



การตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด

Immobilized Titanium Dioxide onto Granular Activated Carbon

Yannakorn Thanurat Torpong Kreetachat and Nathiya Kreetachat*

ญาณกร ทุนรัตน์ ต่อพงษ์ กรีธาชาติ และ เนธิยา กรีธาชาติ*

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000

*E-mail : nathiya.kr@up.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (GAC-TiO₂) ด้วยวิธีโซล-เจล (Sol-gel) โดยทำการตรึง 3 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 แบบล้างก่อนเผา วิธีที่ 2 แบบไม่ล้างแล้วนำไปเผา และวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา ทำการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยา โครงสร้างผลึก และองค์ประกอบธาตุของถ่าน GAC-TiO₂ ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM), X-Ray Diffraction (XRD) และ Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) ซึ่งพบว่าการตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) บนถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (Granular Activated Carbon; GAC) จะช่วยเพิ่มปริมาณรูพรุนภายในถ่าน โดยวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา จะตรวจพบไทเทเนียมไดออกไซด์ตรึงบนพื้นผิวถ่าน GAC-TiO₂ มากที่สุด และลักษณะทางสัณฐานวิทยามีผลของไทเทเนียมไดออกไซด์ปกคลุมอยู่บริเวณพื้นผิวของถ่านอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ยังพบมีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสของไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งเป็นรูปผลึกที่มีประสิทธิภาพในการเกิดกระบวนการโฟโตแคตาไลติกออกซิเดชัน ในการทดสอบประสิทธิภาพของถ่าน GAC-TiO₂ จากการตรึงทั้ง 3 วิธี โดยการบำบัดสีเมทิลีนบลู พบว่าถ่าน GAC-TiO₂ ทั้ง 3 วิธีมีประสิทธิภาพในการบำบัด (กระบวนการดูดซับร่วมกับกระบวนการโฟโตแคตาไลติกออกซิเดชัน) ใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 93.4, 95.1 และ 96.7 ตามลำดับ) และมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าถ่าน GAC ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียงร้อยละ 67.5 จากกระบวนการดูดซับเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนตัวกลางถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดด้วยวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด สำหรับนำไปประยุกต์ใช้บำบัดมลสารในน้ำต่อไป

คำสำคัญ : ไทเทเนียมไดออกไซด์; ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด; วิธีโซล-เจล; โฟโตแคตาไลติกออกซิเดชัน

Abstract

The purpose of this research is to study immobilization of titanium dioxide onto granular activated carbon (GAC-TiO₂) by sol-gel method in 3 practices; i.e. (1) wash TiO₂ gel before calcination, (2) no wash TiO₂ gel, and (3) wash TiO₂ gel after calcination. Morphological characteristic, crystal structure and element composition of GAC-TiO₂ were analyzed by scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD) and energy dispersive spectroscopy (EDS), respectively. The results showed that immobilization of titanium dioxide could increase pore of GAC. Practice (3) wash TiO₂ gel after calcination, revealed titanium composition and titanium dioxide gel on GAC-TiO₂ surface more than practice (2) and (1). Additionally, crystal structure of titanium dioxide in anatase form also found in GAC-TiO₂ from practice (3). Treatment efficiency of GAC-TiO₂ were examined in term of methylene blue removal. From the results, GAC-TiO₂ from all three immobilized practices showed similar treatment efficiency (93.4%, 95.1% and 96.7%, respectively) by adsorption and photocatalytic oxidation processes. Moreover, their treatment efficiency also higher than general GAC (67.5%) which proceeded only adsorption process. In conclusion, immobilization of titanium dioxide onto granular activated carbon (GAC-TiO₂) by practice (3) wash TiO₂ gel after calcination, was appropriated to prepare GAC-TiO₂ for water pollutant control application.

Keywords : Titanium Dioxide; Granular Activated Carbon (GAC); Sol-gel method; Photocatalytic Oxidation

บทนำ

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) นิยมใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชัน (Photocatalytic Oxidation) เนื่องจากมีความเสถียรสูง ไม่เป็นพิษ และราคาไม่แพง [1-4] โดยการนำไทเทเนียมไดออกไซด์ มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชัน เพื่อบำบัดมลสารในอากาศและในน้ำที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ทั้งนี้ ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่พบตามธรรมชาติจะมีโครงสร้างผลึกอยู่ 3 โครงสร้าง คือ รูไทล์ (Rutile) อนาเทส (Anatase) และบรูคไคท์ (Brookite) โดยโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสเป็นโครงสร้างเสถียรที่อุณหภูมิต่ำกว่า 700 องศาเซลเซียส และมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชันได้ดีกว่าโครงสร้างแบบอื่น [1] นอกจากนี้ การนำไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้ในการบำบัดมลสารในน้ำสามารถใช้ได้ 2 รูปแบบ คือ การใช้แบบแขวนลอย และการใช้แบบตรึงลงบนตัวกลาง ซึ่งการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์แบบแขวนลอยมีข้อจำกัดโดยต้องทำการแยกผงไทเทเนียมไดออกไซด์และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากกัน อีกทั้งการนำผงไทเทเนียมไดออกไซด์กลับมา

ใช้ในครั้งต่อไปอาจทำได้ยาก [5] ดังนั้นการตรึงลงบนตัวกลางจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการประยุกต์ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ในการบำบัดมลสารในน้ำ ซึ่งตัวกลางที่มีการศึกษามากแล้ว เช่น สแตนเลส ทองแดง และไทเทเนียม พบว่าตัวกลางทองแดงอาจปนเปื้อนของสารพิษสู่สิ่งแวดล้อมได้ [6] ส่วนตัวกลางแผ่นแก้ว ซึ่งเป็นตัวกลางที่มีพื้นผิวเรียบจำเป็นต้องใช้สารช่วยในการยึดติดระหว่างตัวกลางและไทเทเนียมไดออกไซด์ [7] ในขณะที่ตัวกลางถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวในการยึดเกาะมาก อีกทั้งมีคุณสมบัติในการดูดซับด้วยจึงน่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดจากการดูดซับมลสารด้วยส่วนหนึ่ง และส่งผลให้ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ตรึงอยู่สัมผัสกับมลสารได้ง่ายขึ้น ช่วยส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชัน [1] อย่างไรก็ตาม เทคนิคหรือวิธีในการตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) บนตัวกลางถ่านกัมมันต์นั้นมีหลายวิธี แต่ขั้นตอนวิธีการนั้นยังไม่แน่นอน งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาวิธีการตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนตัวกลางถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (GAC-TiO₂) ด้วยวิธีโซล-เจล (Sol-gel) เพื่อนำไปประยุกต์ ใช้ในกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชันสำหรับบำบัดมลสารที่ย่อยสลายได้ยากหรือไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวกลางที่ใช้ในการศึกษา

งานวิจัยนี้ใช้ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (Granular Activated Carbon: GAC) ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ซึ่งลักษณะสมบัติดังตารางที่ 1 โดยนำถ่านมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

การตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนตัวกลางถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (GAC-TiO₂) ด้วยวิธีโซล-เจล

เตรียมสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ที่จะนำมาตรึงลงบนตัวกลางถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด ซึ่งประกอบด้วยสาร Titanium tetra isopropoxide (TTIP) 5 mL เอทานอล 50 mL กรดไฮโดรคลอริก 37% 1 mL และน้ำกลั่น 250 mL ทำการผสมให้เข้ากัน แล้วเติมถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (GAC) ที่ล้างและทำให้แห้งแล้วปริมาณ 10 g ลงในสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ข้างต้น กวนสารละลายและถ่านเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นตั้งบนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้สารละลายเกิดเป็นเจลไทเทเนียมไดออกไซด์ แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง [8-9] จากนั้นทำการตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนตัวกลางถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (GAC-TiO₂) ด้วยวิธีการ 3 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 แบบล้างก่อนเผา ตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (GAC-TiO₂) โดยล้างเจลไทเทเนียมไดออกไซด์ออกจากตัวกลางถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized water: DI) แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ถ่าน GAC-TiO₂ แบบล้างก่อนเผา

วิธีที่ 2 แบบไม่ล้างแล้วนำไปเผา ตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (GAC-TiO₂) โดยนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ถ่าน GAC-TiO₂ แบบไม่ล้างแล้วนำไปเผา

วิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา ตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (GAC-TiO₂) โดยนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำ DI แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จะได้ถ่าน GAC-TiO₂ แบบล้างหลังเผา

การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา โครงสร้างผลึก และองค์ประกอบธาตุของถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดที่ตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ (GAC-TiO₂)

นำถ่าน GAC-TiO₂ ที่ได้จากการตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ทั้ง 3 วิธีข้างต้น และถ่าน GAC มาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning electron microscope (SEM) วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) และวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค Energy dispersive spectroscopy (EDS)

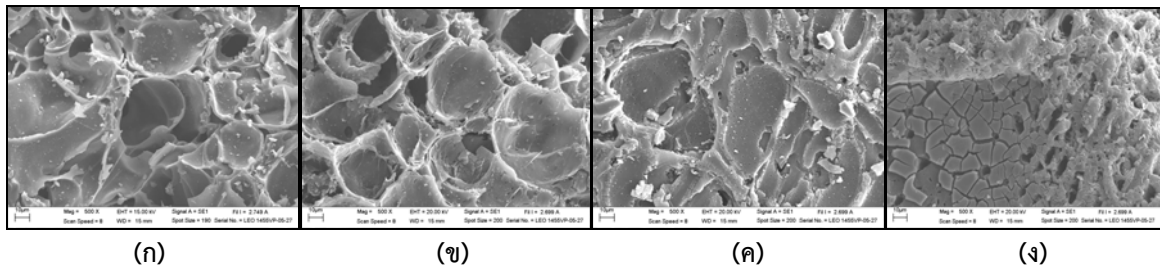
การทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดที่ตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ (GAC-TiO₂) ด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติกออกซิเดชัน

ทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดสีด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติกออกซิเดชันโดยถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดที่ตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ (GAC-TiO₂) ทั้ง 3 วิธี (วิธีที่ 1 แบบล้างก่อนเผา วิธีที่ 2 แบบไม่ล้าง และวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา) โดยนำถ่าน GAC-TiO₂ ปริมาณ 1 g ใส่ลงในถัง

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (Granular Activated Carbon: GAC)

คุณสมบัติ	ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด
1. ความหนาแน่นใช้งาน (g/ml)	2.2
2. พื้นที่ผิว (m ² /g)	800-1600
3. iodine number (mg/g)	800-1600
4. pH	8.5-10.5
5. ปริมาณเถ้า (Ash) (%w/w)	1.5-5.0

หมายเหตุ: ใช้ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดผลิตจากกะลามะพร้าวขนาด 8/30 (2.36-0.60 mm) ของบริษัทคาร์โบกายน์ จำกัด



รูปที่ 2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า ของ ก) ถ่าน GAC
(ข) ถ่าน GAC-TiO₂ แบบล้างก่อนเผา (ค) ถ่าน GAC-TiO₂ แบบไม่ล้าง และ (ง) ถ่าน GAC-TiO₂ แบบล้างหลังเผา

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD)

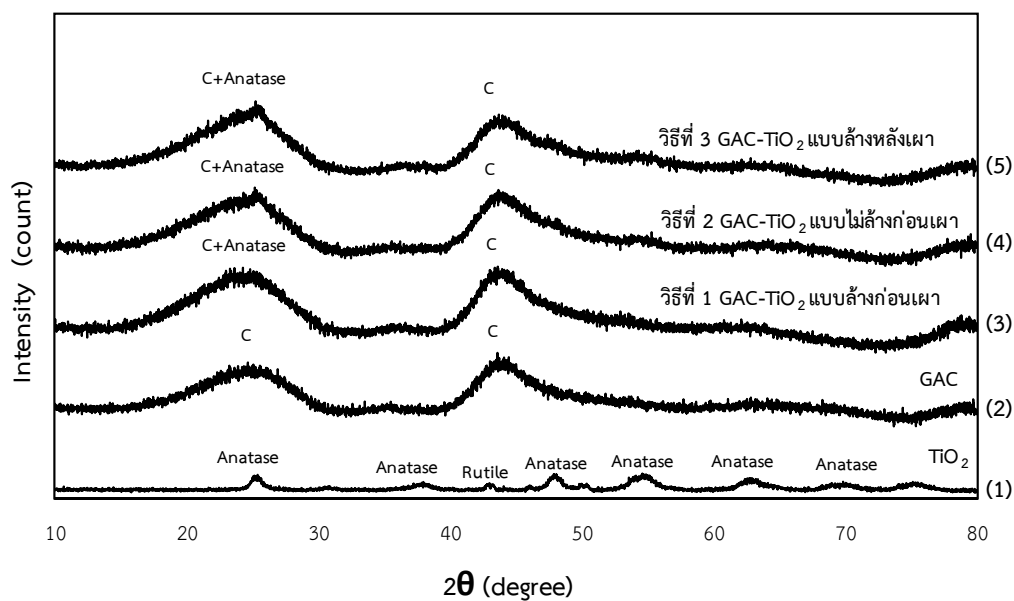
โดยทั่วไปไทเทเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้างผลึกอยู่ 3 โครงสร้าง คือ รูไทล์ (Rutile) อนาเทส (Anatase) และ บรูคไท์ (Brookite) โดยโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสจะมีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกออกซิเดชันได้ดีกว่าโครงสร้างแบบอื่น ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ซึ่งทำการตรวจสอบในช่วง 10-80 องศา (2 θ) (รูปที่ 3) พบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธีการโซล-เจล ปรากฏสเปกตรัมของโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสที่มุม 2 θ เท่ากับ 25.40, 37.99, 48.07, 54.61 และ 62.7 องศา และสเปกตรัมของโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ที่มุม 2 θ เท่ากับ 43 องศา (รูปที่ 3 (1)) ส่วนถ่าน GAC ปรากฏสเปกตรัมของโครงสร้างผลึกแกรไฟต์ (Graphite) ที่มุม 2 θ เท่ากับ 24 องศา และ 43.60 องศา โดยพีคจะต่ำและกว้างอยู่ในช่วง 20-30 องศา และ 40-50 องศา ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่ามีลักษณะโครงสร้างคาร์บอนอสัณฐาน (Amorphous carbon) ปนอยู่ หรืออะตอมเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ [10] (รูปที่ 3 (2))

ในขณะที่ถ่าน GAC-TiO₂ ที่ตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์จากทั้ง 3 วิธี (วิธีที่ 1 แบบล้างก่อนเผา วิธีที่ 2 แบบไม่ล้าง และวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา) จากผล XRD พบว่าพีคแรกของถ่าน GAC-TiO₂ ที่ตรึงทั้ง 3 วิธี สูงกว่าพีคแรกของถ่าน GAC แสดงว่ามีทั้งลักษณะโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสของไทเทเนียมไดออกไซด์ และโครงสร้างผลึกแกรไฟต์ของ GAC อยู่ร่วมกัน โดยถ่าน GAC-TiO₂ จากวิธีที่ 1 แบบล้างก่อนเผา ปรากฏสเปกตรัมที่มุม 2 θ เท่ากับ

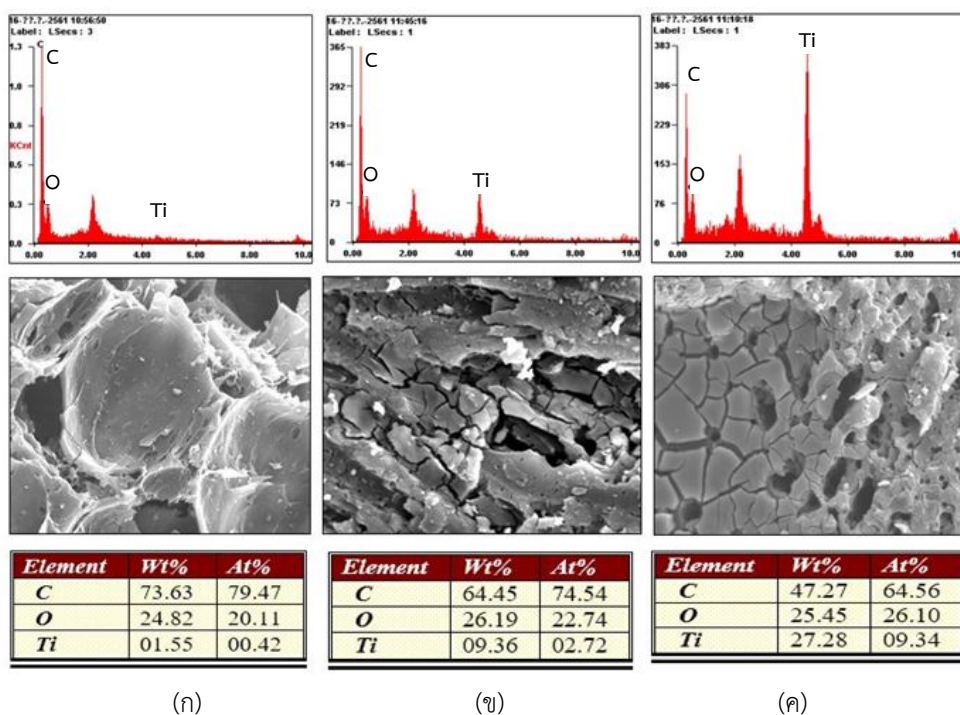
24.82 และ 43.65 องศา ถ่าน GAC-TiO₂ จากวิธีที่ 2 แบบไม่ล้าง ปรากฏสเปกตรัมที่มุม 2 θ เท่ากับ 25.25 และ 43.72 องศา และถ่าน GAC-TiO₂ จากวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา ปรากฏสเปกตรัมที่มุม 2 θ เท่ากับ 25.24 และ 43.71 องศา นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความสูงของพีคแรกของถ่าน GAC-TiO₂ ทั้ง 3 วิธีจะเห็นความสูงแตกต่างกันเล็กน้อย โดยถ่าน GAC-TiO₂ จากวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา จะให้พีคสูงกว่าอีก 2 วิธี

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค Energy dispersive spectroscopy (EDS)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD พบว่ามีไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสบนถ่าน GAC-TiO₂ ที่ถูกตรึงทั้ง 3 วิธี ต่างกันเล็กน้อย แต่ยังไม่สามารถระบุได้ว่ามีไทเทเนียมไดออกไซด์ตรึงอยู่บนถ่าน GAC-TiO₂ ปริมาณเท่าใด ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของถ่าน GAC-TiO₂ ที่ถูกตรึงทั้ง 3 วิธี ด้วยเทคนิค EDS (รูปที่ 4) โดยแสดงผลการวิเคราะห์เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก (%Wt) และร้อยละของอะตอม (%At) ของธาตุคาร์บอน ออกซิเจน และไทเทเนียม ซึ่งพบว่าถ่าน GAC-TiO₂ จากวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา จะมีปริมาณไทเทเนียมมากที่สุด (ร้อยละ 27.28 โดยน้ำหนัก) รองลงมาคือ ถ่าน GAC-TiO₂ จากวิธีที่ 2 แบบไม่ล้างแล้วนำไปเผา (ร้อยละ 9.36 โดยน้ำหนัก) และถ่าน GAC-TiO₂ จากวิธีที่ 1 แบบล้างก่อนเผา (ร้อยละ 1.55 โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าถ่าน GAC-TiO₂ จากวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา สามารถตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์บนถ่าน GAC ได้มีประสิทธิภาพดีที่สุด



รูปที่ 3 ภาพ X-ray diffraction (XRD) ของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂)
ถ่าน GAC และถ่าน GAC-TiO₂ ตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ทั้ง 3 วิธี



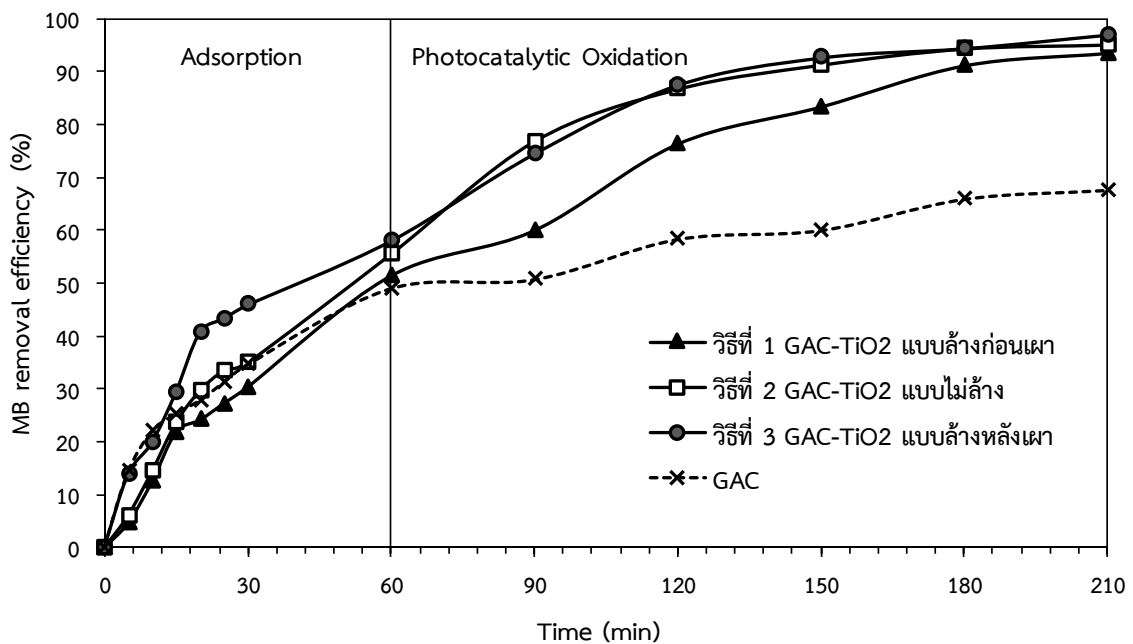
รูปที่ 4 องค์ประกอบธาตุของถ่าน GAC-TiO₂ จาก (ก) วิธีที่ 1 แบบล้างก่อนเผา
(ข) วิธีที่ 2 แบบไม่ล้าง และ (ค) วิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดที่ตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ (GAC-TiO₂) ด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชัน

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของถ่าน GAC-TiO₂ ที่ถูกตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ทั้ง 3 วิธี (วิธีที่ 1 แบบล้างก่อนเผา วิธีที่ 2 แบบไม่ล้าง และวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา) ในการบำบัดสีเมทิลีนบลูความเข้มข้น 1 mg/L ด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชัน แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นว่าในช่วง 60 นาทีแรกที่ไม่มีการเปิดหลอด UV-C ถ่าน GAC และถ่าน GAC-TiO₂ ทั้ง 3 วิธี จะเกิดกระบวนการดูดซับสีเมทิลีนบลูจนเข้าสู่จุดสมดุล ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดสีเมทิลีนบลูของถ่านทั้งหมดไม่ต่างกันมากนัก หลังจากนั้นที่ 60 ทำการเปิดหลอด UV-C เพื่อให้เกิดกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชันของถ่าน GAC-TiO₂ จะเห็นได้ว่าถ่าน GAC-TiO₂ มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีเมทิลีนบลูได้ดีกว่าถ่าน GAC อย่างเห็นได้ชัด โดยถ่าน GAC-TiO₂ จากวิธีที่ 2 แบบไม่ล้าง และจากวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าถ่าน GAC-TiO₂ จากวิธีที่ 1 แบบล้างก่อนเผา ในช่วงเวลาที่

60-180 แต่หลังจากเวลาที่ 180 ประสิทธิภาพในการบำบัดจะใกล้เคียงกันทั้งสามวิธี (ร้อยละ 93.4, 95.1 และ 96.7 ตามลำดับ) ส่วนถ่าน GAC ซึ่งไม่มีการตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ หลังจากเปิดหลอด UV-C ประสิทธิภาพในการบำบัดจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากกระบวนการโฟโตไลซิส (ร้อยละ 67.5)

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสีเมทิลีนบลูของถ่าน GAC-TiO₂ (เกิดกระบวนการดูดซับร่วมกับกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชัน) กับถ่าน GAC (เกิดกระบวนการดูดซับเพียงอย่างเดียว) จะพบว่าถ่าน GAC-TiO₂ ทั้ง 3 วิธีมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีสูงกว่าประมาณร้อยละ 30 โดยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ถูกตรึงบนถ่าน GAC-TiO₂ สามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันและออกซิเดชันเมื่อได้รับการกระตุ้นจากแสง UV ดังนั้นการตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนตัวกลางถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดถือเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารในน้ำโดยเกิดกระบวนการบำบัดทั้งการดูดซับและโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชัน



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการบำบัดเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดที่ตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ (GAC-TiO₂) ด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชัน

สรุป

การตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนตัวกลางถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (GAC-TiO₂) ด้วยวิธีโซล-เจล ทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 แบบล้างก่อนเผา วิธีที่ 2 แบบไม่ล้าง และวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา สามารถตรวจพบไทเทเนียมไดออกไซด์ตรึงอยู่บนพื้นผิวถ่าน GAC-TiO₂ จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค EDS โดยมีร้อยละของไทเทเนียมไดออกไซด์ เท่ากับ 1.55, 9.36 และ 27.28 ตามลำดับ นอกจากนี้ถ่าน GAC-TiO₂ ทั้ง 3 วิธีแสดงโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสของไทเทเนียมไดออกไซด์ จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ซึ่งเป็นรูปผลึกที่มีประสิทธิภาพในเกิดกระบวนการโฟโตแคตาไลติกออกซิเดชัน ในการตรวจลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM วิธีที่ 2 แบบไม่ล้าง และวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา จะให้ถ่าน GAC-TiO₂ ที่มีปริมาณรูพรุนเล็กๆ ภายในถ่านเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีเจลของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบปกคลุมอยู่บนผิวถ่านอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นจากลักษณะสมบัติดังกล่าวของถ่าน GAC-TiO₂ จะเห็นได้ว่าวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา น่าจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์บนตัวกลางถ่านกัมมันต์

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของถ่าน GAC-TiO₂ ที่ได้จากการตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ทั้ง 3 วิธี โดยนำมาบำบัดสีเมทิลีนบลู ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 93.4, 95.1 และ 96.7 ตามลำดับ ดังนั้นการตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนตัวกลางถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดด้วยวิธีที่ 3 แบบล้างหลังเผา จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการตรึงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (GAC-TiO₂) สำหรับบำบัดมลสารในน้ำที่ย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพได้ยากหรือย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพไม่ได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการวิจัยพัฒนาหน่วยความเป็นเลิศ (Unit of Excellence) ด้านเทคโนโลยีโฟโตแคตาไลซิสเพื่อการกำจัดมลพิษในสิ่งแวดล้อม งบประมาณแผ่นดินปี พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยพะเยา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ang Ying Shan, Tinia ldaty Mohd.Ghazi, Suraya Abdul Rashid. 2010. Immobilisation of titanium dioxide onto supporting materials in heterogeneous photocatalysis: A review. Appl. Catal. A-Gen. 389: 1-8.
- [2] Jin-Chung Sin, Sze-Mun Lam, Abdul Rahman Mohamed. 2011. Optimizing photocatalytic degradation of phenol by TiO₂/GAC using response surface methodology. Korean J. Chem. Eng. 28: 84-92.
- [3] Raju C. Asha, Mathava Kumar. 2014. Photocatalytic degradation of poultry wastewater using activated carbon-supported titanium dioxide. Desalin. Water Treat. 54(12): 3279-3290.
- [4] Xiaojing Wang, Yafei Liu, Zhonghua Hu, Yujuan Chen, Wei Liu, Guohua Zhao. 2009. Degradation of methyl orange by composite photocatalysts nano-TiO₂ immobilized on activated carbons of different porosities. J. Hazard. Mater. 169: 1061-1068.
- [5] Alessandro C.Martins, Andre L.Cazetta, Osvaldo Pezoti, Joao R.B. Souza, Tao Zhang, Eduardo J.Pilau, Tewodros Asefa, and Victor C. Almeida. 2017. Sol-gel synthesis of new TiO₂/activated carbon photocatalyst and its application for degradation of tetracycline. Ceram. Int. 43: 4411-4418.
- [6] Irina Ivanova, Jenny Schneider, Henning Gutzmann, Jan-Olliver Kliemann, Frank Gartner, Thomas Klassen, Detlef Bahnemann, Cecilia B. Mendive. 2013. Photocatalytic degradation of oxalic and dichloroacetic acid on TiO₂ coated metal substrates. Catal. Today. 209: 84-90.

- [7] M.A.Nawi, Salmiah Md.Zain. 2012. Enhancing the surface properties of the immobilized Degussa P-25 TiO_2 for the efficient photocatalytic removal of methylene blue from aqueous solution. *Appl. Surf. Sci.* 258: 6148-6157.
- [8] M.A.Vishnuganth, Neelancherry Remya, Mathava Kumar, N.Selvaraju. 2016. Photocatalytic degradation of carbofuran by TiO_2 -coated activated carbon: Model for kinetic, electrical energy per order and economic. *J. Environ. Manage.* 181: 201-207.
- [9] M.A.Vishnuganth, S. Rangabhashiyam, Neelancherry Remya, Mathava Kumar, N. Selvaraju. 2015. Optimization of GAC supported TiO_2 photocatalytic process for competent carbofuran removal from an aqueous system. *J. Sci. Ind. Res. India.* 74: 225-231.
- [10] Yongbin J., Tiehu L., Li z., Xiaoxian W., Qilang L. 2007. Preparation of activated carbon by microwave heating KOH activation. *Appl. Surf. Sci.* 254: 506-512.
- [11] O. Carp, C. L. Huisman, A. Reller. 2004. Photoinduced reactivity of titanium dioxide. *Prog. Solid State Ch.* 32: 33-177.
- [12] Seul-Yi Lee, Soo-Jin Park. 2013. TiO_2 photocatalyst for water treatment applications. *J. Ind. Eng. Chem.* 19: 1761-1769.
- [13] Shuhua Yao, Jinyang Li, Zhongliang Shi. 2010. Immobilization of TiO_2 nanoparticles on activated carbon fiber and its photodegradation performance for organic pollutants. *Particuology.* 8: 272-278.