การย่อยสลายกรดมาเลอิกในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต

Photocatalytic Degradation of Maleic Acid in Synthetic Wastewater Using TiO_2 Under UV Light

วาสนา นิ่มพระยา ลลิตา สุขรักษ์ และชลดา ธีรการุณวงศ์*
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการย่อยสลายกรดมาเลอิกในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลตภายในตู้ปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิส จากนั้นศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลาย เช่น ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมาเลอิก ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาในการกระตุ้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มแสง ผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมาเลอิกเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าที่ความเข้มข้นอื่น ปริมาณอนุภาคนาโนไทเทเนียมที่ใช้ในการย่อยสลายกรดมาเลอิกและเวลากระตุ้นที่เหมาะสม คือ 1 กรัม และ 90 นาที ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการย่อยสลายกรดมาเลอิกในสภาพสารละลายที่เป็นกรดมีค่าสูงกว่าในสารละลายที่เป็นกลางและด่าง ในขณะที่เมื่อปรับเปลี่ยนความเข้มแสงจาก 150 เป็น 300 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรพบว่าที่ความเข้มแสง 300 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสูงกว่าความเข้มแสง 150 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

คำสำคัญ : การเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ กรดมาเลอิก

* ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)
e-mail: chonlada.dechakiatkrai@gmail.com

Abstract

The photocatalytic degradation of maleic acid in synthetic aqueous solution in the presence of nano-titaniumdioxide (TiO_2) using ultraviolet light source was investigated in a photoreactor. The effect of various factors such as initial concentration of maleic acid, a TiO_2 dosage, time to activate, pH and light Intensity were studies. The results show that the initial concentration of maleic of 20 mg/L was effective than those in other concentrations. The TiO_2 dosage influenced photocatalytic degradation where the TiO_2 content and reaction time were 1 g and 90 min, respectively. The photocatalytic performance of maleic in acidic condition was greater than those both in neutral and alkaline conditions. Meanwhile, the variation light intensity from 150 to 300 mW cm^{-2} showed the higher degradation efficiency of 300 mW cm^{-2} more than 150 mW cm^{-2}.

Keywords : photocatalysis, nano-titaniumdioxide, maleic acid

บทนำ

ปัญหาแหล่งน้ำที่ปนเปื้อนสารมลพิษอินทรีย์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ และก่อให้เกิดผลเสียต่างๆ ตามมาได้ เช่นส่งกลิ่นเน่าเหม็น ไม่สามารถนำมาใช้ในการอุปโภค บริโภคได้ รวมทั้งทำให้สิ่งมีชีวิตทางน้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทำให้ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันมีวิธีการบำบัดน้ำเสียทั้งวิธีการทางชีวภาพ ฟิสิกส์ และเคมี ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีมีข้อดีเหนือกว่าวิธีทางชีวภาพ คือ เป็นกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วและใช้เวลาน้อยกว่าวิธีที่ใช้จุลินทรีย์ตัวอย่างของวิธีการทางเคมีที่นิยม ได้แก่ วิธีออสโมซิสผันกลับ (Song et al., 2009; Gjessing et al., 1998) วิธีแลกเปลี่ยนไอออน (Shaposhnik et al., 2004) การดูดซับกลิ่นและสีด้วยถ่านกัมมันต์ (Yu et al., 2005) นอกเหนือจากวิธีที่กล่าวข้างต้นปัจจุบันมีวิธีการกำจัดสารมลพิษอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยเทคนิคการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ลดความเป็นพิษและย่อยสลายสารพิษที่อยู่ในแหล่งน้ำให้หมดไปได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังเป็นเทคนิคที่เลียนแบบกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชในธรรมชาติอีกด้วย (Beydoun et al., 1991)

การเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (photocatalytic) เป็นกระบวนการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำด้วยการกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลต จากนั้นอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์จะออกซิไดซ์สารมลพิษอินทรีย์และเปลี่ยนรูปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำโดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมนำมาใช้คือไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์มีหลายปัจจัย เช่น ลักษณะของความเป็นผลึกโดยพบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปผลึกอะนาเทสจะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายด้วยแสงสูงกว่ารูปผลึกรูไทล์ (Sclafani et al., 1996) เนื่องจากมีการรวม

ตัวกันระหว่างอิเล็กตรอน-ช่องว่างอิเล็กตรอนน้อยและมีความสามารถในการดูดติดผิวสูงดังนั้นจึงได้มีการนำไทเทเนียมไดออกไซด์ไปใช้ในการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์อย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ขนาดอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายเช่นกัน เพราะตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะมีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยามาก ดังนั้นประสิทธิภาพในการย่อยสลายจึงสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีโซล-เจลและนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงเพื่อย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งใช้กรดมาเลอิกเป็นต้นแบบ โดยปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลต ค่าความเข้มแสงปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยานาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมาเลอิก

วัตถุประสงค์

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสง เมื่อใช้อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนกรดมาเลอิก

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. การสังเคราะห์อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์สังเคราะห์ด้วยเทคนิคโซล-เจล ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Wetchakul & Phanichphant (2006) โดยใช้ไทเทเนียมไอโซโพรพอกไซด์ปริมาตร 20 มิลลิลิตรเป็นสารตั้งต้นผสมกับสารละลายเอทานอลปริมาตร250 มิลลิลิตร ในถุงเซลโลเฟนซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลายผสมระหว่างเอทานอลปริมาตร 250 มิลลิลิตร น้ำปราศจากไอออน 250 มิลลิลิตร และแอมโมเนีย 7.2 มิลลิลิตร จากนั้นใช้แท่งกวนแม่เหล็กกวนสารละลายให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และจุ่มถุงเซลโลเฟนลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 250 มิลลิลิตรเป็นเวลา 20 นาทีเป็นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อล้างสารอินทรีย์ที่เจือปนในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาการควบแน่น นำสารละลายในถุงเซลโลเฟนไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ และเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงจากนั้นนำไปวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค Brunauer-Emmer-Teller (BET) และศึกษาลักษณะเฟสด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (XRD)

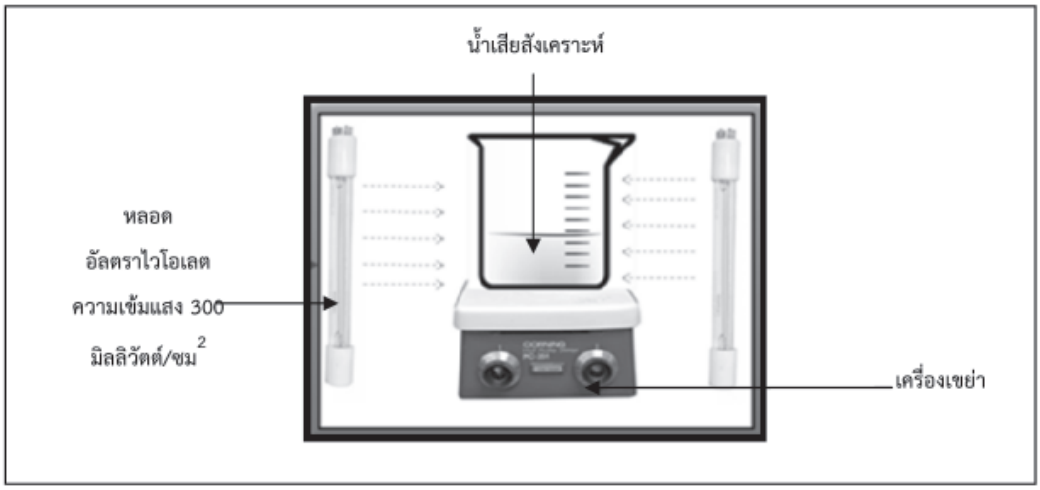
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายกรดมาเลอิกด้วยตัวเร่งปฏิกิริยานาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมาเลอิกปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาในการกระตุ้นและความเข้มแสงอัลตราไวโอเลตโดยรายละเอียด แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์

ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรควบคุม	วิธีการทดลอง
1. ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมาเลอิก (3, 5, 7, 10, 15, 20 และ 23 มก./ล. ปริมาตร 250 มล.)	- ไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 กรัม - pH = 5 - ความเข้มแสง 300 มิลลิวัตต์/ซม^2 - เวลา 90 นาที	1. ปิดตู้ปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิสเป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ในตู้มีความเข้มแสงคงที่และไม่มีแสงจากภายนอกเข้าไปรบกวนพร้อมกับคนน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก เป็นเวลา 15 นาที 2. ปิเปตน้ำตัวอย่างที่เวลาเริ่มต้นก่อนเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง ใส่ลงในหลอดทดลอง 3. กระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลต 4. ปิเปตน้ำตัวอย่าง ใส่ลงในหลอดทดลองทุก ๆ 15 นาทีจนครบกำหนดเวลา 5. นำน้ำตัวอย่างที่เก็บได้ที่เวลาต่างๆ ไปปั่นเหวี่ยง เพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออก โดยเครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน 6. กรองน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 7. นำน้ำสังเคราะห์ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 8. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการดูดกลืนแสง
2. ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (0.5, 1, 1.25 และ 1.5 กรัม)	- กรดมาเลอิก 20 มก./ล. ปริมาตร 250 มิลลิลิตร - pH = 5 - ความเข้มแสง 300 มิลลิวัตต์/ซม^2 - เวลา 90 นาที	
3. ระยะเวลาในการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (90, 120, 150 และ 180 นาที)	- กรดมาเลอิก 20 มก./ล. ปริมาตร 250 มิลลิลิตร - ไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 กรัม - pH = 5 - ความเข้มแสง 300 มิลลิวัตต์/ซม^2 - เวลา 90 นาที	
4. pH (4, 5, 6, 7 และ 8)	- กรดมาเลอิก 20 มก./ล. ปริมาตร 250 มิลลิลิตร. - ไทเทเนียมไดออกไซด์1 กรัม - ความเข้มแสง 300 มิลลิวัตต์/ซม^2 - เวลา 90 นาที	
5. ค่าความเข้มแสง (150 และ 300 มิลลิวัตต์/ซม^2)	- กรดมาเลอิก 20 มก./ล. ปริมาตร 250 มิลลิลิตร - ไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 กรัม - เวลา 90 นาที - pH = 5 - เวลา 90 นาที	

ในงานวิจัยนี้ได้สร้างตู้ปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิส (ภาพที่ 1) ซึ่งประกอบด้วยตู้สี่เหลี่ยมสีดำ โดยภายในประกอบด้วยหลอดอัลตราไวโอเลต และเครื่องเขย่าที่ใช้เป็นฐานรองรับบีกเกอร์ที่ใส่น้ำเสียสังเคราะห์



ภาพที่ 1 การย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์โดยใช้ตู้ปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิส

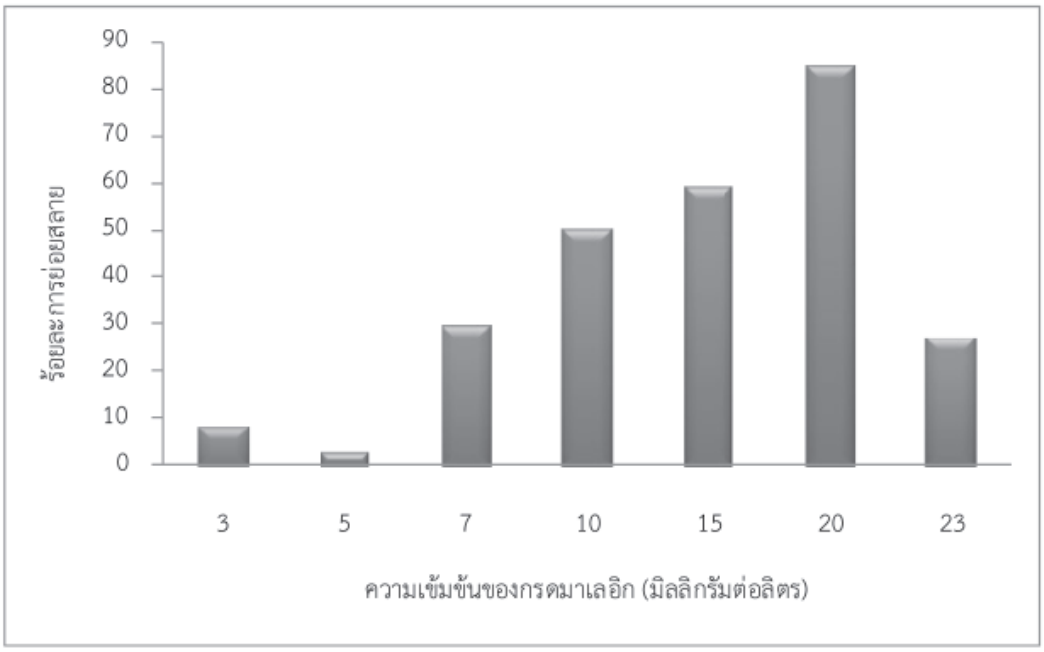
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์โดยกระบวนการโซล-เจล จากการวิเคราะห์ลักษณะเฟสด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์แสดงโครงสร้างเฮกซะโกนอลของเฟสอะนาเทส ทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นที่ผิวเป็นรูพรุนขนาดไมโคร ทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน อนุภาคมีขนาดเฉลี่ย 20 นาโนเมตร และวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะโดยเทคนิค Brunauer-Emmer-Teller พบว่า มีพื้นที่ผิวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เท่ากับ 84.30 ตารางเมตรต่อกรัม

2. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมาเลอิกต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายด้วยแสง

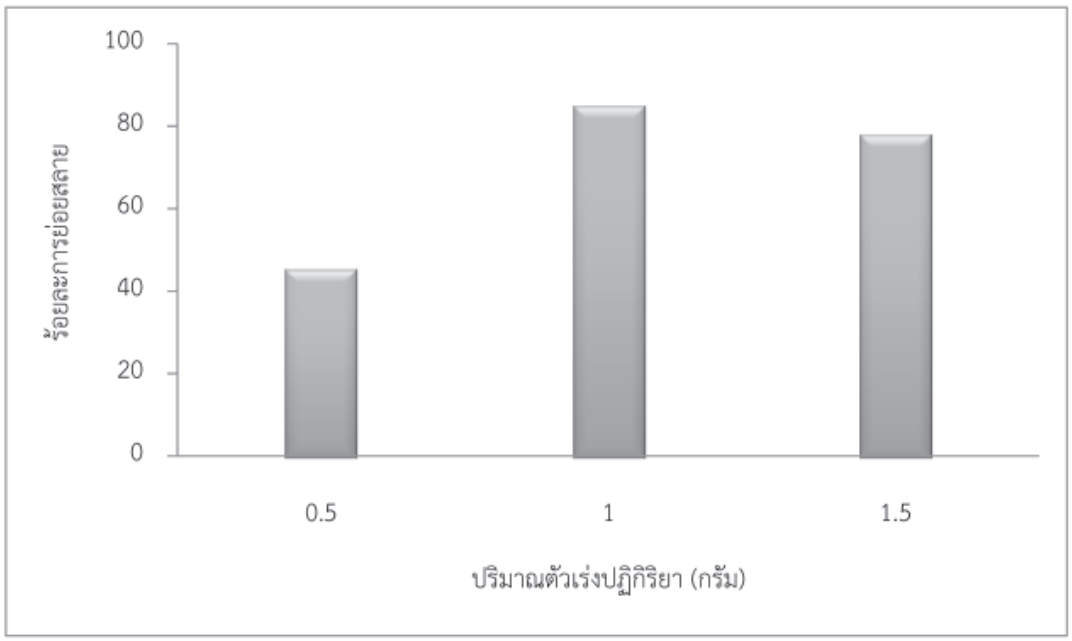
จากการศึกษาการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในตู้ปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิส โดยปรับเปลี่ยนค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมาเลอิกเท่ากับ 3, 5, 7, 10, 15, 20 และ 23 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ที่ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมาเลอิกเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ดีที่สุด โดยมีค่าร้อยละการย่อยสลายประมาณร้อยละ 85 ที่เวลากระตุ้นเท่ากับ 90 นาทีและพบว่ากรดมาเลอิกมีความเข้มข้นเท่ากับ 2.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 5 พบว่า มีร้อยละการย่อยสลายน้อยที่สุด (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการย่อยสลายกรดมาเลอิกและความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมาเลอิก

3. ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายด้วยแสง

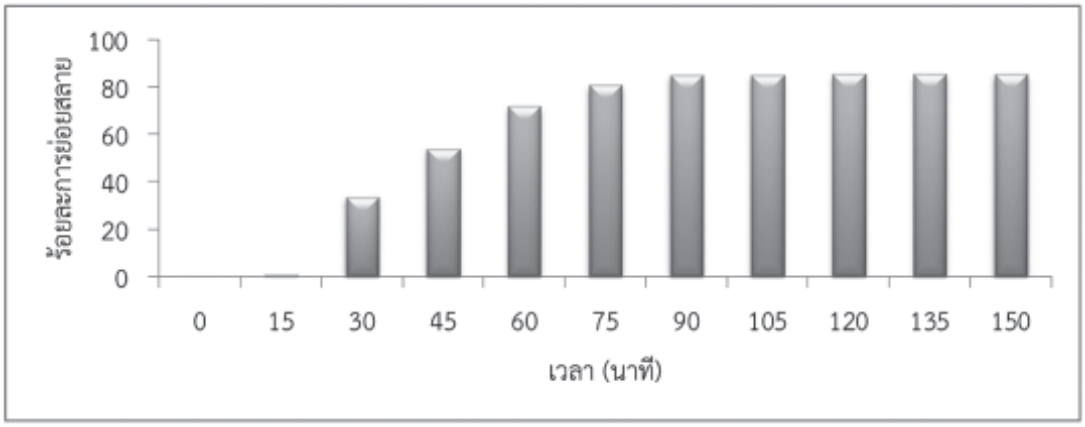
จากการศึกษาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายกรดมาเลอิกโดยปรับเปลี่ยนปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.5, 1 และ 1.5 กรัม พบว่า เมื่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 1 กรัม ที่เวลากระตุ้น 90 นาที มีร้อยละการย่อยสลายสูงที่สุดประมาณร้อยละ 85 ซึ่งความเข้มข้นของกรดมาเลอิกมีค่าเท่ากับ 2.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งพบว่า มีค่าใกล้เคียงกับการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 1.5 กรัม ในขณะที่ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.5 กรัม ค่าร้อยละการย่อยสลายมีค่าลดลง มีค่าความเข้มข้นของกรดมาเลอิกเท่ากับ 10.32 มิลลิกรัมต่อลิตร จากภาพที่ 3 พบว่า เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า 1 กรัม ประสิทธิภาพในการย่อยสลายจะไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคนาโนไทเทเนียมภายในภาชนะที่มีน้ำเสียสังเคราะห์มีความหนาแน่นมากทำให้อาจเกิดการเกาะรวมเป็นกลุ่ม แสงอัลตราไวโอเลตจึงส่องผ่านไม่ทั่วถึงอนุภาคที่อยู่ด้านใน ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ใกล้เคียงกับปริมาณ 1 กรัม ขณะที่เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.5 กรัม อาจทำให้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยเกินไปจึงทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจึงเท่ากับ 1 กรัม



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการย่อยสลายกรดมาเลอิกและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

4. ผลของเวลาในการกระตุ้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยด้วยแสง

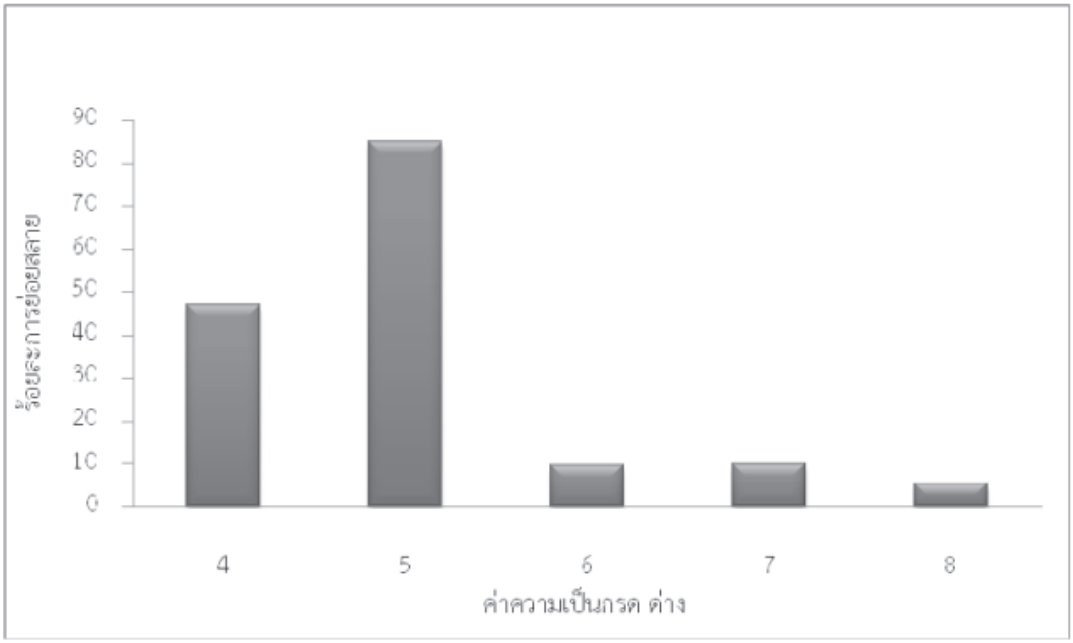
จากการศึกษาเวลากระตุ้นที่เหมาะสมในการย่อยสลายกรดมาเลอิก พบว่า เมื่อเริ่มทำการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงค่าร้อยละการย่อยสลายมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลา 90 นาที จากนั้นมีค่าคงที่ประมาณร้อยละ 80 ดังแสดงในภาพที่ 4 ดังนั้นเวลากระตุ้นที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงจึงมีค่าเท่ากับ 90 นาทีซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang and Gao (2009) ที่พบว่าอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถย่อยสลายฟีนอลได้ร้อยละ 90 หลังจากกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 90 นาที



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการย่อยสลายกรดมาเลอิกที่เวลาต่างๆ

5. ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายด้วยแสง

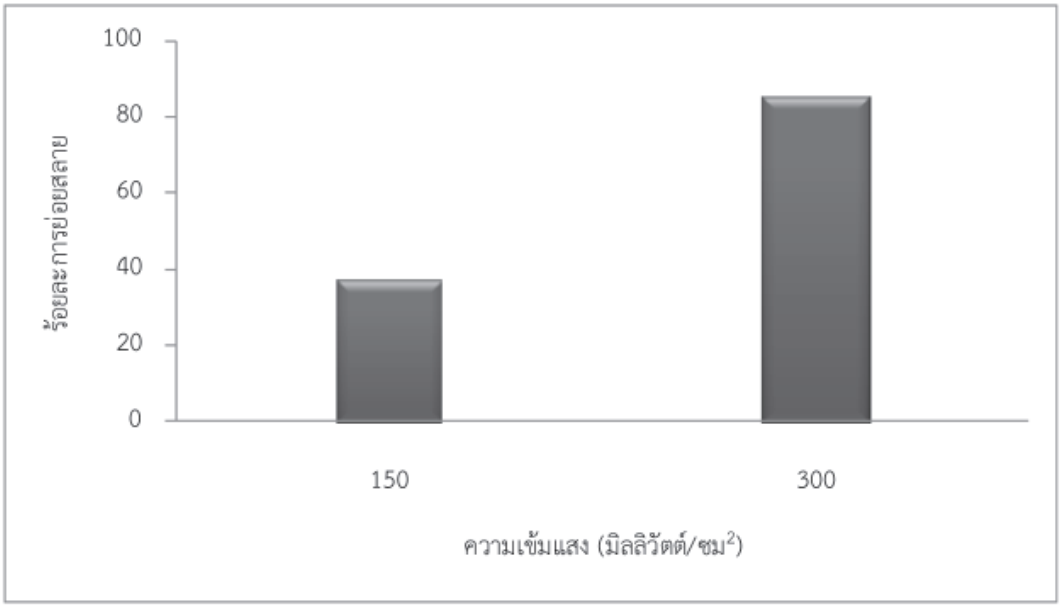
ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการย่อยสลายกรดมาเลอิกกับเวลากระตุ้น 90 นาที เมื่อปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียสังเคราะห์ การทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการย่อยสลายในสภาวะที่เป็นกรดมาเลอิกมีค่าสูงกว่าในสภาวะที่สารละลายเป็นกลางและเป็นด่าง โดยค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 5 ทั้งนี้อาจอธิบายได้จากการที่ไทเทเนียมไดออกไซด์มีจุดที่ประจุเป็นศูนย์ (point of zero charge; pzc) อยู่ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.2 (Hoffmann et al.,1995) และสมบัติอย่างหนึ่งของไทเทเนียมไดออกไซด์คือสามารถถูกเหนี่ยวนำให้มีประจุบวกหรือลบ โดยเมื่อไทเทเนียมไดออกไซด์อยู่ในสารละลายที่มีสภาวะกรดจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าจุดที่ประจุเป็นศูนย์ ทำให้ผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกเหนี่ยวนำให้มีประจุบวก ในขณะที่กรดมาเลอิกมีคุณสมบัติเป็นประจุลบ จึงทำให้สามารถดูดซับกรดมาเลอิกได้ดี แต่เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายมีค่ามากกว่าจุดที่ประจุเป็นศูนย์ ประจุบนผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์จะถูกเหนี่ยวนำให้เป็นประจุลบ ซึ่งทำให้เกิดการผลักกันระหว่างประจุลบของไทเทเนียมไดออกไซด์และประจุลบของกรดมาเลอิก ส่งผลให้การดูดซับเกิดขึ้นน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับ Franch et al. (2002) พบว่า ในกระบวนการย่อยสลายกรดมาเลอิกด้วยปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง สามารถย่อยสลายกรดมาเลอิกได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด ในขณะที่เสรีย์ ตู้ประกาย (2005) พบว่า การเกิดปฏิกิริยารีดักชันในกระบวนการเร่งด้วยแสงเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง



ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการย่อยสลายกรดมาเลอิกที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

6. ผลของค่าความเข้มแสงที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยด้วยแสง

จากการศึกษาหาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมในการย่อยสลายกรดมาเลอิก โดยปรับเปลี่ยนค่าความเข้มแสงเท่า 150 และ 300 มิลลิวัตต์/ซม^2 พบว่า ค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายกรดมาเลอิกคือ ความเข้มแสงเท่ากับ 300 มิลลิวัตต์/ซม^2 ในขณะที่เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 150 มิลลิวัตต์/ซม^2 ค่าร้อยละการย่อยสลายมีค่าลดลง โดยร้อยละการย่อยสลายกรดมาเลอิกที่เวลา 90 นาที เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 150 และ 300 มิลลิวัตต์/ซม^2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 38 และ 85 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการย่อยสลายกรดมาเลอิกและความเข้มแสง

สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์จากกระบวนการโซล-เจล พบว่า อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์แสดงโครงสร้างเฮกซะโกนอลของเฟสอะนาเทส มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 20 นาโนเมตร และพื้นที่ผิวจำเพาะของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เท่ากับ 84.30 ตารางเมตรต่อกรัม

จากการย่อยสลายกรดมาเลอิกโดยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมาเลอิกเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เท่ากับ 1 กรัม เวลาในการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงเท่ากับ 90 นาที ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 และค่าความเข้มแสงเท่ากับ 300 มิลลิวัตต์/ซม^2

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการใช้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงกับน้ำเสียจริงจากแหล่งต่างๆ
2. ควรมีการศึกษาในเรื่องของอุณหภูมิในระบบของตู้ปฏิกิกรณ์โฟโตคะตะไลซิส หรือทำการติดตั้งตัวควบคุมอุณหภูมิภายในระบบเพิ่มเติม เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ตลอดการทดลอง
3. ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงวิธีการนำอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์กลับมาใช้ใหม่ เพื่อก่อให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด

4. ควรมีการศึกษาผลของวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานาโนไทเทเนียมไดออกไซด์แบบอื่นๆ นอกเหนือจากการเตรียมโดยกระบวนการโซล-เจล

เอกสารอ้างอิง

เสรีย์ ตู้ประกาย (2548). *การบำบัดโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในสารละลายโดยไทเทเนียมไดออกไซด์แบบตรึงในกระบวนการโฟโตคะตะไลติก.* วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Beydoun D., Amal R., Low G. and McEvoy S. (1991). Role of nanoparticles in photocatalysis, *J. Nanopart. Res.* 1, 439-458.

Franch M. I., Ayllón J. A., Peral J. and Domènech X. (2002). Photocatalytic degradation of short-chain organic diacids, *Catalysis Today* 76, 221-233.

Gjessing E. T., Alberts, J. J., Bruchet, A., Egeberg, P. K., Lydersen, E., McGown, L. B. (1998). Multimethodcharacterisation of natural organic matter isolated from water : Characterisation of reverse osmosis isolates from water of two semi-identical dystrophic lakes basins in Norway, *Water Res.* 32, 3108-3124.

Hoffmann M.R, Martin, S.T., Choi, W. and Bahnemann, D.W. (1995). Environmental application of semiconductor photocatalysis. *Chem. Rev.* 95, 69-96.

Sclafani A. and Herrmann J. M. (1996). Comparison of the photoelectronic and photocatalyticactivities of various anatase and rutile forms of titania in pure liquid organic phases and in aqueous solutions, *J. Phys. Chem.* 100 (32), 13655-13661.

Shaposhnik V. A. and Butyrskaya E. V. (2004). Computer imulation of cation-exchange membrane structure: an elementary act of hydrated ion transport, *Russ. J. Electrochem.* 40, 767-770.

Song H., Orr O, Hong Y. and Karanfil T. (2009). Isolation and fractionation of natural organic matter : evaluation of reverse osmosis performance and impact of fractionation parameters, *Environ. Monit. Assess.* 153, 1-4.

Yue Z., Bender SE., Wang J. andEconomy J. (2009). Removal of chromium Cr(VI) by low-cost chemically activated carbon materials from water. *J Hazard Mater.* 166(1), 74-8.

Wetchakul N. and Phanichphant S. (2006). Synthesis and characterization of titanium dioxide nanoparticles coated on fly ash, Int. *J.Nanosci.* 5 (4&5), 657-662.

Zhang Q. and Gao L. (2009). Preparation of nanocrystalline TiO_2 powders for photocatalytic oxidation of phenol. *Research on Chemical Intermediates* 35(3), 281-286.

คณะผู้เขียน

วาสนา นิ่มพระยา

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
398 ม.9 ถ.สวรรค์วิถี ต.นครสวรรค์ตก อ.เมือง จ.นครสวรรค์ 60000
e-mail: nan__nimpraya@hotmail.com

ลลิตา สุขรักษ์

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
398 ม.9 ถ.สวรรค์วิถี ต.นครสวรรค์ตก อ.เมือง จ.นครสวรรค์ 60000
e-mail: lalita.peach@gmail.com

ดร.ชลดา ธีรการุณวงศ์

อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
398 ม.9 ถ.สวรรค์วิถี ต.นครสวรรค์ตก อ.เมือง จ.นครสวรรค์ 60000
e-mail: chonlada.dechakiatkrai@gmail.com