

การดูดซับฟีนอลในสารละลายโดยใช้ถ่านเปลือกทุเรียนที่ถูกกระตุ้นทางเคมี

Adsorption of Phenol in Aqueous Solution by Durian Shell Charcoal with Chemical Activation

กุสุมา สันญา (Kusuma Sanya)^{1*} คณิตา ตั้งคณานุรักษ์ (Kanita Tungkananuruk)**

ดร.ฐิติมา รุ่งรัตนอุบล (Dr.Thitima Rungratanaubon)***

(Received: November 1, 2019; Revised: January 16, 2020; Accepted: January 17, 2020)

บทคัดย่อ

ทำการศึกษาศักยภาพการดูดซับฟีนอลของถ่านเปลือกทุเรียนในรูปแบบต่างๆ ทำการทดลองแบบแบทช์เพื่อศึกษาปัจจัยของ ประเภทถ่าน 12 ชนิด (ถ่านที่ไม่ผ่านการกระตุ้นชนิดเม็ด ถูกลัด และผง, ถ่านชนิดเม็ด ถูกลัด และผงที่ถูกกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$, H_3PO_4 และ KOH), ความเข้มข้นเริ่มต้นฟีนอล, ระยะเวลาสัมผัส, พีเอช และไอโซเทอร์ม ถ่านแบบผงที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ให้ประสิทธิภาพการดูดซับ (ร้อยละ 100) ดีกว่าถ่านอีก 11 ชนิด สภาวะที่เหมาะสม (10 มก./ล., พีเอช 5 และ ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที) รูปแบบการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของฟรอนดิก นอกจากนี้ได้ประยุกต์ใช้ถ่านแบบผงที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กำจัดฟีนอลในสารละลายที่มีความเข้มข้นในช่วงน้ำทิ้งอุตสาหกรรม (30, 100, 300 และ 800 มก./ล.) ผลการทดลองพบว่าทุกความเข้มข้น ฟีนอลถูกกำจัดร้อยละ 84.91, 85.48, 87.05 และ 89.79 ตามลำดับ ดังนั้นถ่านแบบผงที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จึงมีศักยภาพเพียงพอในการกำจัดฟีนอลในสารละลาย

ABSTRACT

The phenol adsorption potential of various types of durian shell charcoal were investigated. Batch experiment was carried out to determined the effect of 12 types of charcoal (deactivated granule, pellet and powder charcoal, granule, pellet and powder activated with $ZnCl_2$, H_3PO_4 and KOH), initial concentration of phenol, contact time, pH and isotherm. The KOH -activated powder charcoal gave the better adsorption efficiency (100 %) than 11 types of charcoal at the optimum condition (10 mg/L, pH 5 and contact time 120 min). The adsorption model was fitted to Freundlich isotherm. Furthermore, the KOH -activated powder charcoal was applied to remove phenol in aqueous solution with industrial effluent concentration range (30, 100, 300 and 800 mg/L). The results revealed that all of concentration, phenol was removed at 84.91, 85.48, 87.05 and 89.79 respectively. Therefore, the KOH -activated powder charcoal has enough potential to remove phenol in solution.

คำสำคัญ: ถ่านเปลือกทุเรียน ฟีนอล การดูดซับ

Keywords: Durian shell charcoal, Phenol, Adsorption

¹Corresponding author: kusumakero452@gmail.com

*นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

***ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทนำ

การปนเปื้อนของฟีนอลในแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำจืด และแหล่งน้ำทะเลจัดเป็นปัญหาสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มนุษย์ และสัตว์ เนื่องจากในปัจจุบันทางอุตสาหกรรมมีการใช้สารเคมีในขั้นตอนการผลิตที่สูงขึ้น โดยฟีนอลจัดเป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมเคมีหลายชนิด ฟีนอล และอนุพันธ์ทางเคมีสามารถใช้เป็นส่วนผสมในเคมีภัณฑ์ชนิดต่างๆ เช่น สี ยาดับกลิ่น ยาฆ่าแมลง พงชั๊กฟอก และสารเคมีกำจัดวัชพืช เป็นต้น เมื่อมีการนำเอาผลิตภัณฑ์เหล่านี้มาใช้ในชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลายอาจส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของฟีนอลในสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม หากมนุษย์หรือสัตว์ได้รับฟีนอล อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองในบริเวณที่สัมผัสทั้งผิวหนังและเยื่อเมือกต่างๆ ได้ และถ้าได้รับในปริมาณสูง อาจเกิดการสะสมในร่างกาย ซึ่งส่งผลให้เกิดความผิดปกติที่ระบบหมุนเวียนโลหิต [1] องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดให้น้ำดื่มมีฟีนอลไม่เกิน 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร และในประเทศไทยตามประกาศตามกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม (พ.ศ.2539) ได้กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ให้มีฟีนอลไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนปล่อยน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ [2] โดยทั่วไปการบำบัดน้ำทิ้งก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ มีวิธีการบำบัดหลากหลายวิธี ได้แก่ การตกตะกอนด้วยสารเคมี (chemical coagulation) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (membrane technology) และการบำบัดด้วยโอโซน (ozone treatment) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียต่างกัน จากวิธีการบำบัดต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบวิธีการดูดซับ (adsorption) ด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เนื่องจากต้นทุนต่ำ ใช้เวลาในการบำบัดน้อย สามารถใช้งานในสภาพอุณหภูมิ และความดันปกติได้ [3] รวมถึงมีประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดสารมลพิษในน้ำเพราะมีพื้นที่ผิว และปริมาณรูพรุนจำนวนมาก และถ่านกัมมันต์สามารถผลิตได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้หลากหลาย ในการทำวิจัยครั้งนี้จึงได้นำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือเปลือกทุเรียนมาผลิตเป็นถ่าน เนื่องจากทุเรียนเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมบริโภคกันมากมาย ทำให้มีเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งจำนวนมาก

ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับฟีนอลโดยใช้ถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ถูกกระตุ้นด้วยวิธีการทางเคมี โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับฟีนอล ได้แก่ ชนิดของถ่าน, ความเข้มข้นของฟีนอล, ความเป็นกรด-ด่าง, ระยะเวลาการดูดซับ, ไอโซเทอร์มการดูดซับ และทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลในสารละลายที่มีความเข้มข้นในช่วงน้ำที่ปล่อยจากอุตสาหกรรม

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมสารละลายฟีนอล

เตรียมสารละลายฟีนอล (Phenol, C_6H_5OH) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2. การเตรียมเปลือกทุเรียน

นำเปลือกทุเรียนที่เหลือทิ้งมาล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออกให้หมด จากนั้นนำเปลือกทุเรียนไปตากแดดให้แห้ง เพื่อนำไปผลิตเป็นถ่านคาร์บอน

3. การเตรียมถ่านคาร์บอน

นำเปลือกทุเรียนที่เตรียมไว้จากข้อ 2 มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในเตาเผาแบบถ้ำในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อย [4] จากนั้นนำถ่านเปลือกทุเรียนที่ได้มาบดด้วยครกบดยา และร่อนผ่านตะแกรงร่อน 3 ขนาด ทำให้ได้ถ่านเปลือกทุเรียนคือ ขนาด 2 มิลลิเมตร (ลักษณะเป็นเม็ด granule charcoal, GC), ขนาดมากกว่า 500 ไมครอน (ลักษณะเป็นเกล็ด Pellet charcoal, PLC) และขนาดเล็กกว่า 500 ไมครอน (ลักษณะเป็นผง Powder charcoal, PDC) เพื่อนำไปกระตุ้นทางเคมี ดังภาพที่ 1

4. การเตรียมถ่านกัมมันต์

นำถ่านคาร์บอน 3 ขนาดที่เตรียมได้จากข้อที่ 3 มากระตุ้นทางเคมี ด้วยซิงค์คลอไรด์, กรดฟอสฟอริก และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.1 การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์

ผสมถ่านคาร์บอนกับสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เข้มข้นร้อยละ 50 ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:2 แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองแยกถ่าน และนำถ่านไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ล้างด้วย 3 M HCl ผ่านน้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำล้างมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 กรองแยกถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถสุญญากาศ [5]

4.2 การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก

ผสมถ่านคาร์บอนกับสารละลายฟอสฟอริก (H_3PO_4) เข้มข้นร้อยละ 85 ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 2:1 แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองแยกถ่าน และนำถ่านไปเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านที่ได้มาล้างผ่านน้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำล้างมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 กรองแยกถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วย H_3PO_4 จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถสุญญากาศ [6]

4.3 การกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ผสมถ่านคาร์บอนกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เข้มข้นร้อยละ 50 ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:3 แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองแยกถ่าน และนำถ่านไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านที่ได้มาล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำล้างมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 กรองแยกถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วย KOH จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถสุญญากาศ

5. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านจากเปลือกทุเรียน

5.1 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล ระยะเวลาสัมผัส และชนิดของถ่านต่อการดูดซับ

ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล 2.0-10.0 มิลลิกรัม/ลิตร, ชนิดของถ่านกัมมันต์ 12 ชนิด ได้แก่ ถ่านชนิด GC, PLC และ PDC ที่ถูกกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$, H_3PO_4 และ KOH และถ่านชนิด GC, PLC และ PDC ที่ไม่ผ่านการกระตุ้น และระยะเวลาสัมผัส 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที แต่ละปัจจัยที่ศึกษาทำโดยใช้สารละลายฟีนอล 50 มิลลิลิตรต่อถ่าน 0.1 กรัม หลังจากถ่านสัมผัสกับสารละลายฟีนอลตามระยะเวลาที่ศึกษา กรองตัวดูดซับ และนำสารละลายส่วนใหญ่วิเคราะห์หา

ปริมาณฟีนอลที่เหลืออยู่โดยการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณค่าร้อยละของการดูดซับ และค่าความจุของการดูดซับดังสมการที่ (1) และ(2) ตามลำดับ

$$\text{ร้อยละของการดูดซับ (\%)} = ((C_0 - C_e) / C_0) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{ความจุของการดูดซับ (มก./ก.)} = ((C_0 - C_e) / m) \times V \quad (2)$$

เมื่อ C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟีนอล (มก./ล.)

C_e คือ ความเข้มข้นคงเหลือของสารละลายฟีนอล (มก./ล.)

m คือ น้ำหนักของวัสดุดูดซับ (ก.)

V คือ ปริมาตรของสารละลายฟีนอล (ล.)

5.2 การศึกษาพิษของสารละลาย

ทำการทดลองโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล, ชนิดของถ่าน และระยะเวลาสัมผัสที่ศึกษาได้จากข้อ 5.1 โดยปรับสารละลายฟีนอลให้มีพีเอช 2-10 ด้วยสารละลาย 0.1 M NaOH และ 0.1 M HCl และทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 5.1

6. การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

ทำการทดลองโดยใช้สภาวะและพีเอชที่ศึกษาได้จากข้อ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ ปรับปริมาณถ่านที่ทำการศึกษาคือ 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ตามลำดับ ทำการทดลองต่อเช่นเดียวกับข้อ 5.1 และนำผลการทดลองมาคำนวณไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) และแบบฟรุนดลิช (Freundlich Isotherm) [7] ตามสมการ (3) และ(4) ตามลำดับ

$$\text{สมการของแลงเมียร์} \quad C_e/q_e = (C_e/q_m) + (1/K_L q_m) \quad (3)$$

$$\text{สมการของฟรุนดลิช} \quad \log q_e = \log K_f + 1/n \log C_e \quad (4)$$

เมื่อ q_e คือ ความสามารถในการดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (มก./ก.)

q_m คือ ปริมาณการดูดซับสูงสุดที่ถูกดูดซับแบบชั้นเดียวต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มก./ก.)

C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (มก./ล.)

K_L คือ ค่าคงที่ของแลงเมียร์ (ล./ มก.)

K_f คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ (มก./ ก.)

$1/n$ คือ ปัจจัยที่แสดงถึงความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

7. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลในสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้นที่อ้างอิงตามการปล่อยฟีนอลจากอุตสาหกรรม

ศึกษาการกำจัดฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน จากสภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษาปัจจัยข้างต้นและค่าความจุของการดูดซับ โดยเตรียมสารละลายฟีนอลเข้มข้น 30, 100, 300 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (การปนเปื้อนฟีนอลในน้ำเสียจะแตกต่างกันตามประเภท และขนาดของอุตสาหกรรมนั้นๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ มีความเข้มข้นของฟีนอลในน้ำเสียประมาณ 0- 800 มิลลิกรัมต่อลิตร, อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันมีความเข้มข้นฟีนอลในน้ำเสีย 0-270 มิลลิกรัมต่อลิตร [8] น้ำทิ้งโรงงานไม้ยางพาราปริมาณเพนตะคลอโรฟีนอล 117 มิลลิกรัมต่อลิตร [9] และ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

พบสารประกอบฟีนอลในน้ำบ่อสุดท้าย 30-74 มิลลิกรัมต่อลิตร [10]) โดยเติมตัวดูดซับในปริมาณที่คำนวณจากค่าความจุ การดูดซับที่ได้จากข้อ 5.1 ลงในสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่างๆ จากนั้นนำไปกวน ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน นำ สารละลายส่วนใสไปคำนวณหาร้อยละการดูดซับดังสมการ(1) จากนั้นนำสารละลายส่วนใสที่ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนไป ปลอ่ยผ่านคอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 ซม. สูง 40 ซม. บรรจุด้วย หินหยาบ หินกรวด ทราย เพื่อขจัดสาร แวนดอล และนำสารละลายส่วนใสไปคำนวณหาร้อยละการดูดซับ รวมทั้งวัดค่าความขุ่นด้วยวิธี Nephelometric Method ของสารละลายที่ได้จากการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนและหลังการปลอ่ยผ่านคอลัมน์

ผลการศึกษา

1. ผลของความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล ระยะเวลาสัมผัส และชนิดของถ่านต่อการดูดซับ

จากการทดลองพบว่าถ่านเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี 3 ชนิดคือ GC, PLC และ PDC และถ่าน เปลือกทุเรียนทั้ง 9 ชนิดคือ GC ที่ถูกกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$, H_3PO_4 และ KOH (GC- $ZnCl_2$, GC- H_3PO_4 และ GC-KOH), PLC ที่ถูกกระตุ้นด้วยสารเคมีทั้ง 3 ชนิด (PLC- $ZnCl_2$, PLC- H_3PO_4 และ PLC-KOH) และ PDC ที่ถูกกระตุ้นด้วยสารเคมีทั้ง 3 ชนิด (PDC- $ZnCl_2$, PDC- H_3PO_4 และ PDC-KOH) ให้ผลการทดลองที่เหมือนกันคือ ทุกความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล และระยะเวลาสัมผัส ถ่านชนิด PDC ให้ร้อยละการดูดซับดีกว่าชนิด PLC และชนิด GC ตามลำดับ ดังภาพที่ 2, 3, 4 และ 5 อธิบายได้ว่าถ่านที่มีลักษณะแบบ PDC มีพื้นที่ผิวดูดซับมากกว่าแบบ PLC และแบบ GC ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้น ของฟีนอล ถ่านทุกแบบมีแนวโน้มเหมือนกันคือ ที่ทุกระยะเวลาสัมผัส ร้อยละการดูดซับในสารละลายฟีนอลที่เข้มข้น 10 มก./ล. มีค่ามากที่สุด และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของระยะเวลาสัมผัสพบว่าที่ความเข้มข้นร้อยละการดูดซับเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ ระยะเวลาสัมผัสเหมาะสมหรือถึงจุดอิ่มตัวที่ภาวะสมดุล จากนั้นร้อยละการดูดซับจะมีค่าลดลง เนื่องจากการเกิดการคาย ซับ (desorption) ร่วมด้วย จากผลการทดลองสามารถสรุปสภาวะที่ถ่านทั้ง 12 ชนิดดูดซับได้ดีที่สุดและมีร้อยละการดูดซับดัง ตารางที่ 1 และ ณ สภาวะที่มีร้อยละการดูดซับดีที่สุดของถ่านชนิดผงสามารถคำนวณค่าความจุของการดูดซับดังตารางที่ 2

จะเห็นได้ว่าลักษณะของถ่านกัมมันต์, ระยะเวลาการสัมผัส และสารเคมีที่ใช้กระตุ้นมีผลต่อการดูดซับ ถ่านที่มี ลักษณะเป็นผง (มีขนาด 0.015-0.025 มิลลิเมตร) เป็นถ่านที่มีพื้นที่ผิวมากกว่าอีก 2 ชนิด และเมื่อกระตุ้นทางเคมีทำให้ โครงสร้างของถ่านมีรูพรุนขนาดไมโครพอร์ (micropores) กระจายตัวมากขึ้น ดังนั้นผงถ่านที่กระตุ้นทางเคมีจึงมีพื้นที่ ผิวจำเพาะต่อการดูดซับมากที่สุด จากงานวิจัยของ [11] กล่าวว่าถ่านกัมมันต์จากด้วยวิธีการกระตุ้นโดยสารเคมีเมื่อ เปรียบเทียบอุณหภูมิในการกระตุ้น พบว่า H_3PO_4 ใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นน้อยที่สุด (400 – 600 องศาเซลเซียส) รองลงมา คือ $ZnCl_2$ (500 – 800 องศาเซลเซียส) และ KOH (550 – 850 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ แต่ค่าพื้นที่ผิวเฉลี่ยจากสารเคมีทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 1,391, 1,407 และ 1,488 m^2/g ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามถ่านแบบผงที่กระตุ้นด้วย KOH มีพื้นที่ ผิวมากกว่าอีก 2 ชนิดจึงทำให้มีประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลในสารละลายได้ดีที่สุดซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง

2. ผลการศึกษาเพื่อหาที่เหมาะสม

จากการใช้ถ่านเปลือกทุเรียนชนิด PDC-KOH ศึกษาหาพีเอชในช่วง 2-10 ที่เหมาะสมต่อการดูดซับฟีนอล พบว่า เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลลดลง จากการทดลองพบว่าที่พีเอช 2 และ 5 เป็นช่วงที่มีร้อยละ การดูดซับได้ดีคือ 97.62 และ 99.17 ตามลำดับดังภาพที่ 6 อธิบายได้ว่าความสามารถในการดูดซับสารละลายที่มีสภาวะเป็น

กรดกับผิวของถ่านที่มีประจุเป็นลบถูกโปรโตเนต (protonate) ด้วยไฮโดรเจนไอออนที่มาจากกรด จึงทำให้สามารถดูดซับฟีนอลที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวได้ และในสารละลายที่มีสภาวะเป็นเบส ฟีนอลจะอยู่ในโครงสร้างของฟีนอเลตแอนไอออนสามารถเกิดการกระจายอิเล็กตรอนไปทั่วโมเลกุล ประกอบกับผิวถ่านที่มีสภาพเป็นลบจึงทำให้เกิดการดูดซับได้น้อย

3. ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

เมื่อนำผลการทดลอง ณ สภาวะที่ดูดซับดีที่สุดมาศึกษาในรูปแบบการดูดซับโดยพลอตไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดลิช เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของสมการแลงเมียร์เท่ากับ 0.8033 และสมการฟรุนดลิชเท่ากับ 0.9784 ดังภาพที่ 7 พบว่าถ่านเปลือกทุเรียนชนิด PDC-KOH มีกลไกการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช แสดงว่ามีกลไกการดูดซับเกิดขึ้นที่ผิวและภายในรูพรุนมีลักษณะการดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดการดูดซับแบบพื้นผิวหลายชั้น (heterogeneous surface) เมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น การดูดซับก็เพิ่มขึ้นแบบไม่จำกัด [12]

4. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลในสารละลายฟีนอลที่มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับน้ำเสียอุตสาหกรรม

ปริมาณถ่านเปลือกทุเรียนชนิด PDC-KOH ที่ใช้คำนวณจากค่าความจุของการดูดซับได้เท่ากับ 6, 20, 60 และ 160 กรัม เมื่อทดลองกับสารละลายฟีนอลที่มีความเข้มข้น 30, 100, 300 และ 800 มก./ล. ปริมาตร 1000 มล.ตามลำดับ ปรับพีเอชเป็น 5 กวนที่ความเร็ว 250 รอบต่อนาที เป็นเวลาสัมผัส 120 นาที พบว่าหลังจากการปั่นกวน ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน และนำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์ พบว่าร้อยละการดูดซับฟีนอลเท่ากับ 77.62, 80.13, 85.24 และ 87.88 ตามลำดับ และหลังจากนั้นนำสารละลายที่ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนมาปล่อยผ่านคอลัมน์เพื่อกรองผงถ่าน พบว่าร้อยละการดูดซับฟีนอลเท่ากับ 84.91, 85.48, 87.05 และ 89.79 ตามลำดับ จะเห็นว่าฟีนอลถูกบำบัดได้เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 8 และจากงานวิจัยของ [13] ทดลองโดยการเติมผงถ่านกัมมันต์ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ซึ่งการเติมผงถ่านกัมมันต์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมได้ถึง 91-93 % กว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบธรรมดา

นอกจากนี้มีการวัดความขุ่นของสารละลายที่ผ่านการดูดซับฟีนอลและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน มีค่าความขุ่นเท่ากับ 21.49, 26.13, 30.21 และ 42.10 NTU ตามลำดับ และเมื่อนำสารละลายไปปล่อยผ่านคอลัมน์ มีค่าความขุ่นเท่ากับ 5.02, 6.49, 11.70 และ 16.05 NTU ตามลำดับ ดังภาพที่ 9 พบว่าเมื่อสารละลายผ่านคอลัมน์มีประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลได้เพิ่มขึ้นประมาณ 1-7% และความขุ่นได้ถูกกำจัดเพิ่มขึ้น แสดงว่าคอลัมน์ที่บรรจุชั้น กรวด ทราย และหิน ช่วยกรองผงถ่านเพิ่มการบำบัดฟีนอล และความขุ่นทำให้ได้สารละลายใส

สรุปผลการศึกษา

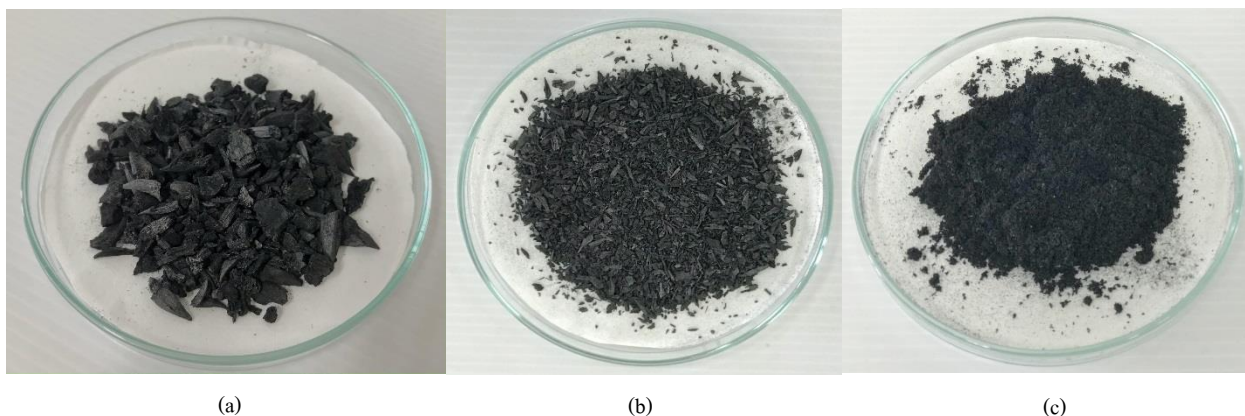
จากการทดลองการผลิตถ่านจากเปลือกทุเรียนโดยการเผาและกระตุ้นทางเคมีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลในสารละลาย เตรียมถ่านเปลือกทุเรียน 12 ชนิด ได้แก่ ถ่านเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี 3 ชนิดคือ GC, PLC และ PDC และถ่านเปลือกทุเรียนที่ถูกกระตุ้นทางเคมี 9 ชนิด คือ ชนิด GC (GC- $ZnCl_2$, GC- H_3PO_4 และ GC-KOH), ชนิด PLC (PLC- $ZnCl_2$, PLC- H_3PO_4 และ PLC-KOH) และชนิด PDC (PDC- $ZnCl_2$, PDC- H_3PO_4 และ PDC-KOH) ทำการทดลองแบบเบตซ์ พบว่าทุกความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล และระยะเวลาสัมผัส ถ่านชนิด PDC ให้ค่าความจุของ

การดูดซับมากกว่าชนิด PLC และชนิด GC ตามลำดับ โดยถ่านชนิด PDC ที่ไม่ผ่านการกระตุ้น, PDC-H₃PO₄, PDC-ZnCl₂ และ PDC-KOH มีค่าความจุของการดูดซับเท่ากับ 2.89, 3.32, 3.92 และ 5.00 มก./ก. ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัส 120, 150, 150 และ 120 นาที ตามลำดับ สรุปได้ว่าถ่านชนิด PDC-KOH มีค่าความจุของการดูดซับดีที่สุด ที่พีเอช 5 ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที รูปแบบการดูดซับฟีนอลสอดคล้องกับแบบจำลองฟรุนดลิช เมื่อทดลองในสารละลายฟีนอลที่มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับน้ำเสียอุตสาหกรรม (30, 100, 300 และ 800 มก./ล.) พบว่าสารละลายฟีนอลจะตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนสามารถกำจัดฟีนอลได้ 77.62, 80.13, 85.24 และ 87.88 ตามลำดับ เมื่อนำสารละลายที่ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนมาผ่านคอลัมน์สามารถกำจัดฟีนอลได้ 84.91, 85.48, 87.05 และ 89.79 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำสารละลายผ่านคอลัมน์สามารถช่วยบำบัดฟีนอลเพิ่มขึ้นและลดความขุ่นจากผงถ่านได้อีกด้วย จากงานวิจัยของ [14] ศึกษาการดูดซับแอดเมียมจากสารละลายโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากาบมะพร้าว พบว่ามีค่าการดูดซับสูงสุด ที่พีเอชเท่ากับ 5 และใช้ขนาดของถ่านกัมมันต์ประมาณ 250 -500 ไมโครเมตร กล่าวได้ว่าขนาดของถ่านกัมมันต์มีผลต่อการดูดซับโดยเมื่อขนาดเล็กลงจะมีพื้นที่ผิวในการดูดซับได้มากขึ้น จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้เห็นถึงแนวโน้มในการประยุกต์ใช้เปลือกทุเรียนผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อการดูดซับฟีนอลในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสามารถนำเปลือกทุเรียนที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกทุเรียนในเชิงสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

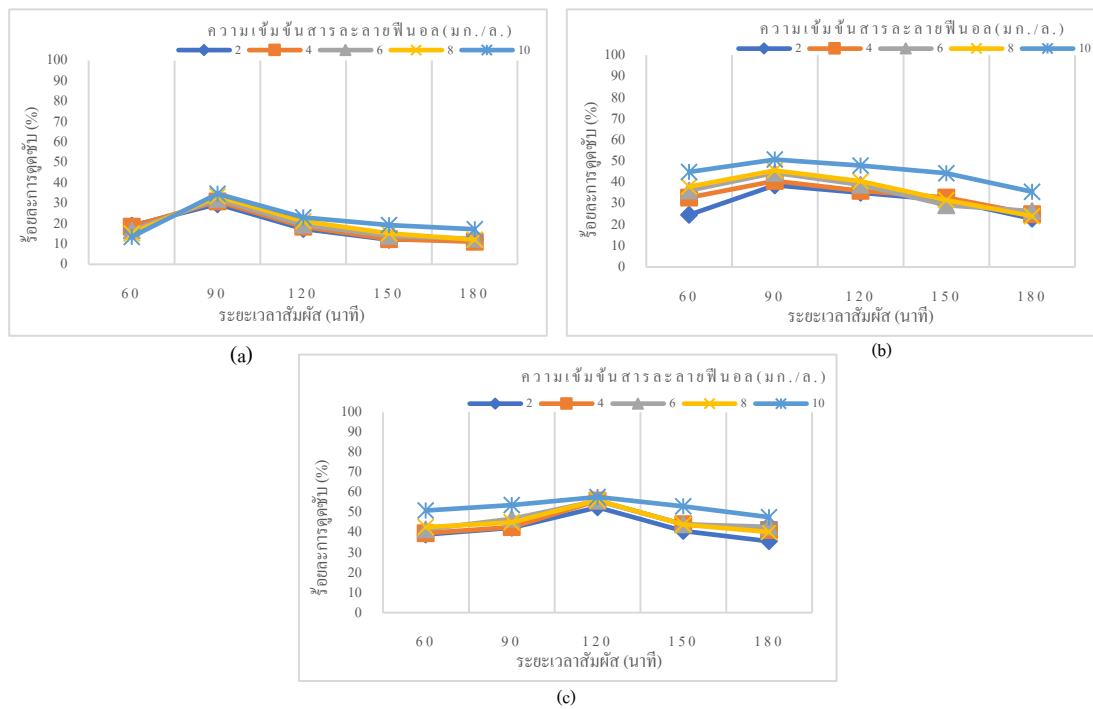
เอกสารอ้างอิง

1. Suchada C. Antiseptic Phenolic [Internet]. 2008. [updated 2008 December 9; cited 2019 October 31]. Available from: <http://www.chemtrack.org>.
2. Ministry of Science Technology and Environment. Specific type of factory and industrial estate as the hazardous waste source which need to be control the waste water before released; 1996 Aug. 5 p.
3. Kaouah F, Boumaza S, Berrama T, Trari M, Bendjama Z. Preparation and characterization of activated carbon from wild olive cores (*oleaster*) by H₃PO₄ for the removal of Basic Red 46. Journal of Cleaner Production. 2013; 54: 296-306.
4. Tan IA, Ahmad AL, Hameed BH. Preparation of activated carbon from coconut husk: Optimization study on removal of 2, 4, 6-trichlorophenol using response surface methodology. Journal of Hazardous Materials. 2008; 153: 709-717.
5. Saka C. BET, TG-DTG, FT-IR, SEM, iodine number analysis and preparation of activated carbon from acorn shell by chemical activation with ZnCl₂. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2012; 95: 21-24.
6. Yagmur E, Tunc M, Banford A, Zeki A. Preparation of activated carbon from autohydrolysed mixed southern hardwood. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2013; 104: 470-478.
7. Chu W. Dye Removal from Textile dye Wastewater using Recycle Alum Sludge. Water Research. 2001; 32(13): 3147-3152.
8. Budsaba S, Padcharee P, Wittaya R. Adsorption of Phenol from aqueous solution by zeolite NaY synthesized from rice husk, Program in Chemistry, Faculty of Education, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Thailand. 2015.

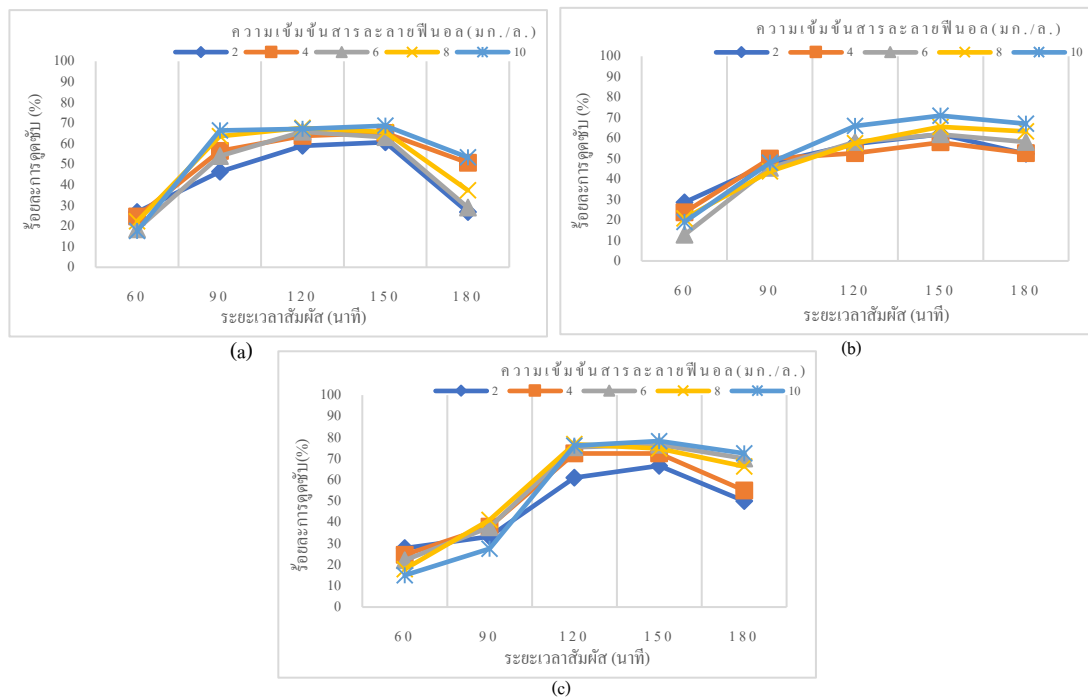
9. Juwannee S. Feasibility study of corneob to remove phenolic compounds in wastewater [MS thesis]. Songkla: Prince of Songkla University; 2004. Thai.
10. Kusumal L. Removal of Phenolic Compounds by Palm Oil Mill Wastewater Treatment Plant and Land Treatment [MS thesis]. Songkla: Prince of Songkla University; 2014. Thai.
11. Theeradit P. Activated Carbon from Agricultural Residues by Chemical Activation for the Application of Pollutant Removal in Water. J. Res. Unit Sci. Technol. Environ. Learning. 2017; 8(1): 196-214. Thai.
12. Amin N.K. Removal of reactive dye from aqueous solution by adsorption onto activated carbon prepared from sugarcane bagasse pith. Desalination. 2008; (223): 152-161.
13. Kaouah F, Boumaza S, Berrama T, Trari M, Bendjama Z. Preparation and characterization of activated carbon from wild olive cores (*oleaster*) by H₃PO₄ for the removal of Basic Red 46. Journal of Cleaner Production. 2013; 54: 296-306.
14. Prasong A. Treatment of Wastewater Contaminated with Cr (VI) by Adding Powdered Activated Carbon in the Activated sludge Process [MS thesis]. Bangkok: Kasetsart University; 2002. Thai.



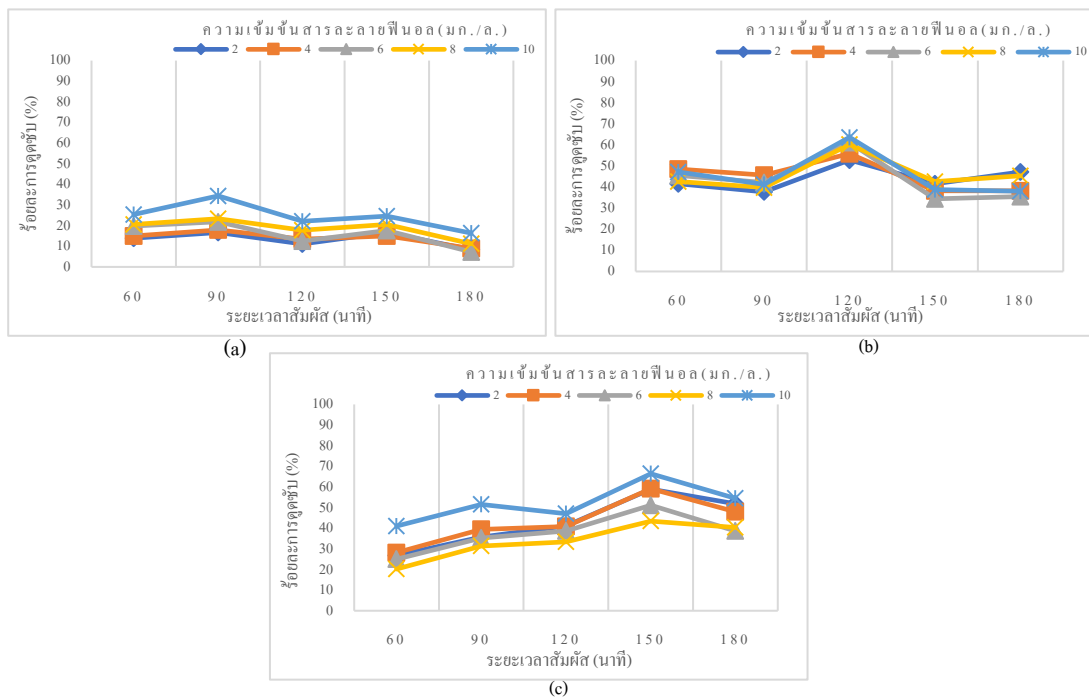
ภาพที่ 1 ถ่านลักษณะ (a) GC, (b) PLC และ (c) PDC



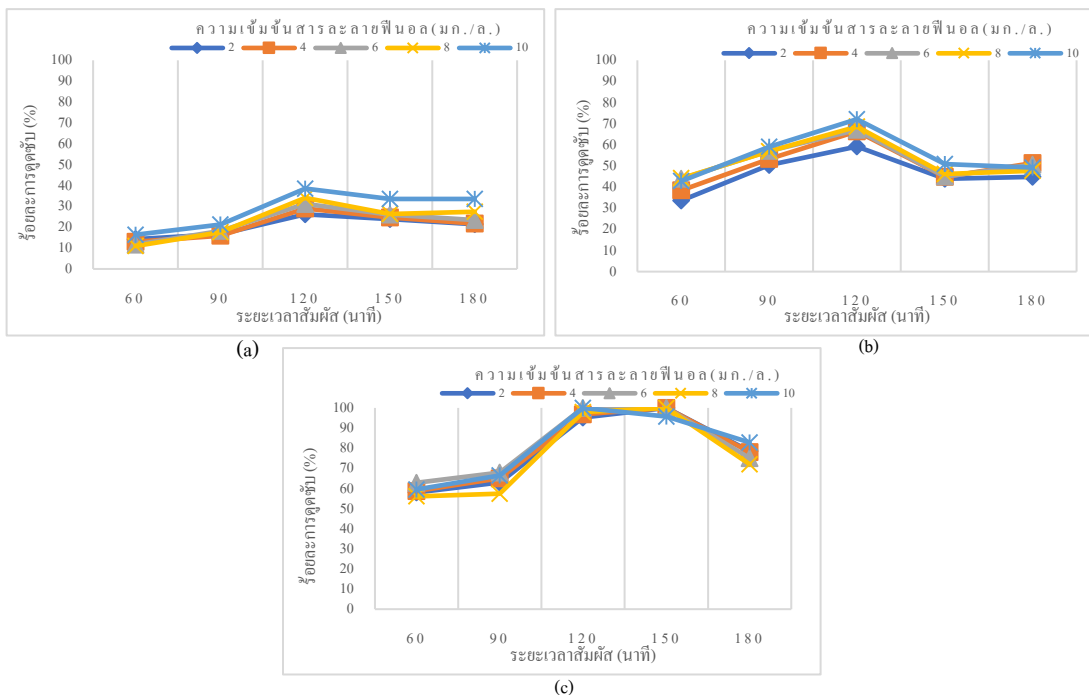
ภาพที่ 2 ร้อยละการดูดซับของถ่านที่ไม่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีคือ (a) GC (b) PLC และ(c) PDC กับระยะเวลาสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลในช่วง 2-10 มก./ล.



ภาพที่ 3 ร้อยละการดูดซับของถ่านที่ถูกกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ คือ (a) GC (b) PLC และ(c) PDC กับระยะเวลาสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลในช่วง 2-10 มก./ล.



ภาพที่ 4 ร้อยละการดูดซับของถ่านที่ถูกกระตุ้นด้วย H_3PO_4 คือ (a) GC (b) PLC และ (c) PDC กับระยะเวลาสัมผัส และความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลในช่วง 2-10 มก./ล.



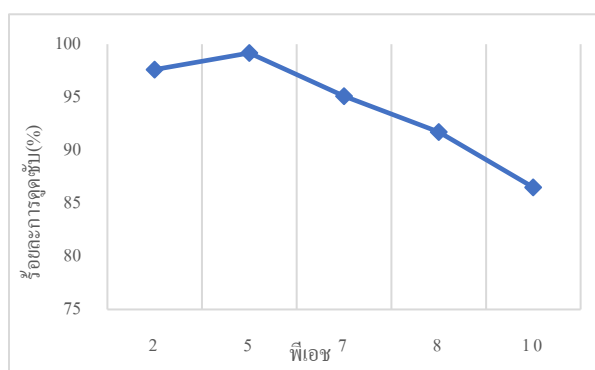
ภาพที่ 5 ร้อยละการดูดซับของถ่านที่ถูกกระตุ้นด้วย KOH คือ (a) GC (b) PLC และ (c) PDC กับระยะเวลาสัมผัส และความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลในช่วง 2-10 มก./ล.

ตารางที่ 1 ร้อยละของการดูดซับฟีนอลกับถ่าน 12 ชนิดในสภาวะที่เหมาะสม

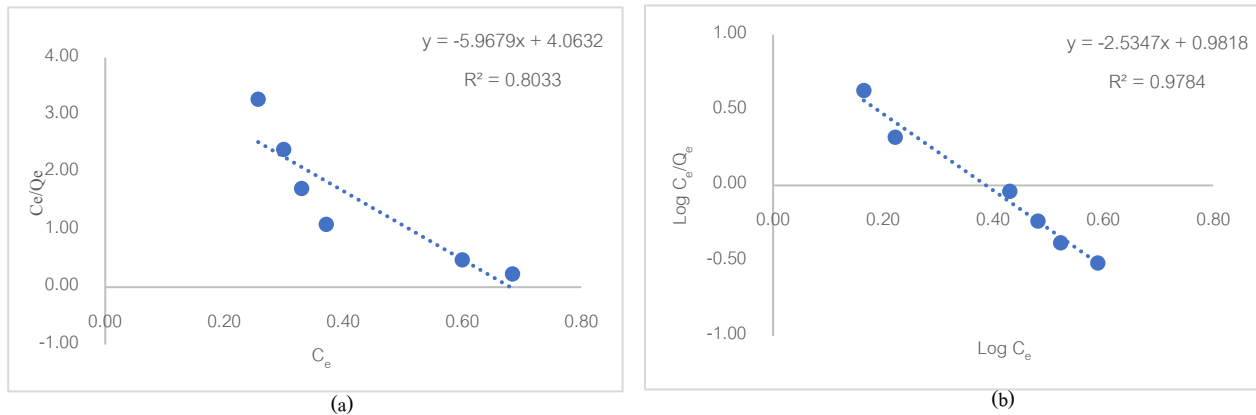
ชนิดของถ่าน	สภาวะที่เหมาะสม (ความเข้มข้น, ระยะเวลาสัมผัส)	ร้อยละการดูดซับ (%)
1. Granule-Charcoal (GC)	10 มก./ล., 90 นาที	34.62
2. Pellet-Charcoal (PLC)	10 มก./ล., 90 นาที	50.72
3. Powder-Charcoal (PDC)	10 มก./ล., 120 นาที	57.72
4. GC - ZnCl_2	10 มก./ล., 150 นาที	68.70
5. PLC - ZnCl_2	10 มก./ล., 150 นาที	71.00
6. PDC - ZnCl_2	10 มก./ล., 150 นาที	78.33
7. GC - H_3PO_4	10 มก./ล., 90 นาที	34.43
8. PLC - H_3PO_4	10 มก./ล., 120 นาที	63.64
9. PDC - H_3PO_4	10 มก./ล., 150 นาที	66.42
10. GC - KOH	10 มก./ล., 120 นาที	38.52
11. PLC - KOH	10 มก./ล., 120 นาที	72.13
12. PDC - KOH	10 มก./ล., 120 นาที	100.00

ตารางที่ 2 ความจุของการดูดซับฟีนอลของถ่านชนิดผงที่ไม่ถูกกระตุ้น และถูกกระตุ้นในสภาวะที่เหมาะสม

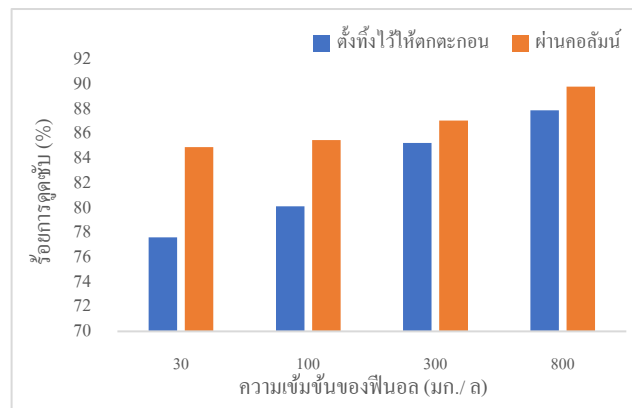
ชนิดของถ่าน	สภาวะที่เหมาะสม (ความเข้มข้น, ระยะเวลาสัมผัส)	ค่าความจุของการดูดซับ (มก./ก.)
1. Powder-Charcoal (PDC)	10 มก./ล., 120 นาที	2.89
2. PDC - ZnCl_2	10 มก./ล., 150 นาที	3.92
3. PDC - H_3PO_4	10 มก./ล., 150 นาที	3.32
4. PDC - KOH	10 มก./ล., 120 นาที	5.00



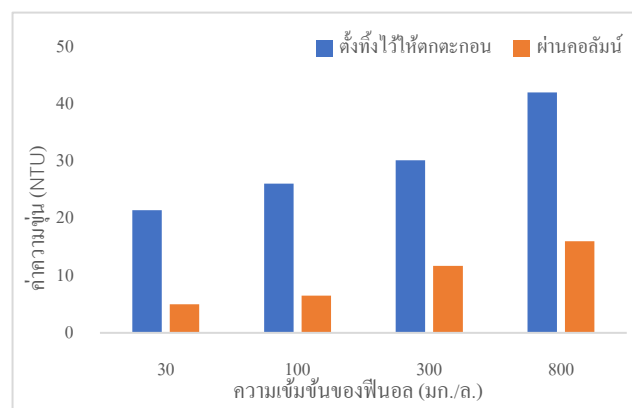
ภาพที่ 6 ร้อยละการดูดซับของฟีนอลด้วยถ่าน PDC-KOH กับค่าฟีนอลของสารละลายฟีนอลเข้มข้น 10 มก./ล. ที่ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที



ภาพที่ 7 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ (a) และแบบฟรุนดลิช (b) ของฟีนอลด้วยถ่าน PDC-KOH



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบร้อยละการดูดซับของสารละลายฟีนอลที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่าน PDC-KOH ที่ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน และผ่านคอลัมน์



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบค่าความขุ่นของสารละลายฟีนอลที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่าน PDC-KOH ที่ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน และผ่านคอลัมน์