การลดปริมาณสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

(Decolorization in Wastewater from Textile Industry by the Use of Coconut Shell-Charcoal Coated with TiO_2 Films)

ขนิษฐา หทัยสมิทธ์*

*สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา 1061 ถนนอิสรภาพ แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี กรุงเทพฯ 10600

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยการดูดซับของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้การเร่งปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสง โดยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนถ่านกะลามะพร้าวทำด้วยเทคนิคโซลเจล ซึ่งเตรียมจากสารละลายเตตระไอโซโพรพอกไซด์และไอโซโพรพานอล1:20 (โดยปริมาตร) แล้วเคลือบลงบนถ่านกะลามะพร้าวจำนวน 1, 5 และ 20 รอบ โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพและโครงสร้างความเป็นผลึกของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันจากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกเคลือบลงบนพื้นผิว และภายในรูพรุนของถ่านกะลามะพร้าว มีความเป็นผลึกเฟสอนาเทสที่ระนาบการเลี้ยวเบนหลัก A(101) การศึกษาประสิทธิภาพการลดสีใช้สารละลายสีเบสิคที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใช้เป็นตัวแทนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยทดสอบการบำบัดภายใต้ปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสงยูวี-เอ ที่ความยาวคลื่นกลาง 365 นาโนเมตร ความเข้มแสงเท่ากับ 0.88 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตรและระยะเวลาฉายแสง 6 ชั่วโมง พบว่าถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 1, 5 และ 20 รอบ มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสีได้ร้อยละ 71.33, 77.06 และ 79.38 ตามลำดับและเมื่อศึกษาความเสื่อมสภาพของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดสี 3 ครั้งในการทำซ้ำ หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการลดสีลดลง

คำสำคัญ : ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์/ ถ่านกะลามะพร้าว/ การเร่งปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสง/ น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

Abstract

The purpose of this research was to determine efficiency of decolorization in wastewater from textile industry by the use of adsorption and photocatalysis of coconut shell- charcoal coated with TiO_2 films. TiO_2 films were prepared by the sol–gel technique from titanium tetraisopropoxide and iso-propanol of 1:20 (V/V). Sol-gel was coated on coconut shell-charcoal by dip coating of 1, 5 and 20 cycles. Surface morphologies and crystalline structures of coconut shell-charcoal coated with TiO_2 films were observed by scanning electron microscope (SEM) and x-ray diffractometer (XRD). SEM images showed that TiO_2 films were coated on coconut shell-charcoal surface and porous holes of coconut shell-charcoals. TiO_2 films showed crystalline phase of anatase phase and the highest intensity plane was A(101). Concentrations of basic dyes 50 mg/L were used as wastewater from textile dyes to test efficiency of decolorization. Photocatalytic activities were tested under UV-A at middle wavelength of 365 nm, intensity of 0.88 mW/cm^2 and irradiation time of 6 hours. The decolorization efficiencies of coconut shell-charcoal coated TiO_2 films of 1, 5 and 20 cycles were 71.33, 77.06 and 79.38 %, respectively. The good expectation for treatment of high decolorization efficiency for coconut shell charcoal coated with TiO_2 was three times for repetition, after that, the efficiency of decolorization was decay

Keywords: TiO_2 films/ Coconut shell-charcoal/ Photocatalysis/ Wastewater from textile industry

บทนำ

การเร่งปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสง (photocatalysis) ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide; TiO_2) เกิดขึ้นภายในโมเลกุลของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อเกิดการกระตุ้นจากแสงยูวี-เอความยาวคลื่น 365นาโนเมตร หรือพลังงานโฟตรอน ($h\nu$) ของแสงที่มีพลังงานเท่ากับหรือสูงกว่าแถบช่องว่างพลังงาน (energy band gap; E_g)ตกกระทบผิวหน้าของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ทำให้อิเล็กตรอน (e^-) เคลื่อนที่จากแถบเวเลนซ์ (valence band) ไปยังแถบคอนดักชัน(conduction band) ทำให้เกิดโฮล (hole; h_{vb}^+) ที่แถบเวเลนซ์ และอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นไปอยู่ในแถบคอนดักชัน (e_{cb}^-) ให้อิเล็กตรอนแก่ออกซิเจน (O_2) ในน้ำทิ้งเกิดเป็นปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) เกิดออกซิเจนไอออน (O_2^-) และไฮโดรเปอร์ออกซีเรดิคอล ($HO_2^{\cdot}$) ส่วนโฮลที่แถบเวเลนต์ (h_{vb}^+) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ดังสมการที่ (1)-(6) ทำให้เกิดไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ($OH^{\cdot}$) และโมเลกุลไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นสารออกซิไดส์ (oxidized agent) (Ni *et al*., 2007; เสรีย์ ตู้ประกาย, 2553) โดยโมเลกุลของสีทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน และอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลเกิดสารที่ถูกย่อยสลาย (degradation production)

เช่น น้ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Chamnan *et al*., 2004; Tryba *et al*., 2009; Barakat, 2011) นอกจากนี้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการเร่งปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสงของไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารที่ใช้ในการฟอกผ้า ดังสมการ (7)-(9)

$$TiO_2 + h\nu \rightarrow e_{cb}^- + h_{vb}^+ \quad (1)$$

$$O_2 + e_{cb}^- \rightarrow O_2^- \quad (2)$$

$$(H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-) + h_{vb}^+ \rightarrow H^+ + OH^\cdot \quad (3)$$

$$O_2^- + H^+ \rightarrow HO_2^\cdot \quad (4)$$

$$2HO_2^\cdot \rightarrow H_2O_2 + O_2 \quad (5)$$

$$H_2O_2 + e^- \rightarrow OH^\cdot + OH^- \quad (6)$$

$$Dye + OH^\cdot \rightarrow \text{Degradation production} \quad (7)$$

$$Dye + h_{vb}^+ \rightarrow \text{Oxidation production} \quad (8)$$

$$Dye + e_{cb}^- \rightarrow \text{Reduction production} \quad (9)$$

การประยุกต์ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อการลดปริมาณสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอมีหลายรูปแบบ เช่น นำผงไทเทเนียมไดออกไซด์ (P25) ลดปริมาณสีของสารละลายเมทิลีนบูล (methyl blue) ได้ร้อยละ 60-90 (Zhang *et al*., 2001; Chamnan *et al*.,2004) ซึ่งน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วต้องกรองแยกผงไทเทเนียมไดออกไซด์ จึงมีการพัฒนาเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์มาลงบนวัสดุต่างๆ เช่น นำกระจกเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถลดปริมาณสีเมทิลีนบูลได้ร้อยละ 72.38 ส่วนกระจกธรรมดาที่ไม่ได้เคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ลดสีได้ร้อยละ 8.39 (Hathaisamit *et al*., 2010) นอกจากนี้การเร่งปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสงของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับการดูดซับของถ่านกัมมันต์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการลดสีได้สูงถึงร้อยละ 80-100 (Foo and Hameed, 2010) เนื่องจากโมเลกุลของสีถูกดูดซับลงในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ เกิดการย่อยสลายโมเลกุลสีโดยการเร่งปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสงของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ (ขนิษฐา หทัยสมิทธิ์, 2554) ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยการดูดซับของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้การเร่งปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสง

วิธีดำเนินการวิจัย

การลดปริมาณสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยการใช้ถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ทำโดยการนำถ่านกะลามะพร้าวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.5 เซนติเมตรมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นแล้ว นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นผสมสารละลายไทเทเนียมไอโซโพรพอกไซด์ (TTiP, Ti $(OC_3H_7)_4$) กับตัวทำละลายไอโซโพรพานอล (C_3H_7OH) ในอัตราส่วน 1:20 ปรับพีเอชเท่ากับ 2.0 โดยใช้กรดไนทริก (1+5) นำถ่านกะลามะพร้าวที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้วมาเคลือบด้วยสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมไว้ จำนวน1, 5, 10, 15 และ 20 รอบนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อไล่น้ำและนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจากนั้นนำถ่านกะลามะพร้าวที่

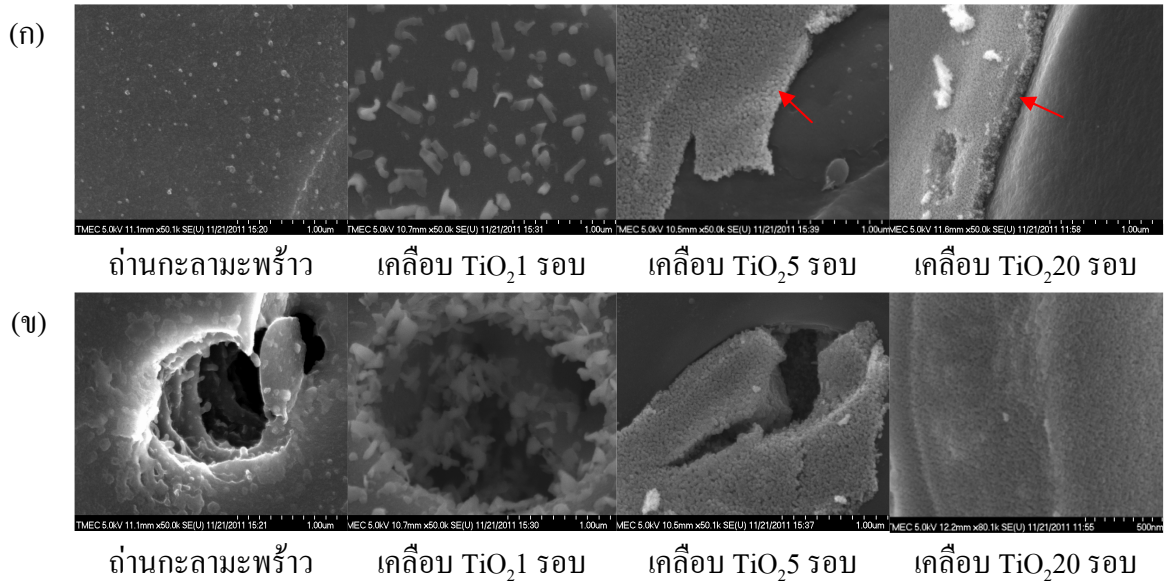
เคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์แล้วมาทำการทดลองโดยแบ่งเป็น 3 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่หนึ่งนำถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 1, 5 และ 20 รอบ มาศึกษาสมบัติทางกายภาพโดยวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถ่านกะลามะพร้าว และฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy : SEM) รุ่น S4700ยี่ห้อ HITACHI และวิเคราะห์ผลึกเฟสอนาเทสของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน(X-ray diffraction: XRD)รุ่น D8 Advance ยี่ห้อ Bruker การทดลองที่สองศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้สีย้อมผ้ากลุ่มเบสิค (basic dyes) เป็นตัวแทนของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยนำละลายสีเหลืองความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตรเติมถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 1, 5, 10, 15 และ 20 รอบ น้ำหนัก 1 กรัม ลงในสารละลายสีเหลืองที่เตรียมไว้หลังจากนั้นนำไปทดสอบการเร่งปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสงโดยการฉายแสงยูวี-เอที่ความยาวคลื่น 365 นาโนเมตรความเข้มแสง 0.88 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรระยะเวลา16 ชั่วโมงนำสารละลายที่ผ่านการฉายแสงมาคำนวณประสิทธิภาพการลดปริมาณสีโดยวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่อง UV spectrophotometer และการทดลองที่สามศึกษาการเสื่อมสภาพของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยนำถ่านกะลามะพร้าวเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 20 รอบ หนัก1 กรัม ใส่ในสารละลายสีเหลืองความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร นำมาฉายแสงยูวี-เอ เวลา 6 ชั่วโมง ทำการทดลองซ้ำจนถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่สามารถลดปริมาณสีในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอได้ต่อไป

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

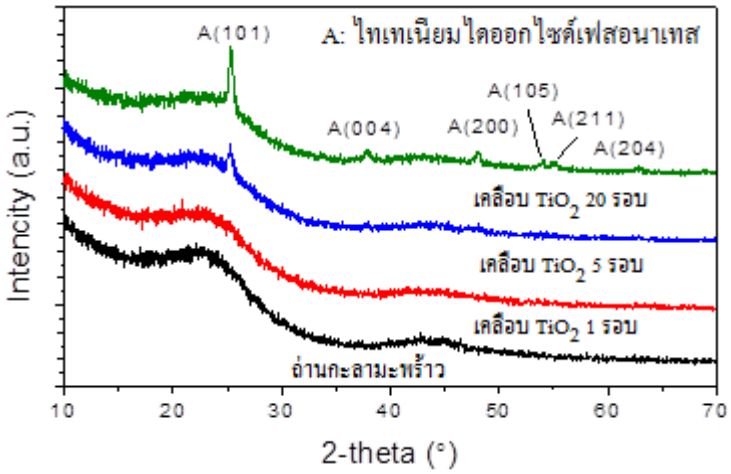
จากการศึกษาลักษณะโครงสร้าง (surface structure) ความพรุน (porosity) ของถ่านกะลามะพร้าวและฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกะลามะพร้าว (coated surface) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 50,000และ 80,000 เท่าของถ่านกะลามะพร้าว, ถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน1, 5 และ20 รอบ ซึ่งพบว่าถ่านกะลามะพร้าวมีพื้นผิวเรียบ ความพรุนเล็กน้อย ขนาดช่องว่าง (void) มีความกว้างประมาณ 50 นาโนเมตรเริ่มพบผลึกของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ลักษณะสีขาว เป็นแท่ง กระจัดกระจายไม่ระเบียบ บนพื้นผิวและในรูพรุนของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 1 รอบ ส่วนกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 5 และ 20 รอบ พบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์มีลักษณะกลม เรียงตัวเป็นระเบียบเกาะตามพื้นผิวและฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

จำนวน 20 รอบ พบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เข้าแทรกในรูพรุนของถ่านกะลามะพร้าวจนเต็มรูพรุน และเรียงผลึกเม็ดกลมมีความหนากว่าถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 5 รอบ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 50,000 และ 80,000 เท่าแสดงลักษณะพื้นผิวถ่านกะลามะพร้าว และถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 1, 5 และ 20 รอบ (ก) และภายในรูพรุนของถ่านกะลามะพร้าว และถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 1, 5 และ 20 รอบ (ข)

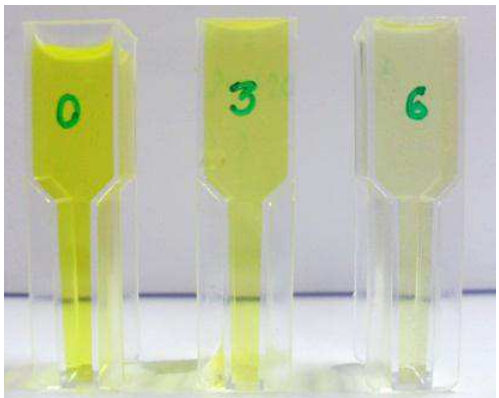
ผลการวิเคราะห์ผลึกเฟสอนาเทสของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน1, 5 และ 20 รอบ ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันเริ่มพบระนาบการเลี้ยวเบนหลักที่ตำแหน่งA(101) ของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมออกไซด์จำนวน 5 รอบ และที่ระนาบการเลี้ยวเบนหลักA(101) สูงมาก และระนาบการเลี้ยวเบนได้แก่ A(004), A(200), A(105), A(211) และ A(204)ตามลำดับ ของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมออกไซด์จำนวน 20 รอบ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ลักษณะระนาบการเลี้ยวเบนผลึกเฟสอนาเทสของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียม-ไดออกไซด์จำนวน 1, 5 และ 20 รอบ จากการศึกษาด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน

2. การศึกษาประสิทธิภาพการลดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

การศึกษาจำนวนชั้นของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนถ่านกะลามะพร้าวมีผลต่อประสิทธิภาพการลดปริมาณสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ สารละลายสีเบสิคเป็นตัวแทนของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีสีเหลืองเข้ม สารละลายสีเบสิคสีเหลืองจางลงตามระยะเวลาฉายแสงยูวี-เอ 3 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ(ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพการลดปริมาณสารละลายสีเบสิคผ่านของกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียม-ไดออกไซด์จำนวน 20 รอบที่ระยะเวลาฉายแสงยูวี-เอ 0, 3 และ 6 ชั่วโมง

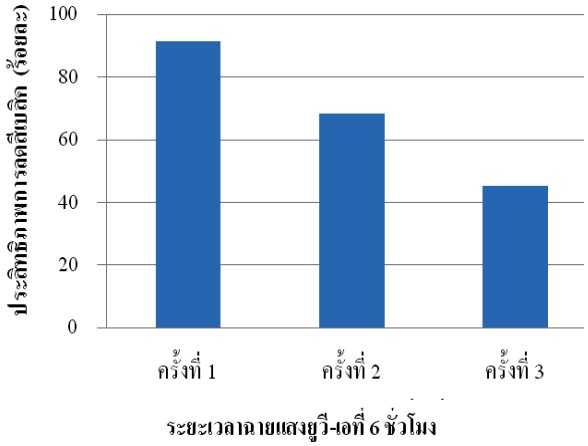
ประสิทธิภาพการลดสีของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 1, 5, 10, 15 และ 20 รอบ สามารถลดสีได้ร้อยละ 71.33, 77.06, 60.86, 75.33 และ 79.38 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการลดสีของตัวแปรควบคุม (ถ่านกะลามะพร้าวเคลือบไทเทเนียม-ไดออกไซด์จำนวน 5 รอบ ทดสอบที่มืด 6 ชั่วโมง) ร้อยละ 54.91 (ตารางที่1)

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการลดสีเบสิคโดยถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวนรอบต่างๆ

ถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ (จำนวนรอบ)	ประสิทธิภาพการลดสีเบสิค (ร้อยละ)
TiO_2 – 1 cycle	71.33
TiO_2 – 5 cycles	77.06
TiO_2 – 10 cycles	60.86
TiO_2 – 15 cycles	75.33
TiO_2 – 20 cycles	79.38
Control (มืด 6 ชั่วโมง)	54.91

3. การศึกษาการเสื่อมสภาพของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

การศึกษาการเสื่อมสภาพหรือความสามารถลดปริมาณสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยถ่านกะลามะพร้าวเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 20 รอบ พบว่าประสิทธิภาพการลดสีสามารถใช้ซ้ำได้ครั้งที่ 3 โดยการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อฉายแสงยูวี-เอเป็นเวลา24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการลดสีไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งมีประสิทธิภาพการลดสีครั้งที่ 1, 2 และ3 ได้ร้อยละ 91.31, 68.47 และ 45.35 ตามลำดับ(ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การเสื่อมสภาพการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

อภิปรายผล

1. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของลักษณะของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลประสิทธิภาพการลดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอจากผลการทดลองพบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์มีลักษณะของผลึก กลม สีขาว (ภาพที่ 1) และพบผลึกเป็นเฟสอนาเทสระนาบการเลี้ยวเบนหลักตำแหน่ง A(101)และระนาบการเลี้ยวเบนอื่นๆ ได้แก่ A(004), A(200), A(105), A(211) และ A(204) (ภาพที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wang *et al*.,(2009) และLe *et al*., (2012) พบมากที่สุดได้แก่ ถ่านกะลามะพร้าวถูกด้วยเคลือบฟิล์มไทเทเนียมออกไซด์จำนวน 20 รอบ

2. การศึกษาประสิทธิภาพการลดสีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการลดสีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ (ตารางที่ 1) พบว่าถ่านกะลามะพร้าวเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 20 รอบ สามารถลดปริมาณสีเบสิคได้สูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 79.38และถ่านกะลามะพร้าวเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 5 รอบ มีประสิทธิภาพรองเป็นอันดับ 2 ลดปริมาณสีได้ร้อยละ 77.06 ประสิทธิภาพการลดสีต่างกันเพียงร้อยละ 2-3 เนื่องจากถ่านกะลามะพร้าวเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 20 รอบ นั้นเกิดการเร่งปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสงของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่พื้นผิวของถ่านกะลามะพร้าวเพียงปฏิกิริยาเดียวซึ่งการลดสีนี้เกิดจากโมเลกุลของสีเบสิคถูกการย่อยสลายการเป็นโมเลกุลของน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 5

รอบ การลดสีเกิด 2 กลไกคือ โมเลกุลของสีถูกการดูดซับเข้าในรูพรุนถ่านกะลามะพร้าว แล้วเกิดการเร่งปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสงของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่แทรกในรูพรุน และพื้นผิวของถ่านกะลามะพร้าว เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดสีของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 5 รอบ ทดลองที่มืดเวลา16 ชั่วโมง (ตัวแปรควบคุม) สามารถลดสีได้ร้อยละ 54.91 เนื่องเกิดการดูดซับเกิดขึ้นในรูพรุนของถ่านกะลามะพร้าวที่เหลืออยู่และถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 10 และ 15 รอบ มีประสิทธิภาพการลดสีร้อยละ 60.86 และ 75.33 ซึ่งมีประสิทธิภาพน้อยกว่าถ่านกะลามะพร้าวเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 5 รอบ ที่ระยะเวลาฉายแสงยูวี-เอ 6 ชั่วโมง เนื่องจากฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เข้าแทรกภายในรูพรุนของถ่านกะลามะพร้าวจนไม่เกิดการดูดซับ และปริมาณของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวกะลามะพร้าวน้อยกว่าเกิดการเร่งปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแสงน้อยกว่าถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 20 รอบ

3. การศึกษาการเสื่อมสภาพของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

จากการศึกษาการเสื่อมสภาพของถ่านกะลามะพร้าวเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์พบว่ามีความสามารถลดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้ 3 ครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ถ่านกะลามะพร้าวไม่ได้เผาให้เป็นถ่านกัมมันต์จึงทำให้สารอินทรีย์ภายในถ่านกะลามะพร้าวละลายออกมาเป็นสารแขวนลอย และทำให้ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนผิวถ่านกะลามะพร้าวหลุดปนในน้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลอง จึงทำให้เมื่อทำการทดลองในระยะเวลานานประสิทธิภาพการลดปริมาณสีลดลง

สรุปผลการวิจัย

จากการใช้ถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ลดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้สีเบสิคเป็นตัวแทนน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ พบว่าสมบัติกายภาพของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่นำมาเคลือบบนถ่านกะลามะพร้าว มีลักษณะเป็นผลึก และผลึกของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นเฟสอนาเทส โดยมีระนาบการเลี้ยวเบนหลักตำแหน่ง A(101) ประสิทธิภาพการลดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอลดสีของกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 20 รอบ ลดสีดีที่สุด รองลงมา 5 และ 1 รอบ ได้ร้อยละ 79.38, 77.06 และ 71.33 ตามลำดับ ถ่านกะลามะพร้าวเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เสื่อมประสิทธิภาพการลดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม เมื่อใช้ซ้ำกันได้ 3 ครั้ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สามารถพัฒนาและดำเนินไปได้ด้วยความเรียบร้อย

เอกสารอ้างอิง

ขนิษฐา หทัยสมิทธิ์. (2554). การประยุกต์ใช้ฟิล์มนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในการลดสีจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ. **วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์**, 11(2): 1-10.

เสรีย์ ตู้ประกาย. (2553). **พื้นฐานกระบวนการโฟโตแคตตาไลซีส.** ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

Barakat, M.A. (2011). Adsorption and photo-degradation of procion yellow H-EXL dye in textile wastewater over TiO_2 suspension. **Journal of Hydroenviron-ment Research**, 5: 137-142.

Chamnan, R., Sumpun, W., and Phadoong, B. (2004). Bleaching of methylene blue by hydrated Titanium dioxide. **Science Asia**, 30: 149-156.

Foo, K.Y., and Hameed, B.H. (2010). Decontamination of textile wastewater via TiO_2/activated carbon composite materials. **Advances in Colloid and Interface Science,** 159: 130-143.

Hathaisamit, H., Pengmula, W., Wesamula, T., and Putwat, S. (2010). Photocatalytic decolorization of dyes for nano-structures of titanium dioxide (TiO_2) Films. **Advanced Materials Research**, 93-94: 603-606.

Le, A.H., Linh, T.L., Chin,S., and Jurng, J. (2012). Photocatalytic degradation of methylene blue by a combination of TiO_2-anatase and coconut shell activated carbon. **Powder Technology**, 225: 167-175.

Ni, M., Leung, K.H., Leung, Y.C., and Sumathy, K. (2007). A review and recent developments in photocatalytic water-splitting using TiO_2 for hydrogen production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 11: 401-425.

Tryba, B., Piszac, M.,Grzmil, B., Pattek-Janczyk, A., and Morawski, A.W. (2009). Photo-decomposition of dyes on Fe-C-TiO_2 photocatalyts under UV radiation supported by photo-Fenton process. **Journal of Hazardous Materials**, 162: 111-119.

Wang, X., Liu, Y., Hu, Z., Chen,Y., Liu,W., and Zhao, G. (2009). Degradation of methyl orange by composite photocatalysts nano-TiO_2 immobilized on activated carbons of different porosities. **Journal of Hazardous Materials**, 169: 1061-1067.

Zhang, T.,Oyama, T., Aoshima, A., Hidaka, H., Zhao, J., and Serpone, N. (2001). Photooxidative *N*-demethylation of methylene blue in aqueous TiO_2 dispersions under UV irradiation. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, 140: 163-172.