

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีข้อม โดยถ่านกัมมันต์และสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสีย

แบบแยกทิเวเต็ดสลัดจ์

Comparison of Dyes Adsorption Efficiency by Activated Carbon and Sludge from Activated Sludge Wastewater Treatment

Prangsiri Srisuppuch Patiparn Punyapalakul and Pisut Painmanakul*

ปรางศิริ ศรีสุขพัชร ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล และ พิสุทธิ์ เพียรมนกุล*

ภาควิชาชีวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

*E-mail : pisut.p@chula.ac.th, pisut114@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพและปรากฏการณ์การดูดซับสีข้อมเบสิก โดยใช้สารดูดซับได้แก่ สลัดจ์แห้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแยกทิเวเต็ดสลัดจ์ เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ชนิดผง เกรดการค้า โดยประเด็นที่ศึกษาได้แก่ ผลของการปรับปรุงสภาพพื้นผิวของสารดูดซับด้วยกรด และด่าง และผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีข้อมในสารดูดซับ ผลการวิจัยพบว่า สลัดจ์และ ถ่านกัมมันต์มีอันดับปฏิกริยาการดูดซับสีข้อมที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกริยาอันดับสองเสมอ สำหรับสีข้อมเบสิกดูดซับได้ดีที่สุดด้วยถ่านกัมมันต์กระตุนด่าง และในสลัดจ์พบว่าดูดซับได้ดีด้วยสลัดจ์กระตุนด่าง ในขณะที่สีข้อมเบสิกดูดซับได้ดีที่สุดด้วยถ่านกัมมันต์กระตุนกรด และในสลัดจ์พบว่าดูดซับได้ดีด้วยสลัดจ์กระตุนกรด ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่า pH Point of Zero Charge (pH_{PZC}) ที่พบว่าสลัดจ์ และถ่านกัมมันต์ ที่ถูกกระตุนด้วยกรดมีค่า pH_{PZC} น้อยกว่า pH 7 ซึ่งส่งผลให้มีประจุลบที่พื้นผิวสารดูดซับ จึงสามารถดูดซับสีข้อมเบสิกที่มีประจุบวกได้ดี ในทางตรงข้ามสลัดจ์ และถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุนด้วยด่างสามารถดูดซับสีข้อมเบสิกที่มีประจุบวกได้ดี ไอโซเทอมในการดูดซับสีข้อมของสลัดจ์และถ่านกัมมันต์สามารถอธิบายได้ตามแบบจำลองไอโซเทอมของแอลนวาร์เป็นส่วนใหญ่ และนอกจากนี้การเมื่อยุ่งของสารลดแรงตึงผิวส่งผลทำให้การดูดซับสีข้อมเบสิก และสีข้อมเบสิกที่มีในถ่านกัมมันต์ลดลงประมาณ 26% และ 17% ตามลำดับ และในสลัดจ์ลดลงประมาณ 4% และ 37% ตามลำดับ

คำสำคัญ : การดูดซับ; สลัดจ์; ถ่านกัมมันต์; สีข้อมเบสิก; สีข้อมเบสิก; สารลดแรงตึงผิว

Abstract

This research was studied on a utilization of sludge as an adsorbent by comparing the adsorption efficiencies and phenomena obtained with reactive and basic dyes. An activated sludge from wastewater treatment system and commercial-grade powder activated carbon were used as adsorbents. Effect of surface treatment by acid and base on dye adsorption capacities was studied including the effect of nonionic surfactant. The results showed that the adsorption kinetic rate was fitted to pseudo-second order. The reactive dye had more potential to be adsorbed after using basic treatment on activated carbon and also on sludge as adsorbents. Moreover, the basic dye had the highest adsorption efficiency obtained with acid treatment on activated carbon, whereas, sludge had the highest basic dye adsorption efficiency after acid treatment. It was found that sludge and activated carbon treated by acid solution had lower pH_{PZC}: that can increased adsorption capacities of basic dye. On contrary, sludge and activated carbon treated by basic solution had higher pH_{PZC}: that can increased adsorption capacities of reactive dye. The Langmuir isotherm model was well described for dye adsorption. Moreover, the presence of nonionic surfactant (TX-100) could affect to adsorption efficiencies of basic and reactive dyes on activated carbon by decreasing adsorption efficiency to 26 and 17 percent respectively. While, reactive and basic dyes adsorption on sludge in the presence of nonionic surfactant (TX-100) were decreasing approximately 4 and 37 percent, respectively.

Keywords : Adsorption; sludge; activated carbon; reactive dyes; basic dyes; surfactant

บทนำ

น้ำเสียสีข้อมสามารถถูกกำจัดได้ด้วยกระบวนการคุณภาพโดยใช้ถ่านกัมมันต์ แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาสูง และมีค่าใช้จ่ายในการพื้นที่ส่วนตัว ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาค้นคว้าเพื่อหาวัสดุเหลือใช้ต่างๆ ที่หาง่ายและราคาถูกมาเป็นสารคุณภาพแทนถ่านกัมมันต์มากขึ้น โดยศึกษาประสิทธิภาพการคุณภาพ ซึ่งอาศัยหลักการพื้นฐานจากปัจจัยที่มีผลต่อการคุณภาพที่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของระบบ ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพ และทางเคมีทั้งของสารคุณภาพและสารถูกคุณภาพ รวมทั้งการกระตุ้นสารคุณภาพซึ่งการกระตุ้นสารคุณภาพทำให้ความสามารถในการคุณภาพสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวน้ำมีความกว้างไวในการคุณภาพมากขึ้น และเป็นการจำกัดอนิทริย์ตุหรืออนินทริย์ตุต่างๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่คุณภาพ ซึ่งการกระตุ้นสารคุณภาพทางเคมีโดยการกระตุ้นด้วยกรด

และด่างจะมีผลทำให้สมบัติของสารคุณภาพเปลี่ยนไปเกิดมีประจุบวกพื้นผิวที่เปลี่ยนไปซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการคุณภาพ

โดยงานวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาโดยใช้สัดส่วนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบตะกอนเร่งที่ย่อยแล้วมาเป็นสารคุณภาพ เนื่องจากสัดส่วนที่ดังกล่าวเป็นสิ่งที่เหลือทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย และยังต้องนำไปกำจัดซึ่งเสียค่าใช้จ่ายในการจัดการ ดังนั้นการนำสัดส่วนกลับมาใช้สำหรับเป็นสารคุณภาพจึงเป็นการนำกลับมาใช้ประโยชน์ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดการสัดส่วนอีกด้วย ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเบรี่ยนเพื่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมรีแอกทีฟ และสีข้อมเบสิก โดยใช้สัดส่วนจากระบบบำบัดน้ำเสียเป็นสารคุณภาพเบรี่ยนเพื่อกับถ่านกัมมันต์ โดยศึกษาปัจจัยทางเคมี (การกระตุ้นสารคุณภาพด้วยกรดและด่าง) ที่มีผลต่อการคุณภาพ ศึกษาจลนศาสตร์ และความสามารถในการคุณภาพ รวมทั้งศึกษาผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อประสิทธิภาพ

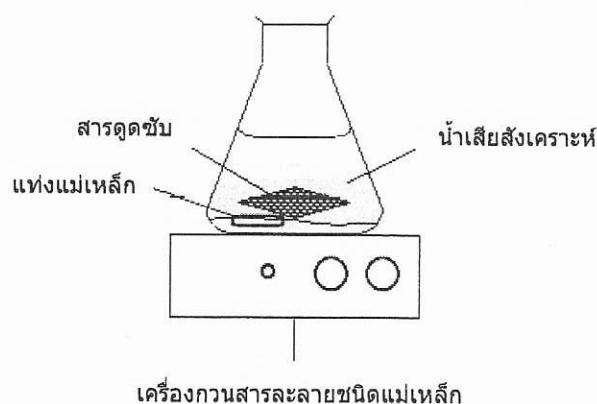
การดูดซับสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วย จากการศึกษา งานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมาพบว่า มีการศึกษาการนำสัตว์จำพวกน้ำ ใช้เป็นสารดูดซับซึ่งสัตว์สามารถดูดซับสีข้อมประจุบวกได้ดี ส่วนถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสีข้อมประจุลบได้ดีเนื่องจากขนาดของคุณสมบัติทางพื้นผิวและรูปรุนหนามะสุม [1] สัตว์จะระตุนค่างสามารถดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่าสัตว์จะระตุนกรด [2] และสารลดแรงตึงผิวนิค มีประจุมิผลต่อการดูดซับสีข้อมชนิดมีประจุในกรณีที่มีแรงปฏิกิริยาในการดูดซับชนิดเดียวกัน [3] ในงานวิจัยนี้ จึงได้นำสัตว์จะระตุนค่างถ่านกัมมันต์ชนิดผงมาปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วยกรด และค่างเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับและคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวกลางดูดซับรวมถึงวิเคราะห์แรงและปรากฏการณ์ในการดูดซับ โดยทำการดูดซับสีข้อมชนิดมีประจุ รวมทั้งศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

อุปกรณ์และวิธีการ

โภคเคลในการทดสอบใช้ขวดรูปมนูนขนาด 250 มิลลิลิตร ใส่น้ำเสียสังเคราะห์และสารดูดซับ แล้วทำการปั่นกวนโดยเครื่องกวนสารละลายชนิดแม่เหล็กดังรูปที่ 1

การเตรียมสารดูดซับ และน้ำเสียสังเคราะห์

วัสดุที่ใช้สำหรับเป็นสารดูดซับได้แก่ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และสัตว์จะระตุนค่าง ระบบบำบัดน้ำเสียจากสถานทากตะกอน ซึ่งเป็นสัตว์จะระตุนค่างที่อยู่แล้วด้วยระบบไร์ออกซิเจนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนอนแบบ โดยทำการปรับปรุงพื้นผิวของสัตว์จะระตุนค่างด้วยวิธีการการกระตุนด้วยกรด และค่างรวมทั้งสิ้น 3 ชนิด ได้แก่ สัตว์จะระตุนด้วยกรด (A-Sludge) สัตว์จะระตุนด้วยค่าง (B-Sludge) และสัตว์ไม่ถูกกระตุน (D-Sludge) โดย D-Sludge สามารถเตรียมได้โดยวิธีการของ Gulinaz [4] โดยนำก้อนสัตว์จะระตุนมาบดจนเป็นเนื้อเดียวกัน ล้างด้วยน้ำกลั่น 2 รอบ และนำไปอบให้แห้งในเตือนควบคุมอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ สำหรับ A-Sludge สามารถเตรียมตามวิธีของ Thuy [5] โดยนำสัตว์ไม่ถูกกระตุน ผสมกับกรดไนต์ริกความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ และผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 นาโนมоль สำหรับ A-Sludge และ B-Sludge ตามลำดับ ตั้งทิ้งไว้ 5 ชั่วโมง แล้วล้างออกด้วยน้ำดื่มสะอาดในช่องน้ำที่ 105 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ นำสัตว์จะระตุนค่างถ่านกัมมันต์ นำมาร่อนคัดขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จะได้ขนาดอนุภาคน้อยกว่า 0.075 มิลลิเมตร



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ
(ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสและความแรงประจุที่ 0.01 โอมาร์)

ถ่านกัมมันต์ชนิดพง (PAC) ที่ใช้เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดพงเกรดการค้า (Shirasagi S-10) จากบริษัท EnviroChemicals Ltd. นำมาปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิวโดยการกระศุ่นกรดและค่างชenzeเดียวกัน ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นอีก 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ชนิดพงกระศุ่นด้วยกรด (A-PAC) และถ่านกัมมันต์ชนิดพงกระศุ่นด้วยด่าง (B-PAC) ซึ่งทำการปรับปรุงพื้นผิว เช่นเดียวกับการสังเคราะห์ตาม A-Sludge และ B-Sludge ตามลำดับ ดังนั้นสารคูดซับที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ชนิดพงเกรดการค้า (PAC) ถ่านกัมมันต์ชนิดพงกระศุ่นด้วยกรด (A-PAC) ถ่านกัมมันต์ชนิดพงกระศุ่นด้วยด่าง (B-PAC) สลัดจ์กระศุ่นด้วยกรด (A-Sludge) สลัดจ์กระศุ่นด้วยด่าง (B-Sludge) และสลัดจ์ไม่ถูกกระศุ่น (D-Sludge)

ในงานวิจัยนี้ น้ำเสียสังเคราะห์เตรียมจากสีเยื่อม 2 ชนิด คือ สีเยื่อมรีแอคทีฟโทนสีดำ (Reactive Black 5; RB5) และสีเยื่อมเบสิกโทนสีเหลือง (Basic yellow 1; BY1) และใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด Iso-Octylphenol Ethoxylate (Triton X-100; TX-100) เป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุ โดยนำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองมี 3 ประเภท คือ น้ำเสียสังเคราะห์สีเยื่อม น้ำเสียสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิว และน้ำเสียสังเคราะห์สีเยื่อม ที่รวมสารลดแรงตึงผิว

การศึกษาการคูดซับ

เตรียมสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นที่ต้องการ ใส่ในขวดรูปชุมพู่ขนาด 250 มลลิลิตร ปริมาณ 100 มลลิลิตร เติมสารคูดซับในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 0.07 กรัมต่อลิตร ส่วนสลัดจ์ใช้ 2 กรัมต่อลิตร ควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 และค่าความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 โมลาร์โดยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ นำไปปั่นกวนด้วยเครื่องกวนสารละลายนินด์แม่เหล็กโดยควบคุมที่ 350 รอบต่อนาที ควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 25 ± 2 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างตามเวลาที่ทำการศึกษา นำตัวอย่างที่ได้กรองเพื่อแยกสาร

คูดซับออกด้วยกระดาษกรองไยแก้ว GF/C นำตัวอย่างสารละลายน้ำเสียเดิมที่ความเข้มข้นของสีเยื่อมและสารลดแรงตึงผิวด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโโทรโฟโตมิเตอร์ (UV/Visible spectrophotometer รุ่น Helios Alpha ยี่ห้อ Thermo Electron Corporation) โดยสีเยื่อม BY1 RB5 และ TX-100 วัดด้วยความยาวคลื่น 412 597 และ 275 นาโนเมตร ตามลำดับ และตรวจวัดด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC รุ่น 1100 ยี่ห้อ Agilent) โดยต่อ กับ UV/ Visible detector ใช้ความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร และ colum น้ำมัน 10 μm-Lichrosorb-NH₂ เพื่อแยก TX-100 จากสีเยื่อม และหาปริมาณ TX-100 ที่เหลืออยู่ [6] โดยค่าความสามารถในการคูดซับคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$q = \frac{(C_0 - C_e) V}{m} \quad (1)$$

ค่า q คือปริมาณสารถูกคูดซับต่อปริมาณสารคูดซับ (มก./ก.) C_0 คือความเข้มข้นของสีเยื่อมเริ่มต้น (มก./ล.) C_e คือความเข้มข้นของสีเยื่อมที่สภาวะสมดุล (มก./ล.) V คือปริมาณสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง (ลิตร) และ m คือปริมาณสารคูดซับ (กรัม) จากนั้นทำการเปรียบเทียบ ไอโซเทอมการคูดซับที่เหมาะสมสำหรับอัตราการคูดซับ โดย ไอโซเทอมที่ใช้ได้แก่ ไอโซเทอมการคูดซับแบบลงม้วร์ และ ไอโซเทอมการคูดซับแบบฟรุนคลิชดังสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

$$\frac{1}{q} = \left(\frac{1}{q_m} \right) + \left(\frac{1}{C_e} \right) \left(\frac{1}{b q_m} \right) \quad (2)$$

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3)$$

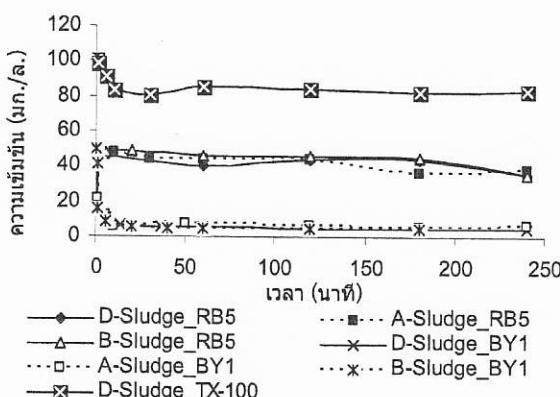
โดย ค่า q_m และ b คือปริมาณสารถูกคูดซับต่อปริมาณสารคูดซับที่สภาวะสมดุล (มก./ก.) และค่าคงที่ของ ไอโซเทอมการคูดซับแบบลงม้วร์ ตามลำดับ ในขณะที่ ค่า K และ $1/n$ คือค่าคงที่ ไอโซเทอมการคูดซับแบบฟรุนคลิช ตามลำดับ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาคุณสมบัติของสารคูดซับ

ผลของค่าพีอีชที่ Point of Zero Charge (pH_{PZC}) พบว่า D-Sludge A-Sludge และ B-Sludge มีค่า pH_{PZC} เท่ากับ 6.7 2.73 และ 7.68 ตามลำดับ และค่า pH_{PZC} ของ PAC A-PAC และ B-PAC มีค่าเท่ากับ 7.08 4.26 และ 7.69 ตามลำดับ จากงานวิจัยของ Wang [7] ระบุว่าสัดจํีชั้นที่สองมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 83-152 ตร.ม./ก. และจากงานวิจัยของ Thuy [5] ระบุว่าถ่านกัมมันต์ (Shirasagi S-10) มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 980 ตร.ม./ก. โดยการปรับปรุงถ่านกัมมันต์ด้วยกรดและด่างไม่มีผลต่อกระบวนการต่อพื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูปพรรณอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิเคราะห์ด้วย FT-IR พบว่า D-Sludge และ B-Sludge มีหมู่ฟังก์ชันไกล์เคียงกันโดย B-Sludge มีปริมาณหมู่ฟังก์ชันลดลงจาก D-Sludge เล็กน้อย โดยหมู่ฟังก์ชันนักที่พบได้แก่ หมู่ O-H Polymer, CH_2 , C=O, COO, C-N และหมู่อะลิไฟติก C-O ซึ่งหมู่ฟังก์ชันของ B-sludge มีหมู่อะซิดิกลดลงซึ่งเป็นไปตามค่า pH_{PZC} ของสารคูดซับ ส่วน A-Sludge พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นของหมู่ OH และ CHO ซึ่งเป็นหมู่อะซิดิก และมีหมู่ฟังก์ชันลดลงซึ่งเป็นหมู่ของ O-H (Polymer) COO, C=O C-N และหมู่อะลิไฟติก C-O ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่า pH_{PZC} ของ A-Sludge ที่มีค่าเป็นกรด และจากงานวิจัยของ Thuy [5]

(ก)



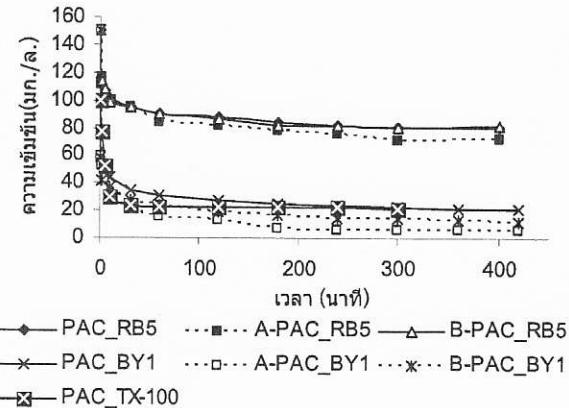
ระบุว่าการปรับปรุงถ่านกัมมันต์ชนิดพงเกรดการค้า (Shirasagi S-10) ด้วยกรด (HNO_3) ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของพากหมู่อะซิดิก และการปรับปรุงถ่านกัมมันต์ด้วยด่าง ($NaOH$) ทำให้เกิดการลดลงของหมู่คาร์บอโนลิก การบอนิวล์ซึ่งสอดคล้องกับค่า pH_{PZC} ของสารคูดซับดังนั้นสรุปได้ว่าการปรับปรุงพื้นผิวสารคูดซับด้วยกรดและด่างผลต่อหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวสารคูดซับประเภทสัดจํี และถ่านกัมมันต์ในลักษณะเดียวกัน

ผลการศึกษาจนศาสตร์

ผลการศึกษาจนศาสตร์ของสีข้อมูลทั้ง 2 ชนิด พบว่าวาลาที่ใช้ในการคูดซับสีข้อมูลของสารคูดซับประเภทสัดจํี และถ่านกัมมันต์ สมดุลที่เวลาประมาณ 60 และ 360 นาที ตามลำดับ สำหรับจนศาสตร์ของสารลดแรงตึงผิว (TX-100) พบว่าวาลาที่ใช้ในการคูดซับของสัดจํี และถ่านกัมมันต์ สมดุลที่เวลาประมาณ 60 นาที แสดงคังรูปที่ 2 (ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยอันดับปฏิกิริยาของสีข้อมูลที่เกิดขึ้นเป็นอันดับสองเมื่อนำซึ่งได้มาจากการ (4) โดยให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.9215-1.0000 ซึ่งบ่งบอกถึงกระบวนการคูดซับที่เกิดขึ้นเป็นกระบวนการทางเคมีที่เกิดจากประจุของสารคูดซับและสารถูกคูดซับ [4]

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2 e} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

(ข)

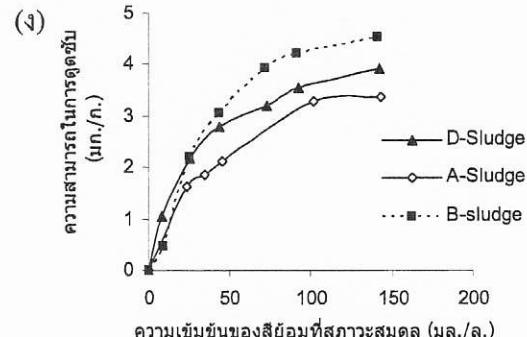
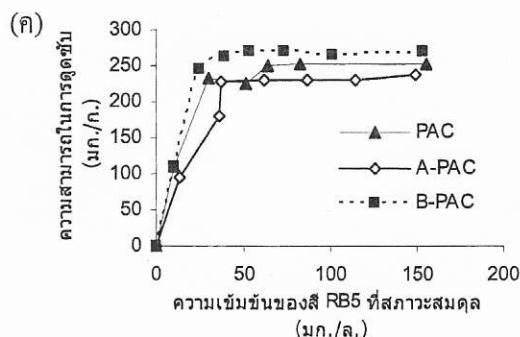
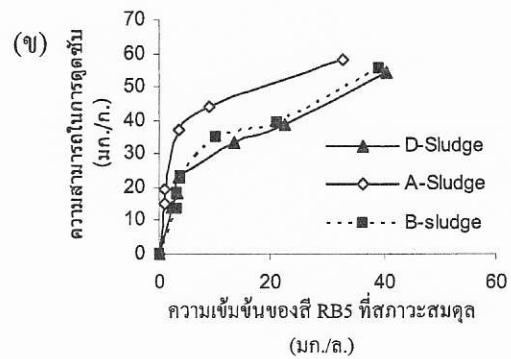
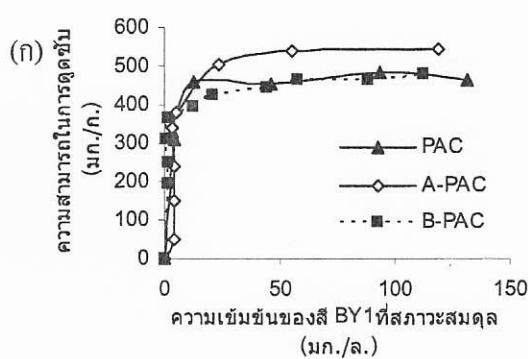


รูปที่ 2 จนศาสตร์การคูดซับของสีรีเออกทีฟ สีเบลิก และสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สัดจํีที่สภาพต่างๆ (ก) และถ่านกัมมันต์ที่สภาพต่างๆ (ข) (ที่พีอีชที่ 7 อุณหภูมิ 25 °C และความแรงไฟอ่อน 0.01 โนลาร์)

ผลการปรับปรุงพื้นผิวสารคุณภาพด้วยกรดและด่างต่อประสิทธิภาพในการคุณภาพลีกซ์ม

สารละลายน้ำที่ pH 7 สี BY1 ถูกคุณภาพได้ดีด้วย A-PAC ตามด้วย B-PAC และ PAC โดยมีความสามารถในการคุณภาพสูงสุดเท่ากับ 552.79 mg/g. 500.00 และ 454.55 mg/g. ตามลำดับ ดังรูปที่ 3 (ก) ส่วนของสลัดเจ็บพบว่า คุณภาพได้ดีด้วย A-Sludge ตามมาด้วย B-Sludge และ D-Sludge โดยมีความสามารถในการคุณภาพสูงสุดเท่ากับ 60.61 mg/g. 54.31 และ 54.30 mg/g. ตามลำดับ ดังรูปที่ 3 (ข) สำหรับสี RB5 พบว่าคุณภาพได้ดีด้วย B-PAC ตามด้วย PAC และ A-PAC โดยมีความสามารถในการคุณภาพสูงสุดเท่ากับ 270.27 mg/g. 256.41 และ 243.90 mg/g. ตามลำดับ ดังรูปที่ 3 (ค) ส่วนของสลัดเจ็บว่าคุณภาพได้ดีด้วย B-Sludge ตามด้วย D-Sludge และ A-Sludge โดยมี

ความสามารถในการคุณภาพสูงสุดเท่ากับ 6.35 mg/g. 4.59 และ 4.31 mg/g. ตามลำดับ ดังรูปที่ 3 (ง) ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นไปตามผลของ pH_{PZC} คือ A-Sludge และ A-PAC มีค่า pH_{PZC} น้อยกว่า pH 7 ซึ่งส่งผลให้มีประจุลบที่พื้นผิวสารคุณภาพ [5] จึงสามารถคุณภาพสี BY1 ที่มีประจุบวกได้ดี ในทางตรงข้าม B-Sludge และ B-PAC มี pH_{PZC} มากกว่า pH 7 ซึ่งสามารถคุณภาพสี RB5 ที่มีประจุบวกเป็นผลได้ดี แต่สังเกตได้ว่าในกรณีการคุณภาพด้วยสลัดเจ็บว่าความสามารถในการคุณภาพสีลีกซ์มทั้ง 2 ชนิดค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสารคุณภาพประเภทถ่านกัมมันต์ซึ่งน่าจะเป็นผลจากพื้นที่ผิวจำเพาะของสลัดเจ็บที่มีค่าน้อยกว่า นอกจากนี้เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยกรดและด่างมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจึงส่งผลให้ความสามารถในการคุณภาพแตกต่างกันน้อยมาก



รูปที่ 3 เปรียบเทียบการคุณภาพสี BY1 โดยถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ (ก) และสลัดเจ็บชนิดต่างๆ (ข)

และการคุณภาพ RB5 โดยถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ (ค) และสลัดเจ็บชนิดต่างๆ (ง)

(ที่ pH 7 อุณหภูมิ 25 °C และความแรงดัน 0.01 โอมลาร์)

ไอโซเทอมการคุณซับสีย้อม

ไอโซเทอมการคุณซับของ D-Sludge A-Sludge และ B-Sludge ในการคุณซับสี RB5 และ BY1 สามารถอธิบายได้ทั้ง ไอโซเทอมแบบແลงນ້ວර์ และแบบฟຽນຄລິຈ ເນື່ອງຈາກທີ່ 2 ไอโซเทอมໃຫ້ຄ່າ R^2 ສູງແລະໄກລ໌ເຄີຍກັນ ໂດຍສໍາຮັບການคຸດຊັບສີ RB5 ພບວ່າ D-Sludge ແລະ B-Sludge ມີຄ່າ R^2 0.9938 ແລະ 0.9961 ຕາມຄໍາດັບ ເປັນ ไอโซเทอมແlangນ້ວර์ ແລະ ສ່ວນຂອງ A-Sludge ເປັນ ไอโซเทอมການคຸດຊັບແlangນ້ວຣ ໂດຍມີຄ່າ R^2 0.9811 ສໍາຮັບໄອโซເທອນການคຸດຊັບສີ BY1 ປຣກຢູ່ວ່າ D-Sludge ແລະ A-Sludge ເປັນໄອโซເທອນແlangນ້ວຣ ໂດຍມີຄ່າ R^2 ເທົ່າກັນ 0.964 ແລະ 0.9574 ຕາມຄໍາດັບ ສ່ວນ B-Sludge ເປັນ ไอโซເທອນແlangນ້ວຣ ໂດຍມີຄ່າ R^2 ເທົ່າກັນ 0.821 ໃນ ສ່ວນຂອງ PAC A-PAC ແລະ B-PAC ໄອໂທເທອນໃນການ ດຸດຊັບສີ RB5 ໃຫ້ຄ່າ R^2 ຕໍ່ທີ່ 2 ໄອໂທເທອນ ໂດຍມີຄ່າຍູ້ ໃນຊ່ວງ 0.5523-0.1926 ແລະ ສໍາຮັບໄອໂທເທອນການคຸດຊັບສີ BY1 ພບວ່າ PAC A-PAC ແລະ B-PAC ມີຄ່າໄອໂທເທອນ ການคຸດຊັບແlangນ້ວຣ ໂດຍມີຄ່າ R^2 0.9856-0.9119

ຈາກໄອໂທເທອນແlangນ້ວຣ ແລະ ອັນດັບປົງກີຣີຢາ ອັນດັບສອງເສມ່ອນອາຈສຽບໄດ້ວ່າ ການคຸດຊັບທີ່ເກີດຂຶ້ນນັນ ພື້ນພົວຂອງຄ່ານກົມມັນຕີ (PAC A-PAC ແລະ B-PAC) ເປັນ ແlangນ້ວຣ ເລີຍາ ແລະ ເປັນການคຸດຊັບທາງເຄີມ ສ່ວນສັດຈິກທີ່ ທຳການສຶກພາບວ່າມີແຮງປົງກີຣີຢາຄ່ອນໜ້າງຕໍ່ແລະ ມີ ຮູ່ປະການການคຸດຊັບຫາກຫາຍ້ານອຍ່ງກັບໝົດຂອງມລສາຣ ແລະ ພື້ນພົວຂອງຕ້າກລາງດຸດຊັບ

ผลการສຶກພາກວິມສາມາດໃນການคຸດຊັບສາຣດແຮງຕິງປິວ (TX-100)

ผลการສຶກພາກວິມສາມາດໃນການคຸດຊັບ TX-100 ພບວ່າ PAC ແລະ D-Sludge ມີຄ່າກວາມສາມາດໃນການ ດຸດຊັບເທົ່າກັນ 263.16 ແລະ 28.09 ນກ./ກ. ຕາມຄໍາດັບຮູບທີ່ 4 ທີ່ ເປັນໄປຕາມຄ່າພື້ນທີ່ພົວຈຳພາບຂອງສາຣດຸດຊັບ ໂດຍຄ່າ ກວາມສາມາດໃນການคຸດຊັບ TX-100 ນີ້ ຈະນຳໄປໃຫ້ ເປົ້າຢັນເທິບກັນກ່າວການคຸດຊັບຂອງ TX-100 ທີ່ ພສມກັນ ສີຍົມຕ່ອງໄປ

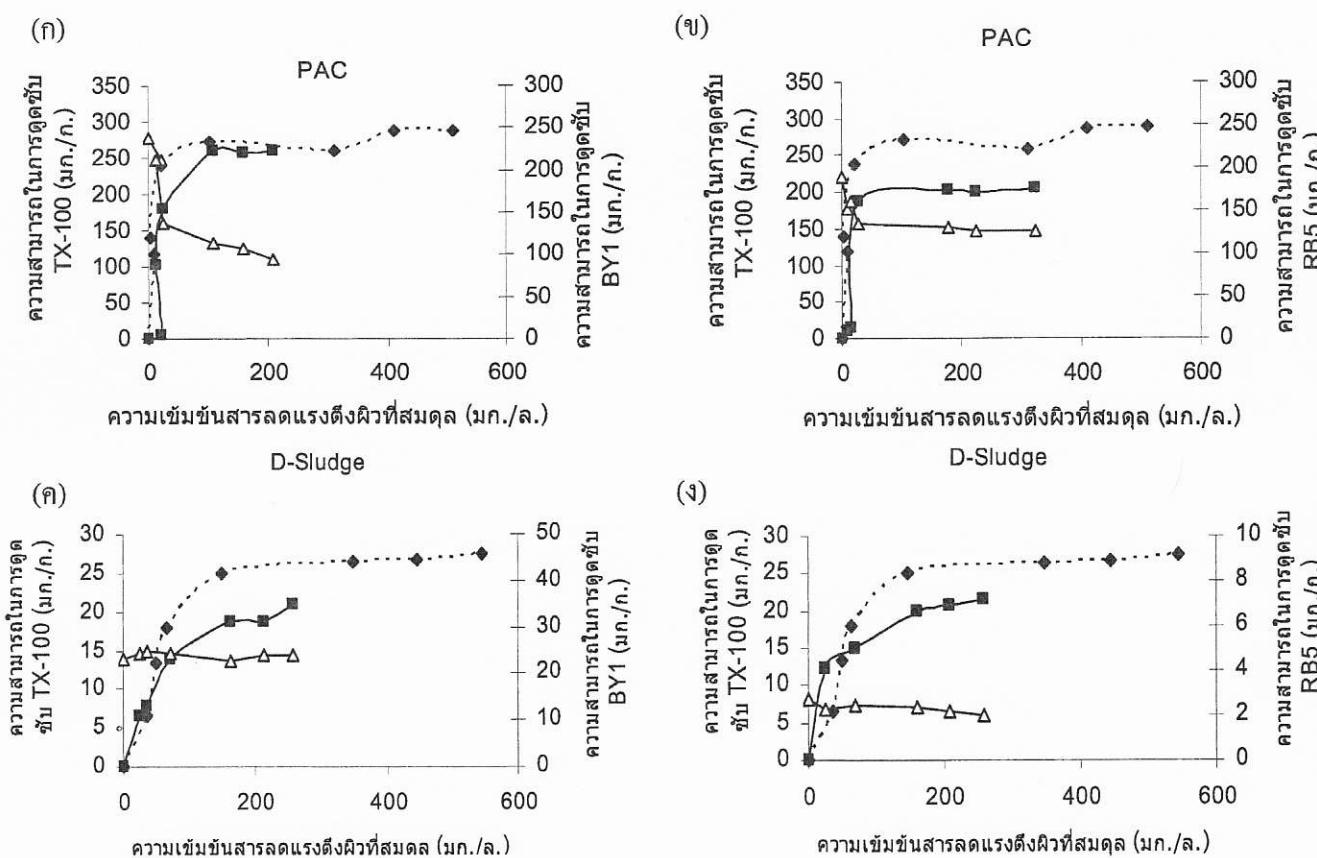
ผลการສຶກພາກຮັບຂອງສາຣດແຮງຕິງຕ່ອງການคຸດຊັບສີຍົມ

ເນື່ອງຈາກການປະຢູກຕີໃຊ້ກະບວນການคຸດຊັບດ້ວຍ ສາຣດຸດຊັບທີ່ ກະຕຸ້ນດ້ວຍກຣດ ແລະ ດ່າງນັ້ນ ພບວ່າມີຄ່າ ກວາມສາມາດໃນການคຸດຊັບໄມ່ແຕກຕ່າງຈາກສາຣດຸດຊັບທີ່ ໄນຖຸກກະຕຸ້ນ ແລະ ເພື່ອເປັນກາຕັດຄ່າໃຊ້ຈ່າຍດ້ານສາຣເຄມີທີ່ ໃຊ້ໃນການກະຕຸ້ນສາຣດຸດຊັບ ດັ່ງນັ້ນຈຶ່ງເລືອກໃຊ້ສາຣດຸດຊັບທີ່ ໄນຖຸກກະຕຸ້ນ (PAC ແລະ D-Sludge) ໃນການສຶກພາກຮັບຂອງສາຣດຸດຊັບແຮງຕິງຕ່ອງການคຸດຊັບສີຍົມ ພົກລະອາກຮູບທີ່ 4 (ກ) ພບວ່າເມື່ອກວາມເຂັ້ມ່ານຂອງ TX-100 ເພີ່ມຂຶ້ນສ່າງພລໃຫ້ PAC ມີປະສິທີກົມພາບໃນການ ດຸດຊັບ BY1 ລດລົງ ແລະ ຄ່າກວາມສາມາດໃນການคຸດຊັບ TX-100 ໃນຂະໜາດທີ່ມີສີຍົມ BY1 ພສມອຍ່ງດ້ວຍມີຄ່າໄກລ໌ເຄີຍ ກັບກວາມສາມາດໃນການคຸດຊັບ TX-100 ເມື່ອໄນ້ມີສີຍົມ ພສມ ແສດງໃຫ້ເຫັນວ່າ PAC ເລືອກທີ່ຈະດຸດຊັບ TX-100 ນາກກວ່າສີຍົມ BY1 ໂດຍພບວ່າປະສິທີກົມພາບການດຸດຊັບສີຍົມ BY1 ມີຄ່າລາຄລົງປະມານ 26% ສໍາຮັບປະສິທີກົມພາບ ການດຸດຊັບສີຍົມ RB5 ຂອງ PAC ແສດງດັ່ງຮູບທີ່ 4 (ຂ) ພບວ່າເມື່ອກວາມເຂັ້ມ່ານຂອງ TX-100 ເພີ່ມຂຶ້ນສ່າງພລໃຫ້ PAC ມີປະສິທີກົມພາບໃນການດຸດຊັບ RB5 ລດລົງ ໂດຍຄ່າ ກວາມສາມາດໃນການດຸດຊັບສີຍົມ RB5 ສູງສຸດລົດລົງ ປະມານ 17% ແສດງໃຫ້ເຫັນວ່າ TX-100 ສ່າງພລຕ່ອງການດຸດຊັບສີຍົມ RB5 ດ້ວຍ PAC ທີ່ ຊຶ່ງກາລົດລົງຂອງປະສິທີກົມພາບການ ດຸດຊັບສີຍົມທີ່ 2 ຊົນດີ ອາຈເກີດຈາກ ໂດຍໂຄຮງສ້າງຂອງ TX-100 ໃນສ່ວນໄມ້ມີໜ້າ (hydrophobic) ເຂົ້າໄປອູ້ບັນ ພື້ນພົວແຮງປຽນຂອງ PAC ຈະເຕັມກຳໃຫ້ຈັດຂວາງການ ດຸດຊັບສີຍົມບັນພື້ນພົວ [6]

ຈາກຮູບທີ່ 4 (ກ) ພບວ່າເມື່ອກວາມເຂັ້ມ່ານຂອງ TX-100 ເພີ່ມຂຶ້ນສ່າງພລໃຫ້ D-Sludge ດຸດຊັບສີຍົມ BY1 ລດລົງເລີກນ້ອຍ ໂດຍມີປະສິທີກົມພາບໃນການດຸດຊັບສີຍົມ BY1 ໄນແຕກຕ່າງຈາກການດຸດຊັບໂດຍໄມ່ມີກວາມພສມຂອງ TX-100 ໂດຍປະສິທີກົມພາບໃນການດຸດຊັບສີຍົມ BY1 ເມື່ອ TX-100 ພສມອຍ່ານມີຄ່າລາຄລົງເພີ່ມ 4% ທັງນີ້ ປະສິທີກົມພາບ ການດຸດຊັບສີຍົມ BY1 ທີ່ ເປົ້າຢັນແປງເລີກນ້ອຍນັ້ນແສດງ ໃຫ້ເຫັນວ່າ ສາຣດຸດຊັບເລືອກທີ່ຈະດຸດຊັບສີຍົມ BY1 ນາກກວ່າ

TX-100 เนื่องจากแรงที่ใช้ในการดูดซับสีข้อม BY1 และ TX-100 มีความแตกต่างกัน โดย D-Sludge ดูดซับสีข้อม BY1 ด้วยแรงวนเดอร์วัลส์ร่วมกับแรงดึงดูดระหว่างประจุ แต่ดูดซับ TX-100 ด้วยแรงวนเดอร์วัลส์ร่วมกับแรงจากพันธะไฮโดรเจน จึงมีการแข่งขันเพียงแรงวนเดอร์วัลส์เท่านั้น และด้วยสมบัติของ D-Sludge มีหมุนฟังก์ชันที่หลากหลายและมีแนวโน้มประจุเป็นลบซึ่งสีข้อม BY1 เป็นสีข้อมประจุบวก รวมทั้งมีขนาดไม่เล็กน้อยกว่า TX-100 (ขนาดไม่เล็กน้อยของ TX-100 และ BY1 เท่ากับ $3.43 \times 0.49 \text{ nm}^2$ และ $1.44 \times 0.64 \text{ nm}^2$ ตามลำดับ) จึงเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ผิวภายในสารดูดซับได้มากกว่า ทำให้สีข้อม BY1 ถูกดูดซับได้ดีกว่าเดิมมากกว่า ทำให้สารดูดซับ TX-100 ในส่วนการดูดซับสีข้อม RB5 ดังแสดงใน

รูปที่ 4 (ง) พนวณว่า D-Sludge มีความสามารถในการดูดซับสีข้อม RB5 ที่ผสม TX-100 ลดลงประมาณ 37% โดยประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดของ TX-100 ในขณะที่มีสีข้อม RB5 ผสมลดลง เนื่องมาจากมีแรงที่ใช้ในการดูดซับสีข้อม RB5 และ TX-100 ที่เป็นแรงชนิดเดียวกันคือ แรงวนเดอร์วัลส์ และแรงจากพันธะไฮโดรเจน แต่การดูดซับสีข้อม RB5 มีแรงระหว่างประจุร่วมด้วยดังนั้น ประสิทธิภาพการดูดซับสีข้อม RB5 ที่ลดลงเกิดจากการแข่งขันระหว่างสีข้อม RB5 และ TX-100 ด้วยการเกิดพันธะไฮโดรเจน โดยส่วนที่ขอบน้ำของ TX-100 ดูดซับบนพื้นผิวของ D-Sludge ทำให้ขัดขวางการดูดซับสีข้อม RB5 [6]



รูปที่ 4 เปรียบเทียบผลของการลดแรงตึงผิวต่อการดูดซับสีข้อมโดยใช้ถ่านกัมมันต์และสลัดจ์โดย —△— คือความสามารถในการดูดซับสีข้อมเมื่อผสมกับ TX-100 โดยใช้สีข้อมความเข้มข้นคงที่ 75 และ 50 mg/l. สำหรับ PAC และ D-Sludge ตามลำดับ —■— คือความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวเมื่อผสมกับสีข้อม และ -♦- คือความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวเมื่อไม่ผสมสีข้อม

สรุป

D-Sludge A-Sludge และ B-Sludge สามารถ

ดูดซับสีข้อมเบสิกได้ดีกว่าสีข้อมเรียกทีฟ โดยกระบวนการดูดซับของสลัดจ์อธิบายได้จากไอโซเทอมของแลงมัวร์ และปฏิกิริยาอันดับสองของสมือนเป็นส่วนใหญ่ โดยที่ A-Sludge ดูดซับสีข้อมเรียกทีฟได้ดีส่วน B-Sludge ดูดซับสีข้อมเบสิกได้ดี ซึ่งเป็นไปตามค่า pH_{PZC} แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการดูดซับสีข้อมทั้ง 2 ชนิดยังมีประสิทธิภาพต่างกันจากการดูดซับด้วยสารดูดซับประเภทถ่านกัมมันต์ และสารลดแรงตึงผิวมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีข้อมเบสิก และสีข้อมเรียกทีฟด้วย PAC ลดลงประมาณ 26% และ 17% ตามลำดับ และส่งผลให้การดูดซับสีข้อมเบสิกและสีข้อมเรียกทีฟด้วย D-Sludge ลดลงประมาณ 4% และ 37% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า PAC และ D-Sludge เลือกดูดซับ TX-100 มากกว่าสีข้อม เนื่องจากแรงที่ใช้ในการดูดซับสีข้อมและสารลดแรงตึงผิวเป็นแรงชนิดเดียวกัน จึงเกิดการแข่งขันกันในการดูดซับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนบางส่วนจากทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต บัณฑิตวิทยาลัยชุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Martin, J.M., Artola, A., Balaguer, D.M. and Rigola, M. 2003. Activated carbons developed

- from surplus sewage sludge for the removal of dyes from dilute aqueous solutions. *Chem. Eng. J.* 94: 231-239.
- [2] Al-Qodah, Z. 2006. Biosorption of heavy metal ions from aqueous solutions by activated sludge. *Desalination*. 196: 164-176.
- [3] Punyapalakul, P. and Takizawa, S. 2006. Selective adsorption of nonionic surfactant on hexagonal mesoporous silicates (HMSs) in the presence of ionic dyes. *Water Res.* 40: 3177-3184.
- [4] Gulnaz, O., Kaya, A. and Dincer, S. 2006. The reuse of dried activated sludge for adsorption of reactive dye. *J. Hazard Mater.* 134: 190-196.
- [5] Thuy, Q. 2006. Effect of acid/base treatment of powdered activated carbon on adsorption and membrane fouling in PAC-Microfiltration system (PAC-MF). Doctoral dissertation, Department of Engineering, Graduate School, The University of Tokyo.
- [6] Punyapalakul, P. 2004. Removal of alkylphenol polyethoxylates using hexagonal mesoporous silicate. Doctoral dissertation, Department of Engineering, Graduate School, The University of Tokyo.
- [7] Wang, J., Huang, C.P., Allen, H.E., Cha., D.K. and Kim, D.W. 1998. Adsorption Characteristics of dye onto sludge particulates. *J. Colloid. Interf. Sci.* 208: 518-528.