

## ความสามารถในการดูดซับลิกนินด้วยเถ้าลอยชานอ้อย

## THE ABILITY TO BAGASSE FLY ASH AS AN ADSORBENT LIGNIN

ฐิตินันท์ ป้องนาม<sup>1</sup>, วรวิทย์ โพธิ์จันทร์<sup>2</sup> และ อนุชาติ ลีอนันต์ศักดิ์ศิริ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, 150 ถ.ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000, Beeronze@gmail.com

<sup>2,3</sup>อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 199/19 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อำเภอเมือง จ.ขอนแก่น 40000, <sup>2</sup>Worawit.Pho@neu.ac.th, <sup>3</sup>Anuchat.lee@neu.ac.th

Thitinun Pongnam<sup>1</sup>, Worawit Phojan<sup>2</sup> and Anuchat Leeanunsaksiri<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Lecturer, Department of Civil Technology Education, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen campus, 150 Sri Chant Rd, Amphoe Mueang Khon Kaen, Khon Kaen 40000, Thailand, Beeronze@gmail.com

<sup>2,3</sup>Lecturer, Department of civil engineering, Faculty of engineering, North Eastern University, 199/9 Mittraphap Rd, Amphoe Mueang Khon Kaen, Khon Kaen 40000, Thailand, <sup>2</sup>Worawit.Pho@neu.ac.th, <sup>3</sup>Anuchat.lee@neu.ac.th

## บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับลิกนินที่ปนเปื้อนในตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษโดยใช้เถ้าลอยชานอ้อย ซึ่งตัวอย่างน้ำทิ้งที่นำมาศึกษามีคุณสมบัติหลักคือ มีสีน้ำตาลเข้ม เป็นผลมาจากสารลิกนิน แทนนิน ฮิวมิก และฟุลวิกที่ปะปนอยู่ในน้ำทิ้ง ซึ่งสารต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้น้ำทิ้งมีความเข้มของสีที่เกินมาตรฐาน โดยทำการทดสอบหาไอโซเทอร์มการดูดซับตามสมการของ Langmuir และ Freundlich's และวิเคราะห์การดูดซับโดยใช้ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy ผลการทดสอบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ของสมการ Langmuir และ Freundlich's มีค่า 0.94 และ 0.97 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า  $1/n$  พบว่ามีค่ามากกว่า 1 หมายถึงตัวดูดซับสามารถดูดซับตัวถูกดูดซับไว้ในพื้นผิวได้มาก และค่า  $q_m$  มีค่าติดลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทดสอบครั้งนี้สมการของ Langmuir ไม่เป็นจริง และผลการวิเคราะห์การดูดซับโดยใช้ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy พบว่าความเข้มแสงของน้ำทิ้งที่ถูกดูดซับด้วยเถ้าลอยชานอ้อยมีแนวโน้มลดลง จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า

ถ้าลอยชานอ้อยสามารถดูดซับลิกนินในน้ำทิ้งได้ และพฤติกรรมดูดซับเป็นพฤติกรรมดูดซับที่มีแนวโน้มที่มีลักษณะทางกายภาพตามแบบไอโซเทอร์มของ Freundlich's ซึ่งเป็นการเป็นการดูดซับแบบต่อเนื่อง

**คำสำคัญ:** การดูดซับ ลิกนินในน้ำทิ้ง ถ้าลอยชานอ้อย, ความเข้มข้นในการดูดซับ, ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

### ABSTRACT

The purpose of this study is to study the ability of lignin absorption that was contaminated due to the example of waste water of paper industry that uses bagasse fly ash. From the waste water example, the main characteristic is brown color which was affected by lignin, tannin, humic and fulvic and all of these mixed in the water so it greatly affected the shade of water to be too dark out of standard. After adsorption isotherm testing by equation of Langmuir and Freundlich's and analyzing the absorption by using Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy, found that the correlation coefficient ( $R^2$ ) of equation of Langmuir and Freundlich is 0.94 and 0.97 subsequently. Considering  $1/n$  value, found that there is more than 1 value and it means that it can absorb extremely on the surface and  $q_m$  has a negative value. The result of equation of Langmuir testing is not true and the result of analyzing of absorption by using Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy found that the light Intensity of waste water that is absorbed with bagasse fly ash has tendency to decrease. From this test, it can conclude that bagasse fly ash can absorb lignin in waste water and the adsorption behavior has physical tendency to be as the isotherm of Freundlich's which is the constant absorption.

**KEYWORDS:** Adsorbent lignin, Bagasse fly ash, Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy, Langmuir and Freundlich's equation

### 1. บทนำ

สีในโรงงานเยื่อกระดาษและกระดาษส่วนใหญ่เกิดจากอนุพันธ์ของลิกนิน อนุพันธ์ของลิกนิน และแทนนินพอลิเมอร์ [1] ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เป็นส่วนประกอบหลักของเนื้อไม้ พบในส่วนของผนังเซลล์อยู่ร่วมกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสประกอบไปด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน รวมกันเป็นหน่วยย่อยซึ่งเป็นสารอโรมาติกหลายชนิด มีสีน้ำตาล มีหน้าที่ทำให้พืชมีสีเขียวที่เชื่อมประสานกันเกิดความแข็งแรง [2] และทำให้เกิดสีน้ำทิ้ง

เนื่องจากต้องแยกออกจากเนื้อไม้ซึ่งในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ สารประกอบลิกนินจะถูกแยกออกจากเยื่อไม้ในขั้นตอนการต้มและการฟอก ซึ่งทำให้เกิดน้ำดำซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ โดยโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษมีการนำน้ำดำกลับไปเผาเพื่อนำพลังงานความร้อนไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงต้องการเพิ่มความเข้มข้นของลิกนินในน้ำดำเพื่อประหยัดเชื้อเพลิงในการเผา [3] แม้ในปัจจุบันระบบบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษจะสามารถลดสีน้ำทิ้งลงได้ประมาณ 30% แต่ก็ยังจำเป็นต้องมีการลดสีลงอีกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง [4] ซึ่งในการลดค่าสีที่เกิดจากความเข้มข้นของลิกนินนั้นมีหลายวิธีแล้วแต่มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นทั้งสิ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการในการผลิตเยื่อ

จากผลกระทบในกระบวนการผลิตเยื่อที่ยังคงทำให้น้ำทิ้งมีสีที่เข้มอยู่ จึงมีการกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานจากกระทรวงอุตสาหกรรมซึ่งในปี 2539 มีการกำหนดให้ค่าสีต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจเท่านั้น ต่อมาในปี 2560 ได้มีการกำหนดค่าสีไว้ไม่เกิน 300 ADMI และในปี 2561 มีการประกาศจากกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเยื่อและโรงงานผลิตกระดาษ กำหนดให้มาตรฐานค่าสี (Color) ไม่เกิน 600 ADMI ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าของปริมาณสีที่เกิดจากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตเยื่อมีการกำหนดมาตรฐานเพิ่มมากขึ้นเป็นเท่าตัว ดังนั้นผลกระทบของลิกนินในน้ำทิ้งเมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ นอกจากจะทำให้แหล่งน้ำตามธรรมชาติมีสีที่น่ายังเกียจแล้ว พันธุ์ที่ซับซ้อนและแข็งแรงของเยื่อไม้ที่เกิดจากลิกนินยังย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ได้ยาก ย่อมเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เช่น เพิ่มมลพิษให้กับแหล่งน้ำส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ทำให้แพลงก์ตอนและปลาตาย [5] และยังส่งผลกระทบต่อชั้นดินและน้ำใต้ดินเมื่อใช้การบำบัดน้ำทิ้งด้วยดิน (land treatment procedure) หรือนำกลับมาใช้ในการชลประทานพืช [6]

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงทำการใช้ถ้ำลอยซานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ มาใช้ในการวิเคราะห์การดูดซับน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อกระดาษ เพื่อช่วยลดต้นทุนในการกำจัดสีในน้ำทิ้ง โดยใช้การวิเคราะห์คุณสมบัติของการดูดซับลิกนินซึ่งทำให้น้ำทิ้งเกิดสี โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งคือ ถ้ำลอยซานอ้อย ซึ่งเป็นของเสียที่มีราคาถูก นำมาวิเคราะห์ด้วยการทดสอบทดสอบหาไอโซเทอร์มของการดูดซับตามสมการของ Langmuir และ Freundlich's และวิเคราะห์การดูดซับโดยใช้ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy

## 2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับลิกนินด้วยถ้ำลอยซานอ้อย ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของการดูดซับลิกนินซึ่งทำให้น้ำทิ้งเกิดสีโดยใช้ถ้ำลอยซานอ้อย ด้วยการทดสอบหาไอโซเทอร์มของการดูดซับตามสมการของ Langmuir และ Freundlich's และวิเคราะห์การดูดซับโดยใช้ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy มีอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการดังนี้

## 2.1 วิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับลิแกนด์ในน้ำทิ้งโดยใช้การทดสอบแบบกะในห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (400-700 nm)

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับลิแกนด์ในน้ำทิ้งโดยใช้การทดสอบแบบกะในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการวัดค่าความเข้มข้นของลิแกนด์ใช้วิธีเทียบความเข้มของสีหลังจากน้ำทิ้งผ่านกระดาษกรอง 0.45 ไมครอนโดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (400-700 nm) ทำการเพิ่มแก๊ลลอยซานอ้อยน้ำทิ้งตั้งแต่ 1-10 กรัมต่อน้ำทิ้ง 150 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้เพื่อหาปริมาณแก๊ลลอยซานอ้อยที่เหมาะสม จากนั้นหาเวลาเข้าสู่สมดุลโดยนำน้ำเสีย 150 มิลลิลิตรต่อปริมาณแก๊ลลอยซานอ้อยตามความเหมาะสม โดยใช้เวลา 30 นาที 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง และ 5 ชั่วโมง 1 วัน 2 วัน 3 วัน 4 วัน และ 5 วัน เขย่าและตั้งทิ้งไว้เพื่อหาเวลาเข้าสู่สมดุลในการดูดซับ และวิเคราะห์หาไอโซเทอร์มของการดูดซับตามสมการของ Langmuir และ Freundlich's ดังแสดงในสมการที่ 1 ถึง 3

### 2.1.1 Langmuir adsorption isotherm

การทดสอบหาไอโซเทอร์มของการดูดซับตามสมการของ Langmuir สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1) [7]

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{C} \left( \frac{1}{K_A \times q_m} \right) + \frac{1}{q_m} \quad (1)$$

เมื่อ C คือความเข้มข้นของสารละลาย (mg/l)

q มดูลคือปริมาณของสารถูกดูดซับบนสารดูดซับหนักหนึ่งกรัมที่สภาวะ (mg/g)

q<sub>m</sub> คือปริมาณของสารถูกดูดซับอิ่มตัวแบบชั้นเดียว (mg/g)

K<sub>A</sub> คือค่าคงที่ของการดูดซับ (l/mg)

### 2.1.2 Freundlich's adsorption isotherm

การทดสอบหาไอโซเทอร์มของการดูดซับตามสมการของ Freundlich's สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2 ถึง 3 [8]

$$q = K_f C^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

เมื่อ q คือปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ (mg/g)

C คือความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล (mg/l)

$K_f$  คือค่าคงที่ที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ (l/mg)

$n$  คือค่าคงที่ที่แสดงถึงความแข็งแรงการดูดซับ

โดยเมื่อดัชนีกำลัง ( $n$ ) ของแบบจำลองนี้มีค่าน้อยกว่า 1 แบบจำลองสมมูลดูดซับของ Freundlich's จะมีลักษณะโค้งคว่ำ แต่ถ้าดัชนีกำลัง ( $n$ ) ของแบบจำลองมีค่ามากกว่า 1 แบบจำลองสมมูลดูดซับของ Freundlich's จะมีลักษณะโค้งหงาย และค่าคงที่สมมูลดูดซับของ Freundlich's ( $K_f$ ) จะเปลี่ยนเป็นค่าคงที่สมมูลการดูดซับของเฮลวเฮนรี ( $K_H$ ) เมื่อดัชนีกำลัง ( $n$ ) ของแบบจำลองสมมูลดูดซับของ Freundlich's มีค่าใกล้เคียง 1 ค่าคงที่สมมูลดูดซับของเฮลวของ Freundlich's ( $K_f$ ) และดัชนีกำลัง ( $n$ ) สามารถคำนวณได้จากจุดตัดแกนตั้งและความชันของความสัมพันธ์วันตรงของค่าลอการิทึมของปริมาณสมมูลการดูดซับ สารถูกดูดซับจำเพาะ ( $\log q_e$ ) กับค่าลอการิทึมของความเข้มข้นสมมูลของสารถูกดูดซับในของเหลว ( $\log C_e$ ) ดังสมการที่ (3)

$$\log \frac{x}{m} = \log K_f + \frac{1}{n} \log C \quad (3)$$

แต่เมื่อ มีค่าเท่ากับ 1 แบบจำลองสมมูลการดูดซับของเฮลวของ Freundlich's จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงโดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4)

$$K_f = \frac{q_e}{C_e} = K_d \quad (4)$$

เมื่อ  $K_d$  คือ partitioning coefficient

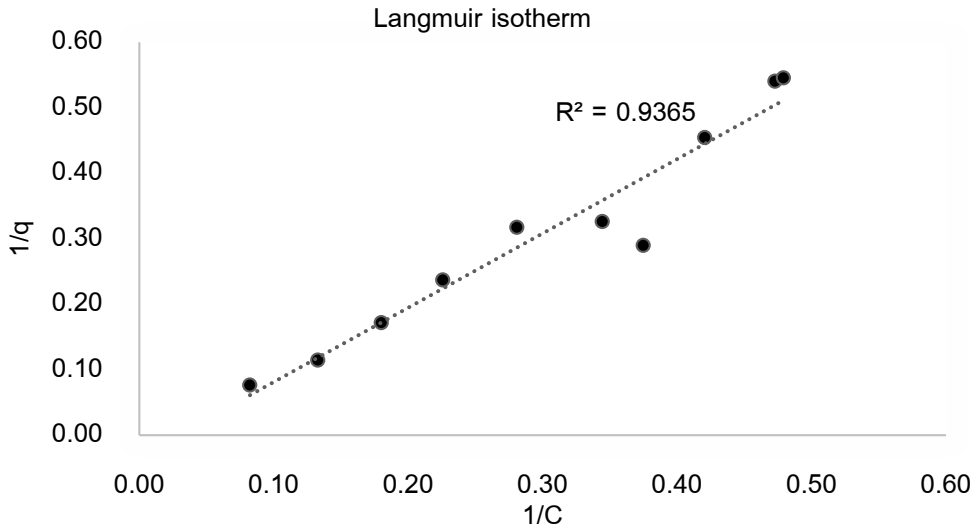
## 2.2 วิเคราะห์การดูดซับโดยใช้ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy

การวิเคราะห์การดูดซับโดยใช้ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy เพื่อวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบน้ำทิ้งหลังผ่านการดูดซับและก่อนผ่านการดูดซับด้วยแก้วลอยซานอ้อย

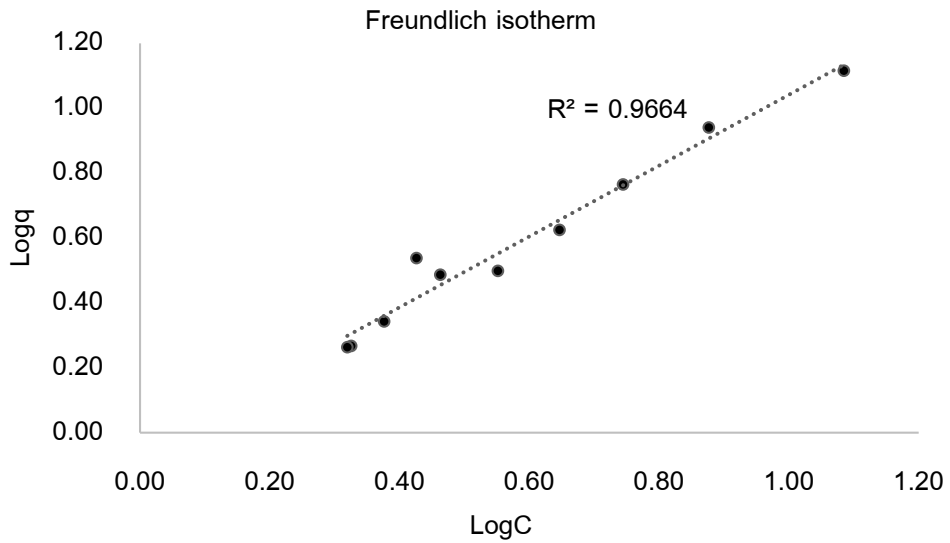
## 3. ผลการวิจัย

### 3.1 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับลิกันนในน้ำทิ้ง

จากผลของการใช้สมการ Langmuir และ Freundlich's เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับลิกันนในน้ำทิ้งได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 1-2 และตารางที่ 1



รูปที่ 1 ไอโซเทอร์มของการดูดซับตามสมการของ Langmuir



รูปที่ 2 ไอโซเทอร์มของการดูดซับตามสมการของ Freundlich's

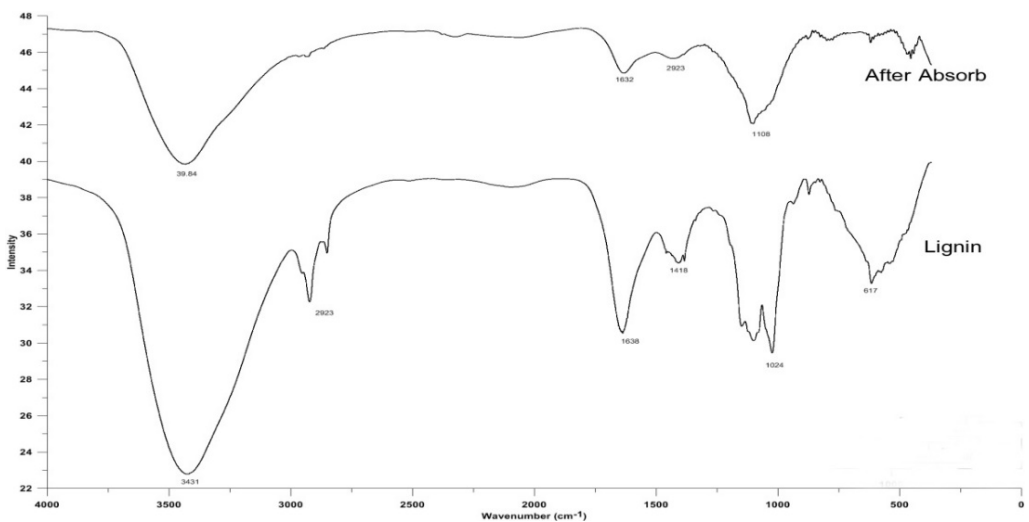
ตารางที่ 1 ค่าคงที่ไอโซเทอมของการดูดซับ

Langmuir Adsorption Isotherm			Freundlich Adsorption Isotherm		
$q_m$ (mg/g)	$K_A$ (l/mg)	$R^2$	1/n	$K_f$ (l/g)	$R^2$
- 30.96	- $3.19 \times 10^{-7}$	0.94	1.09	0.89	0.967

จากรูปที่ 1-2 และตารางที่ 1 ผลของการใช้สมการ Langmuir และ Freundlich's เพื่อวิเคราะห์หาไอโซเทอร์มของการดูดซับลิแกินในน้ำทิ้ง ผลการทดสอบก่อนทำการวิเคราะห์ไอโซเทอร์มของการดูดซับ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวดูดซับมากขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีมากขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่าความเข้มข้นของสีและปริมาณของตัวดูดซับมีผลต่อการกำจัดสี โดยที่ค่าร้อยละในการกำจัดสีจะลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสีเพิ่มขึ้น แต่ค่าร้อยละของการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้น [9] ผลการทดสอบไอโซเทอร์มของการดูดซับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ของสมการ Langmuir และ Freundlich's มีค่า 0.94 และ 0.97 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า  $1/n$  ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความแตกต่างกันของตำแหน่งดูดซับ (adsorption site) บนตัวดูดซับ เมื่อค่า  $1/n$  มีค่ามากกว่า 1 หมายถึงความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับสามารถดูดซับได้มาก และเมื่อพิจารณาค่า  $q_m$  และ  $K_A$  พบว่ามีค่าติดลบ แสดงว่าสมการของ Langmuir ไม่เป็นจริง [10] จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า ถ้ำลอยชานอ้อยสามารถดูดซับลิแกินในน้ำทิ้งได้ และพฤติกรรมดูดซับเป็นพฤติกรรมดูดซับที่มีแนวโน้มที่มีลักษณะทางกายภาพตามแบบไอโซเทอร์มของ Freundlich's ซึ่งเป็นการเป็นการดูดซับแบบต่อเนื่อง

### 3.2 ผลการวิเคราะห์การดูดซับโดยใช้ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy

การเปรียบเทียบน้ำทิ้งหลังผ่านการดูดซับและก่อนผ่านการดูดซับด้วยถ้ำลอยชานอ้อย ได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การวิเคราะห์การดูดซับโดยใช้ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy

จากรูปที่ 3 พบว่า ผลการวิเคราะห์การดูดซับโดยใช้ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy พบว่าความเข้มแสงของน้ำทิ้งที่ถูกดูดซับด้วยถ้ำชานอ้อยมีแนวโน้มลดลง

#### 4. สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาความสามารถในการดูดซับลิแกนด์ด้วยถ้ำลอยชานอ้อย โดยใช้การวิเคราะห์จากพฤติกรรมดูดซับตามแบบไอโซเทอร์มของ Langmuir และ Freundlich's และวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับโดยใช้ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ของสมการ Langmuir และ Freundlich's มีค่า 0.94 และ 0.97 ตามลำดับ โดยถ้ำลอยชานอ้อยสามารถดูดซับลิแกนด์ในน้ำทิ้งได้ ซึ่งผลการทดสอบของ Rachakornkij et al. [9] พบว่าถ้ำลอยชานอ้อยมีความเหมาะสมในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟทั้งชนิด RBB RBBR และ RBRF3B และในการศึกษาในครั้งนี้ได้ผลของความสอดคล้องของพฤติกรรมการดูดซับของถ้ำชานอ้อยเป็นพฤติกรรมการดูดซับที่มีแนวโน้มที่มีลักษณะทางกายภาพตามแบบไอโซเทอร์มของ Freundlich's ซึ่งเป็นการเป็นการดูดซับแบบต่อเนื่องโดยพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง และผลการวิเคราะห์การดูดซับโดยใช้ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy พบว่าความเข้มแสงของน้ำทิ้งที่ถูกดูดซับด้วยถ้ำชานอ้อยมีแนวโน้มลดลงซึ่งตัวดูดซับแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมการดูดซับสีที่แตกต่างกันออกไปเนื่องจากมีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้อง เช่น สมบัติของตัวดูดซับ สมบัติของสารที่ถูกดูดซับ ความเป็นกรดต่าง ความเข้มข้นของสารละลาย ระยะเวลา ที่ใช้ในการดูดซับ ปริมาณของตัวดูดซับ และอุณหภูมิ [11] โดยงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการใช้ตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อกระดาษซึ่งในแต่ละวันมีความเข้มข้นของสีไม่เท่ากัน ทำการควบคุมโดยการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของค่าสีซึ่งหมายถึงรวมถึงความเข้มข้นของลิแกนด์ แทนนิน ฮิวมิก และฟุลวิค [7] ก่อนทดสอบและหลังทดสอบในวันเดียวกันเพื่อควบคุมความเข้มข้น

#### กิตติกรรมประกาศ

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการวิจัย และอุปกรณ์เพื่อทำการทดลอง ขอขอบคุณสาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมโยธา มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ วิทยาเขตขอนแก่นที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเวลาในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์วิเชียร ปลื้มกมล ที่ให้คำแนะนำในการเขียนบทความ



## References

- [1] Muna A, Sreekrishnan TR. Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents: a review. *Advances in Environmental Research* 2001;5:175-96.
- [2] Ladarat Liampeecha, Pasakorn Jurakradsada, Khanitta Kamwilaisak. The properties of extracted lignin from black liquor. *Proceedings of the International Symposium on Physics and Mechanics of New Materials and Underwater Applications*; 2014 Sep 5-6; Charoenthani Khonkaen Hotel. Khonkaen. Thailand; 2014. p. 21-6. (In Thai)
- [3] Dolludee Yonsuwan. Optimization of lignin concentration in black liquor using electrochemical and physical processes. *Proceedings of the 48th Kasetsart University Annual Conference*; 2010 Feb 3-5; Bangkok. Thailand; 2010. p.181-87. (In Thai)
- [4] Waraporn Apiwatanapiwat, Torpong Kreetachat, Pilanee Vaithanomsat. Decolorization of effluent from pulp and paper mill by ozone oxidation. *Proceedings of the 45th Kasetsart University Annual Conference*; 2007 Jan 30-Feb 2; Bangkok. Thailand; 2007. p. 825-34. (In Thai)
- [5] Pokhrel D, Viraraghavan T. Treatment of pulp and paper mill wastewater-a review. *Science of the Total Environment* 2004:37-58.
- [6] Kumar A, Singhal V, Joshi BD, Rai JPN. Lysimetric approach for ground water pollution control from pulp and paper mill effluent using different soil textures. *Indian Journal of Scientific & Industrial Research* 2004;63:429-38.
- [7] Netnapid Tantemsapya, Wanpen Wirojanagud, Santi Sakolchai. Removal of color, COD and lignin of pulp and paper wastewater using wood ash. *Songklanakarin J. Sci. Technol* 2004;26:1-2.
- [8] Lalida Sangatit. Norfloxacin sorption by rice husk ash at pH 5-8. [the degree Master of Science]. Bangkok: Silpakorn University; 2011. (In Thai)
- [9] Rachakornkij M, Ruangchuaya S, Teachakulwiroj S. Removal of reactive dyes from aqueous solution using bagasse fly ash. *Songklanakarin J. Sci. Technol* 2004;26:13-24.
- [10] Saowapa Waiyasusri. Phosphate removal in wastewater by adsorption on calcium carbonate and calcium oxide from eggshell. *The Journal of KMUTNB* 2016;6:475-86. (In Thai)
- [11] Rawinipa Srmoon. Dyes treatment in wastewater using adsorption processes. *KKU Science Journal* 2016;44:419-34. (In Thai)

## ประวัติผู้เขียนบทความ



ฐิตินันท์ ป้องนาม, Ph.D. Agricultural Engineering, KhonKaen University  
 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมโยธา  
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยา  
 เขตขอนแก่น E-mail: Beeronze@gmail.com  
 งานวิจัยที่สนใจ: การบริหารจัดการน้ำ, การใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา,  
 Low impact development, GIS, การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับเพื่อ  
 ใช้บริหารจัดการน้ำ



วรวิทย์ โพร้จันทร์, M.Eng. Civil Engineering (Geotechnical Engineering),  
 Suranaree University of Technology ปัจจุบันตำแหน่งอาจารย์ประจำ  
 สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาค  
 ตะวันออกเฉียงเหนือ จ.ขอนแก่น E-mail: Worawit.Pho@neu.ac.th  
 งานวิจัยที่สนใจ: เทคนิคการปรับปรุงดินด้วยปูนซีเมนต์ และวัสดุ  
 ปอชโซลาน



อนุชาติ ลีอันทศักดิ์ศิริ, D.Eng ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์สาขาวิชา  
 วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ  
 E-mail: Anuchat.lee@neu.ac.th  
 งานวิจัยที่สนใจ: Structural Engineering

---

**Article History:**

Received: February 21, 2019

Revised: July 12, 2019

Accepted: August 5, 2019