

ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของฟิล์มกรองแสงเคลือบด้วยฟิล์มไททาเนียมและเงิน Photocatalytic Reaction of Light Filter Film Coated by Silver Doped Titania

เกรียงไกร ทองลิ้ม (Kriangkrai Thonglim)^{1*} ดร.สิริลักษณ์ เจียรกร (Dr.Siriluk Chiarakorn)**

ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล (Dr.Prapat Pongkiatkul)***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและศึกษาปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์(TiO_2) และ ซิลเวอร์ (Ag) เคลือบบนแผ่นพลาสติกใสและบนแผ่นฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ที่มีค่าการกรองแสงแตกต่างกันในการสลายสีเมทิลีนบลู ฟิล์มซิลเวอร์ไททาเนียมไดออกไซด์เตรียมขึ้นด้วยกระบวนการโซล-เจล โดยมีไททาเนียมบิวทอกไซด์ และซิลเวอร์ไนเตรดเป็นสารตั้งต้นในสัดส่วน Ag : Ti เท่ากับ 1 :10 โดยโมล จากนั้นเคลือบบนแผ่นพลาสติกใสและบนแผ่นฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ด้วยวิธีการหมุนเคลือบ พบว่าผลึกที่ได้เป็นแบบอะนาทาส สามารถดูดกลืนแสงในช่วงแสงที่มองเห็นได้มากขึ้น ผลึกซิลเวอร์ไททาเนียมไดออกไซด์มีขนาด 20-60 nm ซึ่งใหญ่กว่าผลึกของไททาเนียมขนาด 10-30 nm และประสิทธิภาพการสลายสีเมทิลีนบลูบนแผ่นพลาสติกใสและบนแผ่นฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ที่มีค่าการกรองแสงร้อยละ 40 ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ สูงสุด 61.68 และ 53.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ABSTRACT

This research aimed to study the photocatalysis of silver(Ag) doped titanium dioxide (TiO_2) film coated on polyethylene terephthalate (PET) and light filter film for degradation of methylene blue dye. The Ag doped TiO_2 film was prepared by sol-gel method using titanium butoxide and silver nitrate as precursors with the molar ratio of Ag and Ti as 1:10. The films were then coated on PET and light filter film by spin coating. Results showed that anatase TiO_2 was found in the Ag doped TiO_2 film. The wavelength absorption intensity of the film in a visible light range increased significantly. SEM images indicated that the crystallite size of Ag doped TiO_2 film 20-60 nm was larger than that of TiO_2 film 10-30 nm. The methylene blue dye decolorization efficiencies of Ag doped TiO_2 film coated on PET and light filter film (40% light filter level) under visible light were 61.68 and 53.97, respectively.

คำสำคัญ : ไททาเนียมไดออกไซด์ โฟโตคะตะไลซิส ซิลเวอร์

Keywords : TiO_2 , Photocatalysis, Silver

¹Correspondent author : kriangkrai_th007@hotmail.com

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี นักวิจัยศูนย์ความเป็นเลิศ นาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ด้านวัสดุนาโนไฮบริด สำหรับพลังงานทางเลือก (HyNAE)

*** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทนำ

กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis) สามารถนำมาใช้เพื่อการบำบัดมลพิษด้านน้ำและด้านอากาศ โดยอาศัยกระบวนการทางเคมีสลายสารอินทรีย์ (Organic compounds) ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ [1] ตัวเร่งปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสที่นิยมใช้ได้แก่ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารไม่มีพิษ และมีความเสถียรสูง [2] ปัจจุบันมีการนำฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ไปเคลือบบนผิววัสดุหลากหลาย เพื่อสมบัติในการทำความสะอาดได้ด้วยตัวเองและสามารถบำบัดมลพิษได้ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสของไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งเกิดขึ้นได้เมื่อไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับพลังงานแสงในช่วงอัลตราไวโอเลต (UV light) ซึ่งเป็นอุปสรรคในการนำมาใช้งานภายในอาคารหรือรถยนต์ งานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาการลดระดับพลังงานที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของไททาเนียมไดออกไซด์ให้อยู่ในช่วงแสงที่มองเห็น (Visible light) โดยการเติมโลหะ เช่น เงิน (Ag) ทองคำ (Au) พาลาเดียม (Pd) และแพลตตินัม (Pt) จากงานวิจัยของ Peerakiatkhajohn et al. [3] ได้เตรียมฟิล์มที่มีส่วนผสมของเงินและไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนแผ่นพลาสติก PET และ PVC แล้วทดสอบปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสพบว่าสามารถสลายสีของเมทิลีนบลูภายใต้ช่วงแสงที่มองเห็นได้ซึ่งเกิดจากประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันของเงินและไททาเนียมไดออกไซด์ช่วยให้ช่วงการดูดกลืนแสงของไททาเนียมไดออกไซด์กว้างออกไปจนถึงช่วงแสงที่มองเห็นได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาฟิล์มซิลเวอร์ไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบบนผิวฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสที่เกิดขึ้น ภายใต้ช่วงแสงที่มองเห็นได้เพื่อเป็นแนวทางต่อยอดในการพัฒนาฟิล์มกรองแสงที่สามารถบำบัดอากาศภายในรถยนต์ได้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาฟิล์มซิลเวอร์ไททาเนียมไดออกไซด์ (Ag/TiO_2) ที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์และศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มที่เตรียมได้ในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสในการสลายสีเมทิลีนบลู

วิธีการวิจัย

การเตรียมแผ่นฟิล์มกรองแสงก่อนการเคลือบ

การศึกษานี้ได้ใช้แผ่นฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ ชนิดฟิล์มกรองแสงเคลือบโลหะที่มีค่าการกรองแสงแตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 40, 60 และ 80 ขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร นำไปทำความสะอาดด้วยเอทานอลและน้ำกลั่น ก่อนการหมุนเคลือบด้วยสารละลายซิลเวอร์ไททาเนียมไดออกไซด์

การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไททาเนียมไดออกไซด์

สารละลายซิลเวอร์ไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เตรียมจากสารตั้งต้นคือสารละลายไททาเนียมบิวทอกไซด์ (Titanium (IV) butoxide, $\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4$) เอทานอล (Ethanol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) สารละลายอะซิetylอะซิโตน (Acetylacetone, CH_3COCH_3) น้ำกลั่น และกรดไนตริก (Nitric acid, HNO_3) ในสัดส่วนโดยโมล $\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4 : 18\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} : 0.5\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2 : 2\text{H}_2\text{O} : 0.2\text{HNO}_3$ ผสมสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำซิลเวอร์ไนเตรดปริมาณร้อยละ 10 โดยโมลมาเติมลงในสารละลายไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมไว้ กวนผสมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง [4] จากนั้นนำสารละลายซิลเวอร์ไททาเนียมไดออกไซด์ที่ได้ไปทำการรีฟลักซ์ด้วยอุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำไปหมุนเคลือบบนแผ่นพลาสติก PET และแผ่นฟิล์มกรองแสงต่อไป

การหมุนเคลือบและการขึ้นรูปฟิล์มซิลเวอร์ไททาเนียมไดออกไซด์

นำสารละลายซิลเวอร์ไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมจากวิธีข้างต้น มาทำการหมุนเคลือบด้วยเครื่อง VTC-100 compact บนแผ่นฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ที่เตรียมพื้นผิวแล้วที่มีค่าการส่องสว่าง 40, 60 และ 80 ความเร็ว 2,500 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 วินาที [5] ทิ้งให้แห้งประมาณ 5 นาที แล้วทำการหมุนเคลือบซ้ำจนจบกระบวนการอีก 4 รอบ จากนั้นนำแผ่นฟิล์มกรองแสงที่ผ่านการเคลือบไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วนำมาบ่ม (curing) ด้วยหลอดยูวีเอ 300 วัตต์เป็นเวลา 20 นาทีหลังจากนั้นนำฟิล์มที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างและประสิทธิภาพของฟิล์มต่อไป

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของฟิล์มซิลเวอร์ไททาเนียมไดออกไซด์

วิเคราะห์โครงสร้างและการจัดเรียงตัวของผลึก (crystalline structure analysis) ของตัวอย่างด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD) บริษัท Bruker AXS model D8 discover ที่มุมตกกระทบ 2 degree theta ช่วง 20-80 องศา

ศึกษาค่าการดูดกลืนแสง (wavelength absorption) ด้วยเครื่อง UV-Vis/NIR spectrophotometer ของบริษัท Shimadzu รุ่น 3100 ทำการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น 250-800 นาโนเมตร

วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเพื่อดูพื้นผิวของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีกำลังขยายสูง (Field Emission Scanning Electron Microscope, FESEM)

ศึกษาประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของฟิล์ม ในการสลายสีย้อมเมทิลีนบลูภายใต้แสงที่มองเห็นได้ โดยเตรียมฟิล์มซิลเวอร์ไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผ่านการบ่มแล้วขนาด 7x7 เซนติเมตร มาใส่ลงในสารละลายเมทิลีนบลู ที่มีความ

เข้มข้น 5.0×10^{-6} โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร พร้อมกวนผสมด้วยเครื่องผสมสารโดยใช้แม่เหล็กหมุนกวน จากนั้นฉายแสงด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) ชนิดหลอด LED ขนาด 16 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ภายในกล่องปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิส (กล่องไม้ปิดทึบทุกด้าน ขนาด $30 \times 40 \times 60$ เซนติเมตร) วัดการเปลี่ยนแปลงของค่าดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูด้วยเครื่อง UV-Vis spectrometer ที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของฟิล์ม TiO_2 และ Ag/TiO_2

เนื่องจากฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์มีส่วนผสมของโลหะหลายชนิด ดังนั้นในการศึกษาความเป็นผลึกในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของฟิล์ม TiO_2 และ Ag/TiO_2 บนพลาสติกใสชนิด PET แทนผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 1 พบว่าโครงสร้างผลึกของ TiO_2 ในฟิล์ม TiO_2 และ Ag/TiO_2 เป็นแบบอะนาเทสโดยมีตำแหน่งพีคที่ 25.28 สอดคล้องตามมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 89-4921 ขณะที่ผลึกของอนุภาคซิลเวอร์นาโน (Ag) ที่ตำแหน่ง 38.12 และ 44.31 ไม่สามารถเห็นได้ชัดเนื่องจากปริมาณ Ag มีอยู่น้อย

2. ผลการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของฟิล์ม TiO_2 และ Ag/TiO_2 บน PET

การศึกษสมบัติการดูดกลืนแสงของ TiO_2 และ Ag/TiO_2 บน PET ด้วยเครื่อง UV-Vis/NIR spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 200 – 800 นาโนเมตรแสดงดังภาพที่ 2 พบว่าการดูดกลืนแสงของ TiO_2 สามารถดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเลตได้ และเมื่อเติม Ag ลงไปในโครงสร้าง TiO_2 ($10\% \text{Ag/TiO}_2$) พบว่าการดูดกลืนแสงในช่วงแสงที่มองเห็นได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเติม Ag ที่มีอนุภาคเล็กขนาดนาโนช่วยให้ช่วงของการดูดกลืนคลื่นแสงขยายไปในช่วงแสงที่มองเห็นมากขึ้น เนื่องจาก

Ag ไปช่วยลดค่าช่องว่างของพลังงาน (Band gap energy (eV)) จึงทำให้ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสภายใต้แสงที่มองเห็นเพิ่มขึ้น เมื่อคำนวณค่าช่องว่างของพลังงานตามสมการ $E = h\nu = hc / \lambda$ จะได้ค่าแสดงในตารางที่ 1

3. ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์ม TiO_2 และ Ag/TiO_2

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม TiO_2 และ Ag/TiO_2 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีกำลังขยายสูงแสดงดังภาพที่ 3 (a) และ (b) พบว่าขนาดผลึกของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยเงินมีขนาด 20-60 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดผลึกใหญ่กว่าขนาดผลึกนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาด 10-30 นาโนเมตรสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chuang [6] ซึ่งอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยเงินที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอนุภาคประมาณ 10-20 นาโนเมตร และนำอนุภาคดังกล่าวไปใช้กับปฏิกิริยาการแยกน้ำ (watersplitting) ภายใต้แสงที่มองเห็นได้และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของฟิล์มด้วย EDS พบว่าฟิล์ม Ag/TiO_2 ประกอบด้วยธาตุเงินปริมาณร้อยละ 12.09 และไททาเนียมปริมาณ ร้อยละ 87.21 โดยภาพที่ 3 (c) และ (d)

4. ผลการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของฟิล์ม Ag/TiO_2 บนแผ่นพลาสติกใส PET และบนแผ่นฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์

ผลการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของฟิล์ม TiO_2 และ Ag/TiO_2 บนแผ่นพลาสติกใส PET ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์แสดงผลดังภาพที่ 4 จากการศึกษาพบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง ฟิล์ม Ag/TiO_2 ที่เคลือบบนแผ่น PET มีประสิทธิภาพการสลายสีเมทิลีนบลูร้อยละ 61.68 ซึ่งมากกว่าแผ่น PET ที่เคลือบฟิล์ม TiO_2 ซึ่งมีประสิทธิภาพการสลายสีเมทิลีนบลูร้อยละ 28.36 จากผลการศึกษาที่ได้ งานวิจัยนี้จึงได้นำฟิล์ม Ag/

TiO_2 ไปศึกษาต่อโดยการเคลือบบนผิวของฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ ผลการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของฟิล์ม TiO_2 และ Ag/TiO_2 บนฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ที่มีค่าการกรองแสงร้อยละ 40, 60 และ 80 แสดงดังภาพที่ 5 จากการศึกษาพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง ฟิล์ม Ag/TiO_2 เคลือบบนฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ที่มีค่าการกรองแสงร้อยละ 40 มีค่าการสลายสีเมทิลีนบลูดีที่สุด รองลงมาคือ ฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ที่มีค่าการกรองแสงร้อยละ 60 ฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ที่มีค่าการกรองแสง ร้อยละ 80 และฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม TiO_2 ซึ่งมีประสิทธิภาพการสลายสีเท่ากับร้อยละ 53.97, 45.14, 35.09 และ 21.18 ตามลำดับฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ที่มีค่าการกรองแสงร้อยละ 40 มีประสิทธิภาพการสลายสีเมทิลีนบลูดีที่สุดฟิล์ม Ag/TiO_2 ที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์มีประสิทธิภาพการสลายสีย้อมเมทิลีนบลูดีกว่าฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ที่เคลือบฟิล์ม TiO_2 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสลายสีเมทิลีนบลูระหว่างฟิล์ม Ag/TiO_2 ที่เคลือบบนแผ่น PET และบนแผ่นฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ที่มีค่าการกรองแสงร้อยละ 40 พบว่าประสิทธิภาพการสลายสีเมทิลีนบลูของฟิล์ม Ag/TiO_2 ที่เคลือบบนแผ่น PET ดีกว่าฟิล์ม Ag/TiO_2 บนแผ่นฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ที่มีค่าการกรองแสงร้อยละ 40 ที่ร้อยละ 7.71 เพราะปริมาณแสงสามารถส่องผ่านแผ่นพลาสติกใสได้มากกว่าส่องผ่านเนื้อฟิล์ม ทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสในการสลายสีเมทิลีนบลูได้เพิ่มขึ้น

สรุปผลการวิจัย

ฟิล์ม Ag/TiO_2 ที่ผ่านการเคลือบบนแผ่นฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ด้วยเทคนิคหมุนเคลือบสามารถเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส ในการสลายสีเมทิลีนบลูภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์และมีประสิทธิภาพในการสลายสีย้อมเมทิลีนบลูสูงกว่าฟิล์ม TiO_2 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของแสงที่

ส่องผ่านเนื้อฟิล์มมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของฟิล์ม Ag/TiO_2 โดยฟิล์มที่มีปริมาณของแสงที่ส่องผ่านเนื้อฟิล์มมากจะสามารถเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสได้ดีกว่าฟิล์มที่มีแสงส่องผ่านน้อย

กิตติกรรมประกาศ

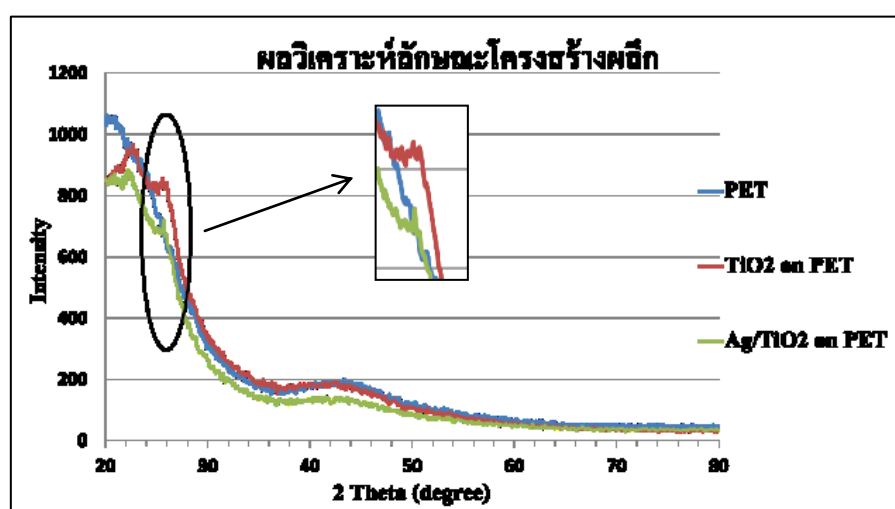
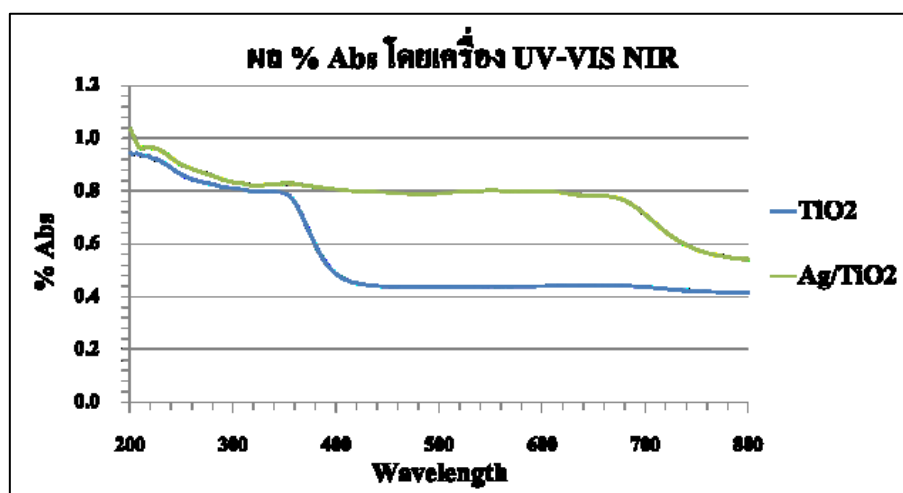
งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ของสายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีและทุนสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศนาโนเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ด้านวัสดุนาโนไฮบริด สำหรับพลังงานทางเลือก (HyNAE)

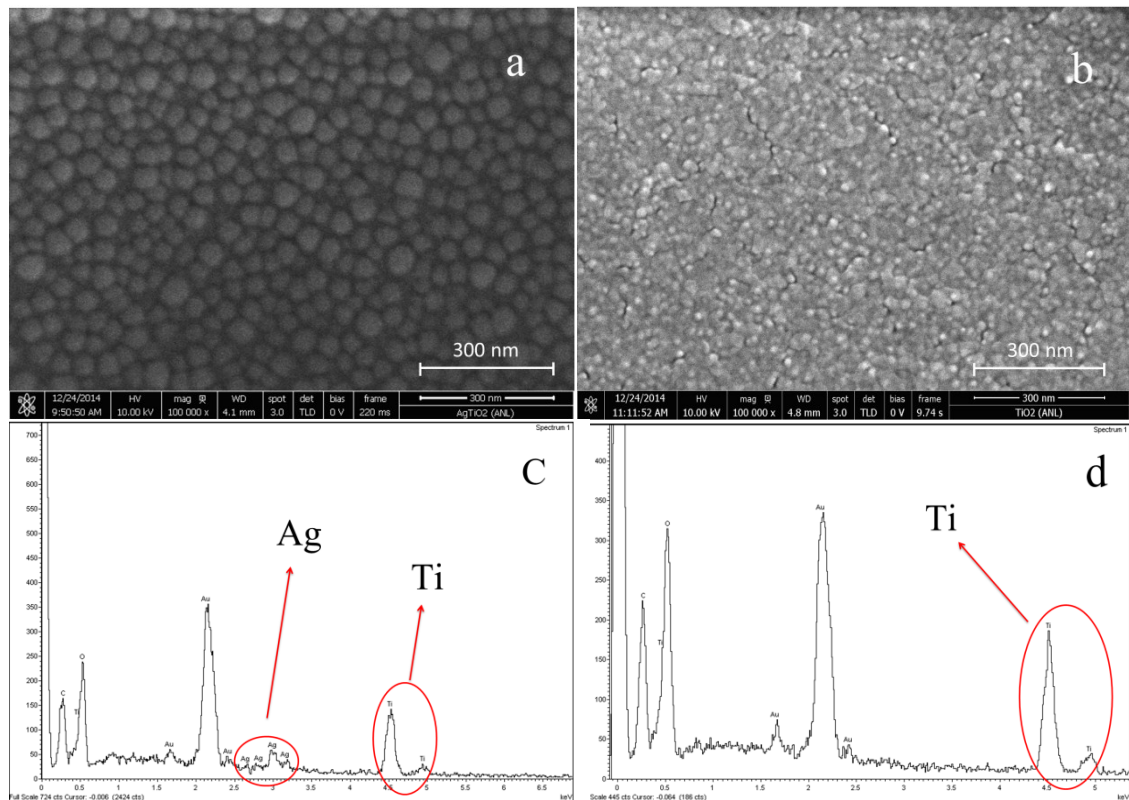
เอกสารอ้างอิง

1. Damchan J. The development of nano coating material of $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2/\text{X}$ [MEng thesis]. Songkla: Prince of Songkla University; 2007. Thai.
2. Karunmethakul C. Modification of Titanium dioxide surfaces to enhance photocatalytic activity [MSc thesis]. Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok; 2006. Thai.
3. Peerakiatkhajohn P, Chawengkijwanich C, Onreabroy W, Chiarakorn S. Novel photocatalytic Ag/TiO_2 thin film on polyvinyl chloride for gaseous BTEX treatment. Material Science Forum. 2012; 2012(712): 133-145.
4. Tongon W, Chawengkijwanich C, Chiarakorn S. Visible light responsive $\text{Ag}/\text{TiO}_2/\text{MCM}-41$ nanocomposite films synthesized by a microwave assisted sol-gel technique. Superlattices and microstructures. 2014; 2014(69): 108-121.
5. Kumar V, Kumar V, Som S, Yousif A, Sight N, Ntwaeaborwa OM, Kapoor A, Swart HC. Effect of annealing on the structural, morphological and photoluminescence properties of ZnO thin films prepared by spin coating. Journal of Colloid and interface Science. 2014; 2014(428): 8-15.
6. Chuang H-Y, Chen D-H. Fabrication and photoelectrochemical study of $\text{Ag}@\text{TiO}_2$ nanoparticle thin film electrode. IntJ hydro ener. 2011; 36(16): 9487-9495.

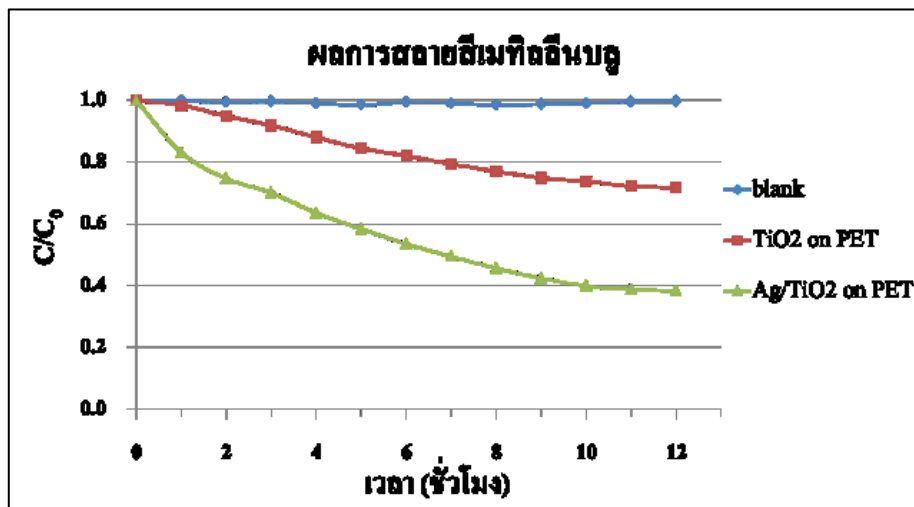
ตารางที่ 1 ค่าช่องว่างพลังงานของ TiO_2 และ 10%Ag/ TiO_2 บน PET

กลุ่มตัวอย่าง	$\lambda_{\text{cut-off}}$ (nm)	Band gap energy (eV)
TiO_2 (จากทฤษฎี)	388	3.20
TiO_2 (ที่สังเคราะห์ได้)	389	3.19
10% Ag/ TiO_2	441	2.81

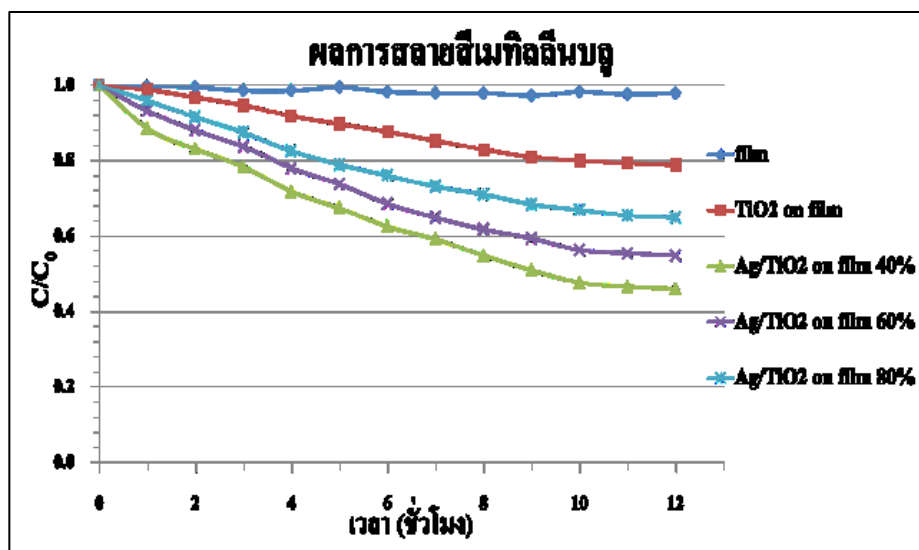
ภาพที่ 1 กราฟ XRD ของฟิล์ม TiO_2 และ Ag/ TiO_2 บนแผ่นพลาสติก PETภาพที่ 2 แสดงการดูดกลืนแสงของ TiO_2 และ 10%Ag/ TiO_2 ด้วยเครื่อง UV-Vis/NIR spectrophotometer



ภาพที่ 3 (a) และ (b) แสดงลักษณะวิทยาของฟิล์ม Ag/TiO₂ และฟิล์ม TiO₂ (c) และ (d) แสดงการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่พบในฟิล์ม Ag/TiO₂ และฟิล์ม TiO₂ ตามลำดับ



ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลูกับเวลา (ชั่วโมง) ของฟิล์ม TiO₂ และฟิล์ม Ag/TiO₂ บนแผ่นพลาสติกใส PET



ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลูกับเวลา (ชั่วโมง) ของฟิล์ม TiO₂ และ ฟิล์ม Ag/TiO₂ บนแผ่นฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์