

# การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยใช้พลังงานไมโครเวฟ

## Synthesis Activated Carbon from Coffee Residue by Using Microwave Radiation

ทองนิตร์ จิงสมาน<sup>1</sup> พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ ขั้นตอนแรกการคาร์บอนไนซ์กากกาแฟที่อุณหภูมิ 400 500 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัว ตามมาตรฐาน ASTM พบว่าที่อุณหภูมิ 400 500 และ 600 องศาเซลเซียส มีปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 48 32 และ 27 ตามลำดับ นำถ่านชาร์ที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส แช่สารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในอัตราส่วนถ่านชาร์ 1 กรัมต่อสารละลาย 20 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 200 500 และ 800 วัตต์ ตามลำดับ เป็นเวลา 60 วินาที จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิค BET พบว่าที่กำลังไฟฟ้า 200 500 และ 800 วัตต์ มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 7.05 16.50 และ 416.10 ตารางเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุนทั้งหมดเท่ากับ 0.02 0.03 และ 0.24 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ การกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ให้พื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนสูงสุด เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงทำให้เกิดการสั่นของโมเลกุลถ่านกัมมันต์ และเกิดความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่สามารถเกิดการระเหยของไอน้ำ และเกิดการสลายตัวของสารระเหยที่อุดตันในถ่านชาร์

**คำสำคัญ :** การสังเคราะห์ ถ่านกัมมันต์ กากกาแฟ ไมโครเวฟ

### Abstract

This research examined synthesis of activated carbon derived from coffee residue by being activated with microwave radiation. The first part of process was to carbonize coffee residue at 400, 500, and 600 °C respectively. Each carbonization spent 1 hour. The amount of moisture, volatile, ash and fixed carbon were analyzed by following American Society for Testing and Materials (ASTM). It was found that the amount of fixed carbon at temperature 400, 500, and 600 °C were 48, 32, and 27% respectively. Charcoal at 400 °C was immersed in 40% $H_3PO_4$  solution, ratio of charcoal 1 g. per solution 20 ml. in 24 hrs. After that it was activated by microwave radiation at 200, 500, and 800 Watt respectively in 60 sec. According to characteristic of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

surface area and total pore volume by BET technique, it was found that at 200, 500, and 800 Watt, surface area were 7.05, 16.50, and 416.10  $\text{m}^2/\text{g}$  and total pore volume were 0.02, 0.03, and 0.24  $\text{cm}^3/\text{g}$  respectively. Microwave powered at 800 Watt, activated carbon consequently gave the most surface area and total pore volume. The microwave radiation at 800 Watt also transmitted high frequency electromagnetic wave which caused the vibration in molecule of the activated carbon. The vibration simultaneously generated heat which was capable of water evaporation and volatility in charcoal.

**Keywords :** Synthesis, Activated carbon, Coffee residue, Microwave

## 1. บทนำ

จากสถิติความต้องการใช้ปริมาณเมล็ดกาแฟในตลาดโลกในช่วง 5 ปีที่ผ่านมาตั้งแต่ปี 2553 ถึง ปี 2557 เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.67 ต่อปี ส่วนของประเทศไทยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมาปริมาณความต้องการใช้เมล็ดกาแฟจาก 58,000 ตัน ในปี 2553 เป็น 75,000 ตัน ในปี 2557 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.65 ต่อปี และมีแนวโน้มความต้องการใช้เพิ่มขึ้นเป็น 80,000 ตัน ในปี 2558 [1] จากปริมาณความต้องการเมล็ดกาแฟที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณของกากกาแฟเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน โดยทั่วไปนิยมนำกากกาแฟไปใช้ประโยชน์เช่น ในธุรกิจเสริมความงามนำกากกาแฟทำเป็นวัสดุขัดผิว ทางด้านการเกษตรนำกากกาแฟไปใช้ทำปุ๋ย เป็นต้น

ถ่านกัมมันต์คือวัสดุดูดซับจากวัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติ วัสดุเหลือทิ้ง ง่าย และไม่สลายตัวตอนเก็บ วัตถุดิบที่นิยมใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยกันหลายชนิดตัวอย่างเช่น วัตถุดิบชีวมวลที่มาจากเกษตรกรรม เช่น เปลือกผลไม้ต่างๆ ฟางข้าว และกะลามะพร้าว เป็นต้น ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับของเสียในน้ำหรือในอากาศ [2] ตัวอย่างจากงานวิจัยที่ใช้วัสดุชีวมวลในการสังเคราะห์เป็นถ่านกัมมันต์โดยการใช้เปลือกขนุนผ่านวิธีการบอไนเซชัน และกระตุ้นจนกลายเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับเมทิลีนบลู และอีกหนึ่งงานวิจัยนำเปลือกผลปาล์มเป็นวัตถุดิบในการทำถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับแอมโมเนีย [3, 4] วิธีการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์โดยการเผา

แบบคาร์บอนไนเซชันเพื่อให้ได้ถ่านชาร์ และนำไปกระตุ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุน การกระตุ้นมีทั้งทางกายภาพและกระตุ้นทางเคมี โดยทั่วไปการกระตุ้นทางเคมีจะนำถ่านชาร์ไปแช่สารเคมีเช่น  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{KOH}$  หรือ  $\text{NaOH}$  เป็นต้น และใช้ความร้อนเพื่อช่วยกระตุ้นถ่านกัมมันต์ในเตาปฏิกรณ์อีกครั้ง [2] วิธีการกระตุ้นดังกล่าวใช้ความร้อนสูง ระยะเวลา และสิ้นเปลืองพลังงาน ปัจจุบันมีอีกทางเลือกหนึ่งมาช่วยในกระบวนการกระตุ้นคือ พลังงานไมโครเวฟ หลักการทำงานของไมโครเวฟคือ การส่งคลื่นไมโครเวฟทำให้มีการสั่นของโมเลกุล และเกิดความร้อนขึ้นภายในโมเลกุลเมื่อถ่านกัมมันต์ได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิที่ทำให้ไอน้ำ สารระเหย ภายในเกิดการระเหยออกหรือสลายตัว ทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนเพิ่มมากขึ้น [5] การนำพลังงานไมโครเวฟมาใช้ไม่ได้ส่งผลต่อคุณภาพที่ต่างจากการกระตุ้นด้วยการให้ความร้อนจากเครื่องปฏิกรณ์ แต่การใช้พลังงานไมโครเวฟนั้นมีประสิทธิภาพการให้ความร้อนที่รวดเร็ว ประหยัดเวลาและพลังงานในการสังเคราะห์ และเทคนิคนี้ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อธาตุคาร์บอนอีกด้วย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากกาแฟโดยใช้วิธีการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ ในส่วนแรกศึกษาเกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนเซชันสำหรับการเตรียมถ่านชาร์เพื่อนำไปใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ ในส่วนที่สองเป็นการกระตุ้นทางเคมีด้วยการแช่สารละลายกรดฟอสฟอริก และกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 200 500 และ 800 วัตต์ ที่

เวลา 60 วินาที เปรียบเทียบพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนของ ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้ด้วยเทคนิค BET

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 การเตรียมกากกาแฟ

นำกากกาแฟล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อทำความสะอาด และปรับ ให้มีค่า pH~7 จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำกากกาแฟที่อบวิเคราะห์หาคุณสมบัติเบื้องต้น ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และ ปริมาณคาร์บอนคงตัว ตามมาตรฐาน ASTM

### 2.2 การเตรียมถ่านชาร์

ชั่งกากกาแฟที่ผ่านการล้าง และอบ 100 กรัม ใส่เครื่อง ปฏิกรณ์ เเผากากกาแฟแบบคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยกำหนดอัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อวินาที และมีแก๊สไนโตรเจนไหลผ่านตลอดเวลาในการเผา หลังจากนั้นเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 500 และ 600 °C ตามลำดับ วิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านชาร์ตามมาตรฐาน ASTM เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนในเซชัน

### 2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆตามมาตรฐาน ASTM [6]

#### 2.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ASTM D3173-95

อบด้วยกระเบื้องพร้อมฝาปิดที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง วางไว้ให้อุณหภูมิลดลงในโถดูดความชื้น และชั่ง น้ำหนัก ชั่งสารตัวอย่างหนักประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยพร้อม ฝาปิดที่เตรียมไว้ นำไปอบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง วางไว้ให้อุณหภูมิลดลงในโถดูดความชื้น และชั่ง น้ำหนัก คำนวณร้อยละของปริมาณความชื้นจากสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละของปริมาณความชื้น} = [(C - D)/(C - B)] * 100 \quad (1)$$

เมื่อ B หมายถึงน้ำหนักถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาปิด (กรัม) C หมายถึงน้ำหนักถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาปิดรวมกับน้ำหนัก สารก่อนอบ (กรัม) และ D หมายถึงน้ำหนักถ้วยกระเบื้อง พร้อมฝาปิดรวมกับน้ำหนักสารหลังอบ (กรัม)

#### 2.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย ASTM D5832-98

นำถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาปิดเผาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็น เวลา 30 นาที วางไว้ให้อุณหภูมิลดลงในโถดูดความชื้น และ ชั่งน้ำหนัก จากนั้นชั่งสารตัวอย่างหนักประมาณ 1 กรัม ใส่ใน ถ้วยพร้อมฝาปิดที่เตรียมไว้ นำไปเผาที่ 950 °C เป็นเวลา 7 นาที วางไว้ให้อุณหภูมิลดลงในโถดูดความชื้น และชั่ง น้ำหนัก คำนวณหาร้อยละของสารระเหยจากสมการที่ 3

$$\text{ร้อยละของน้ำหนักที่เสียไป} = [(C - D)/(C - B)] * 100 \quad (2)$$

เมื่อ B หมายถึงน้ำหนักถ้วยกระเบื้องและฝาปิด (กรัม) C หมายถึงน้ำหนักถ้วยกระเบื้องและฝาปิดรวมกับสารตัวอย่าง ก่อนเผา (กรัม) และ D หมายถึงน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องและฝา ปิดรวมกับสารตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

$$\text{ร้อยละของปริมาณสารระเหย} = (2) - (1) \quad (3)$$

#### 2.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ASTM D2866-11

นำถ้วยกระเบื้องเผาที่อุณหภูมิ 650 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วางไว้ให้อุณหภูมิลดลงในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก จากนั้นชั่งสารตัวอย่างหนัก 1 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องที่ เตรียมไว้ นำไปเผาที่อุณหภูมิ 650 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง วาง ไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก คำนวณหาร้อยละ ของปริมาณเถ้าจากสมการที่ 4

$$\text{ร้อยละของปริมาณเถ้า} = [(D - B)/(C - B)] * 100 \quad (4)$$

เมื่อ B หมายถึงน้ำหนักถ้วยกระเบื้อง (กรัม) C หมายถึง น้ำหนักถ้วยกระเบื้องรวมกับสารตัวอย่างก่อนเผา (กรัม) และ D หมายถึงน้ำหนักถ้วยกระเบื้องรวมกับสารตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

#### 2.3.4 การคำนวณปริมาณคาร์บอนคงตัว ASTM D3172

ปริมาณคาร์บอนคงตัวคือส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ หลังจากที่ได้กำจัดความชื้น สารระเหย และเถ้า คำนวณได้จาก สมการที่ 5

$$\text{ร้อยละของคาร์บอนคงตัว} = 100 - (M + V + A) \quad (5)$$

เมื่อ M หมายถึงร้อยละความชื้น (1) V หมายถึงร้อยละสารระเหย (3) และ A หมายถึงร้อยละเถ้า (4)

## 2.4 การกระตุ้นถ่านชาร์โดยไมโครเวฟ

นำถ่านชาร์ที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุดแช่ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในอัตราส่วนกากกาแฟ 1 กรัมต่อสารละลาย 20 มิลลิลิตร จากนั้นกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 200 500 และ 800 วัตต์ ตามลำดับเป็นเวลา 60 วินาที เมื่อผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟนำมาล้างให้มีค่า pH~7 และอบแห้ง

## 2.5 วิเคราะห์หาพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิค BET

พื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์วิเคราะห์โดยการดูดซับด้วยแก๊สไนโตรเจนภายใต้ความดันมาตรฐานที่อุณหภูมิ 77 องศาเคลวิน และประเมินค่าด้วยเทคนิค BET

## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 3.1 คุณสมบัติของกากกาแฟ

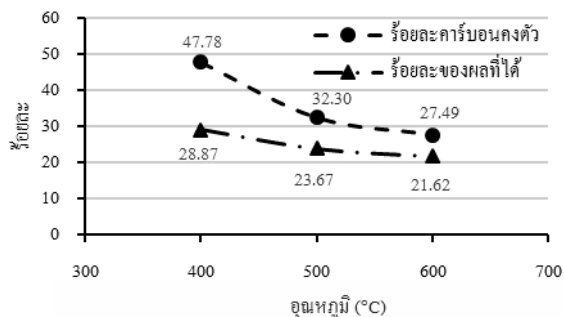
การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัวของกากกาแฟ แสดงดังในตารางที่ 1 พบว่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.63 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 97.02 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้าเฉลี่ยเท่ากับ 0.34 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยเท่ากับ 1.01 เปอร์เซ็นต์ กากกาแฟมีปริมาณสารระเหยมากจึงเหมาะสมในการเผาแบบคาร์บอนในเซชันเนื่องจากกระบวนการเผาแบบคาร์บอนในเซชันจะเปลี่ยนปริมาณสารระเหยให้กลายเป็นคาร์บอนคงตัว [7] ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกถ่านชาร์

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของกากกาแฟ

การทดลองครั้งที่	ปริมาณความชื้น (%wt)	ปริมาณสารระเหย (%wt)	ปริมาณเถ้า (%wt)	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%wt)
1	1.27	97.62	0.29	0.82
2	2.01	96.37	0.40	1.22
3	1.60	97.07	0.35	0.98
เฉลี่ย	1.63	97.02	0.34	1.01

### 3.2 คุณสมบัติของถ่านชาร์

ศึกษาสภาวะของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ของกากกาแฟที่อุณหภูมิต่างกัน 400 500 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยทั่วไปการคาร์บอนไนซ์จะทำในช่วงอุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียส สารระเหยในวัสดุชีวมวลอาจยังไม่สลายตัวเป็นคาร์บอนคงตัว หากอุณหภูมิสูงกว่า 600 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาทำให้ธาตุคาร์บอนเปลี่ยนไปเป็นก๊าซส่งผลให้ปริมาณถ่านชาร์ลดลง [7] รูปที่ 1 แสดงผลของอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ต่อร้อยละคาร์บอนคงตัว และร้อยละผลได้ พบว่าการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 500 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีปริมาณร้อยละของคาร์บอนคงตัวเท่ากับร้อยละ 47.78 32.30 และ 27.49 ตามลำดับ และมีร้อยละผลได้เท่ากับร้อยละ 28.87 23.67 และ 21.62 ตามลำดับ ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมแก่การคาร์บอนไนซ์คือ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เพราะว่ามีปริมาณคาร์บอนคงตัว และร้อยละผลได้มากที่สุด หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณคาร์บอนคงตัว และร้อยละผลได้มีแนวโน้มลดลง

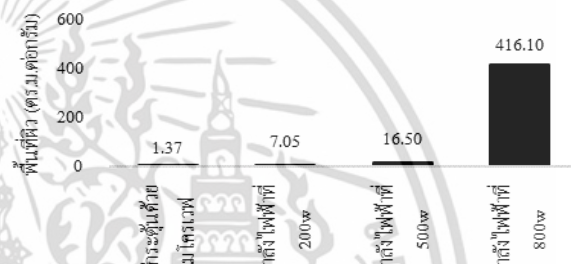


รูปที่ 1 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ต่อร้อยละคาร์บอนคั่ว และร้อยละผลที่ได้

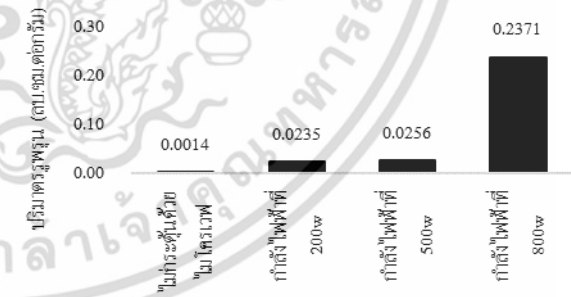
### 3.3 ศึกษาการกระตุ้นถ่านชาร์

นำถ่านชาร์ที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 °C แช่ในสารละลายกรดพอสฟอริกความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อช่วยเกิดการสร้างโพรงของถ่านที่ผลิตจากวัสดุชีวมวล [2] และกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าต่างกันคือ 200 500 และ 800 วัตต์ ตามลำดับ เป็นเวลา 60 วินาที วิเคราะห์หาพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์โดยไอโซเทอมของการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ผลการเปรียบเทียบพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 200 500 และ 800 วัตต์ แสดงดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ตามลำดับ พบว่าถ่านชาร์ที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟมีพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 1.37 ตร.ม.ต่อกรัม และ 0.0014 ลบ.ซม.ต่อกรัม ตามลำดับ และถ่านชาร์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 200 500 และ 800 วัตต์ มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 7.05 16.50 และ 416.10 ตร.ม.ต่อกรัม และมีปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.02 0.03 และ 0.24 ลบ.ซม.ต่อกรัม ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟจะให้พื้นที่ผิว และ ปริมาตรรูพรุนสูงกว่าถ่านชาร์ที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นจาก 200 500 และ 800 วัตต์ ส่งผลให้พื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนสูงขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟที่

กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่า 200 และ 500 วัตต์ ทำให้มีประสิทธิภาพในการผลิตความร้อนขึ้นภายในอนุภาคของถ่านชาร์มากกว่า และยังสามารถทำให้เกิดการระเหยของสารระเหยที่อุดตันในถ่านชาร์ที่ดีกว่า ทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนสูงขึ้น เมื่อนำถ่านกัมมันต์จากงานวิจัยเทียบกับถ่านกัมมันต์พาณิชย์ทั่วไป พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์พาณิชย์มีประมาณ 1,000 ตารางเมตรต่อกรัม [2] จากงานวิจัยนี้มีพื้นที่ผิวน้อยกว่า ถ่านกัมมันต์พาณิชย์ อาจเนื่องมาจากสภาวะในการผลิต ถ่านกัมมันต์ยังไม่เหมาะสมสำหรับกากกาแฟ



รูปที่ 2 ผลการเปรียบเทียบพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 200 500 และ 800 วัตต์



รูปที่ 3 ผลการเปรียบเทียบปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 200 500 และ 800 วัตต์

### 4. สรุปผล

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยการกระตุ้นด้วยพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครเวฟ ในส่วนแรกการผลิตถ่านชาร์จากการคาร์บอนใน-  
เซชันที่อุณหภูมิ 400 500 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1  
ชั่วโมง พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์คือ  
อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณร้อยละคาร์บอนคง-  
ตัว และร้อยละผลได้ของถ่านชาร์มากที่สุดเท่ากับ 47.78 และ  
28.87 ตามลำดับ ในการคาร์บอนไนซ์ในเซชันหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น  
ปริมาณคาร์บอนคงตัว และผลที่ได้มีแนวโน้มลดลง ส่วนที่  
สองการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์นำถ่านชาร์ที่ผ่านการคาร์บอน  
ไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส แช่สารละลายกรดฟอสฟอ-  
ริก 24 ชั่วโมง และกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟที่ 200 500  
และ 800 วัตต์ เป็นเวลา 60 วินาที พบว่าสถานะที่เหมาะสมใน  
การกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟคือ ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์  
โดยจะให้พื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนสูงสุดคือ 416.10 ตร.ม.  
ต่อกรัม และ 0.24 ลบ.ซม.ต่อกรัม ตามลำดับ เนื่องจากคลื่น  
ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ จะส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่  
มีความถี่สูงโดยจะผลิตความร้อนขึ้นภายในอนุภาคของถ่าน  
ชาร์ และยังสามารถทำให้เกิดการระเหยของสารระเหยที่ออก  
ตันอยู่ในถ่านชาร์ ทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิว และ  
ปริมาตรรูพรุนสูงขึ้น ดังนั้นการนำพลังงานไมโครเวฟมาใช้  
เพื่อช่วยกระตุ้นถ่านกัมมันต์จึงมีแนวโน้มที่จะช่วยเพิ่มพื้นที่  
ผิว และปริมาตรรูพรุน

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากเงินรายได้  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเครื่องมือวิเคราะห์จากศูนย์  
เครื่องมือเพื่อการวิจัยทางวิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระ-  
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] N. Yomchot, "The situation and trend of major  
agricultural products in 2015," Office of agricultural  
economics, pp.77 – 88, 2014.

[2] D. Chatsiriwech, Adsorption process, Chulalongkorn  
university press, Bangkok, 2009.

[3] K.Y. Foo and B.H. Hameed, "Potential of jackfruit peel  
as precursor for activated carbon prepared by microwave  
induced NaOH activation," Elsevier bioresource  
technology, Vol.112, pp.143-150, Feb., 2012.

[4] J. Guo, W.S. Xu, Y.L. Chen and A.C. Lua, "Adsorption  
of  $\text{NH}_3$  onto activated carbon prepared from palm shells  
impregnated with  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ," Elsevier journal of colloid  
and interface science, Vol.281, pp.285-290, Oct., 2005.

[5] K.Y. Foo and B.H. Hameed, "Recent developments in  
the preparation and regeneration of activated carbons by  
microwaves," Elsevier advances in colloid and interface  
science, Vol.149, pp.19-27, Jan., 2009.

[6] American Society for Testing and Materials, "ASTM  
D3173-95 D5832-98 D2866-11 D3172," [Online],  
Available: <http://www.astm.org>. 2014.

[7] S. Yokoyama, "A guide for biomass production and  
utilization," The Japan institute of energy, pp.94-100,  
2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้