

การดูดซับน้ำมันหล่อเย็นจากกระบวนการตัดกลึงโลหะโดยใช้ขานอ้อยดัดแปร เป็นตัวดูดซับ

Adsorption of Cutting Fluid from Turning Process by Using Modified Sugarcane Bagasse as Adsorbent

อัญธิกา ประนันตดา¹ วรัญญา แชมป์ปรีชา¹ และโกวิท ปิยะมงคล^{2*}

¹นักศึกษาปริญญาตรี ²รองศาสตราจารย์

ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

Antika Pranudta¹ Waranya Champreecha¹ Kowit Piyamongkala^{2*}

¹Undergraduate, ²Associate Professor

Department of Industrial Chemistry, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of
Technology North Bangkok, 1518 Prachrat 1 Road, Wongsawang, Bangsue, Bangkok, 10800

*Corresponding author: Email: kowit.p@sci.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

ขานอ้อยดัดแปรนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสำหรับกำจัดน้ำมันหล่อเย็นจากกระบวนการตัดกลึงโลหะ ทำการศึกษาผล ปริมาณตัวดูดซับและความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น โดยการทดลองแบบแบตช์ พบว่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของขาน อ้อยดัดแปร มีค่าเท่ากับ pH 1.6 การเพิ่มปริมาณขานอ้อยดัดแปรและความเข้มข้นเริ่มต้นน้ำมันหล่อเย็น มีผลทำให้ร้อยละการดูดซับและความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น ตามลำดับ ความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 501.7 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อใช้ขานอ้อยดัดแปรปริมาณ 5.0 กรัม และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 49,797 มิลลิกรัมต่อลิตร สมดุลการดูดซับสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์มากกว่าสมการฟรุนดลิช การดูดซับน้ำเสียจริง ปริมาตร 1 ลิตร ให้ได้ร้อยละ 100 ใช้ขานอ้อยดัดแปรปริมาณ 0.24 กรัม

คำสำคัญ: การดูดซับ น้ำมันหล่อเย็น ขานอ้อยดัดแปร แลงเมียร์

ABSTRACT

The modified sugarcane bagasse was used as an adsorbent for eliminate of cutting fluid from turning process. The effects of mass of adsorbent and initial concentration of cutting fluid were thoroughly investigated in batch adsorption systems. It was found that the point of zero charge of modified sugarcane bagasse was pH 1.6. Increasing in mass of adsorbents and initial cutting fluid concentrations increased the percent adsorption and adsorption capacity, respectively. The highest adsorption capacity, 501.7 mg/ g, was obtained at 5.0 g and 49,797 mg/ L for mass of modified sugarcane bagasse and initial concentration of cutting fluid, respectively. The Langmuir adsorption

was rather fitted for describing the isotherm than Freundlich model. Batch designs of modified sugarcane bagasse for removal 100% of turning process wastewater amount 1 L was 0.24 g.

Keyword: Adsorption, Cutting Fluid, Modified Sugarcane Bagasse, Langmuir.

1. บทนำ

การตัดกลึงชิ้นรูปโลหะในงานอุตสาหกรรมมีการใช้ไบมิดเพื่อเจาะชิ้นงานให้เกิดรูและเฉือนเนื้อโลหะเพื่อให้ได้ชิ้นงานมีรูปร่างตามที่ออกแบบไว้ หากการระบายความร้อนระหว่างไบมิดและชิ้นงานทำได้ไม่ดี จะทำให้เกิดความร้อนสะสมที่ไบมิดและชิ้นงาน เป็นผลให้ไบมิดสูญเสียความแข็งแรงและสึกหรอ ชิ้นงานมีผิวไม่เรียบ ขนาดของรูที่เจาะมีการบิดเบี้ยว ในการตัดกลึงชิ้นรูปโลหะจึงต้องมีการใช้น้ำมันหล่อเย็น (Cutting fluid) เพื่อทำหน้าที่ระบายความร้อน ลดแรงเสียดทานและยังช่วยในการนำเศษชิ้นโลหะออกจากชิ้นงาน ส่งผลให้ยืดอายุการใช้งานของไบมิด ผิวชิ้นงานมีความเรียบสม่ำเสมอ ไม่สูญเสียรูปทรง [1] น้ำมันหล่อเย็นที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมมี 2 ชนิดได้แก่ น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำและน้ำมันหล่อเย็นชนิดไม่ผสมน้ำ โรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถตัดชิ้นงานได้ด้วยความเร็วรอบสูง ทำให้ได้ผลผลิตมากขึ้นนอกจากนั้นยังมีราคาถูก น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำมีองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่เป็นน้ำมันแร่ ทำหน้าที่ลดการสึกหรอและลดแรงเสียดทาน กรดไขมันทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ สารป้องกันการกัดกร่อน สารต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบส สารป้องกันการเกิดฟองอากาศและสารป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย [2]

การบำบัดน้ำมันหล่อเย็นสามารถทำได้หลากหลายกระบวนการ ได้แก่กระบวนการทางกายภาพ ทำโดยการระเหยนํ้าออกจากน้ำมันหล่อเย็น การแยกโดยใช้เยื่อแผ่น การแยกโดยการดูดซับ กระบวนการทางเคมี ทำโดยการเติมสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เพื่อทำลายเสถียรภาพของน้ำมันหล่อเย็น การใช้สารเคมีร่วมกับความร้อนที่อุณหภูมิสูง กระบวนการทางชีวภาพ ทำโดยใช้แบคทีเรียทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน [3]

แต่ละวิธีที่กล่าวมาสามารถบำบัดน้ำมันหล่อเย็นได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่ก็มีข้อจำกัดและข้อเสียได้แก่ การใช้ความร้อนต้องทำที่อุณหภูมิสูงทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน การใช้เยื่อแผ่นมีปัญหาการอุดตันของน้ำมันหล่อเย็นบนผิวเยื่อแผ่น ทำให้นํ้าที่ผ่านเยื่อแผ่นลดลงและต้องใช้สารเคมีล้างทำความสะอาด การทำลายเสถียรภาพของน้ำมันหล่อเย็นโดยใช้สารเคมี พบปัญหาในเรื่องจะต้องบำบัดน้ำมันหล่อเย็นที่ลอยอยู่บริเวณผิวด้านบน การใช้แบคทีเรียพบปัญหาในเรื่องระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดยาวนานมาก ในขณะทำการดูดซับเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถบำบัดน้ำมันหล่อเย็น มีข้อดีได้แก่ มีการทำงานที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ไม่มีปัญหาเรื่องการลอยตัวของน้ำมันหล่อเย็น ไม่ต้องใช้สารเคมีล้างทำความสะอาดน้ำมันหล่อเย็นที่อยู่บนตัวดูดซับ ทำได้สะดวกและใช้เวลาสั้น [4]

ตัวดูดซับที่มีการวิจัยสำหรับนำมาใช้บำบัดน้ำมันหล่อเย็นมีหลากหลายชนิดได้แก่ ถ่านหิน [5] โคลไรต์ดัดแปร [6] ไคโตซานดัดแปร [7] ซิลิเอดดัดแปร [8] ดินเปรี้ยวสังเคราะห์ [9]

ขานอ้อย (Sugarcane bagasse) เป็นส่วนของลำต้นอ้อยที่หีบเอานํ้าอ้อยหรือนํ้าตาลออกแล้ว เป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตนํ้าตาล ขานอ้อยเปียกมีความชื้นร้อยละ 48 ประกอบด้วยขานอ้อยหรือไฟเบอร์ร้อยละ 48.5 นํ้าร้อยละ 48.0 นํ้าตาลร้อยละ 3.0 และสารประกอบอื่นๆ ร้อยละ 0.5 ขานอ้อยมีองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ขานอ้อยเป็นวัสดุที่ไม่ละลายในนํ้า มีขนาดเล็ก มีความต้านทานต่อสารเคมีและรับแรงกระแทกได้ดี จึงมีการศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้ประโยชน์จากขานอ้อยเป็นตัวดูดซับสีย้อมและโลหะหนัก [10, 11]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีความสนใจที่จะนำชานอ้อยที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำตาล มาปรับสภาพด้วยกรด ให้เป็นชานอ้อยดัดแปร ใช้เป็นตัวดูดซับน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำ ทำให้เพิ่มทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียและลดปัญหาการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำในแหล่งน้ำ

1. วัสดุ-อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1.1 การเตรียมตัวดูดซับ

ชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล (อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์) นำมาตากแดดเป็นเวลา 3 วัน ได้ชานอ้อยแห้ง นำชานอ้อยแห้งมาร่อนด้วยตะแกรงหยาบ เก็บส่วนที่ผ่านตะแกรงไปอบในตู้อบ (Binder; Model FD 53) ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้ชานอ้อยอบแห้ง (SB) จากนั้นนำชานอ้อยอบแห้งปริมาณ 30 กรัม มาทำการดัดแปรกับกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4 , AR Grade, Ajax Finechem) ความเข้มข้น 2.0 โมลาร์ ปริมาณ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร กวนโดยใช้เครื่องกวน (IKA; Model: RW 16) ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง กรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman) นำไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 3 วัน ได้ชานอ้อยดัดแปร (MSB) ใช้เป็นตัวดูดซับน้ำมันหล่อเย็นชานอ้อยและชานอ้อยดัดแปร นำมาวิเคราะห์หาปริมาณรูพรุน พื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุน (BET Japan; Model: BELSORP-mini) พบว่าปริมาณรูพรุน พื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุน ของชานอ้อยมีค่าเท่ากับ 5.17×10^{-3} ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม 5.15×10^{-1} ตารางเมตรต่อกรัม และ 40.12 นาโนเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ชานอ้อยดัดแปรมีค่าเท่ากับ 3.53×10^{-3} ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม 6.47×10^{-2} ตารางเมตรต่อกรัม และ 218.21 นาโนเมตร ตามลำดับ

1.2 การเตรียมน้ำมันหล่อเย็น

น้ำมันหล่อเย็นจากบริษัท Rifle Brand Trade Mark เกรดเชิงพาณิชย์ (ใช้งานในกระบวนการตัดกลึงโลหะทั่วไป) เป็นชนิดผสมน้ำ ก่อนการใช้งานเป็นของเหลวสีน้ำตาล มีความหนืดเล็กน้อย นำมาผสมน้ำและกวนโดย

เครื่องกวนที่ความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที เพื่อให้ฟองอากาศหายไป น้ำมันหล่อเย็นที่ได้จะอยู่ในลักษณะอิมัลชัน มีสีขาวขุ่น น้ำเสียจริงนำมาจากสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ด้านบนเป็นน้ำมันหล่อเย็น มีสีน้ำตาลเข้ม ด้านล่างเป็นน้ำมันหล่อเย็น มีสีดำนวน สีภายนอกของน้ำมันหล่อเย็นและน้ำเสียจริง แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะของน้ำมันหล่อเย็นและน้ำเสียจริง

1.3 การหาประจุที่ผิวเป็นศูนย์

ประจุที่ผิวเป็นศูนย์ (Point of zero charge, pH_{PZC}) ดำเนินการโดยวิธี pH-drift method [12] ทำโดยใช้น้ำปราศจากไอออน เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl , AR Grade, BDH) ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปรับความเป็นกรด-เบสให้อยู่ในช่วงระหว่าง pH 3.0-12.0 ด้วยสารละลายกรดไนตริก (HNO_3 , AR Grade, J.T.Baker) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH , AR Grade, BDH) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ วัดความเป็นกรด-เบส โดยใช้ pH มิเตอร์ (Eutech; Model pH 510) นำชานอ้อยและชานอ้อยดัดแปรปริมาณ 0.2 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ปิดปากขวดรูปชมพู่ในสนิทนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (UMAC Scientific; Model UM-S60) ที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที ใช้เวลา 48 ชั่วโมง กรองตัวดูดซับออก วัดความเป็นกรด-เบสภายหลังจากการเขย่าอีกครั้ง จากนั้นนำมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-เบสเริ่มต้น (pH)

และความเป็นกรด-เบสสุดท้าย (pH_f) โดยประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของตัวดูดซับหาได้จากเส้นความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นและความเป็นกรด-เบสสุดท้าย ตัดกับเส้นทะแยงมุม

1.4 ผลปริมาณตัวดูดซับ

นำขานอ้อยและขานอ้อยดัดแปรปริมาณ 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5.0 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำมันหล่อเย็นความเข้มข้นเริ่มต้น 49,797 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเขย่า ที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที โดยใช้เวลา 300 นาที วัดความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นที่เหลือ ด้วย Spectrophotometer (UV-VIS Spectrophotometer, Thermo electron, Model: Spectronic Genesys 20) ที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร นำผลจากการดูดกลืนแสงมาเทียบกับกราฟมาตรฐาน อ่านเป็นความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นที่เหลือภายหลังการดูดซับ คำนวณหาร้อยละการดูดซับตามสมการที่ (1)

$$\text{Percent adsorption} = \left(\frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ C_0 หมายถึงความเข้มข้นเริ่มต้นน้ำมันหล่อเย็น (มิลลิกรัมต่อลิตร) และ C_e หมายถึงความเข้มข้นน้ำมันหล่อเย็นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

1.5 ผลความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น

นำขานอ้อยดัดแปรปริมาณ 5.0 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำมันหล่อเย็นความเข้มข้นเริ่มต้น 9,996, 18,500, 41,408 และ 49,797 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในขวดรูปชมพู่ นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อเย็นที่เหลืออยู่ตามช่วงเวลาที่กำหนด นำมาวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Spectronic 21 ที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น ตามสมการที่ (2)

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{W} \quad (2)$$

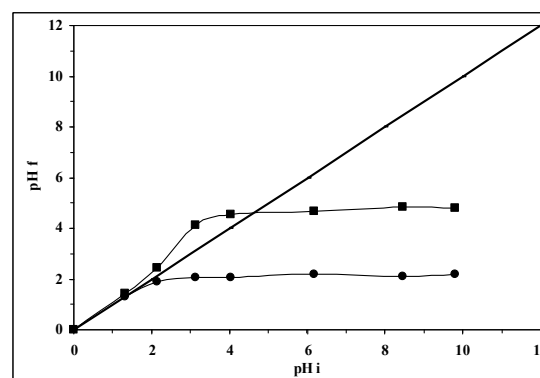
เมื่อ q_t หมายถึงความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นที่เวลาใด ๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม) C_t หมายถึงความเข้มข้นน้ำมันหล่อเย็นที่เวลาใด ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร) V หมายถึงปริมาตรน้ำมันหล่อเย็น (ลิตร) และ W หมายถึงปริมาณขานอ้อยดัดแปร (กรัม)

2. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

2.1 ประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของตัวดูดซับ

ประจุที่ผิวเป็นศูนย์ หมายถึงค่าความเป็นกรด-เบส ที่ทำให้ประจุที่ผิวของตัวดูดซับมีค่าเป็นกลาง หรือประจรวมที่ผิวมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อความเป็นกรด-เบส มีค่าน้อยกว่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ ประจุที่ผิวของตัวดูดซับจะมีค่าเป็นบวก ในทางตรงกันข้าม เมื่อความเป็นกรด-เบส มีค่ามากกว่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ แสดงว่าประจุที่ผิวของตัวดูดซับมีค่าเป็นลบ [13]

ประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของตัวดูดซับแสดงดังรูปที่ 2 พบว่าขานอ้อยและขานอ้อยดัดแปรมีประจุที่ผิวเป็นศูนย์เท่ากับ pH 4.6 และ 1.6 ตามลำดับ ขานอ้อยดัดแปรมีประจุที่ผิวเป็นศูนย์ที่ความเป็นกรด-เบส ต่ำกว่าขานอ้อย อธิบายได้ว่าขานอ้อยดัดแปรมีความเป็นประจุบวกมากกว่าขานอ้อย เนื่องจากมีไฮโดรเจนไอออนของกรดฟอสฟอริกมาเกาะอยู่บริเวณผิวขานอ้อยดัดแปร

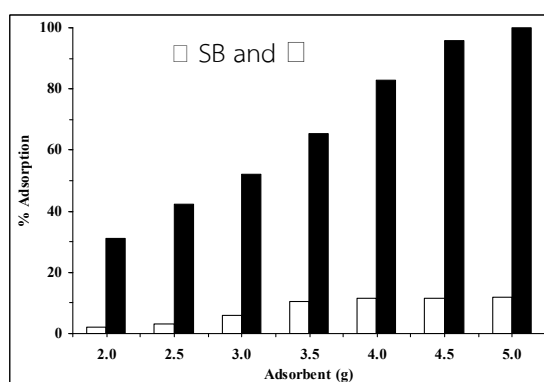


รูปที่ 2 ประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของ: □ SB และ □ MSB

2.2 ผลปริมาณตัวดูดซับ

ร้อยละการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นความเข้มข้นเริ่มต้น 49,797 มิลลิกรัมต่อลิตร ของขานอ้อยและขานอ้อยดัดแปร ปริมาณ 2.0-5.0 กรัม แสดงในรูปที่ 3 พบว่าที่

สภาวะสมดุล ขานอ้อยและขานอ้อยดัดแปรมีการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นเท่ากับร้อยละ 2.0-11.9 และ 31.2-98.1 ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับมีผลทำให้ร้อยละการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากตัวดูดซับมีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการใช้เถ้าแกลบดูดซับสีย้อม Indigo Carmine [14] ขานอ้อยดัดแปรปริมาณ 5.0 กรัม มีร้อยละการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นมากที่สุด สูงถึงร้อยละ 98.1 ดังนั้นจึงเลือกใช้ขานอ้อยดัดแปรปริมาณดังกล่าว ทำการศึกษาผลความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น



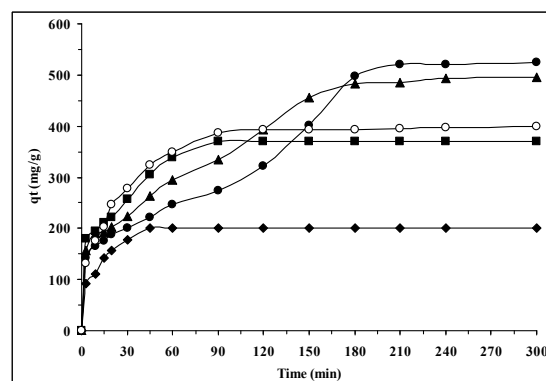
รูปที่ 3 ร้อยละการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ

ขานอ้อยเป็นชีวมวลจากธรรมชาติ มีหมู่ฟังก์ชันหลักได้แก่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl, OH⁻) [10] ขานอ้อยดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้ในปริมาณเล็กน้อย เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนที่ผิวของขานอ้อยมีปริมาณน้อย ดูดซับน้ำมันหล่อเย็นที่มีประจุผิวเป็นลบ [7] ได้ในปริมาณน้อย ในขณะที่ขานอ้อยดัดแปรมีไฮโดรเจนไอออนที่ผิวปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริก จึงสามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นที่มีประจุผิวเป็นลบได้ในปริมาณมาก ปฏิกิริยาการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (CF⁻) ของขานอ้อย (SB-OH) และขานอ้อยดัดแปร (SB-OH₂⁺) เขียนได้ดังสมการที่ (3-5)



2.3 ผลความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น

ผลการทดลองนำขานอ้อยดัดแปรปริมาณ 5.0 กรัม ดูดซับน้ำมันหล่อเย็นความเข้มข้นเริ่มต้น 9,996, 18,500, 41,408 และ 49,797 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าในช่วง 30 นาทีแรก ขานอ้อยดัดแปรมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นความสามารถในการดูดซับเกิดได้ช้าลง โดยมีสมดุลการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นเกิดขึ้นที่เวลา 45, 90, 180 และ 210 นาที ตามลำดับ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นเท่ากับ 177.8, 306.1, 455.8 และ 501.7 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นมีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นมีผลทำให้เกิดความแตกต่างความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นที่ผิวของตัวดูดซับกับอิมัลชัน (น้ำมันหล่อเย็นในน้ำ, Oil in water) เพิ่มสูงขึ้น เกิดแรงผลักดัน (Driving force) ที่มากขึ้น เป็นผลทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นเพิ่มสูงขึ้น ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับวิฑูรย์ กิตติถาวร และคณะ ศึกษาการใช้ดินเปรี้ยวสังเคราะห์ดูดซับน้ำมันหล่อเย็น [9]



รูปที่ 4 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นที่ความเข้มข้นเริ่มต้น: 9,996, □ 18,500, □ 41,408, □ 49,797 mg/L และ □ น้ำเสียจริง (27,787 mg/L)

ผลการใช้ขานอ้อยดัดแปรปริมาณ 5.0 กรัม ดูดซับน้ำเสียจริงจากกระบวนการตัดกลึงโลหะ แสดงในรูปที่ 4 พบว่าในช่วง 30 นาทีแรก ขานอ้อยดัดแปรมีความสามารถในการดูดซับน้ำเสียจริงเท่ากับ 278.4

มิลลิกรัมต่อกรัม หลังจากนั้นความสามารถในการดูดซับ
เกิดได้ช้าลง สมดุลการดูดซับเกิดขึ้นที่เวลา 90 นาที มี
ความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 392.4 มิลลิกรัมต่อกรัม

2.4 สมดุลการดูดซับ

ไอโซเทอมการดูดซับใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง
ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นที่เหลืออยู่ที่สภาวะสมดุล
กับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของชานอ้อย
ตัดแปร ที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอมการดูดซับและสมการ
เส้นตรงการดูดซับแบบแลงเมียร์ เขียนได้ดังสมการที่ (6)
และ (7) ตามลำดับ [15]

$$q_{e,cal} = \frac{a_{m,L} C_e}{1 + K_L C_e} \quad (6)$$

$$\frac{C_e}{q_{e,exp}} = \frac{K_L}{a_{m,L}} C_e + \frac{1}{a_{m,L}} \quad (7)$$

เมื่อ $q_{e,cal}$ หมายถึงความสามารถในการดูดซับที่
สภาวะสมดุลที่ได้จากการคำนวณ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 $q_{e,exp}$ หมายถึงความสามารถในการดูดซับที่สภาวะสมดุล
ที่ได้จากการทดลอง (มิลลิกรัมต่อกรัม) $a_{m,L}$ หมายถึง
ค่าคงที่แบบแลงเมียร์ (ลิตรต่อกรัม) และ K_L หมายถึง
ค่าคงที่การดูดซับแบบแลงเมียร์ (ลิตรต่อมิลลิกรัม)

นำสมการที่ (7) มาเขียนกราฟเส้นตรง แสดงในรูปที่
5 (ก) พบว่าชานอ้อยตัดแปรดูดซับน้ำมันหล่อเย็น มีค่า
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9968 คำนวนค่า
 $a_{m,L}$ และ K_L ได้เท่ากับ 0.22 ลิตรต่อกรัม และ 0.0004
ลิตรต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

กรณีใช้สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ ควร
คำนวณหาปัจจัยของการแยก หรือค่าตัวแปรที่สภาวะ
สมดุล (Separation factor or equilibrium
parameter, R_L) ซึ่งจะเป็นตัวบอกรูปร่างของไอโซเทอม
ว่าสอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับการดูดซับ ปัจจัยของ
การแยกคำนวณได้จากสมการ (8) [16]

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (8)$$

ผลที่ได้จากการคำนวณค่าปัจจัยของการแยกสามารถ
อธิบายได้ดังนี้ เมื่อ $R_L > 1$ หมายถึง Unfavorable หาก
 $R_L = 1$ หมายถึง Linear ในขณะที่ R_L มีค่าอยู่ระหว่าง 0-
1 หมายถึง Favorable และ $R_L = 0$ หมายถึง
Irreversible

ไอโซเทอมการดูดซับและสมการเส้นตรงการดูดซับ
แบบฟรุนดลิช เขียนได้ดังสมการที่ (9) และ (10) ตามลำดับ
[17]

$$q_{e,cal} = K_F C_e^{1/n} \quad (9)$$

$$\log q_{e,exp} = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F \quad (10)$$

เมื่อ K_F หมายถึงค่าคงที่ของฟรุนดลิช แสดงถึง
ความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)(ลิตรต่อ
มิลลิกรัม) $^{1/n}$ และ n หมายถึงค่าคงที่ของฟรุนดลิช ที่อธิบาย
ถึงความเข้มข้นของการดูดซับ (ไม่มีหน่วย)

สมการที่ (10) เมื่อนำมาเขียนกราฟเส้นตรงแสดงใน
รูปที่ 5 (ข) พบว่าชานอ้อยตัดแปรดูดซับน้ำมันหล่อเย็น มี
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9636 คำนวนค่าคงที่
 K_F และ $1/n$ ได้เท่ากับ 21.43 (มิลลิกรัมต่อกรัม)(ลิตรต่อ
มิลลิกรัม) $^{1/n}$ และ 0.31 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ความถูกต้องของไอโซเทอมพิจารณาจากค่า The
sum of the squares of the errors (SSE) และ Chi-
square (χ^2) เขียนได้ดังสมการที่ (11) และ (12)
ตามลำดับ [18]

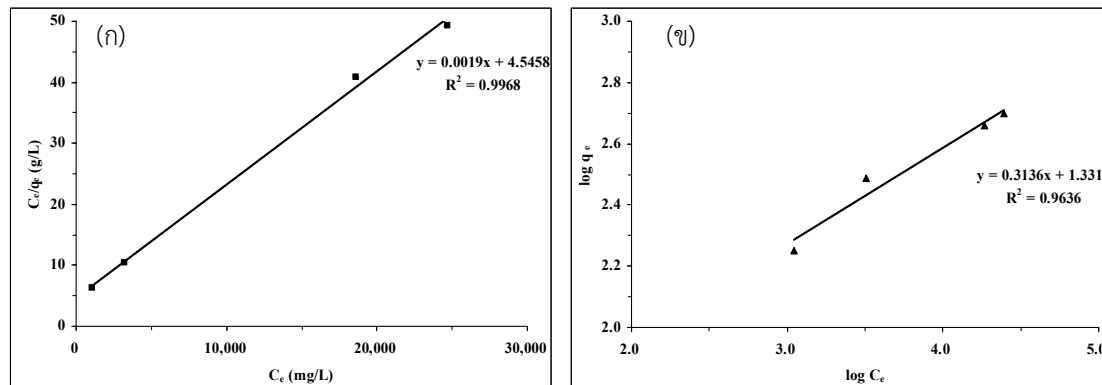
$$SSE = \sum (q_{e,cal} - q_{e,exp})^2 \quad (11)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(q_{e,exp} - q_{e,cal})^2}{q_{e,cal}} \quad (12)$$

คำนวณค่า SSE และ Chi-square ของสมการแลง
เมียร์มีค่าเท่ากับ 748.38 และ 2.03 ตามลำดับ ในขณะที่
สมการฟรุนดลิชมีค่าเท่ากับ 1835.24 และ 6.26 ตามลำดับ

ดังแสดงในตารางที่ 1 ในขณะเดียวกันความสามารถในการดูดซับที่คำนวณได้จากสมการแลงเมียร์มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองมากกว่าคำนวณจากสมการฟรุนดิชแสดงในรูปที่ 6 ดังนั้นสามารถอธิบายได้ว่า การดูดซับเกิดขึ้นจากแรงดึงดูดทางเคมี โมเลกุลตัวถูกดูดซับดูดติด

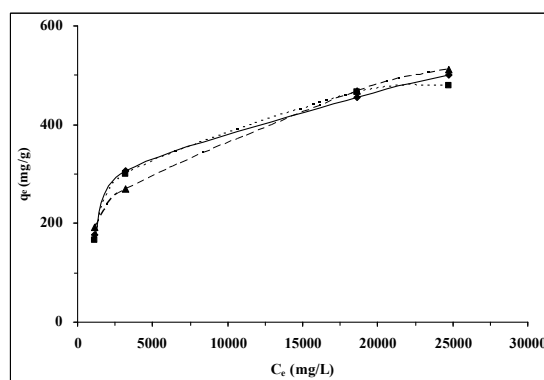
ผิวตัวดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียว [19] ผลการคำนวณค่าปัจจัยของการแยก เมื่อใช้สมการแลงเมียร์ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 แสดงให้เห็นว่า ขานอ้อยดัดแปรสามารถเกิดการดูดซับกับน้ำมันหล่อเย็นได้จริง



รูปที่ 5 ไอโซเทอมการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของขานอ้อยดัดแปร: (ก) แลงเมียร์ และ (ข) ฟรุนดิช

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์และฟรุนดิช

Concentration (mg/L)	$q_{e, \text{exp}}$	Langmuir isotherm						Freundlich isotherm				
		$a_{m, L}$	K_L	SSE	χ^2	R_L	$q_{e, \text{cal}}$	$1/n$	K_F	SSE	χ^2	$q_{e, \text{cal}}$
9,996	177.8	0.22	0.0004	748.38	2.03	0.19	166.3	0.31	21.43	1835.24	6.26	193.0
18,500	306.1					0.12	300.9					269.2
41,408	455.8					0.06	466.4					467.9
49,797	501.7					0.05	479.9					511.4



รูปที่ 6 ไอโซเทอมการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของขานอ้อยดัดแปร: □ ผลการทดลอง □ สมการแลงเมียร์ และ □

สมการฟรุนดิช

ข้อมูลจากไอโซเทอมการดูดซับนำมาใช้งานอีกครั้งสำหรับการออกแบบกระบวนการดูดซับแบบแบตช์ โดย

น้ำเสียจริงที่ต้องการกำจัดใช้สัญลักษณ์ V และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียจริงที่ต้องการกำจัดมีค่าจาก C_0 ถึง C_1 ให้ M เป็นปริมาณตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับน้ำเสียจริงเพิ่มสูงขึ้นจาก q_0 ถึง q_1 กระบวนการดูดซับในช่วงเริ่มต้นใช้ตัวดูดซับใหม่ เป็นผลให้ $q_0 = 0$ ในขณะที่กระบวนการดูดซับกำลังดำเนินการอยู่ ตัวถูกดูดซับที่อยู่ในอิมัลชันเคลื่อนที่มาเกาะอยู่บนผิวหน้าตัวดูดซับ สมดุลมวลของกระบวนการดูดซับนำเสนอโดย Vadivelan และ Vasanth Kumar [20] เขียนได้ดังสมการที่ (13)

$$V(C_0 - C_1) = M(q_0 - q_1) = Mq_1 \quad (13)$$

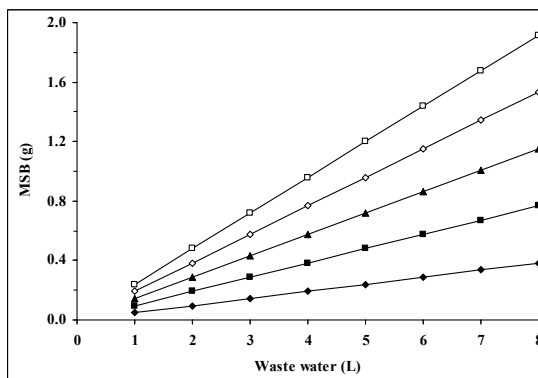
เมื่อกระบวนการดูดซับอยู่ในสภาวะสมดุล เขียนได้ดังสมการที่ (14)

$$C_1 \rightarrow C_e \text{ and } q_1 \rightarrow q_e \quad (14)$$

การดูดซับน้ำเสียจริงสำหรับขานอ้อยตัดแปร เมื่อนำไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์มาใช้อธิบาย ดังนั้นสมการที่ (13) จัดรูปใหม่และแทน q_1 ด้วยสมการที่ (6) เขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ (15)

$$\frac{M}{V} = \frac{(C_0 - C_e)}{q_{e,cal}} = \frac{(C_0 - C_e)}{\frac{0.22C_e}{1 + 0.0004C_e}} \quad (15)$$

สมการที่ (15) นำมาใช้คำนวณหาปริมาณตัวดูดซับที่ต้องใช้สำหรับการกำจัดน้ำเสียจริง ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าเมื่อต้องการกำจัดน้ำเสียจริงร้อยละ 100 ปริมาตร 1-8 ลิตร ต้องใช้ขานอ้อยตัดแปรปริมาณ 0.24-1.92 กรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมากสำหรับการกำจัดน้ำมันเสียจริง



รูปที่ 7 ปริมาณน้ำเสียจริงกับปริมาณขานอ้อยตัดแปรที่ต้องการกำจัดร้อยละ: □ 20, ◇ 40, △ 60, ○ 80 และ × 100

การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับและร้อยละการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นโดยใช้วัสดุหลากหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การดูดซับน้ำมันหล่อเย็นจากตัวดูดซับหลากหลายชนิด

ตัวดูดซับ	q_e (mg/g)	% Adsorption	เอกสารอ้างอิง
ถ่านหิน		96.9	[5]
โคโลไมร์ตัดแปร	1.2		[6]
โคโตซานตัดแปร	2500		[7]
ซีล้อยตัดแปร		99	[8]
ดินเปรี้ยวสังเคราะห์	84.4		[9]
ขานอ้อยตัดแปร	501.7		งานวิจัยนี้

3. สรุปผลการทดลอง

ขานอ้อยตัดแปรปริมาณ 5.0 กรัม ดูดซับน้ำมันหล่อเย็นและน้ำเสียจริงจากกระบวนการตัดกลึงโลหะ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 49,797 และ 27,787 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 501.7 และ 392.4 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สมดุลการดูดซับสอดคล้องกับสมการแบบแลงเมียร์ การดูดซับเกิดจากแรงทางเคมี บนผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว การดูดซับน้ำเสียจริงปริมาตร 1-8 ลิตร ให้ได้ร้อยละ 100 ใช้ขานอ้อยตัดแปรปริมาณเล็กน้อยเพียง 0.24-1.92 กรัม

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Z. Pawlak, B.E. Rauckyte, T. Rauckyte, G.P. Shpenkov and A. Kopkowski, "The tribochemical and micellar aspects of cutting fluid," Tribol. Int., vol. 38(1), pp. 1-4, January. 2005.
- [2] J.A. Anderson, B.R. Kim, S.A. Mueller and T.V. Lofton, "Composition and analysis of mineral oils and other organic compounds in metalworking and hydraulic fluids," Crit. Rev. Env. Sci. Tec., vol. 33(1), pp. 73-109, June. 2003.

- [3] C. Cheng, D. Phipps and R.M. Alkhaddar, "Treatment of spent metalworking fluids," *Water Res.*, vol. 39(17), pp. 4051–4063, October. 2005.
- [4] P. Daengbutdee, K. Kaew-in, R. Suttanan and K. Piyamongkala, "Adsorption of methylene blue dye by rice-husk in fixed-bed column," *The Journal of KMUTNB*, vol. 24 (2), pp. 399-408, May-August. 2014. (In Thai)
- [5] T. Viraraghavan and G. N. Mathavan, "Treatment of oil-in-water emulsions using peat," *Oil. Chem. Pollut.*, vol. 4(4), pp. 261-280, December. 1988.
- [6] C. Solisio, A. Lodi, A. Converti and M.D. Borghi, "Removal of exhausted oils by adsorption on mixed Ca and Mg oxides," *Water Res.*, vol. 36(4), pp. 899-904, February. 2002.
- [7] K. Piyamongkala, S. Pongstabodee and L. Mekasut, "Effluent cutting fluid removal on to chitosan and modified chitosan," *Macromol. Res.*, vol. 16 (6), pp. 492-502, August. 2008.
- [8] Á. Cambiella, E. Ortea, G. Ríos, J.M. Benito, C. Pazos and J. Coca, "Treatment of oil-in-water emulsion: Performance of a sawdust bed filter," *J. Hazard. Mater.*, vol. 131(1-3), pp. 195-199, April. 2006.
- [9] V. Kittithaworn, S. Aoonpoontarik and K. Piyamongkala, "Adsorption of cutting oil by synthetic acid soil," *The Journal of KMUTNB*, vol. 20 (2), pp. 266-277, May-August. 2010. (In Thai)
- [10] N.K. Amin, "Removal of reactive dye from aqueous solution by adsorption onto activated carbons prepared from sugarcane bagasse pith," *Desalination*, vol. 223(1-3), pp. 152-161, March. 2008.
- [11] Y. Jiang, H. Pang and B. Liao, "Removal of copper (II) ions from aqueous solution by modified bagasse," *J. Hazard. Mater.*, vol. 164(1), pp. 1-9, May. 2009.
- [12] J. Rivera-Utrill, I. Bautista-Toledo, M.A. Ferro-García and C. Moreno-Castilla, "Activated carbon surface modifications by adsorption of bacteria and their effect on aqueous lead adsorption," *J. Chem. Technol. Biot.*, vol. 76(12), pp. 1209-1215, December. 2001.
- [13] M.V. Lopez-Ramon, F. Stoeckli, C. Moreno-Castilla and F. Carrasco-Marin, "On the characterization of acidic and basic surface sites on carbons by various techniques," *Carbon*, vol. 37(8), pp. 1215-1221, January. 1999.
- [14] U.R. Lakshmi, V.C. Srivastava, I.D. Mall and D.H. Lataye, "Rice husk ash as an effective adsorbent: evaluation of adsorptive characteristics for indigo carmine dye," *J. Environ. Manage.*, vol. 90(2), pp. 710-720, February. 2009.
- [15] I. Langmuir, "Chemical reactions at low pressures," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 37(5), pp. 1139-1167, May. 1915.
- [16] A. Mittal, L. Kurup and J. Mittal, "Freundlich and Langmuir adsorption isotherms and kinetics for the removal of tartrazine from aqueous solutions using hen feathers," *J. Hazard. Mater.*, vol. 146(1-2), pp. 243-248, July. 2007.
- [17] L.D. Benefield, J.F. Judkins and B.L. Weand, *Process Chemistry for Water and*

- Wastewater Treatment*. New Jersey, Prentice-Hall, pp. 202-209, 1982.
- [18] M.C. Ncibi, "Applicability of some statistical tools to predict optimum adsorption isotherm after linear and non-linear regression analysis," *J. Hazard. Mater.*, vol. 153(1-2), pp. 207-212, May. 2008.
- [19] B. Crittenden and W.J. Thomas, *Adsorption Technology & Design*. Oxford, Butterworth-Heinemann, pp. 38-39, 1998.
- [20] V. Vadivelan and K. Vasanth Kumar, "Equilibrium, kinetics, mechanism, and process design for the sorption of methylene blue onto rice husk," *J. Colloid. Interf. Sci.*, vol. 286(1), pp. 90-100, June. 2005.