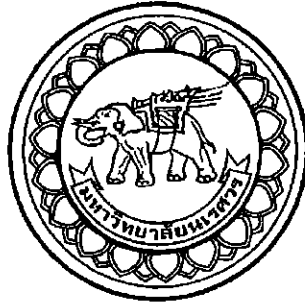


อภิธานนาการ



การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมจากอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรทางการเกษตร
ด้วยกระบวนการร่วมโฟโตคะตะไลซิสและยูวีออกซิเดชัน

TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER FROM AGRICULTURAL
MECHINERY INDUSTRY BY AN INTEGRATED PHOTOCATALYSIS AND UV
OXIDATION PROCESS

นางสาวรุจิรา เสมาทอง
นางสาวสุกัญญา เปรมคำสี

รหัส 54361794
รหัส 54361817
เลขทะเบียน 17195850
เลขบัญชีเงิน ๘๖๖ ก
๒๕๕๗

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2557



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมจากอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักร
ทางการเกษตรด้วยกระบวนการร่วมโฟโตคะตะไลซิสและยูวีออกซิเดชัน

ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวรุจิรา เสมาทอง รหัส 54361794
นางสาวสุกัญญา เปรมคำสี รหัส 54361817

ที่ปรึกษาโครงการ ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

Wleuonwle
.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา)

K
.....กรรมการ
(ผศ.ดร. ปาจารย์ ทองสนิท)

อานอ เจป/อณิพ
.....กรรมการ
(อาจารย์อำพล เตโชวานิชย์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมจากอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรทางการเกษตรด้วยกระบวนการร่วมโฟโตคะตะไลซิสและยูวีออกซิเดชัน		
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวรุจิรา เสมาทอง	รหัส	54361794
	นางสาวสุกัญญา เปรมคำสี	รหัส	54361817
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2557		

บทคัดย่อ

เนื่องจากกฎหมายทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดมากขึ้น ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมจำเป็นต้องบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตให้ผ่านมาตรฐานก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม โดยวิธีการบำบัดที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ก็คือ การบำบัดด้วยจุลินทรีย์ และการบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี ซึ่งการบำบัดเหล่านี้จะก่อให้เกิดกากตะกอนชีวภาพและเคมีเป็นจำนวนมาก และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกอนอีกครั้งหนึ่ง โครงการนี้จึงนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เรียกว่า โฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสีเขียว และไม่ก่อให้เกิดกากตะกอน มาทดลองบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยใช้ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยแสงยูวี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียให้สูงขึ้น ในการศึกษาเบื้องต้นจะทำในห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมจากบริษัทสยาม คูโบต้า คอร์ปอเรชั่น จำกัด ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร จังหวัดชลบุรี ซึ่งจะศึกษาภายใต้เงื่อนไข 1) ผลของความเป็นกรด-ด่าง 2) ผลของชนิดกรด และ 3) ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (TiO_2) จากการศึกษาพบว่า เทคโนโลยีโฟโตคะตะไลซิสร่วมกับยูวีออกซิเดชันให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงถึง 85% โดยปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม คือ 1 กรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่าง และชนิดของกรด ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดอย่างเห็นได้ชัด สำหรับการทดลองในระดับภาคสนามและระดับภาคอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึง 92-93% เช่นเดียวกัน

Project title TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER FROM
AGRICULTURAL MECHINERY INDUSTRY BY AN INTEGRATED
PHOTOCATALYSIS AND UV OXIDATION PROCESS

Name Miss. Rujira Semathong ID. 54361794
Miss. Sukanya Premkamsee ID. 54361817

Project advisor Dr. Wilawan Khanitchaidecha

Major Environmental Engineering

Department Civil Engineering

Academic year 2014

Abstract

Due to the strict environmental regulations in Thailand, all industries have to concern about a treatment of wastewater from production process. The common technology for industrial wastewater treatment plants are biological process and chemical precipitation. However, these two technologies generate a lot of bio-waste and chemical-waste, which is required other post-treatment system. In this senior project, an alternative technology of photocatalysis was proposed for industrial wastewater treatment. The significant advantage of this technology is no waste generated. During the experiments, the photocatalysis was integrated with UV oxidation to enhance the efficiency of pollutants removal. The wastewater was supplied from Siam Kobuta Corporation Co., Ltd which is located at Amata Nakorn Industrial Estate in Chonburi Province. In the preliminary, the experiments were done in laboratory to study effects of pH, acid solution and amount of catalyst (i.e., TiO_2). The results revealed that the efficiency of organic carbon removal was relatively high of $\sim 85\%$. Moreover, the optical TiO_2 addition was 1 g/L and pH and acid solution had no significant effects on the removal efficiency. For the pilot- and industrial- scales of treatment system, the high efficiency of 92-93% was found.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อย โดยได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนจาก ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ รวมทั้งแนวทางแก้ไขในระหว่างการศึกษาโครงการนี้

คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณคุณพัชรินทร์ เงินใบอ่อน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำอย่างดีในการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม รวมถึงบริษัท สยาม คูโบต้า คอร์เรชั่น จำกัด (อมตะนคร) สำหรับสถานที่ใช้ในการทดลองและทุนการศึกษา

นอกจากนี้คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ปาจารย์ ทองสนิท, อาจารย์อำพล เตโชวานิชย์ และอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และข้อเสนอแนะต่างๆ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการทุกท่าน สำหรับการประสานงานที่ตลอดระยะเวลาในการทำปริญญาโท

คณะผู้ดำเนินโครงการหวังว่า ข้อมูลในโครงการฉบับนี้คงเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจในด้านเทคโนโลยีการบำบัดน้ำ หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องไม่มากนัก

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นางสาวรุจิรา เสมาทอง

นางสาวสุกัญญา เปรมคำสี

พฤษภาคม 2557

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองโครงการวิจัย.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	4
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น	6
2.1 บริษัทสยาม คูโบต้า คอร์ปอเรชั่น จำกัด.....	6
2.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส.....	11
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส.....	17
2.4 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูวีออกซิเดชัน.....	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	22
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	22
3.2 น้ำเสียอุตสาหกรรม.....	22
3.3 การติดตั้งและดำเนินระบบ.....	23
3.4 วิธีวิเคราะห์.....	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	28
4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระดับห้องปฏิบัติการ.....	28
4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระดับภาคสนาม.....	32
4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระดับภาคอุตสาหกรรม.....	34
4.4 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย.....	37
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	39
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	39
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	39
เอกสารอ้างอิง.....	40
ภาคผนวก.....	43
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	48

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 มลพิษที่พบในน้ำเสียและปริมาณน้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ.....	1
2 คุณภาพของน้ำเสียจากกระบวนการทดสอบรอยรั่ว.....	8
3 คุณภาพของน้ำเสียจากกระบวนการเตรียมผิว.....	9
4 คุณภาพของน้ำเสียจากกระบวนการฟอสฟอรัส.....	10
5 คุณภาพของน้ำเสียจากกระบวนการซูปาสี.....	11
6 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไททาเนียมไดออกไซด์.....	14
7 ลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	23
8 รายละเอียดการทดลองและเงื่อนไขต่างๆ.....	24
9 สรุปคุณภาพน้ำเสียอุตสาหกรรมก่อนการบำบัด.....	36
10 สรุปคุณภาพน้ำเสียอุตสาหกรรมหลังการบำบัด.....	37
11 ค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการบำบัดน้ำเสียในระยะเวลา 1 เดือน.....	38

สารบัญญภาพ

รูป	หน้า
1 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง ในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส.....	12
2 ผงไททาเนียมไดออกไซด์.....	12
3 โครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์.....	13
4 ช่วงความยาวคลื่นของแสงยูวี.....	15
5 การใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตกำจัดเชื้อโรคในระบบผลิตน้ำประปา.....	20
6 น้ำเสียอุตสาหกรรมจากกระบวนการทดสอบรอยรั่วที่ใช้ในการทดลอง.....	24
7 ตัวอย่างการทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	25
8 ถังปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิสร่วมกับยูวีออกซิเดชันในระดับภาคสนาม.....	26
9 ถังปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิสร่วมกับยูวีออกซิเดชันในระดับภาคอุตสาหกรรม.....	27
10 การเปลี่ยนแปลงของค่าซีไอดีในน้ำเสียที่ค่าพีเอชต่างๆ.....	29
11 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชในน้ำเสียขณะดำเนินการทดลอง.....	30
12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ที่ปรับค่าพีเอชด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริก.....	31
13 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ต่างๆ.....	32
14 เปรียบเทียบค่าซีไอดีในน้ำเสียก่อนและหลังบำบัดในระดับภาคสนาม.....	33
15 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระดับภาคสนาม.....	33
16 เปรียบเทียบค่าซีไอดีในน้ำเสียก่อนและหลังบำบัดในระดับภาคอุตสาหกรรม.....	35
17 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระดับภาคอุตสาหกรรม.....	35
18 เปรียบเทียบน้ำก่อนและหลังบำบัด.....	36

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม ส่งผลให้มีนิคมอุตสาหกรรมเกิดขึ้นหลายแห่ง เช่น นิคมอุตสาหกรรมพิจิตร(จังหวัดพิจิตร) นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด(จังหวัดระยอง) นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง (จังหวัดกรุงเทพมหานคร) และนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร (จังหวัดชลบุรี) จากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของโรงงานอุตสาหกรรมส่งผลให้เกิดปัญหา ด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น มลพิษทางน้ำจากการปล่อยน้ำเสีย ที่ปราศจากการบำบัด จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีความหลากหลายสูงมาก และน้ำเสียจากโรงงาน อุตสาหกรรมแต่ละประเภทจะประกอบด้วยชนิดของมลพิษหลักที่แตกต่างกัน เช่น น้ำเสีย จากอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรทางการเกษตร ที่มีสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นหลัก โดยทั่วไป น้ำเสียอุตสาหกรรมจะมีความสกปรกสูงกว่าน้ำเสียชุมชน และบำบัดได้ยากกว่า ซึ่งการบำบัดน้ำเสีย ของแต่ละโรงงานขึ้นอยู่กับชนิดของมลพิษและปริมาณน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

ตารางที่ 1 มลพิษที่พบในน้ำเสียและปริมาณน้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ

ประเภทของโรงงาน	ชนิดของมลพิษ	ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม.ต่อวัน)	เอกสารอ้างอิง
อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ	สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์	30-100	วรกิจกร กาญจนะ, 2549
อุตสาหกรรมฟอสฟอไรต์	สารอินทรีย์คาร์บอน และน้ำมัน	250	Anderson et al., 1981
อุตสาหกรรมฟอกย้อม	สีสังเคราะห์	696	เบญจวรรณ ฉันทอุทิศ, 2551
อุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์	โลหะหนัก	1,200	กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2558
อุตสาหกรรมอาหาร	สารอินทรีย์คาร์บอน และไนโตรเจน	300	สัญญา จันทร์โท, 2547
อุตสาหกรรมฟอกหนัง	ซัลเฟอร์	10	เชวงศักดิ์ คำตา, 2548

การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตกตะกอนทางเคมี การแยกด้วยไฟฟ้า และการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ ซึ่งวิธีที่นิยมมากที่สุด คือ การบำบัดด้วยจุลินทรีย์ เนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายน้อย และสามารถบำบัดน้ำเสียได้ในปริมาณมาก อย่างไรก็ตามการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ เช่น ระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge system) มีข้อจำกัด คือ ใช้เวลานานในการบำบัด ในขณะที่เดียวกับการตกตะกอนทางเคมีก็มีข้อจำกัด คือ ค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า และเกิดกากตะกอนเคมีที่ต้องกำจัดอีกต่อหนึ่ง ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำโครงการจึงต้องการนำเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis) ร่วมกับยูวีออกซิเดชันมาทดลองบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยข้อดีของเทคโนโลยีนี้ ก็คือ ไม่เกิดกากตะกอนเคมี และใช้เวลาในการบำบัดน้อย โครงการนี้จะมุ่งเน้นศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ชนิดของกรด และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ไททาเนียมไดออกไซด์; TiO_2) ต่อประสิทธิภาพการบำบัด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) ศึกษาปัจจัยค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ชนิดของกรด และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์; TiO_2) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการร่วมโฟโตคะตะไลซิสและยูวีออกซิเดชัน
- 2) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการร่วมโฟโตคะตะไลซิสและยูวีออกซิเดชันในระดับต่างๆ
- 3) คำนวณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการบำบัดน้ำเสีย

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการร่วมโฟโตคะตะไลซิสและยูวีออกซิเดชัน
- 2) ทราบประสิทธิภาพการบำบัดเสียอุตสาหกรรมในระดับต่างๆ
- 3) ทราบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดำเนินระบบในการบำบัดน้ำเสีย

1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

- 1) น้ำเสียอุตสาหกรรมที่ใช้ศึกษาในโครงการนี้ เป็นน้ำเสียจากบริษัท สยาม คูโบต้า คอร์ปอเรชั่น จำกัด ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมประเภทผลิตเครื่องจักรทางการเกษตร โดยน้ำที่ใช้ในการศึกษามาจากกระบวนการทดสอบรอยรั่วของเครื่องยนต์ในบริษัท

2) โครงการนี้จะศึกษา 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ชนิดของกรด และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์; TiO_2) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย วัดจากการลดลงของค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) เป็นหลัก

3) ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมจะศึกษา 3 ระดับ คือ ระดับห้องปฏิบัติการ (Lab-scale) ระดับภาคสนาม (Pilot-scale) และระดับภาคอุตสาหกรรม (Industrial-scale)

4) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดำเนินระบบในการบำบัดน้ำเสียจะได้รับการคำนวณ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดเสียอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการร่วมระหว่างโฟโตคะตะไลซิสและยูวีออกซิเดชันในระดับห้องปฏิบัติการ
- 3) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการร่วมระหว่างโฟโตคะตะไลซิสและยูวีออกซิเดชันในระดับภาคสนาม
- 4) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดเสียอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการร่วมระหว่างโฟโตคะตะไลซิสและยูวีออกซิเดชันในระดับภาคอุตสาหกรรม
- 5) คำนวณค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดำเนินการ
- 6) วิเคราะห์ผลและเขียนเล่มวิทยานิพนธ์
- 7) นำเสนอโครงการ

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

1) ค่าวัสดุในห้องปฏิบัติการ	1,000	บาท
2) ค่าถ่ายเอกสาร	200	บาท
3) ค่าเช่าเล่มวิทยานิพนธ์	800	บาท
รวมเป็นเงิน	2,000	บาท (สองพันบาทถ้วน)



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 บริษัท สยาม คูโบต้า คอร์ปอเรชั่น จำกัด

บริษัท สยาม คูโบต้า คอร์ปอเรชั่น จำกัด เป็นบริษัทผลิตเครื่องจักรกลทางการเกษตร ได้แก่ รถแทรกเตอร์ จอบหมุน และรถเกี่ยววนวดข้าว ตั้งอยู่ที่ 700/267 หมู่ 3 ตำบลหนองกะขะ อำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี ในพื้นที่ของนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร ซึ่งประกอบด้วยโรงงาน 2 โรงงาน ได้แก่

- โรงงานผลิตรถแทรกเตอร์ ดำเนินการผลิตและประกอบรถแทรกเตอร์
- โรงงานผลิตรถเกี่ยววนวด ดำเนินการผลิตและประกอบรถเกี่ยววนวด และจอบหมุน

1) กระบวนการผลิต

ในการผลิตรถแทรกเตอร์ของบริษัทสยาม คูโบต้า คอร์ปอเรชั่น จำกัด ประกอบด้วยสายการผลิต ดังนี้

- 1.1) สายกลึงห้องครัชและเสื้อเฟือง
- 1.2) สายการประกอบชุดส่งกำลัง
- 1.3) สายฟันสีชุดส่งกำลัง
- 1.4) สายเชื่อมบังโคลนและกระโปรงหน้า
- 1.5) สายฟันสีชิ้นส่วนภายนอก
- 1.6) สายการประกอบชุดสุดท้าย
- 1.7) สายการตรวจสอบสุดท้าย

2) ประเภทของน้ำเสีย

น้ำเสียของบริษัทจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ น้ำเสียจากกระบวนการผลิต น้ำเสียจากเครื่องจักรกลอุปกรณ์ป้องกันอันตรายและห้องฟันสี และน้ำเสียจากสำนักงาน/โรงอาหาร จากกระบวนการผลิตรถแทรกเตอร์มีน้ำเสียเกิดขึ้นในปริมาณร้อยละ 86 ของน้ำเสียทั้งหมด และมีส่วนผสมของสารเคมีและสีอยู่ด้วย ทำให้ค่าซีโอดี (Chemical oxygen demand; COD) ค่อนข้างสูง และยากต่อการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ และน้ำเสียจากกระบวนการผลิต แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

2.1) น้ำเสียจากกระบวนการทดสอบรอยรั่ว (Leak test)

น้ำเสียนี้จะเกิดขึ้นในส่วนของสายการประกอบชุดส่งกำลังจากกระบวนการทดสอบรอยรั่วของเครื่องยนต์ มีปริมาณ 980 ลบ.ม.ต่อปี และมีการปนเปื้อนของละอองน้ำมัน ฝุ่นขนาดเล็ก และสารอินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 2

2.2) น้ำเสียจากกระบวนการเตรียมผิว (Pretreatment)

น้ำเสียนี้เกิดขึ้นจากกระบวนการเตรียมผิวของเครื่องยนต์ มีปริมาณ 2,550 ลบ.ม.ต่อปี และมีการปนเปื้อนของสีมาก ดังแสดงในตารางที่ 3

2.3) น้ำเสียจากกระบวนการพ่นสี (Spray booth)

น้ำเสียจากกระบวนการนี้เกิดขึ้นในส่วนของการพ่นสีชิ้นส่วนภายนอก มีปริมาณ 1,300 ลบ.ม.ต่อปี คุณภาพของน้ำเสียนี้แสดงในตารางที่ 4

2.4) น้ำเสียจากกระบวนการชุบสี (ED)

น้ำเสียนี้เกิดจากกระบวนการชุบสี มีปริมาณ 120 ลบ.ม.ต่อปี คุณภาพของน้ำเสียแสดงในตารางที่ 5

3) การบำบัดน้ำเสียแบบเดิม

กระบวนการบำบัดน้ำเสียของบริษัท สยาม คูโบต้า คอร์ปอเรชั่น จำกัด ทำได้โดยการบำบัดเบื้องต้นด้วยตะแกรงดักขยะ และการบำบัดด้วยการตกตะกอนทางเคมี (วิธีการโคแอกกูเลชัน)

การตกตะกอนทางเคมี หรือโคแอกกูเลชัน (Coagulation) มีหลักการทำงานอยู่ 2 ขั้นตอน คือ 1. เป็นการเติมสารเคมีพวกสารสร้างตะกอน ได้แก่ ปูนขาว สารส้ม เหลือของเหล็ก สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น ผสมกับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยเล็กๆ และ 2. เป็นการกวนช้าๆ เพื่อให้เกิดสภาพรวมตะกอน ทำให้มีการเกาะกันระหว่างตะกอนแขวนลอยเล็กๆ จนได้ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และสามารถตกตะกอนได้ ซึ่งการกวนช้าๆจะทำให้สภาพการเกาะตัว ไม่เกิดการแตกหลุดออกจากกันของตะกอน

โดยการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตรถแทรกเตอร์ด้วยวิธีโคแอกกูเลชันนั้น ในส่วนของขั้นตอนแรกจะใส่ปูนขาวในน้ำเสีย เพื่อให้เกิดการสร้างตะกอนขึ้น และขั้นตอนที่สอง ใส่โพลีเมอร์ลงไป ในน้ำเสียด้วย เพื่อช่วยให้ตะกอนที่รวมตัวกัน และตกตะกอนได้เร็วขึ้น ซึ่งสามารถบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอน (แสดงในรูปของบีโอดี) ได้ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ และ (แสดงในรูปของซีโอดี) 96 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูง และมีกากตะกอนเคมีจำนวนมาก ทำให้ทางบริษัทต้องการหาวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบใหม่ เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดให้น้อยลง

ตารางที่ 2 คุณภาพของน้ำเสียจากกระบวนการทดสอบย่อยเร็ว

ชนิดของมลพิษ	ค่าที่ได้	หน่วย
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.2	-
อุณหภูมิ	35.2	องศาเซลเซียส
บีโอดี (BOD ₅)	170	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดี (COD)	3,200	มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งแขวนลอย (SS)	150	มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)	3,941	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	198.8	มิลลิกรัมต่อลิตร
น้ำมันและไข	36.6	มิลลิกรัมต่อลิตร
สังกะสี (Zn)	0.151	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไซยาไนด์ (CN)	2.86	มิลลิกรัมต่อลิตร
นิกเกิล (Ni)	16.9	มิลลิกรัมต่อลิตร
ฟอสฟอรัส (P)	6.127	มิลลิกรัมต่อลิตร
แมงกานีส (Mn)	0.063	มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 3 คุณภาพของน้ำเสียจากกระบวนการเตรียมผิว

ชนิดของมลพิษ	ค่าที่ได้	หน่วย
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	11.9	-
อุณหภูมิ	-	องศาเซลเซียส
บีโอดี (BOD ₅)	256	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดี (COD)	12,145	มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งแขวนลอย (SS)	860	มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)	20,360	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	162.4	มิลลิกรัมต่อลิตร
น้ำมันและไข	1,840	มิลลิกรัมต่อลิตร
สังกะสี (Zn)	3.329	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไซยาไนด์ (CN)	0.9	มิลลิกรัมต่อลิตร
นิกเกิล (Ni)	1.28	มิลลิกรัมต่อลิตร
ฟอสฟอรัส (P)	-	มิลลิกรัมต่อลิตร
แมงกานีส (Mn)	-	มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4 คุณภาพของน้ำเสียจากกระบวนการฟอสซี

ชนิดของมลพิษ	ค่าที่ได้	หน่วย
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.4	-
อุณหภูมิ	-	องศาเซลเซียส
บีโอดี (BOD ₅)	864	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดี (COD)	5,778	มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งแขวนลอย (SS)	120	มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)	3,440	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	172.8	มิลลิกรัมต่อลิตร
น้ำมันและไข	40	มิลลิกรัมต่อลิตร
สังกะสี (Zn)	0.398	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไซยาไนด์ (CN)	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร
นิกเกิล (Ni)	0.024	มิลลิกรัมต่อลิตร
ฟอสฟอรัส (P)	-	มิลลิกรัมต่อลิตร
แมงกานีส (Mn)	-	มิลลิกรัมต่อลิตร

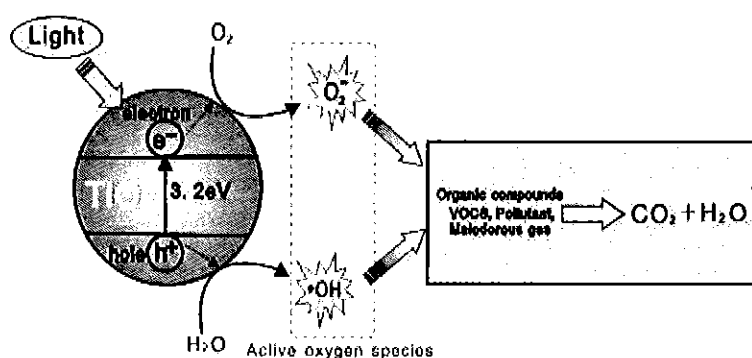
ตารางที่ 5 คุณภาพของน้ำเสียจากกระบวนการชุบสี

ชนิดของมลพิษ	ค่าที่ได้	หน่วย
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.9	-
อุณหภูมิ	25	องศาเซลเซียส
ความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายเป็นเวลา 5 วัน (BOD ₅)	11	มิลลิกรัมต่อลิตร
สารประกอบอินทรีย์คาร์บอน (COD)	9,300	มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งแขวนลอย (SS)	11	มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)	4,528	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	-	มิลลิกรัมต่อลิตร
น้ำมันและไข	4	มิลลิกรัมต่อลิตร
สังกะสี (Zn)	5.07	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไซยาไนด์ (CN)	-	มิลลิกรัมต่อลิตร
นิกเกิล (Ni)	0.49	มิลลิกรัมต่อลิตร
ฟอสฟอรัส (P)	-	มิลลิกรัมต่อลิตร
แมงกานีส (Mn)	-	มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis process) เป็นกระบวนการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาถูกกระตุ้นด้วยแสง ($h\nu$) ซึ่งแสงต้องมีค่าพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าช่องว่างแถบพลังงาน (Band gap) ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น คือ จะทำให้อิเล็กตรอน (e^-) ที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ (Valance band) เกิดการเคลื่อนที่ไปยังแถบการนำไฟฟ้า (Conduction band) ทำให้ที่แถบวาเลนซ์เกิดการขาดอิเล็กตรอน หรือเรียกว่า โฮล (Hole; h^+) ซึ่งอิเล็กตรอนและโฮลจะกระจายอยู่ที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังรูปที่ 1

กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis process) สามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์และอนินทรีย์ได้ดี จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะสามารถประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนอินทรีย์คาร์บอนได้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 1 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส
(<http://www.easypestsupplies.com.au/pestrol-outdoor-exterminator-mosquito-trap.html>)

1) ตัวเร่งปฏิกิริยา

ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide: TiO_2) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ดังรูปที่ 2 เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียม เป็นสารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ดังนั้นจึงได้มีการนำไททาเนียมไดออกไซด์มาใช้ในกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์ เนื่องจากไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม มีความเสถียรภาพสูง ทนต่อการกัดกร่อนสูง ไม่เป็นสารไวไฟ และมีความสามารถในการละลายต่ำ นอกจากนี้ยังมีราคาไม่แพง



รูปที่ 2 ผงไททาเนียมไดออกไซด์ (<http://www.siamchemi.com>)

1.1) โครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์

- อนาเทส (Anatase) มีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนัล (Tetragonal) เป็นชนิดที่พบในธรรมชาติปานกลาง หากให้ความร้อนสูงกว่า 915 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูไทล์

- รูไทล์ (Rutile) มีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนัล (Tetragonal) เป็นชนิดที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ มีความคงทน และเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิที่สูง

- บรูคไคท์ (Brookite) มีโครงสร้างผลึกแบบออร์โธโรมบิก (Orthorhombic) เป็นชนิดที่พบน้อยในธรรมชาติ มีความเสถียรต่ออุณหภูมิต่ำ หากได้รับความร้อนมากกว่า 750 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูไทล์



รูปที่ 3 โครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์ (<http://www.siamchemi.com>)

1.2) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไททาเนียมไดออกไซด์ สรุปลงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไททาเนียมไดออกไซด์

สูตรโมเลกุล	TiO ₂
สูตรโครงสร้าง	O=Ti=O
มวลโมเลกุล	79.9 กรัมต่อโมล
สถานะ	ของแข็ง
สี	สีขาว
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย	30 นาโนเมตร
ความเป็นกรด-ด่าง ที่ 20 ^o ซ.	7 - 8
พื้นที่ผิว	50 ตารางเมตรต่อกรัม
จุดเดือด	2,500 - 3,000 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	1,840 องศาเซลเซียส
ช่องว่างแถบพลังงาน	3.2 อิเล็กตรอนโวลต์
ความถ่วงจำเพาะ	3.9

2) แสงยูวี

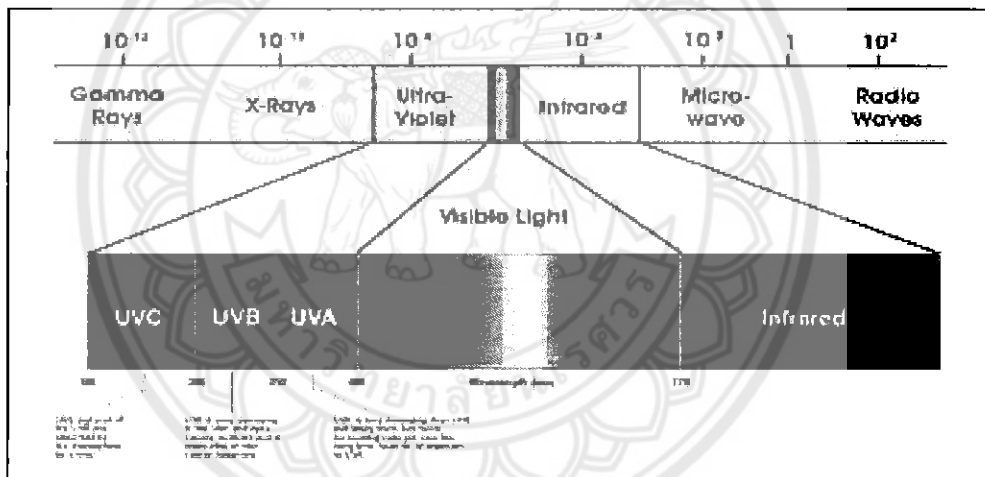
แสงอัลตราไวโอเล็ต หรือแสงยูวีเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ที่ 100 ถึง 400 นาโนเมตร ซึ่งให้พลังงานแสงที่สูงพอ ในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี แต่แสงยูวีที่นำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของไททาเนียมไดออกไซด์ ในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสต้องมีความยาวคลื่นที่ให้พลังงานมากกว่าหรือเท่ากับ 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ หรือต้องใช้แสงที่มีค่าความยาวคลื่นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 386 นาโนเมตร ปฏิกิริยาจึงจะเกิดขึ้นได้ แสงยูวีแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

- รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (UV-A) มีช่วงความยาวคลื่น 315 - 400 นาโนเมตร เป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีพลังงานต่ำที่สุดของแสง

- รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (UV-B) มีช่วงความยาวคลื่น 280 - 315 นาโนเมตร เป็นช่วงที่มีความยาวคลื่นที่มีพลังงานสูงกว่า รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (UV-A)

- รังสีอัลตราไวโอเล็ตซี (UV-C) มีช่วงความยาวคลื่น 100 – 280 นาโนเมตร เป็นช่วงที่มีความยาวคลื่นที่มีพลังงานสูงกว่าแสงยูวีทั้งสองชนิด

เนื่องจากแสงอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมาถึงพื้นผิวโลกจะถูกทำให้ลดลงในชั้นบรรยากาศ ซึ่งเกิดขึ้นจากการดูดกลืนของแสงและการกระเจิงของแสง โดยโอโซนจะเป็นตัวดูดกลืนแสงที่ชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ ดังนั้นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ส่องมายังพื้นโลกจึงมีจำกัดสำหรับนำมาใช้ในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ทำให้ต้องหาพลังงานแสงจากส่วนอื่นๆ ที่มีค่าพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าช่องว่างแถบพลังงาน (Band gap) ของไททานเนียมไดออกไซด์มาช่วยในการกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทำให้มีการนำหลอดยูวีมาช่วยหรือมาเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานแสงให้กับกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

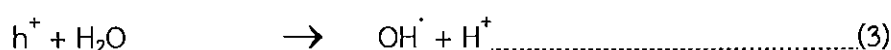
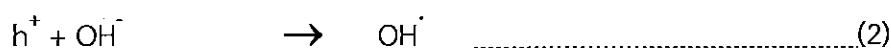
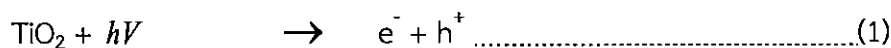


รูปที่ 4 ช่วงความยาวคลื่นของแสงยูวี

(<http://pixgood.com/electromagnetic-spectrum-ultraviolet.html>)

3) กลไกการเกิดปฏิกิริยา

กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสแบบใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 1-6



เมื่อไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ได้รับพลังงานจากแสง ($h\nu$) จะเกิดโฮล (h^+) และอิเล็กตรอน (e^-) ที่แถบวาเลนซ์ จากนั้นโฮล (h^+) จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) และยังทำให้โมเลกุลของน้ำ (H_2O) ที่ดูดติดผิวไททาเนียมไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) เช่นกัน ส่วนอิเล็กตรอน (e^-) ในแถบการนำไฟฟ้า จะทำปฏิกิริยารีดักชันกับโมเลกุลออกซิเจน (O_2) ที่ดูดติดผิวไททาเนียมไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัล (O_2^\cdot) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่เกิดขึ้นเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ดี และสามารถทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอน (e^-) ที่แถบวาเลนซ์ ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) จากนั้นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอินทรีย์คาร์บอน (Organic-C) ในน้ำเสียได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กับน้ำ (H_2O) ดังสมการที่ 7

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

1) ความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์

อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ในน้ำเสีย ทำหน้าที่ให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) ทำปฏิกิริยาและเร่งให้เกิดปฏิกิริยา การกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย นอกจากนี้อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำเสียยึดเกาะ ดังนั้นการยึดเกาะของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์จึงขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ จึงทำให้พื้นที่ผิวเป็นปัจจัยหนึ่งในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยา (Gimenez และคณะ, 1997; Malato และคณะ, 1997) แต่ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่มากเกินไปในน้ำเสีย จะทำให้กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสลดลง เนื่องจากอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่มากเกินไป จะไปขัดขวางแสงยูวีที่ส่องไปยังสารปนเปื้อน ทำให้ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่ถูกระตุ้นด้วยอนุภาคแสงและปริมาณไฮดรอกซิลเรดิคัลลดลง (Bing-Nan และคณะ, 1999) ปริมาณไททาเนียมที่ใช้ในการศึกษาเรื่องโฟโตคะตะไลซิส ส่วนใหญ่มีความเข้มข้น 1-5 กรัมต่อลิตร (Venkatadri และ Peter, 1993)

2) ความเป็นกรด-ด่าง (พีเอช; pH)

ประสิทธิภาพของกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสขึ้นอยู่กับค่าพีเอชในน้ำเสีย ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากค่าพีเอชมีผลต่อความสามารถในการดูดเกาะของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาในน้ำเสีย โดยประจุไฟฟ้าที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเปลี่ยนไป เมื่อค่าพีเอชสูงหรือต่ำ (Poulios และ Aetopoulou, 1999) ซึ่งจะเป็นบวกที่ค่าพีเอชต่ำ และมีค่าเป็นลบเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น สำหรับไททาเนียมไดออกไซด์ ค่าพีเอชที่ทำให้ประจุเป็นกลางคือ 6-6.3 (Fox และ Duley, 1993; langphasuk, 1997) และโซลจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 3 ในขณะที่ไฮดรอกซิลเรดิคัล มีความสำคัญในการทำปฏิกิริยาที่ค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 3 (Tangg และคณะ, 1997) นอกจากนี้ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไป ยังทำให้ช่องว่างพลังงานของตัวเร่งปฏิกิริยา ประเภทโลหะเมทัลออกไซด์เปลี่ยนแปลงได้ 0.059 มิลลิโวลต์ต่อหน่วยพีเอช (Staffort และคณะ, 1996)

3) ปริมาณออกซิเจนละลาย

อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในน้ำเสียเพิ่มขึ้น เนื่องจากออกซิเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการเกิดกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส โดยออกซิเจนจะยึดเกาะบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยา และยึดจับอิเล็กตรอนที่แถบการนำไฟฟ้า ทำให้เกิดซูเปอร์ออกไซด์อิกซอน และจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนอิกซอนต่อไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ด้วยเหตุนี้

ออกซิเจนจึงเป็นตัวยึดเวลาการกลับมารวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนและโฮล และยังทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัลอีกด้วย

4) อุณหภูมิ

เมื่อศึกษาทฤษฎีทางจลศาสตร์ (Kinetic theory) อุณหภูมินับว่าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยา (langphasuk, 1997) โดยค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของอาร์เรเนียสเขียนได้ดังนี้

$$K = Ae^{(-E_a/RT)}$$

เมื่อ K = ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา, นาที⁻¹ (Reaction rate constant, min⁻¹)

A = แฟคเตอร์ความถี่, นาที⁻¹ (Frequency factor, min⁻¹)

E_a = พลังงานกระตุ้น, จูลต่อโมล (Activation energy, J mole⁻¹)

R = ค่าคงที่ 8.314 จูลต่อโมล เคลวิน (Constant = 8.3143 J mole⁻¹ K⁻¹)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์, เคลวิน (Absolute temperature, K)

กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการทำปฏิกิริยาของอิเล็กตรอนและโฮลกับสารปนเปื้อนในน้ำเสียมีค่ามากกว่าอัตราการกลับมารวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนและโฮล และความถี่ในการชนกันของโมเลกุลก็มีมากขึ้นด้วยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องมาจากการลดลงของพลังงานการกระตุ้นในการทำปฏิกิริยา

5) ความเข้มแสง

เนื่องจากความเข้มของแสงขึ้นอยู่กับพลังงานของแสงโดยตรง ความเข้มแสง คือ พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา กล่าวคือ อนุภาคแสง 1 โฟตอน (Photon) ที่มีความถี่ (ν) จะมีพลังงาน (E) เท่ากับ $h\nu$ หรือคิดเป็น 1 ควอนตัม ถ้าให้พลังงานของแสงทั้งหมดที่ตกกระทบหนึ่งหน่วยพื้นที่ของผิวหน้าโลหะเป็น E_T ดังนั้น

$$\text{จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบ} = \frac{\text{พลังงานของแสงทั้งหมดที่ตกกระทบ}}{\text{พลังงานของแสง 1 โฟตอน}}$$

$$\text{จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบ 1 วินาที} = \frac{\text{ความเข้มของแสง}}{h\nu}$$

ไอน์สไตน์ (Einstein) ได้ตั้งสมมุติฐานว่า 1 โฟตอนจะทำให้เกิด 1 โฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) ดังนั้น จำนวนโฟโตอิเล็กตรอน α จำนวนโฟตอน α ความเข้มของแสง เพื่อที่จะกระตุ้นไททาเนียมไดออกไซด์ เกิดอิเล็กตรอนและโฮล ต้องใช้ความยาวคลื่นแสงที่ ส่องประมาณ 390 นาโนเมตร และต้องมีพลังงานอย่างน้อย 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ (Tseng และ Huang, 1991)

6) ปริมาณอ็อกซิเจน-ลบ ในน้ำเสีย

โดยปกติแล้วน้ำเสียอุตสาหกรรมจะมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ เช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสี คาร์บอนเนต ซัลเฟต ไนเตรท และฟอสเฟส ซึ่งอ็อกซิเจนบางชนิดจะขัดขวางการเกิดปฏิกิริยา และบางชนิดจะเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยา (Langphasuk, 1997) หากน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ มีความเข้มข้นของโลหะสูง อาจจะต้องทำการบำบัดขั้นต้น เพื่อกำจัดโลหะออกบางส่วน เพื่อเป็นการ เพิ่มประสิทธิภาพในการสลายตัวของสารอินทรีย์ในปฏิกิริยาการเกิดกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

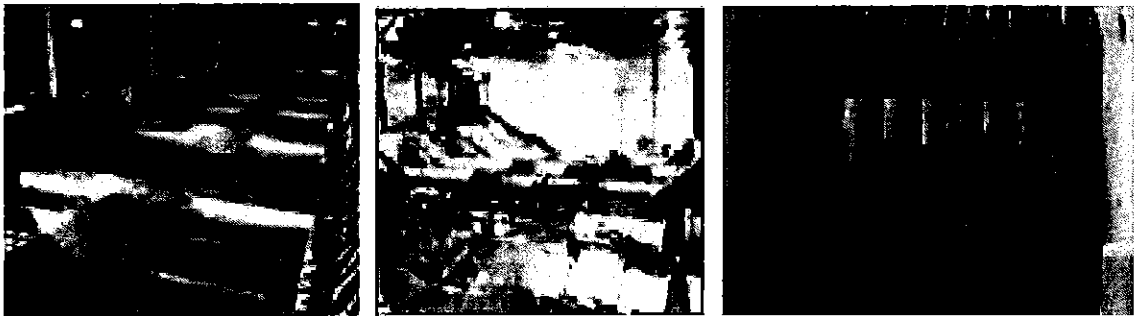
2.4 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยววิออกซิเดชัน

1) หลักการ

การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยววิออกซิเดชัน เป็นการเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชันของสารอินทรีย์โมเลกุลอื่นๆ ทำให้สารอินทรีย์เปลี่ยนโครงสร้าง ถูกกำจัด หรือลด ความเป็นพิษลง และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ ออกจากสิ่งแวดล้อม โดยไม่ได้เป็นการเคลื่อนย้ายสารอินทรีย์ออกจากเฟสน้ำ

2) การประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค

รังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 240-280 นาโนเมตร ความยาวคลื่นที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรคมมากที่สุด คือ 250 นาโนเมตร การใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตในการกำจัดเชื้อโรค พบว่าไม่ก่อให้เกิดผลผลิตข้างเคียงที่เป็นพิษ และสารก่อมะเร็ง ไม่ทำให้เกิดคราบและกลิ่น ไม่ต้องการพื้นที่ในการเก็บสารเคมีที่เป็นพิษ มีความปลอดภัยในการใช้สูง ไม่ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย แต่การใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต ยังไม่เป็นที่ นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงกว่าการใช้วิธีอื่นมาก แหล่งกำเนิด มีราคาแพง การดูแลรักษามีขั้นตอนมาก ควบคุมขนาดของการใช้ที่เหมาะสมยาก และรังสี อัลตราไวโอเล็ตมีระยะเวลาในการคงตัวอยู่ในน้ำได้น้อย



รูปที่ 5 การใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตกำจัดเชื้อโรคในระบบผลิตน้ำประปา
(<http://www.navy.mi.th/science/Webpage/newdocument/clo2.htm>)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

การนำกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียนั้น ได้มีการศึกษาในเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการ (ขนาดถังปฏิกรณ์ 1.5 ลิตร) โดยใช้บำบัดน้ำสีสังเคราะห์เมธิลีนบลูความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งพบว่าถังปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิสให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสีสังเคราะห์ดีมาก ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว (วิซชล 2556)

จุฬาลักษณ์ ชาญกุล (2546) ได้ทำการศึกษาการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำเสียชุมชนโครมของอุตสาหกรรมชุบโลหะ โดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส โดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำในการทำปฏิกิริยา น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียจริง มีปริมาณโครเมียมทั้งหมดเท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 3.65 ทำการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบแก้วและควอตซ์ ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการโฟโตคะตะไลซิสโดยตรงไม่สามารถกำจัดโครเมียมออกจากน้ำเสียได้ แต่เมื่อทดลองด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสทางอ้อม โดยการเติมไฮออนฟอร์เมทเข้าไปในระบบ จะทำให้โครเมียมทั้งประจุบวกหกและประจุบวกสามที่อยู่ในน้ำสามารถถูกกำจัดได้ทั้งหมด

มานพ ชลังวิเชียร (2550) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ซึ่งใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ค่าซีโอดีเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพการบำบัด และเนื่องจากน้ำเสียดังกล่าวมีคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนในรูปของแป้งและเซลลูโลส ซึ่งยากต่อการบำบัดเจือปนอยู่ จากการศึกษาหาปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม ตลอดจนสภาวะของกำลังวัตต์ของแสงยูวีและระยะเวลาที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้น TiO_2 5 กรัมต่อลิตร กำลังวัตต์หลอด

ยูวี 60 วัตต์ และระยะเวลาฉายแสงที่ 5 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดได้สูงสุด 33% (โดยค่าซีโอดีเริ่มต้น 1,486 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังการบำบัดลดลงเหลือ 972 มิลลิกรัมต่อลิตร) นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาผลของค่าพีเอช พบว่าที่สภาวะเป็นกลางเท่ากับ 7 ส่งผลต่อการบำบัดสูงสุดที่ 47% (โดยค่า COD เหลือเริ่มต้น 1270 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังการบำบัดลดเหลือ 668 มิลลิกรัมต่อลิตร) และจากการศึกษาผลของการเติมออกซิเจน พบว่าระบบที่ทำการเติมออกซิเจน จะมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าระบบที่ไม่เติมออกซิเจน ระบบที่เติมออกซิเจนประสิทธิภาพการบำบัด 39% ในขณะที่ระบบไม่เติมออกซิเจนประสิทธิภาพการบำบัด 33%

2) การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูวีออกซิเดชัน

พวงรัตน์ ขจิตวิษยานุกูล (2548) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น ของโรงพยาบาล โดยใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ร่วมกับแสงยูวี โดยการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียด้วย UV/ H_2O_2 นั้น พบว่าการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบการเติมหลายครั้งจะให้ประสิทธิภาพการลดลงของค่าซีโอดีสูงกว่าการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงครั้งเดียว นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้อีกด้วย โดยฉายแสงอัตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์

บทที่ 3

วิธีดำเนินการโรงงาน

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1) อุปกรณ์

- 1.1) ปีกเกอร์ ขนาด 600 และ 1,000 มิลลิลิตร
- 1.2) ปีเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร
- 1.3) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) (รุ่น E00340, YOKOGAWA)
- 1.4) ลูกยาง
- 1.5) เครื่องชั่ง
- 1.6) เครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก
- 1.7) แท่งแม่เหล็ก
- 1.8) กระจกชอคูมิเนียมฟอยล์
- 1.9) เครื่องวัดค่าสารประกอบอินทรีย์คาร์บอน (COD) (รุ่น AL200 COD Vario)
- 1.10) หลอดยวูวี่ชี ขนาด 40 วัตต์

2) สารเคมี

- 2.1) สารละลายมาตรฐาน pH 4, 7 และ 9
- 2.2) ผงไททานเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)
- 2.3) กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- 2.4) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)
- 2.5) สารละลายซีโอดี ความเข้มข้น 150 และ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2 น้ำเสียอุตสาหกรรม

โรงงานนี้ใช้น้ำเสียจากกระบวนการทดสอบรอยร้าวของเครื่องยนต์ จากบริษัท สยาม คูโบต้า คอร์ปอเรชั่น จำกัด ซึ่งมีลักษณะดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดของมลพิษ	ปริมาณ (มก.ต่อลิตร)
ความเป็นกรด - ต่าง (pH)	9-10
ความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายเป็นเวลา 5 วัน (BOD ₅)	190-700
สารประกอบอินทรีย์คาร์บอน (COD)	3,000 - 5,000
ของแข็งแขวนลอย (SS)	150 - 250
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)	2,000 - 4,000
น้ำมันและไข (Oil&Grease)	20 - 40

3.3 การติดตั้งและดำเนินระบบ

1) ระดับห้องปฏิบัติการ

ในระดับห้องปฏิบัติการจะทำการทดลอง เพื่อศึกษา 3 เงื่อนไขในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการร่วมโฟโตคะตะไลซิสและยูวีออกซิเดชัน คือ 1. ผลของความเป็นกรด-ต่าง (พีเอช; pH), 2. ชนิดของกรด และ 3. ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ดังสรุปในตารางที่ 8

1.1) นำน้ำเสียอุตสาหกรรมจากกระบวนการผลิตมาวัดค่าความเป็นกรด - ต่าง และค่าซีโอดี จากนั้นปรับค่าพีเอชให้ได้ตามต้องการ ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือกรดซัลฟูริก (H₂SO₄)

1.2) นำน้ำเสียปริมาณ 800 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร และเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการ จากนั้นปิดฝาด้วยกระดาษอลูมิเนียมฟอยล์

1.3) นำบีกเกอร์ทั้งหมดใส่ลงในกล่องปิด ที่ติดตั้งหลอดยูวีซีอยู่ด้านบน จำนวน 2 หลอด และกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก

1.4) วัดค่าซีโอดี ของน้ำเสีย เป็นระยะเวลา 5 วัน

ตารางที่ 8 รายละเอียดการทดลองและเงื่อนไขต่างๆ

ปัจจัยที่ศึกษา	ค่าพีเอชของน้ำเสีย	ชนิดของกรดที่ใช้ในการปรับค่าพีเอช	ปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1. ความเป็นกรด-ด่าง	6	H ₂ SO ₄	1
	7	H ₂ SO ₄	1
	8	H ₂ SO ₄	1
	ไม่ปรับ pH	-	1
2. ชนิดของกรด	6, 7, 8	HCl	1
	6, 7, 8	H ₂ SO ₄	1
	ไม่ปรับ pH	-	1
3. ปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์	ไม่ปรับ pH	-	0
	ไม่ปรับ pH	-	0.1
	ไม่ปรับ pH	-	1
	ไม่ปรับ pH	-	5
	ไม่ปรับ pH	-	10



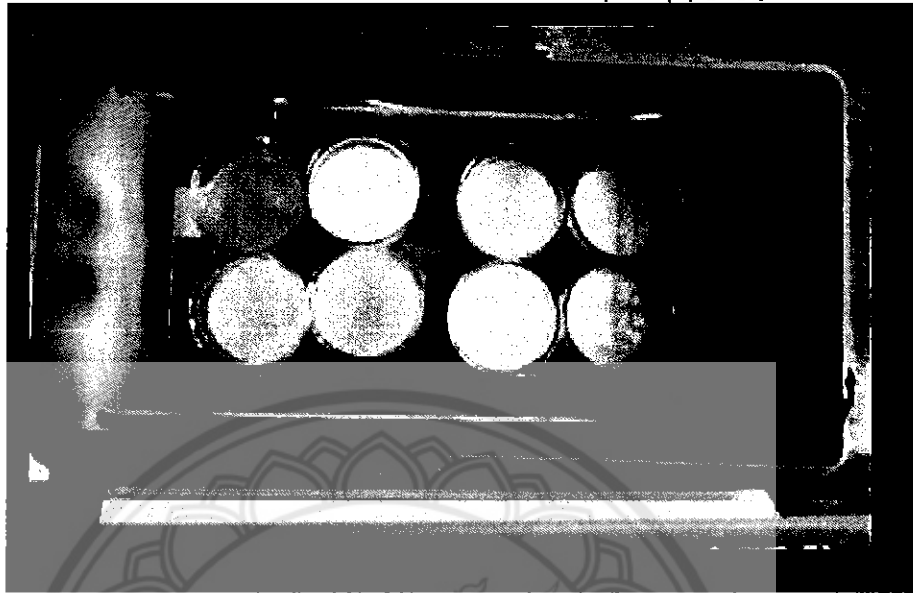
รูปที่ 6 น้ำเสียอุตสาหกรรมจากกระบวนการทดสอบรอยรั่วที่ใช้ในการทดลอง



25
สำนักหอสมุด

11 ต.ค. 2561

1. 7195850



รูปที่ 7 ตัวอย่างการทดลองในห้องปฏิบัติการ

2) ระดับภาคสนาม

ถังปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลสิสร่วมกับยูวีออกซิเดชัน ขนาด 200 ลิตร ได้ถูกพัฒนาและติดตั้งที่บริษัทสยาม คูโบต้า คอร์ปอเรชั่น จำกัด รายละเอียดดังนี้

- ถังโฟลีโอธิลิน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 เซนติเมตร และสูง 70 เซนติเมตร
- หลอดยูวีซี ขนาด 40 วัตต์ จำนวน 6 หลอด
- ระบบเติมอากาศ ขนาด 40 – 200 ลิตรต่อนาที
- ความเข้มของแสง 1.2 วัตต์ต่อลิตร, แสงที่สัมผัส 12 วัตต์ต่อโททาเนียมไดออกไซด์

1 กรัม

2.1) ขั้นตอนการดำเนินระบบ ได้แก่

- เติมน้ำเสีย ปริมาณ 200 ลิตร ลงในถังปฏิกรณ์ และเติมผงโททาเนียมไดออกไซด์

0.1 กรัมต่อลิตร

- วัดค่าซีโอดีของน้ำเสียอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 8 ถังปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิสร่วมกับยูวียูออกซิเดชันในระดับภาคสนาม

3) ระดับภาคอุตสาหกรรม

ถังปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิสร่วมกับยูวียูออกซิเดชัน ขนาด 3,000 ลิตร ได้ถูกพัฒนาและติดตั้งที่บริษัทสยาม คูโบต้า คอร์ปอเรชั่น จำกัด รายละเอียดดังนี้

- ถังโพลีเอทิลีน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 165 เซนติเมตร และสูง 200 เซนติเมตร
- หลอดยูวีซี ขนาด 55 วัตต์ จำนวน 20 หลอด
- ระบบเติมอากาศ ขนาด 40 – 200 ลิตรต่อนาที
- ความเข้มของแสง 0.37 วัตต์ต่อลิตร, แสงที่สัมผัส 3.7 วัตต์ต่อโททานิยมไดออกไซด์

1 กรัม

3.1) ขั้นตอนการดำเนินงานระบบ ได้แก่

- เติมน้ำเสีย ปริมาณ 2000 ลิตร ลงในถังปฏิกรณ์ และเติมผงโททานิยมไดออกไซด์

0.1 กรัมต่อลิตร

- วัดค่าซีโอดีของน้ำเสียอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 9 ถังปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลสิสร่วมกับยูวียูออกซิเดชันในระดับภาคอุตสาหกรรม

3.4 วิธีวิเคราะห์

1) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วัดโดยใช้เครื่องวัดแบบพกพา รุ่น E00340 จากบริษัท YOKOGAWA

2) ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen, DO)

วัดโดยใช้เครื่องวัดแบบพกพา รุ่น Cyberscan DO 110 จากบริษัท Eutech Instrument

3) สารอินทรีย์คาร์บอน (Chemical oxygen demand, COD)

ใส่น้ำเสียที่ผ่านการกรองเอาผงไททาเนียมไดออกไซด์ออกแล้ว นำน้ำเสียปริมาณ 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดบรรจุสารละลายซีโอดี ความเข้มข้น 150 และ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่มที่ความร้อน 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และวัดปริมาณซีโอดีในน้ำด้วยเครื่องวัดซีโอดี

นอกจากนี้ทางบริษัทได้ส่งตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วให้บริษัทภายนอก (Special Lab Envi and Consultant Co., Ltd) เพื่อตรวจวัดพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl Nitrogen; TKN), ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P) สังกะสี (Zn) ไซยาไนต์ (CN) นิกเกิล (Ni) และแมงกานีส (Mn)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

จากโครงการวิจัย เรื่องการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมจากอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรทางการเกษตรด้วยกระบวนการร่วมโฟโตคะตะไลซิสและยูวีออกซิเดชัน ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ชนิดของกรด และปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) จากนั้นจึงขยายผล ไปยังระดับภาคสนามและภาคอุตสาหกรรม โดยใช้เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด ที่ได้จากการทดลอง

4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระดับห้องปฏิบัติการ

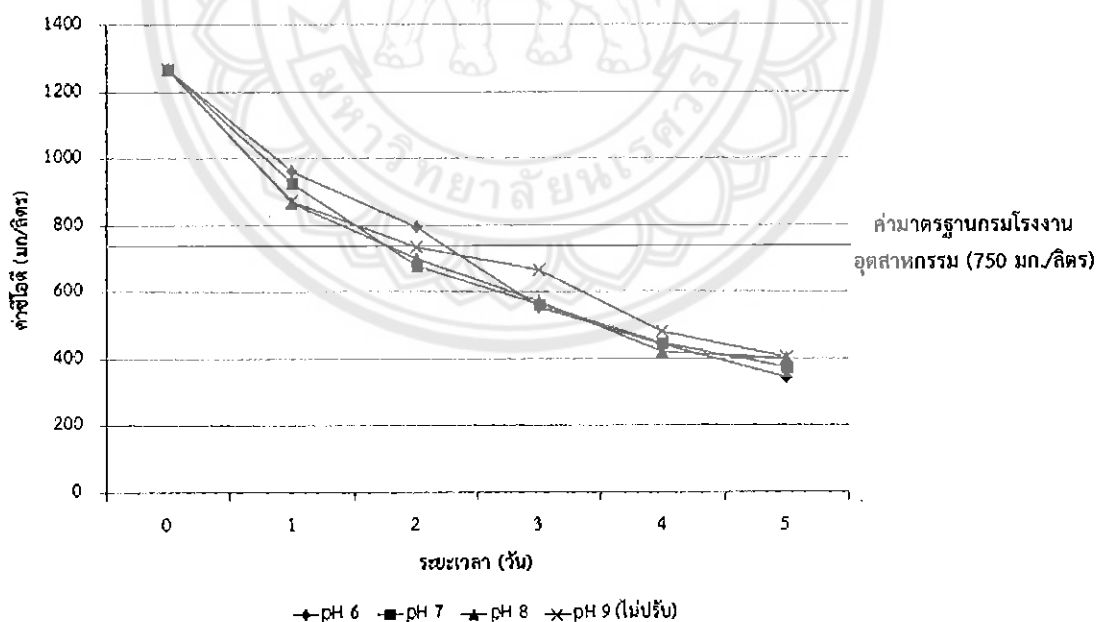
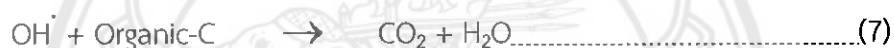
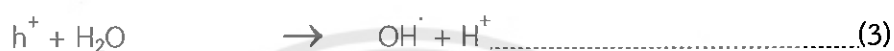
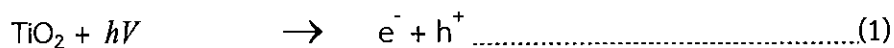
1) ผลของความเป็นกรด-ด่าง

น้ำเสียอุตสาหกรรมจากกระบวนการทดสอบรอยร้าวของเครื่องยนต์ จากบริษัทสยาม คูโบต้า คอร์ปอเรชั่น มีค่าพีเอช อยู่ระหว่าง 9-10 ปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อนใน น้ำเสียวัดโดยใช้ค่าซีโอดีเป็นหลัก (Chemical Oxygen Demand; COD) จากนั้นนำน้ำเสียอุตสาหกรรมดังกล่าวมาปรับค่าพีเอชให้ได้ประมาณ 6, 7 และ 8 ด้วยกรดซัลฟูริก จากการทดลองพบว่า ที่ค่าพีเอช 7 (กลาง) ค่าซีโอดีลดลงจากเริ่มต้น 1270 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 927 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 1 ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยค่าซีโอดีอยู่ที่ 678, 562 และ 446 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 5 วัน ค่าซีโอดีอยู่ที่ 402 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงถึงภาพที่ 10 ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 68%

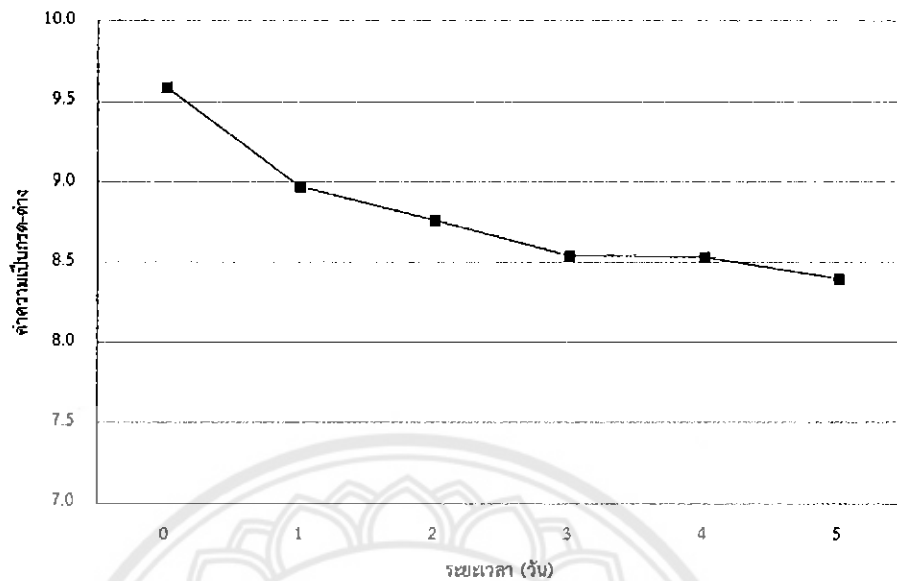
เมื่อปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้เป็น 6 (กรดอ่อน) ค่าซีโอดีในน้ำที่ผ่านบำบัดแล้วจะลดลงน้อยที่สุดในช่วง 2 วันแรก จากเริ่มต้น 1270 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 796 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณของค่าซีโอดี ได้เพิ่มขึ้นในวันที่ 3-5 และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ที่ 72% (ค่าซีโอดี 344 มิลลิกรัมต่อลิตร) และในขณะเดียวกันเมื่อปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้เป็น 8 (ด่างอ่อน) ค่าซีโอดีจะลดลงมากที่สุดในช่วง 2 วันแรก จากเริ่มต้น 1270 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 701 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดลงอย่างต่อเนื่องเหลือ 398 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 68%

สำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ไม่ผ่านการปรับค่าพีเอช พบว่าให้ประสิทธิภาพไม่ต่างจากค่าพีเอชที่ 6, 7 และ 8 มากนัก โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ประสิทธิภาพอยู่ที่ 68% ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าค่าพีเอช ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสร่วมกับยูวีออกซิเดชันอย่างเห็นได้ชัด สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่ค่าพีเอชของน้ำเสีย

ขณะดำเนินการทดลอง แสดงดังรูปที่ 10 จาก น้ำเสียอุตสาหกรรมที่ไม่ผ่านการปรับค่าพีเอช จะมีค่าพีเอชเริ่มต้นอยู่ที่ 9.6 และลดลงอย่างต่อเนื่องจนเหลือ 8.4 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง การลดลงของค่าพีเอชนี้สามารถยืนยันการสลายสารอินทรีย์คาร์บอนด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ดังสมการ



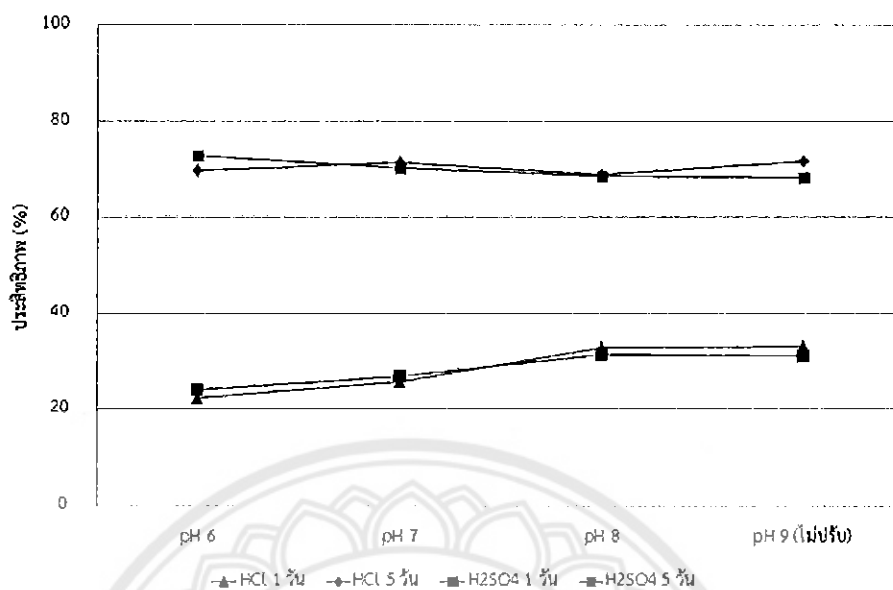
รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงของค่าซีไอดีในน้ำเสียที่ค่าพีเอชต่างๆ



รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชในน้ำเสียขณะดำเนินการทดลอง

2) ผลของสารละลายกรด

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ค่าพีเอชต่างๆ โดยใช้สารละลายกรด 2 ชนิดในการปรับค่าพีเอช คือ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) จากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่า เมื่อระยะเวลาในการบำบัด 1 วัน ประสิทธิภาพการบำบัดจะอยู่ระหว่าง 22-33% สำหรับน้ำเสียที่ปรับด้วยกรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริก และประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็น 68-72% เมื่อระยะเวลาในการบำบัด 5 วัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ผลของสารละลายกรดไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญ

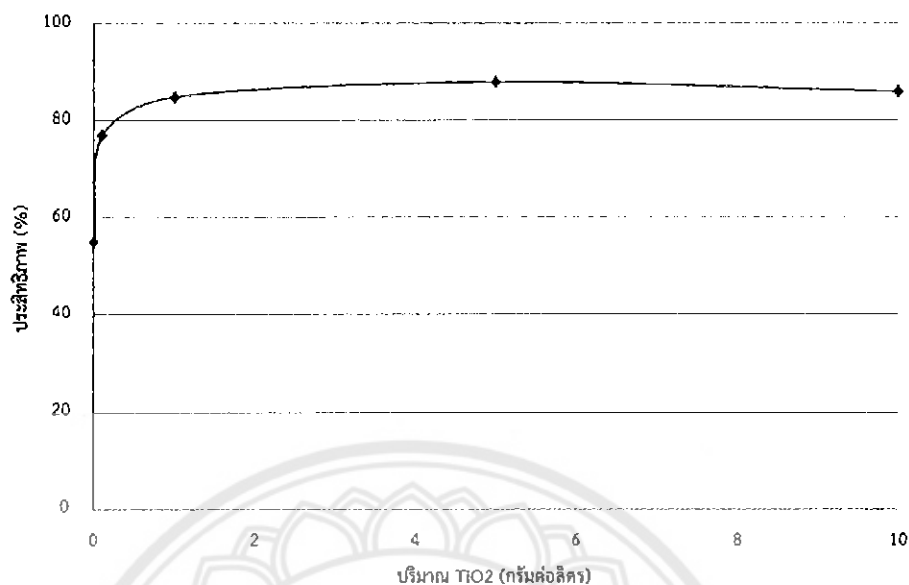


รูปที่ 12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ปรับค่าพีเอชด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก และกรดไฮโดรคลอริก

3) ผลของปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์

ในการทดลองนี้ นำน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ไม่ผ่านการปรับค่าพีเอชมาศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดที่ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ ได้แก่ 0, 0.1, 1, 5 และ 10 กรัมต่อลิตร จากรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่า เมื่อไม่เติมไททาเนียมไดออกไซด์ ประสิทธิภาพการบำบัดจะอยู่ที่ 55% ซึ่งแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดด้วยกระบวนการยูวีออกซิเดชันเพียงอย่างเดียว และเมื่อเติมปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 0.1 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็น 77% โดยประสิทธิภาพการบำบัดที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส และประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็น 85% เมื่อเติมปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 1 กรัมต่อลิตร จากนั้นประสิทธิภาพการบำบัดจะคงที่ประมาณ 85-88% ในปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 5 และ 10 กรัมต่อลิตร ซึ่งค่าซีไอทีในน้ำหลังบำบัดอยู่ที่ประมาณ 177 มิลลิกรัมต่อลิตร

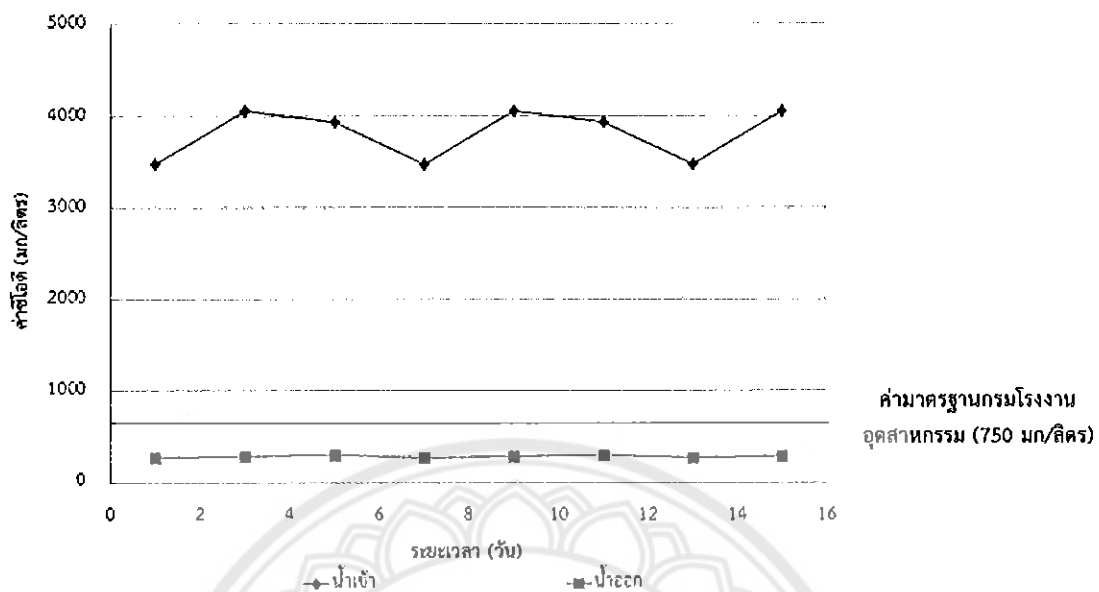
จะเห็นได้ว่า การใส่ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ ที่เพิ่มขึ้น (5 และ 10 กรัมต่อลิตร) จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกับปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 1 กรัมต่อลิตร ดังนั้นปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมนี้ คือ 1 กรัมต่อลิตร ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณการใช้สารเคมีและค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมี



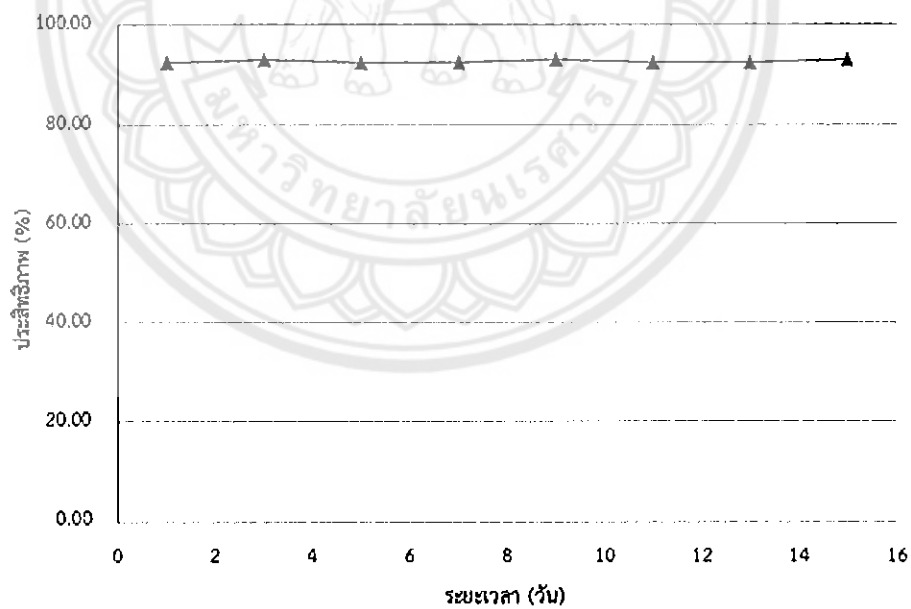
รูปที่ 13 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ต่างๆ

4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระดับภาคสนาม

สำหรับการทดลองในระดับภาคสนาม เป็นการนำเงื่อนไขที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ มาทำการใช้บำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณมากขึ้น ในระดับภาคสนามนี้จะใช้ถังปฏิกรณ์ ขนาด 200 ลิตร และปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 0.1 กรัมต่อลิตร เนื่องจากในระดับภาคสนามมีน้ำเข้าในการบำบัดที่มากขึ้น และไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้อยู่ในเกรดการค้า จึงมีราคาที่สูงมาก จึงเลือกทำการทดลองโดยใส่ปริมาณไททาเนียมที่ 0.1 กรัมต่อลิตรก่อน โดยใช้น้ำเสียอุตสาหกรรมที่ไม่ผ่านการปรับค่าพีเอช ซึ่งจะทำให้การทดลองอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 15 วัน โดยการเติมน้ำเสียใหม่และวิเคราะห์คุณภาพน้ำทุกๆ 2 วัน จากรูปที่ 14 และ 15 จะเห็นได้ว่า ค่าซีไอดีในน้ำเสียเริ่มต้น 4000-5000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือประมาณ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ตลอดการทดลอง ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 92-93% จึงสรุปได้ว่า ที่ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่ 0.1 กรัมต่อลิตร ในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสร่วมกับยูวีออกซิเดชันในระดับภาคสนามให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีเยี่ยม



รูปที่ 14 เปรียบเทียบค่าซีโอติในน้ำเสียก่อนและหลังบำบัดในระดับภาคสนาม



รูปที่ 15 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระดับภาคสนาม

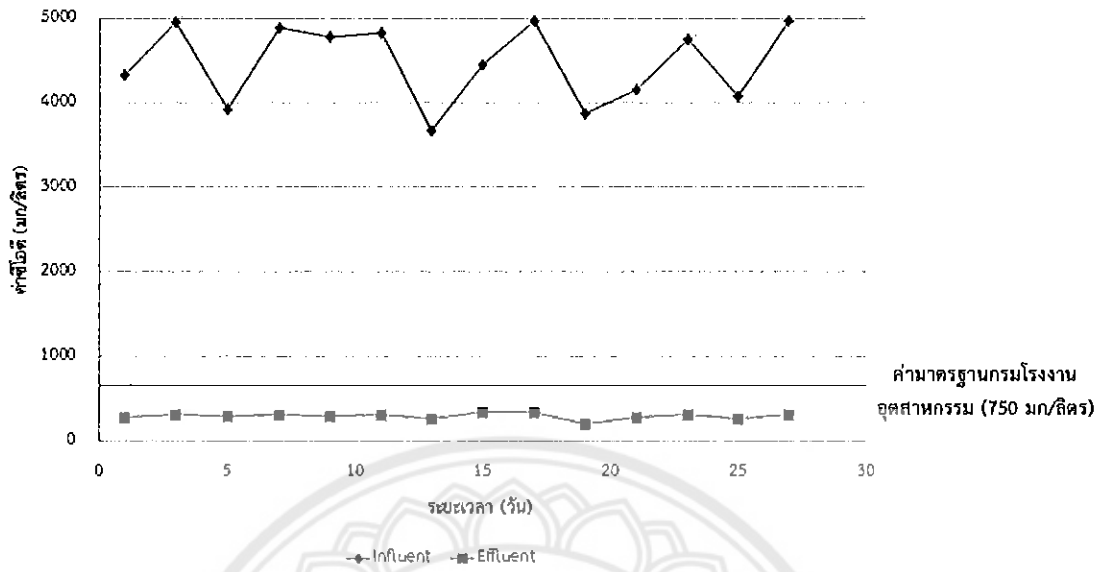
4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระดับภาคอุตสาหกรรม

เมื่อการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการฟิโตะคะตะไลสิสร่วมกับยูวีออกซิเดชันให้ผลที่ดีเยี่ยมในระดับภาคสนาม ในการทดลองนี้จึงเป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบจริง ซึ่งมีขนาด 3000 ลิตร โดยในระดับภาคอุตสาหกรรมนี้จะติดตั้งระบบมาตรน้ำ เพื่อวัดปริมาณน้ำเข้าและออก มีการวางท่อสำหรับปล่อยน้ำเสียเข้าและออกจากถังปฏิกรณ์ มีการติดตั้งระบบเปิด-ปิดอัตโนมัติ เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกปล่อยไปยังบ่อพักน้ำ เพื่อนำน้ำที่บำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์ต่อไป

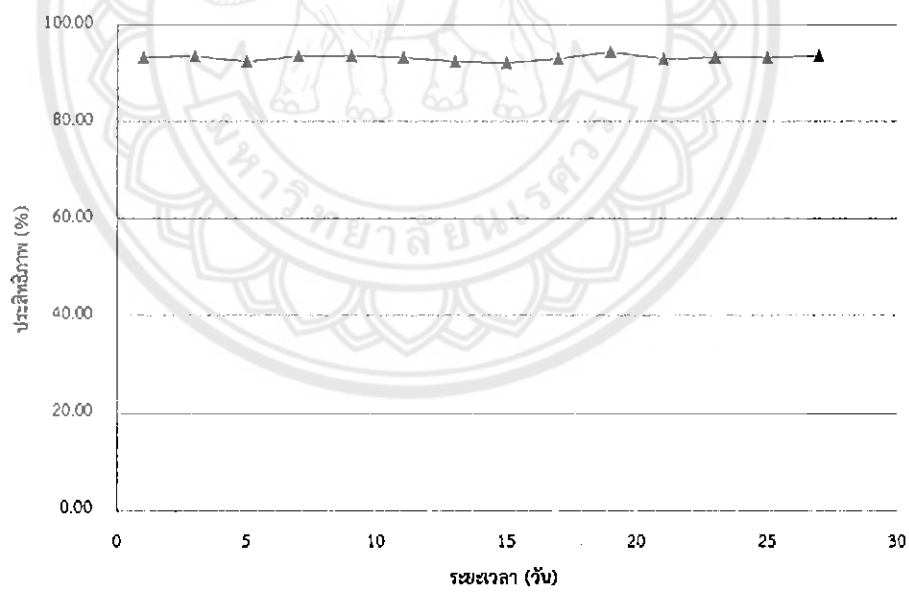
ระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียในระดับภาคสนามนี้จะทำการบำบัดเป็นเวลา 2 วัน โดยจะทดลองต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 30 วัน ดังแสดงในรูปที่ 16 และ 17 จะเห็นได้ว่า ค่าซีโอดีในน้ำเสียลดลงจาก 4000-5000 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 250-300 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยผลการทดลองที่ได้ค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดการทดลอง และมีประสิทธิภาพในการบำบัดเฉลี่ยอยู่ที่ 93%

ในส่วนของปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ ที่ใส่เข้าไปเพื่อเป็นตัวช่วยในการเร่งปฏิกิริยานี้ ระบบจะถูกออกแบบเพื่อป้องกันไททาเนียมไดออกไซด์ ไม่ให้หลุดไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยวางตำแหน่งของหัวปล่อยน้ำ สูงกว่ากันถังประมาณ 50 เซนติเมตร ร่วมกับการใช้ตัวกรองช่วย และพบว่าไททาเนียมไดออกไซด์สามารถนำมาใช้ต่อได้ แม้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดของไททาเนียมไดออกไซด์อาจจะลดลงเล็กน้อย แต่ยังสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ (>90%) จึงสรุปได้ว่าการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการร่วมระหว่างฟิโตะคะตะไลสิสและยูวีออกซิเดชันในระดับภาคอุตสาหกรรมให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงถึง 93% ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีสูง โดยน้ำเสียก่อนและหลังบำบัด แสดงในรูปที่ 18 จะเห็นได้ว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะค่อนข้างใส และมีค่าซีโอดีประมาณ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร

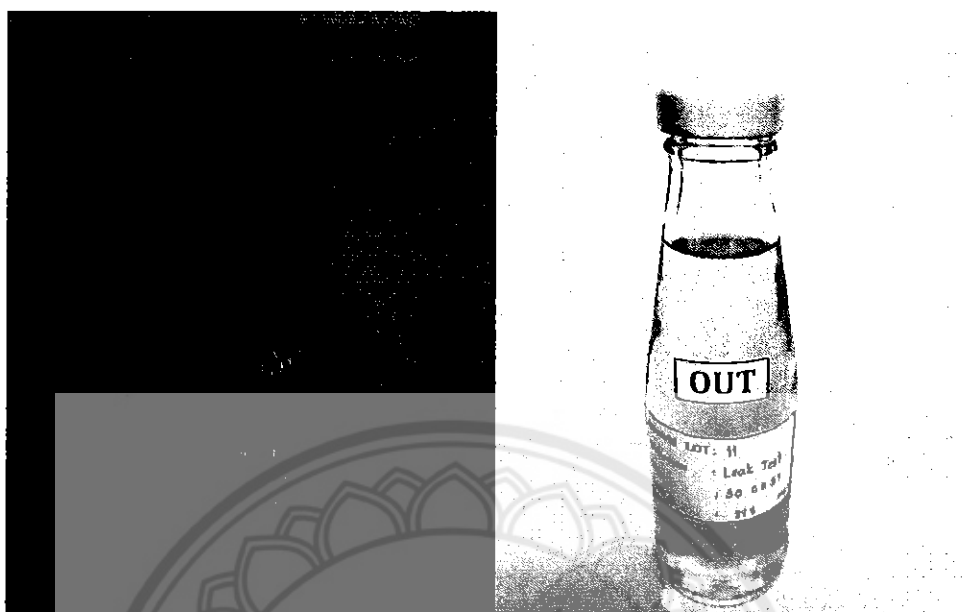
นอกจากนี้คุณภาพของน้ำอื่นๆ ทั้งก่อนและหลังบำบัด เช่น ของแข็งทั้งหมด (Suspended solid; SS), ของแข็งละลายน้ำ (Total dissolved solid; TDS), ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl nitrogen; TKN), ไขมัน (Oil & grease) และสังกะสี (Zinc) แสดงในตารางที่ 9 และ 10 จะเห็นได้ว่าคุณภาพน้ำในภาพรวมดีขึ้น เมื่อบำบัดด้วยกระบวนการฟิโตะคะตะไลสิสร่วมกับยูวีออกซิเดชัน



รูปที่ 16 เปรียบเทียบค่าซีไอดีในน้ำเสียก่อนและหลังบำบัดในระดับภาคอุตสาหกรรม



รูปที่ 17 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระดับภาคอุตสาหกรรม



รูปที่ 18 เปรียบเทียบน้ำก่อนและหลังบำบัด

ตารางที่ 9 สรุปคุณภาพน้ำเสียอุตสาหกรรมก่อนการบำบัด

Item	Area of monitoring	Parameter	Results	Standard ⁽¹⁾	Unit	Comparison with the standard
1	Wastewater	pH	9.2	5.5-9.0	-	No
2		Temperature	34.5	45	°C	Pass
3		Biochemical Oxygen Demand (BOD ₅)	3,300	500	mg/l	No
4		Chemical Oxygen Demand (COD)	7,200	750	mg/l	No
5		Suspended Solids (SS)	55	200	mg/l	Pass
6		Total Dissolved Solids (TDS)	3,702	3000	mg/l	No
7		Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	39.20 ⁽²⁾	100	mg/l	Pass
8		Oil & Grease	36.6	10	mg/l	No
9		Zinc	1.170 ⁽²⁾	5	mg/l as Zn	Pass
10		Cyanide	ND ⁽³⁾	0.2	mg/l as HCN	Pass
11		Nickel	0.031 ⁽²⁾	1	mg/l as Ni	Pass
12		Total Phosphorus	0.274 ⁽²⁾	-	mg/l as P	-
13		Manganese	00040 ⁽²⁾	5.0	mg/l as Mn	Pass

Remark: ⁽¹⁾ The standard method of Industrial Estate Authority of Thailand announced the 76/2524 on common rules for waste water into general sewage system.

⁽²⁾ Assure by Special Lab Egoj & Ceaurulize Co., Ltd.

N.D. = Not detected

ตารางที่ 10 สรุปคุณภาพน้ำเสียอุตสาหกรรมหลังการบำบัด

Item	Area of monitoring	Parameter	Results	Standard ^(a)	Unit	Comparison with the standard
1	Treated water	pH	7.8	5.5-9.0	-	Pass
2		Temperature	30.6	45	°C	Pass
3		Bio-chemical Oxygen Demand (BOD ₅)	19	500	mg/l	Pass
4		Chemical Oxygen Demand (COD)	210	750	mg/l	Pass
5		Suspended Solids (SS)	57	200	mg/l	Pass
6		Total Dissolved Solids (TDS)	956	3000	mg/l	Pass
7		Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	15.68 ^(b)	100	mg/l	Pass
8		Oil & Grease	4.10	10	mg/l	Pass
9		Zinc	ND. ^(c)	5	mg/l as Zn	Pass
10		Cyanide	ND. ^(c)	0.2	mg/l as HCN	Pass
11		Nickel	0.559 ^(b)	1	mg/l as Ni	Pass
12		Total Phosphorus	1.767 ^(b)	-	mg/l as P	-
13		Manganese	ND. ^(c)	5.0	mg/l as Mn	Pass

Remark ^(a) The standard method of Industrial Estate Authority of Thailand announced the TE 2554 on common rules for waste water into

sewerage system.

^(b) Assure by Special Lab Eppit & Conruxant Co., Ltd.

N.D. = Not detected

4.4 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดำเนินระบบบำบัดน้ำเสีย

สำหรับค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลสิสร่วมกับยูวีออกซิเดชันในระดับภาคอุตสาหกรรมประกอบด้วยค่าติดตั้งระบบ รวมเป็นเงิน 154,000 บาท และค่าดำเนินระบบ รวมเป็นเงิน 4,123 บาท ซึ่งในระยะเวลา 1 เดือน สามารถบำบัดน้ำเสียได้ปริมาณ 22,500 ลิตร (1500 ลิตร × 15 วัน) ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย 0.18 บาทต่อลิตร หรือ 180 บาทต่อลบ.ม. ซึ่งแตกต่างจากระบบเก่า ที่มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียอยู่ที่ 0.51 บาทต่อลิตร หรือ 510 บาทต่อลบ.ม. และยังเสียค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดกากตะกอนเพิ่มอีก 6500 บาทต่อตัน

เมื่อเปรียบเทียบแล้ว ระบบบำบัดด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลสิสร่วมกับยูวีออกซิเดชันสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 330 บาทต่อลบ.ม. ทั้งนี้ยังสามารถพัฒนาและปรับปรุงเพื่อลดต้นทุนได้อีกต่อไป เช่น ลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสีย ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ในเกรดการค้า เป็นต้น

ตารางที่ 11 ค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการบำบัดน้ำเสียในระยะเวลา 1 เดือน

รายการ	รายละเอียด	จำนวนเงิน (บาท)
การติดตั้งระบบ	หลอดยูวี และควอทซ์	44,000
	ถังปฏิกรณ์	70000
	ระบบกรอง	5000
	ระบบปั๊ม	30000
	สายไฟ และอื่นๆ	5000
	รวม	154,000
การดำเนินระบบ	ค่าไฟ (790 kWhr/เดือน หน่วยละ 3.7 บาท/kWhr)	2923
	ค่าสารเคมี ไททาเนียมไดออกไซด์ (200 กรัม)	1200
	รวม	4123

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยและทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบการบำบัดด้วยกระบวนการร่วมโฟโตคะตะไลซิสและยูวีออกซิเดชัน โดยผลการวิจัยและทดลองสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) จากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย (ช่วง 6-9) และชนิดของกรดที่ใช้ในการปรับคุณภาพน้ำเสีย (H_2SO_4 และ HCl) ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย และปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม คือ 1 กรัมต่อลิตร โดยให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย 85%

2) จากการทดลองในระดับภาคสนาม (ปริมาตร 200 ลิตร) และภาคอุตสาหกรรม (ปริมาตร 3000 ลิตร) พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึง 92-93% โดยปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลงเหลือ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของการนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร

3) ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียคิดเป็น 0.18 บาทต่อลิตร หรือ 180 บาทต่อลบ.ม.

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรศึกษาผลของเวลาต่อการบำบัดน้ำเสีย

2) ควรศึกษาประสิทธิภาพของระบบ เมื่อใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ เกรดการค้า

3) ควรมีการพัฒนาต่อยอดโดยการนำโซลาร์เซลล์มาใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดำเนินระบบเพื่อลดการใช้กระแสไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย

4) ควรศึกษาค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่พีเอชที่แตกต่างกันมากขึ้น เช่น ที่พีเอช 3 หรือที่พีเอช 10

5) ควรศึกษาหาชนิดของกรดเพิ่มเติม เช่น กรดไนตริก กรดฟอสฟอริก

6) ควรศึกษาช่วงค่าความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ 0.1 – 1 กรัมต่อลิตร ให้ละเอียดมากยิ่งขึ้น

7) จากผลการทดลองพบว่าค่าไนโตรเจนลดลงประมาณ 40% ควรทำการศึกษากลไกการบำบัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสและยูวีออกซิเดชัน



เอกสารอ้างอิง

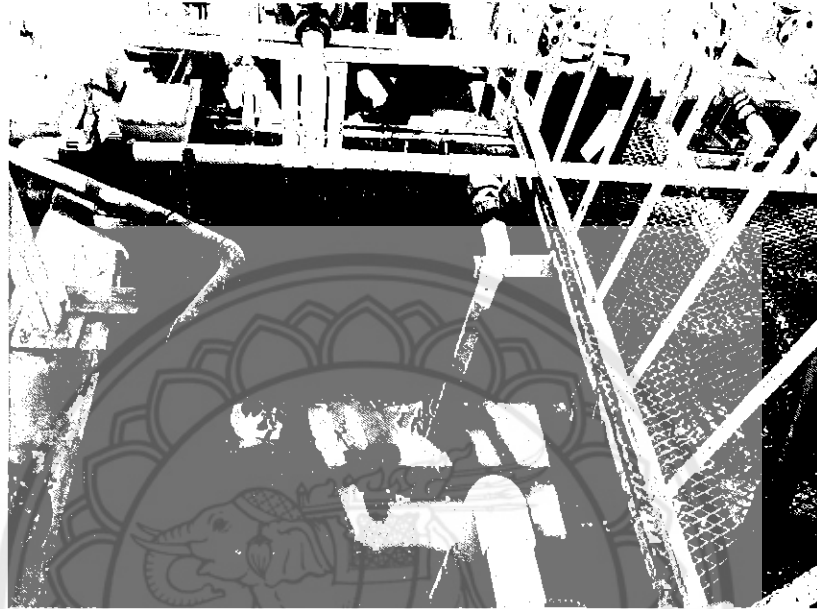
เอกสารอ้างอิง

- จุฬาลักษณ์ ชาญกุล. (2546). การกำจัดโครเมียมออกจากน้ำเสียขุบฮาร์ดโครมของอุตสาหกรรมขุบโลหะ โดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- น.ต.หญิง นันทพร เภาสุวรรณ. (2558). วิธีที่ใช้ในการกำจัดเชื้อโรค. ค้นเมื่อวันที่ 10 เมษายน 2558, จาก <http://www.navy.mi.th/science/Webpage/newdocument/clo2.htm>
- พวงรัตน์ ขจิตวิษยานุกุล. (2548). โครงการการใช้กระบวนการแอดวานซ์ออกซิเดชันในการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นสำหรับน้ำเสียโรงพยาบาล. รายงานวิจัยภาควิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- มานพ ชลังวิเชียร. (2550). การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลซิสโดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วิซชล มานาดี และคณะ. (2556). การบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส. ปรินญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วุทธินันท์ศิริพงศ์. (2544). การบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมผ้าด้วยกระบวนการโฟโตออกซิเดชันโดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Anderson, J. E., Springer W. S., and Strosberg G.G. (1981). Application of reverse osmosis to automotive electrocoat paint wastewater recycling. *Desalination*, 36(2) : 179-188.
- Bing-Nan, L., Woei-Deng, L. and Jie-chung, L. (1999). Photocatalytic decolorization of methylene blue in aqueous TiO₂ suspension. *Environ. Eng. Sci.* 16(3) : 165-175.
- Fox, M. A. and Dulay, M. T. (1993). Heterogeneous photocatalysis. *Chem. Rev.* 93(1) : 341-357.
- Gimenez, J., Curco, D. and Marco, P. (1997). Reactors modeling the photocatalytic oxidation of wastewater. *Wat. Sci. Tech.* 35(4) : 207-213.
- langphasuk, M. (1997). The potential for photocatalytic oxidation of dyes in textile wastewater. Ph.D. thesis. Asian Institute of Technology, Bangkok.
- Malato, S., Blanco, J., Richter, C., Corco, D. and Gimenez, J. (1997). Low-Concentrating CPC collectors for photocatalytic water detoxification comparison with a

- mediumconcentrating solar coolector. *Wat. Sci. Tech.* 35(4) : 157-164.
- Poulios, I. and Aetopoulou, I. (1999). Photocatalyticdegradation of the textile day reactive orange 16 in the presence of TiO_2 suspension. *Environ. Technol.* 20 : 479-487.
- Stafford, U., Gray, K. A. and Kamat, P. V. (1996). Photocatalytic degradation of Organic contaminants:halophenols and related model compounds. *Heterogeneous Chemistry Review* 3 : 77-104.
- Tang, W. Z., Zhang, Z., An, H., Quintana, M. O. and Torres, D.F. (1997). TiO_2 /UV photodegradation of azo dyes in aqueous solution. *Environ. Technol.* 18 :1-12.
- Tseng, J. and Huang, C. P. (1991). Photocatalytic oxidation process for the treatment oforganic wastes, pp. 262-277. In W. W. Eckenfelder, A. R. Bowers and J.A.Roth (eds.). *Chemical Oxidation, 2 : Technologies for the nineties.*
- Venkatadri, R. and Peters, R. W. (1993). Chemical oxidation technologies: Ultraviolet light/hydrogen peroxide, fenton's reagent and titanium dioxide-assisted photocatalysis. *Hazardous waste & Hazardous Materials* 10(2) : 107-149.



ภาคผนวก



บ่อพักน้ำเสียจากกระบวนการทดสอบรอยรั่ว



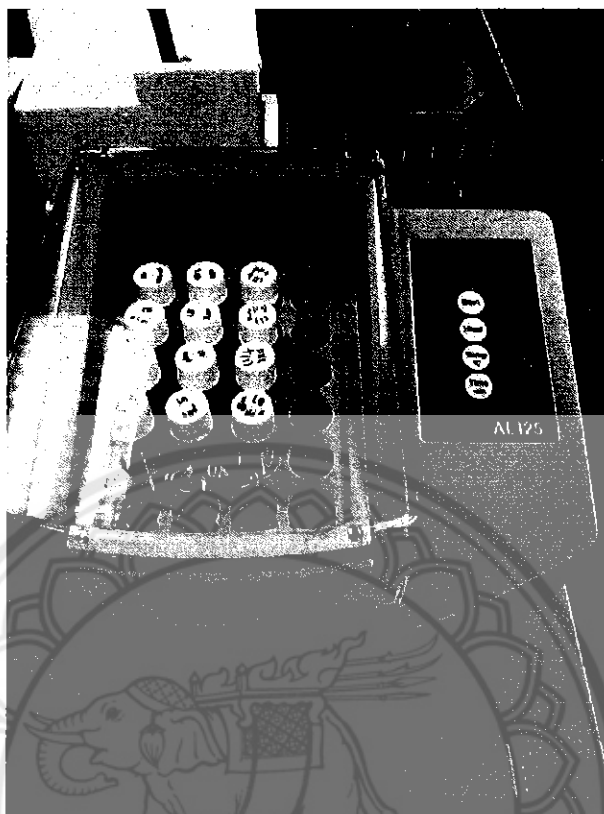
การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย



การวัดคุณภาพน้ำเสียระหว่างทำการทดลอง



การเตรียมน้ำและถังปฏิกรณ์ในระดับภาคสนาม



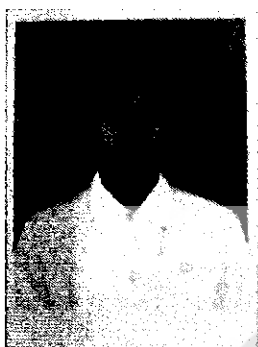
การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำ



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นางสาว รุจิรา เสมาทอง
 เกิด 11 มีนาคม 2536
 ภูมิลำเนา 1/3 ม.1 ต.ตาลเดี่ยว อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์
 67110

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหล่มสัก
 วิทยาคม

- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail rujirasemathong@gmail.com



ชื่อ นางสาว สุกัญญา เปรมคำสี
 เกิด 24 สิงหาคม 2535
 ภูมิลำเนา 267/1 ม.2 ต.วังแฉม อ.คลองขลุง จ.กำแพงเพชร
 62120

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนวังแฉม
 วิทยาคม

- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail sukanya_premkamsri@hotmail.com