



การดูดซับฟีนอลและสี้อมจากสารละลายด้วยลีโอนาร์ไต์และดินแดง

อาทิตย์ อัสวสุชี ,ชลหวรรณ คำภูแสน, อัจฉรา เก่งนอก, นิติ กองสิน, นฤมล งามดี

ห้องปฏิบัติการวิจัยตัวเร่งปฏิกิริยาและวัสดุนาโนเพื่อพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 30000 E-mail: ausavasukhi@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำลีโอนาร์ไต์และดินแดงซึ่งเป็นวัสดุที่มีมูลค่าต่ำจากเหมืองแร่ลิกไนต์อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปางมาใช้ในการดูดซับฟีนอลและสี้อมรวมถึงอินดิเคเตอร์ซึ่งใช้เป็นแบบจำลองของสี้อมจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ รีแอกทีฟเรด พี8บี (Reactivred P8B), แอซิดบลู 5อาร์ (Acidblue 5R), ไตรเรดต์สการ์เล็ต4บีเอส (Directscarlet 4BS), คองโก เรด (Congored), และเมทิลออเรนจ์ (Methylorange) จากสารละลาย จากผลการทดลองพบว่าลีโอนาร์ไต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลและสี้อมจากสารละลายสูงกว่าดินแดง เมื่อนำลีโอนาร์ไต์ซึ่งมีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบในธรรมชาติ เช่น กรดฮิวมิก (Humicacid) กรดฟุลวิก (Fulvicacid) มาปรับสภาพทางความร้อนด้วยกระบวนการคาร์บอนเซชัน (Carbonization) ที่อุณหภูมิ 300-900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมงพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลสูงขึ้น แต่ในกรณีของการดูดซับสี้อมมีทั้งให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงขึ้นและลดต่ำลงขึ้นกับชนิดของสี้อม ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพผิวและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

คำสำคัญ:การดูดซับ;ฟีนอล; สี้อม; ลีโอนาร์ไต์; ดินแดง

1. บทนำ

การทำเหมืองแร่ลิกไนต์ที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปางนอกจากจะได้ถ่านหินลิกไนต์ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว จะมีผลผลิตที่เป็นมูลแร่ดินทรายซึ่งเป็นดินปนถ่านหินแทรกอยู่ด้วยซึ่งเรียกว่า “ลีโอนาร์ไต์ (Leonardite)” [1] และ “ดินแดง (Red clay)”[2] ส่วนเหลือทิ้งจากการทำเหมืองแร่ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจนกลายเป็นปัญหาในการจัดการ ภายหลังจึงได้มีความสนใจที่จะเพิ่มมูลค่าของของเหลือทิ้งดังกล่าว ตัวอย่างเช่นมีการค้นพบว่าลีโอนาร์ไต์มีองค์ประกอบที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร [1, 3] ได้แก่กรดฮิวมิก (Humic acid) กรดฟุลวิก (Fulvic acid) ฮิวมิน (Humin) และมีโลหะอื่นๆซึ่งมีการศึกษาการสกัดสารเหล่านี้เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร [3] รวมถึงการใช้ดินแดงเป็นส่วนผสมในปุ๋ย [2] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการนำลีโอนาร์ไต์และดินแดงไปใช้เป็นตัวดูดซับ (Adsorbent) โลหะหนักด้วย [4-5] รวมถึงสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs) [6]

จากการศึกษางานวิจัยในเบื้องต้นพบว่าลีโอนาร์ไต์ มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างหลักเป็นอะโรมาติกส์พอลิเมอร์ (Aromatic polymer) ของสารฟีนอลิก (Phenolic compound) และมีหมู่ฟังก์ชันของเอมีน แอลดีไฮด์รวมอยู่ด้วย [1, 6] สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่และมีวงอะโรมาติกส์เป็นส่วนประกอบนี้มีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่และมีวงอะโรมาติกส์เป็นส่วนประกอบ และมีสภาพขั้วใกล้เคียงกัน เช่น สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกส์ [6] รวมถึงสี้อมซึ่งโครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วยวงอะโรมาติกส์ และเมื่อทำการปรับสภาพสารอินทรีย์ที่อยู่ภายในโครงสร้างของลีโอนาร์ไต์จะเกิดการแปรสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิสูงเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) [7] จะทำให้มีรูพรุน และสภาพขั้วที่เปลี่ยนแปลงเป็นผลให้ความสามารถในการดูดซับเปลี่ยนแปลงไปด้วย นอกจากนี้ลีโอนาร์ไต์ยังมีส่วนประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์ของยิบซัม (Gypsum) แคลไซต์ (Calcite) เกาลินไต์ (Kaolinite) มัสโคไวต์ (Muscovite) ควอตซ์ (Quartz) และไอรอน(II) ซัลไฟด์ (Iron(II) sulfide) [1] ซึ่งสามารถมีอันตรกิริยา (Interaction) กับสี้อมทำให้มีศักยภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีของดินแดงพบว่ามีแร่เคลย์ (Clay mineral) ของฮัลลอยไซต์ (Halloysite) และแร่เหล็กเป็นส่วนประกอบ [5] ดังนั้นลีโอนาร์ไต์และดินแดงซึ่งมีสารอินทรีย์และ/หรือสารอนินทรีย์นี้มีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นตัวดูดซับโดยตำแหน่งที่ว่องไวต่อการดูดซับอาจเป็นออกซิเจนที่พื้นผิวที่ต่อกับคาร์บอนซึ่งมีสมบัติเป็นกรดหรือเป็นเบส [8] หรือตำแหน่งที่ว่องไวต่อการดูดซับเป็นโลหะแทรนซิชันซึ่งอยู่บนตัวดูดซับ [9] หรือการดูดซับเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ตัวดูดซับมีรูพรุนขนาดเล็ก [10]

สารประกอบกลุ่มฟีนอล (Phenolic compounds) เป็นกลุ่มสารที่ถูกใช้มากในภาคเกษตรกรรมเช่น สารฆ่าแมลงสารปราบศัตรูพืชและในภาคอุตสาหกรรมเช่น สี้อม [11-12] การกำจัดที่ไม่ถูกวิธีทำให้สารประกอบฟีนอลส่วนหนึ่งปนเปื้อนเข้าสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตสารประกอบฟีนอลจัดเป็นสารเคมีอันตรายมีความเป็นพิษสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งฟีนอลสามารถแพร่เข้าสู่ร่างกายโดยผ่านการดูดซึมทางผิวหนังได้ทำให้เกิดอาการปวดหัวหน้ามืดหรือทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและตามอกจากนี้อุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งเป็นอุตสาหกรรมหลักที่สำคัญของประเทศไทยโดยในปีหนึ่งๆโรงงานฟอกย้อมจะใช้สี้อมผ้าเป็นจำนวนมาก [13] และมีการปล่อยน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสี้อมผ้าออกมาสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณที่มากตามไปด้วยเช่นกัน จนก่อให้เกิดปัญหาภาวะมลพิษและทัศนียภาพทางสิ่งแวดล้อม [14] นอกจากนี้สี้อมผ้าแทบทุกชนิด



มีส่วนประกอบที่เป็นพิษย่อยสลายตามธรรมชาติได้ยาก สีที่ปนเปื้อนลงไปในแหล่งน้ำยังมีผลบังคับการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนและพืชน้ำซึ่งมีผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศโดยตรง

กระบวนการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียทำได้โดยวิธีทางกายภาพเคมีและชีวภาพ[15]การใช้กระบวนการดูดซับ (Adsorption) เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีการนำมาใช้เทคโนโลยีนี้ประกอบด้วยตัวดูดซับ (Adsorbent) ที่ใช้เป็นตัวจับฟีนอลและสีย้อมที่ปนเปื้อนในน้ำเสียเทคโนโลยีนี้ไม่เพียงแต่มีประสิทธิภาพและมีค่าใช้จ่ายน้อยเท่านั้นแต่ยังเป็นกระบวนการที่เป็นมิตรต่อระบบนิเวศในธรรมชาติอีกด้วย [16] การศึกษากระบวนการดูดซับฟีนอลและสีย้อมสามารถทำได้โดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ เช่น ถ่านหิน ถ่านกัมมันต์ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (เช่น กะลามะพร้าว ชีลีเยอ แกลบ) ซีโอไลต์และเคลย์ [17-20] อย่างไรก็ตามการศึกษาถึงประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลและสีย้อมด้วยลิโอนาร์โดต์และดินแดงยังมีอยู่อย่างจำกัดดังนั้นในการวิจัยนี้จะทำการศึกษากำจัดฟีนอลและสีย้อมรวมถึงอินดิเคเตอร์ซึ่งใช้เป็นแบบจำลองของสีย้อมจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ รีแอกทีฟเรด พี8ปี, แอซิดบลู5อาร์, ไโดเรคต์สการ์เล็ต4บีเอส, คองโก เรด, และเมทิลออเรนจ์จากสารละลายโดยการใส่ลิโอนาร์โดต์และดินแดงที่ได้จากเหมืองแม่เมาะเป็นตัวดูดซับ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของการปรับสภาพลิโอนาร์โดต์ด้วยกระบวนการทางความร้อนต่อประสิทธิภาพการดูดซับอีกด้วย

2. วิธีการทดลอง

2.1. การปรับสภาพทางความร้อนด้วยกระบวนการคาร์บอนเซชัน (Carbonization)

ให้ความร้อนกับลิโอนาร์โดต์ที่อุณหภูมิ 300, 500, 700 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อวินาที ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในเตาเผาแล้วจึงนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น สารที่เตรียมได้ในขั้นตอนนี้เรียกว่า Leo (300), Leo (500), Leo (700) และ Leo (900) ตามลำดับ

2.2. การตรวจสอบบัติของตัวดูดซับด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

นำตัวอย่างประมาณ 50 มิลลิกรัม ใส่ภาชนะบรรจุ และนำมาวิเคราะห์หุ้่งฟังก์ชันตั้งแต่เลขคลื่น 4000-400 เซนติเมตร⁻¹

2.3. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ

2.3.1. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอล

เตรียมสารละลายฟีนอลความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายนี้จำนวน 50 มิลลิลิตร ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้เป็น 7 เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายฟีนอลความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ่ายสารละลายนี้จำนวน 200 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมตัวดูดซับจำนวน 0.10 กรัมปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง กรองเอาตัวดูดซับออก จากนั้นเจือจางสารละลายที่กรองได้จำนวน 10 เท่า โดยปรับพีเอชให้เป็น 7 วัดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฟีนอลด้วยเครื่องอูลตราไวโอเลตวิชิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 270 นาโนเมตร

2.3.2. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม

เตรียมสารละลายสีย้อมรวมถึงอินดิเคเตอร์ซึ่งใช้เป็นแบบจำลองของสีย้อมจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ รีแอกทีฟเรด พี8ปี, แอซิดบลู5อาร์, ไโดเรคต์สการ์เล็ต4บีเอส, คองโก เรด, และเมทิลออเรนจ์ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายนี้จำนวน 50 มิลลิลิตร ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้เป็น 7 เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายสีย้อมความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ่ายสารละลายนี้จำนวน 200 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมตัวดูดซับจำนวน 0.25 กรัมปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง กรองเอาตัวดูดซับออก จากนั้นเจือจางสารละลายที่กรองได้จำนวน 10 เท่า โดยปรับพีเอชให้เป็น 7 วัดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสีย้อมด้วยเครื่องอูลตราไวโอเลตวิชิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นสูงสุด (ขึ้นกับชนิดของสีย้อม)

2.3.3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับ

ภายหลังจากการทดสอบการดูดซับ และเจือจางสารละลายฟีนอลและสีย้อมจนมีความเข้มข้นที่เหมาะสม สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซับจากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับ} = \frac{[(C_0 - C_t) / C_0] \times 100}{1} \quad (1)$$

เมื่อ C_0, C_t คือ ความเข้มข้นของฟีนอลหรือสีย้อมก่อนและหลังจากการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร) และสามารถคำนวณค่าปริมาณฟีนอลหรือสีย้อมที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ (q_t) จากสมการ

$$q_t = \frac{[(C_0 - C_t)V]}{m} \quad (2)$$

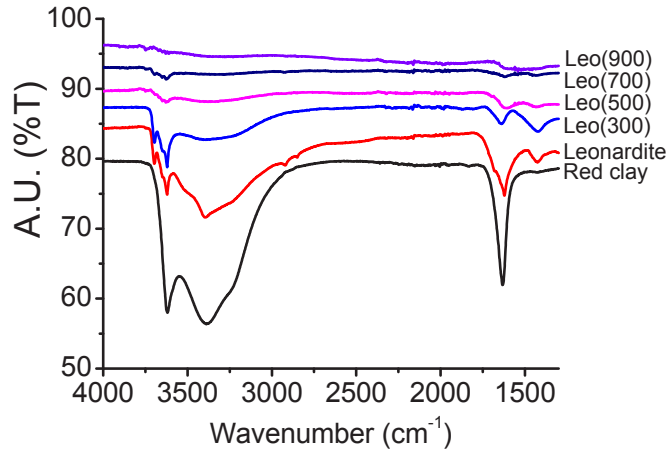
เมื่อ q_t คือ ปริมาณของฟีนอลหรือสีย้อมที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 C_0, C_t คือ ความเข้มข้นของฟีนอลหรือสีย้อมก่อนและหลังการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

- m คือ น้ำหนักของตัวดูดซับ (กรัม)
- V คือ ปริมาตรของสารละลายฟีนอลหรือสีย้อมที่ใช้ทดสอบการดูดซับ (ลิตร)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1. สมบัติของตัวดูดซับ

ผลการวิเคราะห์ตัวดูดซับด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1: สเปกตรากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของตัวดูดซับ

จากรูปที่ 1 พบว่าดินแดงให้พีคของการสั่นเนื่องจากพันธะของ O-H อย่างชัดเจนที่เลขคลื่น 3600-3200 เซนติเมตร⁻¹ และ 1630 เซนติเมตร⁻¹ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำที่ปนอยู่ในดินแดงรวมถึงหมู่ไฮดรอกซิลของเหล็ก(Fe-OH) และซิลิกอน (Si-OH) ที่อยู่ในดินแดง ในขณะที่ลิโอนาร์ไต์ให้พีคการสั่นของพันธะ O-H ที่เลขคลื่นใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบพีคของการสั่นที่เลขคลื่น 2930 และ 2870 เซนติเมตร⁻¹ ซึ่งแสดงการสั่นแบบยืดของพันธะ C-H ที่เลขคลื่น 1665 เซนติเมตร⁻¹ ซึ่งแสดงการสั่นแบบยืดของพันธะ C=O และที่เลขคลื่น 1640 และ 1430 เซนติเมตร⁻¹ ซึ่งแสดงการสั่นแบบยืดของพันธะ C=C ในวงอะโรมาติกส์ แสดงว่าลิโอนาร์ไต์มีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบ สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้อันที่รายงานว่าลิโอนาร์ไต์ในธรรมชาติมีกรดฮิวมิคกรดฟุลวิกควิมินปนอยู่[3] เมื่อทำการปรับสภาพทางความร้อนด้วยกระบวนการคาร์บไนเซชันพบว่าพีคของการสั่นเหล่านี้ลดลง แสดงว่าสารอินทรีย์ที่อยู่ในลิโอนาร์ไต์เกิดการสลายตัวทางความร้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 700 องศาเซลเซียสขึ้นไป

3.2. ประสิทธิภาพในการดูดซับ

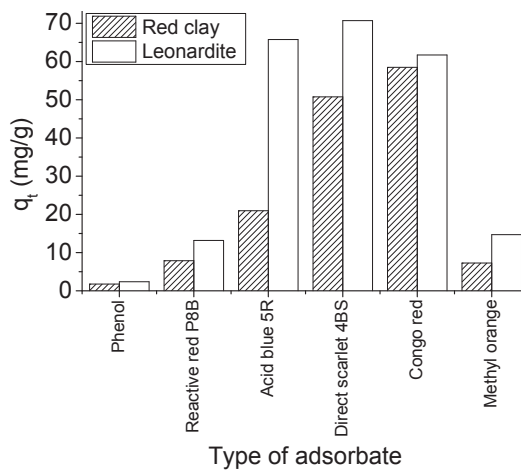
เมื่อนำดินแดงและลิโอนาร์ไต์มาศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของฟีนอลและสีย้อมรวมถึงอินดิเคเตอร์ซึ่งใช้เป็นแบบจำลองของสีย้อมซึ่งแสดงโครงสร้างดังตารางที่ 1 และเมื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของดินแดงและลิโอนาร์ไต์ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 พบว่าดินแดงให้ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลและสีย้อมทั้ง 5 ชนิดต่ำกว่าลิโอนาร์ไต์ทั้งนี้อาจเนื่องจากลิโอนาร์ไต์มีส่วนประกอบเป็นสารอินทรีย์ได้แก่ กรดฮิวมิคกรดฟุลวิกควิมินซึ่งสารเหล่านี้มีสภาพขั้วใกล้เคียงกับฟีนอลและสีย้อมทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างสารอินทรีย์ในส่วนประกอบของลิโอนาร์ไต์และสารอินทรีย์ในสารละลาย (ฟีนอลและสีย้อม) ทำให้เกิดการดูดซับได้ดีขึ้น ส่วนในกรณีของดินแดงอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นกับฟีนอลและสีย้อมอาจเกิดขึ้นเนื่องจากแร่ธาตุ เช่น เหล็กซึ่งเป็นส่วนประกอบในดินแดง

ตารางที่ 1 โครงสร้างของสารที่ใช้เป็นแบบจำลองในการดูดซับ

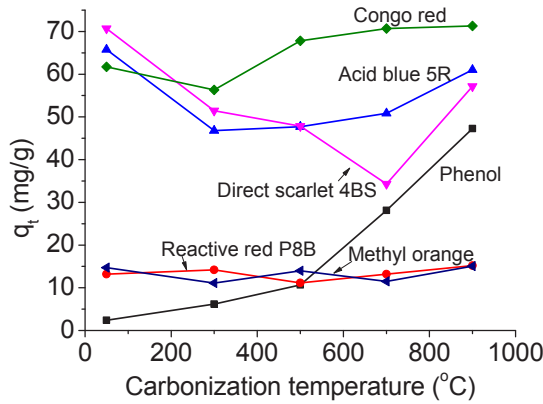
สาร	สูตรโครงสร้าง
รีแอกทีฟเรด พี8บี [9]	

<p>แอซิด บลู5อาร์ [21]</p>	
<p>ไดเรกต์สการ์เล็ต 4บีเอส [22]</p>	
<p>คองโกเรด [23]</p>	
<p>เมทิลออเรนจ์ [24]</p>	



รูปที่ 2: เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของดินแดงและลีโอนาร์ไดต์

เมื่อนำลีโอนาร์ไดต์มาปรับสภาพทางความร้อนด้วยกระบวนการคาร์โบไนเซชันที่อุณหภูมิ 300-900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมงและนำมาศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับให้ผลการทดลองดังรูปที่ 3



รูปที่ 3: อุณหภูมิของการคาร์บอนเซชันต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

จากรูปที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบการใช้ลิโอรินาไรด์ที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนกับลิโอรินาไรด์ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 300, 500, 700 และ 900 องศาเซลเซียสพบว่าลิโอรินาไรด์ที่ได้รับการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะให้ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลสูงขึ้น ส่วนในกรณีของการดูดซับรีแอคทีฟพี8บี, และเมทิลออเรนจ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการปรับสภาพทางความร้อนไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการดูดซับมากนัก แต่ในกรณีของการดูดซับแอซิดบลู5อาร์, โดเรคต์สการ์เลต4บีเอส, และคองโก เรดการปรับสภาพทางความร้อนส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโดยประสิทธิภาพในการดูดซับมีทั้งสูงขึ้นและลดต่ำลงขึ้นกับชนิดของสีย้อม ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพผิวและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ[25] โดยการปรับสภาพทางความร้อนจะทำให้หมู่ฟังก์ชันที่เคยเป็นตำแหน่งที่ว่างไว้ในกระบวนการดูดซับ (Adsorption site) เช่นคาร์บอกซิลิก แอนไฮไดรด์ (Carboxylic anhydride) แลกลาทอน (Lactone) หรือแลกลาทอล (Lactol) [8] ลดต่ำลงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของลิโอรินาไรด์ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับลิโอรินาไรด์ที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะช่วยกำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายในลิโอรินาไรด์รวมถึงกระตุ้นสารอินทรีย์ที่อยู่ในลิโอรินาไรด์ให้เปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ทำให้พื้นที่ผิวของลิโอรินาไรด์ภายหลังการปรับสภาพทางความร้อนมีค่าสูงขึ้น และส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับของลิโอรินาไรด์ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ด้วยอิทธิพลของปัจจัยทั้งสองนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของลิโอรินาไรด์ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันมีค่าแตกต่างไปจากเดิม

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำลิโอรินาไรด์และดินแดงมาใช้ในการดูดซับฟีนอลและสีย้อมรวมถึงอินดิเคเตอร์ซึ่งใช้เป็นแบบจำลองของสีย้อม ซึ่งลิโอรินาไรด์ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลและสีย้อมจากสารละลายสูงกว่าดินแดง ในขณะที่เมื่อนำลิโอรินาไรด์มาปรับสภาพทางความร้อนด้วยกระบวนการคาร์บอนเซชันพบว่าให้ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลสูงขึ้น แต่ในกรณีของการดูดซับสีย้อมมีทั้งให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงขึ้นและลดต่ำลงขึ้นกับชนิดของสีย้อมเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพผิวและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยตามโครงการความร่วมมือระหว่างกรมไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) (สัญญาเลขที่ RDG57D0001)

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิวัฒน์ไธโรกุล, พลยุทธศุขสมิติ,จินดารัตน์โตกมลธรรม,2552,“ การเตรียมสารประกอบเกลือฮิวเมตจากดินปนถ่านหินจากเหมืองลิกไนต์แม่เมาะจังหวัดลำปาง”,
www.dpim.go.th/articles/article?catid=128&articleid=701 [5 สิงหาคม 2557].
- [2] SutisaPinitpaitoon, 2012,“Enhancing Productivity of Red Clay Soil for Maize Cropping byOrganic Fertilizer Application in Combination with Mineral Fertilizers”,Graduate School, Kasetsart University.
- [3] วิวัฒน์ไธโรกุล, 2550,“ดินปนถ่านหินเพื่อการเกษตรกรรม”,
www.dpim.go.th/purchase/article?catid=128&articleid=2011[5 สิงหาคม 2557].



- [4] Lao, C., Zeledo'n, Z., Gamisans, X., Sole', M., 2005, "Sorption of Cd(II) and Pb(II) from Aqueous Solutions by a Low-rank Coal (Leonardite)", Separation and Purification Technology, 45, 79-85.
- [5] Santana Tantiwit, 2011, "Arsenic Removal from Gold Mine Water by Using Red Clay as Adsorbent", Graduate School, Chiang Mai University.
- [6] Zeledo'n, Z., Lao, C., Xavier, F., Sole, M., 2007, "Removal of PAHs from Water Using an Immature Coal (Leonardite)", Chemosphere, 67, 505-512
- [7] Young, B.C., Olson, E.S., Knudson, C.L., Timpe, R.C., "Activated Carbons from North Dakota Lignite and Leonardite", web.anl.gov/PCS/acsfuel/preprint%20archive/Files/40_2_ANAHEIM_04-95_0280.pdf [5 August 2014].
- [8] Boehm, H.P., 2002, "Surface Oxides on Carbon and Their Analysis: A Critical Assessment", Carbon 40, 145-149.
- [9] Peter, H., Roger, F.S., Christopher, R.L., 1984, "Studies on the Nature of Transition-metal-ion-Mediated Binding of Triazine Dyes to Enzymes", European Journal of Biochemistry, 144, 135-142.
- [10] Pan, B., Xing, B., 2008, "Adsorption Mechanisms of Organic Chemicals on Carbon Nanotubes", Environmental Science & Technology, 42(24), 9005-9013.
- [11] Wu, Y., Taylor, K.E., Biswas, N., Bewtra, J.A., 1997, "Comparison of Additive in the Remove of Phenol Compound by Peroxidase-catalyzed Polymerization", Water Research, 31, 2699-2704.
- [12] Caza, N., Bewtra, J.A., Biswas, N., Taylor, K.E., 1998, "Removal of Phenolic Compounds from Synthetic Wastewater Using Soybean Peroxidase", Water Research, 33, 3012-3018.
- [13] สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2555, "สถานการณ์สิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มไทย ปี 2554", www.thaitextile.org/main/index_t.php [5 สิงหาคม 2557].
- [14] ระบบเครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย, 2555, "ปัญหามลพิษจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ", teenet.tei.or.th/Knowledge/weave2.html. [5 สิงหาคม 2557].
- [15] เกียรติศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2550, วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [16] เตชา ฉัตรศิริเวช, 2552, กระบวนการดูดซับ, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [17] Mall, I.D., Srivastava, V.C., Agarwall, N.K., and Mishra, I.M., 2005, "Removal of Congo Red from Aqueous Solution by Bagasse Fly Ash and Activated Carbon: Kinetic Study and Equilibrium Isotherm Analysis", Chemosphere, 61, 492-501.
- [18] Dogan, M., Alkan, M., Onguner, Y., 2000, "Adsorption of Methylene Blue on Perlite from Aqueous Solutions", Water, Air, and Soil Pollution, 120, 229-248.
- [19] Ozacar, M., Sengil, I.A., 2005, "A Kinetic Study of Metal Complex Dye Sorption onto Pine Sawdust", Process Biochemistry, 40, 565-572.
- [20] Annadurai, G., Juang, R.S., Lee, D.J., 2002, "Use of Cellulose-based Wastes for Adsorption of Dyes from Aqueous Solutions", Journal of Hazardous Materials, 92, 263-274.
- [21] Mehdi, S.S., Seyed, J.J., Omid, G., Imsoon, K., Seung-Mok, L., Jae-Kyu, Y., 2014, "Removal of Acid Blue 113 and Reactive Black 5 Dye from Aqueous Solutions by Activated Red Mud", Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 20, 1432-1437.
- [22] Yuman, L., Zuliang, C., Mallavarapu, M., Ravendra, N., 2012, "Degradation of Scarlet 4BS in Aqueous Solution Using Bimetallic Fe/Ni Nanoparticles", Journal of Colloid and Interface Science, 381, 30-35.
- [23] Asma, M., Mohamed, F.N., Ammar, H., 2014, "Doping Level Effect on Visible-light Irradiation W-doped TiO₂-anatase Photocatalysts for Congo Red Photodegradation", Comptes Rendus Chimie, 17, 818-823.
- [24] Nidhi, G., Bonamali, P., 2014, "Core-shell Structure of Metal Loaded CdS-SiO₂ Hybrid Nanocomposites for Complete Photomineralization of Methyl Orange by Visible Light", Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 391, 158-167.
- [25] Wenjin, Y., Dingcai, W., Ruowen, F., 2008, "Effect of Surface Chemistry on the Adsorption of Basic Dyes on Carbon Aerogels", Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 312, 118-124.