



## การผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาที่ผ่านการคาร์บอนในเขชัน ด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก

รัชฎาภรณ์ ชมสวนสวรรค์<sup>1</sup> ชาญยุทธ กฤตสุนันท์กุล<sup>1</sup> อัมพิรา เจริญแสง<sup>2</sup> และ นवलกมล อารณพงษ์<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร  
จังหวัดพิษณุโลก 65000

<sup>2</sup>วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

\*Corresponding author: noukamola@nu.ac.th

(Received: October 18, 2024; Revised: December 27, 2024; Accepted: December 30, 2024)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาที่ผ่านการคาร์บอนในเขชันด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ผลการศึกษาพบว่า เมื่อกระตุ้นถ่านคาร์บอนในเขชันด้วยกรดฟอสฟอริกที่อัตราส่วนระหว่างถ่านคาร์บอนในเขชันต่อกรดฟอสฟอริก (g:mL) เท่ากับ 1:3 และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 700°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูสูงสุดเท่ากับ  $650.14 \pm 47.21$  และ  $71.63 \pm 1.17$  mg/g ตามลำดับ ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีพบว่า ถ่านคาร์บอนในเขชันจากไม้ทานาคามีปริมาณธาตุองค์ประกอบของธาตุแคลเซียม (54.05%wt.) โพแทสเซียม (21.22%wt.) ฟอสฟอรัส (9.49%wt.) และแมกนีเซียม (6.38%wt.) มีประจุบนพื้นผิวเป็นประจุลบ (-34.17) ที่สารละลาย pH เท่ากับ 7 ลักษณะของหมู่ฟังก์ชันของถ่านคาร์บอนในเขชันและถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาที่พบประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, C=C และ C=C (Aromatic) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่คล้ายคลึงกับหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์เกรดการค้า นอกจากนี้พบว่าถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาและถ่านกัมมันต์เกรดการค้ามีประสิทธิภาพในการดูดซับเมทิลีนบลูไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P > .05$ ) ดังนั้น ไม้ทานาคามีศักยภาพที่จะพัฒนาต่อยอดเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์และลดการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์; ไม้ทานาคา; กรดฟอสฟอริก

# Production of Activated Carbon from Carbonized Thanaka Wood Using Phosphoric Acid Activation

Rutchadaporn Chomsuansawan<sup>1</sup>, Chanyut Krittasunankun<sup>1</sup>, Ampira Charoensaeng<sup>2</sup>  
and Noulkamol Arpornpong<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environments,  
Naresuan University, Phitsanulok Province, 65000

<sup>2</sup>The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

\*Corresponding author: noulkamola@nu.ac.th

(Received: October 18, 2024; Revised: December 27, 2024; Accepted: December 30, 2024)

## Abstract

This research aims to study the physical and chemical properties of activated carbon derived from carbonized Tanaka wood that has been activated with phosphoric acid. The results indicate that the activation with phosphoric acid at a ratio of charcoal (g) to phosphoric acid (mL) of 1:3 at 700 °C for 1 hr. has the maximum adsorption of iodine and methylene blue of  $650.14 \pm 47.21$  and  $71.63 \pm 47.21$  mg/g, respectively. The study of the physical and chemical characteristics found that the carbonized charcoal from Tanaka wood consists of elemental compositions of calcium (54.05% wt.), potassium (21.22% wt.), phosphorus (9.49% wt.), and magnesium (6.38% wt.). The zeta potential on the surface charge at pH 7 is negative (-34.17). The functional groups found in the carbonized charcoal and activated carbon from Tanaka wood include O-H, C-H, C=C, and C=C (Aromatic), that are similar the functional groups of commercial-grade activated carbon. Moreover, the activated carbon from Tanaka wood and commercial-grade activated carbon exhibit statistically identical efficiency in methylene blue absorption ( $P > .05$ ). Therefore, Tanaka wood has the potential to be further developed into quality activated carbon, which can add value to the products and reduce the import of activated carbon from abroad.

**Keywords:** Activated carbon; Thanaka wood; Phosphoric acid



## บทนำ

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon, AC) เป็นถ่านที่มีคุณสมบัติพิเศษที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น โดยนำเอาถ่านมาผ่านกระบวนการกระตุ้นหรือก่อกัมมันต์ (Activation process) ทำให้ถ่านนั้นมีโครงสร้างเป็นรูพรุนจำนวนมากส่งผลให้มีพื้นที่ผิวภายในสูงขึ้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี ถ่านกัมมันต์ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เช่น ใช้เป็นวัสดุดูดซับกลิ่น (Huang et al., 2020) และสารปนเปื้อน (Poedji et al., 2018) สารฟอสฟอรัสในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง น้ำมันพืช น้ำตาล และสิ่งทอ (Julio et al., 2019) รวมถึงยังใช้เป็นสารดูดซับไอระเหยและแก๊สพิษในอากาศในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี (Song et al., 2020) นอกจากนี้ยังมีการนำเอาถ่านกัมมันต์มาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น นำมาเป็นวัสดุดูดซับสารตกค้างในผักและผลไม้ (มนตรี, 2561) และนำมาเป็นวัสดุดูดซับสารอินทรีย์ในตู้ปลาทะเลอีกด้วย (Phuangchik, 2015)

การกระตุ้นถ่านแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การกระตุ้นทางกายภาพและการกระตุ้นทางเคมี (Ahmadpour and Do, 1996) การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้แก๊ซหรือไอน้ำ ซึ่งจะใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นค่อนข้างสูง ประมาณ 800–1,000 °C เพราะไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (Superheated steam) เพื่อให้สารอินทรีย์ต่าง ๆ สลายไป ทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นรูพรุน (Porous) การกระตุ้นด้วยวิธีนี้จะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และถ่านที่ได้สามารถนำมาใช้งานได้ทันที โดยไม่ต้องล้างสารเคมีที่เหลือตกค้าง แต่ขนาดรูพรุนที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมี (Lua and Guo, 1998) ส่วนการกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) เป็นการกระตุ้นถ่านด้วยกรดหรือด่าง เช่น กรดซัลฟูริก (Rahman et al., 2019) กรดฟอสฟอริก (Poedji et al., 2018) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Norouzi et al., 2018) โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (Eka et al., 2020) เป็นต้น ซึ่งการเลือกใช้สารเคมีจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัตถุดิบที่นำมาเตรียม เป็นถ่านกัมมันต์โดยนำสารเคมีเหล่านี้มาผสมกับถ่าน จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600–800 °C ภายใต้สภาวะ อับอากาศ โดยวิธีนี้จะช่วยให้ธาตุและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน รวมถึงสารระเหยต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจนและน้ำถูกกำจัดออกในรูปของก๊าซและน้ำมันดิน อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นจะต่ำกว่า การกระตุ้นทางกายภาพ และผลผลิตที่ได้ออก (Yield) มีปริมาณสูง และถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดใหญ่ แต่การกระตุ้นด้วยวิธีนี้ต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นออกให้หมดและในบางครั้งอาจมีสารกระตุ้นตกค้างอยู่ จึงอาจจะไม่เหมาะที่จะนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปใช้ในด้านการแพทย์และอาหาร (Kennedy et al., 2004)

ชีวมวลที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด ส่วนใหญ่จะเป็นเศษไม้หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบไปด้วยคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมีปริมาณสารระเหยและค่าความชื้นต่ำ ชีวมวลที่ได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ เช่น ไม้เหียง (Norouzi et al., 2020) เมล็ดเทียนดำ (Rahman et al., 2019) กะลาปาล์ม (Poedji et al., 2018) เมล็ดและฝักมะรุ่ม (Santos et al., 2020) เปลือกส้ม (Doğan et al., 2020) และต้นรัก (Sahu et al., 2020) เป็นต้น

ดังนั้น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์แบบผงจากไม้ทานาคา (Thanaka wood) ซึ่งเป็นพืชที่พบได้ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเป็นไม้ท้องถิ่นในจังหวัดตาก เป็นไม้เนื้อแข็งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง ไม้ทานาคายังเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานเฟอร์นิเจอร์และโรงงานทำเครื่องสำอางในท้องถิ่น

อีกทั้งยังไม่มีผลการศึกษามากนั้นในการนำไม้ทานาคามาผลิตถ่านกัมมันต์โดยผ่านการกระตุ้นพื้นผิวด้วยกรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ ) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและความพรุน นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะถูกทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับเมทิลีนบลูและไอโอดีนในน้ำเพื่อประเมินศักยภาพในการใช้เป็นวัสดุดูดซับและใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้กับถ่านกัมมันต์เกรดการค้าเพื่อนำข้อมูลไปประเมินศักยภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### วัสดุอุปกรณ์

ไม้ทานาคา (*Hesperethusa crenulata* (Roxb.) Roem.) และถ่านคาร์บอนไนซ์จากไม้ทานาคาจากจังหวัดตาก ซึ่งจำหน่ายทั่วไปในท้องถิ่นจังหวัดตาก ถ่านกัมมันต์เกรดการค้า (Charcoal activated) จากบริษัท DC Fine Chemicals กรดฟอสฟอริก (85%) จากบริษัท Loba โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จากบริษัท RCI Labscan เมทิลีนบลู (Methylene blue, MB) สี C. I. 52015 จากบริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals Limited และไอโอดีน (Iodine) สี KA267 จากบริษัท KEMAUS

เตาเผาความร้อนสูง (Muffle Furnace) ยี่ห้อ Carbolite รุ่น ELF11/14/301 เครื่อง FT-IR Spectrometer ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Frontier เครื่อง Elemental Analyzer ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น FLASH 2000 เครื่อง Nano Zetasizer ยี่ห้อ Malvern รุ่น Nano ZS เครื่อง UV-Visible spectrophotometer ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV-1800

### การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคา

นำถ่านคาร์บอนไนซ์จากไม้ทานาคามาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 30 Mesh ซึ่งถ่านที่ได้จะมีขนาดน้อยกว่า 0.595 mm. จากนั้นนำถ่านมาแช่ในกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 40% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วอบให้แห้งนำถ่านที่เตรียมได้ใส่ถ้วยครุชชีเบลที่ปิดฝาเพื่อให้อยู่ในสภาวะอับอากาศ จากนั้นนำไปใส่ในเตาเผา (Muffle Furnace) ทำการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 700 และ 800 °C เป็นเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับ ภายหลังจากการเผานำถ่านกัมมันต์มาล้างสารกระตุ้นออกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วจึงนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนน้ำที่ล้างมีสภาพเป็นกลาง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

## การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคา

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคา โดยทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการเผากระตุ้นถ่านกัมมันต์ (500 700 และ 800 °C) และผลของระยะเวลาในการเผากระตุ้นถ่านกัมมันต์ (1 2 และ 3 ชั่วโมง) ต่อค่าการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูในน้ำ โดยการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนตามวิธีมาตรฐาน ASTM D4607 และการวิเคราะห์ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูตามวิธีมาตรฐาน JIS K 1474

## การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี

คุณสมบัติทางเคมีโดยศึกษาธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-Ray Fluorescence Spectrometry; XRF) ศึกษาลักษณะหมู่ฟังก์ชัน (Functional groups) บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) ในช่วง 4000- 500  $\text{cm}^{-1}$  ค่าประจุบนพื้นผิวด้วยเครื่อง Nano Zetasizer ที่สารละลาย pH ในช่วง 3-10

## การทดสอบทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ใช้เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูในน้ำของถ่านกัมมันต์แบบผงจากไม้ทานาคาด้วยวิธีวิเคราะห์ ค่าความแปรปรวนทางสถิติแบบ One way ANOVA โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 20 ( $\alpha=0.05$ )

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### เตรียมถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก

Figure 1 (c) แสดงลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาที่ผ่านการคาร์บอนเซชันด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก โดยการนำถ่านคาร์บอนซ์ (Figure 1 (b)) จากไม้ทานาคา (Figure 1 (a)) มาบดละเอียดจนร่อนผ่านตะแกรงขนาด 30 Mesh ซึ่งถ่านที่ได้จะมีขนาดน้อยกว่า 0.538 mm จากผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิค X-Ray fluorescence spectrometry (XRF) พบว่าถ่านคาร์บอนซ์จากไม้ทานาคาประกอบด้วยธาตุองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ ธาตุแคลเซียม (Ca) 54.05 %wt. โพแทสเซียม (K) 21.22 %wt ฟอสฟอรัส (P) 9.49 %wt. แมกนีเซียม (Mg) 6.38 %wt. และซิลิคอน (Si) 0.22 %wt. เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก

จากการนำถ่านคาร์บอนซ์ไปแช่กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 40% (อัตราส่วนระหว่างถ่านคาร์บอนซ์ต่อกรดฟอสฟอริกเท่ากับ 1:3 g/mL) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อบให้แห้งและทำการเผากระตุ้นถ่านที่อุณหภูมิ 500 700 และ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการกระตุ้นสูงขึ้นส่งผลให้ผลผลิตถ่านที่ได้ลดลง และเมื่อกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 800 °C จะได้ผลผลิตของถ่านเท่ากับ  $70.05 \pm 0.32$  % และ  $67.31 \pm 0.24$  % ตามลำดับ ซึ่งเป็นสภาวะที่ปฏิกิริยาการกระตุ้นเกิดได้ดีเนื่องจากความร้อนสูงทำให้สารระเหย

ที่เกาะอยู่บริเวณผิวและรูพรุนระเหยออกไป ทำให้ได้รูพรุนที่สูงขึ้นน้ำหนักและผลผลิตที่ได้ของถ่านกัมมันต์จึงมีค่าลดลงด้วย (ทัศนีย์, 2559) แต่ที่อุณหภูมิ 800 °C นั้นใช้พลังงานมากกว่าที่ 700 °C และให้ผลผลิตของถ่านน้อยกว่า ดังนั้น ในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจึงเลือกสภาวะในการกระตุ้นถ่านคาร์บอนที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

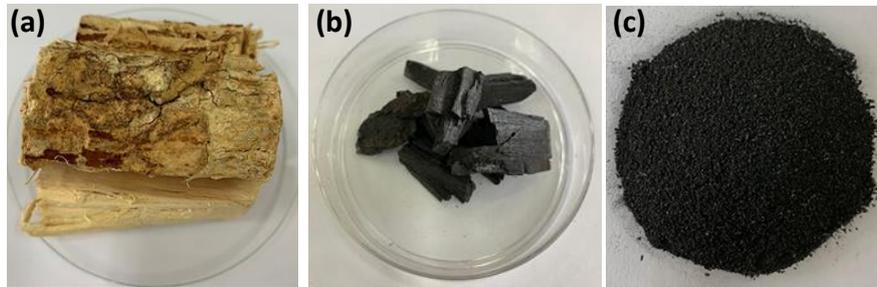


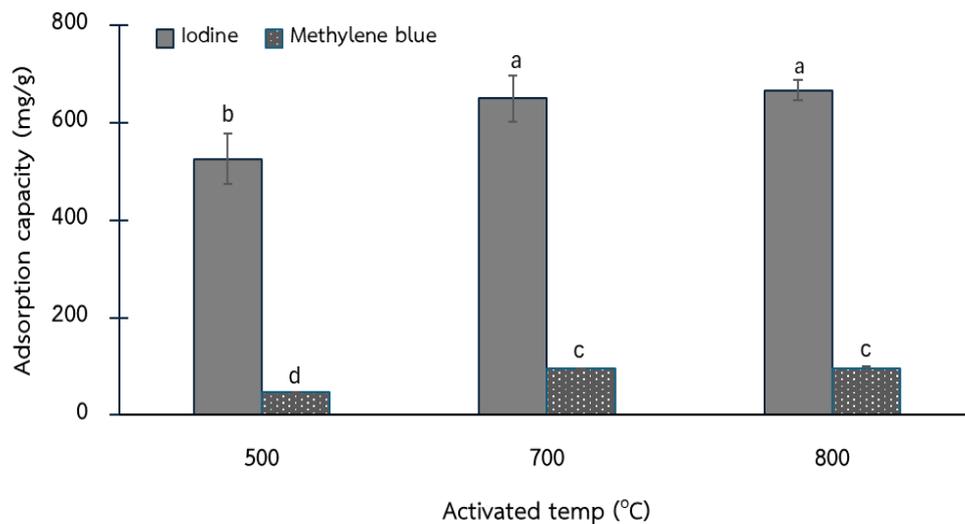
Figure 1. Appearance of Thanaka wood (a), carbonized charcoal (b), and activated carbon (c)

Table 1. Element composition (%wt.) of Thanaka wood carbonized charcoal using XRF

Component	%wt.
Ca	54.05
K	21.22
P	9.49
Mg	6.38
Si	0.22

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาผลของอุณหภูมิในการเผากระตุ้นถ่านกัมมันต์ต่อการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูในน้ำ

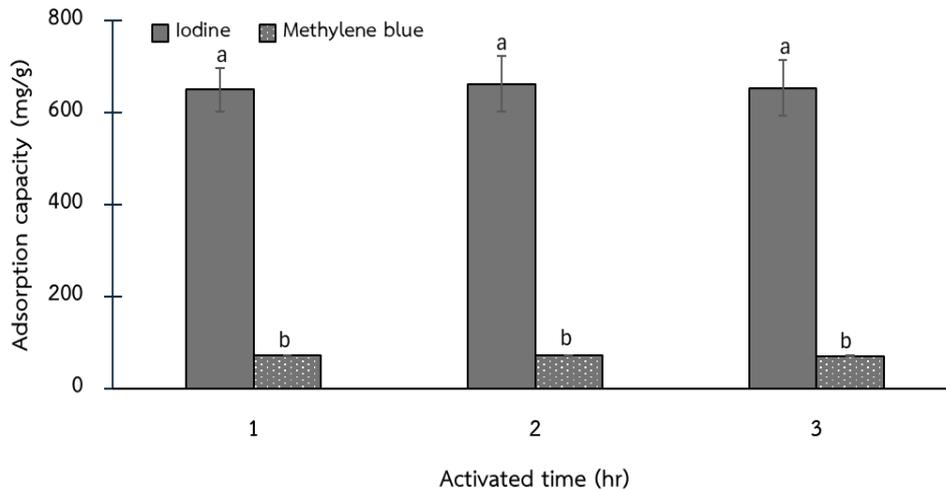
ผลจากการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาที่ผ่านการคาร์บอนเซชันด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500, 700 และ 800 °C ที่มีต่อการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลู แสดงดัง Figure 2 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการกระตุ้นจะทำให้ค่าดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลู แสดงดัง Figure 2 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการกระตุ้นจะทำให้ค่าดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับค่าการดูดซับเมทิลีนบลูในน้ำเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการกระตุ้นจะทำให้รูพรุนขนาดเล็กรวมตัวกลายเป็นรูพรุนขนาดกลางและขนาดใหญ่ และจากการที่ผนังรูพรุนขนาดเล็กบางส่วนถูกเผาไหม้กลายเป็นรูพรุนขนาดกลาง (Sun and Jiang, 2010) ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกระตุ้น คือ 700 °C เนื่องจากให้ค่าการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูสูงถึง  $650.14 \pm 47.21$  และ  $94.96 \pm 2.02$  mg/g ตามลำดับ และมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ( $P > .05$ ) ที่อุณหภูมิในการเผากระตุ้นที่ 800 °C



**Figure 2.** Effect of activated temperature on iodine and methylene blue adsorption capacity of Thanaka wood activated carbon (Different letters indicate statistically significant differences ( $P \leq .05$ ))

#### ผลของระยะเวลาในการเผากระตุ้นถ่านกัมมันต์

จากผลการศึกษาระยะเวลาในการเผากระตุ้นถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาที่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมงต่อค่าการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูในน้ำ โดยอัตราส่วนระหว่างถ่านคาร์บอนไนซ์ต่อกรดฟอสฟอริก (g:mL) เท่ากับ 1:3 และทำการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 700°C พบว่า ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นเป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง เท่ากับ 650.14, 662.26 และ 653.68 mg/g ตามลำดับ และค่าการดูดซับเมทิลีนบลูเท่ากับ 71.63, 72.55 และ 70.08 mg/g ตามลำดับ จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าผลของระยะเวลาในการเผากระตุ้นที่แตกต่างกันมีค่าการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Figure 3) ดังนั้น ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเผากระตุ้น คือ 1 ชั่วโมง เนื่องจากทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูสูงถึง  $650.14 \pm 47.21$  และ  $71.63 \pm 1.17$  mg/g ตามลำดับ รวมถึงใช้พลังงานในการกระตุ้นน้อยกว่าที่ระยะเวลา 2 และ 3 ชั่วโมง



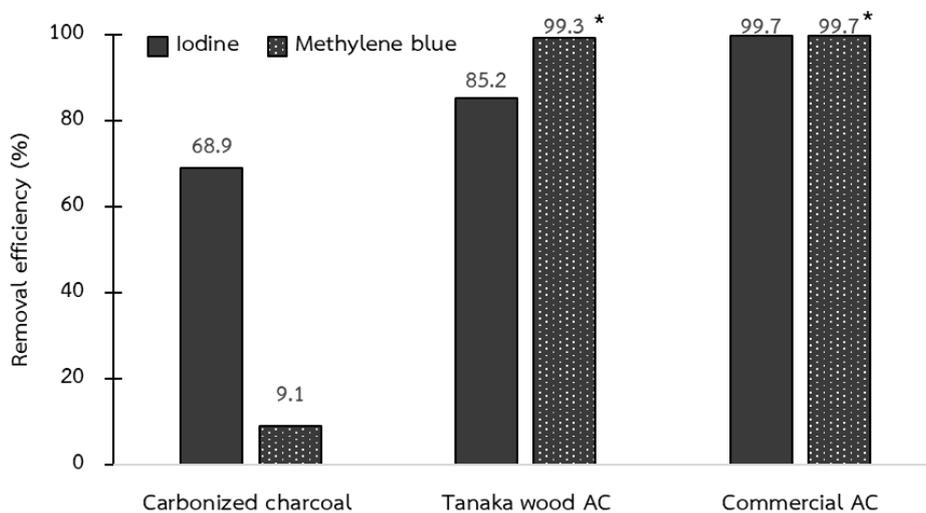
**Figure 3.** Effect of activated time in furnace on iodine and methylene blue adsorption capacity of Thanaka wood activated carbon (Different letters indicate statistically significant differences ( $P \leq 0.05$ ))

จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาที่ผ่านการคาร์บอนเซชันด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกพบว่า เมื่อกระตุ้นถ่านคาร์บอนเซชันด้วยกรดฟอสฟอริกที่อัตราส่วนระหว่างถ่านคาร์บอนเซชันต่อกรดฟอสฟอริก (g:mL) เท่ากับ 1:3 และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ  $700^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูสูงสุดเท่ากับ  $650.14 \pm 47.21$  และ  $71.63 \pm 1.17$  mg/g ตามลำดับ โดยสถานะที่เหมาะสมนี้จะใช้ในการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาในการทดลองต่อไป

### การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของถ่านคาร์บอนเซชันจากไม้ทานาคา ถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคา และถ่านกัมมันต์เกรดการค้าประสิทธิภาพการดูดซับเมทิลีนบลูและไอโอดีนในน้ำ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับเมทิลีนบลูในน้ำระหว่างถ่านคาร์บอนเซชันจากไม้ทานาคา ถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาและถ่านกัมมันต์เกรดการค้า โดยทำการศึกษาที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลีนบลูเท่ากับ 350 mg/L และปริมาณถ่านที่ใช้เท่ากับ 0.2 g ผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาและถ่านกัมมันต์เกรดการค้ามีประสิทธิภาพการดูดซับเมทิลีนบลูที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 99.3 และ 99.7% ตามลำดับ (Figure 4) นอกจากนี้พบว่า ถ่านคาร์บอนเซชันจากไม้ทานาคาภายหลังจากผ่านการกระตุ้นด้วยกรดแล้วมีประสิทธิภาพในการดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากถ่านคาร์บอนเซชันเมื่อผ่านการกระตุ้นด้วยกรดและความร้อนแล้วนั้นพื้นผิวรูพรุนของถ่านจะเกิดการเผาไหม้ และถูกทำลายมากขึ้น ดังนั้นรูพรุนขนาดเล็กก็จะขยายกลายเป็นรูพรุนขนาดกลางและขนาดใหญ่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐวิภา (2554)

นอกจากนี้ประสิทธิภาพการดูดซับไอโอดีนในน้ำระหว่างถ่านคาร์บอนไนซ์จากไม้ทานาคา ถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคา และถ่านกัมมันต์เกรดการค้า โดยทำการศึกษาที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอโอดีนเท่ากับ 0.1 N ผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์เกรดการค้ามีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 99.7% รองลงมาคือถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคา (85.2%) และถ่านคาร์บอนไนซ์จากไม้ทานาคา (68.9%) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีประสิทธิภาพในการดูดซับไอโอดีนได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคา เนื่องจากถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีค่าการดูดซับไอโอดีน 769.41 mg/g ซึ่งสูงกว่าถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคา คือ 686.71 mg/g จึงทำให้ดูดซับได้ดีกว่า แต่ถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับไอโอดีนได้ดีกว่าถ่านคาร์บอนไนซ์จากไม้ทานาคา (Figure 4) เนื่องจากว่าถ่านคาร์บอนไนซ์เป็นถ่านที่ยังไม่ผ่านการกระตุ้น จึงทำให้มีปริมาณรูพรุนที่บริเวณพื้นผิวของถ่านค่อนข้างน้อย และในบริเวณที่เกิดการดูดซับยังคงมีสารประกอบต่าง ๆ อยู่ จึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับไอโอดีนได้น้อยกว่า (พรชชกร, 2549)



**Figure 4.** Comparison of the properties to commercial activated carbon (Same \* symbol indicates not statistically significant differences ( $P > .05$ ))

### การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

ผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของถ่านคาร์บอนไนซ์จากไม้ทานาคา ถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคา และถ่านกัมมันต์เกรดการค้าด้วยเทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) ซึ่งเป็นเทคนิคทางด้าน Infrared Spectroscopic ที่ศึกษาประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุล แสดงดัง Figure 5 ผลการศึกษาพบว่า สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของถ่านคาร์บอนไนซ์จากไม้ทานาคามีพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $\sim 3794 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\sim 2882 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\sim 2102 \text{ cm}^{-1}$  และ  $\sim 1582 \text{ cm}^{-1}$  โดยจะเป็นตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, C=C และ C=C (aromatic) ตามลำดับ ส่วนของถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคามีพีคที่ตำแหน่ง

เลขคลื่น  $\sim 3786\text{ cm}^{-1}$ ,  $\sim 2682\text{ cm}^{-1}$ ,  $\sim 2136\text{ cm}^{-1}$  และ  $\sim 1876\text{ cm}^{-1}$  โดยจะเป็นตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, C=C, C-O และ C=C (aromatic) ตามลำดับ

และถ่านกัมมันต์เกรดการค้ามีพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $\sim 3780\text{ cm}^{-1}$ ,  $2694\text{ cm}^{-1}$ ,  $2134\text{ cm}^{-1}$ ,  $1810\text{ cm}^{-1}$  และ  $1444\text{ cm}^{-1}$  โดยจะเป็นตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน O-H stretching, C-H, C=C, C-O และ C=C (Aromatic) ตามลำดับ ซึ่งลักษณะของสเปกตรัมและตำแหน่งเลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันจากเทคนิค FTIR จะเป็นหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของถ่านกัมมันต์ทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Andersson et al. (2011)

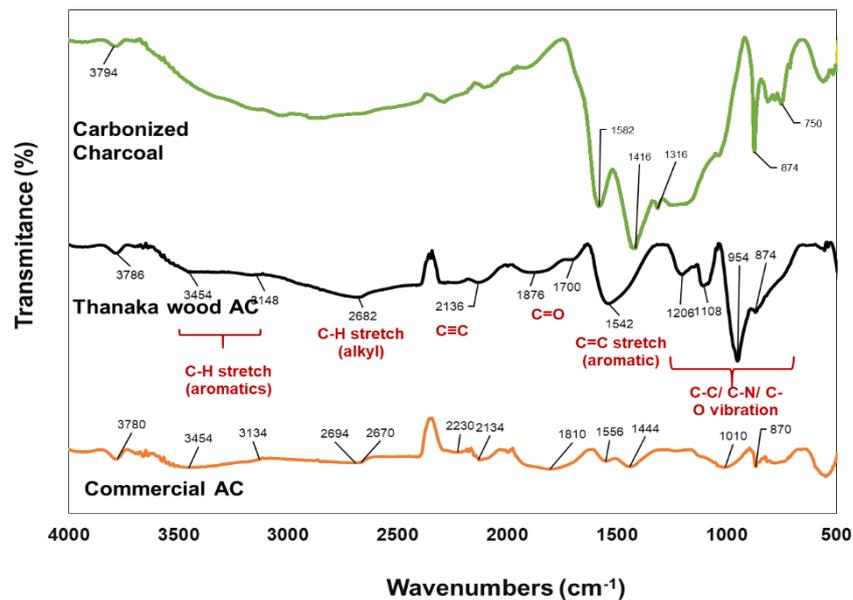


Figure 5. FTIR spectra of carbonized charcoal, Thanaka wood and commercial activated carbons

### การวิเคราะห์ประจุบนพื้นผิว

ผลการวิเคราะห์ค่าศักย์ซีต้า (Zeta potential) บนพื้นผิวด้วยเครื่อง Nano Zetasizer ซึ่งแสดงถึงสภาพความเป็นประจุของพื้นผิวของถ่านที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่า pH ของสารละลายที่เปลี่ยนแปลง (pH 3-10) (Figure 3) จะเห็นได้ว่า ค่า pH ที่ทำให้พื้นผิวมีประจุรวมเป็นศูนย์ ( $pH_{pzc}$ ) ของถ่านแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกัน โดยค่า  $pH_{pzc}$  ของถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคามีค่าประมาณ 3 ( $pH_{pzc} = \sim 3$ ) นอกจากนี้พบว่าเมื่อสารละลายมีค่า pH=7 จะมีค่า Zeta potential บนพื้นผิวของถ่านคาร์บอนีซจากไม้ทานาคา ถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคา และถ่านกัมมันต์เกรดการค้า เท่ากับ -22.8 -34.17 และ -22.2 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อสารละลายมีค่า pH = 7 ( $pH > pH_{pzc}$ ) ประจุบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาเป็นลบ เนื่องจากมีการแตกตัวเป็นไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) ที่พื้นผิวถ่านในปริมาณมาก จึงคาดว่าน่าจะส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูได้ดี เนื่องจากสารเมทิลีนบลูมีประจุเป็นบวก

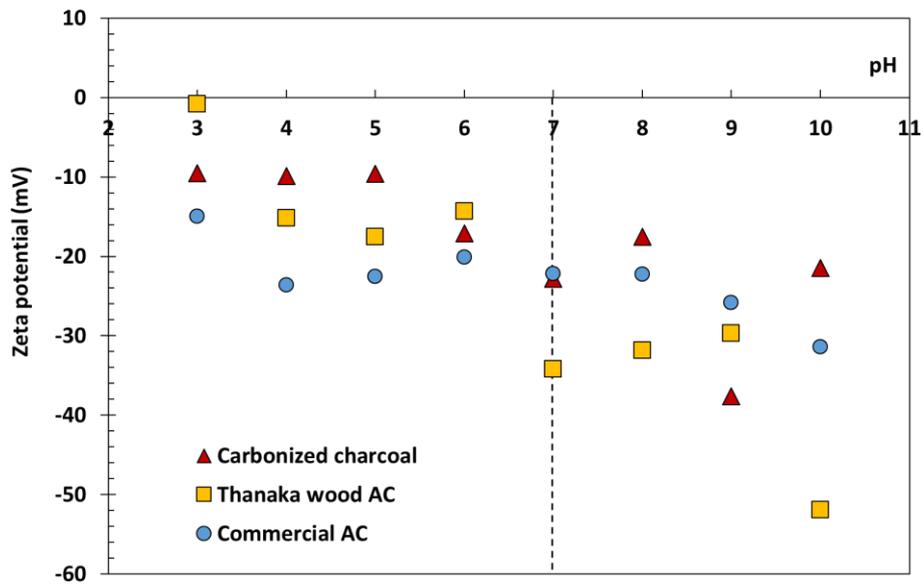


Figure 6. The Zeta potential of the commercial activated carbon, carbonized charcoal and activated carbon from Tanaka wood at the equilibrium pH of 3-10 and room temperature ( $25\pm 2$  °C)

### สรุป

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาที่ผ่านการคาร์บอนไนเซชันด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านคาร์บอนไนซ์ คือ การเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ  $700^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้ผลผลิตของถ่านเท่ากับ 70.05% จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี พบว่าหมู่ฟังก์ชันของถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาพบหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, C=C และ C=C (Aromatic) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่คล้ายคลึงกับหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์เกรดการค้า ค่าประจุบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกจะมีค่า Zeta potential เป็นลบที่มากกว่าถ่านคาร์บอนไนซ์ที่สลายละลาย pH=7 ถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคามีค่าการดูดซับไอโอดีน ( $650.14\text{ mg/g}$ ) ใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า ( $769.41\text{ mg/g}$ ) นอกจากนี้ จากการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับเมทิลีนบลูในน้ำ ( $C_0 = 350\text{ mg/L}$ ) พบว่า ถ่านกัมมันต์จากไม้ทานาคาและถ่านกัมมันต์เกรดการค้ามีประสิทธิภาพการดูดซับเมทิลีนบลูที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น จากการศึกษาคุณสมบัติของไม้ทานาคาที่เป็นไม้ท้องถิ่นในจังหวัดตากพบว่ามีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อเพิ่มมูลค่าและคุณค่าให้กับทรัพยากรท้องถิ่นได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เช่น น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักกลุ่มประจุบวกหรือใช้ในการดูดซับสารพิษในน้ำได้



## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร (ห้องปฏิบัติการ ESPReL เลขทะเบียน 2-0100-0040-4) ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและสถานที่สำหรับการดำเนินการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- มนตรี บุญจรัส. (2561). เทคนิควิธีการล้างสารพิษตกค้างในพืชผักและผลไม้แบบชาวบ้าน. Thai Green Agro. <https://www.thaigreenagro.com>.
- ณัฐวิภา จงรัก. (2554). การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย โดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ปริญญาานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย). ThaiLIS. [https://tdc.thailis.or.th/tdc/search\\_result.php](https://tdc.thailis.or.th/tdc/search_result.php)
- พรพรขจร ใจประดับเพชร. (2549). การกำจัดแคดเมียมและสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และเมล็ดมะขาม (ปริญญาานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย). ThaiLIS. [https://tdc.thailis.or.th/tdc/search\\_result.php](https://tdc.thailis.or.th/tdc/search_result.php)
- Ahmadpour, A., & Do, D. D. (1996). The preparation of active carbons from coal by chemical and physical activation. *Carbon*, 34, 471-479.
- Andersson, K. I., Eriksson, M., & Norgren, M. (2011). Removal of lignin from wastewater generated by mechanical pulping using activated charcoal and fly ssh: Adsorption isotherms and thermodynamics. *I&EC research*, 50, 7705-8388.
- Doğan, M., Sabaz, P., Bicił, Z., Kizilduman, B. K., & Turhan, Y. (2020). Activated carbon synthesis from tangerine peel and its use in hydrogen storage. *Journal of the Energy Institute*, 93, 2176-2185.
- Eka, M. M, Alfatahb, T., & Supardanc, D. M. (2020). Synthesis and characterization of activated carbon from *Bambusa vulgaris striata* using two-step KOH activation. *Journal of Materials Research and Technology*, 9, 6278-6286.
- Huang, X., Shi, B., Hao, H., Su, Y., Wu, B., Lai, Z., Wang, C., Wang, Q., Yang, M., & Yu, J. (2020). Identifying the function of activated carbon surface chemical properties in the removability of two common odor compounds. *Water research*, 178, 715-797.
- Julio A. F., Méndez, F. G., Medel, H., Gómez, R. S. G., González, M. B., Pérez, S. M., & Bazúa, C. D. D. (2019). Effectiveness of bagasse activated carbon in raw cane juice clarification. *Food Bioscience*, 32, 100437.



- Kennedy, J. L., Vijaya, J. J., & Sekaran, G. (2004). Effect of two-stage process on the preparation and characterization of porous carbon composite from rice husk by phosphoric acid activation. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 43, 1832-1838.
- Lua, C. A., & Guo, J. (1998). Preparation and characterization of chars from oil palm waste. *Carbon*, 36, 1663-1670.
- Norouzi, S., Heidari, M., Alipour, V., Rahmanian, O., Fazlzadeh, M., Mohammadi-moghadam, F., Nourmoradi, H., Goudarzi, B., & Dindarloo, K. (2018). Preparation, characterization and Cr(VI) adsorption evaluation of NaOH-activated carbon produced from date press cake; an agro-industrial waste. *Bioresource Technology*, 258, 48-56.
- Phuangchik, T. (2015). Activated carbon from bamboo: does the market have a high demand. *Thai Science and Technology Journal*, 6, 945-954.
- Poedji, L. H., Muhammad, F., & Ridwan, M. (2018). Removal of procion red MX-5B from songket's industrial wastewater in South Sumatra Indonesia using activated carbon-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> composite. *Sustainable Environment Research*, 28, 158-164.
- Rahman, A., Hango, H. J., Likus, S. D., Veikko, U. S., Jaime, J., Sandeep, B., & Jonnalagadda, S. B. (2019). Chemical preparation of activated carbon from *Acacia erioloba* seed pods using H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> as impregnating agent for water treatment: An environmentally benevolent approach. *Journal of Cleaner Production*, 237, 1177689.
- Sahu, A., Subash, S. S., & Mishra, C. (2020). Economical way of processing activated carbon from *Calotropis gigantea* and its suitability for application in Lithium/Sodium ion batteries. *Diamond and Related Materials*, 108, 107931.
- Santos, T. M., Jesus, F. A., Silva, G. F., & Pontes, L. A. M. (2020). Synthesis of activated carbon from oleifera moringa for removal of oils and greases from the produced water. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 14, 100357.
- Song, G., Yao, R. D. Z., Chen, H., Romero, C., Lowe, T., Driscoll, G., Kreglow, B., & Baltrusaitis, H. S. J. (2020). Anthracite coal-based activated carbon for elemental Hg adsorption in simulated flue gas: Preparation and evaluation. *Flue*, 275, 117921.
- Sun, K., & Jiang, J. C. (2010). Preparation and characterization of activated carbon from rubber- seed shell by physical activation with steam. *Biomass and Bioenergy*, 34, 539-544.