Okada, M. (1998). Detection of domestic wastes in Kurose river using synchronous fluorescence spectroscopy. *Water Res*, 32(7), 2232-2239.

Janhom, T., Wattanachira, S., & Pavasant, P. (2009). Characterization of brewery wastewater with spectrofluorometry analysis, 1184-1190. doi: 10.1016/j.jenvman.2008.05.008

Kongnoo, A., Suksaroj, T., & Intrarapat, P. (2011). Decolorization and organic removal from palm oil mill effluent by fenton's process, 855-859. doi: 10.1089/ees.2011.0181

Ku, Y., W.J.Su and Y.S. Shen. (1996). Decomposition Kinetics of Ozone in Aqueous Solution. *Chem Res*, (35), 3369-3374.

Landglais, B., D.A. Reckhow and D.R. Brink. (1991). Ozone in Water Treatment. *Application and Engineering*, Lewis Publ. Inc., Chelsea.

- Lin, S.H. and K.L. Yeh. (1993). Looking to Treat Wastewater? Try Ozone. *Chem Eng*, (28), 112-116.
- Matthews, B.J.H., Jones, A.C., Theodorou, N.K. and Tudhope, A.W. (1996). Excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy applied to humic acid bands in coral reefs. *Mar Chem*, (55), 317-332.
- Radha, K. V., Sridevi, V. & Kalaivani K. (2009). Electrochemical oxidation for the treatment of textile industry wastewater. *Bioresour Technol*, (100), 987-990.
- Rodriguez, J.J.S. and Sanz, C.P. (2000). Fluorescence techniques for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in marine environment. *An overview analysis*, (28), 710-717.
- Shaobin, W. (2008). A Comparative study of Fenton and Fenton-Like reaction kinetics in decolourization of wastewater. *Dyes and Pigments*, (76), 714-720.
- Weber, W.J., Jr. (1972). Physicochemical Processes for water Quality Control. *John Wiley and Sons, Inc.*, New York.
- Wei, L., Zhao, Q., Xue, S., Jia, T., Tang, F., & You, P. (2009). Behavior and characteristics of DOM during a laboratory-scale horizontal subsurface flow wetland treatment. *Effect of DOM derived from leaves and roots*, 1405-1414. doi: 10.1016/j.ecoleng.2009.05.016
- Zhang, T., Lu, J., Ma, J., & Qiang, Z. (2008). Fluorescence spectroscopic characterization of DOM fractions isolated from a filtered river water after ozonation and catalytic ozonation. *Chemosphere*, 71(5), 911-921. doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.11

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย (วิธีเติมสารเคมี)

ตารางที่ ก.1

รายการสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย 7,000 ลิตร

ลำดับที่	ชื่อสาร	จำนวน	หมายเหตุ
บำบัดรอบที่ 1 น้ำเสีย 4,000 ลิตร			
1	โซดาไฟ	8,000 g	ชนิดเกรด
2	สารส้ม	1,500 g	ชนิดเกรด
3	โพลีเมอร์	1,500 g	ชนิดน้ำ
4	กรดซัลฟูริก 98%	>1,000 g	เติมกรดจนได้ค่า pH=7
บำบัดรอบที่ 2 น้ำเสีย 2,859 ลิตร			
1	โซดาไฟ	4,000 g	ชนิดเกรด
2	สารส้ม	1,500 g	ชนิดเกรด
3	โพลีเมอร์	2,500 g	ชนิดน้ำ
4	กรดซัลฟูริก 98%	>3,750 g	เติมกรดจนได้ค่า pH=7.6

ที่มา: โรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องไม้เคลือบเงาแห่งหนึ่ง (ขอไม่เปิดเผยชื่อ)

สรุปค่าใช้จ่ายในการบำบัดสารเคมี (7,000 ลิตร)

ประมาณ 700 บาท ต่อครั้ง

ดังนั้น ถ้าคิดสัดส่วนในการทดลองสารเคมีในน้ำตัวอย่าง 20 ลิตร จะได้เท่ากับ 0.3%

ค่าใช้จ่ายในการเติมสารเคมีเท่ากับ $(700 \text{ บาท} \times 0.3\%) = 2 \text{ บาท}$

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างเติมโอโซน กับสารเคมี ที่ตัวอย่างน้ำ 20 ลิตร ได้ดังนี้

1) การเติมโอโซน 8 ชั่วโมง ใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.72 บาท (ข้อมูลดูจาก ภาคผนวก ข)

2) การเติมสารเคมี มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 2 บาท

จึงสรุปได้ว่า การทดลองนี้โอโซนมีค่าใช้จ่ายที่ประหยัดกว่า $(2 - 0.72) = 1.28$ บาท ซึ่งสามารถนำโอโซนมาใช้ในการบำบัดสีและกลิ่นน้ำเสีย ทดแทนสารเคมีที่มีค่าใช้จ่ายที่แพงกว่าและเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน

ภาคผนวก ข

วิธีคำนวณค่าใช้จ่ายและปริมาณโอโซนที่ใช้ในการวิจัย

1. ปริมาณโอโซนที่ใช้ในการทดลอง

$$\text{ปริมาณโอโซนที่ใช้ในการทดลอง} = \frac{\text{time x capacity of ozonic}}{\text{volume of wastewater}}$$

วิธีการคำนวณ

Time = 8 hr

Capacity of ozonic = 1000 mg/hr

Volume of wastewater = 100 liter

แทนค่าจากสูตรข้างต้นจะได้

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณโอโซนที่ใช้ในการทดลอง} &= \frac{8\text{hr} \times 1000 \text{ mg/hr}}{20 \text{ liter}} \\ &= 400 \text{ mg/l}\end{aligned}$$

2. ค่าใช้จ่ายในการทดลอง

$$M = \frac{W \times h}{1000} \times U$$

วิธีการคำนวณ ดูจากกำลังไฟฟ้าของเครื่องโอโซน ดังนี้

M= ค่าไฟฟ้าในการทดลอง

W= 18 watts

h= 8 hr

U= unit (ค่าไฟฟ้าประมาณ 5 บาท/หน่วย)

แทนค่าในสูตรจะได้เท่ากับ

$$\begin{aligned}M &= \frac{18 \times 8}{1000} \times 5 \\ &= 0.72 \text{ บาท}\end{aligned}$$

ดังนั้นในการทดลองนี้เติมโอโซน 8 ชั่วโมง มีการใช้ค่าไฟฟ้าเพียง 72 สตางค์

ภาคผนวก ค

มาตรฐานของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ตารางที่ ค.1

มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	มาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
pH	5.5-9.0	pH มิเตอร์ที่มีความละเอียดต่ำกว่า 0.1 หน่วย
อุณหภูมิ	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส	เครื่องวัดอุณหภูมิวัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง
TDS	<3,000 mg/l	ระเหยตัวอย่างที่กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วและ อบแห้งที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชม.
TSS	<50 mg/l	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วและอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชม.
BOD	<20 mg/l	บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันติดต่อกันและหาค่าออกซิเจนละลายตัวด้วยวิธีเอ ไซด์โมดิฟิเคชัน หรือวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด
COD	<120 mg/l	ย่อยสลายโดยใช้ปอร์ตสเซียมไดโครเมต
ซัลไฟด์	<1.0 mg/l	ไอโอโดเมตริก หรือวิธีเมทิลบลู
ไซยาไนด์	<0.2 mg/l	กลั่นและตรวจวัดด้วยวิธีเทียบสี หรือวิธี Flow Injection Analysis
น้ำมันและไขมัน	<5.0 mg/l	สกัดด้วยเทคนิค Liquid – Liquid Extraction หรือ Soxhlet Extraction ด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหา น้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
ฟอร์มาดีไฮด์	<1.0 mg/l	วิธีเทียบสี
สารประกอบฟีนอล	<1.0 mg/l	กลั่นและตรวจวัดด้วยวิธีเทียบสี
คลอรีนอิสระ	<1.0 mg/l	ไตเตรท หรือวิธีเทียบสี
สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์	ต้องตรวจไม่พบ	ก๊าซโครมาโตกราฟี
ทีเคเอ็น	<100 mg/l	เจลดาทาล์

มาตรฐานน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	มาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
โลหะหนัก		
1) สังกะสี	<5.0 mg/l	ย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดและวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโตรเมตรี หรือวิธีอินดักทีฟลิคิต์เฟิลเพลสม่า
2) โครเมียมเฮกซะวาเลนท์	<0.25 mg/l	เทียบสี หรือวิธีสกัดและตรวจวัดด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโตรเมตรี หรือวิธีอินดักทีฟลิคิต์เฟิลเพลสม่า
3) โครเมียมไตรวาเลนท์	<0.75 mg/l	คำนวณจากค่าส่วนต่างของโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์
4) สารหนู	<0.25 mg/l	อะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโตรเมตรี ชนิดไฮโดรเจนเนอเรนซ์ หรือวิธีอินดักทีฟลิคิต์เฟิลเพลสม่า
5) ทองแดง	<2.0 mg/l	ย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดและวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโตรเมตรี หรือวิธีอินดักทีฟลิคิต์เฟิลเพลสม่า
6) พรอท	<0.005 mg/l	โคลด์เวเปอร์อะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี หรือวิธีโคลด์เวเปอร์อะตอมมิคฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรเมตรี หรือวิธีอินดักทีฟลิคิต์เฟิลเพลสม่า
7) แคดเมียม	<0.03 mg/l	ย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดและวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโตรเมตรี หรือวิธีอินดักทีฟลิคิต์เฟิลเพลสม่า
8) แบเรียม	<1.0 mg/l	ย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดและวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโตรเมตรี หรือวิธีอินดักทีฟลิคิต์เฟิลเพลสม่า

หมายเหตุ. จาก ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม: มาตรฐานน้ำทิ้ง.
โดย กรมควบคุมมลพิษ ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2545, สืบค้นเมื่อ 14
ก.ย. 2560 จาก <http://pcd1.pcd.go.th/information/regulation/waterquality>

ภาคผนวก ง
สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการพ่นสี

ตารางที่ ง.1

ตารางแสดงรายการสารเคมีที่ใช้ในโรงงาน

ลำดับ	ชื่อสารเคมี	จำนวนที่ใช้ /(Ratio)	หมายเหตุ
ชนิดที่ 1 (ไม้ MDF)			
1	PU MDF SEALER #300-00(A)	2	ใช้สำหรับพ่นรองพื้น
2	PU HARDENER #300 (B)	1	
3	THINNER PU 22	0.5	
		3.5	
ชนิดที่ 2 (ไม้ MDF)			
1	PU SEALER #302-00(A)	2	ใช้สำหรับพ่นรองพื้น
2	PU HARDENER #302 (B)	1	
3	THINNER PU 22	0.5	
		3.5	
ชนิดที่ 3 (ไม้ MDF)			
1	PE SANDING SEALER #69006-00 (A)	50	ใช้สำหรับพ่นรองพื้น
2	PE HARDEMER #69006-00 (B)	0.75	
3	PE ACCELERATOR #69006	1	
4	THINNER PE#190	15	
		66.75	
พ่นรอบสุดท้าย			
1	PU TOP CLEAR #4071-90 (A)	1	ใช้สำหรับพ่นทับหน้า ครั้งที่ 1
2	PU HARDENER #4071 (B)	1	
3	THINNER PU#24	0.8	
		2.8	
1	PU TOP CLEAR #401-50 (A)	2	ใช้สำหรับพ่นทับหน้า ครั้งที่ 2
2	PU HARDENER #401 (B)	1	
3	THINNER PU#24	2	
		5	

หมายเหตุ. จากโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องไม้เคลือบเงาแห่งหนึ่ง (ขอไม่เปิดเผยชื่อ)

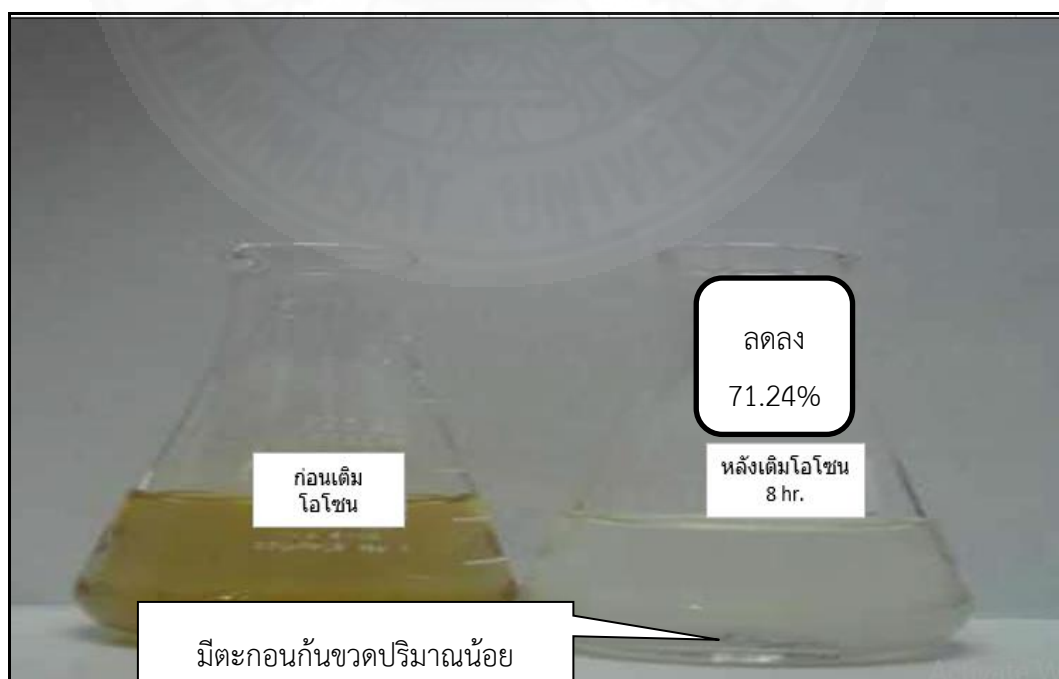
ภาคผนวก จ

สีของน้ำเสียก่อนและหลังบำบัด

ทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ การลดลงของสีในน้ำหลังบำบัดด้วยโปรแกรม ImageJ

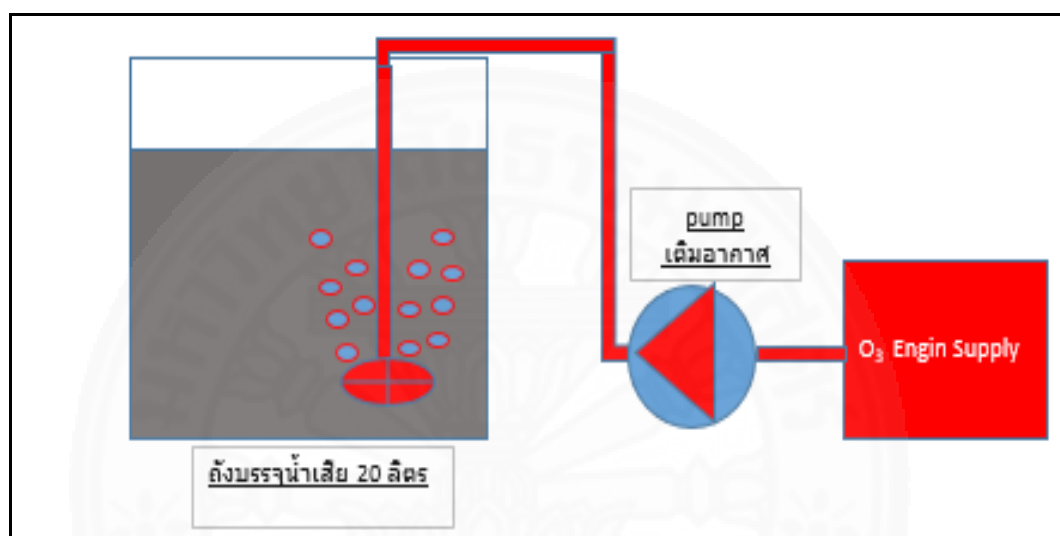


ภาพที่ จ.1 ก่อนและหลัง บำบัดด้วยสารเคมี

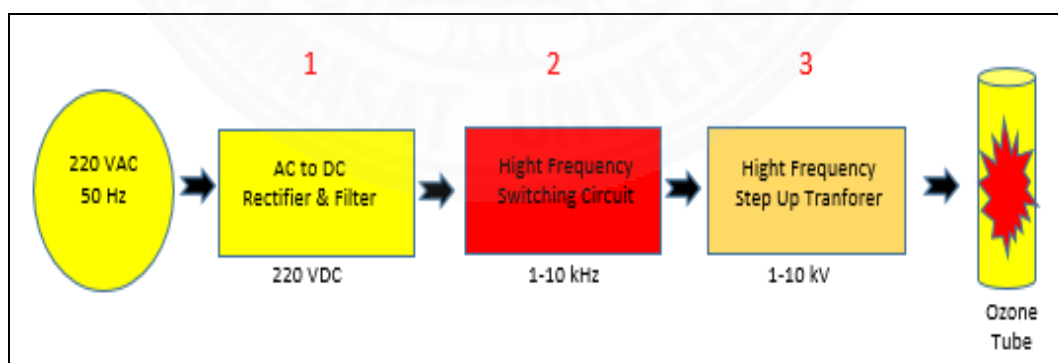


ภาพที่ จ.2 ก่อนและหลังบำบัดด้วยโอโซน

ภาคผนวก ฉ
แสดงลักษณะการเติมโอโซนในการทดลอง

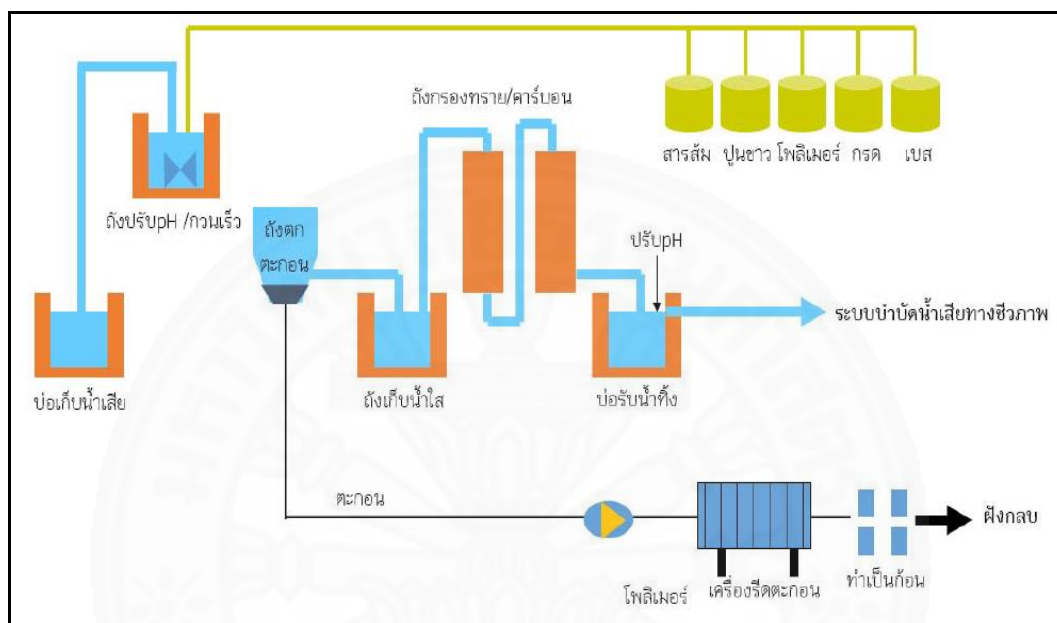


ภาพที่ ฉ.1 แสดงลักษณะการเติมโอโซน



ภาพที่ ฉ.2 แสดงกระบวนการผลิตก๊าซโอโซนด้วยเทคนิคไฟฟ้า/ความถี่สูง

ภาคผนวก ข
แสดงการบำบัดด้วยสารเคมี



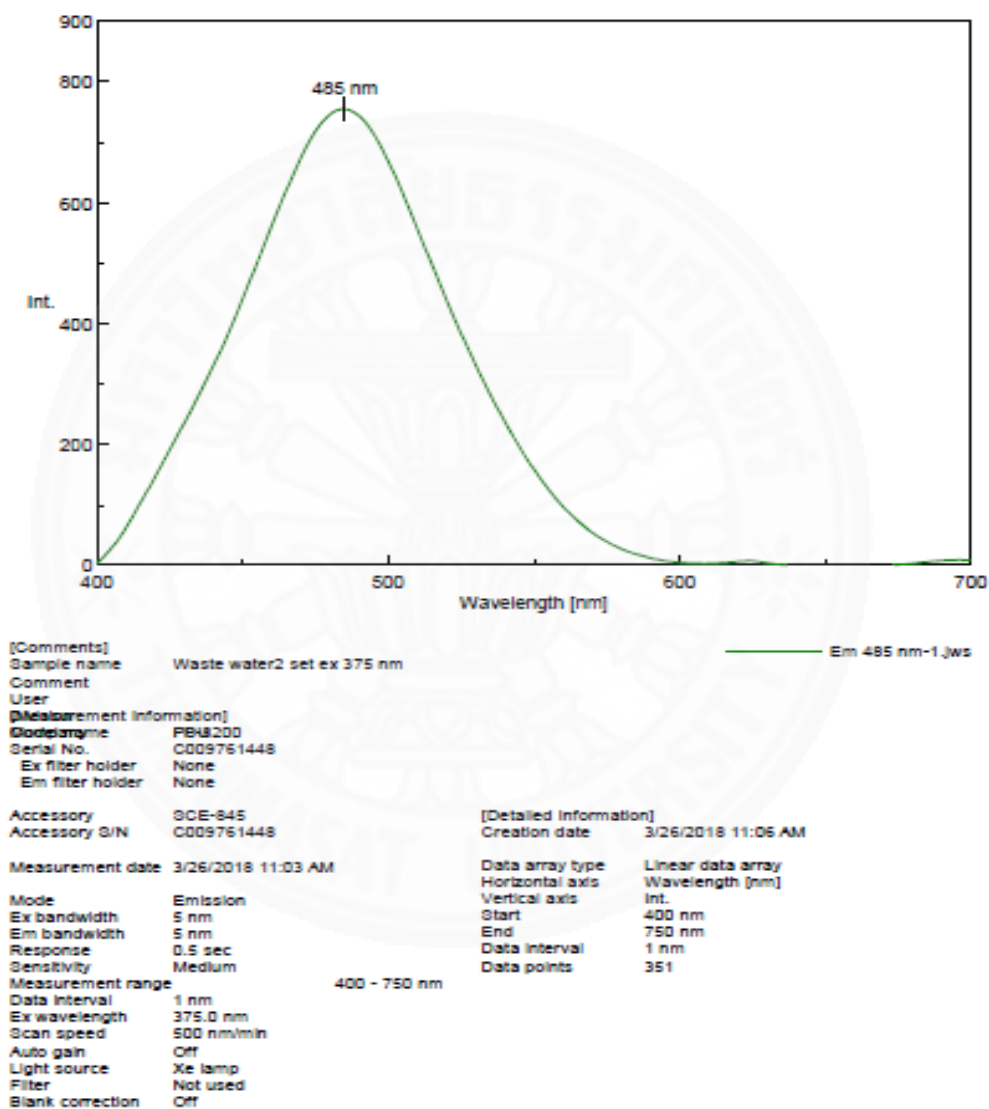
ภาพที่ ข.1 แสดงกระบวนการบำบัดด้วยสารเคมี

หมายเหตุ. จากโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องไม้เคลือบเงาแห่งหนึ่ง (ขอไม่เปิดเผยชื่อ)

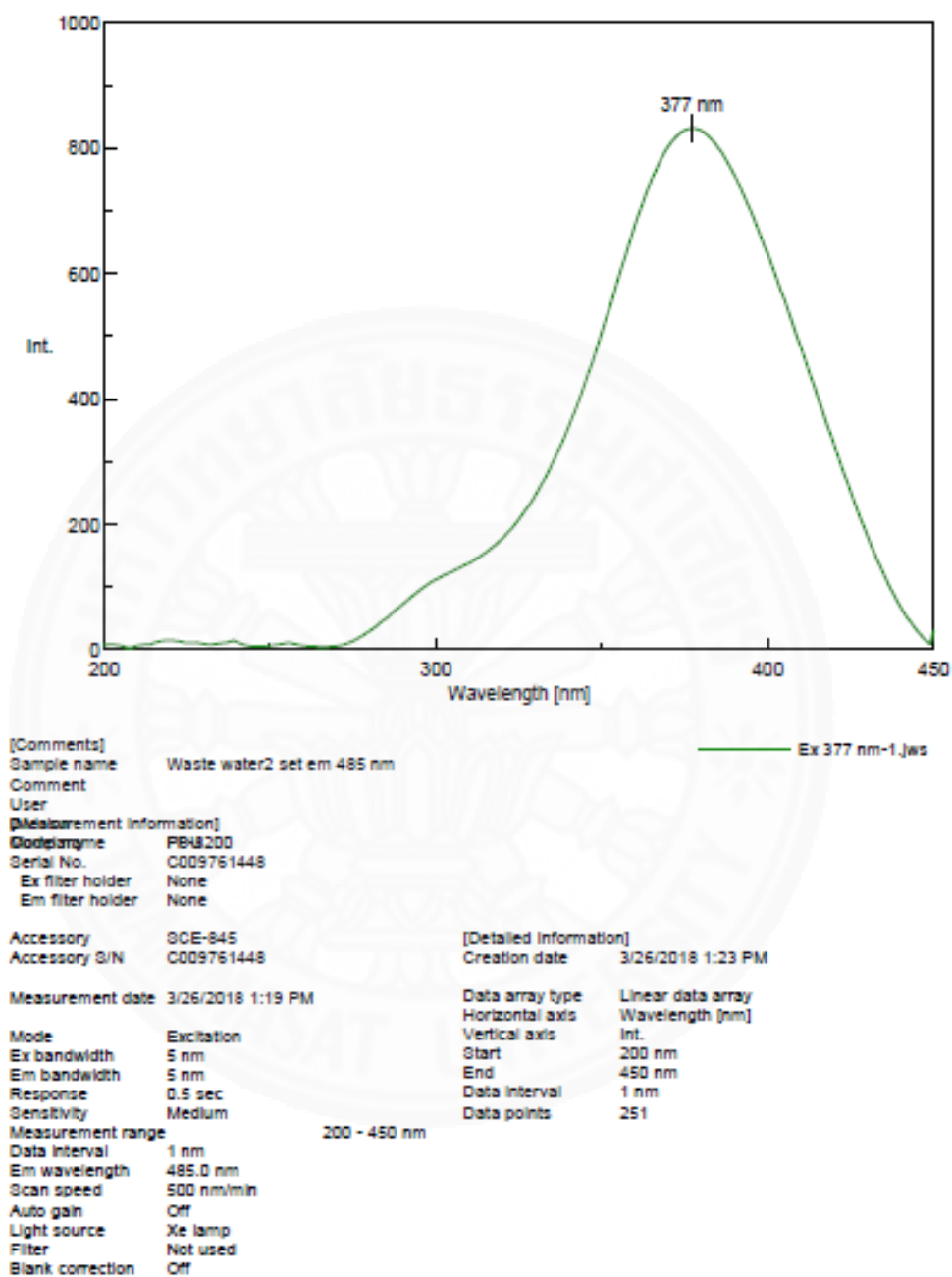
ภาคผนวก ข

ผลวิเคราะห์ fluorescent excitation-emission matrix (FEEM)

1. ค่าความเข้มแสง fluorescent สูงสุดของน้ำเสียก่อนบำบัด

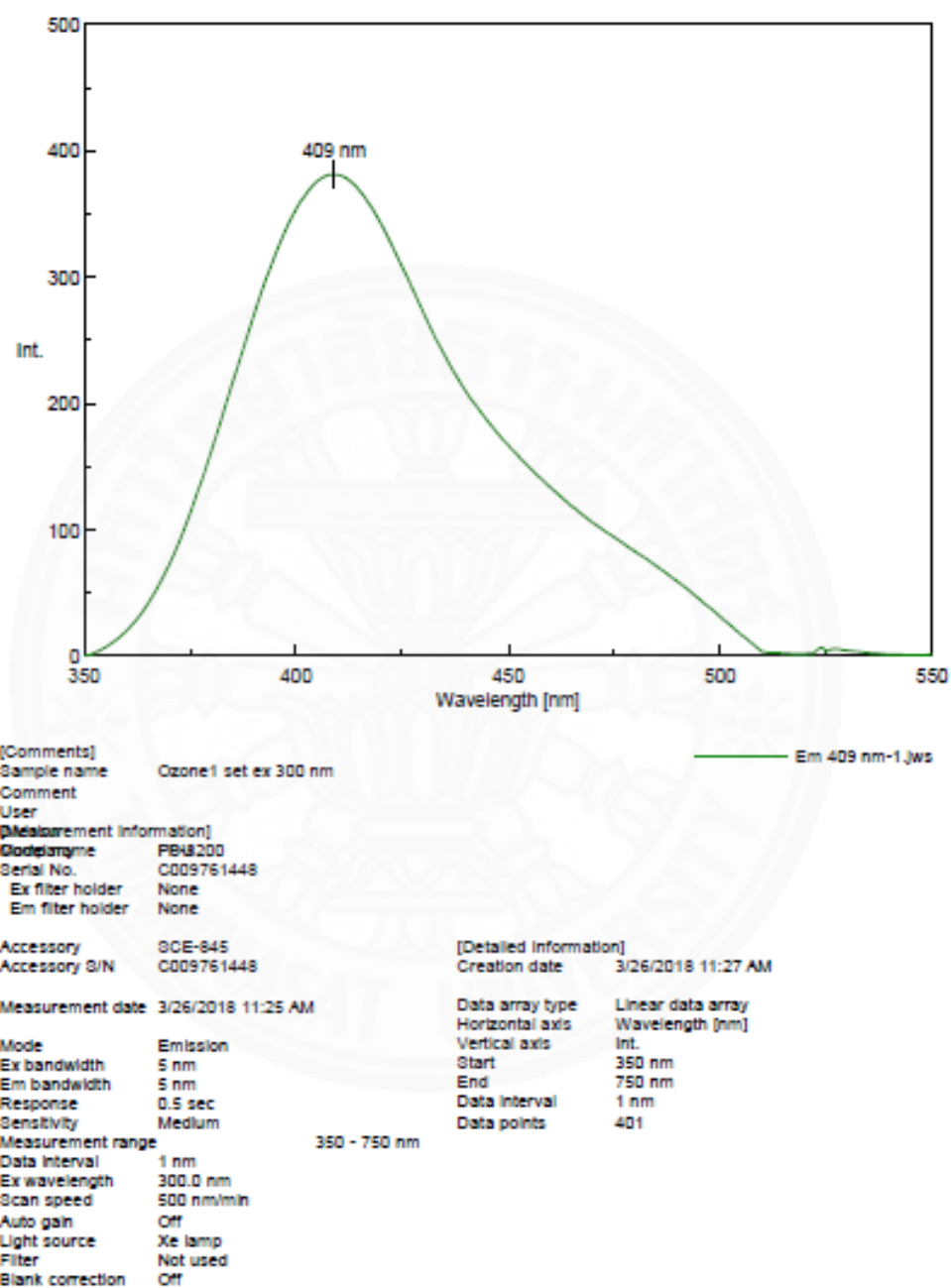


ภาพที่ ข.1 แสดงผลวิเคราะห์ FEEM ก่อนบำบัด พบค่าสูงสุดที่ 485_{Em} นาโนเมตร

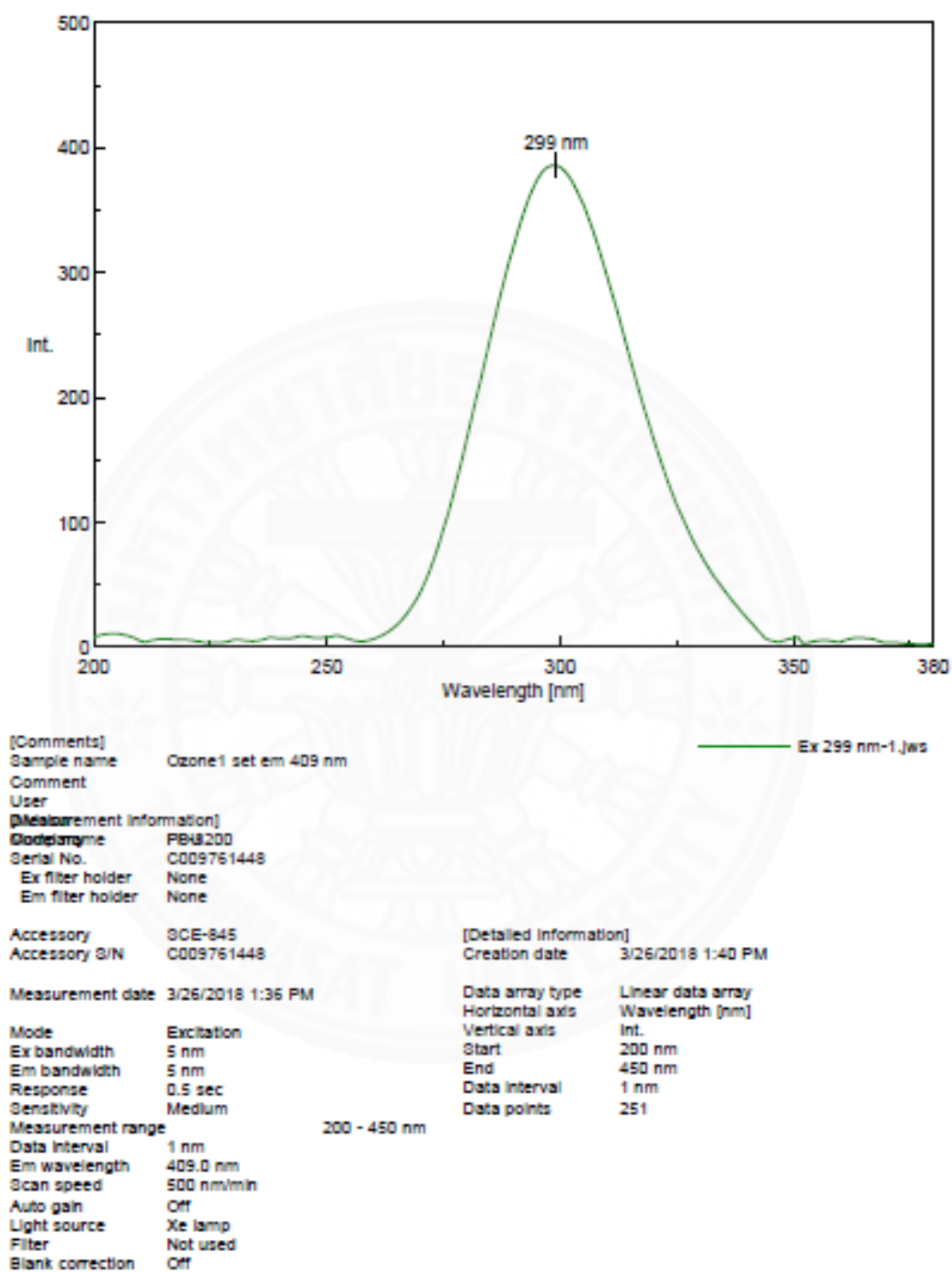


ภาพที่ ข.2 แสดงผลวิเคราะห์ FEEM ก่อนบำบัด พบค่าสูงสุดที่ 377_{Ex} นาโนเมตร

2. ค่าความเข้มแสง fluorescent สูงสุดของน้ำเสียหลังบำบัดด้วยโอโซน

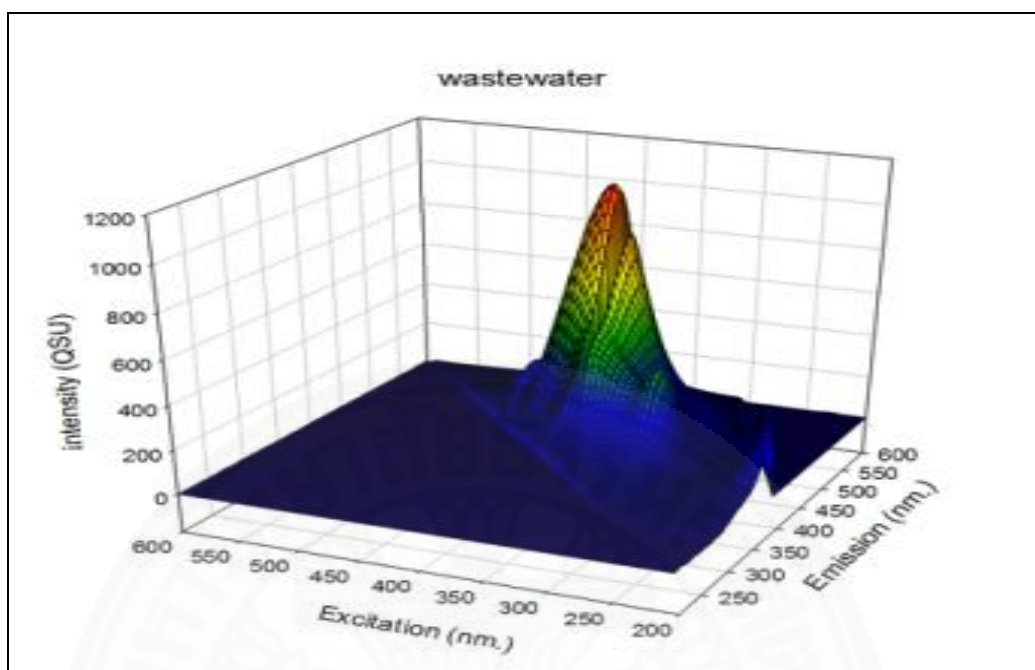


ภาพที่ ข.3 แสดงผลวิเคราะห์ FEEM หลังบำบัด พบค่าสูงสุดที่ 409_{Em} นาโนเมตร

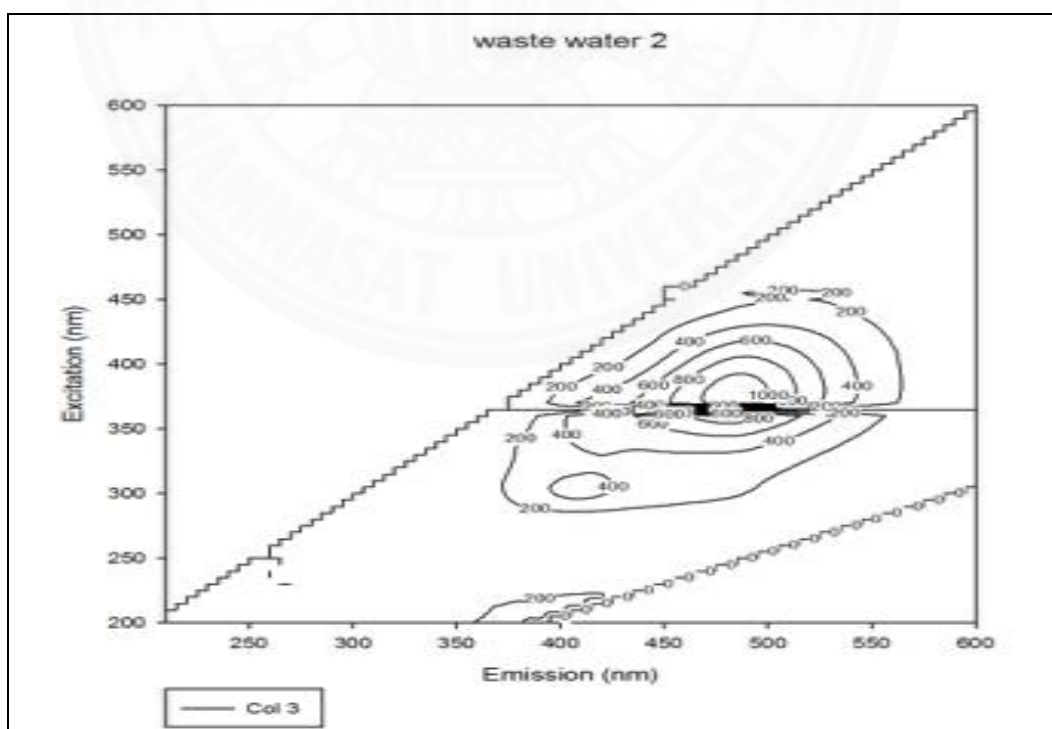


ภาพที่ ข.4 แสดงผลวิเคราะห์ FEEM หลังบำบัด พบค่าสูงสุดที่ 299_{Ex} นาโนเมตร

3. กราฟเส้นชั้นความสูงและแบบสามมิติ ก่อนบำบัด

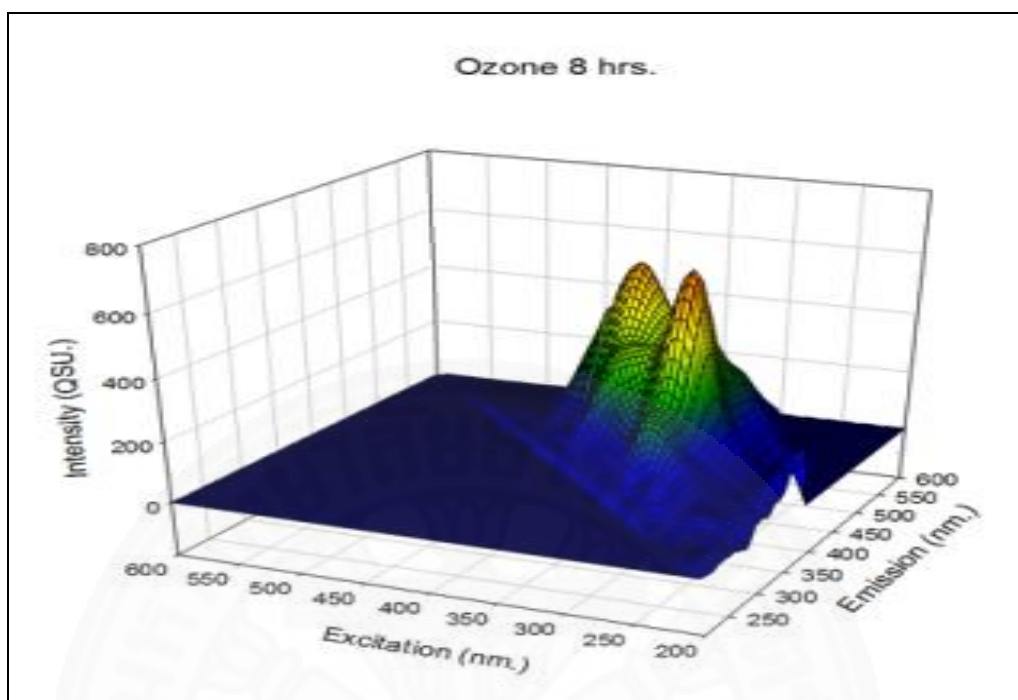


ภาพที่ ซ.5 แสดงกราฟสามมิติ ก่อนบำบัด

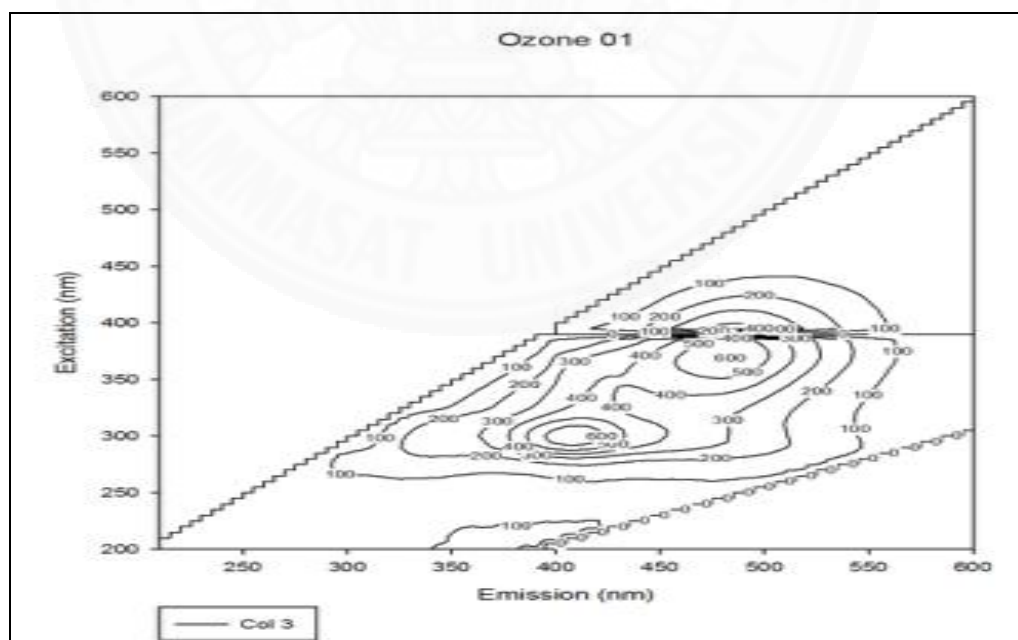


ภาพที่ ซ.6 แสดงกราฟเส้นชั้นความสูง ก่อนบำบัด

4. กราฟเส้นชั้นความสูงและแบบสามมิติ หลังบำบัด



ภาพที่ ข.7 แสดงกราฟสามมิติ หลังบำบัด



ภาพที่ ข.8 แสดงกราฟเส้นชั้นความสูง หลังบำบัด

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายภัทรพล กล่ำเสื่อ
วันเดือนปีเกิด	9 มีนาคม พ.ศ. 2523
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2546: อดสาหกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยปทุมธานี
ตำแหน่ง	ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม บริษัท บางกอกอินเตอร์เนชั่นแนลสโตน จำกัด

ผลงานทางวิชาการ

ภัทรพล กล่ำเสื่อ, ภณิดา ซ้ายขวัญ และ สุทธิสา ยาอืด. (มีนาคม 2561). *การบำบัดน้ำเสียจากห้องฟันทรีด้วยโอโซน*. 9th National & International Conference “Local & Global Sustainability : Meeting the Challenges & Sharing the Solutions” March,20, 2018 – Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok.

ประสบการณ์ทำงาน	2561 - ปัจจุบัน: ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม บริษัท บางกอกอินเตอร์เนชั่นแนลสโตน จำกัด 2560 - 2561: วิศวกรบริการ บริษัท จาร์ดีน เอ็นจิเนียริง จำกัด 2554 - 2560 : Senior Supervisor บริษัท พร้อม เทคโนโลยี จำกัด
-----------------	---