

การยูกต์ใช้ร่างไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์เพื่อบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

Application of Titanium Dioxide (TiO₂) Coated on Activated Carbon in Trough for Textile Industry Wastewater Treatment

ขนิษฐา หทัยสมิทธิ์¹, สมบัติ ทิฆมทรัพย์², จักรพงษ์ แก้วขาว³ และบุญมี กวินเสกสรรค์⁴
Khanitta Hathaisamit¹, Sombat Teekasap², Jakrapong Kaewkhao³ and Boonmee Kavinseksan⁴

¹หลักสูตรคุณวุฒิบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการนวัตกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

¹Doctor of Philosophy in Innovation and Technology Management Program, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

²Faculty of Engineering, Eastern Asia University

³ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

³Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science, Nakhon Pathom Rajabhat University

⁴คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

⁴Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนานวัตกรรมไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์ (2) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์ในรูปแบบต่างๆ การทดลองครั้งนี้เตรียมถ่านกัมมันต์ลงไปแช่ในสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ (TITANIUM DIOXIDE-DHA100) ที่เตรียมไว้ แล้วนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส และเผาที่ 500 องศาเซลเซียส แล้วทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.900-2547) พบว่าเป็นไปตามเกณฑ์ จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ นำจาก บริษัท จงสถิตย์ จำกัด ซึ่งมีการทดลอง 2 รูปแบบ คือ (1) ระบบบำบัดด้วยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบถ่านกัมมันต์การทดลองที่ดีที่สุด คือ ระยะเวลาเติมอากาศของระบบเอสบีอาร์ 12 ชั่วโมง ระยะเวลาตกตะกอน และปล่อยน้ำทิ้ง 1 ชั่วโมง แล้วบำบัดด้วยระบบบรรจุไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบถ่านกัมมันต์ 12 ชั่วโมง (ความยาว 50 เซนติเมตร) และ (2) ใช้ระบบบรรจุไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบถ่านกัมมันต์บำบัดน้ำเสียโดยตรง พบว่า ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ความยาวของรางบรรจุถ่าน 100 เซนติเมตร สามารถบำบัดซีไอดี บีไอดี ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) และค่าของสีผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (ร่าง) กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมด้วย

คำสำคัญ: ไทเทเนียมไดออกไซด์, ถ่านกัมมันต์, น้ำเสีย, อุตสาหกรรมสิ่งทอ

Abstract

This qualitative study aims to (1) develop innovative titanium dioxide (TiO₂) coating on the activated carbon (2) study the efficiency of wastewater treatment in the textile industry with a titanium dioxide coated on the activated carbon. The activated carbon soaked in a solution of titanium dioxide powder (TITANIUM DIOXIDE-DHA100)

was prepared and then baked at 105°C and burned at 500°C and it was tested under Thai industrial standard (TIS.) 900-2547. Then, wastewater from textile industry was used as samples for efficient treatment of the TiO₂ coated activated carbon in 2 conditions: (1) aerobic treatment system with TiO₂ coated activated carbon. The appropriate condition of SBR system was reaction (aeration) time of 12 hours, settle and drew time of 1 hour and then treated with a trough containing TiO₂ coated activated carbon for hydraulic with a retention time (HRT) 12 hours (length of 50 cm) and (2) a trough containing titanium dioxide coated activated carbon. The water treatment directly found HRT water with 24 hours a length of 100 cm can be treated in a coal chute packed with COD and BOD, and that it passed the standard of effluent discharge from the plant of ministry of industry No. 2 (2539) and the color standards (draft) of ministry of industry in Thailand.

Keywords: TiO₂, activated carbon, wastewater treatment, textile industry



บทนำ

จาก (ร่าง) กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่มีการกำหนดมาตรฐานของสีมีค่าไม่เกิน 300 เอดีเอ็มไอ ซึ่งต่างจากมาตรฐานลักษณะน้ำทิ้งจากที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2535 ระบุค่าสีต้องไม่เป็นที่น่ารังเกียจเท่านั้น (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2539) เป็นมาตรการกีดกันภาคอุตสาหกรรมส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมสิ่งทอต้องหาเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น การตกตะกอนทางเคมี การใช้โอโซน และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ในการบำบัดสีในน้ำทิ้งก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมเพื่อเตรียมรับกับร่างกฎหมายดังกล่าว จากการสำรวจของกรมโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนโรงงานสิ่งทอในประเทศไทยปีพ.ศ. 2557 มีทั้งหมด 4,847 โรงงาน สุ่มตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 98 โรงงาน พบว่าร้อยละ 99 มีการบำบัดทางชีวภาพ (ซึ่งบำบัดทางชีวภาพอย่างเดียว ร้อยละ 63.3 และบำบัดทางชีวภาพร่วมกับบำบัดทางเคมี คิดเป็นร้อยละ 35.5) ส่วนบำบัดด้วยสารเคมีเพียงอย่างเดียวคิดเป็นร้อยละ 1.0 เท่านั้น (สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2558)

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor--SBR) เป็นระบบบำบัดด้วยจุลินทรีย์ต่อยอดด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์โดยปรับปรุงระบบบำบัดแบบใช้จุลินทรีย์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน หรือบำบัดด้วยรางบรรจุไทเทเนียมไดออกไซด์

เคลือบบนถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียว โดยมุ่งหวังการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์และสีเพื่อสร้างความเข้มแข็งทางด้านสิ่งแวดล้อมของกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอของไทย

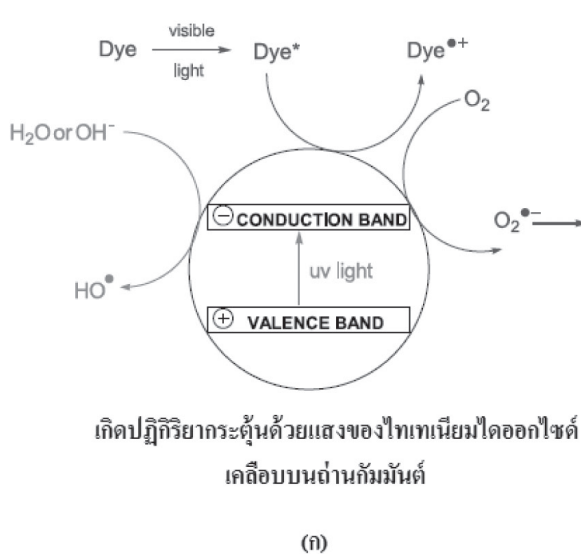
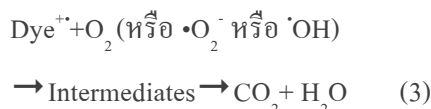
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนานวัตกรรมไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์ในรูปแบบต่าง ๆ

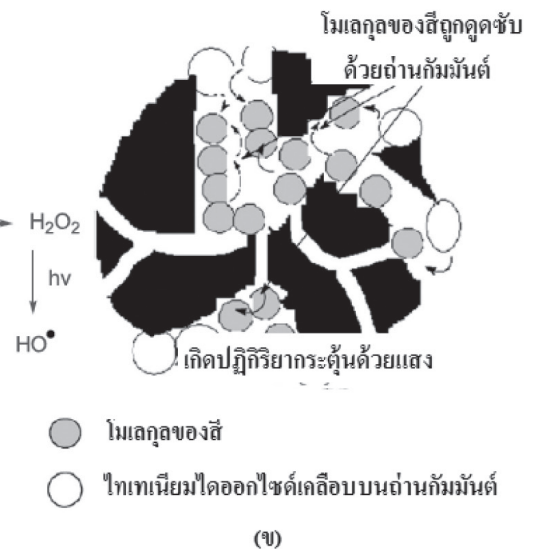
แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแสงของไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นถูกนำมาใช้ในการศึกษาบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอจำนวนมากเนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวี-เอช่วงความยาวคลื่นแสงที่ 365 นาโนเมตรหรือแสงอาทิตย์ก่อให้เกิดอิเล็กตรอน (e⁻) ที่ผิวของโมเลกุลไทเทเนียมไดออกไซด์ เกิดแถบช่องพลังงาน (energy band gap; E_g) เนื่องจากอิเล็กตรอนเคลื่อนจากแถบเวเลนซ์ (valence band) ไปยังแถบคอนดักชัน (conduction band; e_{cb}⁻) ทำให้เกิดโฮล (hole; h_{vb}⁺) ที่แถบเวเลนซ์รับอิเล็กตรอนในน้ำเสีย (H₂O) ทำให้อนุมูลอิสระของไฮดรอกไซด์ (•OH) และไฮดรอกไซด์

ไฮดรอกไซด์ (OH⁻) แลบนอนดักจับให้อิเล็กตรอนออกซิเจนให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันเกิดซูเปอร์ออกไซด์ไฮดรอกไซด์ (O₂⁻) และอนุมูลอิสระของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (HO₂[·]) จากนั้นทำให้อิเล็กตรอนของไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์ (H⁺) หรือเกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) เป็นวัฏจักร ซึ่งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อนุมูลอิสระของไฮดรอกไซด์และไฮดรอกไซด์ไฮดรอกไซด์ เป็นโมเลกุลที่ทำปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ และโมเลกุลของสีย้อมผ้า (Dye) ดังภาพที่ 1 (ก) เมื่อโมเลกุลสีย้อมผ้าถูกกระตุ้นด้วยแสงเกิด Dye* และ Dye⁺⁺ ทำปฏิกิริยากับไทเทเนียมไดออกไซด์ได้โมเลกุลเปอร์ออกไซด์ไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นสารมัธยันตร์หรือสารตัวกลาง (intermediates) ในการสลายสีในน้ำเสีย สมการที่ (1)-(3) และภาพที่ 1 (ก) (Chen, et al., 2004; Foo & Hameed, 2010)



การศึกษานำไทเทเนียมไดออกไซด์มาเคลือบลงบนแก้วสามารถลดสี Methylene blue และ Cationic yellow X-GI 200% ได้ร้อยละ 72.38-92.92 เวลาฉายแสงยูวี-เอ 48-120 ชั่วโมง และไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนใบพัดสแตนเลสเวลาฉายแสงยูวี-เอ 1 วัน มีประสิทธิภาพการลดสี Cationic yellow X-GI 200% ร้อยละ 95.53 (Hathaisamit, et al., 2012) มีการนำปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแสงร่วมกับกระบวนการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ดังภาพที่ 1 (ข) โดยโมเลกุลของสารมลพิษ (สารอินทรีย์ หรือสีใช้ในการย้อมผ้า) ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์โดยปกติเมื่อโมเลกุลของเต็มรูปของถ่านกัมมันต์ประสิทธิภาพในการบำบัดสีจะลดลง แต่ถ้าไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์ อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เข้าไปแทรกในรูพรุนของถ่านกัมมันต์เกิดปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแสงยูวี-เอ ทำให้อย่อยสลายสี และสารอินทรีย์ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดของถ่านกัมมันต์ให้ดีขึ้น และระยะเวลาการใช้งานนานขึ้น



ภาพ 1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแสง

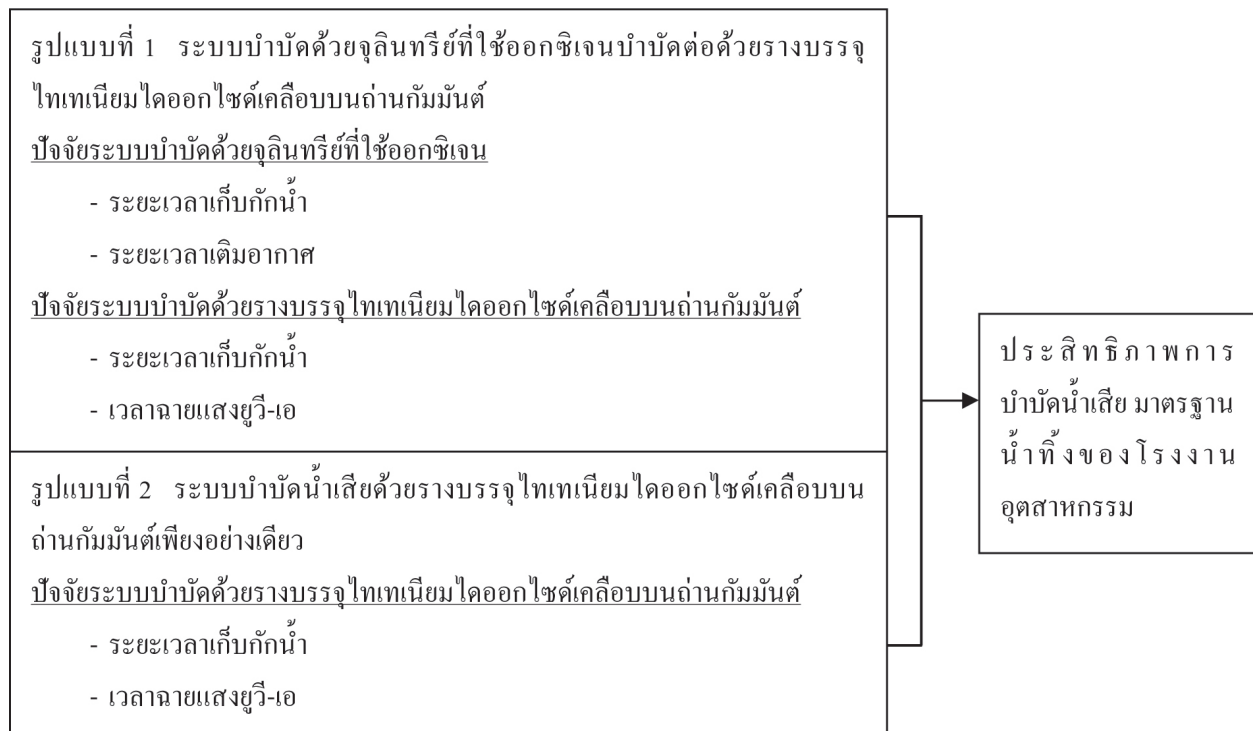
โดยปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแสงร่วมกับกระบวนการดูดซับของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบถ่านกัมมันต์ถูกนำมาทดลองต่าง ๆ ในการลดสีในน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอ เช่น Methylene blue, Red K2G, Reactive red X-3B, Methyl orange, Acid orange I, Acid

red 88 และ Basic dye ความเข้มข้นของสี ตั้งแต่ 50-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดสีร้อยละ 89.0-100 (Xiaojing, et al., 2009; Foo & Hameed, 2010; Hathaisamit & Teekasap, 2013) ส่วนระบบบำบัดแบบระบบเบสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor-- SBR) เป็นระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

รูปแบบหนึ่งโดยรวมนำถังเดิมอากาศกับถังตกตะกอนเป็นถังเดียวกันช่วยลดพื้นที่ในการบำบัดขั้นตอนการทำงานของเอสปีอาร์ ขั้นที่ 1 เติมน้ำเสียเข้าระบบ (fill) ขั้นที่ 2 เติมน้ำอากาศเพื่อทำปฏิกิริยา (react) ขั้นตอนนี้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซต่าง ๆ ทำให้ค่าซีโอดีลดลงขั้นที่ 3 การตกตะกอน จุลินทรีย์ล้นถัง (settle) ขั้นที่ 4 ระบายน้ำผ่านการบำบัดออกจากกระบอก (draw) และขั้นสุดท้ายพักระบบรอรับน้ำเสียใหม่ (idle) เนื่องจากระบบบำบัดด้วยจุลินทรีย์ใช้อากาศนั้นลดได้เล็กน้อยจึงมีการศึกษาการใช้ร่วมกับระบบอื่นๆ เช่น การนำระบบยูเอเอสบี (Up-flow Anaerobic

Sludge Blanket--UASB) หรือระบบเอพีซีอาร์ (Anaerobic Packed Column Reactor--APCR) ใช้จุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนแล้วบำบัดต่อด้วยระบบเอสปีอาร์หรือแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำรวมกัน 2-7 วัน สามารถบำบัดค่าซีโอดีและบีโอดี 90 และ 94 ตามลำดับ (Ilgi & Sabiha, 2005; Soon-An, et al., 2005) ดังนั้นในการทดลองนี้เป็นการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยระบบจุลินทรีย์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์ หรือใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียวเพื่อลดระยะเวลาในการบำบัดสารอินทรีย์ และสีในน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอ

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

ไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์สามารถใช้บำบัดค่าซีโอดี ค่าบีโอดี และค่าสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) และค่าของสีผ่าน

เกณฑ์มาตรฐาน (ร่าง) กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์

นำผงไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดผลึกอนาเทส (ร้อยละ 100) เครื่องหมายทางการค้า: TITANIUM DIOXIDE-DHA 100 น้ำหนัก 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.2 โมลเลติคัล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ 1 กิโลกรัม แสงในสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมไว้เวลา 10 นาที จากนั้นไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ทำขั้นตอนนี้ซ้ำจนครบ 3 รอบ และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงนำไปทดสอบสมบัติ เช่น การดูดซับสารมลพิษ ความแข็งแรง และเข้าตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 900-2547) ถ่านกัมมันต์ของสำนักงานพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัท จงสถิตย์ จำกัด ที่ตั้งแขวงแสมดำ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ น้ำเสียเกิดจากกระบวนการผลิต

ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท วิเคราะห์ค่าซีไอดี บีไอดี และสีทั้งหมด 10 ตัวอย่างตาม Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (2005) ก่อนทำการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์ออกแบบการบำบัด 2 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 การศึกษาตามลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีอยู่ในปัจจุบัน คือ บำบัดด้วยจุลินทรีย์ใช้อากาศแล้วนำมาบำบัดต่อด้วยรางบรรจุไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์เพื่อลดสีก่อนระบายน้ำทิ้งลงสู่คลองสาธารณะ โดยมีการทดลองต่าง ๆ ดังตารางที่ 1 และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของไทเทเนียมไดออกไซด์ (Ti) กับถ่านกัมมันต์ (AC)

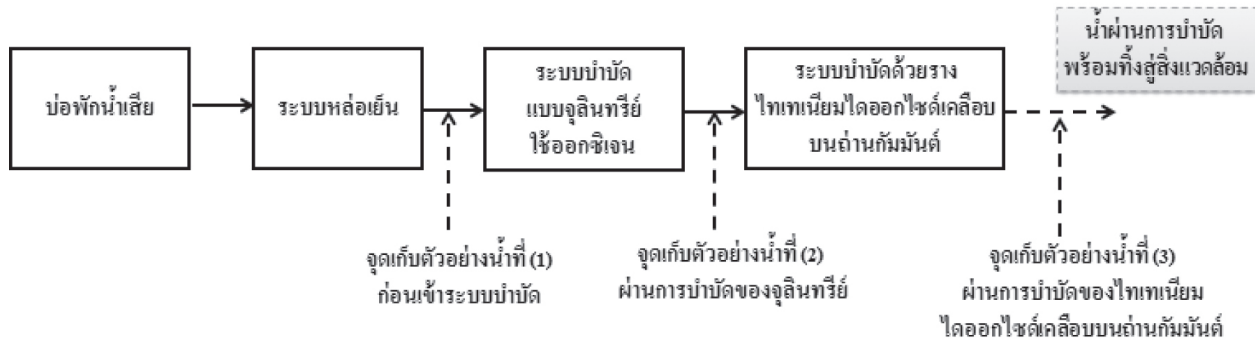
ตาราง 1

การบำบัดระบบด้วยจุลินทรีย์ร่วมกับรางบรรจุไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์

การทดลอง	ระบบบำบัดที่ใช้ในการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	สัญลักษณ์
1.1	บำบัดทางชีวภาพ : ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (เติมอากาศ 24 ชั่วโมง ต่อด้วยถังตกตะกอน 12 ชั่วโมง)	36	AS36
	บำบัดต่อด้วยรางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบถ่านกัมมันต์ (ระยะเวลาฉายแสง 12 ชั่วโมง)	12	AS36/Ti12
1.2	บำบัดทางชีวภาพ : ระบบ SBR (เติมอากาศ 12 ชั่วโมง : ตกตะกอน และระบายน้ำทิ้ง 1 ชั่วโมง)	13	SBR13
	รางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบถ่านกัมมันต์ (ระยะเวลาฉายแสง 12 ชั่วโมง)	12	SBR13/Ti12
1.3	บำบัดทางชีวภาพ : ระบบ SBR (เติมอากาศ 12 ชั่วโมง : ตกตะกอน และระบายน้ำทิ้ง 1 ชั่วโมง)	13	SBR13
	รางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบถ่านกัมมันต์ (ระยะเวลาฉายแสง 24 ชั่วโมง)	24	SBR13/Ti24

ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยนำเสียผ่านบ่อกักน้ำส่งต่อไปที่ระบบหล่อเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ เข้าสู่ระบบบำบัดด้วยจุลินทรีย์ในการทดลอง ครั้งนี้ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำ 2 ประเภท ได้แก่ ระบบ

แอกทิเวเต็ดสลัดจ์หรือระบบเอสปีอาร์โดยเก็บตัวอย่างตามจุดต่าง ๆ ดังภาพที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด ค่าซีโอดี บีโอดี และสี



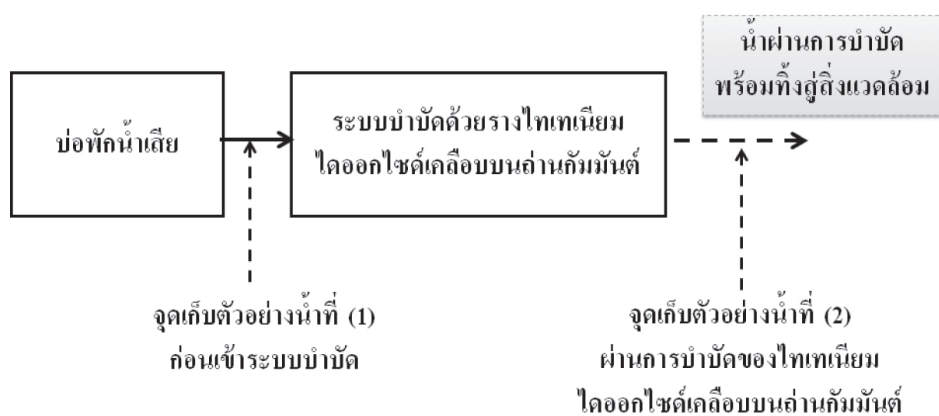
ภาพ 3 ขั้นตอนการทดลองบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยระบบจุลินทรีย์ร่วมกับรางบรรจุไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์

รูปแบบที่ 2 การออกแบบสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย โดยนำรางบรรจุไทเทเนียมไดออกไซด์บำบัดน้ำเสียโดยตรงจากบ่อกักน้ำเสียค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลอง ดังตารางที่ 2 และขั้นตอนการทดลอง ดังภาพที่ 4

ตาราง 2

การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยรางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์

การทดลอง	ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของรางบรรจุไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์				สัญลักษณ์
	ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	ความยาวของราง (เซนติเมตร)	ปริมาณถ่านกัมมันต์ (กิโลกรัม)		
2.1	24	50	1.37		AC24/50
2.2	12	100	2.74		AC12/100
2.3	24	100	2.74		AC24/100



ภาพ 4 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยรางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

2. วิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดของการประยุกต์ใช้รางบรรจุไทเทเนียมไดออกไซด์เคลื่อนบนถ่านกัมมันต์โดยคิดเป็นร้อยละประสิทธิภาพการบำบัดจากสมการที่ (4)

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพการบำบัด} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ C_0 คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษต่าง ๆ (ซีโอดี บีโอดี และสี) ก่อนการบำบัด

C_1 คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษต่าง ๆ (ซีโอดี บีโอดี และสี) ผ่านการบำบัด

ผลการวิจัย

คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลื่อนบนถ่านกัมมันต์

ไทเทเนียมไดออกไซด์เคลื่อนบนถ่านกัมมันต์นี้มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ดังตารางที่ 3 โดยเฉพาะค่าการดูดซับสารมลพิษอยู่ในเกณฑ์ที่สูง เช่น ค่าการดูดซับสารไอโอดีนมีค่าเท่ากับ 799 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าเมทิลีนบลูมีค่าเท่ากับ 130 มิลลิกรัมต่อกรัมค่าความหนาแน่นปรากฏ ความแข็งและเถ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตาราง 3

คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลื่อนบนถ่านกัมมันต์ตามค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)

คุณลักษณะ	เกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ⁽¹⁾	ไทเทเนียมไดออกไซด์เคลื่อนบนถ่านกัมมันต์
ค่าไอโอดีน	≥ 600 มิลลิกรัมต่อกรัม	799
ความหนาแน่นปรากฏ	≥ 0.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.54
ความแข็ง	$\geq$ ร้อยละ 70	95.6
เถ้า	$\leq$ ร้อยละ 3.5	2.13
ค่าเมทิลีนบลู	ไม่ได้กำหนด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	130

หมายเหตุ : ⁽¹⁾มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (Thai industrial standard) มอก. 900-2547 ถ่านกัมมันต์ สำนักงานพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

1. ระบบบำบัดด้วยจุลินทรีย์ต่อดัวยางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลื่อนบนถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอของระบบบำบัดทางจุลินทรีย์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ น้ำเสียก่อนผ่านการบำบัดมีค่าซีโอดีเท่ากับ 554.08-705.96 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดีเท่ากับ 182.80-281.67 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าสีเท่ากับ 455.00-609.00 เอซีเอ็มไอการบำบัดด้วยระบบจุลินทรีย์ที่เติมอากาศ

แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบเอกทิวเต็ดสตัดจ์ระยะเวลาเก็บกักน้ำรวม 36 ชั่วโมง (AS36) บำบัดต่อดัวยางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลื่อนบนถ่านกัมมันต์ 12 ชั่วโมง (AS36/Ti12) และระบบเอสบีอาร์ระยะเวลาเก็บกักน้ำรวม 13 ชั่วโมง (SBR13) บำบัดต่อดัวยางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลื่อนบนถ่านกัมมันต์ 12 ชั่วโมง (SBR13/Ti12) และ 24 ชั่วโมง (SBR13/Ti24) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดกับตัวแปรควบคุมคือ ถ่านกัมมันต์ (AC) จากตารางที่ 4 พบว่าการบำบัดด้วยระบบจุลินทรีย์แล้วบำบัดต่อดัวยางบรรจุไทเทเนียมไดออกไซด์ทุกการทดลองสามารถบำบัดค่าซีโอดี บีโอดี ผ่านเกณฑ์

คุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายจากโรงงานอุตสาหกรรม
และค่าสี ผ่าน (ร่าง) มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง

จากแหล่งกำเนิด ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคม
อุตสาหกรรม (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2539)

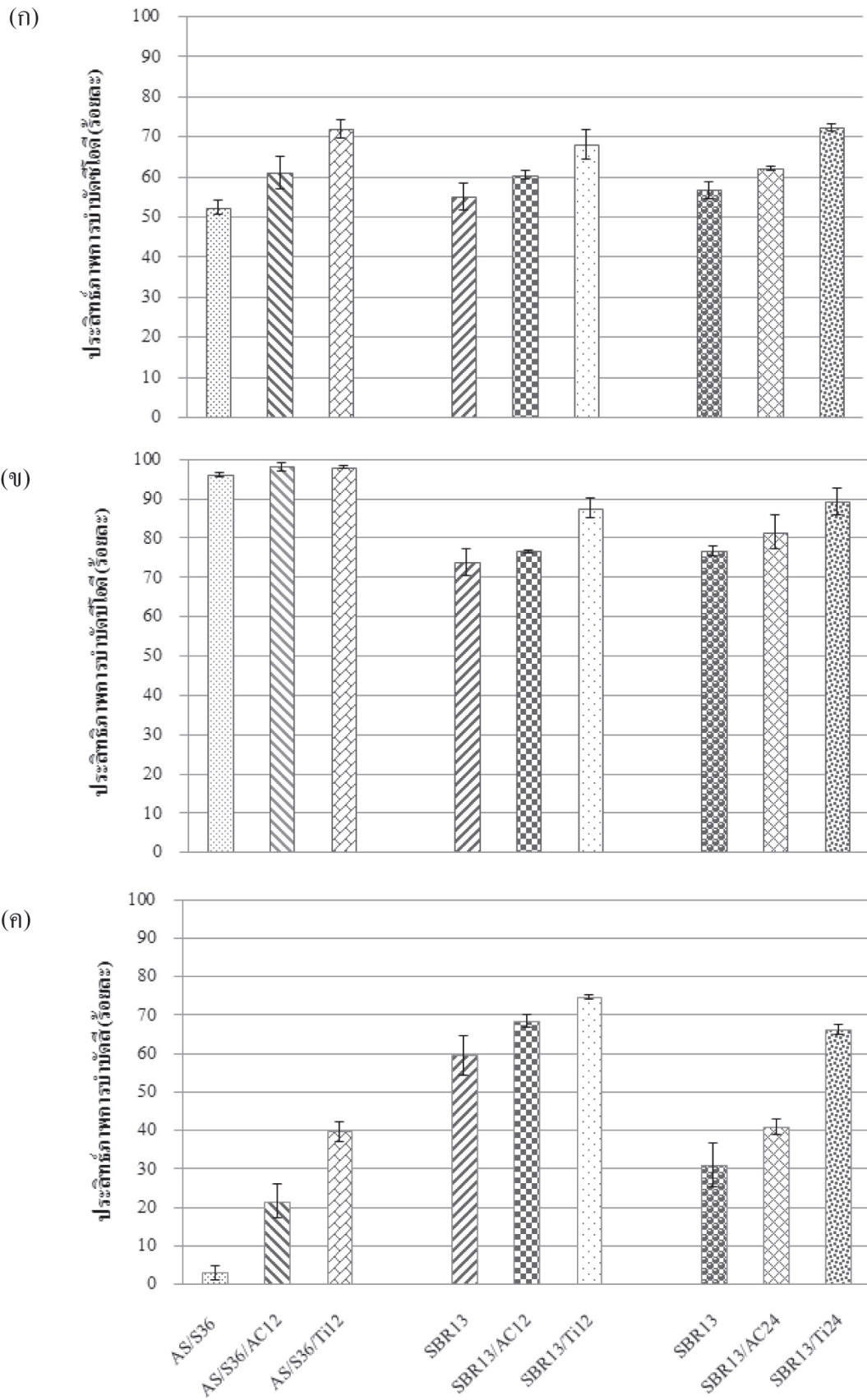
ตาราง 4

ผลการบำบัดด้วยระบบจุลินทรีย์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์

การทดลอง		ค่าเฉลี่ยซีไอดี ⁽²⁾ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยบีไอดี ⁽²⁾ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยสี ⁽³⁾ (เอดีเอ็มไอ)
1.1	IN	554.08±13.54	182.8±20.82	455.00±15.91
	AS36	263.57±13.87	6.23±6.26	441.25±12.37
	AS36/AC12	216.57±33.91	4.06±2.24	356.13±36.01
	AS36/Ti12	154.77±17.07	2.82±0.58	274.06±15.46
1.2	IN	682.19±33.62	281.67±19.55	503.50±2.12
	SBR13	306.44±21.77	73.70±9.48	203.50±30.36
	SBR13/AC12	269.58±7.87	65.93±1.01	158.50±7.83
	SBR13/Ti12	217.48±24.17	34.90±6.96	127.25±3.18
1.3	IN	705.96±31.61	278.5±12.02	609.69±52.59
	SBR13	304.76±14.91	64.75±3.18	420.06±36.77
	SBR13/AC24	267.32±3.23	51.43±17.40	360.00±14.14
	SBR13/Ti24	195.42±7.04	29.63±9.23	206.00±7.48

หมายเหตุ: ⁽²⁾ค่ากำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมค่าซีไอดี ≤ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีไอดี ≤ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

⁽³⁾ค่ากำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (ร่าง) สี ≤ 300 เอดีเอ็มไอ



ภาพ 5 ประสิทธิภาพการบำบัด (ก) ซีโอดี (ข) บีโอดี และ (ค) ซี ของน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยระบบจุลินทรีย์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์

จากภาพที่ 5 การทดลองที่ 1.1 AS36/Ti12 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี และบีโอดี ดีที่สุดคิดเป็นร้อยละ 72.07±3.01 และ 98.46±0.31 ตามลำดับ ประสิทธิภาพบำบัดสีมีค่าร้อยละ 39.77±3.25 การทดลองที่ 1.2 SBR13/Ti12 ระยะเวลาบำบัดรวม 25 ชั่วโมงเป็นการทดลองที่เหมาะสมที่สุด ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี บีโอดี และสี ได้ร้อยละ 68.12±3.54 87.61±2.47 และ 74.73±0.63 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุดในชุดคือ SBR13/Ti24 บำบัดซีโอดี บีโอดี และสี ได้ร้อยละ 72.31±1.00 89.36±3.31 และ 66.21±1.23 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ SBR13/AC24 (ตัวแปรควบคุม) สามารถผ่านมาตรฐานประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี บีโอดี

และสีร้อยละ 62.13±0.46 81.53±6.25 และ 40.95±2.32 ตามลำดับ

การทดลองรูปแบบที่ 2 ออกแบบด้วยนำร่างบรรจุไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนถ่านกัมมันต์บำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยตรง จากตารางที่ 5 พบว่าการทดลองที่ 2.3 ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 24 ชั่วโมง ความยาวของร่างบรรจุไทเทเนียมไดออกไซด์ยาว 100 เซนติเมตร (AC24/100) สามารถบำบัดค่าซีโอดี บีโอดี และสี มีค่าเท่ากับ 321.6±17.04 50.66±3.43 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 232.50±6.36 เอดีเอ็มไอตามลำดับผ่านค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

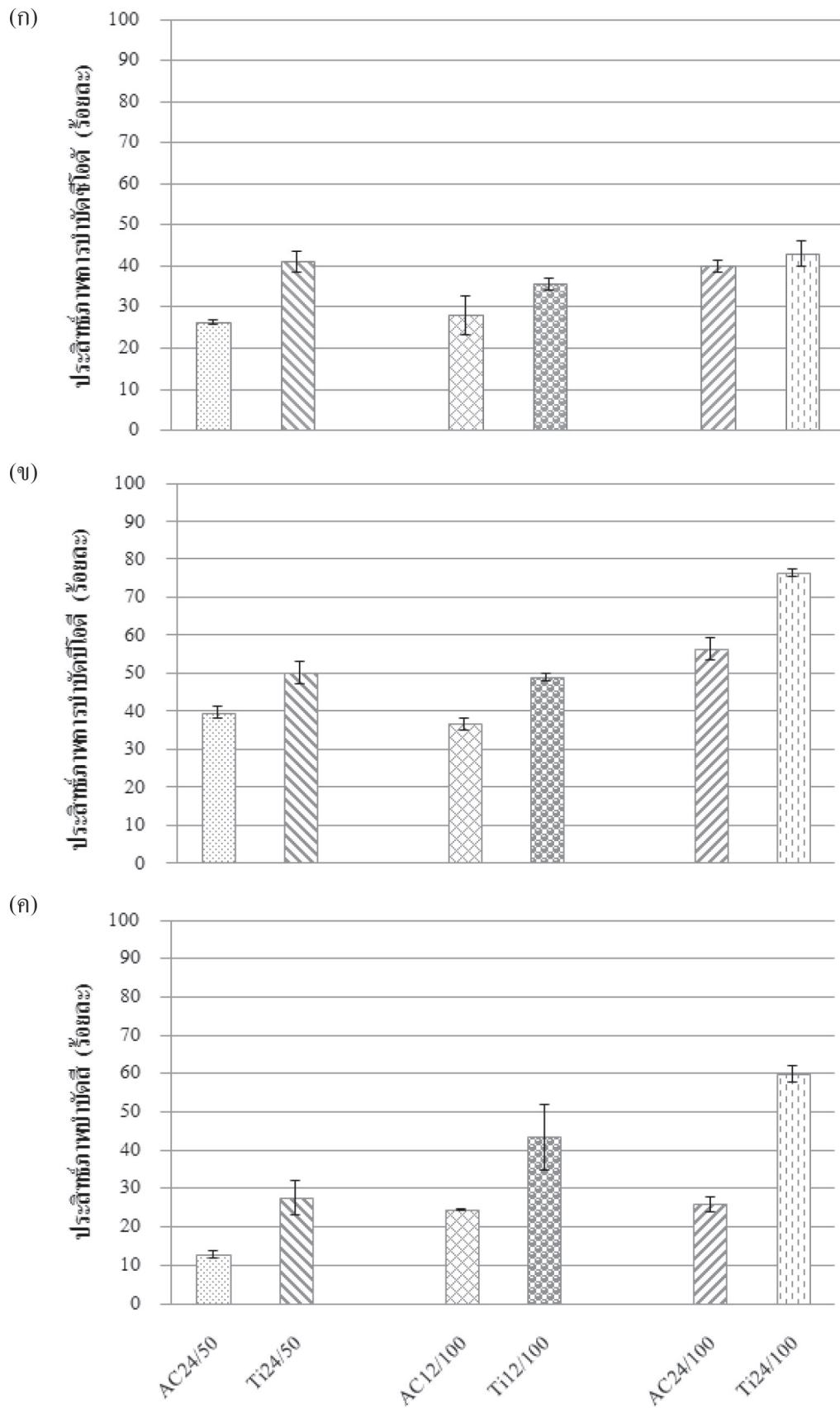
ตาราง 5

ผลการบำบัดน้ำเสียด้วยร่างบรรจุไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบถ่านกัมมันต์โดยตรง

การทดลอง		ค่าเฉลี่ยซีโอดี ⁽²⁾ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยบีโอดี ⁽²⁾ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยสี ⁽³⁾ (เอดีเอ็มไอ)
2.1	IN24/50	488.68±23.08	204.90±7.38	578.75±8.84
	AC24/50	356.59±2.45	123.42±13.32	503.75±5.30
	Ti24/50	285.56±13.01	102.10±2.46	418.75±26.52
2.2	IN12/100	455.83±2.21	200.00±7.78	558.75±14.14
	AC12/100	327.93±21.47	126.57±2.12	421.25±1.77
	Ti12/100	293.92±6.86	102.10±2.83	316.36±48.63
2.3	IN24/100	565.20±3.87	215.53±6.07	580.00±3.54
	AC24/100	339.60±7.93	93.95±16.31	430.00±10.61
	Ti24/100	321.60±17.04	50.66±3.43	232.50±6.36

หมายเหตุ : ⁽²⁾ค่ากำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมค่าซีโอดี ≤ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดี ≤ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

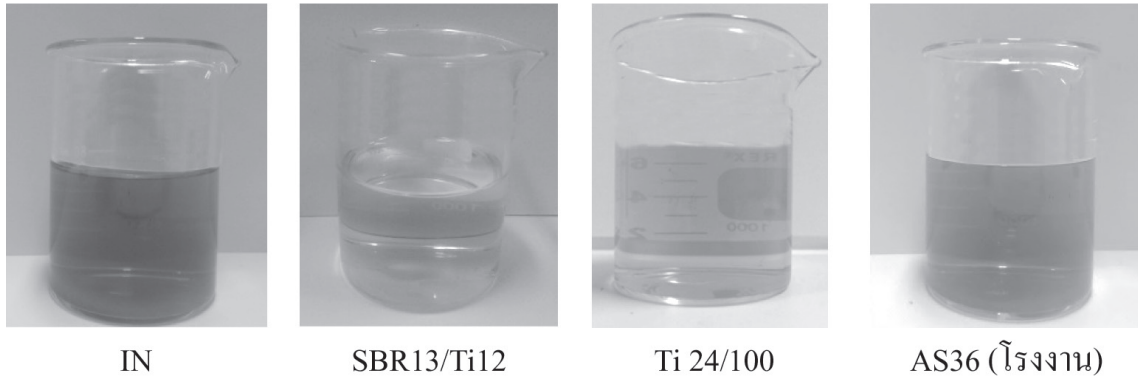
⁽³⁾ค่ากำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (ร่าง) สี ≤ 300 เอดีเอ็มไอ



ภาพ 6 ประสิทธิภาพการบำบัด (ก) ซีไอดี (ข) บีไอดี และ (ค) สีของน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอ ด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบถ่านกัมมันต์โดยตรง

จากภาพที่ 6 ประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 43.10±3.02 76.49±1.00 และ 59.91±2.10 จากผลการทดลองใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพการบำบัดสีได้ผลใกล้เคียงกับระบบบำบัดด้วยจุลินทรีย์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ แต่ต้องเพิ่ม

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ/ระยะเวลาการฉายแสงยูวี-เอ และปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีและบีไอดีนั้นบำบัดได้น้อยกว่าเนื่องจากปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสงต้องใช้เวลานานกว่าปฏิกิริยาการย่อยสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์



ภาพ 7 น้ำเสียอุตสาหกรรมสีทอที่ผ่านการบำบัดด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบถ่านกัมมันต์

สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบถ่านกัมมันต์สามารถมีสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 900-2547) ของสำนักงานพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมเมื่อนำไปบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสีทอการทดลองรูปแบบที่ 1 เป็นการบำบัดด้วยระบบจุลินทรีย์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบถ่านกัมมันต์ และรูปแบบที่ 2 บำบัดด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว พบว่าการทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือ SBR13/Ti12 (ระยะเวลาเก็บกักน้ำรวม 25 ชั่วโมง) สามารถบำบัดค่าซีไอดี บีไอดี และสี ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมใช้ระยะเวลาบำบัดน้อยที่สุด โดยสามารถลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียได้ถึง 11-24 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับ AS36 เป็นบำบัดด้วยจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียวใช้ระยะเวลาบำบัด 36 ชั่วโมง

การอภิปรายผล

การบำบัดด้วยระบบจุลินทรีย์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบถ่านกัมมันต์ที่การทดลอง SBR13/Ti12 ระยะเวลาเก็บกักน้ำรวม 25 ชั่วโมง กับระบบ AS36 ใช้ระยะ

เวลาเก็บกักน้ำ 36 ชั่วโมงจากการวิจัยพบว่าการเพิ่มระยะเวลาการเติมอากาศให้กับจุลินทรีย์ในระบบนานขึ้นเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดบีไอดีที่เวลาเติมอากาศ 12 และ 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีไอดีได้ร้อยละ 73.83-76.76 และ 95.56 แต่ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีมีค่าร้อยละ 52.43-56.83 มีค่าไม่แตกต่างกันเนื่องจากน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสีทอส่วนใหญ่มีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก เช่น สีย้อมผ้า เส้นใย สารเรซินเมื่อพิจารณาค่าการบำบัดสีระบบ AS36 เพียงอย่างเดียวลดสีร้อยละ 3.02±1.22 ซึ่งระบบ SBR13 (เติมอากาศ 12 ชั่วโมง และหยุดเติมอากาศเพื่อให้จุลินทรีย์ตกตะกอน 1 ชั่วโมง) สามารถลดสีได้มากกว่าลดสีได้ร้อยละ 28.09-56.56 เนื่องการเติมอากาศและหยุดเติมอากาศเป็นช่วง ๆ เกิดสภาวะแอน็อกซิกโซน (anoxic zone) ทำให้ไนเตรต (NO_3^{2-}) กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) จึงสามารถทำลายพันธะอะโซของสีย้อมผ้าประเภทต่างๆ ได้ เช่นการทดลองใช้ระบบเอสบีอาร์ร่วมกับนาโนฟิวเทชัน (nano-filtration) ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 20 ชั่วโมง (ช่วงการทำงานระบบไร้อากาศ 9 ชั่วโมงช่วงเติมอากาศ 8 ชั่วโมงช่วงตกตะกอน 2 ชั่วโมงอื่นๆ 1 ชั่วโมง) สามารถลดค่าซีไอดีและสีได้มากกว่าร้อยละ 90 (Zuriaga, et al., 2010) จากนั้นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบจุลินทรีย์ที่เติมอากาศบำบัดต่อด้วยรางไทเทเนียมไดออกไซด์ระยะเวลาเก็บกักน้ำ

ระยะเวลาฉายแสงยูวี-เอ 12 ชั่วโมง สามารถลดค่าซีไอดี เท่ากับ 217.48 ± 24.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีไอดี เท่ากับ 34.90 ± 6.96 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าสี 127.25 ± 3.15 เอดีเอ็มไอ คิดเป็นร้อยละ 68.12 ± 3.54 87.61 ± 2.47 และ 74.70 ± 0.63 เมื่อเปรียบเทียบการบำบัดสีของน้ำเสีย อุตสาหกรรมสิ่งทอของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบลง บนวัสดุต่าง ๆ พบว่าการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบ บนถ่านกัมมันต์นั้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสีดีกว่า จากการทดลองนำไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนใบพัด สแตนเลส บำบัดสารละลายสี Cationic yellow X-G1 200% ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ระยะเวลาบำบัด 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพลดสีร้อยละ 95.53 และเมื่อนำ

ทดสอบกับน้ำเสียมาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอจริง พบว่า ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบใบพัดต้องร่วมกับผง ไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถบำบัดสีให้ผ่านมาตรฐานได้ (Hathaisamit, et al., 2012) เนื่องจากการเคลือบไทเทเนียม ไดออกไซด์บนใบพัดสแตนเลส นั้นเกิดปฏิกิริยาการดูดซับ ด้วยแสงเฉพาะบนพื้นที่ผิวของสแตนเลสเท่านั้นจึงต้อง ใส่ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมด้วย ซึ่งการใช้ปฏิกิริยา การกระตุ้นด้วยแสง (ไทเทเนียมไดออกไซด์) ร่วมกับการ ดูดซับ (ถ่านกัมมันต์) เพราะสารอินทรีย์ โมเลกุลของสีถูก ถ่านกัมมันต์ดูดซับเข้าไปในรูพรุน และเกิดการย่อยสลาย สารอินทรีย์ด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนถ่าน กัมมันต์ส่งผลให้ประสิทธิภาพสูงกว่าขึ้น



References

- APHA, AWWA, & WPCF. (2005). *Standard method for the examination of water and wastewater*. Retrieved from https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf
- Chen, J., Liu, M., Zhang, J., Ying, X., & Jin, L. (2004). Photocatalytic degradation of organic wastes by electrochemically assisted TiO_2 photocatalytic system. *Journal of Environmental Management*, 70(1), 43-47.
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Decontamination of textile wastewater via TiO_2 /activated carbon composite materials. *Advances in Colloid and Interface Science*, 159(2), 130-143.
- Hathaisamit, K., Sutha, W., Kamuruang, P., Pudwat, S., & Teekasap, S. (2012). *Decolorization of cationic yellow X-GI 200% from textile dyes by TiO_2 films-coated rotor*. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812014397>
- Hathaisamit, K., & Teekasap, S. (2013). Preparation of TiO_2 films on commercial activated carbon for application on decolorization of basic dyes. *Journal of Material Science and Applied Energy*, 2(1), 6-10.
- Ilgi, K. K., & Sabiha, A. (2005). Application of anaerobic-aerobic sequential treatment system to real textile wastewater for color and COD removal. *Enzyme and Microbial Technology*, 36(2), 273-279.
- Soon-An, O., Eiichi T., Makoto, H., & Tadashi, H. (2005). Decolorization of azo dye (Orange II) in a sequential UASB-SBR system. *Separation and Purification Technology*, 42(3), 297-302.
- Xiaojing, W., Yafei, L., Zhonghua, H., Yujuan, C., Wei, L., & Guohua, Z. (2009). Degradation of methyl orange by composite photocatalysts nano- TiO_2 immobilized on activated carbons of different porosities. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1), 1061-1067.
- Zuriaga-Agustí, E., Iborra-Clar, M. I., Mendoza-Roca, J. A., Tancredi, M., Alcaina-Miranda, M. I., & Iborra-Clar, A. (2010). Sequencing batch reactor technology coupled with nanofiltration for textile wastewater reclamation. *Chemical Engineering Journal*, 161(1), 122-128.
- Ministry of Industry. (1996). *The defining feature of effluent discharge from the plant No. 2*. Retrieved from http://www.genco.co.th/Document/Inf_14.pdf (in Thai)
- Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry. (2004). *Activated carbon. 900-2004*. Bangkok: Author. (in Thai)
- Thailand Textile Institute. (2015). *The number of industrial textiles and apparel: January-June 2015*. Retrieved from <http://www.thaitextile.org/index.php/blog/2015/07/iutt00021> (in Thai)

