

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ ฟีนอลโดย ซีโอไลต์ ชนิด SUZ-4 ที่สังเคราะห์ จากเถ้าแกลบ

Adsorption Isotherm of Phenol by Synthesis SUZ-4 Zeolite from Rice Husk Ash

พลากร บัญใส^{1*} และเกรียงไกร บรรจงเมือง²
Palakorn Boonsai^{1*} and Kriangkrai Banjongmueang²

บทคัดย่อ

การสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 จากเถ้าแกลบ (Rice Husk Ash, RHA) พบว่ามีซิลิกา (SiO_2) 99.70 % รูปร่างผลึกมีลักษณะคล้ายเข็ม มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 ไมโครเมตร ยาว 2.0 ไมโครเมตร โดยมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 247.4 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับฟีนอลโดยซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 ที่ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรในระบบกะที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 300 นาที พบว่า ค่าการดูดซับเกิดขึ้นเท่ากับ 90.75 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่พีเอชเท่ากับ 4.0 และ SUZ-4 0.05 กรัม โดยมีไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบแลงก์มีเยร์ไอโซเทอร์ม

คำสำคัญ: ไอโซเทอร์มการดูดซับ ซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 เถ้าแกลบ ฟีนอล

Abstract

From the analysis of SUZ-4 zeolite, synthesized from the Rice Husk Ash (RHA) as raw material, it was found that the synthesized SUZ-4 contained 99.7 % SiO_2 while having a micro-structure of needle-shaped crystals of approximately 0.2 μm in diameter and 2.0 μm in length. Specific surface area of this synthesized SUZ-4 was 247.4 m^2/g . The adsorption of phenol onto this SUZ-4 zeolite was investigated in a batch adsorption system at 35 $^\circ\text{C}$ for the duration of 300 minutes where the initial concentration of phenol was 100 mg/L. Maximum phenol adsorption capacity of the synthesized SUZ-4 was found to be 90.75 mg/g. occurring at pH 4.0 with SUZ-4 zeolite of 0.05 g. The Langmuir and Freundlich adsorption models were applied to describe the isotherms where Langmuir isotherm was successfully used to predict the experimental results.

Keywords: Adsorption Isotherm, SUZ-4 Zeolite, Rice Husk Ash, Phenol

บทนำ

สารประกอบฟีนอล เป็นสารเคมีอันตรายมีความเป็นพิษสูง สามารถซึมผ่านทางผิวหนังได้ง่าย ทำให้เกิดอาการปวดหัว หน้ามืด ไอของฟีนอลทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและตา ฟีนอลในสถานะของแข็งจะทำให้ผิวหนังเผาไหม้ได้จากการสัมผัส และเป็นสารก่อมะเร็ง มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้มีสารประกอบกลุ่มฟีนอลได้สูงสุดไม่เกิน 1.0 mg/L [1] หากฟีนอลปะปนในน้ำประปาซึ่งมีการใช้คลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค จะทำให้เกิดเป็นสารประกอบครอโรฟีนอลที่มีอันตรายสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

¹ อ.ดร., สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² อ., สาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

* Corresponding author: e-mail: b_palakorn@hotmail.com Tel. 074-609600 ext. 2353

ที่ต้องมีการลดหรือกำจัดสารกลุ่มนี้ในน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ วิธีการกำจัดสารประกอบกลุ่มนี้ออกจากน้ำทิ้งมีหลายวิธี ได้แก่ การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ วิธีการทางชีวภาพทั้งแบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศ งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลโดยใช้สารตั้งต้นราคาถูก คือ แกลบ ซึ่งเมื่อนำไปเผาภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะเปลี่ยนเป็นซิลิกา (SiO_2) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำคัญสำหรับการสังเคราะห์ ซีโอไลต์ที่นำมาเป็นตัวดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้ง โดยการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับฟีนอลซึ่งจะนำไปสู่การบ่งบอกถึงความสามารถและกลไกการดูดซับ อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรคือแกลบ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีมากในจังหวัดพัทลุง

วิธีการวิจัย

เตรียม RHA

นำแกลบไปล้าง อบให้แห้ง ชั่งน้ำหนักแกลบ 100 กรัม ต้มกับกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 ลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ล้างน้ำจนหมดความเป็นกรด แล้วอบให้แห้ง จากนั้นเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยเติมก๊าซออกซิเจนเพื่อช่วยในการเผาไหม้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำแกลบที่ได้ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช เก็บในโถสุญญากาศ

สังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 จาก RHA

เตรียมสารละลายโพแทสเซียมอะลูมิเนต โดยละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH, 85 wt.%) ในน้ำกลั่นค่อย ๆ เติมน้ำอะลูมิเนียม (Al, 99.7 wt.%) ลงไปจนอย่างต่อเนื้อ 20 - 25 ชั่วโมง เตรียมสารแขวนลอยซิลิกาที่อัตราส่วนโดยมวลของ RHA ต่อ ซิลิกาโซล (SiO_2 , 40% wt., Ludox AS-40, Aldrich) เท่ากับ 0, 50, 70, 90 และ 100 เตรียมสารประกอบเจลที่อัตราส่วนโดยมวลของซิลิกาต่ออะลูมินา เท่ากับ 16.21, 19.14, 21.2, 26.21 นำสารกำหนดโครงสร้าง (TEAOH, 35 wt%, Sigma-Aldrich.) น้ำกลั่น และ ซิลิกา ผสมกันโดยกวนสารต่อเนื้อเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายเติมลงในสารละลายโพแทสเซียมอะลูมิเนตอย่างช้า ๆ โดยกวนสารละลายต่อเนื้อเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ได้เป็นสารประกอบเจล นำมาปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 13 - 14 ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เทสารประกอบเจลที่ได้ลงในถ้วยเทฟลอน นำเข้าเครื่องปฏิกรณ์ไฮโดรเทอร์มัล ให้ความร้อนด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 150 องศาเซลเซียส กวนด้วยความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาทีเป็นระยะเวลา 4 วัน นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มากรอง และล้างด้วยน้ำกลั่นจน pH มีค่าประมาณ 9 นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปเผาเพื่อกำจัด TEAOH ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง [2]

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของซีโอไลต์

ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกนำไปวิเคราะห์ขนาดและรูปร่างผลึกด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) เครื่อง X-Ray Diffraction (XRD, Phillips รุ่น PW 1830/40) และ หาพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเครื่อง Autosorb-1

ไอโซเทอร์มการดูดซับ

ศึกษาผลของพีเอช ปริมาณของตัวดูดซับ รวมทั้ง ความเข้มข้นของฟีนอล ที่มีต่อความสามารถในการดูดซับฟีนอลด้วยซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 โดยซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 0.05 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรจากนั้นเติมสารละลายฟีนอลปริมาตร 50 มิลลิลิตรความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีค่าพีเอช 2.0 ถึง 8.0 และศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับโดยซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 0.01 ถึง 0.10 กรัม ตามลำดับ การศึกษาระยะเวลาสัมผัส ทำโดยซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 0.05 กรัม เติมน้ำกลั่นฟีนอลปริมาตร 50 มิลลิลิตรความเข้มข้น 20 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที ตั้งแต่ 0 ถึง 300 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ($35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$) วิเคราะห์

ปริมาณสารประกอบฟีนอลโดยการเติม 4-Aminoantipyrine และ Potassium Ferricyanide นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (VisSpectrophotometer, GENESYSTM) คำนวณความสามารถในการดูดซับฟีนอลจากสมการที่ (1)

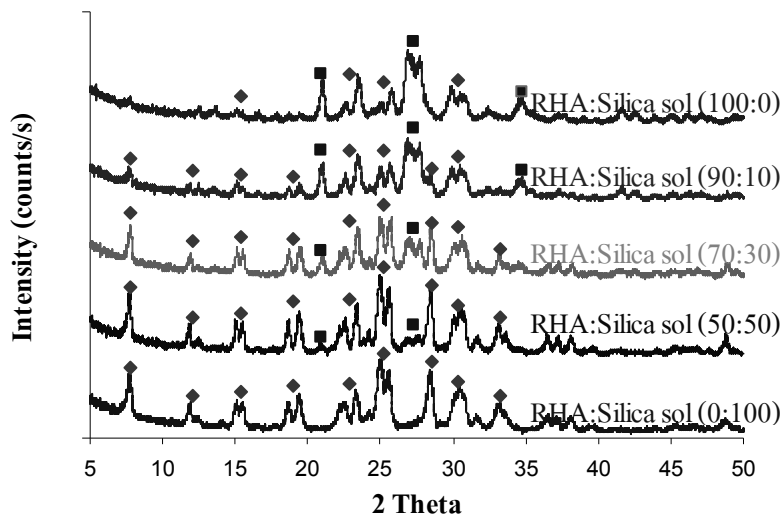
$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{W} V \quad (1)$$

q_e คือความสามารถในการดูดซับฟีนอลโดยซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 (มิลลิกรัมต่อกรัม) C_0 คือความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล (มิลลิกรัมต่อลิตร) C_e คือ ความเข้มข้นสมดุลของฟีนอล (มิลลิกรัมต่อลิตร) V ปริมาตรของฟีนอล (ลิตร) และ W คือน้ำหนักของซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 (กรัม) [3]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์คุณสมบัติของซีโอไลต์ชนิด SUZ-4

จากการนำRHA มาวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF, HORIBA รุ่น MESA-500W) ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าซิลิกามีมากถึง 99.7% และมีอะลูมินา 0.2% ส่วนที่เหลือจะเป็นสารประกอบอื่นๆ อีกประมาณ 0.1% เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD, Phillips รุ่น PW 1830/40) ได้ pattern ดังแสดงในภาพที่ 1 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ pattern ของซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 มาตรฐาน พบว่าการสังเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของซิลิกาจาก RHA ต่อซิลิกาโซลที่ 0:100, 50:50, 70:30, 90:10 เกิดซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีซีโอไลต์ชนิด MER (Merlinoite) ผสมอยู่ และเมื่อเปรียบเทียบ XRD pattern ของซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 ซึ่งซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 ที่เตรียมได้จากอัตราส่วนของซิลิกาจาก RHA ต่อซิลิกาโซลเท่ากับ 0:100 จะมีตำแหน่งพิกทุกพิกตรงกับ pattern มาตรฐาน และเลือกซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 ที่สังเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของ RHA ต่อซิลิกาโซลเท่ากับ 50:50 มาใช้สำหรับการศึกษาการดูดซับ เนื่องจากมี Specific surface area ใกล้เคียงกับอัตราส่วนที่ 0:100 คือ 247.2 และ 247.4 m^2/g ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างจุลภาคด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM, Jeol รุ่น JSM-5600 LV) พบว่าผลึกของซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 ที่ได้มีลักษณะรูปร่างคล้ายเข็ม ผลึกของซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 มีขนาดประมาณ 0.2 x 2 μm ดังภาพที่ 2

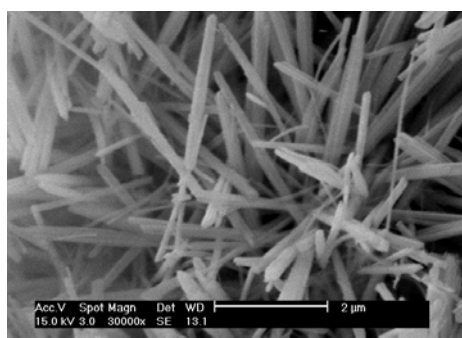


01

ภาพที่ 1 XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ที่อัตราส่วนของซิลิกาจาก RHA ต่อซิลิกาโซลแตกต่างกัน
(♦ ซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 ■ ซีโอไลต์ชนิด MER)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของ RHA

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Wt.%)
SiO ₂	99.7
Al ₂ O ₃	0.2
Others	0.1



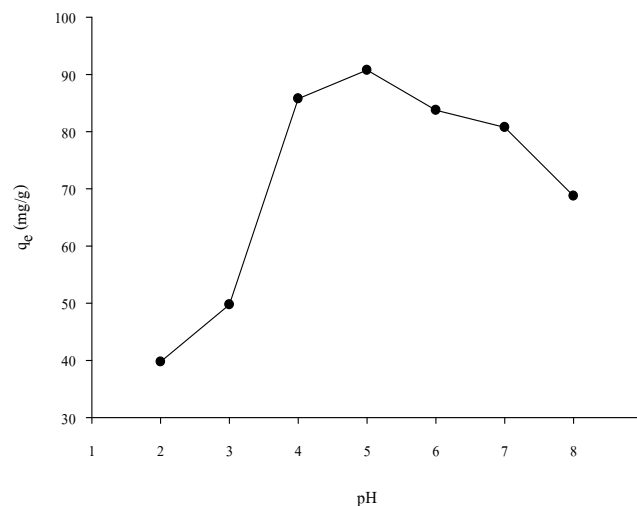
ภาพที่ 2 โครงสร้างจุลภาคของซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 (RHA ต่อซิลิกาโซลเท่ากับ 50:50)

ผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับฟีนอล

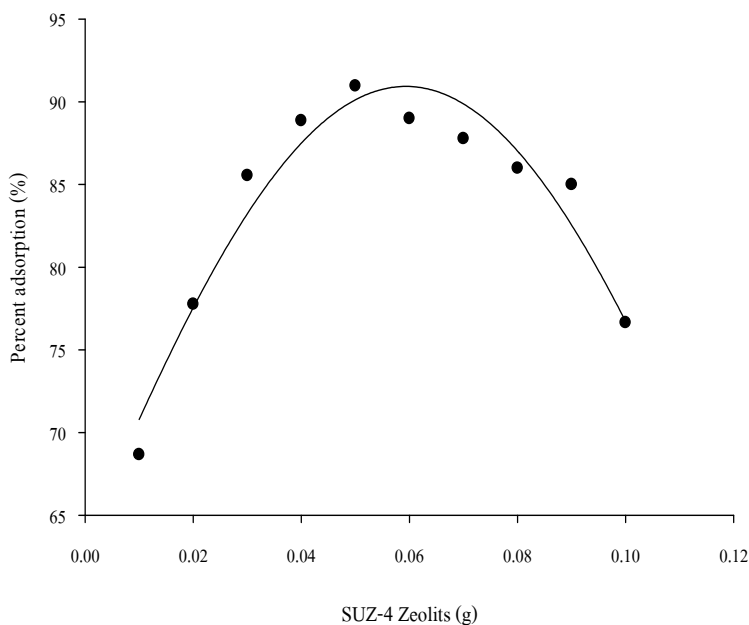
ผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับฟีนอลด้วยซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 ที่สังเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของ RHA ต่อซิลิกาโซล เท่ากับ 50:50 พบว่า เมื่อพีเอชของสารละลายมี ค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.0 ถึง 4.0 ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่ ณ พีเอช 4.0 ถึง 7.0 โดยที่ พีเอช 4 มีความสามารถในการดูดซับฟีนอลได้มากที่สุดเท่ากับ 90.75 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังภาพที่ 3

ผลของปริมาณตัวดูดซับ และความเข้มข้นของฟีนอลต่อความสามารถในการดูดซับฟีนอล

จากกราฟระหว่างปริมาณของ ซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 กับร้อยละของฟีนอลที่ถูกดูดซับ ในภาพที่ 4 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของ ตัวดูดซับจาก 0.01 ถึง 0.05 กรัม ความสามารถในการดูดซับฟีนอล เพิ่มขึ้นจาก 68.67 เป็น 90.97 มิลลิกรัมต่อกรัม เนื่องจากการเพิ่มน้ำหนัก ของตัวดูดซับ ทำให้มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับฟีนอลได้มากขึ้น และกระบวนการดูดซับเกิดขึ้นเร็วบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับจะทำให้ปริมาณของฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 ลดลง เป็นผลให้ค่า ความสามารถในการดูดซับฟีนอล (q_e) ลดลงด้วย เนื่องจากหลายปัจจัย เช่น ปริมาณฟีนอลที่อยู่ในสารละลาย แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic interaction) และการแทรกแซงระหว่างบริเวณที่เกิดการดูดซับ (binding site) เป็นต้น [3] การศึกษาผลของความเข้มข้น ฟีนอลต่อความสามารถในการดูดซับฟีนอลของซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 ในภาพที่ 5 พบว่าความสามารถในการดูดซับฟีนอลเพิ่มตามความ เข้มข้นของฟีนอล โดยที่ความเข้มข้นของฟีนอลเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 90.75 มิลลิกรัมต่อกรัม และลดลงตามลำดับเมื่อฟีนอลมีความเข้มข้น 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรโดย มีความสามารถในการดูดซับฟีนอล เท่ากับ 84.00, 75.60, 65.95, 56.00, 47.00, 37.67, 28.11 และ 18.60 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ เนื่องจากความเข้มข้นของฟีนอลที่ เพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นในสารละลายและความเข้มข้นที่ผิวหน้าของตัวดูดซับมีความแตกต่างกันมาก ทำให้เกิดแรงผลักดันมากขึ้น มีผล ทำให้ความสามารถในการดูดซับฟีนอลเพิ่มสูงขึ้นโดยเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วง 20 นาทีแรกของการดูดซับทุกความเข้มข้น จากนั้นการดูดซับ เริ่มคงที่ในเวลา 150 นาที



ภาพที่ 3 ผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับฟีนอลด้วย ซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 0.05 กรัม (RHA ต่อซิลิกาโซลเท่ากับ 50:50)
ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลา 300 นาที อุณหภูมิ 35 °C



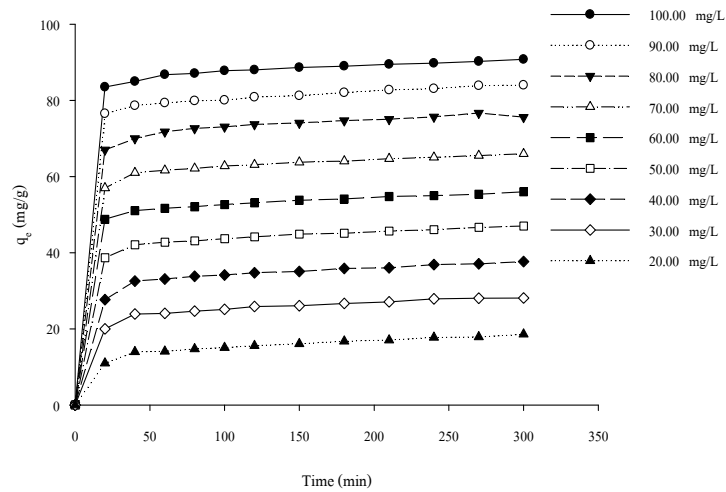
ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลของซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 (RHA ต่อซิลิกาโซลเท่ากับ 50:50) ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลา 300 นาที พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 °C

ไอโซเทอร์มการดูดซับ

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_m K_L} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q_m} \quad (2)$$

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F \quad (3)$$

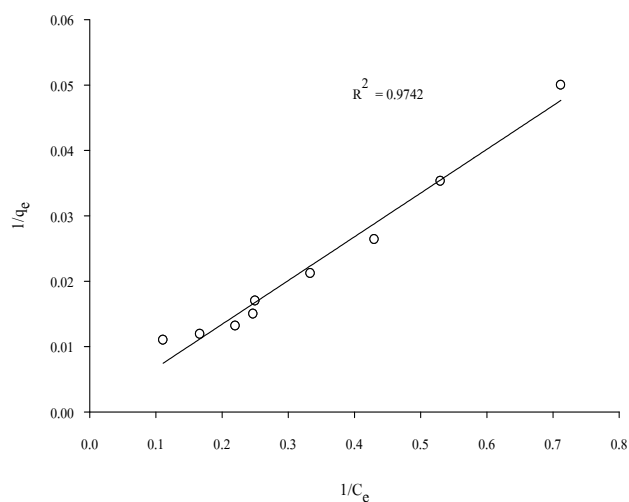
จากสมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir) ในสมการที่ (2) โดยที่ q_e คือปริมาณของฟีนอลที่ดูดซับต่อน้ำหนักของซีโอไลต์ที่ความเข้มข้นสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม) Q_m คือการดูดซับสูงสุดที่เกิดขึ้นแบบชั้นเดียว (มิลลิกรัมต่อกรัม) C_e คือความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของฟีนอล (มิลลิกรัมต่อลิตร) และ K_L คือค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ (ลิตรต่อมิลลิกรัม) จากสมการการดูดซับแบบ ฟรุนดิช (Freundlich) ในสมการที่ (3) K_F คือค่าคงที่ของฟรุนดิช ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการดูดซับ (ลิตรต่อกรัม) และ n คือค่าคงที่ของฟรุนดิช ที่อธิบายถึงความเข้มข้นของการดูดซับ เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ และ $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ได้กราฟเส้นตรงมีความชันเท่ากับ $1/Q_m K_L$ และ $1/n$ จุดตัดแกน คือ $1/Q_m$ และ $\log K_F$ ตามลำดับ ดังภาพที่ 6 และ 7 คำนวณหาค่าคงที่ไอโซเทอร์มของการดูดซับ ได้ผลดังตารางที่ 2 พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่มีค่าใกล้เคียง 1.0 มากที่สุดคือสมการ Langmuir (0.9742) ดังนั้นการดูดซับจึงสอดคล้องกับสมการ Langmuir ที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดทางกายภาพที่สามารถผันกลับได้โดยการดูดซับสูงสุดเกิดขึ้นแบบชั้นเดียว [3]



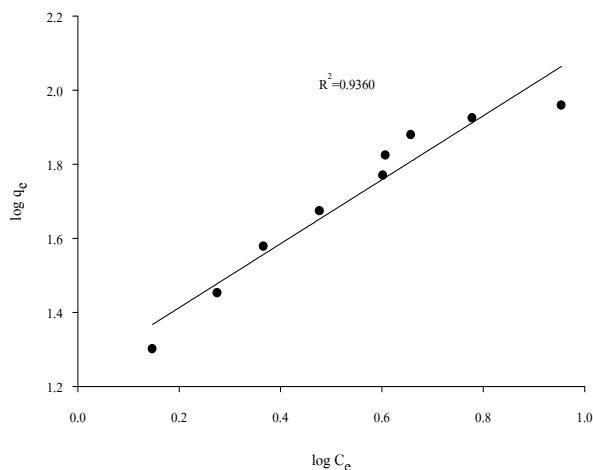
ภาพที่ 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล ต่อความสามารถในการดูดซับฟีนอล ด้วยซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 0.05 กรัม
ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น 100 – 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 °C

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ไอโซเทอรั่มของการดูดซับฟีนอลด้วยซีโอไลต์ชนิด SUZ-4

Langmuir Adsorption Isotherm			Freundlich Adsorption Isotherm		
Q_m (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	$1/n$	K_F (L/g)	R^2
150	0.02	0.974	1.160	15.85	0.936



ภาพที่ 6 แล่งค์เมียร์ไอโซเทอรั่มของการดูดซับฟีนอลด้วยซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 0.05 กรัม พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 °C



ภาพที่ 7 ฟรอนดิชไอโซเทอรั่มของการดูดซับฟีนอลด้วยซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 0.05 กรัมโดย พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 °C

สรุปผลการวิจัย

การดูดซับฟีนอลโดยใช้ซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 เป็นตัวดูดซับ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของฟีนอลเพิ่มสูงขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น และความเป็นกรด-เบสของฟีนอลที่พีเอช 4 พบว่า มีความสามารถในการดูดซับฟีนอลได้เท่ากับ 90.75 มิลลิกรัมต่อกรัม นอกจากนี้ไอโซเทอรั่มของการดูดซับ สอดคล้องกับสมการ Langmuir

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ประเภทเงินรายได้ ปีงบประมาณ พ.ศ.2556 ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือสำหรับการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (2539). กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทรองงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม. ฉบับที่ 3.
- [2] Worathanakul, P. and P. Kongkachuichay. (2008). "New SUZ-4 zeolite membrane from sol-gel technique", Int. J.Chem. Biomol. Eng. 1, 130-134.
- [3] โกวิทย์ ปิยะมั่งคณา, จารุวรรณ ตาพวัฒน์, ปิยะวัฒน์ โพธิ์มงคล และฉัฐรัส คงสมภักดิ์. (2551). "จลนศาสตร์การดูดซับโครเมียม (VI) จากโรงงานชุบโลหะโดยใช้ไคโดซานเรซิน", วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 8(1), 68-79.