

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 โทลูอิน	5
2.2 การสลายโทลูอินที่ปนเปื้อนในน้ำด้วยวิธีต่างๆ	7
2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา	10
2.4 กระบวนการโฟโตแคตตาไลติก	12
2.5 ไทเทเนียมไดออกไซด์	13
2.6 การสลายโทลูอินด้วยแสงร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียม	18
2.7 การปรับปรุงกระบวนการโฟโตแคตตาไลติก	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	41
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	41
3.2 วิธีการทดลองและรวบรวมข้อมูล	42
3.2.1 การเก็บและวิเคราะห์ปริมาณ โทลูอินและสารปนเปื้อนอื่นในน้ำทิ้ง จากห้องปฏิบัติการเคมี	42
3.2.2 การศึกษาสภาวะการเกาะติดของไทเทเนียมบนตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม	44
3.2.3 การศึกษาสภาวะการสลายโทลูอินในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไทเทเนียม รูปแบบแขวนลอย	46
3.2.4 การศึกษาสภาวะการสลายโทลูอินในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไทเทเนียม รูปแบบจุ่มเคลือบ	48

3.2.5 การเพิ่มประสิทธิภาพของไทเทเนียในการสลายโทลูอินในน้ำเสีย สังเคราะห์	51
3.2.6 การศึกษาการสลายโทลูอินโดยใช้ไทเทเนียแบบจุ่มเคลือบกับสถานะ ที่เหมาะสมร่วมกับแสงอาทิตย์	55
3.2.7 การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของไทเทเนีย	58
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง</b>	60
4.1 การวิเคราะห์ปริมาณ โทลูอินและสารปนเปื้อนอื่นในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี	60
4.1.1 ปริมาณโทลูอินในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ	60
4.1.2 ปริมาณสารเคมีชนิดอื่นในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ	63
4.2 สถานะการเกาะติดของไทเทเนียบนตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม	64
4.2.1 ผลของตัวกลางที่ใช้ในการกระจายตัวของไทเทเนียต่อการเกาะติด ของไทเทเนียบนตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม	64
4.2.2 การเตรียมตะแกรงและอุณหภูมิการเผาไทเทเนียที่มีผลต่อการเกาะติด ของไทเทเนีย	65
4.3 การสลายโทลูอินในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไทเทเนียรูปแบบแขวนลอย	68
4.4 การสลายโทลูอินในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไทเทเนียแบบจุ่มเคลือบ	72
4.5 การเพิ่มประสิทธิภาพของไทเทเนียในการสลายโทลูอินในน้ำเสียสังเคราะห์	74
4.5.1 การเติมสารลดแรงตึงผิว	74
4.5.2 การกระจายตัวของสังกะสี (II) ไอออน และ นิกเกิล (II) ไอออนบน ไทเทเนีย	92
4.5.3 การสลายโทลูอินในน้ำเสียจริงด้วยไทเทเนียและแสงยูวีร่วมกับ สถานะที่เหมาะสมที่สุด	99
4.6 การสลายโทลูอินโดยใช้ไทเทเนียแบบจุ่มเคลือบกับสถานะที่เหมาะสมร่วมกับ แสงอาทิตย์	102
4.6.1 การเปรียบเทียบความเข้มแสงของหลอดยูวีกับแสงอาทิตย์	103
4.6.2 การสลายโทลูอินในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไทเทเนียแบบจุ่มเคลือบ ในสถานะที่เหมาะสมร่วมกับแสงอาทิตย์	103
4.6.3 การสลายโทลูอินในน้ำเสียจริงโดยใช้ไทเทเนียแบบจุ่มเคลือบ ในสถานะที่เหมาะสมร่วมกับแสงอาทิตย์	110

4.7 สมบัติทางเคมีและกายภาพของไทเทเนียม	112
4.7.1 การวิเคราะห์วัฏภาคของไทเทเนียมด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD)	113
4.7.2 การวิเคราะห์ค่า Band gap energy ของไทเทเนียมด้วยเทคนิค UV-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS)	117
4.7.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของไทเทเนียมด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)	120
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	123
ข้อเสนอแนะ	124
<b>บรรณานุกรม</b>	125
<b>ภาคผนวก</b>	137
<b>ประวัติผู้เขียน</b>	177

## รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	รูปแบบไทเทเนียมและสภาวะในการสลายโทลูอินในระบบของเหลวด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติก	21
2.2	วัสดุและรูปร่างของตัวรองรับการเคลือบไทเทเนียมในการสลายสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติก	22
2.3	ชนิดของโลหะที่เติมในไทเทเนียม สภาวะของกระบวนการโฟโตแคตาไลติกและอัตราการสลายสารมลพิษ	34
2.4	ผลการสลายโทลูอินเมื่อใช้โลหะหรือ โลหะออกไซด์บางชนิดร่วมกับไทเทเนียม (Zuo <i>et al.</i> , 2006)	35
3.1	ช่วงเวลาการเก็บน้ำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ โทลูอิน	42
4.1	ข้อมูลการสั่งซื้อ โทลูอินคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีการศึกษา 2546-2552	60
4.2	ความเข้มข้นของโทลูอินและค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีอุตสาหกรรมและน้ำเสียสังเคราะห์	62
4.3	ปริมาณสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC	63
4.4	ประสิทธิภาพการเกาะติดของไทเทเนียมบนตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีวิธีการเตรียม ตะแกรงแตกต่างกัน	66
4.5	ประสิทธิภาพการเกาะติดของไทเทเนียมต่อและอุณหภูมิการเผาไทเทเนียม	68
4.6	ร้อยละการสลายโทลูอินในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงที่เวลา 60 นาที	102

## รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	สูตร โครงสร้างของโทลูอิน	5
2.2	กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยา (Oppenländer, 2003)	13
2.3	โครงสร้างผลึกไทเทเนีย (a) แอนาเทส (b) รูไทล์ (c) บรูไคท์ (Smyth, 2009)	14
2.4	รูปแบบ XRD ของไทเทเนียที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Sol gel และเผาที่อุณหภูมิที่ 400 – 900°C นาน 3 ชั่วโมง แสดงให้เห็นวัฏภาคแอนาเทสเริ่มเปลี่ยนเป็นรูไทล์ที่ 800°C (Wetchakun and Phanichphant, 2008)	15
2.5	กลไกปฏิกิริยาการสลายโทลูอินโดยใช้แสง (Negishi <i>et al.</i> , 2006)	19
2.6	ถังปฏิกรณ์กระบวนการโฟโตแคตาไลติกแวนอนน ใช้หลอดยูวีประกบด้านนอกเพื่อสลายแก๊สโทลูอิน (Maira <i>et al.</i> , 2001)	23
2.7	ถังปฏิกรณ์กระบวนการโฟโตแคตาไลติกชนิดแก๊ส-ของแข็งที่เคลือบไทเทเนียไว้บนลูกแก้วเพื่อสลายแก๊สโทลูอิน ส่วนประกอบคือ (a) gas inlet, (b) gas distributor, (c) glass pellets, (d) catalyst bed, (e) flanged coupling and (f) gas outlet	24
2.8	ถังปฏิกรณ์โฟโตแคตาไลติกชนิดแก๊ส-ของแข็ง ซึ่งเคลือบไทเทเนียไว้บนใบพัดติดตะแกรงและหมุนในถังปฏิกรณ์เพื่อสลายโทลูอิน (Marcí <i>et al.</i> , 2003)	24
2.9	สูตร โครงสร้างสารลดแรงตึงผิว Cetyl trimethylammonium bromide (CTAB)	26
2.10	แบบจำลอง (a) สารลดแรงตึงผิวที่กระจายตัวในสารละลาย (b) สารลดแรงตึงผิววางตัวแนวราบที่ผิวของสารสองชนิดที่แยกชั้นกัน (c) การเรียงกันเป็นแนวตั้งของสารลดแรงตึงผิวและ (d) การเกิดไมเซลล์	27
2.11	ตัวอย่างโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวชนิด Anionic	28
2.12	ตัวอย่างโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวชนิด Cationic	29
2.13	ตัวอย่างโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวชนิด Nonionic	29
2.14	ตัวอย่างโครงสร้างลดแรงตึงผิวชนิด Zwitterionic	30
2.15	สเปกตรัมของแสงอาทิตย์เฉลี่ยบนพื้นโลก (ตรวจวัดที่ประเทศสเปน) ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 300-1100 nm (Galvez, 2003)	37
2.16	ถังปฏิกรณ์แบบเปิดโดยใช้แสงอาทิตย์ 4 รูปแบบ; (a) Parabolic trough reactor (PTR), (b) Thin film fixed bed reactor (TFFBR), (c) Compound parabolic collecting reactor (CPCR) and (d) Double skin sheet reactor (DSSR) (Bahnemann, 2004)	40

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	ขั้นตอนการเตรียมตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อเคลือบไทเทเนียมด้วย 2 วิธี (a) การล้างด้วยเอทานอลและเอทิลเมทิลคีโตน (Chen and Dionysiou, 2006) (b) การแช่ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 30 (Giromelli et al., 2006)	45
3.2	แบบจำลองถึงปฏิกิริยาที่ใช้ในการสลายโทลูอินด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโดยใช้ไทเทเนียมรูปแบบแขวนลอย	47
3.3	ชุดถึงปฏิกิริยาที่ใช้ในการสลายโทลูอินด้วยไทเทเนียมรูปแบบแขวนลอยในกระบวนการโฟโตแคตาไลติก ประกอบด้วย (1) ช่องเก็บตัวอย่าง (2) ช่องเติมแก๊สออกซิเจน (3) ช่องวัดอุณหภูมิ (4) Condenser และ (5) หลอดยูวี	48
3.4	แบบจำลองใบกวนที่ใช้ในปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก	49
3.5	ชุดปฏิกิริยาที่ใช้ในการสลายโทลูอินด้วยไทเทเนียมรูปแบบจุ่มเคลือบในกระบวนการโฟโตแคตาไลติก ประกอบด้วย (1) เครื่องกวนสารเชิงกลที่ใช้ในการหมุนใบพัดในถึงปฏิกิริยา (2) หลอดยูวี (3) ช่องเก็บตัวอย่าง (4) ช่องเติมอากาศ (5) ช่องวัดอุณหภูมิ (6) Condenser และ (7) ตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมเคลือบไทเทเนียม	50
3.6	แบบจำลองถึงปฏิกิริยาขนาด 10 L และใบพัดที่ใช้ในการสลายโทลูอินในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยไทเทเนียมร่วมกับแสงอาทิตย์	56
3.7	ถึงปฏิกิริยาอะคริลิกทรงกระบอกขนาด 10 L ที่ใช้ในการสลายโทลูอินด้วยไทเทเนียมรูปแบบจุ่มเคลือบประกอบด้วย เครื่อง (1) เครื่องกวนสารเชิงกลที่ใช้ในการหมุนใบพัดในถึงปฏิกิริยา (2) ท่อเติมแก๊สออกซิเจน (3) ช่องทางออกของอากาศและ (4) ขวดดักแก๊ส	57
4.1	บ่อพักน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีอุตสาหกรรมเมื่อวันที่ 12 พฤศจิกายน 2550	61
4.2	การกระจายตัวของไทเทเนียมบนตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม โดย (a) ไทเทเนียมกระจายตัวในน้ำและ (b) ไทเทเนียมกระจายตัวในไอโซโพรพานอล และเผาที่ 200°C เป็นเวลา 2 ชม. (กำลังขยาย 4 เท่า)	65
4.3	ตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีการต่างกันก่อนเคลือบไทเทเนียม; (a) ล้างด้วยเอทานอลและเอทิลเมทิลคีโตน (b) ล้างด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 30 (c) ตะแกรงที่ล้างด้วยเอทานอลและเอทิลเมทิลคีโตนและเคลือบไทเทเนียมและเผาที่ 600°C (d) ล้างด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 30 เคลือบไทเทเนียมและเผาที่ 600°C	67

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	การสลายโทลูอินเข้มข้น 100 mg.L <sup>-1</sup> ปริมาตร 250 mL ด้วย 3 สภาวะ คือ สภาวะที่ไม่มีการเติมออกซิเจนไม่มีไทเทเนียไม่มีแหล่งแสง (●) สภาวะที่เติมออกซิเจนแต่ไม่มีไทเทเนียไม่มีแหล่งแสง (▲) และสภาวะที่เติมออกซิเจนเติมไทเทเนียรูปแบบแขวนลอยร่วมกับแสงยูวี (■)	69
4.5	กลไกการสลายโทลูอินบนพื้นผิวของไทเทเนีย	72
4.6	การสลายโทลูอินเข้มข้น 100 mg.L <sup>-1</sup> ปริมาตร 250 mL ด้วย 3 สภาวะ คือ สภาวะที่ไม่มีการเติมออกซิเจนไม่มีไทเทเนียไม่มีแหล่งแสง (●) สภาวะที่เติมออกซิเจนแต่ไม่มีไทเทเนียไม่มีแหล่งแสง (▲) และสภาวะที่เติมออกซิเจนเติมไทเทเนียรูปแบบจุ่มเคลือบร่วมกับแสงยูวี (■)	73
4.7	การสลายโทลูอินเข้มข้น 100 mg.L <sup>-1</sup> ปริมาตร 250 mL ด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโดยใช้ไทเทเนียรูปแบบแขวนลอยร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Sodium dodecylsulfate ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน; (a) Control, (b) SDS 0.0 mM, (c) SDS 0.2 mM, (d) SDS 0.4 mM, (e) SDS 0.6 mM, (f) SDS 0.8 mM และ (g) SDS 1.0 mM	75
4.8	การสลายโทลูอินเข้มข้น 100 mg.L <sup>-1</sup> ปริมาตร 250 mL ด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโดยใช้ไทเทเนียรูปแบบจุ่มเคลือบร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Sodium dodecylsulfate ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน; (a) Control, (b) SDS 0.0 mM, (c) SDS 0.2 mM, (d) SDS 0.4 mM, (e) SDS 0.6 mM, (f) SDS 0.8 mM และ (g) SDS 1.0 mM	76
4.9	ค่า Specific activity ของไทเทเนียในการสลายโทลูอินที่เวลา 60 นาทีในกระบวนการโฟโตแคตาไลติกที่ใช้ไทเทเนียไทเทเนียรูปแบบจุ่มเคลือบ (●) เปรียบเทียบกับรูปแบบแขวนลอย (■) ร่วมกับ SDS 0.0-1.0 mM	78
4.10	การสลายโทลูอินเข้มข้น 100 mg.L <sup>-1</sup> ปริมาตร 250 mL ด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโดยใช้ไทเทเนียรูปแบบแขวนลอยร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน; (a) Control, (b) Triton X-100 0.0 mM, (c) 0.2 mM, (d) 0.4 mM, (e) 0.6 mM, (f) 0.8 mM และ (g) 1.0 mM	80

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.11	การสลายโทลูอินเข้มข้น 100 mg.L <sup>-1</sup> ปริมาตร 250 mL ด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโดยใช้ไทเทเนียมรูปแบบจุ่มเคลือบร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน; (a) Control, (b) Triton X-100 0.0 mM, (c) 0.2 mM, (d) 0.4 mM, (e) 0.6 mM, (f) 0.8 mM และ (g) 1.0 mM	81
4.12	ค่า Specific activity ของไทเทเนียมในการสลายโทลูอินที่เวลา 60 นาทีในกระบวนการโฟโตแคตาไลติกที่ใช้ไทเทเนียมรูปแบบแขวนลอยเปรียบเทียบกับไทเทเนียมรูปแบบจุ่มเคลือบร่วมกับ Triton X-100 ที่ความเข้มข้น 0.0-1.0 mM	82
4.13	ค่า Specific activity ของไทเทเนียมในการสลายโทลูอินที่เวลา 60 นาทีในกระบวนการโฟโตแคตาไลติกที่ใช้ไทเทเนียมเปรียบเทียบกับรูปแบบแขวนลอยและรูปแบบจุ่มเคลือบร่วมกับสารลดแรงตึงผิว SDS เปรียบเทียบกับ Triton X-100 ที่ความเข้มข้น 0.0-1.0 mM	83
4.14	แบบจำลอง (a) การจับกันของโทลูอินและ SDS (b) SDS และโทลูอินที่สัมผัสอยู่ที่ผิวของไทเทเนียม (c) SDS ที่จับกับโทลูอิน และสัมผัสกับผิวของไทเทเนียม	85
4.15	แบบจำลอง (a) การจับกันของโทลูอินและ Triton X-100 (b) Triton X-100 และโทลูอินที่สัมผัสอยู่ที่ผิวของไทเทเนียม (c) Triton X-100 ที่จับกับโทลูอินและสัมผัสกับผิวของไทเทเนียม	87
4.16	การสลายโทลูอินเข้มข้น 100 mg.L <sup>-1</sup> ปริมาตร 250 mL ด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโดยใช้ไทเทเนียมรูปแบบจุ่มเคลือบรอบที่ 2 ที่ผ่านการคืนสภาพแล้วร่วมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด SDS ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน; (a) Control, (b) SDS 0.0 mM, (c) 0.2 mM, (d) 0.4 mM, (e) 0.6 mM, (f) 0.8 mM และ (g) 1.0 mM	89
4.17	ร้อยละการสลายโทลูอินที่เวลา 60 นาทีในกระบวนการโฟโตแคตาไลติกที่เปรียบเทียบกันระหว่างการใช้ไทเทเนียมรูปแบบจุ่มเคลือบในครั้งแรกและครั้งที่สองร่วมกับ SDS ที่ความเข้มข้น 0.0-1.0 mM	90
4.18	ร้อยละการคงเหลือของไทเทเนียมบนตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในการสลายโทลูอิน 2 ครั้ง	92
4.19	การสลายโทลูอินเข้มข้น 100 mg.L <sup>-1</sup> ปริมาตร 250 mL ด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติกร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เข้มข้น 0.6 mM โดยใช้ไทเทเนียมรูปแบบจุ่มเคลือบที่มีไอออนของสังกะสีเข้มข้นร้อยละ 0.0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 โดยน้ำหนัก	94



รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.20	การสลายโทลูอินเข้มข้น 100 mg.L <sup>-1</sup> ปริมาตร 250 mL ด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติก ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เข้มข้น 0.6 mM โดยใช้ไทเทเนียร์รูปแบบจุ่มเคลือบที่มีไอออนของนิกเกิลเข้มข้นร้อยละ 0.0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 โดยน้ำหนัก	95
4.21	ร้อยละการสลายโทลูอิน ที่เวลา 60 นาทีด้วยไทเทเนียร์รูปแบบจุ่มเคลือบที่มีไอออนของสังกะสีและนิกเกิลกระจายตัวอยู่บนไทเทเนียร์ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เข้มข้น 0.6 mM	97
4.22	ค่า Specific activity ของไทเทเนียร์ในการสลายโทลูอินที่เวลา 60 นาทีในกระบวนการโฟโตแคตาไลติกที่ใช้ไทเทเนียร์ที่มีไอออนของสังกะสีและไทเทเนียร์ที่มีไอออนของนิกเกิล ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เข้มข้น 0.6 mM	98
4.23	การสลายโทลูอินในน้ำเสียจริงปริมาตร 250 mL; ชุดควบคุมที่เต็มออกซิเจนตลอดเวลา (×) การสลายด้วยแสงจากหลอดยูวี (◆) เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เข้มข้น 0.6 mM (■) ไทเทเนียร์รูปแบบจุ่มเคลือบมีไอออนของสังกะสีร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เข้มข้น 0.6 mM (●) และเมื่อไทเทเนียร์รูปแบบจุ่มเคลือบมีไอออนของนิกเกิลร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เข้มข้น 0.6 mM (▲)	101
4.24	การสลายโทลูอินเข้มข้น 100 mg.L <sup>-1</sup> ในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 250 mL โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งแสง; ชุดควบคุมที่เต็มออกซิเจนตลอดเวลา (×) การสลายด้วยแสงอาทิตย์ (◆) เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เข้มข้น 0.6 mM (■) ไทเทเนียร์รูปแบบจุ่มเคลือบมีไอออนของสังกะสีร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เข้มข้น 0.6 mM (●) และเมื่อไทเทเนียร์รูปแบบจุ่มเคลือบมีไอออนของนิกเกิลร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เข้มข้น 0.6 mM (▲)	105

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.25	การสลายโพลูอินเพิ่มขึ้น $100 \text{ mg.L}^{-1}$ ในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 10 L โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งแสง; ชุดควบคุมที่เติมออกซิเจนจนอิ่มตัวก่อนการสลายโพลูอิน (○) ชุดควบคุมที่เติมออกซิเจนตลอดเวลา (×) การสลายด้วยแสงอาทิตย์ (◆) เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เพิ่มขึ้น 0.6 mM (■) ไทเทเนียรูปแบบจุ่มเคลือบมีไอออนของสังกะสีร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เพิ่มขึ้น 0.6 mM (●) และเมื่อไทเทเนียรูปแบบจุ่มเคลือบมีไอออนของนิกเกิลร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เพิ่มขึ้น 0.6 mM (▲)	107
4.26	ค่า Specific activity ที่เวลา 60 นาทีของไทเทเนียในการสลายโพลูอินในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 250 mL ด้วยแสงอาทิตย์ ด้วยไทเทเนียร่วมกับการเติม Triton X-100 0.6 mM (Titania/Triton) ไทเทเนียที่มีไอออนของสังกะสีร่วมกับการเติม Triton X-100 0.6 mM (Zn/Titania/Triton) และไทเทเนียที่มีไอออนของนิกเกิลร่วมกับการเติม Triton X-100 0.6 mM (Ni/Titania/Triton)	109
4.27	ค่า Specific activity ที่เวลา 60 นาทีของไทเทเนียในการสลายโพลูอินในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 10 L ด้วยแสงอาทิตย์ ด้วยไทเทเนียร่วมกับการเติม Triton X-100 0.6 mM (Titania/Triton) ไทเทเนียที่มีไอออนของสังกะสีร่วมกับการเติม Triton X-100 0.6 mM (Zn/Titania/Triton) และไทเทเนียที่มีไอออนของนิกเกิลร่วมกับการเติม Triton X-100 0.6 mM (Ni/Titania/Triton)	110
4.28	การสลายโพลูอินในน้ำเสียจริงปริมาตร 250 mL โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งแสง; ชุดควบคุมที่เติมออกซิเจนตลอดเวลา (×) การสลายด้วยแสงอาทิตย์ (◆) เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เพิ่มขึ้น 0.6 mM (■) ไทเทเนียรูปแบบจุ่มเคลือบมีไอออนของสังกะสีร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เพิ่มขึ้น 0.6 mM (●) และเมื่อไทเทเนียรูปแบบจุ่มเคลือบมีไอออนของนิกเกิลร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เพิ่มขึ้น 0.6 mM (▲)	112
4.29	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของไทเทเนียทางการค้าและผงไทเทเนียเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 200, 400 และ 600°C	114
4.30	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของไทเทเนียที่มีไอออนของสังกะสีร้อยละ 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักและไทเทเนียหลังเผาที่อุณหภูมิ 400°C	115
4.31	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของไทเทเนียที่มีไอออนของนิกเกิลร้อยละ 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักและไทเทเนียหลังเผาที่อุณหภูมิ 400°C	116

### รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.32	แบบจำลองไอออนของโลหะที่กระจายตัวอยู่บนพื้นผิวไทเทเนียม	117
4.33	UV-Vis absorbance spectra ของไทเทเนียมที่ไม่มีไอออนของโลหะและไทเทเนียมที่มีไอออนของสังกะสีร้อยละ 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 โดยน้ำหนัก	118
4.34	UV-Vis absorbance spectra ของไทเทเนียมที่ไม่มีไอออนของโลหะ และไทเทเนียมที่มีไอออนของนิกเกิลร้อยละ 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 โดยน้ำหนัก	120
4.35	ภาพถ่าย SEM ของ (a) ของไทเทเนียมทางการค้า (b) ไทเทเนียมหลังเผาที่ 200°C (c) ไทเทเนียมหลังเผาที่ 400°C และ (d) ไทเทเนียมหลังเผาที่ 600°C (กำลังขยาย 7,000 เท่า)	122