ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
248343

การเตรียมไคทอสโดยอาศัยปฏิกิริยาของสารละลายคลื่นไมโครเวฟ(เมทิลเมทาคริเลต) สำหรับการดูดซับสีย้อมจากน้ำเสีย

นางสาวฐนิสตา เรือนตอน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00253189

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชา
248343

การเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์เร่งปฏิกิริยาเชิงแสงเคลือบบนพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต) สำหรับการขจัดฟีนอลจากน้ำเสีย

นางสาวฐนิสตา เลื่อนลอย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5 1 7 2 5 7 0 7 2 3

PREPARATION OF PHOTOCATALYTIC TiO_2 COATED ON POLY(METHYL METHACRYLATE) FOR PHENOL REMOVAL FROM WASTEWATER

Miss. Tanisata Luenloi

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์เร่งปฏิกิริยาเชิงแสงเคลือบบนพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต)สำหรับการขจัดฟีนอลจากน้ำเสีย
โดย	นางสาวฐนิสตา เลื่อนลอย
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพิดา หิญชีระนันทน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนูญ ศรีทะวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพิดา หิญชีระนันทน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนูญ ศรีทะวงศ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เก็จวลี พฤกษาทร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. เทวรักษ์ โรจนพฤกษ์)

ฐนิสตา เลื่อนลอย : การเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์เร่งปฏิกิริยาเชิงแสงเคลือบบนพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต)สำหรับการขจัดฟีนอลจากน้ำเสีย (PREPARATION OF PHOTOCATALYTIC TiO_2 COATED ON POLY(METHYL METHACRYLATE) FOR PHENOL REMOVAL FROM WASTEWATER) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพิดา หิญชีระนันทน์, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนูญ ศรีทะวงศ์, 104 หน้า.

248343

งานวิจัยนี้ศึกษาการขจัดฟีนอลโดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงโดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตโดยเทคนิคการจุ่มเคลือบ ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของแอซีทิลอะซีโตนต่อไทเทเนียมไดออกไซด์และจำนวนรอบในการเคลือบผิวต่อลักษณะและประสิทธิภาพของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตในการขจัดฟีนอลในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะประกอบด้วยหลอดอัลตราไวโอเล็ต (9 วัตต์/หลอด) จำนวน 15 หลอด และเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง โดยใช้สารละลายฟีนอลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 50 พีพีเอ็ม (500 มิลลิลิตร) ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอลโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองระดับ การสลายตัวของฟีนอลขึ้นกับหลายปัจจัย ได้แก่ จำนวนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ ความเป็นกรด-เบสของสารละลายฟีนอล ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กำลังของหลอดอัลตราไวโอเล็ต อัตราการไหลของออกซิเจน และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา จากผลการทดลองพบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้จากอัตราส่วนโดยโมลของแอซีทิลอะซีโตนต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 3 เคลือบบนพอลิเมทิลเมทาคริเลต 3 รอบ ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของระบบ คือ จำนวนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 8 แผ่นในสารละลายฟีนอลด้วยความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 50 พีพีเอ็ม ความเป็นกรด-เบสที่ 5 และความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 0.62 โมลาร์ ภายใต้กำลังของหลอดอัลตราไวโอเล็ตที่ 135 วัตต์และอัตราการไหลของออกซิเจนที่ 200 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ 30 องศาเซลเซียส พบว่ามีอัตราการสลายตัวของฟีนอลได้สูงสุดถึง 7.2×10^{-3} นาที$^{-1}$ (ขจัดฟีนอลได้ 91.4%)

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค..... ลายมือชื่อนิสิต .....ฐนิสตา เลื่อนลอย.....

สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2553..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5172570723 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORDS : TITANIUM DIOXIDE / PHOTOCATALYTIC / POLY(METHYL METHACRYLATE) / PHENOL

TANISATA LUENLOI : PREPARATION OF PHOTOCATALYTIC TiO_2 COATED ON POLY(METHYL METHACRYLATE) FOR PHENOL REMOVAL FROM WASTEWATER. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. NAPIDA HINCHIRANAN, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: ASST. PROF. THAMMANOON SREETHAWONG, Ph.D., 104 pp.

248343

This research aims to study the phenol removal via photooxidation catalyzed by using titanium dioxide (TiO_2) coated on poly(methyl methacrylate) (PMMA) sheets prepared by dip-coated technique. The effects of mole ratio of acetylacetone (ACAC) to TiO_2 and the number of coating cycle on the characteristics and catalytic efficiency of thin film TiO_2 on PMMA sheets were also investigated. The reaction was carried out in a glass batch reactor equipped with 15 pieces of ultraviolet (UV) lamps (9 watts/lamps) for 5 h. The initial phenol concentration was kept constant at 50 ppm (500 mL). The influence of reaction parameters on the phenol removal efficiency were statistically evaluated by a two-level factorial design experimental. The degradation of phenol depended on several parameters such as the number of TiO_2-coated on PMMA sheets, pH of phenol solution, initial phenol concentration, H_2O_2 concentration, power of UV lamp, oxygen flow rate and temperature. The experimental data exhibited that the mole ratio of ACA to TiO_2 at 3 with 3 coating cycles. The optimum conditions were obtained from 8 sheets of TiO_2-coated on PMMA sheets in the phenol solution with initial concentration as 50 ppm, 5 of pH value, 0.62 M of H_2O_2 concentration. Under UV lamp power at 135 W and 200 ml/min of oxygen flow rate at 30°C to reach the degradation rate constant of 7.2×10^{-3} min^{-1} (phenol removal of 91.4%).

Department : Chemical Technology Student's Signature Tanisata Luenloi

Field of Study : Chemical Technology Advisor's Signature Napida Hinchiranan

Academic Year : 2010 Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพิดา หิญชีระนันทน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนูญ ศรีทะวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำการทำวิจัยตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยมาตลอด

ขอขอบคุณการสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูง ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สัญญาเลขที่ MRG-WII525S017 และทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. เก็จวลี พฤกษาทรและดร. เทวรักษ์ โรจนพฤกษ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณารับเชิญเป็นกรรมการสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำ เสนอแนะและความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและกรุณาช่วยเหลือพร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่าง ๆ และ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคและหลักสูตรปิโตรเคมีและพอลิเมอร์ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 3

1.4 ขั้นตอนของงานวิจัย..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 แนวคิดและทฤษฎี..... 5

2.2 สมบัติของฟีนอล..... 7

2.2.1 ข้อมูลทั่วไป..... 7

2.2.2 การใช้งาน..... 8

2.2.3 การปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม..... 9

2.2.4 ความเป็นพิษ..... 9

2.2.4.1 ความเป็นพิษต่อสัตว์..... 9

2.2.4.2 ความเป็นพิษต่อมนุษย์..... 9

2.3 สารกึ่งตัวนำไฟฟ้า..... 10

2.4 ไทเทเนียมไดออกไซด์..... 12

2.4.1 คำจำกัดความ..... 12

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.4.2 โครงสร้างผลึกและสมบัติ	13
	2.4.3 ลักษณะของสารกึ่งตัวนำไฟฟ้าและความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง	16
	2.5 กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง	17
	2.5.1 ข้อมูลทั่วไป	17
	2.5.2 หลักการของกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง	18
	2.5.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงของฟีนอล	24
	2.6 แสง	25
	2.7 พอลิเมทิลเมทาคริเลต	26
	2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
3	วิธีดำเนินการวิจัย	30
	3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	30
	3.2 สารเคมีที่ใช้	30
	3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	31
	3.3.1 การเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง	32
	3.3.2 การเตรียมผิวแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต	32
	3.3.3 การเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์	32
	3.3.4 การทดลองออกซิเดชันเชิงแสงของฟีนอลเร่งปฏิกิริยาด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต	33
	3.3.5 ทดสอบลักษณะสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์	35
	3.3.5.1 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	35
	3.3.5.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	36
	3.3.5.3 เครื่อง UV-Vis spectrophotometer	36
	3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลสองระดับ	37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.4.1 ผลตกค้างและการตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลอง.....	40
	3.4.1.1 ความสัมพันธ์ของ Normal probability กับผลตกค้าง.....	41
	3.4.1.2 ความสัมพันธ์ของผลตกค้างกับค่าทำนาย.....	41
	3.4.2 สมการถดถอย.....	41
4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	42
	4.1 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของแอซีทิลอะซีโตนต่อไทเทเนียมไดออกไซด์และจำนวนรอบในการเคลือบต่อลักษณะและประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอล.....	42
	4.2 ผลของอุณหภูมิในการผาไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอล.....	46
	4.3 จลนศาสตร์ของการกำจัดฟีนอลด้วยออกซิเดชันเชิงแสงเร่งปฏิกิริยาด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	47
	4.3.1 ผลของจำนวนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ต่ออัตราการสลายตัวของฟีนอล.....	48
	4.3.2 ผลของค่าความเป็นกรด-เบสต่ออัตราการสลายตัวของฟีนอล.....	50
	4.3.3 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลต่ออัตราการสลายตัวของฟีนอล.....	53
	4.3.4 ผลของกำลังของหลอดอัลตราไวโอเล็ตต่ออัตราการสลายตัวของฟีนอล.....	54
	4.3.5 ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่ออัตราการสลายตัวของฟีนอล.....	56
	4.3.6 ผลของอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนต่ออัตราการสลายตัวของฟีนอล.....	58
	4.3.7 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่ออัตราการสลายตัวของฟีนอล.....	59

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.4 การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับต่อประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอล	61
	4.4.1 สมการถดถอย	66
	4.4.2 ผลตกค้างและการตรวจสอบความถูกต้อง	67
	4.5 ผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อระดับการขจัดของฟีนอล	70
	4.6 การทดสอบจำนวนรอบการใช้งานของแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์และจำนวนรอบของกระบวนการออกซิเดชันเชิงแสงในการขจัดฟีนอล	72
5	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	74
	5.1 สรุปผลการวิจัย	74
	5.2 ข้อเสนอแนะ	78
รายการอ้างอิง		79
ภาคผนวก		81
	ภาคผนวก ก สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต	82
	ภาคผนวก ข การคำนวณ	83
	ภาคผนวก ค การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ	88
	ภาคผนวก ง ประสิทธิภาพการขจัดฟีนอล	89
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์		104

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของฟีนอล.....	8
2.2	ตำแหน่งของแถบอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำไฟฟ้าบางชนิด.....	12
2.3	สมบัติของรูไทล์และอนาเทส.....	14
2.4	สารประกอบที่สามารถกำจัดด้วยปฏิกิริยาเชิงแสงโดยใช้ไทเทเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	23
3.1	ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาการกำจัดฟีนอลด้วยกระบวนการออกซิเดชันเชิงแสงเร่งปฏิกิริยาด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	35
3.2	สภาวะของการออกแบบ 2^4 ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลด้วยการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง.....	37
3.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการออกแบบ 2^4.....	39
4.1	ผลของอัตราส่วนโดยโมลของแอซีทิลอะซีโตนต่อไทเทเนียมไดออกไซด์และจำนวนรอบในการเคลือบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอล.....	44
4.2	ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีอยู่จริงบนผิวของพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	45
4.3	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสัณฐานแบบอนาเทสต่อรูไทล์ที่อุณหภูมิการเผาไทเทเนียมไดออกไซด์แตกต่างกัน.....	47
4.4	ผลการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอล.....	62
4.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับจำนวน 4 ปัจจัย.....	64
4.6	การคำนวณค่าประมาณปัจจัย ค่าประมาณสัมประสิทธิ์และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอล.....	65
4.7	ค่าจริง ค่าทำนายและผลตกค้างต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอล.....	68

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของฟีนอล	7
2.2	ฟีนอลในธรรมชาติ	7
2.3	โครงสร้างของพลังงานช่องว่างอิเล็กตรอน	11
2.4	โครงสร้างผลึกของอนาเทส รูไทล์ และบรูคไทล์	13
2.5	แถบของสารกึ่งตัวนำไฟฟ้าด้วยพลังงานศักย์ย้อนกลับ	17
2.6	กระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง	19
2.7	กลไกการเกิดออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของฟีนอล	24
2.8	สเปกตรัมของแสง	25
2.9	สูตรโครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาคริเลต	26
3.1	ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต	33
3.2	เครื่องปฏิกรณ์สำหรับการกำจัดฟีนอลด้วยกระบวนการออกซิเดชันเชิงแสงเร่งปฏิกิริยาด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต	34
4.1	ภาพพื้นผิวที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่อัตราส่วนโดยโมลของแอซีทิลอะซีโตนต่อไทเทเนียมไดออกไซด์	42
4.2	ภาพพื้นผิวที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่จำนวนรอบในการเคลือบ	43
4.3	ผลของอุณหภูมิในการเผาต่อรูปแบบ XRD ของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์	46
4.4	ผลของจำนวนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อค่าคงที่ปรากฏอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงในการกำจัดฟีนอล	49
4.5	ผลของค่าความเป็นกรด-เบสต่อค่าคงที่ปรากฏอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงในการกำจัดฟีนอล	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.6	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลต่อค่าคงที่ปรากฏอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงในการกำจัดฟีนอล	54
4.7	ผลของกำลังของหลอดยูวีต่อค่าคงที่ปรากฏอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงในการกำจัดฟีนอล	55
4.8	ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อค่าคงที่ปรากฏอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงในการกำจัดฟีนอล	57
4.9	ผลของอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนต่อค่าคงที่ปรากฏอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงในการกำจัดฟีนอล	59
4.10	ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อค่าคงที่ปรากฏอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงในการกำจัดฟีนอล	60
4.11	ผลการคำนวณตามสมการ Arrhenius Equation	60
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง Normal probability กับค่าประมาณปัจจัยต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอล	63
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่าง Normal probability กับผลตกค้างต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอล	69
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างผลตกค้างกับค่าทำนายต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอล	69
4.15	ผลการคำนวณจากสมการถดถอยกับข้อมูลจากการทดลอง	71
4.16	จำนวนรอบในการใช้งานของแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อค่าคงที่ปรากฏของอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงในการกำจัดฟีนอล	72
4.17	จำนวนรอบของกระบวนการออกซิเดชันเชิงแสงในการลดปริมาณฟีนอล	73