

การดูดซับสีย้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ

Adsorption of dyes by natural adsorbents

พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ วีระวัฒน์ กลอวุฒิมันตร์

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อสรุปข้อมูลเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนในสีย้อมด้วยการดูดซับโดยใช้ตัวดูดซับจากธรรมชาติ ซึ่งตัวดูดซับที่ใช้ คือ ตัวดูดซับที่ได้จากธรรมชาติโดยตรง ตัวดูดซับที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้จากวัสดุธรรมชาติ โดยจะกล่าวถึงเรื่องปัจจัยและตัวแปรที่มีผลกระทบต่อกระบวนการดูดซับแบบกะ และแนวโน้มการนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรม

คำสำคัญ : การดูดซับ สีย้อม และตัวดูดซับจากธรรมชาติ

Abstract

This article aims to give the summarized information about wastewater treatment that contaminated dyes by adsorption with natural adsorbents. The adsorbents are the natural materials, adsorbent that is agricultural waste and adsorbent that synthesized from the natural material. The factors and parameters that have affected to the batch adsorption were proposed. Moreover, this article proposes the trend of application in the industry.

Keywords : Adsorption, dyes, and natural adsorbents

1. บทนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศ การขยายตัวของอุตสาหกรรมสิ่งทอส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลพิษทางน้ำที่เกิดจากการปนเปื้อนของสีย้อม โดยสีย้อมที่ใช้อาจจะแบ่งแยกประเภทตามชนิดของความเป็นกรดด่างของสีย้อม โดยสีย้อมกรด (Acid dye) คือ สีย้อมที่ละลายน้ำแล้วมีประจุเป็นลบ สีย้อมเบส (Basic dye) คือ สีย้อมที่ละลายน้ำแล้วมีประจุบวก หรืออาจจะแบ่งประเภทตามความคงทนของสีย้อม ซึ่งแบ่งได้เป็น สีย้อมที่มีหมู่ช่วยละลายถาวร (Permanent solubilising group) และสีย้อมที่มีหมู่ช่วยละลายชั่วคราว (Temporary solubilising group) [1]

การดูดซับเป็นเทคนิคหนึ่งที่สามารถใช้ได้กับการบำบัดน้ำเสีย โดยเทคนิคนี้มีต้นทุนต่ำ เนื่องจากใช้พลังงานน้อย และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาไม่แพง นอกจากนี้ตัวดูดซับที่ผ่านการใช้งานแล้ว สามารถล้างและนำกลับมาใช้ในระบบใหม่ได้ (Regenerate) โดยตัวดูดซับที่ใช้อาจจะเป็นตัวดูดซับที่ได้จากธรรมชาติ หรือตัวดูดซับทางพาณิชย์ก็ได้ ตัวดูดซับทางธรรมชาตินั้น มีหลายตัวที่เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพที่จะนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้ เช่น ถ่านกัมมันต์ ถ่านขี้เถ้า เป็นต้น ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร นอกจากนี้วัสดุธรรมชาติบางชนิดยังสามารถนำมาสังเคราะห์เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพได้ เช่น คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากกะลามะพร้าว [2] เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับ

ตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับสีย้อมอาจจะแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ตัวดูดซับที่ได้จากธรรมชาติโดยตรง เช่น เปลือกกระเทียม [3] รากของต้นรูปฤาษี [4] ตัวดูดซับที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เถ้าแกลบ [5] เถ้าลอย [6] ตัวดูดซับที่ได้จากการสังเคราะห์จากวัสดุธรรมชาติเพื่อนำไปทำเป็นตัวดูดซับทางพาณิชย์ เช่น คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากกะลามะพร้าว [2] และตัวดูดซับเบนโตไนต์ (Bentonite) [7] เป็นต้น

นอกจากการแบ่งชนิดของตัวดูดซับข้างต้นแล้ว ตัวดูดซับยังอาจจะแบ่งแยกโดยใช้องค์ประกอบเป็นเกณฑ์การแบ่งแยก เช่น ตัวดูดซับที่เป็นคาร์บอนกัมมันต์ ตัวดูดซับซิลิกา และตัวดูดซับซีโอไลต์ เป็นต้น

3. ปัจจัยและตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ การดูดซับสำหรับการปฏิบัติการแบบกะ

ปัจจัยและตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ การดูดซับแบบกะ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม ระยะเวลาในการดูดซับ อัตราส่วนปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ต่อปริมาณสารละลาย ความเป็นกรดต่างของสารละลาย อุณหภูมิในการดูดซับ ความเข้มข้นของปริมาณไอออนในสารละลาย ขนาดของตัวดูดซับ องค์ประกอบของตัวดูดซับ โครงสร้างและขนาดโมเลกุลของสีย้อมและความเร็วรอบในการปั่นกววน โดยในที่นี่จะอธิบายปัจจัยต่าง ๆ เปรียบเทียบกับปริมาณดูดซับจำเพาะ (ปริมาณสีย้อมที่ดูดซับต่อหน่วยมวลของตัวดูดซับ) ที่วัดได้ ซึ่งผลของตัวแปรแต่ละตัวเป็นดังนี้

3.1 ความเข้มข้นของสารละลาย

Lain และ คณะ [7] ทำการทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมคองโกเรดด้วยแคลเซียมเบนโตไนต์ (Ca-bentonite) โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายระหว่าง 50-200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะที่สมดุลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย เป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนให้กับ การถ่ายเทมวลซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างปริมาณของสีย้อมบนตัวดูดซับกับ

สารละลาย ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะที่สมดุลของตัวดูดซับมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นในขณะที่ปริมาณตัวดูดซับคงที่นั้น ทำให้ร้อยละของการกำจัดสีย้อมมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นทำให้ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสีย้อมทั้งหมดในสารละลายที่เพิ่มขึ้น

3.2 ระยะเวลาในการดูดซับ

การเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะ ณ เวลาใด ๆ มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากแรงขับเคลื่อนที่มากอันเนื่องมาจากผลต่างของความเข้มข้นของสีย้อมในสารละลายกับปริมาณสีย้อมบนตัวดูดซับ หลังจากนั้นปริมาณดูดซับจำเพาะ ณ เวลาใด ๆ จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าจนกระทั่งเข้าสู่สมดุล ซึ่งภายหลังจากเข้าสู่สมดุลแล้วระยะเวลาจะไม่มีผลกระทบต่อ ระบบ [6-10] โดยผลจากการศึกษาระยะเวลาของการดูดซับกับปริมาณดูดซับจำเพาะ ณ เวลาใด ๆ สามารถนำมาสร้างจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ (Adsorption kinetics) ซึ่งรูปแบบของสมการที่นิยมมีด้วยกัน 2 สมการ จลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับหนึ่งเสมือน (pseudo first order kinetics) และจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับสองเสมือน (pseudo second order kinetics) ซึ่งแสดงดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ [11]

$$q_t = q_e (1 - e^{-k_1 t}) \quad (1)$$

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

โดยที่ q_t และ q_e คือ ปริมาณดูดซับจำเพาะ ณ เวลาใด ๆ และปริมาณดูดซับจำเพาะที่สมดุล k_1 และ k_2 คือ ค่าคงที่ของจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับหนึ่งเสมือนและอันดับสองเสมือนตามลำดับ และ t คือ เวลาในการดูดซับ

ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูล พบว่าการดูดซับสีย้อมด้วยตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ ส่วนใหญ่เป็นไปตามจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับที่สองเสมือน [3-4], [6-9], [12-13] แต่มีการทดลองบางการทดลองที่เป็นตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จลนพลศาสตร์อันดับที่หนึ่งเหมือน เช่น การทดลองของ Kannan และ Sundaran [14] เป็นต้น

นอกจากนี้การศึกษาการแพร่ของสีย้อมเข้าสู่รูพรุนของตัวดูดซับสามารถศึกษาได้จากสมการการแพร่ของอนุภาค (Intraparticle diffusion) ซึ่งมีสมการเป็นดังสมการที่ 3 [11]

$$q_t = k_t t^{1/2} + C \quad (3)$$

โดยที่ q_t คือ ปริมาณดูดซับจำเพาะ ณ ใด ๆ t คือ เวลาในการดูดซับ k_t และ C คือ ค่าคงที่จากการทดลอง

จากผลการทดลองของ Dogan และ คณะ [15] เมื่อวิเคราะห์ปริมาณดูดซับจำเพาะของเมทิลีนบลู (Methylene Blue) บนเปลือก Hazel nut ด้วยสมการการแพร่ของอนุภาค พบว่า ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง q_t และ $t^{1/2}$ เป็นสมการเส้นตรง แบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกมีความชันมากกว่าช่วงหลัง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การที่ปริมาณดูดซับจำเพาะเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากเกิดการแพร่ของสีย้อมจากสารละลายมายังผิวของตัวดูดซับ และปริมาณดูดซับจำเพาะในช่วงหลังมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการแพร่ของสีย้อมจากผิวของตัวดูดซับเข้าสู่รูพรุนของตัวดูดซับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kavitha และ Namasivayam [16]

3.3 อัตราส่วนของตัวดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม

การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ ในขณะที่ปริมาตรของสารละลายคงที่ มีผลทำให้ร้อยละของการกำจัดสีย้อม มีค่าเพิ่มขึ้น [8], [10] และ จากการทดลองของ Namasivayam และ Kavitha [8] สามารถกำจัดปริมาณสีย้อมในสารละลายได้ทั้งหมดเมื่อใช้ปริมาณของตัวดูดซับมากกว่า 800 มิลลิกรัมในสารละลายสีย้อมคองโกเรด เข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิตร เนื่องจากเพิ่มปริมาณตัวดูดซับทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับสารละลายมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับทำให้ค่าปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าลดลง เนื่องจากน้ำหนักของสีย้อมต่อน้ำหนักของตัวดูดซับมีค่าลดลง [8], [10]

3.4 ความเป็นกรดค้างของสารละลาย

Bestani และคณะ [17] ทำการทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูซึ่งเป็นสีย้อมเบนซนตัวดูดซับ Salsola vermiclora ซึ่งเป็นพืชในทะเลทราย โดยมีสารละลายที่มี pH ระหว่าง 6-8 พบว่าการเพิ่ม pH ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น

Malik [18] ทำการทดลองดูดซับสีย้อมกรด Yellow 36 บนคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากขี้เลื่อยและแกลบ โดย pH ของสารละลายมีค่าอยู่ในช่วง 3-9 พบว่าการเพิ่ม pH ของสารละลาย ทำให้ร้อยละของการกำจัดสีย้อมมีค่าลดลง หรือปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าลดลง

จากการทดลองทั้งสองการทดลอง อาจสรุปผลของ pH ได้ว่า การที่ pH ของสารละลายมีค่าต่ำกว่า pH_{ZPC} (pH of zero point of the charge) บนพื้นผิวของตัวดูดซับจะแสดงประจุบวกของ H^+ และการที่ pH ของสารละลายมีค่ามากกว่า pH_{ZPC} บนพื้นผิวของตัวดูดซับจะแสดงประจุลบของ OH^- [4], [6], [10], [18-19] โดยตัวดูดซับที่ประจุบวกบนพื้นผิวจะสามารถดึงดูดโมเลกุลของสารที่ประจุลบได้ดี ดังนั้นการดูดซับสีย้อมกรด จึงเกิดได้ดีในสารละลายที่มี pH ต่ำและเมื่อเพิ่ม pH ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีแนวโน้มที่ลดลง ในขณะที่ตัวดูดซับสีย้อมประเภทสีย้อมเบส จะเกิดได้ดีในสารละลายที่มี pH สูง เนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างประจุลบบนพื้นผิวของตัวดูดซับและประจุบวกบนโมเลกุลของสีย้อม และการลด pH ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีแนวโน้มลดลง [18-19]

3.5 อุณหภูมิของการดูดซับ

กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic Process) ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจึงทำให้การดูดซับมีแนวโน้มเกิดได้ลดลง [20] แต่การดูดซับในของเหลวนั้น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมิมีค่าน้อยมากเนื่องจากของเหลวมีค่าความจุความร้อนสูง แต่การทดลองของ Dogan และ คณะ [15] พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่ง Dogan และ คณะได้อธิบายผลจากการทดลองว่า การเพิ่มอุณหภูมิทำให้การเกิดการกระตุ้นหมู่ฟังก์ชัน เช่น หมู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลกอฮอล์ (Alcoholic) คาร์บอนิก (Carbonylic) และฟีนอลิก (Phenolic) ซึ่งอยู่บนพื้นผิวของการดูดซับ ทำให้เกิดแรงดึงดูดกับระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) บนตัวดูดซับกับประจุบวกบนโมเลกุลของสีย้อมบ้างชนิด นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (mass transfer coefficient) มีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น

การทดลองปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของการดูดซับทำให้สามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนจากกระบวนการดูดซับ ซึ่งสามารถทำให้ทราบได้ว่าเป็นการดูดซับทางกายภาพหรือการดูดซับทางเคมี โดยกระบวนการดูดซับทางกายภาพ ใช้แรงทางกายภาพในการสร้างพันธะระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความร้อนในปริมาณที่น้อย คือ ประมาณ -20 ถึง 40 กิโลจูลต่อโมล แต่การดูดซับทางเคมี ใช้แรงทางเคมี ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่ค่อนข้างมาก คือ ประมาณ -400 ถึง -800 กิโลจูลต่อโมล [7] ซึ่งการดูดซับสีย้อมการเปลี่ยนแปลงความร้อนมีปริมาณน้อย คือ อยู่ในช่วงประมาณ -20 ถึง 40 กิโลจูลต่อโมล ดังนั้นการดูดซับสีย้อมบนตัวดูดซับจึงเป็นการดูดซับทางกายภาพ

สำหรับการทดลองบางการทดลองที่คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานได้เป็นบวกนั้น อาจเนื่องจากแรงทางไฟฟ้า ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างหมู่ฟังก์ชันบางหมู่บนตัวดูดซับและหมู่ฟังก์ชันของสีย้อม เช่น หมู่ phenolic และ carboxylic บนตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์กับประจุบวกบนโมเลกุลของสีย้อมเบส ทำให้เกิดการดูดความร้อน

3.6 ความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย

Dogan และ คณะ [15] พบว่า ค่าปริมาณดูดซับจำเพาะของเมทิลลินบลูมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่ง Dogan และ คณะอธิบายผลการทดลองว่า การเติมโซเดียมคลอไรด์เป็นการเพิ่มปริมาณไอออนในระบบ ซึ่งสามารถรักษาสมดุลทางไฟฟ้า อันเนื่องมาจากการดูดซับสีย้อม ทำให้จำนวนโมเลกุลของสีย้อมในสารละลายมีปริมาณลดลง

ในขณะที่ไอออนที่ประจุตรงข้ามมีปริมาณคงที่ จึงทำให้เกิดความไม่สมดุลทางไฟฟ้าเกิดขึ้น ซึ่งส่งผลให้การดูดซับเกิดขึ้นได้ลดลง โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Al-Degs และคณะ [21] แต่ Al-Degs และคณะพบว่า การเพิ่มปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณมากกว่า 0.2 โมลาร์ ไม่ส่งผลให้ต่อปริมาณดูดซับจำเพาะที่สมดุล

3.7 ขนาดของตัวดูดซับ

จากการทดลองที่ใช้ปริมาณตัวดูดซับที่เท่ากัน แต่มีขนาดต่างกันพบว่า ตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่าสามารถดูดซับปริมาณสีย้อมได้มากกว่า เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับสารละลายมาก การดูดซับจึงเกิดได้ดี [15]

3.8 ความเร็วรอบในการปั่นกววน

Dogan และคณะ [15] พบว่า การอัตราเร็วของการปั่นกววนในช่วง 200 – 400 รอบต่อนาที ไม่มีผลต่อการทดลองดูดซับของเมทิลลินบลู ซึ่งความเร็วรอบที่ใช้ในการทดลองนั้นมีค่าสูง ทำให้อัตราเร็วของการปั่นกววนไม่มีผลต่อการดูดซับ เนื่องจากการปั่นกววนด้วยความเร็วรอบสูงทำให้ลักษณะการผสมของสารละลายเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent) แต่หากใช้ความเร็วรอบในการปั่นกววนต่ำ อาจจะพบได้ว่า ความเร็วรอบมีผลต่อระยะเวลาการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับได้ เนื่องจากการผสมของสารละลายอาจจะเกิดไม่สมบูรณ์

3.9 องค์ประกอบของตัวดูดซับ

Rahman และคณะ ได้ทำการเตรียมตัวดูดซับจากแคลบเพื่อดูดซับสีย้อม malachite green [22] พบว่า แคลบที่ผ่านการล้างด้วยกรดฟอสฟอริกที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 30 นาที มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกา ในขณะที่แคลบที่ผ่านการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน และผลการทดลองดูดซับพบว่า แคลบที่ผ่านล้างเบสมีปริมาณดูดซับจำเพาะที่สมดุลสูงกว่า แสดงว่าการดูดซับสีย้อม malachite green เกิดได้ดีบนตัวดูดซับที่เป็นคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมากกว่าตัวดูดซับซิลิกาเป็นองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 โครงสร้างและขนาดโมเลกุลของสีย้อม

K. Santhy และ P. Selvapathy ได้ทำการทดลองดูดซับสีย้อม 3 ชนิด คือ Reactive Orange 12, Reactive Red 2 และ Reactive Blue 4 ด้วยถ้ำลอย [23] ซึ่งผลการทดลองพบว่า ปริมาณดูดซับจำเพาะของจากสีย้อมมีค่าไม่เท่ากัน โดยปริมาณดูดซับจำเพาะที่ได้จากการดูดซับสีย้อม Reactive Orange 12 มีค่าสูงสุด และสีย้อม Reactive Blue มีค่าต่ำสุด ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะไม่เท่ากัน เนื่องจากสีย้อม Reactive Blue 4 มีโครงสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อน ทำให้ขนาดโมเลกุลมีขนาดใหญ่ จำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการดูดซับต่อโมเลกุลมาก จำนวนโมเลกุลต่อหน่วยพื้นที่ตัวดูดซับจึงมีค่าลดลง

4. แนวโน้มการนำไปประยุกต์กับอุตสาหกรรม

ในระบบอุตสาหกรรมส่วนใหญ่การปฏิบัติเป็นการปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียจึงควรเป็นแบบต่อเนื่องด้วยเช่นกัน ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้การดูดซับแบบต่อเนื่อง ทำโดยการบรรจุตัวดูดซับไว้ในคอลัมน์ดูดซับและให้น้ำเสียไหลผ่าน โดยมีปัจจัยหลายที่ต้องคำนึงถึง อัตราเร็วของน้ำเสียที่ไหลผ่าน ความยาวของคอลัมน์ ชนิดที่เหมาะสมของตัวดูดซับ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น การทดลองของ Han และ คณะ [24] เป็นการทดลองดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูในคอลัมน์ที่บรรจุด้วยแกลบ โดยปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อัตราการไหลของสีย้อมที่ผ่านคอลัมน์ ความยาวของคอลัมน์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม ผลของ pH และความเข้มข้นของเกลือของสารละลายที่มีต่อ breakthrough curve พบว่า การเพิ่มอัตราเร็วของสีย้อมที่ไหลผ่านคอลัมน์ทำให้อายุการใช้งานของคอลัมน์ลดลง นอกจากนี้การเพิ่มอัตราเร็วของสีย้อมที่ไหลผ่านทำให้ระยะในการถ่ายเทมวล (Mass transfer zone) ของคอลัมน์เพิ่มขึ้น เนื่องจากการดูดซับระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำเสียและตัวดูดซับมีค่าน้อย ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการถ่ายเทมวลที่มากเพื่อดูดซับสีย้อม การเพิ่มความยาวของคอลัมน์ ทำให้ breakthrough curve เกิดช้าลง เนื่องจากระยะเวลาในการถ่ายเทมวลอยู่ในคอลัมน์มีนานมากขึ้น และระยะเวลาในการ

ถ่ายเทมวลมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถดูดซับสีย้อมได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนของการถ่ายเทมวล ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวลเพิ่มขึ้น ดังนั้น breakthrough curve จึงเกิดได้เร็วขึ้น ผลของ pH ต่อ breakthrough curve พบว่า การดูดซับสามารถเกิดได้ดีในช่วงเบสอ่อน เนื่องจากในสถานะที่เป็นเบสอ่อน พื้นผิวของแกลบจะมีประจุลบซึ่งช่วยการดึงดูดสีย้อมเมทิลลีนบลูซึ่งมีประจุบวก ดังนั้น breakthrough curve จึงเกิดได้เร็วขึ้น และผลของเกลือต่อ breakthrough curve พบว่า การเพิ่มเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ ทำให้ breakthrough curve เกิดเร็วขึ้น ซึ่ง Han และ คณะ [24] ได้อธิบายว่า เกิดจากการแข่งขันการดูดซับระหว่างไอออนของเกลือและโมเลกุลของสีย้อม แต่ผลการทดลองส่วนนี้ยังไม่สอดคล้องกับการทดลองของ Han และ คณะ [4] ซึ่งพบว่า การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงในสีย้อมคอลโกเรดแล้วทำการดูดซับในคอลัมน์ที่บรรจุแกลบ ทำให้การดูดซับเกิดได้ดีขึ้น เนื่องจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ช่วยลดแรงผลักระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับหมู่ฟังก์ชันบนตัวดูดซับ

จากผลการทดลองทำให้เห็นว่า การปรับสภาพของน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยสีย้อมก่อนเข้าสู่การบำบัดในคอลัมน์ เช่น การปรับ pH ของน้ำเสียที่เหมาะสม หรือการเติมเกลือ อาจจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของคอลัมน์ หรืออาจจะช่วยยืดระยะเวลาการใช้งานของคอลัมน์ได้

5. บทสรุป

การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยสีย้อมด้วยการดูดซับจากธรรมชาติในบทความนี้ จี้ให้ถึงปัจจัยและตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ การดูดซับ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย ระยะเวลาในการดูดซับ อัตราส่วนของตัวดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม ความเป็นกรด่างของสารละลาย อุณหภูมิของการดูดซับ ความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย ขนาดของตัวดูดซับ ความเร็วรอบในการปั่นกววน องค์ประกอบของตัวดูดซับ โครงสร้างและขนาดโมเลกุลของสีย้อม ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ส่งผลต่อการดูดซับต่าง ๆ กัน และยังบอกถึงแนวโน้มในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปประยุกต์กับอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มความสามารถของตัวดูดซับ ซึ่งเป็นการลดต้นทุน และเป็นการลดความเป็นพิษที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมให้น้อยลง รวมไปถึงการนำวัสดุจากธรรมชาติไปสังเคราะห์เป็นตัวดูดซับทางพาณิชย์ เพื่อนำไปเป็นตัวดูดซับสำหรับดูดซับสารชนิดอื่น ๆ ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนทุนวิจัย จากเงินรายได้คณะ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=in-situ&group=4>
- [2] I.A.W. Tan, A.L. Ahmad, and B.H. Hameed, J. Hazard. Mater., Vol.154, pp. 337-346, 2008.
- [3] B.H. Hameed, and A.A. Ahmad, J. Hazard. Mater., Vol.164, pp. 870-875, 2009.
- [4] Zhenhu Hu, Hui Chen, Feng Ji, and Shoujun Yuana, J. Hazard. Mater., Vol. 173, pp. 292-297, 2010.
- [5] Runping Han, Dandan Ding, Yanfang Xu, Weihua Zou, Yuanfeng Wang, Yufei Li, and Lina Zou, Bioresour. Technol., Vol. 99, pp. 243, 2008.
- [6] Bilal Acemioglu, J. Colloid Interf. Sci., Vol. 274, pp. 371-379, 2004.
- [7] Lili Lian, Liping Guo, and Chunjing Guo, J. Hazard. Mater., Vol. 161, pp. 126-131, 2009.
- [8] C. Namasivayam, and D. Kavitha, Dyes Pigments, Vol. 54, pp. 47-58, 2002.
- [9] Flavio A. Pavan, Silvio L.P. Dias, Eder C. Lima, and Edilson V. Benvenuti, Dyes Pigments, Vol. 76, pp. 64-69, 2008.
- [10] Ali Tor, and Yunus Cengeloglu, J. Hazard. Mater., Vol. 138, pp. 409-415, 2006.
- [11] Sh. Soharabnezhad, and A. Pourahmad, Desalination, Vol. 256, pp. 84-89, 2010.
- [12] S. Karagoz et. al., Bioresour. Technol, Vol. 99, pp. 6214-6222, 2008.
- [13] G.C. Panda, S.K. Das, and A.K. Guha, J. Hazard. Mater., Vol. 164, pp. 374-379, 2009.
- [14] N. Kannan, and M.M. Sundraram, Dyes Pigment, Vol. 51, pp.25-40, 2001.
- [15] Mehmet Dogan, Harun Abak, and Mahir Alkan, J. Hazard. Mater., Vol. 164, pp. 172-181, 2009.
- [16] D. Kavitha, and C. Namasivayam, Bioresour. Technol., Vol. 98, pp. 14-21, 2007.
- [17] B. Bestani, N. Benderdouche, B. Benstaali, M. Belhakem, and A. Addou, Bioresour. Technol., Vol. 99, pp. 8441-8444, 2008.
- [18] P.K. Malik, Dyes Pigments, Vol. 56, pp. 239-249, 2003.
- [19] Yahya S. Al-Degs, Musa I. El-Barghouthi, Amjad H. El-Sheikh, and Gavin M. Walker, Dyes Pigments, Vol. 77 pp. 16-23, 2008.
- [20] เดชา นัทรศิริเวช. กระบวนการดูดซับ. สจพ. กรุงเทพฯ ๑ 2552.
- [21] Y.S. Al-Degs et. al., Dyes Pigment, Vol. 77, pp. 16-23, 2008.
- [22] I.A. Rahman, B. Saad, S. Shaidan, and E.S. Sya Rizal, Bioresour. Technol., Vol. 96, pp. 1578-1583, 2005.
- [23] K. Santhy, and P. Selvapathy, Bioresour. Technol., Vol. 97, pp. 1329-1336, 2005.
- [24] Runping Han, Yuanfeng Wang, Weihong Yu, Weihua Zou, Jie Shi, and Hongmin Liu, J. Hazard. Mater., Vol. 141, pp. 713-718, 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้