

ผลของการกระตุ้นทางเคมีที่มีต่อถ่านกัมมันต์จากใบสับปะรด

Chemical activation effect on activated carbon prepared from pineapple leaves

พรสวรรค์ อมรศักดิ์ชัย^{1*} ณัฐนนท์ พลชัย² และ อมรรัตน์ ม่วงอ่อน³

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต. ศาลายา อ. พุทธมณฑล จ. นครปฐม

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ. เมือง จ. พิษณุโลก

^{1*}E-mail: Pornsawan.amo@rmutr.ac.th, ²E-mail: natthanonp@nu.ac.th, ³E-mail: amornratm@nu.ac.th

บทคัดย่อ

ถ่านกัมมันต์จากใบสับปะรดที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์ด้วยเตาเผาห้องถลุงนำมาศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกระตุ้น เช่น อุณหภูมิ ระยะเวลา และอัตราส่วนของถ่านต่อกรดฟอสฟอริก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นถ่านกัมมันต์ วิเคราะห์ผลด้วยการหาเลขการดูดซับไอโอดีน การหาพื้นที่ผิวด้วยวิธีเบรนนอร์ เอ็มเมทท์และเทลเลอร์ (Brunauer Emmett Teller: BET) และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการกระตุ้น ค่าเลขการดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับพื้นที่ผิวจาก BET ที่เพิ่มมากขึ้น สภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านใบสับปะรดคือ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการแช่กรดฟอสฟอริก 3 ชั่วโมง และอัตราส่วนระหว่างถ่าน:กรด คือ 1:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเลขการดูดซับไอโอดีนสูงสุดและพื้นที่ผิวเท่ากับ 251.67 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 254.49 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ จากผลที่ได้ทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนและพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นถึง 106 และ 200 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับถ่านที่ยังไม่ได้ผ่านการกระตุ้น

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์ ใบสับปะรด การกระตุ้นทางเคมี

* Corresponding author, e-mail: Pornsawan.amo@rmutr.ac.th

Abstract

Activated carbon (AC) was prepared from pineapple leaves carbonized in the local kiln. The effects of the main variables involved in the reaction, temperature, time of reaction, and the pineapple leaves/acid ratio, were studied. In this work, the iodine adsorption number (IAN) standard method was studied to indicate its physical properties. Brunauer Emmett Teller (BET) was used to analyses the surface area and also pore size. The functional groups were obtained by using the Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR). The results indicated that as temperature increased the IAN and surface areas were increased. The suitable conditions for AC preparation was 700 °C at 1:1 g/ml of AC: acid with soaking time 3 hr., resulting in IAN and surface area of 251.67 mg/g and 254.49 m²/g, respectively. The increment of IAN and surface area are 106 and 200 times comparison with carbonized pineapple leaves.

Keywords: Activated carbon, pineapple leaves, chemical impregnation

1. บทนำ

สับปะรดเป็นหนึ่งในผลผลิตทางการเกษตรที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการบริโภค แต่จะมีเฉพาะส่วนผลเท่านั้นที่ถูกนำไปใช้ จึงมีส่วนของใบเป็นของเหลือทิ้งอยู่เป็นจำนวนมาก ตามปกติใบจะถูกกลัด ฟัน และไถกลบก่อนการปลูกรอบใหม่ ความน่าสนใจของใบสับปะรดคือมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ (70% โดยน้ำหนักแห้ง) ที่มีคาร์บอนจำนวนมาก จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

ถ่านกัมมันต์ได้มาจากสารที่มีองค์ประกอบคาร์บอนหลัก เช่น เปลือกผลไม้ ไม้ และเส้นใย เป็นต้น กระบวนการทำให้ได้ถ่านกัมมันต์นั้นแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือการคาร์บอนเซชัน และการกระตุ้น ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพสำหรับคาร์บอน ด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิว และการเกิดรูพรุน การเตรียมถ่านกัมมันต์มี 2 วิธี คือการกระตุ้นทางเคมี และการกระตุ้นทางกายภาพ แม้ว่าถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสารได้หลายชนิด แต่ข้อเสียอย่างหนึ่งของถ่านกัมมันต์คือราคาแพง จึงมีรายงานจำนวนมากได้ทำการศึกษาและพัฒนาตัวดูดซับจากถ่านกัมมันต์จากวัสดุธรรมชาติ ที่เป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร เพื่อให้มีราคาที่ถูกลง [1-4] อย่างไรก็ตามในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่มีการเตรียมถ่านกัมมันต์จากสับปะรดน้อยมาก [5-7] ดังนั้นเพื่อให้เกิดการใช้หรือเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งทางการเกษตร งานวิจัยนี้จึงศึกษาวิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์จากใบสับปะรดด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี โดยใช้กรดฟอสฟอริก และศึกษาอุณหภูมิที่ใช้เผากระตุ้น อัตราส่วนระหว่างกรดกับถ่าน และระยะเวลาในการแช่กรด โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อให้ได้แนวทางในการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพ เป็นตัวดูดซับที่ดี มีราคาถูก และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาความสามารถในการดูดซับไอโอดีน พื้นที่ผิว และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมถ่านจากใบสับปะรด (carbonization)

นำใบสับปะรดที่ได้จากของเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเผาในเตาเผาถ่านจริงที่ใช้ในหมู่ที่ 12 ตำบลคอกควาย อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี (รูปเตาเผาที่ใช้แสดงในรูปที่ 1)

2.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นถ่านโดยใช้กรดฟอสฟอริก

ชั่งน้ำหนักถ่านที่ผ่านการทำคาร์บอนไนซ์จากข้อ 1 โดยชั่งตัวอย่างหนักประมาณ 100 กรัมในแต่ละการทดลอง แล้วนำไปศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระตุ้นด้วยสภาวะที่ใช้ศึกษาต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1 การศึกษาอุณหภูมิการเผากระตุ้นที่เหมาะสม

2.2.1.1 เติมสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 96 โดยปริมาตร ในอัตราส่วน 1:1 กรัมต่อมิลลิลิตร (น้ำหนักถ่านจากใบสับปะรด 100 กรัม ต่อกรด 100 มิลลิลิตร) คนสารละลายให้ทั่ว แล้วแช่กรดทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ทำเป็นกลางด้วยน้ำปราศจากไอออน อบให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

2.2.1.2 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส คงที่นาน 30 นาที ชั่งน้ำหนักหลังการเผาทุกครั้ง แล้วนำถ่านที่ได้จากการกระตุ้นไปหาค่าการดูดซับไอโอดีนตามมาตรฐาน ASTM D4607 - 94 (2011)

2.2.1.3 ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1-3 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิการเผาเป็น 500 600 และ 700 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดย ในงานวิจัยนี้ใช้เตา HERBERT ARNOLD รุ่น WEILBURG/LAHN Wellstra Germany

หมายเหตุ มีข้อจำกัดของเตาคืออุณหภูมิสูงสุดที่ตั้งได้เท่ากับ 700 องศาเซลเซียส

2.2.2 การศึกษาเวลาการแช่กรดฟอสฟอริก ที่เหมาะสม

2.2.2.1 ทำเหมือนข้อ 1 ในหัวข้อ 2.2.1

2.2.2.2 ทำเหมือนข้อ 2 ในหัวข้อ 2.2.1 แต่นำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

2.2.2.3 ทำเช่นเดียวกับข้อ 1-3 แต่เปลี่ยนเวลาในการแช่กรดฟอสฟอริกเป็น 1 3 6 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

2.2.3 การศึกษาอัตราส่วนกรดฟอสฟอริก ที่เหมาะสม

2.2.3.1 เติมสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 96 โดยปริมาตร ในอัตราส่วน 1:1 กรัมต่อมิลลิลิตร คนสารละลายให้ทั่ว แล้วแช่กรดทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง ทำให้เป็นกลางด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

2.2.3.2 ทำเหมือนข้อ 2 ในหัวข้อ 2.2.2

2.2.3.3 ทำตามข้อ 1-3 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนของกรดฟอสฟอริกเป็น 1:2 และ 1:3 กรัมต่อมิลลิลิตร

2.3 วิธีการวิเคราะห์หาค่าตัวเลขการดูดซับไอโอดีน (Iodine Adsorption Number; IAN)

ค่าเลขการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์นั้นใช้วิธีการตามมาตรฐาน ASTM D4607 - 94 (2011) ด้วยการไทเทรตกับโซเดียมไทโอซัลเฟต และนำผลที่ได้ไปคำนวณค่าเลขการดูดซับไอโอดีนดังรายละเอียดด้านล่าง

2.3.1 การคำนวณค่าเลขการดูดซับไอโอดีน

เมื่อได้ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจากการไทเทรต กับสารละลายไอโอดีนที่ได้หลังจากการดูดซับแล้ว สามารถนำไปคำนวณความเข้มข้นของไอโอดีนที่เหลือได้ตามสมการที่ 1

$$C = N_1 \times S / 50 \quad (1)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือหลังการดูดซับ (นอร์มัล)

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

ค่าเลขการดูดซับไอโอดีนสามารถหาได้จากการพล็อตกราฟระหว่าง $\log x/m$ ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2 และ $\log C$ จากสมการที่ 1

$$X/M = [A - (DF) (B) (S)] / M \quad (2)$$

เมื่อ X/M = ปริมาณการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$A = N_2 \times 12693$ $B = N_1 \times 126.93$

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มัล)

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

M = น้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดสอบ (กรัม)



รูปที่ 1 เตาเผาที่ใช้ในการเผาถ่านจากใบสับปะรด

2.4 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของถ่านจากใบสับปะรดก่อนและหลังการกระตุ้นทางเคมี

การหาพื้นที่ผิวและรูพรุนของตัวอย่างถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Surface area and porosity analyzer (BET surface area) ยี่ห้อ Micromeritics รุ่น TriStar II 3020 และวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) ยี่ห้อ Perkin Elmer System

3. ผลการทดลองและอภิปราย

3.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิการเผาที่เหมาะสม

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาหลังจากการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกกับค่าเลขการดูดซับไอโอดีน (IAN) แสดงในตารางที่ 1 ใช้กรดความเข้มข้นร้อยละ 96 โดยปริมาตร ระยะเวลาการแช่ 24 ชั่วโมง และอัตราส่วนของปริมาณถ่านต่อกรดคือ 1:1 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบที่ 400 และ 500 องศาเซลเซียส พบว่า IAN เพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า และที่ 500 ไป 600 องศาเซลเซียส การเพิ่มขึ้นของ IAN ก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ขณะที่การเพิ่มจาก 600 ไป 700 องศาเซลเซียส ค่า IAN และพื้นที่ผิวไม่ได้เพิ่มขึ้นต่างกันอย่างชัดเจน โดยมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 1.1 เท่า ซึ่งน้อยกว่าการเพิ่มขึ้นในช่วง 400 ไป 500 องศาเซลเซียส โดยสามารถ

อธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการกำจัดสารระเหย หรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ ภายในรูพรุน ออกมาได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่า IAN และพื้นที่ผิวมีค่ามากขึ้น แต่ถ้าใช้อุณหภูมิในการเผาที่สูงเกินไปก็จะเป็นการทำลายรูพรุนได้ ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า IAN และพื้นที่ผิวได้

เมื่อพิจารณาผลของรูพรุนของถ่านกัมมันต์จากใบสับปะรด (ตารางที่ 1) จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในการเผา กระตุ้นเพิ่มมากขึ้น ขนาดของรูพรุนมีแนวโน้มลดลง นั่นคือมีค่าพื้นที่ผิวที่มากขึ้น โดยขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จากใบสับปะรดจะอยู่ในช่วงของขนาดไมโคร (เส้นผ่านศูนย์กลาง (d_p) < 2 nm) และเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วย BET surface area พบว่ามี % รูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งมีความสอดคล้องกับลักษณะการดูดซับมีไอโซเทอมแบบที่ 1 ตามระบบ IUPAC (ไม่ได้แสดงผลของกราฟ BET ในที่นี้) ซึ่งเป็นไอโซเทอมการดูดซับของตัวดูดซับของแข็งที่ประกอบไปด้วยรูพรุนขนาดเล็ก

ตารางที่ 1 ข้อมูลค่าเลขการดูดซับไอโอดีนและผลการวิเคราะห์ด้วย BET surface area ของถ่านกัมมันต์ทางการค้า ถ่านจากใบสับปะรดก่อนการกระตุ้น และถ่านกัมมันต์จากใบสับปะรดที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดและเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

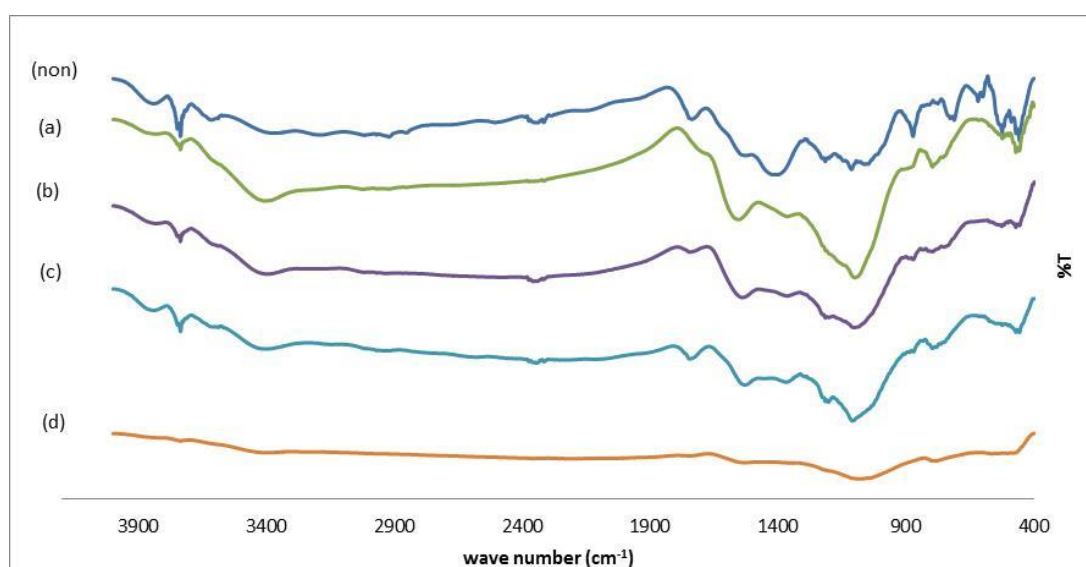
ตัวอย่าง	IAN (mg/g)	ผลจากเครื่อง BET surface area			
		พื้นที่ผิว (m ² /g)	ปริมาตรรูพรุน (cm ³ /g)	ขนาดของรูพรุน (nm)	% รูพรุนขนาดเล็ก
AC_com	724.63	986.2300	0.6043	2.4511	75.2129
Non_AC	3.64×10^{-4}	1.3203	0.0023	1.9629	-
AC_400	40.66	4.6360	0.0032	1.9114	-
AC_500	77.05	181.1534	0.0857	2.8209	82.1443
AC_600	153.91	210.4158	0.0812	1.8927	93.2597
AC_700	173.59	254.4990	0.1221	1.5447	76.6039

หมายเหตุ AC_com และ Non_AC คือถ่านกัมมันต์ทางการค้ายี่ห้อ Fluka และ ถ่านจากใบสับปะรดที่ยังไม่ผ่านการกระตุ้น ตามลำดับ AC คือถ่านกัมมันต์จากใบสับปะรดที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ตัวเลขด้านหลังแสดงถึงอุณหภูมิที่ใช้เผาหลังการกระตุ้น เช่น AC_400 หมายถึง ถ่านกัมมันต์จากใบสับปะรดที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดและเผาที่ 400 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่า IAN ค่าพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุน มีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างถ่านกัมมันต์ทางการค้า (AC_com) และถ่านจากใบสับปะรดที่ยังไม่ผ่านการกระตุ้น (Non_AC) ดังนั้นเมื่อมีการกระตุ้นถ่านใบสับปะรด ค่า IAN และพื้นที่ผิวจะต้องเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 1 ค่าดังกล่าวมีค่าเพิ่มสูงมากขึ้นเมื่อเทียบกับถ่านจากใบสับปะรดที่ยังไม่ผ่านการกระตุ้น เป็นไปตามที่คาดไว้ โดยมีงานวิจัยที่มีการศึกษาผลของส่วนประกอบภายในวัสดุก่อนนำมาทำเป็นถ่านกัมมันต์ [5, 8] พบว่าวัสดุที่ประกอบไปด้วยลิกนิน เมื่อนำมาทำเป็นถ่านกัมมันต์ จะได้โครงสร้างที่มีรูพรุนขนาดแมโคร ($d_p > 50$ nm) ในทางตรงกันข้ามเมื่อวัสดุที่ประกอบไปด้วยเซลลูโลสจำนวนมากจะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดไมโคร ซึ่งพบว่าเมื่อทำการกระตุ้นถ่านจากใบสับปะรดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ขนาดของรูพรุน และ % รูพรุนขนาดเล็กขนาดไมโคร มีค่าเพิ่มขึ้น

อย่างมาก (ดูตารางที่ 1) ซึ่งตรงกับลักษณะทางกายภาพของไบสับปะรดที่มีปริมาณเซลลูโลสมากกว่าลิกนิน ทั้งนี้ไบสับปะรดมีเซลลูโลสมากกว่า 70% โดยน้ำหนักแห้ง

เมื่อนำถ่านกัมมันต์จากไบสับปะรดไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ผลดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าถ่านจากไบสับปะรดก่อนการกระตุ้น (Non_AC) มีแถบของ O-H ยืดที่ตำแหน่ง 3437 cm^{-1} พร้อมกับแถบ O-H งอที่ตำแหน่ง 1632 cm^{-1} แสดงถึงของโมเลกุลน้ำ บริเวณไหล่แถบ 3246 cm^{-1} เป็นสัญญาณการสั่นของหมู่ Si-OH ใน SiO_2 และที่ตำแหน่ง 1111 cm^{-1} มีสัญญาณแถบที่เข้มของ Si-O-Si ไม่สมมาตรแบบยืดอยู่ พร้อมกันนี้พบแถบ C=O ยืด ที่ตำแหน่ง 1700 cm^{-1} และ C-O ยืด ที่ตำแหน่ง 1000 cm^{-1} แสดงว่าถ่านจากไบสับปะรดก่อนการกระตุ้นอาจมีสิ่งตกค้าง จำพวกน้ำมัน ไขมัน สารอินทรีย์ หิน หรือ ทราย หลงเหลืออยู่ด้วย ส่งผลต่อการบ่งหรืออุดรูพรุนที่มีของถ่าน ทำให้ดูดซับไอโอดีนและสารอื่น ๆ ได้ไม่ดี



รูปที่ 2 FT-IR สเปกตรัมของ ถ่านจากไบสับปะรดก่อนการกระตุ้น (Non_AC) บนสุด และถ่านกัมมันต์จากไบสับปะรดกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 96 โดยปริมาตร ระยะเวลาในการแช่กรด 24 ชั่วโมง อัตราส่วนปริมาณถ่านต่อกรด 1:1 กรัมต่อมิลลิลิตร และนำไปเผาที่ (a) 400 (b) 500 (c) 600 และ (d) 700 องศาเซลเซียส

เมื่อมีการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกและทำการเผาหลังการกระตุ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ดูรูปที่ 2 (a)-(c)) พบแถบของ O-H ยืด ที่ตำแหน่ง 3300 cm^{-1} และที่ $1100\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ เป็นของ P=O (ฟอสเฟต) โดยยังคงมีแถบของ SiO_2 ปรากฏอยู่ จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อมีการใช้อุณหภูมิการเผาที่สูงขึ้น แถบดังกล่าวค่อย ๆ หายไป การมีอยู่ของแถบฟอสเฟตอาจมาจากการล้างกรดออกไม่หมดใน ทำให้มีหมู่ฟอสเฟตตกค้างภายในรูพรุน ขณะที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ไม่พบแถบสัญญาณ เป็นไปได้ว่าที่อุณหภูมินี้เกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่มีตกค้างอยู่ภายใน และทำให้เกิดการสลายตัวของหมู่ฟอสเฟต และซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีอยู่อีกด้วย ซึ่งสารเหล่านั้นล้วนแต่เป็นสารมีขั้ว การที่สารเหล่านั้นหายไป ทำให้รูพรุนภายในของถ่านกัมมันต์จากไบสับปะรดไม่มีขั้วหรือมีขั้วน้อยมาก ส่งผลต่อความสามารถการดูดซับโมเลกุลของไอโอดีนได้มากขึ้น เนื่องจากไอโอดีนเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว

3.2 การศึกษาเวลาในการแช่กรดฟอสฟอริกที่เหมาะสม

700 องศาเซลเซียส

ใบสับปะรดที่ใช้ในการศึกษาผลของเวลาในการแช่กรดฟอสฟอริก

ตัวอย่าง	IAN (mg/g)	ผลจากเครื่อง BET surface area			
		พื้นที่ผิว (m ² /g)	ปริมาตรรูพรุน (cm ³ /g)	ขนาดของรูพรุน (nm)	% รูพรุนขนาดเล็ก
AC_1 hr.	103.12	246.4263	0.1175	1.9070	76.1736
AC_3 hr.	251.67	276.8059	0.1301	1.8804	76.2436
AC_6 hr.	219.79	182.5074	0.0917	2.0095	73.7179
AC_24 hr.	173.59	254.4990	0.1221	1.5447	76.6039

ส่งผลต่อพื้นที่ผิวในการดูดซับมีค่าน้อยด้วย [10, 11]

3.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนกรดฟอสฟอริกต่อปริมาณถ่านในการกระตุ้นที่เหมาะสม

เซลล์เย็บส ผลจากการศึกษาแสดงดังตารางที่ 3

สับปะรด เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนกรดที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่าน 100 กรัม

ตัวอย่าง	IAN (mg/g)	ผลจากเครื่อง BET surface area			
		พื้นที่ผิว (m ² /g)	ปริมาตรรูพรุน (cm ³ /g)	ขนาดของรูพรุน (nm)	% รูพรุนขนาดเล็ก
AC_1:1	251.67	276.8059	0.1301	1.8804	76.2436
AC_1:2	196.75	239.6034	0.1139	1.9017	76.3182
AC_1:3	90.23	210.6314	0.1046	1.3818	75.2012

จากตารางที่ 3 พบว่าปริมาณกรดฟอสฟอริกที่มากขึ้น ส่งผลต่อการลดลงของค่าเลขการดูดซับไอโอดีน และพื้นที่ผิว ซึ่งค่าลดลงมากเมื่อเพิ่มปริมาตรกรดเป็น 3 เท่า ทั้งนี้การใช้กรดมากเกินไป อาจส่งผลต่อการมีสิ่งตกค้างภายในรูพรุนได้ หากล้างกรดออกไม่หมด นอกจากนี้ยังส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้น อัตราส่วนน้ำหนักถ่าน 1 กรัม ต่อ กรด 1 มิลลิลิตร เป็นอัตราส่วนที่พอเหมาะที่สุดในการศึกษาครั้งนี้

4. สรุปผลการทดลอง

เมื่ออุณหภูมิในการเผากระตุ้นถ่านกัมมันต์จากใบสับปะรดสูงขึ้นจะให้ค่าพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้นและความสามารถในการดูดซับไอโอดีนก็เพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิการเผากระตุ้นที่เหมาะสมคือ 700 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ถ่านกัมมันต์จากใบสับปะรดไม่มีขี้ หรือมีขี้เล็กน้อย ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับโมเลกุลของไอโอดีนซึ่งเป็นโมเลกุลไม่มีขี้ได้ดี โดยสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากใบสับปะรดคือระยะเวลาในการแช่กรดฟอสฟอริก 3 ชั่วโมง และอัตราส่วนของถ่านใบสับปะรดต่อกรดฟอสฟอริกเท่ากับ 1:1 กรัมต่อมิลลิลิตร อุณหภูมิการเผา 700 องศาเซลเซียส มีค่า IAN มากที่สุด 251.67 มิลลิกรัมต่อกรัม และพื้นที่ผิวเท่ากับ 276.8059 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้นั้นทำให้ค่า IAN และ พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากใบสับปะรดเพิ่มมากขึ้นถึง 106 และ 200 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับถ่านจากใบสับปะรดที่ยังไม่ได้ผ่านการกระตุ้น ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากใบสับปะรด เป็นแนวทางหนึ่งในเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งทางการเกษตรได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับนิสิตปริญญาตรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ พื้นที่ศาลายา ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมฤทธิ์ ไม้พวง ที่ให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหาในระหว่างการทำงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bhatnagar, A., & Sillanpää. M. (2010). Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review. *Chemical Engineering Journal*, 157, 277–296.
- [2] Demirbas. A. (2008). Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: A review. *Journal of hazardous materials*, 157, 220–229.
- [3] De Gisi, S., Lofrano, G., Grassi, M., & Notarnicola, M. (2016) Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 9, 10–40.
- [4] Kyzas, G. Z., & Kostoglou, M. (2014). Green Adsorbents for Wastewaters: A Critical Review. *Materials*, 7, 364–333.

- [5] Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2012). Porous structure and adsorptive properties of pineapple peel based activated carbons prepared via microwave assisted KOH and K_2CO_3 activation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 148(1), 191-195.
- [6] Mahamad, M. N., Zaini, M. A. A., & Zakaria, Z. A. (2015). Preparation and characterization of activated carbon from pineapple waste biomass for dye removal. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 274-280.
- [7] Mopoung, S., & Amornsakchai, P. (2016). Microporous activated carbon fiber from pineapple leaf fiber by H_3PO_4 activation. *Asian journal of scientific research*, 9, 24-33.
- [8] González-García, P. (2018). Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1393-1414.
- [9] Mohan, D., Singh, K. P., & Singh, V. K. (2008). Waste water treatment using low cost activated carbons derived from agricultural byproducts—A case study. *Journal of hazardous materials*, 152, 1045–1053.
- [10] Ceyhan, A. A., Şahin, Ö., Baytar, O., & Saka, C. (2013). Surface and porous characterization of activated carbon prepared from pyrolysis of biomass by two-stage procedure at low activation temperature and it's the adsorption of iodine. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 104, 378-383.
- [11] Şahin, Ö., Saka, C., Ceyhan, A. A., & Baytar, O. (2016). The pyrolysis process of biomass by two-stage chemical activation with different methodology and iodine adsorption. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(12), 1756-1762.