

การบำบัดน้ำเสียจากสี้อมด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

PHOTOCATALYSIS PROCESS FOR DYE WASTEWATER TREATMENT

นายวิชพล	มานาดี	รหัส 53364574
นายสุชน	พัสกุล	รหัส 53362372
นายหริรักษ์	กระพันแก้ว	รหัส 53364628
นายธวัชชัย	เคียนหินตั้ง	รหัส 53364437

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 20 ก.ค. 2556
เลขทะเบียน..... 16900483
เลขเรียกหนังสือ..... ผอ
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ 11461

๕๕๖

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขา  
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
ปีการศึกษา 2556



## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ      การบำบัดน้ำเสียจากสี้อมด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส  
ผู้ดำเนินโครงการ      นายวิชพล    มานาดี      รหัส 53364574  
   นายสุธน      พัสกุล      รหัส 53362372  
   นายหริรักษ์    กระพันแก้ว    รหัส 53364628  
   นายธวัชชัย    เคียนหินดั่ง    รหัส 53364437

ที่ปรึกษาโครงการ      ดร. วิลาวัลย์    คณิตชัยเดชา  
สาขาวิชา              วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ภาควิชา                วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา            2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

.....*Wlanam U*.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา)

.....*Jangpa Jit*.....กรรมการ  
(ดร. ธนพล เท์ญรัตน์)

.....*A M*.....กรรมการ  
(อาจารย์อำพล เตโซวานิชย์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส	
ผู้ดำเนินโครงการ	นายวิชพล มานาดี	รหัส 53364574
	นายสุธน พัสกุล	รหัส 53362372
	นายธวัชชัย เคียนหินตั้ง	รหัส 53364437
	นายพริกรักษ์ กระพันแก้ว	รหัส 53364628
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา	
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	
สถาบัน	มหาวิทยาลัยนเรศวร	
ปีการศึกษา	2556	

#### บทคัดย่อ

เครื่องปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิสประกอบด้วย กระจกสีเหลี่ยมขนาด 13 ลิตร หลอดแบล็คไลท์ (36 วัตต์), จำนวน 5 หลอด กวนและสูบน้ำด้วยปั๊ม เป็นค่าในการสังเคราะห์สีของน้ำเสีย น้ำเสียสังเคราะห์ภายในถังปฏิกรณ์ที่มีอัตราการไหล 0.87 ลิตร / ชั่วโมง (HRT 5 ชั่วโมง) และมีการเติมไททาเนียมไดออกไซด์ 1.3 กรัม ลงในถังปฏิกรณ์ทุกๆสัปดาห์ ในการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส มีการศึกษาทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าเครื่องปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิสสามารถบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งน้ำออกที่ได้ใสและไม่มีสี ประสิทธิภาพของการทำงานของถังปฏิกรณ์จะลดน้อยลงตามระยะเวลาการดำเนินงานเนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์บางส่วนได้หลุดลอยออกไปกับน้ำออก เห็นได้จากกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสก็มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เห็นได้จากผลสแกนสเปคโตร UV-vis ขั้นตอนกำจัดน้ำเสียสีย้อมได้รับการกำจัดจากโมเลกุลขนาดใหญ่ของสีย้อมจนเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก

Project title	PHOTOCATALYSIS PROCESS FOR DYE WASTEWATER TREATMENT
Name	Mr. Vichapol Manadee ID. 53364574 Mr. Suton Phassakum ID. 53362372 Mr. Thawatchai Kianhintang ID. 53364437 Mr. Harirak Krapankeaw ID. 53364628
Project advisor	Dr. Wilawan Khanitchaidecha
Major	Environmental Engineering
Department	Civil Engineering
Institution	Naresuan University
Academic year	2013

---

### Abstract

A photocatalysis reactor consisting of 13 L of rectangular glass column, 5 blacklights (36 watts), stirring and pumping systems was set-up to treat the synthetic dye wastewater. The wastewater was fed to the reactor with a flow rate of 0.87 L/hour (HRT 5 hours) and the 1.3 g of  $\text{TiO}_2$  was added weekly in the reactor. In the study, the performance of photocatalysis reactor was studied in a short- and long-term. The results show that the photocatalysis reactor can treat the dye wastewater effectively; the effluent was clear and colorless. However, the reactor performance was slightly decreased with a longer operating period, this is due to some  $\text{TiO}_2$  was washed out. The sharp decrease in DO and pH values when adding the  $\text{TiO}_2$  refers the occurrence of effective photocatalysis process. According to the results of scanning UV-Vis spectroscopy, the removal process of dye wastewater was clarified; the large molecules of dye was broke to smaller molecules and  $\text{CO}_2$  consequently.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์ และสนับสนุนจาก ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ซึ่งได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาและคำแนะนำ รวมทั้งแนวทางแก้ไขแก้ไขในระหว่างการดำเนินการศึกษาโครงการนี้

คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณคุณ ดร. อุปถัมภ์ นาครักษ์ ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำอย่างดีในการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม และขอขอบพระคุณ นายแพทย์สมเกียรติ ตั้งพิทักษ์กุล (โรงสีเอี่ยมเฮงล้ง (สระบุรี) จำกัด) สำหรับทุนการศึกษาที่ใช้ในระหว่างการดำเนินการศึกษา ซึ่งส่งผลให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณ ดร. ธนพล เพ็ญรัตน์, อาจารย์อำพล เตโช วาณิชย์ และอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และข้อเสนอแนะต่างๆ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการทุกท่าน สำหรับการประสานงานที่ติดต่อระยะเวลาในการทำปริญญาโท

คณะผู้ดำเนินงานหวังว่า ข้อมูลในโครงการฉบับนี้คงเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจในด้านเทคโนโลยีการบำบัดน้ำ หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องไม่มากนัก



คณะผู้ดำเนินโครงการ  
นาย วิชชพล มานาดี  
นาย สุธน พัสกุล  
นาย ธวัชชัย เคียนหินตั้ง  
นาย ทวีรักษ์ กระพันแก้ว  
ธันวาคม 2556

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	๗
บทคัดย่อภาษาไทย.....	๘
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๙
กิตติกรรมประกาศ.....	๑๐
สารบัญ.....	๗
สารบัญตาราง.....	๘
สารบัญรูป.....	๑๑
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	3
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....	3
2.1 กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส.....	3
2.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส.....	5
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส.....	6
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	8
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	8
3.2 การติดตั้งถังปฏิกรณ์.....	8
3.3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....	10
3.4 วิธีทดลอง.....	10
3.5 วิธีการวิเคราะห์.....	10
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	11
4.1 ประสิทธิภาพของระบบในช่วงเริ่มต้น.....	11
4.2 ประสิทธิภาพของระบบในระยะยาว.....	13
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	18
เอกสารอ้างอิง.....	19
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	20

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของโททานิยมไดออกไซด์.....	4



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การกระจายตัวของอิเล็กตรอนและโฮลในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส.....	3
รูปที่ 2.2 ผงของไททานเนียมไดออกไซด์.....	4
รูปที่ 2.3 ความยาวคลื่นต่างๆ ของแสงยูวี.....	5
รูปที่ 3.1 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส.....	9
รูปที่ 4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำเสียจากสีย้อมสังเคราะห์ .....	11
รูปที่ 4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในสัปดาห์ที่ 1 (วันที่ 1-7).....	12
รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตรของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นเวลา 1 สัปดาห์ .....	12
รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างน้ำเสียจากสีย้อมสังเคราะห์ และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นเวลา 1 สัปดาห์ (เรียงจากซ้ายไปขวา).....	13
รูปที่ 4.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในสัปดาห์ที่ 2 (วันที่ 1-7).....	13
รูปที่ 4.6 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในสัปดาห์ที่ 3 (วันที่ 1-7).....	14
รูปที่ 4.7 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในสัปดาห์ที่ 4 (วันที่ 1-7).....	14
รูปที่ 4.8 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในสัปดาห์ที่ 5 (วันที่ 1-7).....	15
รูปที่ 4.9 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในสัปดาห์ที่ 6-7 (วันที่ 1-7).....	15
รูปที่ 4.10 แสดงตัวอย่างน้ำเสียจากสีย้อมสังเคราะห์และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในสัปดาห์ที่ 6-7 (เรียงจากซ้ายไปขวา).....	16
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของค่า DO ระหว่างทำการทดลอง.....	16
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ระหว่างทำการทดลอง .....	17



## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

สีย้อมเป็นสารเคมีที่สกัดจากน้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหิน เมื่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหินผ่านการสกัดจะได้สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว เช่น เบนซีน ไซลีน แอนทราซีน โทลูอีน แนพทาลีน และพาราฟิน ซึ่งสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ จะถูกเปลี่ยนเป็นสีย้อมด้วยเทคนิคต่างๆ ซึ่งสีย้อมที่ผลิตขึ้นมา มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของเส้นใย และกระบวนการย้อมที่มีลักษณะแตกต่างกันไป สีที่ปรากฏออกมาให้ตามนุษย์ปกติมองเห็นได้เกิดจากการเรียงตัวของกลุ่มอะตอม ที่เรียกกันว่า โครโมฟอร์ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่ม (ธงชัย, 2527) ได้แก่ กลุ่มไนโตรโซ (Nitroso group), กลุ่มไนโตร (Nitro group), กลุ่มอะโซ (Azo group), กลุ่มเอทิลีน (Ethylene group), กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl group), กลุ่มคาร์บอนิล-ไนโตรเจน (Carbonyl-nitrogen group) และกลุ่มซัลเฟอร์ (Sulphur group)

ในปัจจุบันปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษทางน้ำที่เกิดจากการภาคอุตสาหกรรมทวีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกย้อม ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูง น้ำถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องใช้ร่วมกับวัตถุดิบในทุกขั้นตอนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการผลิตเส้นใย การปั่น การทอ การถักผ้า และการฟอกย้อม โดยวัตถุดิบที่ใช้หลัก คือ สีย้อมผ้า และสารเคมี ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี ทำให้น้ำทิ้งมีสภาพเปลี่ยนไป เช่น มีสี มีกลิ่น และปริมาณสารอินทรีย์สูง เมื่อน้ำทิ้งนี้ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้เป็นที่น่ารังเกียจ คุณภาพน้ำของแหล่งน้ำแย่งลง สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำตาย เนื่องจากขาดออกซิเจน และทำให้ไม่สามารถใช้น้ำจากแหล่งน้ำดังกล่าวเพื่อการอุปโภคและบริโภคได้

น้ำเสียจากสีย้อมสามารถบำบัดได้ด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมี อย่างไรก็ตามสีบางประเภทที่ไม่สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีการดังกล่าว ตลอดจนข้อจำกัดบางประการ เช่น ค่าใช้จ่ายสูง และภาคตะกอนจำนวนมากที่เกิดจากกระบวนการบำบัด ดังนั้นการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมที่มีประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก และไม่เกิดภาคตะกอน จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก เพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกย้อมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง และปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

### 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 พัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

1.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในระยะสั้นและระยะยาว

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ระบบบำบัดน้ำเสียต้นแบบ สำหรับบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

- 1.3.2 ทราบประสิทธิภาพของระบบบำบัดที่ออกแบบ  
 1.3.3 สามารถพัฒนาระบบบำบัดต่อไป เพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้

#### 1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

- 1.4.1 ออกแบบถึงปฏิกรณ์เพื่อใช้ในการทดลอง  
 1.4.2 ติดตั้งถึงปฏิกรณ์ขนาด 13 ลิตร พร้อมระบบปั๊มต่างๆ สำหรับการทดลอง  
 1.4.3 ทดสอบบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมสังเคราะห์เป็นเวลา 2 เดือน

#### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง  
 1.5.2 ออกแบบและติดตั้งถึงปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิส  
 1.5.3 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำย้อมสังเคราะห์ (น้ำสีเมทิลลีนบูล) โดยเติมสารไททาเนียมไดออกไซด์อย่างสม่ำเสมอ  
 1.5.4 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำย้อมสังเคราะห์ (น้ำสีเมทิลลีนบูล) ในระยะยาว โดยไม่เติมสารไททาเนียมไดออกไซด์  
 1.5.5 เขียนเล่มวิทยานิพนธ์ และนำเสนอโครงการ

#### 1.6 แผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	เดือน					
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←————→					
2. ออกแบบและติดตั้งถึงปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิส	←————→					
3. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสีเมทิลลีนบูล		←————→				
4. เขียนเล่มวิทยานิพนธ์ และนำเสนอโครงการ					←————→	

#### 1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

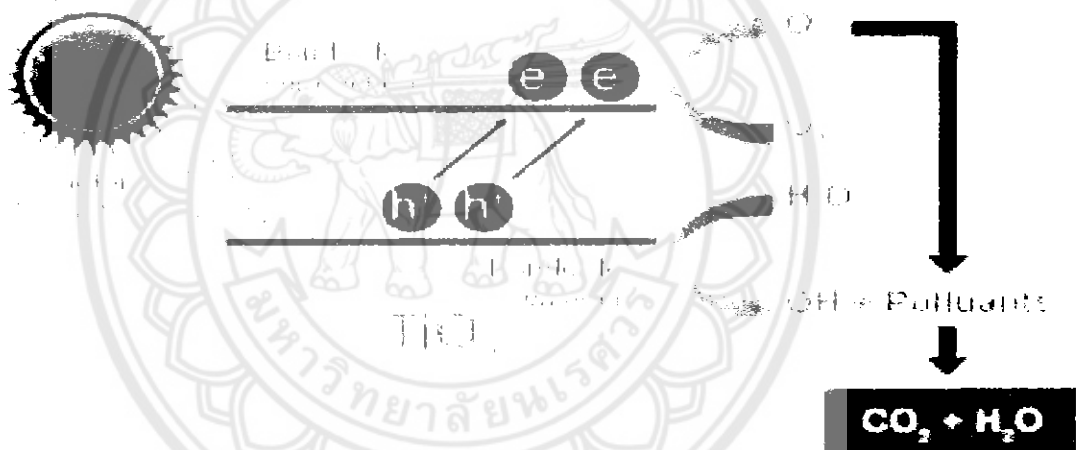
- 1.7.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งถึงปฏิกรณ์ต้นแบบ 2,000 บาท  
 1.7.2 ค่าสารเคมี 1,200 บาท  
 1.7.2 ถ่ายเอกสารและเข้าเล่มวิทยานิพนธ์ 800 บาท  
 รวมเป็นเงิน 4,000 บาท

## บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

### 2.1 กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

#### 2.1.1 หลักการ

กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis process) เป็นกระบวนการที่สามารถบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น น้ำเสียจากสีย้อม ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยหลักการที่ว่าเมื่ออนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ได้รับพลังงานจากแสง ( $h\nu$ ) ซึ่งมีพลังงานเท่ากับหรือสูงกว่าช่องว่างแถบพลังงาน (Band gap) จะทำให้อิเล็กตรอน ( $e^-$ ) ที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ (Valance band) ถูกกระตุ้นให้เคลื่อนที่ไปยังแถบการนำไฟฟ้า (Conduction band) ทำให้เกิดสถานะขาดแคลนอิเล็กตรอนที่แถบวาเลนซ์ เรียกว่า โฮล (Hole;  $h^+$ ) ทำให้อิเล็กตรอนและโฮลกระจายอยู่ที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การกระจายตัวของอิเล็กตรอนและโฮลในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

#### 2.1.2 ไททาเนียมไดออกไซด์

สารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส คือ ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide;  $TiO_2$ ) เนื่องจากข้อดีต่างๆ ของไททาเนียมไดออกไซด์ คือ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม มีความเสถียรสูง และความสามารถในการละลายต่ำ นอกจากนี้พบว่าเกิดการกัดกร่อนเพียงเล็กน้อยภายหลังการใช้งาน และมีราคาไม่แพง เมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆ คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่สำคัญของไททาเนียมไดออกไซด์สรุปในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.2 ผงของไททาเนียมไดออกไซด์

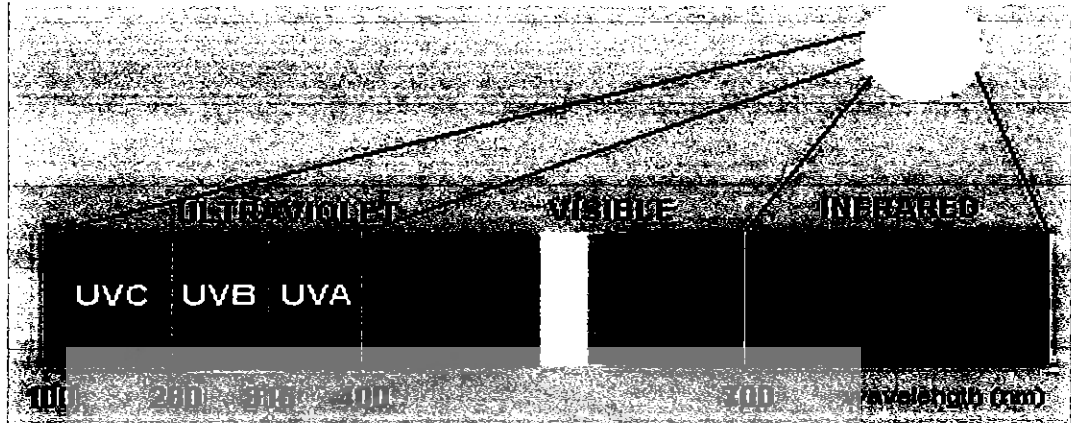
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของไททาเนียมไดออกไซด์

สูตรโมเลกุล	TiO <sub>2</sub>
มวลโมเลกุล	79.9 กรัมต่อโมล
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย	30 นาโนเมตร
พื้นที่ผิว	50 ตารางเมตรต่อกรัม
จุดเดือด	2,500-3,000 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	1,840 องศาเซลเซียส
ช่องว่างแถบพลังงาน	3.2 อิเล็กตรอนโวลต์
ความถ่วงจำเพาะ	3.9

สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนียมไดออกไซด์ การฉายแสงที่เป็นแหล่งพลังงานกระตุ้นให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮล ต้องมีความยาวคลื่นที่ให้พลังงานมากกว่าหรือเท่ากับค่าช่องว่างแถบพลังงาน 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ หรือต้องใช้แสงที่มีค่าความยาวคลื่นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 386 นาโนเมตร ปฏิกิริยาจึงจะเกิดขึ้นได้

แสงยูวีหรือพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet radiation) เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส เนื่องจากมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 100-400 นาโนเมตร ดังรูปที่ 2.3 รังสีสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงคลื่น ได้แก่ รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (UV-A) มีความยาวคลื่น 400-315 นาโนเมตร รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (UV-B) ความยาวคลื่น 315-280 นาโนเมตร และรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี (UV-C) ความยาวคลื่น 280-100 นาโนเมตร (Brian, 2002) ซึ่งความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ส่งผ่านจากแสงอาทิตย์มายังพื้นผิวโลกจะลดลงอย่างมากในชั้นบรรยากาศ ซึ่งเกิดจากการถูกดูดกลืนโดยโอโซนในชั้นบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์และการกระเจิงของแสง ทำให้รังสี

อัลตราไวโอเล็ตที่ส่องผ่านมายังพื้นโลกมีจำกัด จึงต้องมีการใช้หลอดยูวีเป็นแหล่งกำเนิดแสงในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส



รูปที่ 2.3 ความยาวคลื่นต่างๆ ของแสงยูวี

## 2.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสแบบใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1-2.6



เมื่อไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) ได้รับพลังงานจากแสง ( $h\nu$ ) จะเกิดโฮล ( $h^+$ ) และอิเล็กตรอน ( $e^-$ ) ที่แถบวาเลนซ์ โฮล ( $h^+$ ) จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไฮดรอกซิลไอออน ( $\text{OH}^-$ ) ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $\text{OH}^\cdot$ ) และยังทำให้โมเลกุลของน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ที่ดูดซับผิวไททาเนียมไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $\text{OH}^\cdot$ ) เช่นกัน ส่วนอิเล็กตรอน ( $e^-$ ) ในแถบการนำไฟฟ้าจะทำปฏิกิริยารีดักชันกับโมเลกุลออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ที่ดูดซับผิวไททาเนียมไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัล ( $\text{O}_2^{\cdot -}$ ) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ที่เกิดขึ้นเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ดี และสามารถทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอน ( $e^-$ ) ที่แถบวาเลนซ์ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $\text{OH}^\cdot$ ) จากนั้นไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $\text{OH}^\cdot$ ) จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอินทรีย์คาร์บอน ( $\text{Organic-C}$ ) ในน้ำเสีย ได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) กับน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ดังสมการที่ 2.7

## 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

### 2.3.1 ความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์

อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ในสารละลายหรือน้ำเสียทำหน้าที่ให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล และเร่งให้เกิดปฏิกิริยากำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ปนเปื้อน นอกจากนี้ผงไททาเนียมไดออกไซด์ยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำเสียยึดเกาะ โดยการยึดเกาะของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ ดังนั้นพื้นที่ผิวจึงเป็นปัจจัยหนึ่งในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่มากเกินไปในน้ำเสีย จะทำให้กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสลดลง เนื่องจากอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ จะไปขัดขวางแสงที่ส่องไปยังสารปนเปื้อน ทำให้ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่ถูกระตุ้นด้วยอนุภาคแสงและปริมาณไฮดรอกซิลเรดิคัลลดลง

### 2.3.2 ความเข้มของแสง

ความเข้มของแสง คือ พลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา กล่าวคือ อนุภาคแสง 1 โฟตอนที่มีความถี่ ( $\nu$ ) จะมีพลังงาน ( $E$ ) เท่ากับ  $h\nu$  หรือคิดเป็น 1 ควอนตัม ซึ่งขึ้นอยู่กับพลังงานแสงโดยตรง ดังนั้น

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

$$\text{จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบต่อ 1 วินาที} = \frac{\text{ความเข้มแสง}}{h\nu}$$

การที่จะกระตุ้นไททาเนียมไดออกไซด์ให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮล ต้องใช้ความยาวคลื่นประมาณ 390 นาโนเมตร หรือต้องใช้พลังงานอย่างน้อย 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ โดยที่ระดับความเข้มแสงต่ำ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะแปรผันตามรากที่สองของความเข้มแสง และที่ระดับความเข้มแสงสูง อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสง

### 2.3.3 อุณหภูมิ

เมื่อศึกษาทฤษฎีทางจลศาสตร์ อุณหภูมินับว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยา โดยค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของอาร์เรเนียส เขียนได้ดังสมการ

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

เมื่อ  $K$  = ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา, นาที<sup>-1</sup> (Reaction rate constant)

$A$  = แฟกเตอร์ความถี่, นาที<sup>-1</sup> (Frequency factor)

$E_a$  = พลังงานกระตุ้น, จูล/โมล (Activation energy)

$R$  = ค่าคงที่ 8.314 จูล/โมล เคลวิน

$T$  = อุณหภูมิสัมบูรณ์, เคลวิน

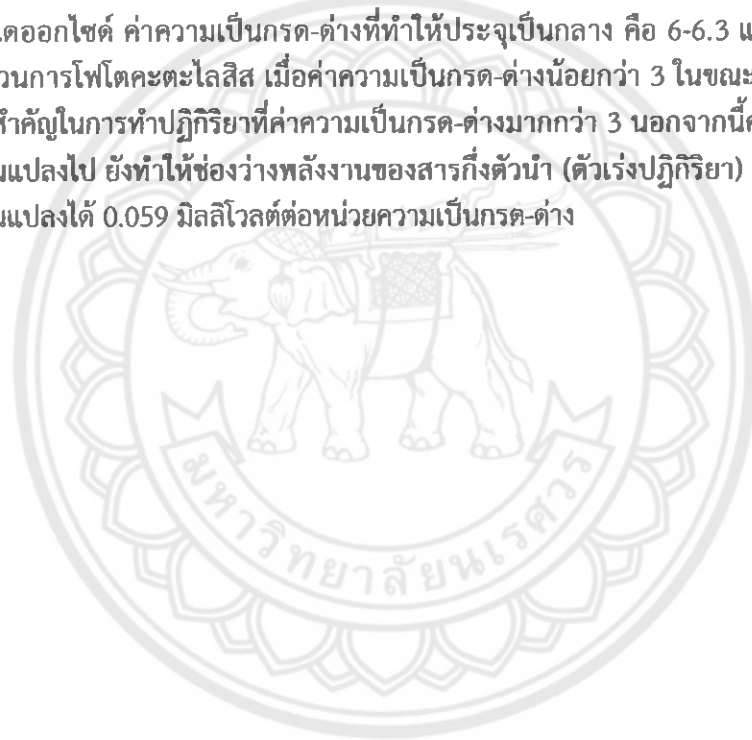
กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการทำปฏิกิริยาของอิเล็กตรอนและโฮลกับสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์มีค่ามากกว่าอัตราการกลับมารวมตัวกับใหม่ของอิเล็กตรอนและโฮล และความถี่ในการชนกันของโมเลกุลก็มีมากขึ้นด้วยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

### 2.3.4 ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved oxygen)

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในน้ำเสียเพิ่มขึ้น เนื่องจากออกซิเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส เพราะออกซิเจนจะยึดเกาะบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยา ทำหน้าที่ยึดจับอิเล็กตรอนที่แถบการนำไฟฟ้า ทำให้เกิดซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัล และสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ด้วยเหตุนี้ออกซิเจนจึงเป็นตัวยึดเวลาการกลับมารวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนและโฮล และยังทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัลอีกด้วย

### 2.3.5 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ประสิทธิภาพของกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อความสามารถในการดูดเกาะของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยประจุไฟฟ้าที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเปลี่ยนไป เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงหรือต่ำ ซึ่งจะเป็นบวกที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ และมีค่าเป็นลบเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น สำหรับไททาเนียมไดออกไซด์ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ทำให้ประจุเป็นกลาง คือ 6-6.3 และโฮลจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 3 ในขณะที่ไฮดรอกซิลเรดิคัล มีความสำคัญในการทำปฏิกิริยาที่ค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 3 นอกจากนี้ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เปลี่ยนแปลงไป ยังทำให้ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ (ตัวเร่งปฏิกิริยา) ประเภทโลหะออกไซด์เปลี่ยนแปลงได้ 0.059 มิลลิโวลต์ต่อหน่วยความเป็นกรด-ด่าง



## บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง

### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

#### 3.1.1 อุปกรณ์

- 3.1.1.1 ถังปฏิกรณ์
- 3.1.1.2 หลอดไฟ (แบล็คไลท์)
- 3.1.1.3 ขาดัง สำหรับยึดถังปฏิกรณ์
- 3.1.1.4 สายรัด
- 3.1.1.5 ปืนน้ำ
- 3.1.1.6 ถังน้ำ
- 3.1.1.7 สายยาง
- 3.1.1.8 ปีกเกอร์
- 3.1.1.9 แท่งแก้ว
- 3.1.1.10 ชุดกรองสูญญากาศ
- 3.1.1.11 กระจกกรอง GC/F รุ่น ROCKER 400
- 3.1.1.12 เครื่องชั่ง รุ่น aeADAM
- 3.1.1.13 เครื่องวัดค่าการละลายของออกซิเจนแบบพกพา รุ่น DO 110
- 3.1.1.14 เครื่องวัด pH รุ่น Waterproof pHTestr 30
- 3.1.1.15 คิวเวทควอทซ์ (Quartz cuvette)
- 3.1.1.16 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectroscopy) รุ่น BEAM

SPECTROPHOTO METER

#### 3.1.2 สารเคมี

- 3.1.2.1 สีเมทิลีนบลู (Methylene blue)  $C_{16}H_{18}N_3ClS \cdot 2H_2O$
- 3.1.2.2 ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $TiO_2$ )

### 3.2 การติดตั้งถังปฏิกรณ์

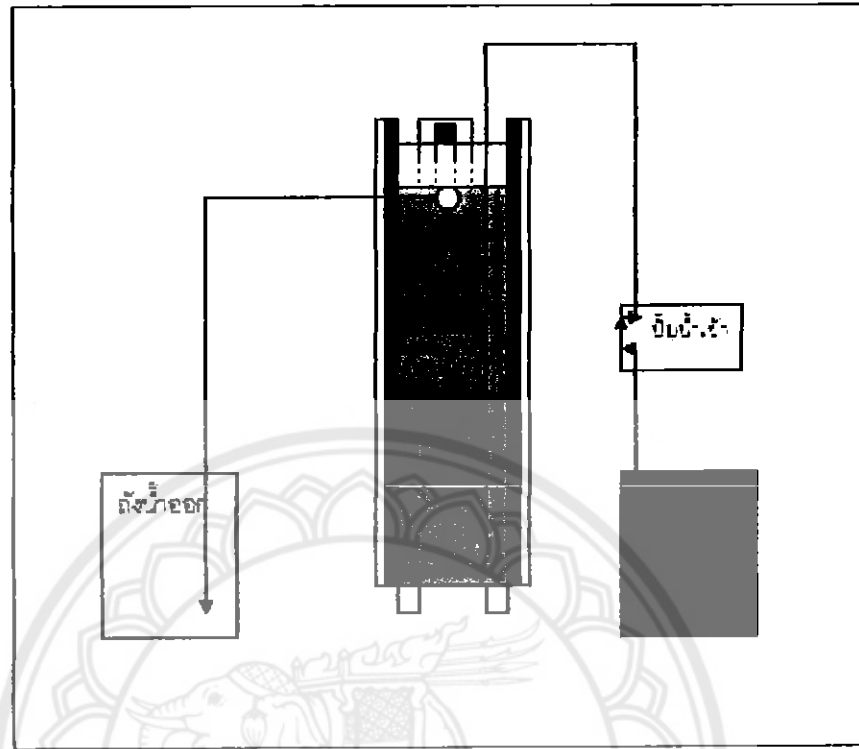
3.2.1 นำถังแก้วรูปทรงกระบอก ขนาด 15x6x150 เซนติเมตร (13 ลิตร) วางลงบนขาตั้ง และยึดให้แน่น

3.2.2 นำหลอดไฟ 4 หลอด มาประกบทุกด้านของถังปฏิกรณ์ และยึดให้แน่นกับถังปฏิกรณ์และขาตั้ง

3.2.3 วางเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็กไว้ด้านล่างของถังปฏิกรณ์ เพื่อกวนน้ำในถังปฏิกรณ์

3.2.4 ติดตั้งระบบปืนน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ และระบบท่อต่างๆ





รูปที่ 3.1 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

### 3.3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียจากสีย้อมสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองนี้เตรียมได้จากน้ำสีเมทิลีนบลู 0.048 กรัม และนำไปละลายในน้ำกลั่น คนให้เข้ากัน

### 3.4 วิธีทดลอง

#### 3.4.1 ศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ในระยะสั้น

บรรจุน้ำเสียสังเคราะห์ลงในถังปฏิกรณ์จนเต็ม จากนั้นเติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) ปริมาณ 1.3 กรัม และปั่นกวนด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที น้ำเสียสังเคราะห์ถูกปั๊มเข้าถังปฏิกรณ์ด้วยอัตรา 0.87 ลิตรต่อชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 3.00-18.00 น. (ระยะเวลาพักเก็บประมาณ 5 ชั่วโมง) และเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นเวลา 1 สัปดาห์

#### 3.4.2 ศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ในระยะยาว

บรรจุน้ำเสียสังเคราะห์ลงในถังปฏิกรณ์จนเต็ม จากนั้นเติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) ปริมาณ 1.3 กรัมทุกๆ 1 สัปดาห์ และปั่นกวนด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที น้ำเสียสังเคราะห์ถูกปั๊มเข้าถังปฏิกรณ์ด้วยอัตรา 0.87 ลิตรต่อชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 3.00-18.00 น. (ระยะเวลาพักเก็บประมาณ 5 ชั่วโมง) และเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นเวลา 7 สัปดาห์

### 3.5 วิธีการวิเคราะห์

#### 3.5.1 ค่าการดูดกลืนแสง

นำน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกรองด้วยกระดาษกรอง GC/F จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร

#### 3.5.2 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

นำเครื่องวัด DO จุ่มลงในถังปฏิกรณ์ และบันทึกค่าที่ได้

#### 3.5.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

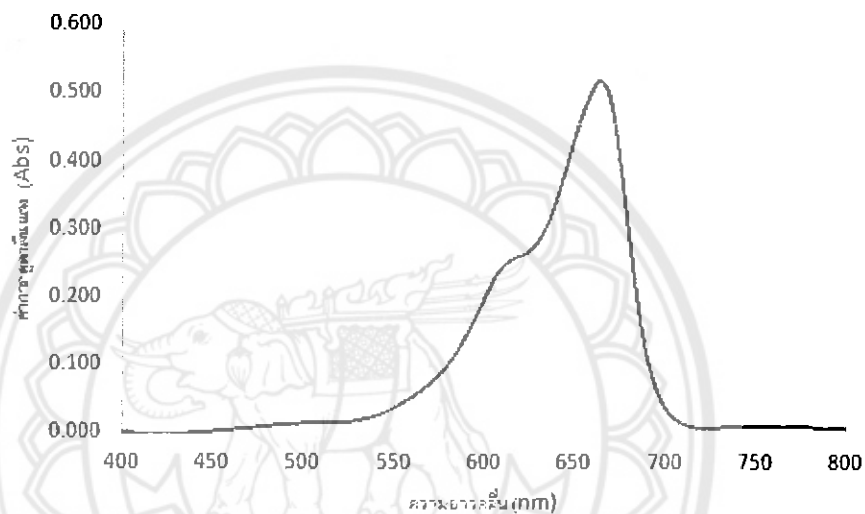
นำเครื่องวัด pH จุ่มลงในถังปฏิกรณ์ และบันทึกค่าที่ได้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการอภิปรายผล

#### 4.1 ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ในระยะสั้น

ในโครงการนี้น้ำเสียจากสีย้อมสังเคราะห์เตรียมได้จากการละลายผงสีเมธิลีนบลู 0.0032 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร เมื่อนำน้ำเสียจากสีย้อมสังเคราะห์ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงช่วง 400-800 นาโนเมตร พบว่าที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร จะให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด 0.52 Abs (รูปที่ 4.1) ดังนั้น ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์นี้สามารถเปรียบเทียบได้จากการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร

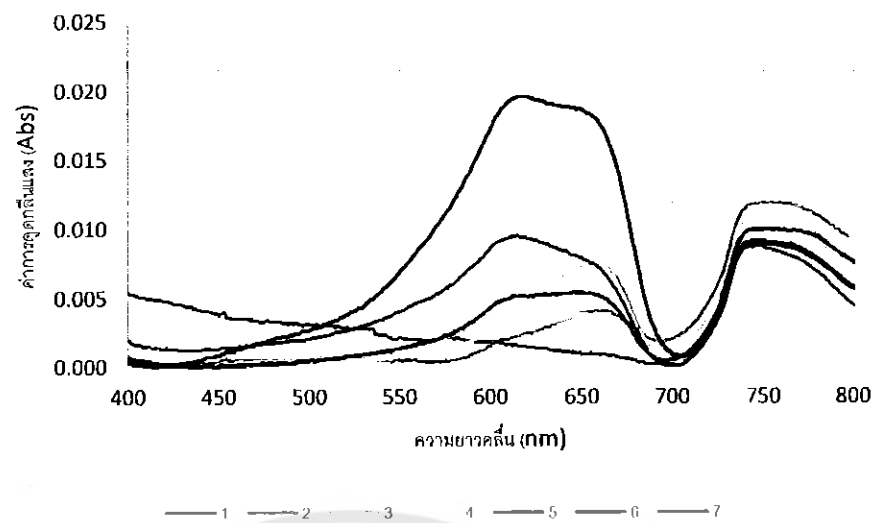


#### รูปที่ 4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำเสียจากสีย้อมสังเคราะห์

รูปที่ 4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดในสัปดาห์แรก จะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร ลดลงจาก 0.52 Abs (รูปที่ 4.1) เหลือ 0.001 Abs (รูปที่ 4.2 และ 4.3) ซึ่งน้ำเสียจากสีย้อมจะเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นใสและไม่สี เมื่อผ่านการบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิส ดังรูปที่ 4.4

เมื่อระยะเวลาการดำเนินการทดลองผ่านไป (วันที่ 2-7) ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตรของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีแนวโน้มสูงขึ้นถึง 0.016 Abs ที่วันที่ 7 ของการทดลอง และน้ำเริ่มมีสีฟ้าจางๆ แสดงให้เห็นว่าถังปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิสมีประสิทธิภาพการบำบัดลดลง ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างดำเนินการทดลอง ผงไททาเนียมไดออกไซด์บางส่วนได้หลุดปนมากับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ทำให้ผงไททาเนียมไดออกไซด์ภายในถังปฏิกรณ์ลดลง ประสิทธิภาพการบำบัดจึงลดลงไปด้วย

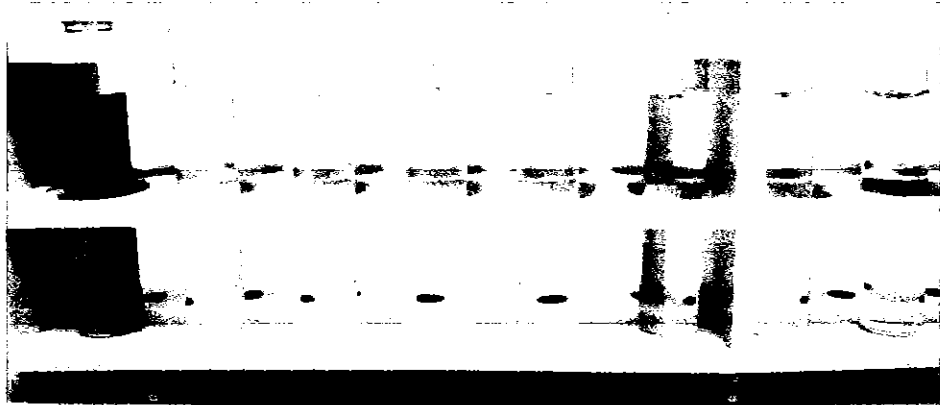
นอกจากนี้จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ารูปแบบของกราฟการดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการดำเนินระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวันที่ 6 และ 7 แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์เป็นการทำลายโมเลกุลของสีให้มีขนาดเล็กลง และกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในที่สุด



**รูปที่ 4.2** แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในสัปดาห์ที่ 1 (วันที่ 1-7)



**รูปที่ 4.3** แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นเวลา 1 สัปดาห์

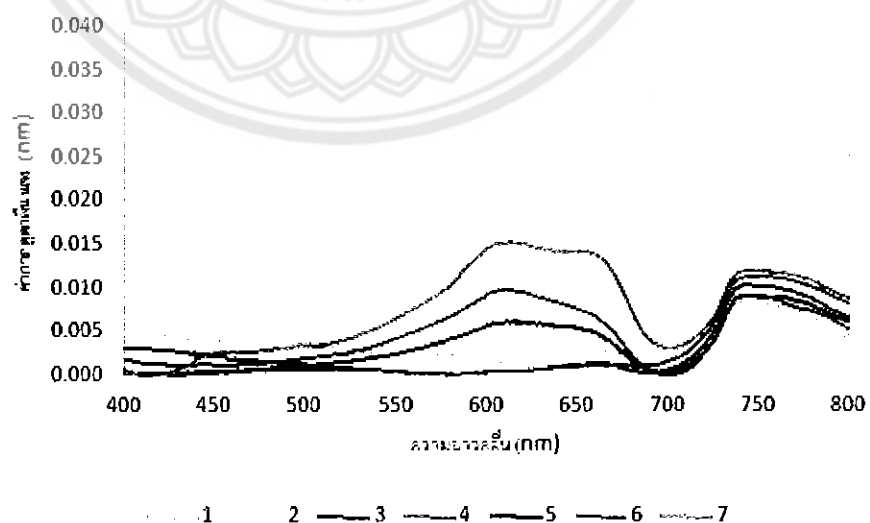


รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างน้ำเสียจากสีย้อมสังเคราะห์ และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นเวลา 1 สัปดาห์ (เรียงจากซ้ายไปขวา)

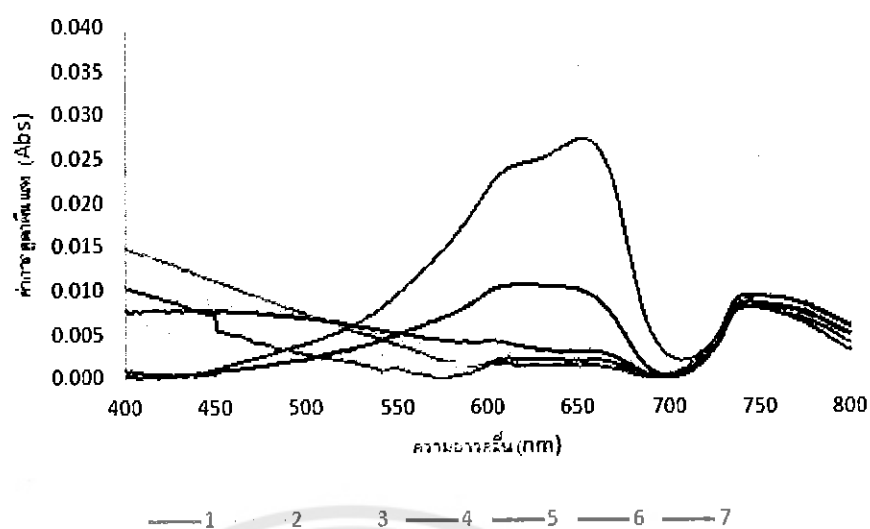
#### 4.2 ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ในระยะเวลา

ในการทดลองนี้ ถังปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิสจะถูกดำเนินการอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 7 สัปดาห์ โดยจะเติมผงไททาเนียมทุกๆ 7 วัน (สัปดาห์ละ 1 ครั้ง) ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.5-4.7 ซึ่งจะได้ผลสอดคล้องกันในทุกๆ สัปดาห์ นั่นคือ หลังจากเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ (วันที่ 1) จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด และประสิทธิภาพการบำบัดจะค่อยๆ ลดลงจนถึงวันที่ 7 สังเกตได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

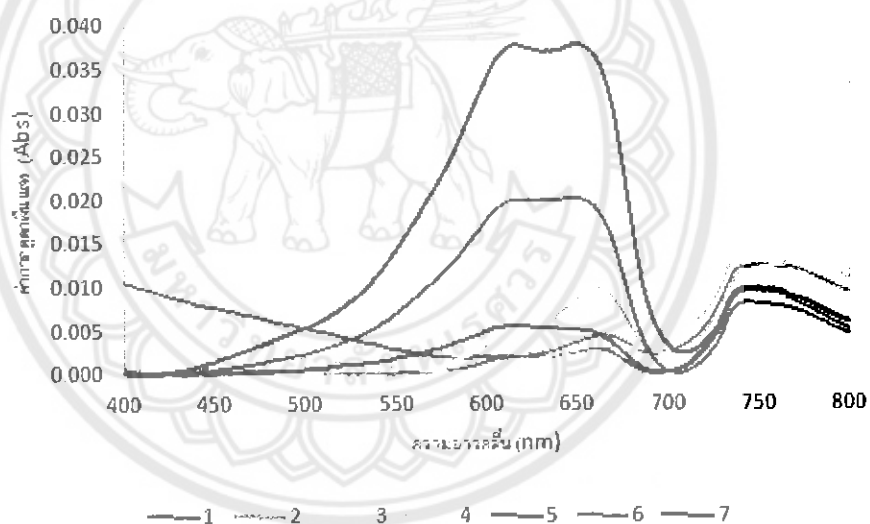
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดในแต่ละสัปดาห์ เป็นเวลา 7 สัปดาห์ จะพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดของถังปฏิกรณ์จะลดลงเรื่อยๆ สังเกตได้จากค่าการดูดกลืนแสง 0.015 Abs ในวันที่ 7 ของสัปดาห์ที่ 2 (รูปที่ 4.5) เพิ่มขึ้นเป็น 0.028 Abs ในวันที่ 7 ของสัปดาห์ที่ 3 (รูปที่ 4.6) และ 0.038 Abs ในวันที่ 7 ของสัปดาห์ที่ 5 (รูปที่ 4.8)



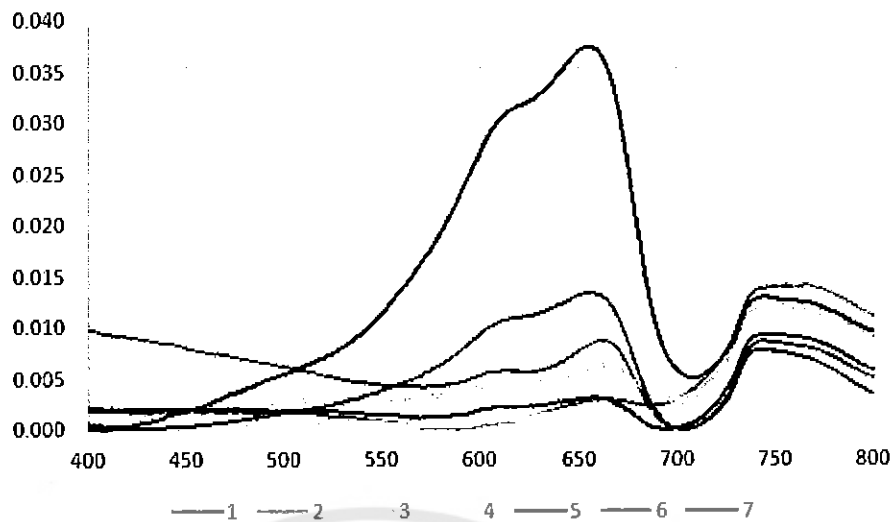
รูปที่ 4.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในสัปดาห์ที่ 2 (วันที่ 1-7)



รูปที่ 4.6 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในสัปดาห์ที่ 3 (วันที่ 1-7)

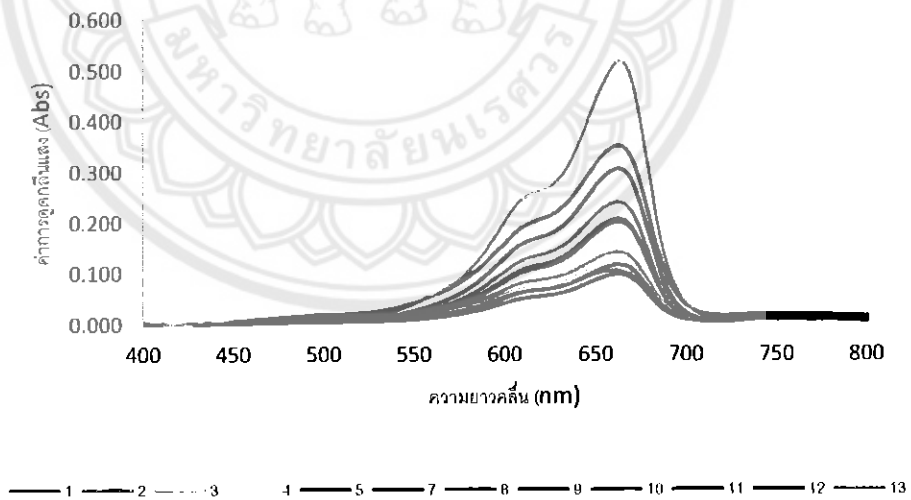


รูปที่ 4.7 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในสัปดาห์ที่ 4 (วันที่ 1-7)

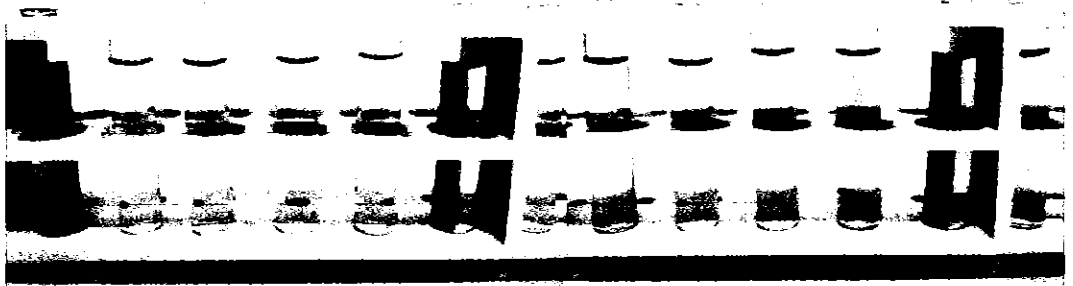


**รูปที่ 4.8** แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในสัปดาห์ที่ 5 (วันที่ 1-7)

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิสในการเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ 1 ครั้ง ในสัปดาห์ที่ 6-7 ถึงปฏิกรณ์จึงถูกดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยไม่เติมผงไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่ม จะเห็นได้ว่าเมื่อสิ้นสุดวันที่ 13 (รูปที่ 4.9) ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียจากสีย้อมก่อนการบำบัด (รูปที่ 4.1) และสีฟ้าของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วก็ใกล้เคียงกับน้ำเสียจากสีย้อมก่อนการบำบัด ดังรูปที่ 4.10

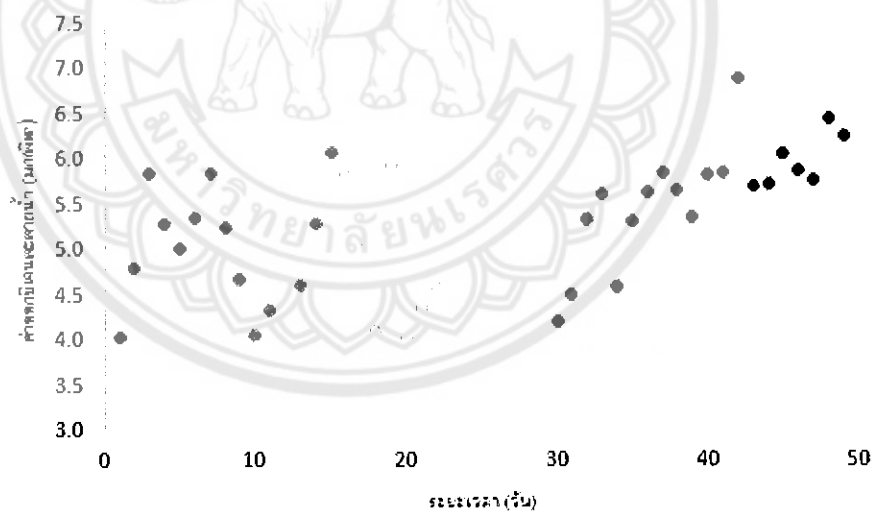


**รูปที่ 4.9** แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในสัปดาห์ที่ 6-7 (วันที่ 1-7)



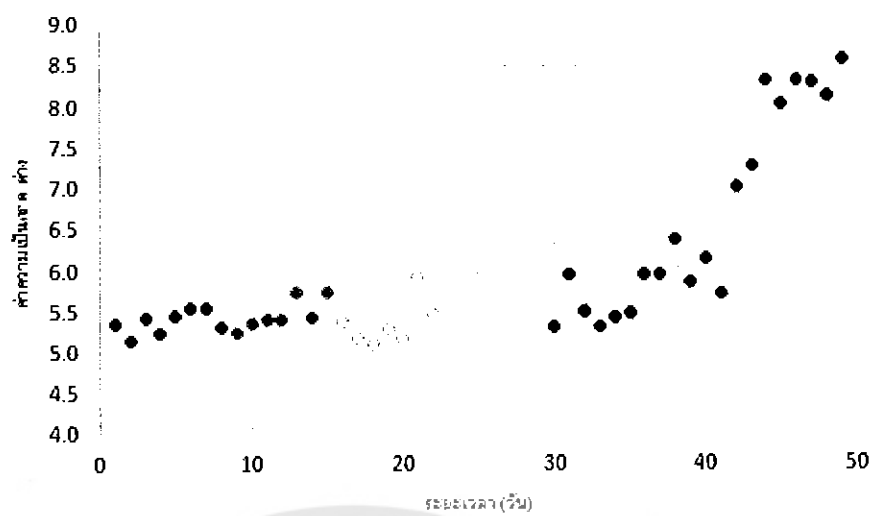
รูปที่ 4.10 แสดงตัวอย่างน้ำเสียจากสีย้อมสังเคราะห์ และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในสัปดาห์ที่ 6-7 (เรียงจากซ้ายไปขวา)

การเปลี่ยนแปลงของค่า DO และ pH ระหว่างดำเนินการทดลองทั้งหมด แสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 จะเห็นได้ว่าในแต่ละครั้งที่เติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ ค่า DO จะลดต่ำลง แสดงถึงการเกิดกระบวนการโฟโตคะโกลิซิสในถังปฏิกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำจึงถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยามาก และจากนั้นค่า DO จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น แสดงถึงการเกิดกระบวนการโฟโตคะโกลิซิสลดลง เนื่องจากผงไททาเนียมในถังปฏิกรณ์ลดลง เช่นเดียวกับค่า pH ที่จะลดต่ำลงในช่วงแรกของการเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ และจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของค่า DO ระหว่างทำการทดลอง





รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ระหว่างทำการทดลอง



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ถังปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิสที่ออกแบบสามารถบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมสังเคราะห์ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงตามระยะเวลา
2. เพื่อควบคุมประสิทธิภาพการบำบัดให้คงที่ ควรเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ในถังปฏิกรณ์ อย่างสม่ำเสมอ เช่น ทุกๆ 1 สัปดาห์

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับปรุงรูปแบบของถังปฏิกรณ์ เพื่อลดการหลุดออกของผงไททาเนียมไดออกไซด์จากถังปฏิกรณ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดให้ยาวนานขึ้น
2. ควรจัดให้มีการทำความสะอาดบริเวณกระจกของถังปฏิกรณ์ เพื่อให้แสงจากหลอดแบล็คไลท์ส่องแสงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
3. ควรทดลองบำบัดน้ำเสียประเภทอื่นๆ ด้วย



## เอกสารอ้างอิง

- วิไลวรรณ จันทร์มณี (2548) ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส  
ชุตินา สุขอนันต์, สิทธิสุนทร สุโพธิณะ, ภารดี ช่วยบำรุง (2554) การบำบัดสปอร์ของ *Bacillus subtilis* ในน้ำด้วยวิธีโฟโตคะตะไลซิสโดยใช้ตัวกลางและความเร็วในการกวนต่างกัน วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น 16 หน้า 179-186
- Hofstadler K., Bauer R., Novalic S., and Heisler. 1994. New reactor design for photocatalytic wastewater treatment with  $\text{TiO}_2$  immobilized on fused-silicaglass fibers: photomineralization of 4-chlorophenol. *Environmental Science and Technology* 28: 670-674.
- Rincon A-G and Pulgarin C. 2005. Use of coaxial photocatalytic reactor (CAPHORE) in the  $\text{TiO}_2$  photo-assisted treatment of mixed *E. coli* and *Bacillus* sp. and bacterial community present in wastewater. *Catalysis Today* 101: 331-344.

