



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงด้วยไททานेटโครงสร้างจำเพาะระดับนาโนเมตร

ร่วมกับโลหะซิลเวอร์

Photocatalytic activity of silver doped titanate nanostructures

ผศ.ดร.กฤษณ์นนท์ เกียรติกิตติพงษ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากกองทุนวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงด้วยไททานเดียมไดออกไซด์โครงสร้างจำเพาะระดับนาโนเมตร
ร่วมกับโลหะชีวเวอร์

แหล่งเงิน ทุนสนับสนุนกองทุนวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2560 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 480,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 2 ปี ตั้งแต่ มกราคม 2560 ถึง มกราคม 2562

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

ผศ.ดร.กฤษณ์พันธ์ เกียรติกิตติพงษ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับและการย่อยสลายสีย้อม โดยใช้สารประกอบท่อนาโนไททานเดียมและริบบอนนาโนไททานเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง การสังเคราะห์ด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มอล ริบบอนนาโนไททานเดียมที่มีความกว้าง 0.2 ไมโครเมตร ความยาว 2.5 ไมโครเมตร มีลักษณะพื้นที่ผิว 32 ตารางเมตรต่อกรัม ถูกสังเคราะห์ที่สภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และท่อนาโนไททานเดียมที่มีความกว้าง 0.2 ไมโครเมตร ความยาว 6.4 ไมโครเมตร มีลักษณะพื้นที่ผิว 138 ตารางเมตรต่อกรัม ที่สภาวะอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จะได้ การล้างกรดไฮโดรคลอริกช่วยแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างโซเดียมกับไฮโดรเจน ในการหาประสิทธิภาพการดูดซับของสารประกอบนาโนไททานเดียมในละลายเมทิลีนบลู พบว่าท่อโซเดียมนาโนไททานเดียมมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุดเนื่องจากมีพื้นที่ผิวมากที่สุด ลักษณะแลงเมียร์ไอโซโทม และค่าคงที่ของอัตราการดูดซับในรูปแบบของ pseudo second order โดยค่าของการดูดซับที่มากที่สุดเท่ากับ 178.57 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าคงที่อัตราการดูดซับมีค่าเท่ากับ 0.079 ต่อมิลลินาที ในส่วนการย่อยสลายเมทิลีนบลูโดยใช้แสงเป็นตัวกระตุ้นด้วยท่อโซเดียมนาโนไททานเดียมพบว่าจะมีค่าอัตราในการย่อยสลายที่ 0.102 ต่อนาที โดยที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูเริ่มต้นที่ 10 mg/l

คำสำคัญ : ไททานเนียม ไททานเดียม ริบบอนนาโน กระบวนการโฟโตแคตตาไลติก

Research Title: Photocatalytic activity of silver doped titanate nanostructures.....

Researcher: Asst.Prof.Dr. Kunlanun Kiatkitipong.....

Faculty: Engineering..... **Department:** Chemical Engineering.....

ABSTRACT

The objective of this thesis is to study adsorption performances and degradation for organic dye pollutants through photocatalysis using titanates nanotubes and titanates nanoribbons. The titanate nanostructures were synthesized via hydrothermal reaction. Titanates nanoribbons width 0.2 μm length 2.5 μm and surface area of 38 m^2/g was obtained under the condition at temperature 200 C for 24 hr, and titanates nanotubes width 0.2 μm length 6.4 μm and surface area of 138 m^2/g was obtained at 150 C for 72 hr. Washing with HCl providing ion-exchange between sodium and hydrogen can produce hydrogen titanate. The adsorption performances of methylene blue onto nanotitanates compound was studied. The equilibrium adsorption data were analyzed with Langmuir isotherm models and adsorption kinetics was evaluated by the pseudo-second-order model. The sodium titanates nanotube shows the best performances for dark adsorption, corresponding to maximum adsorption capacity of 178.57 mg/g and adsorption kinetics of 0.119 min^{-1} . For degradation onto methylene blue with sodium titanates nanotubes, this showed rate constant of 0.102 min^{-1} by initial concentration of methylene blue at 10 mg/l

Keywords : Titania Titanate Nanoribbon Photocatalytic reaction

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลขที่สัญญา KREF015907 และ ขอขอบคุณ นายกษิธิศ นาคทรัพย์และ นายอวยชัย ธิศรี ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลอง



..... ผศ.ดร.กฤษณ์พันธ์ เกียรติกิตติพงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กระบวนการโฟโตแคตาไลติก (Photocatalytic activity).....	3
2.2 สารประกอบไททานเนียม-ออกไซด์ (Titanium-oxide compound).....	4
2.3 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal synthesis).....	6
2.4 กระบวนการดูดซับ (Ion-exchange).....	7
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	10
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	10
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	10
3.3 การสังเคราะห์ริบบอนนาโนไททานเนตด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล.....	10
3.4 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมี.....	11
3.5 การดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู.....	12
3.6 การกำจัดสารละลายเมทิลีนบลูด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา.....	12

บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะสารตั้งต้น	13
4.2 ผลการสังเคราะห์รีบอนนาโนไททานต	14
4.3 ผลการสังเคราะห์ท่อนาโนไททานต	17
4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู	18
4.5 การย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู	18
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	20
บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย	21
บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง	22
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย	24
ประวัตินักวิจัย	25



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างสภาวะการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาของสารประกอบไททานเนียมไดออกไซด์.....	6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การเกิดช่องว่างของอิเล็กตรอน และ โฮล จากการกระตุ้นด้วยพลังงานจากแสง.....	3
2.2 กระบวนการ โฟโตแคตตาไลติก.....	4
2.3 โครงสร้างผลึกของไททานเนียมไดออกไซด์.....	5
2.4 ภาพจำลองโครงสร้างแบบชั้นของไททานเนต.....	7
4.1 ลักษณะทางกายภาพของไททานเนียมไดออกไซด์แบบอะนาเทส.....	13
4.2 ลักษณะพื้นฐานและพื้นผิวของไททานเนียมออกไซด์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้น.....	14
4.3 โครงสร้างผลึกของไททานเนียมออกไซด์แบบอะนาเทส.....	14
4.4 ลักษณะทางกายภาพของริบบอนนาโนไททานเนต.....	15
4.5 พื้นผิวและลักษณะพื้นผิวของริบบอนนาโนไททานเนต.....	15
4.6 โครงสร้างผลึกของริบบอนนาโนไททานเนต.....	16
4.7 พื้นผิวและลักษณะพื้นผิวของริบบอนโซเดียมนาโนไททานเนต.....	17
4.8 พื้นผิวและลักษณะพื้นผิวของริบบอนไฮโดรเจนนาโนไททานเนต.....	17
4.9 ลักษณะพื้นผิวของท่อนาโนไททานเนต.....	18
4.10 กราฟความเข้มข้นสารละลายเมทิลีนบลูเทียบกับเวลา.....	18
4.11 การย่อยสลายเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 และ 20 mg/L.....	19

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ประเทศไทยได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด มีการขยายตัวในส่วนของภาคอุตสาหกรรม ภาค การเกษตรและการเพิ่มขึ้นของประชากรในประเทศ ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาโดยตลอด น้ำเสีย จึงนับเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างหนึ่งที่ได้รับการตระหนักถึงและให้ความสำคัญ สารอินทรีย์ที่เจือปนในน้ำที่ ปล่อยออกมาเป็นผลทำให้น้ำเน่าเสียและเป็นพิษต่อ มนุษย์ สัตว์ และพืช ที่มีผลต่อคุณภาพชีวิตของประชากร เทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการกำจัดสารพิษในน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็น การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วย กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง หรือกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (photocatalysis) จึงเป็นวิธีทางเลือกที่มี ประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสารอินทรีย์และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยนำน้ำเสียมาผ่านปฏิกิริยาการ ย่อยสลายสารอินทรีย์ (Photodegradation) ด้วยแสงที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วมด้วย โดยสารอินทรีย์ที่เป็น พิษจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide: TiO₂) เป็นวัสดุที่ ถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (photocatalysis) อย่างแพร่หลาย เนื่องจาก มี ความเสถียรทางเคมี โดยสามารถดูดซับแสงในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตค่าความยาวคลื่นประมาณ 280-380 นา โนเมตร โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลจะทำให้กระบวนการการย่อยสลายสารอินทรีย์คือคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น เฟส (Phase) ความสมบูรณ์ของผลึก (crystallize) พื้นที่ผิวจำเพาะ (surface area) เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้คือการศึกษากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (photocatalysis) โดยมุ่งเน้นการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา ไททาเนียมไดออกไซด์ระดับนาโนเมตร โครงสร้างเฉพาะ ที่ซึ่งสามารถ ควบคุมคุณสมบัติให้เหมาะสมกับสารพิษที่จะนำมาย่อยสลาย และการแยกของตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (photocatalysis) ที่มีแสงเป็นตัวกระตุ้น โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรที่สามารถ ควบคุมคุณสมบัติและ โครงสร้างเฉพาะตัวได้

1.2.2 เพื่อกำจัดสารพิษในน้ำด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic) ในสถานะที่มีนาโนไททา เนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1.3 ขอบเขตโครงการ

1.3.1 การสังเคราะห์รีบบอนนาโนไททาเนตจากสารตั้งต้นไททาเนียมไดออกไซด์แบบอะนาเทสทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ และระยะเวลาของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

1.3.2 ศึกษาผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานาโนไททาเนียมออกไซด์ที่สามารถควบคุมโครงสร้างและคุณสมบัติ ในกระบวนการกำจัดมลสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (Photodegradation) โดยศึกษาปัจจัยของอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงแสงยูวี รวมถึงความสามารถในการแยกตัวเร่งปฏิกิริยา



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันวิธีที่ใช้ในการบำบัดหรือกำจัดสารพิษในแหล่งน้ำมีมากมาย ทั้งกระบวนการทางเคมีเช่น การใส่สารให้เกิดตะกอน กระบวนการทางชีววิทยาโดยการย่อยด้วยจุลินทรีย์ และกระบวนการทางกายภาพ-เคมี ด้วยวิธีการดูดซับด้วยถ่าน เป็นต้น วิธีการข้างต้นช่วยลดสารพิษ แต่อาจก่อให้เกิดการตกค้างของสารพิษที่ยังคงสภาพของความเป็นพิษอยู่ หรือเกิดเป็นกากของเสียจากการดูดซับ เมื่อต้องการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่จำเป็นต้องคายซับ ส่งผลให้สารพิษดังกล่าวจึงยังคงอยู่ในระบบนิเวศไม่ได้ถูกกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถกำจัดสารพิษได้ ด้วยการทำลายโครงสร้างโมเลกุลของสารให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ วิธีดังกล่าวช่วยลดสารพิษในระบบนิเวศ และไม่ทิ้งกากของเสียอีกด้วย

2.1 กระบวนการโฟโตแคตตาไลติก (Photocatalytic activity)

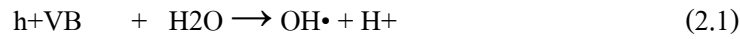
กระบวนการโฟโตแคตตาไลติกเป็นกระบวนการที่เกิดจากการกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงดูดซับโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าค่าพลังงานกระตุ้น (Activation energy) ซึ่งขึ้นกับของแถบช่องว่างพลังงาน (Band gap energy) ส่งผลให้อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ (Valence band, VB) ถูกกระตุ้นขึ้นไปยังแถบคอนดักชัน (Conduction band, CB) เกิดสภาวะการขาดอิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เกิดช่องว่างอิเล็กตรอน หรือ โฮล (e⁻/h⁺ pair) ดังแสดงในภาพที่ 2.1



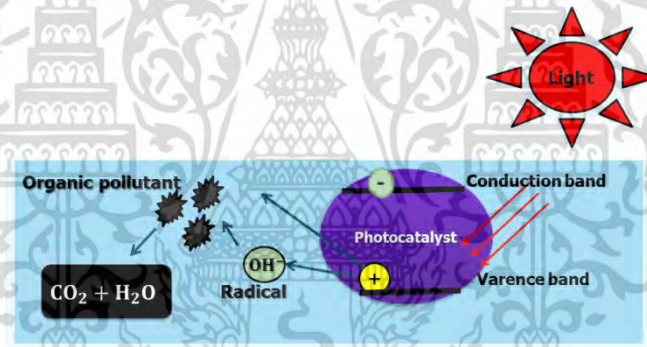
ภาพที่ 2.1 การเกิดช่องว่างของอิเล็กตรอน และ โฮล จากการกระตุ้นด้วยพลังงานจากแสง

(ปรับปรุงจาก: อภิรัฐ ,2551)

ซึ่งเมื่อผิวหน้าของสารในสถานะที่มีคู่อิเล็กตรอน-โฮลสัมผัสกับโมเลกุลของน้ำหรือออกซิเจน(O₂) ที่มีอยู่ในอากาศจะทำให้เกิดเรดิคัล (Radical) ที่มีความว่องไวสูง โดยโมเลกุลของน้ำจะถูกออกซิไดซ์ด้วยโฮลเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH•) ดังสมการที่ (2.1) ส่วนโมเลกุลของออกซิเจนจะถูกรีดิวซ์ด้วยอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบการนำพลังงาน เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัลแอนไอออน(O₂⁻) ดังสมการที่ (2.2)



ทั้งนี้ไฮดรอกซิลเรดิคัลที่เกิดขึ้นเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงสามารถย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของสาร เรียกกระบวนการนี้ว่าโฟโตออกซิเดชัน (Photooxidation) ในขณะที่ซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัลแอนไอออนเป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงสามารถทำปฏิกิริยากับสารที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) ที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของสารได้ด้วยปฏิกิริยาโฟโตรีดักชัน (Photoreduction) (ณัฐวดี และคณะ, 2551) จากสองกระบวนการที่กล่าวข้างต้นจึงเรียกระบวนการโดยรวมว่ากระบวนการโฟโตแคตตาไลติก (Photocatalytic reaction) ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 2.2 กระบวนการโฟโตแคตตาไลติก (ปรับปรุงจาก: อภิรัฐ, 2551)

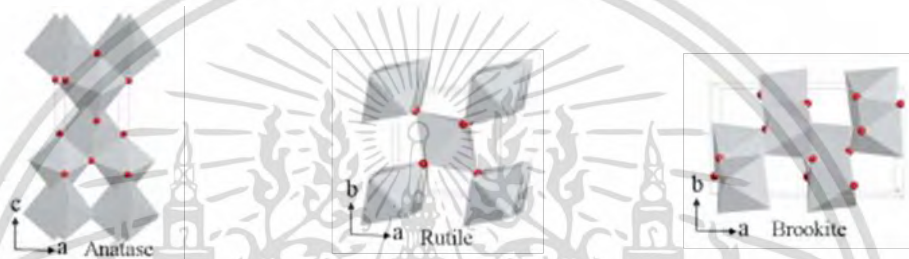
จากการศึกษาในกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกข้างต้นพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีต้องสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ในสถานะที่มีแสงซึ่งสารที่ใช้ในกระบวนการเป็นสารในกลุ่มของสารกึ่งตัวนำ (Semi-conductor) โดยส่วนใหญ่นิยมใช้สารประกอบไททาเนียมออกไซด์ เนื่องจากเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีความเสถียร ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และราคาไม่แพง

2.2 สารประกอบไททาเนียมออกไซด์ (Titanium-oxide compound)

2.2.1 ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide; TiO₂)

ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียม เป็นวัสดุที่มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง มีโครงสร้างผลึกมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ โครงสร้างแบบอะนาเทส (Anatase), รูไทล์ (Rutile) และบรูคไคท์ (Brookite) โดยโครงสร้างแบบอะนาเทสและรูไทล์ มีระบบผลึกเป็นเตตระโกนอล (Tetragonal)

ส่วนโครงสร้างแบบรูทิลไคท์มีผลึกเป็นออร์โทโรมบิก (Orthorhombic) โครงสร้างผลึกทั้ง 3 รูป ของไททาเนียมไดออกไซด์เกิดจากการเชื่อมต่อกันของอะตอมออกซิเจนของออกตะฮีดรอลที่มีลักษณะบิดเบี้ยวของไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) โดยไอออนของ Ti^{4+} ถูกล้อมรอบด้วย 6 ไอออนของ O^{2-} แต่การจัดเรียงตัวของสายโซ่ออกตะฮีดรอลของแต่ละโครงสร้างจะต่างกัน โดยโครงสร้างแบบรูทิลไคท์ การเชื่อมต่อของออกตะฮีดรอลเกิดที่บริเวณมุมและขอบ โครงสร้างแบบอะนาเทสเกิดการเชื่อมต่อกันของออกตะฮีดรอลเฉพาะที่บริเวณขอบ โดยที่แต่ละออกตะฮีดรอลถูกล้อมรอบด้วยออกตะฮีดรอลสี่ออกตะฮีดรอลและมีการใช้ขอบร่วมกัน ส่วนโครงสร้างแบบรูทิลไคท์มีระบบผลึกเป็นออร์โทโรมบิก การเชื่อมต่อของออกตะฮีดรอลเกิดขึ้นที่บริเวณขอบและมุม (ฉวีวุฒิและคณะ, 2551) ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ (ก)อะนาเทส (ข) รูทิลและ(ค) รูทิลไคท์ (อุษา, 2551)

2.2.2 การประยุกต์ใช้สารประกอบไททาเนียมออกไซด์

ไททาเนียมออกไซด์ได้รับความนิยมอย่างมากในการประยุกต์สำหรับงานในด้านต่างๆ โดยเฉพาะการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปอื่น เช่น เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) และเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสง เป็นต้น ทั้งนี้อาจมีการเพิ่มประสิทธิภาพของไททาเนียมออกไซด์ ด้วยการทำปฏิกิริยากับสารประกอบไอออนิกภายใต้สภาวะเบส ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโลหะไททาเนต นอกจากนี้ไททาเนียมออกไซด์จะมีประสิทธิภาพสูงในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงแล้ว ยังสามารถนำมาใช้เร่งปฏิกิริยาแบบไม่ใช้แสงได้ ด้วยการใส่ตัวเพิ่มความสามารถในการทำปฏิกิริยา (Promoter) และตัวรองรับ (Support) ซึ่งนำมาใช้ในการกำจัดสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน (NOX) การกำจัดสารประกอบซัลเฟอร์และการผลิตไฮโดรเจนด้วยปฏิกิริยา Gas shift reaction เป็นต้น

จากการศึกษากระบวนการโฟโตแคตตาไลติกที่กล่าวข้างต้น พบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการดังกล่าวต้องคำนึงถึงสารที่ใช้นั้นคือเป็นสารกึ่งตัวนำ ที่มีพื้นที่ผิวมากพอเพื่อดูดซับสารที่ต้องการทำปฏิกิริยา และมีพื้นที่ในการสร้างไฮดรอกซิลแรดิคัล และซูเปอร์แรดิคัลแอนไอออนเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ จากการรายงาน พบว่าริบบอนนาโนไททาเนตเป็นลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีคุณลักษณะที่เหมาะสมจากที่กล่าวข้างต้น อีกทั้งยังมีความเสถียรต่ออุณหภูมิสูงจึงเลือกสังเคราะห์ริบบอนนาโนไททาเนต

ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์ไททานเนียมมีหลายกระบวนการ ที่นิยมคือกระบวนการ โซล-เจล เป็นกระบวนการทางเคมีแบบเปียก โดยการเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (โซล) และจับตัวกันจนเป็นวุ้นที่มีความหนืดสูง (เจล) จากนั้นจึงนำเจลไปประเหย และเผา ซึ่งวิธีดังกล่าวมีหลายขั้นตอนจึงมีความยุ่งยากในการสังเคราะห์ อีกวิธีที่น่าสนใจคือวิธีไฮโดรเทอร์มอล ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงวิธีการเตรียมสารและความสามารถในการควบคุมลักษณะของผลึก จึงสนใจสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยรายละเอียดต่างๆแสดงดังหัวข้อ 2.3

2.3 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal synthesis)

ในปัจจุบันเทคนิคไฮโดรเทอร์มอลใช้ทำการสังเคราะห์วัสดุสมัยใหม่ (Advance materials) โดยเทคนิคดังกล่าวมีข้อดี คือ มีวิธีการเตรียมที่ง่าย สามารถควบคุมรูปร่างของผลึกได้ ผลึกที่ได้จะมีความบริสุทธิ์สูง อนุภาคของสารมีขนาดเล็ก มีความละเอียดสูง โดยไม่จำเป็นต้องมีการเผาหรืออบย่อยอีก ทำให้ประหยัดพลังงาน และค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์ อีกทั้งยังสามารถใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบที่มีโครงสร้างที่ง่ายและซับซ้อนได้ อีกทั้งยังสามารถใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบที่มีลักษณะรูปร่างแบบต่าง ๆ และมีโครงสร้างในระดับนาโนเมตร (nanostructure) เช่น ท่อนาโน (nanotube) แท่งนาโน (nanorod) เส้นลวดนาโน (nanowire) หรือเส้นใยนาโน (nanofiber) ความแตกต่างของโครงสร้างดังกล่าวเกิดจากสภาวะการทดลองที่ต่างกัน ดังตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 ตัวอย่างสภาวะการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาของสารประกอบไททานเนียมไดออกไซด์

ชนิดโครงสร้างตัวเร่งปฏิกิริยา	สภาวะการสังเคราะห์	
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
ริบบอนนาโนไททานด	200	24
ท่อนาโนไททานด	150	72
เส้นลวดนาโน	220	48

ที่มา: Kunlanun et al, 2011, Yongnan, 2007

การปรับปรุงสมบัติของไททานเนียมออกไซด์ ทั้งสมบัติทางด้านการดูดกลืนแสง การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ซึ่งวิธีการปรับปรุงมีหลายวิธีได้แก่ วิธีการจุ่มเคลือบสารด้วยสารละลายโลหะทรานซิชัน (Impregnation) เป็นการทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายเพิ่มขึ้น พบว่าหากจุ่มเคลือบสารบางชนิดให้กับไทเทเนียมไดออกไซด์จะสามารถขยายช่วงการดูดกลืนแสงของไทเทเนียมไดออกไซด์ให้ครอบคลุมแสงย่านที่ตามองเห็นซึ่งเป็นย่านที่มีความเข้มสูงที่สุดของแสงอาทิตย์ได้ อีกทั้งยังทำให้โครงสร้างของไทเทเนียมออกไซด์มีพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนสูงขึ้น จึงสามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้ดี (ชลดา, 2555) อีกวิธีการปรับปรุงที่น่าสนใจคือวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนกับสารประกอบโลหะ โดยจากการสังเคราะห์ไททานเนียมไดออกไซด์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ได้เป็นไททานิต เมื่อพิจารณาโครงสร้างภายในพบว่ามีลักษณะเป็นชั้นซ้อนทับกัน ภาพจำลองโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2.4 ลักษณะดังกล่าวเหมาะสมต่อการปรับปรุงด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน เพื่อให้เกิดการแทรกตัวของไอออนโลหะไประหว่างชั้นของไททานิต ซึ่งดีกว่าการจุ่มเคลือบไอออนของโลหะไว้เพียงพื้นที่ผิว ที่ง่ายต่อการเสื่อมสภาพจากการที่ไอออนโลหะจะหลุดออกจากผิวไททานิตระหว่างทำปฏิกิริยา

ภาพที่ 2.4 ภาพจำลองโครงสร้างแบบชั้นของไททานิต

2.4 กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)

กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการที่เกิดการสะสมตัวของสารหรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นที่ผิวหรือระหว่างผิวหน้า (interface) กระบวนการดูดซับนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สถานะใดๆ ได้แก่ ก๊าซกับของเหลว ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือสารคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวต่ำจะถูกดูดซับแต่สารที่มีพลังงานอิสระสูงจะไม่ถูกดูดซับ

2.4.1 กลไกของกระบวนการดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) เป็นกระบวนการกักสารละลายหรือสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กนี้เรียกว่า สารดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbent) การดูดซับนี้จะเป็นการดูดซับแบบระหว่างสถานะ (phase) ต่างๆ ทั้งสามสถานะ คือ ก๊าซ ของเหลวและของแข็ง ซึ่งมีได้ทั้งแบบของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็งและของเหลวกับของแข็ง

ปริมาณสารถูกดูดซับขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ความดันและพลังงานศักย์ของอันตรกิริยา (interaction potential energy) ระหว่างสารถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซ กับสารดูดซับซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดัน ความเข้มข้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง ในการดูดซับโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำโดยไปเกาะอยู่บนตัวดูดซับโดยโมเลกุลส่วนใหญ่จะเกาะอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับ และมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเท-โมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงจุดสมดุล

จึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ โดยในการดูดซับจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และกาดูดซับทางเคมี

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kunlanan Kiatkitipong et al. [1] ได้ศึกษาการสังเคราะห์นาโนไททานตด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันจะได้โครงสร้างของนาโนไททานตที่แตกต่างกัน โดยที่สภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทำให้เย็นตัวลงทันทีจะได้โครงสร้างของนาโนไททานตในรูปโครงสร้างริบบอนที่สมบูรณ์ และที่สภาวะอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทำให้เย็นตัวลงทันทีจะได้โครงสร้างของนาโนไททานตในรูปโครงสร้างท่อที่สมบูรณ์ อีกทั้งยังนำสารประกอบนาโนไททานตไปแลกเปลี่ยนไอออนเพื่อให้ได้โครงสร้างของสารประกอบที่แตกต่างกัน โดยได้ไฮโดรเจนนาโนไททานตและโซเดียมนาโนไททานต

Kunlanan Kiatkitipong et al. [13] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อลักษณะของอนุภาคนาโนไททานต และสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง ระหว่างริบบอนนาโนไททานต และท่อนาโนไททานต ในขณะที่แถบช่องว่างพลังงานของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองลดลงให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงเพื่อกำจัดออกซาลิก (Oxalic acid) นั้นขึ้นกับพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า เมื่อเทียบกับเมทานอล (Methanol)

Yu Hua Cheng et al. [2] ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับและปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลซิสด้วยแสงของสารประกอบไททานตในสารละลายเมทิลีนบลู ซึ่งได้มีการสังเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบไททานตโดยมีการปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิในการสังเคราะห์ระหว่าง 100-200 องศาเซลเซียส ขึ้นมา จากนั้นจะนำมาเพิ่มความสามารถในการดูดซับโดยใช้การเพิ่มพื้นที่ผิวของสารและนำไปทำให้มีความไวต่อแสงด้วยไฮโดรเจนและสารประกอบไฮโดรเจน โดยการหาประสิทธิภาพของการดูดซับนั้นจะใช้ทฤษฎีแลงเมียร์-ไอโซเทอมกับฟลูคิกไอโซเทอมในการคำนวณ โดยจากการทดลองพบว่าสารตัวอย่างที่ประกอบไปด้วย 2 เฟส ระหว่างไททานตกับไททานเนีย อัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก ที่การสังเคราะห์อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (S160) มีพื้นที่ผิวที่ 179.7 m²/g โดยมีโครงสร้างเป็นไฮโดรเจนไททานต จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการดูดซับภายใต้สภาวะที่ไม่มีแสงและกำจัดเมทิลีนบลูภายใต้สภาวะที่มีแสงโดยปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลซิสใช้แสงในช่วงที่ตามองเห็นได้ ในภายใต้สภาวะไม่มีแสงจะสามารถดูดซับเมทิลีนบลูที่ความจุ 163.66 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยใช้แลงเมียร์-ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นสมการรูปแบบการคำนวณ ในการกำจัดโดยปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลซิสที่ใช้แสงช่วงตามองเห็นที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และหาค่าอัตราการกำจัดสารละลายเมทิลีนบลูจากสมการโมเดล

แลงเมียร์ อินเซลวูดส์ ได้อัตราการย่อยสลายที่ 0.63438 โดยเป็นอัตราที่มากที่สุดซึ่งเป็นสารตัวอย่าง S160 ในการทดลอง

Lin Xiong et al. [14] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับบนท่อนาโนไททานเดนาโนโดยการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการเผามีส่วนประกอบโครงสร้างที่เหมือนกับท่อนาโนไททานเดนาโนที่ไม่ได้ผ่านการเผา โดยการเปรียบเทียบด้วยเครื่องมือ XRD เป็นสารประกอบไฮโดรเจนไททานเดต และมีค่าพื้นที่ผิวที่ 130 m²/g ไปทำการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูเพื่อหาค่าไคเนติกของการดูดซับกับไอโซเทอมของการดูดซับ โดยพบว่าค่าไคเนติกของการดูดซับเท่ากับ 0.0132 g/mg·min เป็นไปตามรูปแบบ Pseudo-second order โดยมีค่า R² เท่ากับ 0.9999 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสารละลายที่ 50 mg/L และนำไปเปรียบเทียบหาไอโซเทอมของการดูดซับ พบว่าแลงเมียร์ไอโซเทอมมีค่า R² เท่ากับ 0.993 ซึ่งมีค่ามากที่สุด ใน 3 ไอโซเทอมของการดูดซับและมีค่าการดูดซับที่มากที่สุดที่ 133.33 mg/g จึงสรุปว่าเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 ไททานเนียมไดออกไซด์ (TiO₂anatase 100%) บริษัท Carlo Erba
- 3.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd
- 3.1.4 สารละลายเมทาลินบลู เกรดวิเคราะห์ บริษัท Qrec
- 3.1.5 อะเซทิลอะซิโตน เกรดวิเคราะห์ บริษัท Sigma-Aldrich
- 3.1.6 น้ำปราศจากไอออน

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 ตู้อบ
- 3.2.2 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer)
- 3.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)
- 3.2.4 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer: XRD)
- 3.2.5 เครื่องวัดการดูดซับก๊าซ (BET)
- 3.2.6 เครื่องปฏิกรณ์สังเคราะห์ไฮโดรเทอร์มอล
- 3.2.7 เครื่องปั่นกวน
- 3.2.8 แท่งแม่เหล็ก
- 3.2.9 เครื่องเหวี่ยงสารให้ตกตะกอน (Centrifuge)
- 3.2.10 หลอดเมอร์คิวรี 500 วัตต์ (Mercury lamp) ความยาวคลื่น (380-800 นาโนเมตร)
- 3.2.11 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

3.3 การสังเคราะห์รีบบอนนาโนไททานเนตด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

3.3.1 ผสมผงไททานเนียมไดออกไซด์ 1 กรัม กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที

3.3.2 เมื่อครบตามเวลาเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาทีจึงเทสารที่ได้ลงเครื่องปฏิกรณ์สังเคราะห์ไฮโดรเทอร์มอล ดังรูป 3.1 แล้วนำไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ด้วยการให้ความร้อนแก่สารที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายในตู้อบ

3.3.3 เมื่อครบกำหนด 24 ชั่วโมง นำเครื่องปฏิกรณ์สังเคราะห์ไฮโดรเทอร์มอลออกจากตู้อบและปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะเปิดเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งภายในจะแยกชั้นระหว่างสารละลายและของแข็ง ให้เทสารละลายออกมาก่อน จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งออกมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนครั้งละ 400 มิลลิลิตร สลับกับการทำให้ตกตะกอนออกด้วยเครื่องเหวี่ยงสารตกตะกอน ทำซ้ำไปมาจนค่าของสารผลิตภัณฑ์แสดงความเป็นกรด-เบส ประมาณ 7

3.3.4 อบให้ตะกอนแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำผงโซเดียมไททานेट ที่ได้ไปตรวจสอบโครงสร้างทางผลึกต่อไป

3.4 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

3.4.1 การวิเคราะห์สัณฐานและลักษณะพื้นผิวของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่แสดงออกมาในรูปของภาพสามมิติ สร้างภาพได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนจากผิวหนังของตัวอย่าง

3.4.2 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (EDX) โดยศึกษาชนิด ปริมาณ และการกระจายขององค์ประกอบธาตุของตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยการยิงอิเล็กตรอนพลังงานสูงพุ่งชนชิ้นงานที่ประกอบไปด้วยอะตอมของธาตุที่อยู่ในสถานะพื้นเพื่อให้พลังงานแก่อิเล็กตรอนที่ระดับพลังงานวงในจนทำให้อิเล็กตรอนวงในหลุดออกจากอะตอม แล้วอิเล็กตรอนวงนอกจะคายพลังงานออกบางส่วนพร้อมทั้งเปลี่ยนชั้นพลังงานเข้ามาแทนที่อิเล็กตรอนที่หลุดไป พลังงานที่อิเล็กตรอนคายออกมาจะอยู่ในรูปของรังสีเอกซ์ซึ่งมีค่าเฉพาะตามชนิดของธาตุ เมื่อวัดค่าพลังงานรังสีเอกซ์ดังกล่าวจะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าภายในตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วยธาตุชนิดใด

3.4.3 การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนด้วยเครื่องวัดการดูดซับก๊าซ เป็นการวัดปริมาตรก๊าซที่ถูกดูดซับไว้บนพื้นผิวของอนุภาค ก๊าซที่นิยมใช้คือก๊าซไนโตรเจน ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิจุดเดือดของก๊าซไนโตรเจน (ประมาณ -196 องศาเซลเซียส) ในขั้นแรกต้องไล่ก๊าซที่ไม่ใช่ไนโตรเจนเหลวออกจากพื้นผิวของอนุภาคออกให้หมด จากนั้นจึงให้พื้นผิวดูดซับก๊าซ และวัดปริมาณการดูดซับจากปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่หายไปเมื่อป้อนสู่อุณหภูมิ หรือวัดจากปริมาณก๊าซที่คายออกมาตอนไล่ก๊าซออกจากอนุภาค

3.4.4 การวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกของริบบอนนาโนไททานेट (XRD) ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์โดยไม่ทำลายสารตัวอย่าง ใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างในมุมต่างๆกัน จากนั้นจึงนำผลของการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน เพื่อระบุโครงสร้างผลึกของสารประกอบตัวอย่าง

3.4.5 การศึกษาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลายด้วยเครื่องมือยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ เป็นการวัดปริมาณการดูดกลืนแสงของสารละลาย โดยช่วงความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลี

นบลู จะมีค่าอยู่ที่ 665 นาโนเมตร โดยทำการพล็อตกราฟสอบเทียบของค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลาย เพื่อนำค่าที่วัดการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างมาหาความเข้มข้นของสารละลาย [14]

3.5 การดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา

3.5.1 ทำการเตรียมสารละลายเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50 mg/l ในน้ำ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเจือจางสารละลายปริมาณ 10 เท่า เพื่อไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร เพื่อพล็อตกราฟสอบเทียบระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายกับค่าการดูดกลืนแสง

3.5.2 ทำการเตรียมสารละลายเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 10 20 30 และ 40 mg/l ในน้ำ 200 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ จากนั้นนำไปปั่นกวนบนเครื่องปั่นกวนที่อยู่ภายในกล่องที่บแสงดังภาพที่ 3.2 พร้อมใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.01 กรัม ลงในบีกเกอร์ จับเวลาพร้อมเก็บสารตัวอย่างทุกๆ 10 นาที ที่ปริมาตร 5 มิลลิลิตร โดยใช้ไมโครฟิลเตอร์กรองสารละลายเมทิลีนบลูก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง

3.5.3 ทำการเจือจางสารตัวอย่างโดยการเติมน้ำและสารละลายในอัตราส่วน 9 : 1 จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตรแล้วบันทึกผล

3.5.4 ทำซ้ำอีกครั้ง โดยเปลี่ยนโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาและชนิดไอออนตัวเร่งปฏิกิริยา

3.6 การกำจัดสารละลายเมทิลีนบลูด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา

3.6.1 จากการทดลองการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีน-นบลูสูงที่ ทำการเปิดไฟด้วยหลอดเมอร์คิวรี 500 วัตต์ จับเวลาพร้อมเก็บสารตัวอย่างทุกๆ 10 นาที ที่ปริมาตร 5 มิลลิลิตร โดยใช้ไมโครฟิลเตอร์กรองสารละลายสีขุ่นก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง

3.6.2 ทำการเจือจางสารตัวอย่างโดยการเติมน้ำและสารละลายในอัตราส่วน 9 : 1 จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตรแล้วบันทึกผล

3.6.3 ทำซ้ำอีกครั้ง โดยเปลี่ยนโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยา และชนิดไอออนตัวเร่งปฏิกิริยา

บทที่ 4

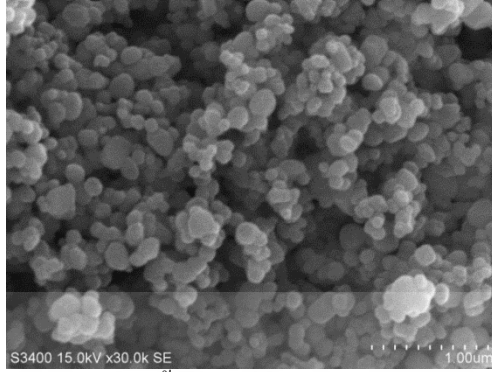
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะสารตั้งต้น (ไททาเนียมไดออกไซด์แบบอะนาเทส)

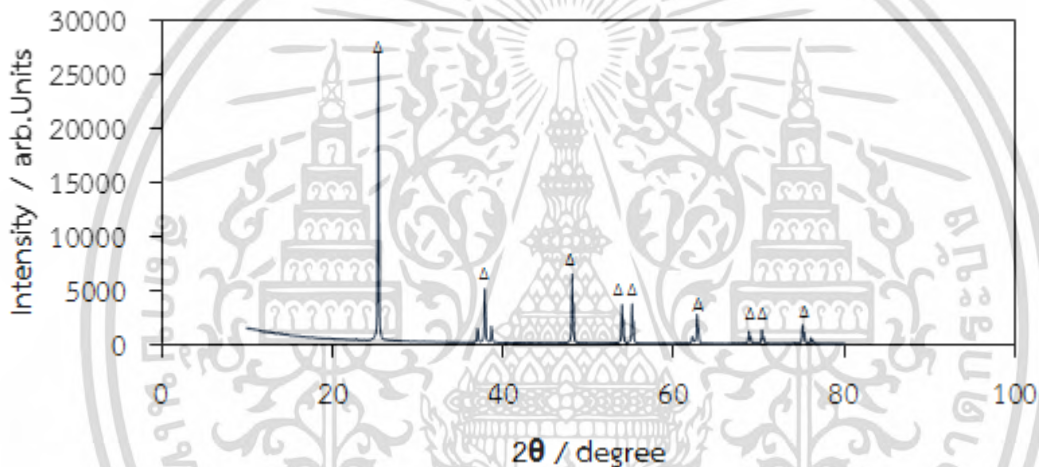
ไททาเนียมไดออกไซด์แบบอะนาเทสที่นำมาเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว มีน้ำหนักเบาจึงง่ายต่อการฟุ้งกระจาย ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และเมื่อทำการวิเคราะห์ถึงลักษณะพื้นฐานหรือลักษณะพื้นผิวของด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงดังภาพที่ 4.2 พบว่าไททาเนียมไดออกไซด์มีลักษณะพื้นฐานที่ไม่สามารถระบุได้ (Random shape) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ประมาณ 197 นาโนเมตร พื้นที่ผิวที่ได้จากเครื่องวัดการดูดซับก๊าซ (BET) เป็น 10 ตารางเมตรต่อกรัม และจากการวิเคราะห์โครงสร้างภายในด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer: XRD) พบว่าสารตั้งต้นที่นำมาสังเคราะห์เป็นแบบอะนาเทส ดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของไททาเนียมไดออกไซด์แบบอะนาเทส



ภาพที่ 4.2 ลักษณะสัณฐานและพื้นผิวของไททานเนียมออกไซด์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้น



ภาพที่ 4.3 โครงสร้างผลึกของไททานเนียมออกไซด์แบบอะนาเทส (XRD pattern: No.21-1272)

4.2 ผลการสังเคราะห์รีบบอนนาโนไททานเนต

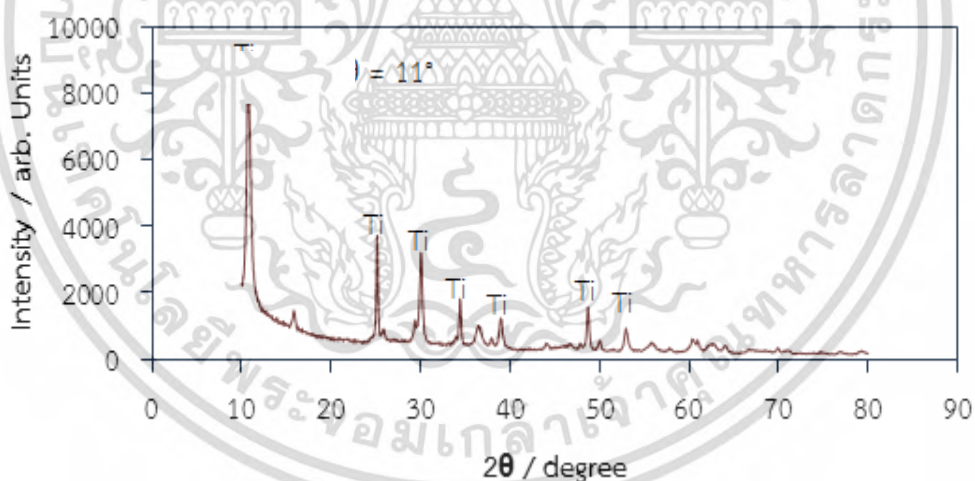
ในการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลจะได้สารประกอบเปอร์เซนต์ค่าการได้ (%yield) อยู่ที่ 83 เปอร์เซ็นต์ โดยมีลักษณะที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างไททานเนียมไดออกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล [1] ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพคือ เป็นของแข็งสีขาวซึ่งมีความละเอียด และมีน้ำหนักเบาทำให้ฟุ้งกระจายง่ายนอกเหนือจากนั้นเมื่อสัมผัสรู้สึกนุ่มมากกว่าไททานเนียมไดออกไซด์ ดังภาพที่

4.4

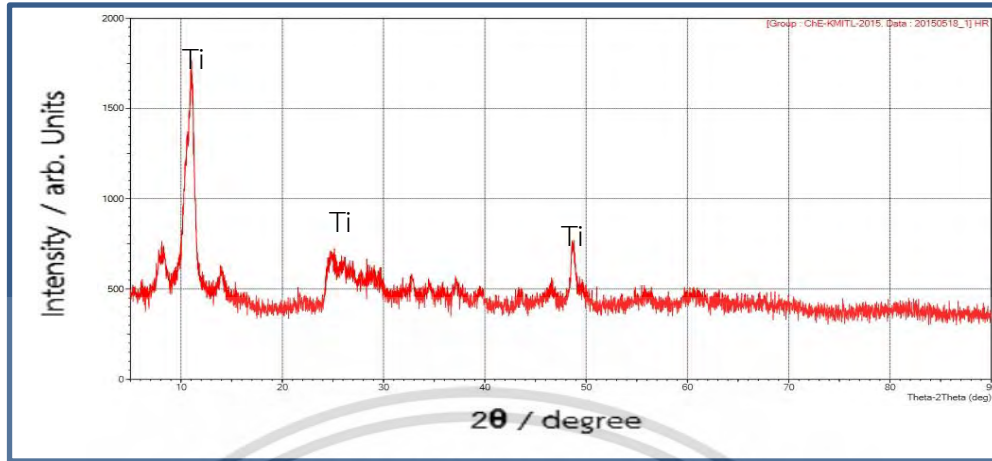


ภาพที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของริบบอนนาโนไททานेट

หลังการทำปฏิกิริยาระหว่างไททานเนียมไดออกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลแล้ว ได้ทำการสุมตัวอย่างมาเพื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตรมิเตอร์ (XRD) เมื่อพิจารณาการพิสูจน์โครงสร้างผลึกด้วย XRD ซึ่งแสดงโครงสร้างภายในของริบบอนนาโนไททานेट พบว่าเฟสที่ได้จากการพิจารณาเมื่อเทียบกับกราฟอ้างอิง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าตรงกับเฟสของโซเดียมไททานेट $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ ดังแสดงในภาพที่ 4.5 และหลังจากล้างด้วยกรด HCl พบว่าเฟสที่ได้คือ ไฮโดรเจนไททานेट $\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ ดังแสดงในภาพที่ 4.6



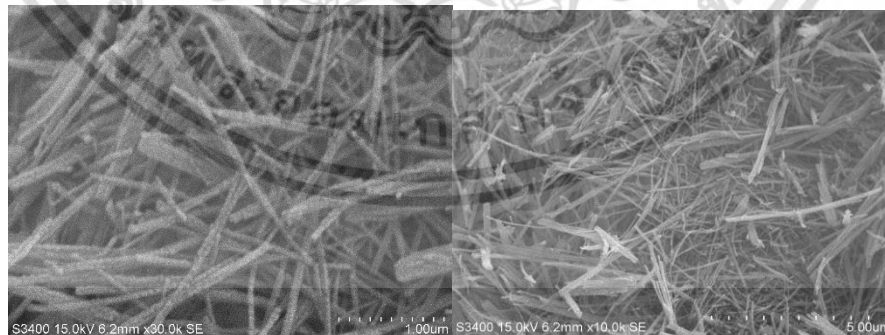
ภาพที่ 4.5 โครงสร้างผลึกของโซเดียมริบบอนนาโนไททานेट



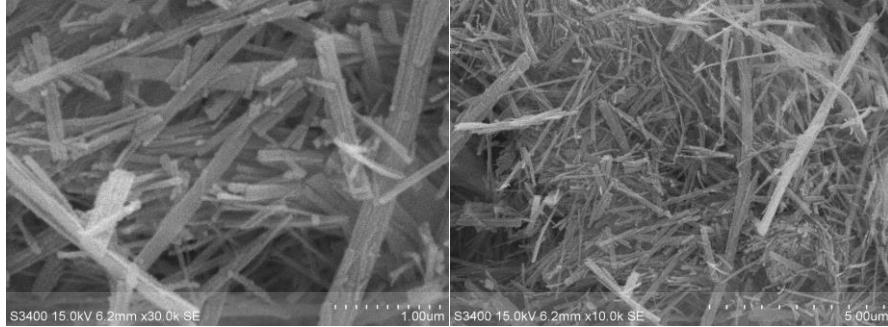
ภาพที่ 4.6 โครงสร้างผลึกของไฮดรอกไซด์นาโนไททาเนต

จากภาพที่ 4.5 พบว่าโครงสร้างของริบบอนนาโนไททาเนต มีพีคที่ 2θ เท่ากับ 11° ที่แสดงถึงโครงสร้างแบบชั้นของริบบอนนาโนไททาเนต ปริมาณสัดส่วนของธาตุภายในด้วยวิธีตรวจวัดพลังงานที่ถูกคายออกมาจากอิเล็กตรอน (EDX) ยืนยันการมีอยู่ของโซเดียม โดยสัดส่วนเชิงปริมาณของโซเดียมต่อไททาเนียมออกไซด์ มีค่าประมาณ 1 : 4 แสดงดังภาพที่ 4.5 และยืนยันการมีอยู่ของไฮดรอกไซด์ แสดงดังภาพที่ 4.6

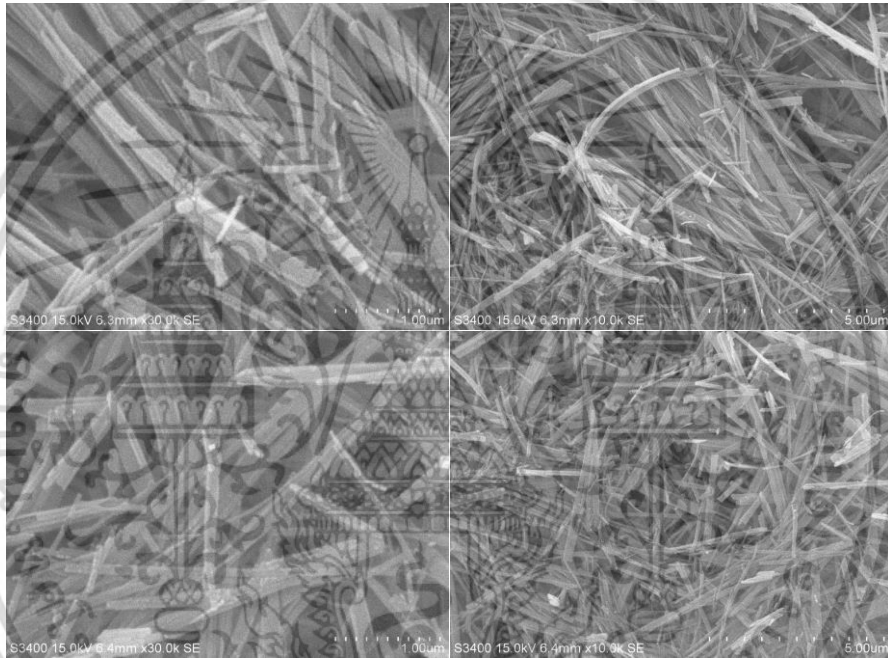
การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานและลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าลักษณะสัณฐานที่ได้มีลักษณะคล้ายริบบิ้น หรือไม้บรรทัด จึงสามารถเรียกได้อีกชื่อว่าริบบอนนาโนไททาเนต สำหรับริบบอนโซเดียมนาโนไททาเนต ดังแสดงในภาพที่ 4.7 และริบบอนไฮดรอกไซด์นาโนไททาเนต ดังแสดงในภาพที่ 4.8 มีความกว้าง และความยาว โดยเฉลี่ยเป็น 0.2 และ 2.543 ไมโครเมตร ตามลำดับ และมีพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้นเป็น 32 ตารางเมตรต่อกรัม [1] อ้างอิงจากการสังเคราะห์ที่สภาวะเดียวกัน โดยใช้เครื่องวัดการดูดซับก๊าซ (BET) เป็นอุปกรณ์ในการวัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 สัณฐานและลักษณะพื้นผิวของริบบอนโซเดียมนาโนไททานต



ภาพที่ 4.8 สัณฐานและลักษณะพื้นผิวของริบบอนไฮโดรเจนนาโนไททานต

4.3 ท่อนาโนไททานต

เมื่อนำไททานเนียมไดออกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์มาทำปฏิกิริยาด้วยกระบวนการไฮโดร-เทอร์มอลที่สภาวะ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง [1] ซึ่งต่างจากสภาวะของริบบอนนาโนไททานต ลักษณะทางกายภาพของท่อนาโนไททานตมีลักษณะเป็นของแข็งละเอียดสีขาวและมีน้ำหนักเบา เมื่อนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาลักษณะสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ซึ่งมีลักษณะคล้ายท่อจึงเรียกว่าท่อนาโนไททานต มีความกว้าง และความยาวโดยเฉลี่ยเป็น 0.2 และ 6.469 ไมโครเมตร ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4.9 จากงานวิจัยของ (Kunlanan Kiatkittipong, et al (2011)) [1] ในส่วนของการวัดหาพื้นที่ผิวโดยใช้เครื่องวัดการดูดซับก๊าซ (BET) เป็นอุปกรณ์ในการวัด จะพบว่า ท่อนาโนไททานตมีค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ

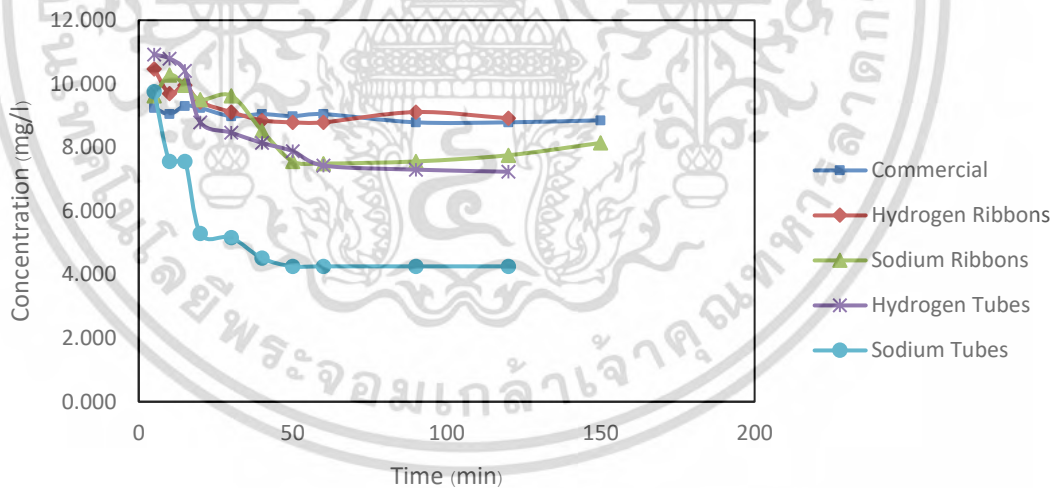
138 ตารางเมตรต่อกรัม [1] อ้างอิงจากการสังเคราะห์ที่สภาวะเดียวกัน โดยใช้เครื่องวัดการดูดซับก๊าซ (BET) เป็นอุปกรณ์ในการวัด



ภาพที่ 4.9 ลักษณะพื้นผิวของท่อนาโนไททานิค

4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู

ในการหาประสิทธิภาพของการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู สามารถหาได้จากไอโซเทอมของการดูดซับซึ่งสามารถเปรียบเทียบจากสมการของแลงเมียร์ไอโซเทอม และฟรุนดลิชไอโซเทอม โดยนำค่าความเข้มข้นที่จุดสมดุลของการดูดซับมาคำนวณ จากภาพที่ 4.10 จะแสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูที่ลดลงเทียบกับเวลาที่ความเริ่มต้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร



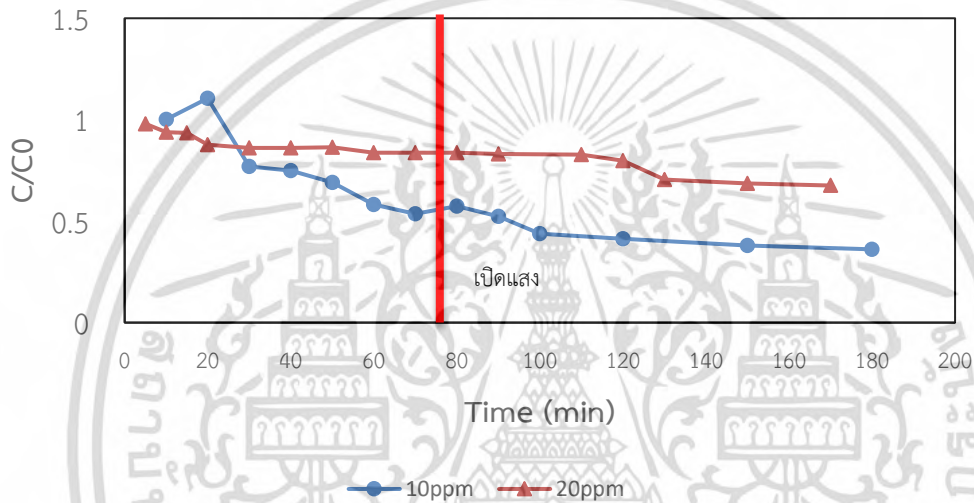
ภาพที่ 4.10 กราฟความเข้มข้นสารละลายเมทิลีนบลูเทียบกับเวลา

4.5 การย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลู

จากการทดลองการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูพบว่า โครงสร้างแบบท่อนาโน มีประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูมากกว่าโครงสร้างแบบริบบอนนาโน และสารประกอบแบบไฮดรอกไซด์ไททานิค มีค่าการดูดซับมากกว่าแบบไฮโดรเจนไททานิค จึงได้นำท่อไฮดรอกไซด์นาโนไททานิคมาทำการทดลองและที่ความเข้มข้นสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมทิลีนบลูที่ 10 และ 20 mg/l ซึ่งมีค่าการทดลองที่แม่นยำกว่าค่าความเข้มข้นอื่น จึงได้นำมาทำการทดลองการย่อยสลายเมทิลีนบลูโดยใช้แสงเป็นตัวกระตุ้น โดยจากการทดลองการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูจะได้ค่าความเข้มข้นคงที่ (C_0) ของแต่ละความเข้มข้นจะมีค่าความเข้มข้นคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาทีหลังเริ่มทดลอง ดังนั้นในส่วนของ การย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูโดยใช้แสงกระตุ้น หรือ กระบวนการโฟโตแคตตาไลติก จะทำการเปิดแสงจากหลอดเมอร์คิวรี 500 วัตต์ ซึ่งเป็นแสงที่มองเห็นได้มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 360-800 นาโนเมตร หลังจากเวลาผ่านไป 60 นาทีและนำค่ามาพล็อตกราฟระหว่างค่าความเข้มข้นต่อความเข้มข้นเริ่มต้นกับ ซึ่งจะมีค่าความเข้มข้นลดลงเพิ่มขึ้นจากเดิมจนคงที่เมื่อผ่านไป 3 ชั่วโมงดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 การย่อยสลายเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 และ 20 mg/l

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในการสังเคราะห์สารประกอบนาโนไททานตด้วยไททานเนียมไดออกไซด์กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 72 ชั่วโมง ได้ท่อนานาไททานต ขนาดความกว้าง 0.2 ไมโครเมตร ความยาว 6.4 ไมโครเมตร มีลักษณะพื้นที่ผิว 138 ตารางเมตรต่อกรัม และที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง ได้รับอนนา-โนไททานต ขนาดความกว้าง 0.2 ไมโครเมตร ความยาว 2.5 ไมโครเมตร มีลักษณะพื้นที่ผิว 32 ตารางเมตรต่อกรัม และมีการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเพื่อให้ได้โครงสร้างไฮโดรเจนนาโนไท-ทานต ในการทดลองการดูดซับเมทิลีนบลูเพื่อเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมด 5 ชนิด คือ ท่อนานาโซเดียมไททานต ท่อนานาไฮโดรเจนไททานต ธิบอบนาโนโซเดียมไททานต ธิบอบไฮโดรเจนนาโนไททานตและไททานเนียมไดออกไซด์ ซึ่งจะเปรียบเทียบจากไอโซเทอมของการดูดซับเพื่อหาประสิทธิภาพของการดูดซับ จากการเปรียบเทียบการคำนวณจะพบว่า สารประกอบนาโนไททานตจะมีไอโซเทอมในรูปแบบของแลงเมียร์ไอโซเทอม และจากตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 5 ชนิดนั้น จะพบว่าท่อโซเดียมนาโนไททานต สามารถดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูได้มากที่สุด จากการคำนวณสมการแลงเมียร์ไอโซเทอม โดยมีค่าการดูดซับมากที่สุดอยู่ที่ 178.57 มิลลิกรัม/กรัม ดังนั้นแล้ว ท่อโซเดียมนาโนไททานตจึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู โดยพบว่าพื้นที่ผิวที่มากจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากขึ้น และได้นำมาหาค่าคงที่อัตราการดูดซับพบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงในรูปแบบจำลองของ pseudo second order โดยมีค่าคงที่อัตราการดูดซับอยู่ที่ 0.075 และ 0.028 ต่อมิลลิวินาที ที่สารละลายเริ่มต้นเมทิลีนบลูความเข้มข้นเริ่มต้น 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร การกำจัดสารละลายเมทิลีนบลูโดยเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาท่อโซเดียมนาโนไททานตจากการที่มีค่าการดูดซับมากที่สุด จะพบว่าค่าความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูจะมีค่าลดลงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการทดลองโดยไม่ใช้แสงกระตุ้นจนมีค่าคงที่คงหนึ่ง และสามารถนำไปหาค่าคงที่อัตราการย่อยสลายในรูปแบบ สมการ Modified Langmuir Hinshelwood จะมีค่าที่ 0.0102 และ 0.0028 ต่อนาที ในสารละลายเริ่มต้นเมทิลีนบลูความเข้มข้นเริ่มต้น 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

บทที่ 6
สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

เผยแพร่บทความวิจัย 1 เรื่อง

Kiatkittipong, K., Assabumrungrat, S., (2017) A Comparative Study of Sodium/Hydrogen Titanate Nanotubes/Nanoribbons on Destruction of Recalcitrant Compounds and Sedimentation, Journal of Cleaner Production, 148, 905-914. Impact Factor 5.651



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. “คู่มือการจัดการสารอันตรายสูงฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde).” กรุงเทพมหานคร : กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย. 2541.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. “คู่มือการจัดการสารเคมีอันตรายสูงฟอร์มัลดีไฮด์.” [Online]. Available : <http://oaep.diw.go.th/cms/images/stories/pdf/Formaldehyde.pdf>.

ชลดา ชีรการุณวงศ์. “ทบทวนเอกสารเรื่องวิธีการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์และโครงสร้างของวัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์.” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. ปีที่ 14 (ฉบับที่ 1). 2555.

ณัฐพร ม่วงไตรรัตน์ และคณะ. “การพัฒนาสารเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์ระดับนาโนบนเหล็กกล้าไร้สนิม.” วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2554.

ณัฐวดี เทียนผ่องใส และคณะ. “การบำบัดน้ำเสียที่มีฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยกระบวนการเร่งเชิงแสงในสภาวะที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.” โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2551.

พิมพ์สิรินทร์ แดงสระน้อย และคณะ. “ออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสีย.” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.

อภิรัฐ ทวีรัตนานนท์ และคณะ. “การปรับปรุงสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) โดยใช้เส้นใยจากเปลือกข้าวโพด.” โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2551.

อุษา สุขขา. “ผลของพฤติกรรมทางความร้อนและการเจือโลหะเงินที่มีต่อโครงสร้างผลึกสมบัติ ทางกายภาพของไททาเนียมไดออกไซด์.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีอินทรีย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2551.

Chengxiang Wang, Longwei Yin, Luyuan Zhang, Ningning Liu, Ning Lun, and Yongxin Qi (2010). “Platinum-Nanoparticle-Modified TiO₂ Nanowires with Enhanced Photocatalytic Property.” Applied materials and interface. 11(2): 3373-3377.

Daijiro Tsukamoto, Makoto Ikeda, Yasuhiro Shiraishi, Takayoshi Hara, Nobuyuki Ichikuni, Shunsuke Tanaka, and Takayuki Hirai (2011). “Selective Photocatalytic Oxidation of Alcohols to Aldehydes in Water by TiO₂ Partially Coated with WO₃,” Journal of Chemistry European. 17: 9816-9824.

Hoang Tran, Jason Scott, Ken Chiang, Rose Amal (2006). "Clarifying the role of silver deposits on titania for the photocatalytic mineralisation of organic compounds." *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 183: 41-52.

Guangsheng Cao, Hui Li and Xiaojuan Zhang, *Synthesis* (2010). "photoluminescence and adsorption of Cu-doped hydrogen titanates nanotubes." *Micro & Nano Letters*. 6(2): 98-101.

M.Vithaln,S.RamaKrishna,G.Ravi,SureshPalla,RadhaVelchuri,SomeshwarPola (2013). "Synthesis of Cu^{2+} and Ag^+ doped $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ by a facile ion-exchange method as visible-light-driven photocatalysts." *Ceramics International*. 39: 8429-8439.

Ping Weia,b, Jiawen Liua,n, Zhonghua Lib, nnaKey (2012). "Effect of Pt loading and calcination temperature on the photocatalytic hydrogen production activity of TiO_2 microspheres." *Journal of Chemical Engineering*. 39: 5387-5391

Kunlanun Kiatkitipong, Akihide Iwase, Jason Scott, Rose Amal (2011). "Hydrothermally Synthesized Titanate Nanostructures: Impact of Heat Treatment on Particle Characteristics and Photocatalytic Properties." *Journal of Chemical Engineering Science*. 3: 3988-3996.

Kunlanun Kiatkitipong, Akihide Iwase, Jason Scott, Rose Amal (2013). "Photocatalysis of heat-treated sodium- and hydrogen-titanate nanoribbons for water splitting, H_2/O_2 generation and oxalic acid oxidation." *Journal of Chemical Engineering Science*. 93: 341-349.

Yongnan Zhao, Jun Jin, Xiaoqin Yang (2007). "Hydrothermal synthesis of titanate nanowire arrays." *Materials Letters*. 61: 384-388.



แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า รอบ 24 เดือน ประจําปีงบประมาณ.....2560.....

 แหล่งงบประมาณแผ่นดิน(แบบปกติ) แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงด้วยไทเทเนตโครงสร้างจำเพาะระดับนาโนเมตรร่วมกับโลหะชีวเวอร์

ภาษาอังกฤษ (Photocatalytic activity of silver doped titanate nanostructures

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย (อ./ดร./ผศ./รศ./ศ.).....กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่.....1/ มกราคม/ 2559.....ถึงวันที่.....1/ มกราคม/ 2562.....

ระยะเวลาดำเนินการ.....2 ปี ตั้งแต่วันที่.....1/ มกราคม/ 2559.....ถึงวันที่.....1/ มกราคม/ 2562.....

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1.....230,520 บาท.....48% วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ว/ด/ป).....23/ มกราคม/ 2560.....

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้ตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร :ค่าจ้างชั่วคราว	-	-	-
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน	88,200	88,200	
ค่าใช้สอย	190,000	190,000	0
ค่าวัสดุ	201,800	201,800	0
ค่าสาธารณูปโภค			
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์			
รวม	480,000	480,000	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล ผศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์

ตำแหน่งปัจจุบัน

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
Ph.D. (Chem. Eng.)	Chemical Engineering	The University of New South Wales	2012
B.Sc. (Chem. Eng.)	Chemical Engineering	Chulalongkorn University	2008

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

การใช้โครงสร้างนาโนไททานตแบบหนึ่งมิติ (1D titanate) ที่เตรียมได้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมไททานเนียมไดออกไซด์/ไททานต โครงสร้าง 2 หรือ 3 มิติ (2D, 3D structures) เพื่อได้ลักษณะโครงสร้างที่เลือกจำเพาะ (Shape selective) สำหรับการดูดซับ หรือการเร่งปฏิกิริยา หรือเพื่อปรับปรุง เปลี่ยนแปลง คุณสมบัติ เช่น เฟสของผลึก (crystalline phase) ด้านมุมของผลึก (exposed facets) เพื่อให้การใช้งาน โครงสร้างนาโนไททานตเกิดประสิทธิภาพ และความหลากหลายในการประยุกต์ใช้งานมากยิ่งขึ้น

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2557	ทุนวิจัย	ทุนส่งเสริมนักวิจัยรุ่นใหม่ (สกว.)
2558	ทุนวิจัย	ทุนโครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
2560	ทุนวิจัย	ทุนส่งเสริมนักวิจัยรุ่นใหม่ สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ).....

Publications

1. Payormhorm, J., Chuangchote, S., **Kiatkittipong, K.**, Chiarakorn, S., Laosiripojana, N., (2017) Xylitol and gluconic acid productions via photocatalytic-glucose conversion using TiO₂ fabricated by surfactant-assisted techniques: Effects of structural and textural properties, *Materials Chemistry and Physics*, 196 29-36.
2. **Kiatkittipong, K.**, Assabumrungrat, S., (2017) A Comparative Study of Sodium/Hydrogen Titanate Nanotubes/Nanoribbons on Destruction of Recalcitrant Compounds and Sedimentation, *Journal of Cleaner Production*, 148, 905-914.
3. Phimsen, S., Yamada, H., Tagawa, T., Kiatkittipong, W., **Kiatkittipong, K.**, Laosiripojana, N., Assabumrungrat, S., (2017) Epoxidation of methyl oleate in a TiO₂ coated-wall capillary microreactor, *Chemical Engineering Journal*, 314, 594-599.
4. Phimsen, S., Kiatkittipong, W., Yamada, H., Tagawa, T., **Kiatkittipong, K.**, Laosiripojana, N., Assabumrungrat, S., (2016) Oil extracted from spent coffee grounds for bio-hydrotreated diesel production, *Energy Conversion and Management*, 126, 1028-1036.
5. Pairojpiriyakul, T., Croiset, E., Kiatkittipong, W., **Kiatkittipong, K.**, Arpornwichanop, A., Assabumrungrat, S., (2014) Catalytic reforming of glycerol in supercritical water with nickel-based catalysts, *International Journal of Hydrogen Energy* 39 (27), 14739-14750.
6. Eiamsa-ard, S., **Kiatkittipong, K.**, (2014) Heat transfer enhancement by multiple twisted tape inserts and TiO₂/water nanofluid, *Applied Thermal Engineering* 70, 896-924
7. Pairojpiriyakul, T., Croiset, E., **Kiatkittipong, K.**, Kiatkittipong, W., Arpornwichanop, A., Assabumrungrat, S., (2014) Catalytic reforming of glycerol in supercritical water with nickel-based catalyst, *International Journal of Hydrogen Energy* 39 (27), 14739-14750.

8. Kiatkittipong, W., Phimsen, S., **Kiatkittipong, K.**, Wongsakulphasatch, S., Laosiripojana, N., Assabumrungrat, S. (2013) Diesel-like hydrocarbons production from hydroprocessing of relevant refining palm oil, *Fuel Processing Technology* 116, 16-26 (impact factor 2013 = 3.019)
9. Pairojpiriyakul, T., Croiset, E., Kiatkittipong, W., **Kiatkittipong, K.**, Arpornwichanop, A., Assabumrungrat, S. (2013) Hydrogen production from catalytic supercritical water reforming of glycerol with cobalt based catalysts, *International Journal of Hydrogen Energy* 38 (11), 4368-4379. (impact factor 2013 = 2.930)
10. **Kiatkittipong, K.**, Iwase, A., Scott, J., Amal, R. (2013) Photocatalysis of heat treated sodium- and hydrogen-titanate nanoribbons for water splitting, H_2/O_2 generation and oxalic acid oxidation, *Chemical Engineering Science*, 33, 341-349 (impact factor 2013 = 2.613)
11. **Kiatkittipong, K.**, Scott, J., Amal, R. (2011) Hydrothermally synthesised titanate nanostructures: Impact of heat treatment on particle characteristics and photocatalytic properties, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 3, 3988-3996. (impact factor 2013 = 5.900)
12. **Kiatkittipong, K.**, Ye, C., Scott, J., Amal, R. (2010) Understanding hydrothermal titanate nanoribbon formation, *Crystal Growth & Design*, 10, 3618-3625. (impact factor 2013 = 4.558)
13. **Kiatkittipong, K.**, Ye, C., Scott, J., Amal, R. (2010) Investigation preparation parameters during titanium oxide nanoribbon synthesis, *IEEE Explore on Nanoscience and Nanotechnology*, 6045196, 105-107.
14. Wang, Y., Chan S.L., Amal, R., Shen, Y.R., **Kiatkittipong, K.** (2010). XRD Anisotropic Broadening of Nano-Particles, *Powder Diffraction* 25, 217. (impact factor 2013 = 0.544)

National Publications

1. กุลนันทน์ เกียรติกิตติพงษ์, การผลิตไฮโดรเจนโดยใช้รีบบอนนาโนไททานेट โครงสร้างแบบชั้นที่แลกเปลี่ยนด้วยทิน (II) ไอออน ภายใต้แสงวิสิเบิล, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ 2, 1-12., 2556

2. กุลนันทน์ เกียรติกิตติพงษ์, การสังเคราะห์โครงสร้างระดับนาโนเมตรไททานเตนด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล, วารสารสมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย 3, 64-69, 2556.

Refereed International Conference Proceedings

1. Ouraipryvan, P., Joosing, N., Kiatkittipong K., (2014) Effect of copper dopant on photocatalytic activity of titanate nanoribbon, The 4th TIChE International Conference 2014 (18-19 December 2014)
2. **Kiatkittipong, K.**, Assabumrungrat, S. (2014) Understanding phase transformation of titanate nanoribbons by heat treatment, Proceedings, 23rd International Symposium on Chemical Reaction Engineering (ISCRE 23) and 7th Asia-Pasific Chemical Reaction Engineering Symposium (APCRE 7) (7 – 10 September 2014, Bangkok, Thailand)
3. Teerachaiyapat, T., **Kiatkittipong, K.**, Kiatkittipong, W., Assabumrungrat, S. (2014) Ti-O nanoribbon photocatalyst: the ion exchange process of co^{2+} intercalated in layered nanoribbons, Proceedings, 23rd International Symposium on Chemical Reaction Engineering (ISCRE 23) and 7th Asia-Pasific Chemical Reaction Engineering Symposium (APCRE 7) (7 – 10 September 2014, Bangkok, Thailand)
4. Phimsen, S., Kiatkittipong, W., **Kiatkittipong, K.**, Yamada, H., Tagawa, T., Laosiripojana, N., Assabumrungrat, S. (2014) Oil extracted from spent coffee grounds for bio-hydrogenated diesel production, Proceedings, 23rd International Symposium on Chemical Reaction Engineering (ISCRE 23) and 7th Asia-Pasific Chemical Reaction Engineering Symposium (APCRE 7) (7 – 10 September 2014, Bangkok, Thailand)
5. Pongsiriyakul, K., Kiatkittipong, W., **Kiatkittipong, K.**, Wongsakulphasatch, S., Laosiripojana, N., Assabumrungrat, S. (2014) Hydrotreated vegetable oil production under synthesis gas, Proceedings, 23rd International Symposium on Chemical Reaction Engineering (ISCRE 23) and 7th Asia-Pasific Chemical Reaction Engineering Symposium (APCRE 7) (7 – 10 September 2014, Bangkok, Thailand)
6. **Kiatkittipong, K.**, Pongsiriyakul, K., Phimsen, S., Kiatkittipong, W., Wongsakulphasatch, S., Laosiripojana, N., Assabumrungrat, S. (2013) Hydrotreated biodiesel production from palm fatty acid distillate, Proceedings, The 5th Regional Conference on Chemical Engineering (7-8 February 2013, Pattaya, Thailand)

7. **Kiatkittipong, K.**, Scott, J., Amal, R., The impact of calcination on titanate nanostructure characteristics and their ensuing photocatalytic properties, Proceedings, The 16th International Conference on TiO₂ Photocatalysis Fundamentals and Applications (7-10 November 2011, San Diego, USA)
8. **Kiatkittipong, K.**, Scott, J., Amal, R., Titanate nanostructure phase transformation and its influence on photocatalytic activity, Proceedings, Chemeca Conference (18-21 September 2011, Sydney, Australia)
9. **Kiatkittipong, K.**, Scott, J., Amal, R., The structural transformation of hydrothermally synthesized titanate nanoribbons and nanotubes and photocatalytic activity, Proceedings, 22nd North American Catalysis Society Meeting (5-10 June 2011, Detroit, USA)
10. **Kiatkittipong, K.**, Scott, J., Amal, R., An investigation of titanate nanostructure and photodegradation, Proceedings, The 7th Annual Conference of the ARC centre of Excellence for Functional Nanomaterials (25-26 November 2010, Gold Coast, Australia)
11. **Kiatkittipong, K.**, Scott, J., Amal, R., The effect of calcination temperature on titanate nanoribbon structure and its photocatalytic activity, Proceedings, Chemeca Conference (26-29 September 2010, Adelaide, Australia)
12. **Kiatkittipong, K.**, Ye, C., Scott, J., Amal, R., Synthesis condition and post treatment effect on titanate nanoribbons, Proceedings, The 6th Annual Conference of the ARC centre of Excellence for Functional Nanomaterials (9-11 November 2009, Coffs Harbour, Australia)