



## รายงานวิจัย

การเตรียมและศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์  
จากเปลือกลูกหยี

Preparation and Characterization of Activated Carbon  
from Velvet Tamarind Shell

โดย

อาอีเซาะส์ เบ็ญหาวัน

สุนีย์ แวมะ

วรรณกัษมา ฮารน

ฮาซัน ดอปอ

ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณบำรุงการศึกษาประจำปี 2561

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

หัวข้อวิจัย การเตรียมและศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกหวี  
ชื่อผู้วิจัย อาอีเซาะส์ เบ็ญหาวัน  
คณะ/หน่วยงาน คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร  
มหาวิทยาลัย ราชภัฏยะลา  
ปีงบประมาณ 2561

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกหวี ด้วยกระบวนการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง โดยการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทำการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้น 3 ชนิด คือ  $H_3PO_4$ , KOH และ  $ZnCl_2$  จากการทดลองพบว่า ถ่านชาร์ที่ได้จากเปลือกลูกหวีมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงขึ้นจากร้อยละ 22.67 เป็นร้อยละ 25.99 จากนั้นทำการกระตุ้นถ่านกัมมันต์โดยสาร 3 ชนิด คือ  $H_3PO_4$ , KOH และ  $ZnCl_2$  จากการวัดค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ-BET ปริมาตรรูพรุนรวม ขนาดรูพรุนเฉลี่ย และถ่ายภาพด้วยเทคนิค SEM พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดยสารทั้ง 3 ชนิด คือ AC-KOH, AC- $H_3PO_4$  และ AC- $ZnCl_2$  มีขนาดรูพรุนเฉลี่ยสูงขึ้นอย่างมาก คือ 25.73, 20.10 และ 18.87 nm ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ชัดเจนจากภาพถ่าย SEM ส่วนปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ-BET และปริมาตรรูพรุนรวม ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย  $H_3PO_4$  และ  $ZnCl_2$  มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ-BET และปริมาตรรูพรุนรวมสูงขึ้นอย่างมาก คือ AC- $H_3PO_4$  มีค่า 420.30  $m^2/g$  และ 0.21  $cm^3/g$  ตามลำดับ และ AC- $ZnCl_2$  มีค่า 421.20  $m^2/g$  และ 0.20  $cm^3/g$  ตามลำดับ และในการหาค่าดูดซับไอโอดีน (Iodine number) ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดยสาร 3 ชนิด คือ  $H_3PO_4$ , KOH และ  $ZnCl_2$  แต่ละสารกระตุ้น ใช้อัตราส่วน (ถ่านชาร์ : สารกระตุ้น) แตกต่างกัน 6 ค่า คือ 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 และ 1:3 พบว่าถ่านกัมมันต์ทุกตัวอย่างมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าถ่านชาร์ (Charcoal) ยกเว้น AC-KOH ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:2.5, AC- $H_3PO_4$  ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:2.5 และ AC-KOH ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:3 เท่านั้นที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนต่ำกว่าถ่านชาร์ มีค่าการดูดซับไอโอดีน 571.70, 172.62 และ 136.07 mg/g ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด 5 อันดับ คือ AC-KOH ในอัตราส่วนถ่านชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:2, AC- $H_3PO_4$  ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:1.5, AC-KOH ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:0.5, AC- $ZnCl_2$  ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:0.5 และ AC- $H_3PO_4$  ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:2 มีค่าการดูดซับไอโอดีน 1,040.83, 973.81, 957.05, 940.30 และ 873.28 mg/g ตามลำดับ

คำสำคัญ : ถ่านกัมมันต์ เปลือกลูกหวี

Research Title	Preparation and Characterization of Activated Carbon from Velvet Tamarind Shell
Researchers	Aeesoh Benhawan
Faculty/Section	Faculty of Science Technology and Argriculture
University	Yala Rajabhat
Year	2018

### Abstract

The aim of this research was to study the preparation of activated charcoal from Velvet tamarind shell by dry chemical activation method. The carbonization was carried out at 450 °C for 3 hours then activated with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, KOH and ZnCl<sub>2</sub> measured by BET surface areas, pore volume and average pore size and shoot with SEM technique. AC-KOH, AC-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and AC-ZnCl<sub>2</sub> showed that a significantly higher porosity of 25.73 nm, 20.10 nm and 18.87 nm, respectively. Both AC-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and AC-ZnCl<sub>2</sub> showed a significantly higher BET surface areas and pore volume, which AC-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> had BET surface areas of 420.30 m<sup>2</sup>/g and pore volume of 0.21 cm<sup>3</sup>/g and AC-ZnCl<sub>2</sub> had BET surface areas of 421.20 m<sup>2</sup>/g and of 0.20 cm<sup>3</sup>/g. The Iodine number of 3 stimulated activated carbon (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, KOH, and ZnCl<sub>2</sub>) were determined by using different ratios (charcoal: stimulants): 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 and 1:3. It was showed that all activated carbon adsorption were higher than charcoal except AC-KOH (1 : 2 . 5), AC-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (1:2.5) and AC-KOH (1:3) but the highest Iodine adsorption activity was AC-KOH (1:2) with 1.040.83 mg/g.

Keywords: Activated carbon, Activated charcoal, Velvet tamarind shell

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลาที่อุดหนุนทุนวิจัยจากงบประมาณบำรุงการศึกษา 2561 ทำให้การวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำวิจัย ทำให้ผู้วิจัยทำงานวิจัยสะดวก ลุล่วงและสำเร็จไปด้วยดี และขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนสนับสนุนการทำวิจัยนี้ จนโครงการวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ผู้วิจัย

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)	4
2.2 วัสดุดีบุกสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	4
2.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	5
2.3.1 การเตรียมวัสดุดีบุก	5
2.3.2 การคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization)	5
2.3.3 การกระตุ้น (Activation)	5
2.4 ชนิดของถ่านกัมมันต์	6
2.4.1 แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์	6
2.4.2 แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น	7
2.4.3 แบ่งตามลักษณะของรูปร่าง	7
2.4.4 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์	7
2.4.5 แบ่งตามความความเป็นกรด – เบสเมื่อละลายน้ำ	7
2.4.6 แบ่งตามหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์	8

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5 โครงสร้างถ่านกัมมันต์	8
2.5.1 โครงสร้างผลึกถ่านกัมมันต์	8
2.5.2 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์	9
2.5.3 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์	9
2.6 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์	10
2.6.1 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย	10
2.6.2 ประเภทที่ใช้กับของเหลว (ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์)	10
2.7 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	11
2.7.1 คุณสมบัติทางกายภาพ	11
2.7.2 คุณสมบัติทางเคมี	11
2.7.3 คุณสมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์	11
2.7.4 สมบัติด้านเคมีฟิสิกส์	11
2.8 การดูดซับของถ่านกัมมันต์	12
2.8.1 ทฤษฎีการดูดซับของถ่านกัมมันต์	12
2.8.2 สมดุลของการดูดซับ	13
2.8.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรันทลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)	15
2.9 ลูกหยา	17
2.10 หลักการเครื่องมือ	18
2.10.1 เครื่อง UV-VIS spectrophotometer	18
2.10.2 เครื่อง FT-IR spectrometer (Fourier Transform Infrared Spectrometer)	21
2.11 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยด้วยเทคนิคบีอีที (Brunauer-Emmett-Teller Method, BET)	23
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	27
3.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	27
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	29

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	35
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate Analysis) ของเปลือกกลุ่กหิยและถ่านชาร์	35
4.2 ร้อยละผลผลิตที่ได้ (% Yield) ของถ่านกัมมันต์	36
4.3 ร้อยละการได้คืนของสารกระตุ้น (% Activation Reagent Recovery)	38
4.4 ผลการหาพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกลุ่กหิย	40
4.5 การศึกษาภาพถ่ายของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	41
4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกลุ่กหิย	44
4.7 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกลุ่กหิยด้วยเทคนิคฟลูออโรเรซแนนสฟอรัมอินฟราเรดสเปกโทมิเตอร์	45
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	49
5.1 สรุปอภิปรายผลการวิจัย	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก	53
ประวัตินักวิจัย	54

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านชาร์และเปลือกลูกหยา	35
4.2	ร้อยละผลผลิตที่ได้ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกหยา	37
4.3	ร้อยละผลผลิตที่ได้ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกหยา	39
4.4	ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยจากเปลือกลูกหยา	40
4.5	ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกหยา	44
4.6	เลขคลื่นของแถบต่างๆเกิดขึ้นในอินฟราเรดสเปกตรัม พร้อมการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน	46



## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	เปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของแกรไฟต์และผลึกของถ่านกัมมันต์	8
2.2	กลุ่มฟังก์ชันแบบกรดบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์	10
2.3	กลุ่มฟังก์ชันแบบเบสบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์	10
2.4	ไอโซเทอมการดูดซับพื้นฐาน 5 ชนิด	13
2.5	ไอโซเทอมการดูดซับ	14
2.6	ลักษณะไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนดลิส	15
2.7	ลักษณะไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์	16
2.8	UV-VIS spectrum	19
2.9	องค์ประกอบของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer	20
2.10	Double beam spectrophotometer	21
2.11	Infrared spectrum ของ Aniline	22
2.12	ส่วนประกอบของเครื่อง FTIR spectrometer	22
4.1	ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านชาร์ (ไม่รวมความชื้น)	36
4.2	ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของเปลือกกลุททียี (ไม่รวมความชื้น)	36
4.3	ร้อยละผลผลิตที่ได้ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกลุททียี	38
4.4	ร้อยละการได้คืนของสารกระตุ้นของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกลุททียี	40
4.5	ปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลสกับกรดฟอสฟอริก	41
4.6	สภาพพื้นผิวของถ่านชาร์ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า	42
4.7	สภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ (AC-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า	42
4.8	สภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ (AC-KOH) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า	43
4.9	สภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ (AC-ZnCl <sub>2</sub> ) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า	43
4.10	ผลการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกลุททียีในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	45
4.11	อินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านชาร์	46
4.12	อินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ AC-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	47
4.13	อินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ AC-KOH	47
4.14	อินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ AC-ZnCl <sub>2</sub>	48

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbons) เป็นวัสดุสีดำที่มีความพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ( $\sim 1,000 \text{ m}^2/\text{g}$ ) ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติหรืออินทรีย์วัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักผ่านกระบวนการกระตุ้น (Activation process) ปัจจุบันมีการนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น ใช้เป็นตัวฟอกหรือกรองอากาศในเครื่องปรับอากาศทั่วไป ใช้เป็นไส้กรองของหน้ากากนิรภัยเพื่อกรองแก๊สพิษ ใช้สกัดสีนํ้า เช่น นํ้าทองคำ ใช้กักเก็บแก๊สธรรมชาติในอุตสาหกรรมด้านพลังงาน ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตนํ้าดื่ม ใช้ผลิตกาแฟชนิดที่ไม่มีคาเฟอีน ใช้ในอุตสาหกรรมยาเนื่องจากสามารถดูดซับโลหะหนัก ฟอสฟอรัส ดูดกลิ่น ทำก๊าซให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมนํ้าตาล อุตสาหกรรมนํ้ามันและไขมัน อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น (สุภาพร และคณะ, 2557)

ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตของใช้ต่างๆ เป็นร้อยละ ในวงการอุตสาหกรรมหลายอย่างมีความต้องการสูงในการนำถ่านกัมมันต์ไปเป็นส่วนประกอบของการผลิตสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ ยังมีนวัตกรรมหรือเทคโนโลยีที่ทันสมัยเพิ่มขึ้นความต้องการถ่านกัมมันต์ก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ชญพิสิษฐ์, 2558) การผลิตถ่านกัมมันต์ในประเทศไทยยังไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ จึงจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จากข้อมูลของกรมศุลกากรในปี พ.ศ. 2548 ประเทศไทยนำเข้าถ่านกัมมันต์ถึง 4,802,834 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 204,881,304 บาท และเพิ่มขึ้นเป็น 5,658,602 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 263,223,505 บาท ในปี พ.ศ. 2549 (ปริญทร, 2551) และลดลงในปี 2553 เป็นมูลค่า 137 ล้านบาท โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์ทางการค้าจะผลิตจากถ่านหินประเภทต่างๆ ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง (ศรีสุดาและคณะ, 2558) ส่งผลให้ช่วงสิบปีที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจในการนำวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ โดยเฉพาะวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตถ่านกัมมันต์ เช่น กากกาแฟ (เกศศิริ, 2558) เมล็ดมะขาม (Munusamy et al., 2011) เปลือกมังคุด (สุภาพร และคณะ, 2557) เหน้้ำมันสำปะหลัง (ธีระ, 2554) ลูกหูกวาง (ปัญญา, 2555) เปลือกทุเรียน (Chandra et al., 2009)

หยาเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Dialium cochinchinense* Pierre เป็นพืชในวงศ์ Fabaceae (Leguminosae) (เต็ม, 2557) พบมากในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนใต้โดยเฉพาะอำเภอยะรังจังหวัดปัตตานี ต้นหยาเป็นพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจแม้ว่าจะได้ชื่อว่าเป็นไม้ป่า แต่ผลลูกหยาถูกนำมาแปรรูปได้ผลิตภัณฑ์ลูกหยาทรงเครื่องและลูกหยาหวาน ซึ่งเป็นที่นิยมของคนในพื้นที่ที่จะนำไปเป็นของฝากขึ้นชื่อมาเป็นเวลากว่า 20 ปี ในกระบวนการผลิตจะมีเปลือกลูกหยาเหลือทิ้งเป็น

จำนวนมาก มีการจัดการเปลือกกล้วยให้เกิดประโยชน์ เช่น การนำมาทำเป็นปุ๋ยหมัก นำมาต้มเพื่อสกัดน้ำรสเปรี้ยว และนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์น้ำยาอเนกประสงค์สำหรับใช้ในการล้างจาน ถูพื้น เช็ดทำความสะอาดสุขภัณฑ์ อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานการนำเปลือกกล้วยไปแปรรูปเป็นวัสดุในการดูดซับกลิ่น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ขึ้นจากเปลือกกล้วย เตรียมโดยการกระตุ้นทางเคมีแบบแห้ง (Dry activation) ซึ่งเป็นกระบวนการกระตุ้นทางเคมีแบบใหม่ ที่ใช้พลังงานและเวลาน้อยกว่า แทนการกระตุ้นแบบดั้งเดิมที่นำวัสดุตั้งต้นแช่สารละลายของสารกระตุ้น แล้วทำให้แห้งโดยการให้ความร้อน เรียกว่า การกระตุ้นแบบเปียกชุ่ม (impregnation) ซึ่งใช้เวลาและสิ้นเปลืองพลังงานมาก (พิทักษ์, 2558) นอกจากนี้ยังศึกษาสถานะที่เป็นปัจจัยในการเตรียมถ่านกัมมันต์ให้มีประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยด้วยกระบวนการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง

1.2.2 เพื่อศึกษาชนิดสารกระตุ้น และอัตราส่วนผสมของสารกระตุ้นต่อถ่านชาร์จากเปลือกกล้วย

1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและคุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วย

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 เตรียมถ่านชาร์จากเปลือกกล้วยด้วยกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน จากนั้นนำถ่านชาร์ไปวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis) และกระตุ้นถ่านชาร์ให้เป็นถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง

1.3.2 ศึกษาชนิดสารกระตุ้นที่เหมาะสมดังนี้ KOH, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> และ ZnCl<sub>2</sub> โดยการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ปริมาตรรูพรุน พื้นที่ผิวจำเพาะ และขนาดของรูพรุน ด้วยวิธี BET เพื่อเลือกชนิดสารกระตุ้นที่เหมาะสม

1.3.3 ศึกษาอัตราส่วนผสมของถ่านชาร์ต่อสารกระตุ้นที่เหมาะสม แล้วนำไปศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์โดยการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)

1.3.4 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างสัณฐานวิทยาของถ่านชาร์และถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดโดยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

#### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

อนาคตหากมีการต่อยอดงานวิจัยไปสู่การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ดูดซับในเชิงพาณิชย์และการพัฒนาการผลิตที่ลดต้นทุนให้เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน จะเป็นการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งในชุมชน เป็นการเพิ่มผลิตภัณฑ์ชุมชน ส่งผลให้ต้นหมีมีมูลค่าทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น และหากมีการศึกษาวิธีการปลูกต้นหมีให้ลดระยะเวลาการออกผลครั้งแรกที่เร็วขึ้น จะทำให้ชาวบ้านมีทางเลือกในการปลูกต้นหมีทดแทนพืชเศรษฐกิจอื่นๆ ที่มีราคาตกต่ำ เกิดการจ้างงานเพิ่มขึ้น ชาวบ้านมีรายได้เพิ่มขึ้น ลดความเหลื่อมล้ำของรายได้ ส่งผลให้ คนในพื้นที่มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

Derbyshire กล่าวว่าถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) คือวัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูงจึงมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากก๊าซและของเหลวได้ในปริมาณสูง ใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน ใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์ ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Support) จากคุณสมบัติที่เหมาะสมและมีราคาไม่แพงของถ่านกัมมันต์ ทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้กันมาก (สรารุช, 2550)

Jankowska et al ให้ความหมายของถ่านกัมมันต์ไว้ว่าถ่านกัมมันต์คือการนำเอาวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ซึ่งทำให้วัสดุนั้นมีโครงสร้างรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูง ซึ่งหากดูที่พื้นที่หน้าตัดของถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะคล้ายรังผึ้ง โดยถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก 87-90 เปอร์เซ็นต์ และมีธาตุอื่นที่เป็นองค์ประกอบคือไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณเล็กน้อยเท่านั้นขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและอาจเกิดขึ้นได้อีกในขั้นตอนการผลิต (สรารุช, 2550)

มอก. 900-2532 กำหนดว่าถ่านกัมมันต์คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีการกระตุ้นหรือก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

#### 2.2 วัตถุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยวัตถุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม คือ ถ่านพีท ถ่านหิน ถ่านลิกไนต์ โดยทั่วไปวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ (สรารุช, 2550)

- 2.2.1 มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- 2.2.2 มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง
- 2.2.3 มีราคาถูกและหาได้ง่าย
- 2.2.4 มีคุณสมบัติคงที่

## 2.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

ในปัจจุบันกรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ลักษณะและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ

### 2.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตโดยนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาด หลังจากนั้นทำการอบหรือตากวัตถุดิบให้แห้ง

### 2.3.2 การคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization)

กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน เป็นการไพโรไลซิสซึ่งเกิดขึ้นในที่อับอากาศเพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นของเหลวและก๊าซออกมา ขั้นตอนการคาร์บอนไนเซชันจัดว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากในการคาร์บอนไนเซชันจะมีการเริ่มสร้างโครงสร้างรูพรุน โดยในระหว่างการคาร์บอนไนเซชัน ธาตุและองค์ประกอบต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่างๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และน้ำจะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซและน้ำมันหาร์จากนั้นจะได้ถ่านคาร์บอน

ขั้นตอนของกระบวนการคาร์บอนไนเซชันแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน (วิจิตร, 2543) คือ

- 1) การสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างวัตถุดิบในช่วงอุณหภูมิ 27-197 องศาเซลเซียส
- 2) การไพโรไลซิสโดยเกิดก๊าซและน้ำมันหาร์ในโครงสร้างในช่วงอุณหภูมิ 197-497 องศาเซลเซียส
- 3) การเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านคาร์บอน โดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงไปมากในช่วงอุณหภูมิ 497-847 องศาเซลเซียส จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการคาร์บอนไนเซชันก็เพื่อผลิตให้ได้ถ่านที่มีรูพรุนและการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมให้เป็นระเบียบมากกว่าวัตถุดิบ

### 2.3.3 การกระตุ้น (Activation)

การกระตุ้น คือการทำให้ถ่านคาร์บอนมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวมีความว่องไวมากขึ้น วัตถุประสงค์ของการกระตุ้นเพื่อ

- 1) เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (Active Surface Area)
- 2) เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้ว

3) เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่างๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (Active Centers) การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 ประเภทคือวิธีการกระตุ้นทางกายภาพและการกระตุ้นทางเคมี

**2.3.3.1 การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation)** เป็นวิธีการเพิ่มปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวโดยปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ด้วยก๊าซที่ช่วงอุณหภูมิ 700-1000 องศาเซลเซียส ก๊าซที่ใช้โดยทั่วไปคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และอากาศ โดยอาจใช้ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือก๊าซผสมก็ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนในเซชันยังเป็นตัวดูดซับที่ไม่ต้องทำการกระตุ้นเพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูง

กระบวนการกระตุ้นในทางกายภาพนั้น อาจมีกระบวนการผลิตที่ต่างกันไปขึ้นกับลักษณะของวัตถุดิบ ตัวอย่างการกระตุ้นโดยวิธีทางกายภาพคือ การกระตุ้นด้วยไอน้ำ การกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

**2.3.3.2 การกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation)** เป็นกระบวนการกระตุ้นโดยใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น ซึ่งสารเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสารละลายกรดหรือเกลือของโลหะ เช่น ซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) กรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ ) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ( $KOH$ ) โพแทสเซียมซัลเฟต ( $K_2SO_4$ ) โพแทสเซียมคาร์บอเนต ( $K_2CO_3$ ) เป็นต้น การกระตุ้นด้วยสารเคมีจะใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่ำกว่าการกระตุ้นทางกายภาพจึงเป็นการประหยัดพลังงานมากกว่าและสารเคมีสามารถแทรกซึมลงไปยังผิวถ่านคาร์บอนได้อย่างทั่วถึง เกิดรูพรุนในถ่านกัมมันต์มากและลดขั้นตอนการผลิตได้มาก แต่มีข้อเสียคือการล้างเอาสารเคมีที่ตกค้างทำได้ยาก สารเคมีที่ใช้มีราคาแพงและอาจเป็นพิษต่อร่างกาย ตัวอย่างการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก และการกระตุ้นด้วยสารประกอบของโพแทสเซียมหรือโซเดียม

## 2.4 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งออกโดยใช้หลักเกณฑ์ต่างๆ (สราวุธ, 2550) ได้แก่

### 2.4.1 แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

**2.4.1.1 ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore)** คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1.5 นาโนเมตร มักใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย

**2.4.1.2 ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง (Mesopore)** คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนอยู่ในช่วงประมาณ 1.5 ถึง 100 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Reaction) ใช้เป็นตัวรองรับ (Support) ใช้ดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น การฟอกสี เป็นต้น

**2.4.1.3. ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore)** คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 100 นาโนเมตร โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ แต่เป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูพรุนขนาดเล็กได้ง่ายขึ้น มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสีและการผลิตยา

#### 2.4.2 แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

**2.4.2.1. ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activated Carbon)** เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน

**2.4.2.2. ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activated Carbon)** เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซเป็นตัวกระตุ้น

#### 2.4.3 แบ่งตามลักษณะของรูปร่าง

**2.4.3.1. ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powder Activated Carbon, PAC)** เป็นถ่านกัมมันต์ที่ถูกนำมาบดจนสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช โดยทั่วไปจะมีขนาด 0.15–0.25 มิลลิเมตร

**2.4.3.2. ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดหรือเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC)** เป็นถ่านกัมมันต์ที่ทำจากวัตถุดิบที่เป็นเม็ดหรือเป็นถ่านกัมมันต์แบบผง แล้วมาเติมตัวประสานทำให้เป็นเม็ด

#### 2.4.4 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

**2.4.4.1. ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นต่ำ** ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักนำไปใช้ประโยชน์ในสถานะที่ในสารละลาย เช่น ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลดิบ การทำน้ำให้บริสุทธิ์หรืออุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น

**2.4.4.2. ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูง** มักใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย เช่น ใช้ในการกำจัดกลิ่นหรือการแยกก๊าซออกจากก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น

#### 2.4.5 แบ่งตามความเป็นกรด - เบสเมื่อละลายน้ำ

**2.4.5.1. ถ่านกัมมันต์ชนิดแอล (L-Type Activated Carbon)** เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีคุณสมบัติเป็นกรด

**2.4.5.2. ถ่านกัมมันต์ชนิดเอช (H-Type Activated Carbon)** เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีคุณสมบัติเป็นเบส



## 2.4.6 แบ่งตามหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์

2.4.6.1. หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่เป็นกรด ซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็นกรด เมื่ออยู่ในสารละลาย ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักผลิตจากวัตถุดิบจำพวกไม้หรือวัตถุดิบที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสูง ตัวอย่างของหมู่ฟังก์ชันกลุ่มนี้คือ หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) หมู่ควิโนนอยด์ (Quinonoid) หมู่กรดคาร์บอกซิลแอไซด์ (Carboxyl Acid Group) หมู่แอนไฮไดรด์ (Anhydride) และหมู่แลคโตน (Lactone) เป็นต้น

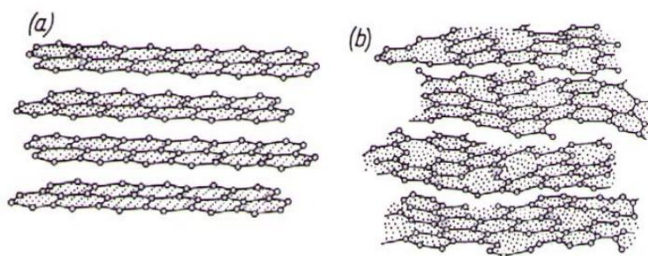
2.4.6.2. หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่เป็นเบส ซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็นเบสเมื่ออยู่ในสารละลาย ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักผลิตจากวัตถุดิบจำพวกถ่านหิน หรือวัสดุชีวมวลที่มีองค์ประกอบธาตุคาร์บอนไม่สูงมากนัก ตัวอย่างของกลุ่มฟังก์ชันกลุ่มนี้ ได้แก่ หมู่ควินิน (Quinine) หมู่โครมีน (Chromene) และไพโรนไลค์ (Pyrone-like) เป็นต้น

## 2.5 โครงสร้างถ่านกัมมันต์

### 2.5.1 โครงสร้างผลึกถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์ (Graphite) แต่แตกต่างกันที่พื้นที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์มีมากกว่าแกรไฟต์

ถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นผลึกเล็กๆ ที่ไม่สมบูรณ์เกิดการเบี่ยงเบนในแนวฉากและซ้อนเหลื่อมกันในแนวระนาบ เรียกว่า “โครงสร้างแบบเทอร์โบสแตติก” (Turbostatic Structure) การจัดเรียงตัวของผลึกเล็กๆ จะมีทิศทางไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการคาร์บอนไนเซชัน ผลึกเล็กๆนี้มักมีความสูง 9-12 อังสตรอม เส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัดประมาณ 20-30 อังสตรอม ประกอบด้วย 3 แผ่นระนาบของชั้นแกรไฟต์ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 เท่า ของความกว้างของอะตอมคาร์บอนรูป 6 เหลี่ยม ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 เปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของแกรไฟต์และผลึกของถ่านกัมมันต์  
(a) โครงสร้างผลึกของแกรไฟต์ (b) โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์ (สราวุธ, 2550)

## 2.5.2 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนเซชันมีความพรุนมากขึ้นการกระตุ้นที่เหมาะสมคือการทำให้มีความพรุนไม่ใช่ขนาดของรู เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์จะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมากรูพรุนของถ่านกัมมันต์นั้นสามารถจำแนกได้ตามขนาดรัศมีของรูพรุน คือ

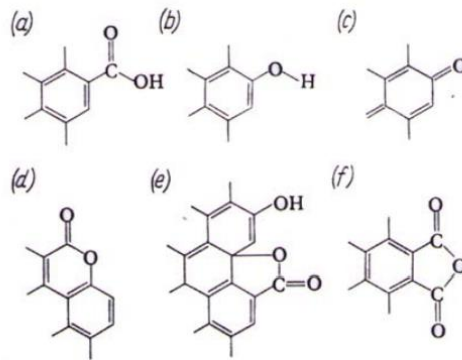
**2.5.2.1 แมโครพอร์ (Macropores)** รัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 100-200 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2-0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่น ดังนั้นแมโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูพรุนที่เล็กกว่า

**2.5.2.2 เมโซพอร์ (Mesopores) หรือ ทรานซิชันนัลพอร์ (Transitional pores)** ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 1.5-100 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1-0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20-100 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดของรูพรุนเป็นเมโซพอร์ ได้แก่ ซิลิกาเจล (Silica Gels) อะลูมินาเจล (Alumina Gels) ตัวเร่งปฏิกิริยาอะมิโนซิลิเกต (Aminosilicate Catalyst)

**2.5.2.3 ไมโครพอร์ (Micropores)** ขนาดรัศมีรูพรุนน้อยกว่า 1.5 นาโนเมตร ปริมาตร 0.2-0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวจำเพาะเป็นจำนวนมากหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม ไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ เนื่องจากมีพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับ (Adsorption Energy) มากที่สุด

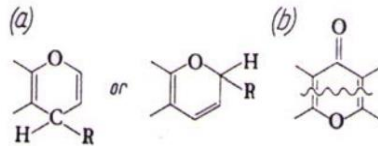
## 2.5.3 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์

พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมีอะตอมที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับอะตอมอื่นๆได้ เช่น อะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจน หมู่ฟังก์ชันที่พบบนผิวถ่านกัมมันต์บ่อยๆ ได้แก่ หมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรด เช่น หมู่ Carboxyl, Phenolic Hydroxyl, Quinonoid, Normal Lactone, Fluorescein-Type Lacton และ Carboxylic Acid Anhydride ดังแสดงในภาพที่ 2.2 และอีกกลุ่มคือหมู่ฟังก์ชันนอลที่เป็นเบส ได้แก่ Quinine, Chromene และ Pyrone - like ดังแสดงในภาพที่ 2.3 นอกจากนี้ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ยังก่อให้เกิดเถ้า ซึ่งเถ้าและองค์ประกอบทางเคมีของเถ้ายังมีหลากหลายอีกด้วย



ภาพที่ 2.2 กลุ่มฟังก์ชันแบบกรดบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ (สราวุธ, 2550)

- (a) Carboxyl (b) Phenolic hydroxyl (c) Quinonoid (d) Normal lactones  
 (e) Fluorescein-type lactone (f) Carboxylic acid anhydrides



ภาพที่ 2.3 กลุ่มฟังก์ชันแบบเบสบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ (สราวุธ, 2550)

- (a) Chromene (b) Pyrone – like

## 2.6 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์กันอย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละโรงงานจะแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น

### 2.6.1 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย

- กำจัดก๊าซเจือปนออก เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีน แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ เป็นต้น
- กำจัดกลิ่นจากอากาศในเครื่องปรับอากาศ ทำให้กลิ่นเหม็นลดน้อยลง
- ใช้ดูดซับกัมมันตภาพรังสีออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์สำหรับหน่วยปฏิกิริยาให้การสลายตัวเกิดขึ้นสมบูรณ์ขณะที่ยังถูกจับไว้ในเบตของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon Bed)

### 2.6.2 ประเภทที่ใช้กับของเหลว (ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์)

ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น

- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมผลิตอาหาร เครื่องดื่ม แอลกอฮอล์

2. ใช้ในทางการแพทย์อุตสาหกรรมเคมีและยา
3. ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์เป็นการกำจัด รส สีและกลิ่น นอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

## 2.7 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติ ได้แก่ (สราวุธ, 2550)

### 2.7.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

- **ความหนาแน่น (Density)** เป็นการทดสอบหาน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยปริมาตร โดยปริมาตรในที่นี้หมายถึงปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาค ปริมาตรของรูพรุนของถ่านกัมมันต์และปริมาตรของเนื้อถ่านกัมมันต์

- **พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area)** ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะเป็นค่ามาตรฐานที่นิยมใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากสามารถทดสอบเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทุกชนิดค่าพื้นที่ผิวที่มีในการรายงานคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

### 2.7.2 คุณสมบัติทางเคมี

- **หมู่ฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์ (Functional Group)** เป็นการทดสอบหาลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์เพื่อนำมาพิจารณาถึงความเหมาะสมในการใช้งาน

### 2.7.3 คุณสมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์

คุณสมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์หาได้จากไอโซเทอมการดูดซับของของเหลวบนถ่านกัมมันต์ เมื่อนำไปดูดซับของเหลว ตัวอย่างของคุณสมบัติในการดูดซับ คือ

- **การดูดซับไอโอดีน** การศึกษาการดูดซับไอโอดีนเป็นวิธีที่ง่ายในการหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยเป็นการหาจำนวนมิลลิกรัมของสารละลายไอโอดีนที่ถูกดูดซับ

- **การดูดซับเมทิลีนบลู** ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูจะสามารถบอกค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ได้ สำหรับโมเลกุลที่ถูกดูดซับมีขนาดใกล้เคียงกับโมเลกุลของเมทิลีนบลู ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงของรูพรุนแบบเมโซพอร์

### 2.7.4 สมบัติด้านเคมีฟิสิกส์

- **ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)** เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้กำหนดค่าสารระเหยที่อยู่ในถ่านหินและโค้ก โดยนำมาประยุกต์ใช้กับถ่านกัมมันต์ ค่าของปริมาณสารระเหยจะเป็นมวลที่หายไปอันเกิดจากการให้ความร้อนแก่ถ่านกัมมันต์

- ปริมาณความชื้น (Moisture Content) เป็นการหาปริมาณน้ำที่มีในถ่านกัมมันต์ โดยการอบให้แห้งในเตา โดยคำนวณปริมาณความชื้นได้จากน้ำหนักที่หายไป

- ปริมาณเถ้า (Ash) ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงและเวลานาน ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

## 2.8 การดูดซับของถ่านกัมมันต์

### 2.8.1 ทฤษฎีการดูดซับของถ่านกัมมันต์

การดูดซับเป็นการแยกสารองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลวหรือก๊าซ โดยให้สารละลายหรือก๊าซผสมสัมผัสกับตัวดูดซับ

โดยทั่วไปกระบวนการดูดซับของโมเลกุลต่างๆบนผิวถ่านกัมมันต์สามารถเขียนอยู่ในรูปปฏิกิริยาของการดูดซับของลาเกอร์เกรน ได้ดังนี้



โดยที่ A คือ ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate)

S คือ ตัวดูดซับ (Adsorbent)

และ A\*S คือ สารประกอบที่เกิดจากการดูดซับ (Adsorbed Compound)

ในปฏิกิริยาของการดูดซับที่เกิดขึ้นนี้ตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับด้วยกลไกการดูดซับ ซึ่งมี 3 แบบ คือ

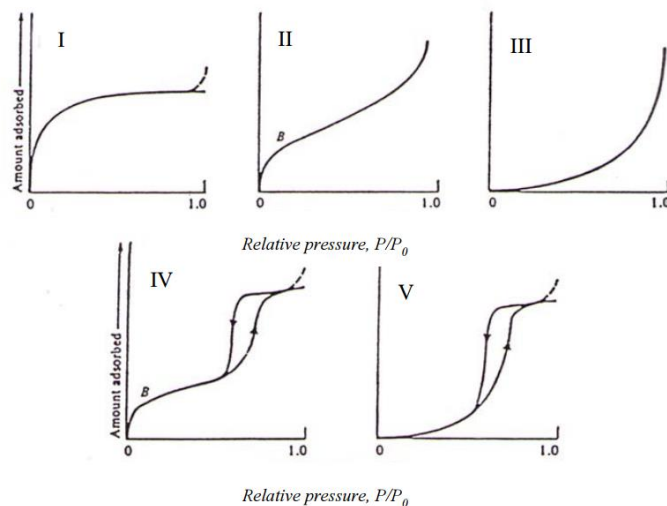
1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับสารองค์ประกอบที่ถูกดูดซับ ซึ่งแรงนี้มีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลขององค์ประกอบในสารละลาย

2. การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะแตกต่างกับการดูดซับทางกายภาพ โดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับองค์ประกอบที่ต้องการถูกดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบของตัวถูกดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับ ทำให้ปริมาณของตัวถูกดูดซับลดลงและให้ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีออกมาสูงมาก

3. การดูดซับทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Adsorption) การดูดซับทางไฟฟ้าเคมีหรือการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (Electrostatic Force) ระหว่างประจุบนโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับประจุบนผิวหน้าของตัวดูดซับ การดูดซับทางไฟฟ้าเคมีมีความแข็งแรงมากกว่าการดูดซับทางกายภาพแต่อ่อนกว่าการดูดซับทางเคมี

## 2.8.2 สมดุลของการดูดซับ

การวิเคราะห์สมดุลของการดูดซับจะอาศัยความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลของสมดุลของมวลสารเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในเฟสของเหลวกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนเฟสของแข็งความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะถูกเขียนเป็นกราฟไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm) ซึ่งอธิบายถึงการกระจายตัวของตัวถูกดูดซับระหว่างเฟสของเหลว และของแข็ง โดยอัตราการกระจายตัวนี้สามารถวัดได้ที่จุดสมดุลและจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับหรือคุณสมบัติของตัวถูกดูดซับ รูปร่างของไอโซเทอมการดูดซับจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการดูดซับ และปริมาณของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับ รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดซับมี 5 แบบ ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ไอโซเทอมการดูดซับพื้นฐาน 5 ชนิด (สราวุธ, 2550)

1. ไอโซเทอมชนิดที่ 1 บางครั้งอาจเรียกว่าไอโซเทอมที่มีรูปแบบแบบแลงเมียร์หรือแบบแอล (Langmuir or L-Shaped) เป็นการดูดซับของของแข็งที่มีลักษณะรูพรุนขนาดเล็กและการดูดซับส่วนใหญ่จะเป็นการดูดซับในรูพรุนขนาดเล็ก
2. ไอโซเทอมชนิดที่ 2 บางครั้งอาจเรียกว่าไอโซเทอมที่มีรูปแบบแบบซิกมอยด์หรือแบบเอส (Sigmoid or S-Shaped) เป็นรูปแบบไอโซเทอมการดูดซับของตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุนหรือตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเกิดการดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer)
3. ไอโซเทอมชนิดที่ 3 เป็นรูปแบบของการดูดซับที่มีแรงดึงดูดที่อ่อนระหว่างตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับ แต่แรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับด้วยกันมีค่อนข้างมาก

4. ไอโซเทอมชนิดที่ 4 พบในตัวดูดซับที่มีขนาดรูพรุนประมาณ 15–1000 อังสตรอม ความชันของกราฟเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความดันเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าตัวถูกดูดซับเริ่มเข้าเต็มในรูพรุนอีกครั้ง และการเปลี่ยนระดับของกราฟเมื่อความดันเพิ่มขึ้นอีก เป็นผลมาจากการควบแน่นภายในรูพรุนของของแข็ง (Capillary Condensation in Pores)

5. ไอโซเทอมชนิดที่ 5 พบในการดูดซับระหว่างโมเลกุลของก๊าซกับผิวของของแข็ง มีลักษณะคล้ายชนิดที่ 3 แต่ชนิดที่ 5 สามารถเกิดการควบแน่นของก๊าซภายในรูพรุนในตัวดูดซับที่มีขนาดรูพรุนในช่วงเดียวกับไอโซเทอมชนิด 4

ความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลของกระบวนการดูดซับที่เป็นไปตามไอโซเทอมเชิงเส้น (Linear Isotherm) จะแสดงด้วยสมการที่คล้ายคลึงกับ กฎของเฮนรี (Henry's Law) ดังนี้ คือ

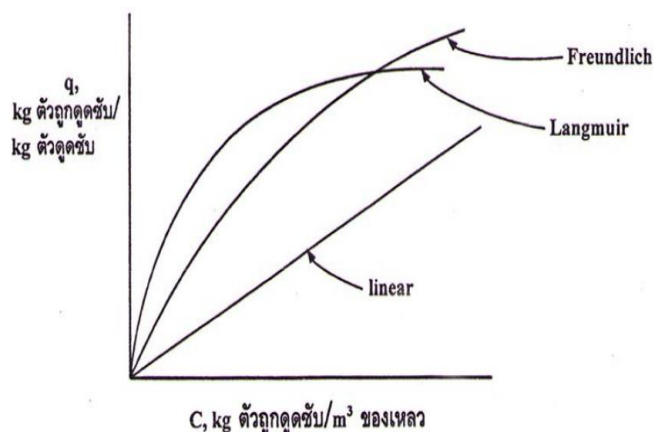
$$q = KC \quad (2.2)$$

โดยที่  $K$  คือ ค่าคงที่สมดุลของกระบวนการดูดซับ (ลิตรต่อกรัม)

$q$  คือ ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$C$  คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

อย่างไรก็ตามกฎเชิงเส้นก็ไม่สามารถใช้ได้กับทุกระบบของกระบวนการดูดซับ กฎนี้สามารถใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลของกระบวนการดูดซับหลายๆกระบวนการได้โดยประมาณ สมการที่นำมาใช้อย่างกว้างขวางในการอธิบายความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลของกระบวนการดูดซับหลายกระบวนการ โดยเฉพาะในระบบของเหลว-ของแข็ง ได้แก่ ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช และไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ไอโซเทอมการดูดซับ (สราวุธ, 2550)

### 2.8.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับของฟรอนด์ลิชนิยมใช้มากเนื่องจากมีความถูกต้องสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีการดูดซับที่ใช้กับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจาง สมการแสดงดังนี้

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2.3)$$

โดยที่  $q_e$  คือ ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ หรือค่าการดูดซับที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ มิลลิโมลต่อกรัม)

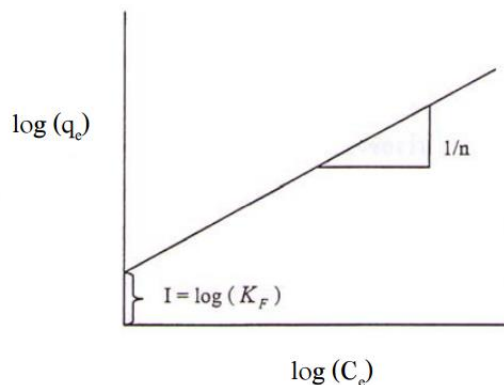
$C_e$  คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (ตัวถูกดูดซับ) ในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ มิลลิโมลต่อลิตร)

$K_F$  คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ (ลิตรต่อกรัม)

$n$  คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ ซึ่งสามารถแสดงสมการในรูปลอการิทึมได้ดังนี้

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.4)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $\log C_e$  กับ  $\log q_e$  จะเป็นเส้นตรงที่มีความชัน  $1/n$  และจุดตัดแกน  $y$  เท่ากับ  $\log K_F$  ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ลักษณะไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (สรารุธ, 2550)

จากสมการการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช ความสามารถในการดูดซับพิจารณาจากความชันของกราฟระหว่าง  $\log C_e$  กับ  $\log q_e$  โดยถ้าเส้นกราฟที่ได้มีค่าความชันมากหรือค่า  $n$  น้อย แสดงว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่ความเข้มข้นสูงๆ แต่เกิดขึ้นได้น้อยที่ความเข้มข้นต่ำ

ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์คือ



1. โมเลกุลถูกดูดซับอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นผิวของตัวดูดซับ
2. มีโมเลกุลเดียวในบริเวณถูกดูดซับ
3. ชั้นของบริเวณดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน ซึ่งกำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
4. พลังงานการดูดซับมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{K_L C_e} \quad (2.5)$$

โดยที่  $q_e$  คือ ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับหรือค่าการดูดซับที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ มิลลิโมลต่อกรัม)

$q_m$  คือ ปริมาณของสารถูกดูดซับมากที่สุดที่ถูกดูดซับเพื่อสร้างแผ่นชั้นเดียว (Monolayer) (มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ มิลลิโมลต่อกรัม) คือค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ (ลิตรต่อมิลลิกรัม หรือ ลิตรต่อมิลลิโมล)

$K_L$  คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (ตัวถูกดูดซับ) ในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ มิลลิโมลต่อลิตร)

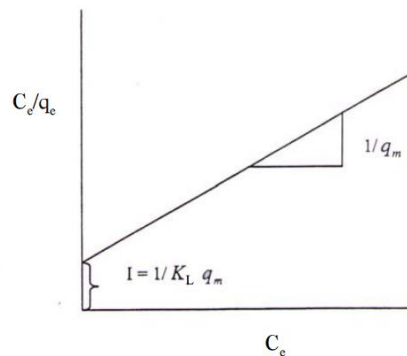
เมื่อ  $q_e$  เข้าสู่  $q_m$  และ  $C_e$  เข้าสู่อนันต์สามารถจัดสมการ (2.5) ให้อยู่ในรูปใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \left( \frac{1}{K_L q_m} \right) \frac{1}{C_e} \quad (2.6)$$

หรือ

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m} \quad (2.7)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า  $C_e$  กับ  $C_e / q_e$  จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ  $1/q_m$  และมีจุดตัดแกน  $y$  เท่ากับ  $1/K_L q_m$  ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ลักษณะไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (สราวุธ, 2550)

## 2.9 ลูกหยี

หยีหรือลูกหยี (Velvet Tamarind) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Dialium cochinchinense* Pierre อยู่ในสกุลหยี *Dialium* เป็นพืชวงศ์ *Liguminosae* (ตระกูลถั่ว) ชื่อท้องถิ่นในภาคใต้ส่วนใหญ่ มักเรียกว่าเขลง กากหยี ภาคอีสานเรียกนางคา เป็นพืชท้องถิ่นในรัฐซาบ่าห์และซาราวัคของประเทศ มาเลเซีย ยังพบในประเทศกัมพูชา ลาว มาเลเซีย พม่า และเวียดนาม (นิตดาและทวีทอง, 2550) ลักษณะทางพฤกษศาสตร์เป็นไม้ต้นขนาดกลางถึงใหญ่ สูงถึง 30 เมตร ไม้ผลัดใบ เปลือกต้นแตกเป็นสะเก็ด สีเทาอมน้ำตาล เปลือกในสีแดงใบประกอบแบบขนนก ปลายใบคี่ มีใบย่อยเรียงตรงกันข้ามรูปไข่ หรือรูปรีปลายใบแหลม โคนใบมน ขอบใบเรียบ ดอกออกเป็นช่อตามปลายกิ่ง ดอกสีขาวออกเหลือง ออกดอกเดือนมิถุนายน-กันยายน ผลรูปทรงกลมรี ผลอ่อนสีเขียว เมื่อผลแก่สีดำ เนื้อหุ้มเมล็ดสีน้ำตาล เมล็ดแข็งกลมแบนผิวมัน ออกผลเดือนกันยายน-ธันวาคม พบได้ใน ป่าเต็งรัง ป่าดิบแล้ง และป่า คืนสภาพ สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม คือบริเวณที่มีแสงแดดจัดค่อนข้างชื้น ส่วนที่ใช้เป็นอาหารคือยอดอ่อน ใบอ่อนนำไปปรุงรสทำให้มีรสเปรี้ยวหรือรับประทานเป็นผักสดกับน้ำพริก ลาบ ยา ผลอ่อนนำมา ต้มรับประทาน ผลแก่รับประทานเนื้อ มีลักษณะคล้ายลูกหยี รสใบอ่อนรสเปรี้ยว เนื้อหุ้มเมล็ดมีรส หวาน การขยายพันธุ์เพาะเมล็ด (ทักษิณ, สมัย, บัวใส และฤทัยวรรณ, 2551) ลูกหยีเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มี ประโยชน์มากมาย สามารถนำมารับประทานเพื่อบรรเทาอาการเจ็บคอ ไอ และหวัดได้เป็นอย่างดี เนื่องด้วยอุดมไปด้วยสารอาหาร เช่น กรดอินทรีย์และวิตามินซี ที่จะเสริมภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย สามารถนำส่วนเมล็ดมารักษาโรคผิวหนัง ส่วนเปลือกนำมาใช้ในการรักษาอาการท้องร่วง ริดสีดวง ทวาร (“ประวัติความเป็นมาของลูกหยีที่คุณไม่เคยรู้มาก่อน”, 2559) ลูกหยีได้ถูกนำมาแปรรูปในเมือง ยะรัง จังหวัดปัตตานี ซึ่งสอดคล้องกับคำขวัญจังหวัดปัตตานีที่ว่า “บุดูสะอาด หาดสวย รวยน้ำตก นกเขาดี ลูกหยีอร่อย หอยแครงสด” ทำให้ผลไม้ชนิดนี้กลายเป็นของฝากขึ้นชื่อที่จำหน่ายไปยังจังหวัด อื่นๆ ทั่วประเทศ สร้างชื่อเสียงให้กับจังหวัดมาเป็นเวลา 30 ปี โดยชาวบ้านนิยมนำมาแปรรูปเป็นลูก หยีกวนและลูกหยีฉาบด้วยน้ำตาล สำหรับสรรพคุณของลูกหยี มีดังนี้

1. รักษาอาการไอและอาการเจ็บในคอ เพราะลูกหยีมีรสชาติหวานอมเปรี้ยว และเต็มไปด้วย Vitamin C จึงช่วยบรรเทาอาการไอและเจ็บคอได้ดีทีเดียว ซึ่งแนะนำให้กินลูกหยีสดจะดีมาก เพราะว่ามีประสิทธิภาพในการบรรเทาอาการไอและเจ็บคอได้เป็นอย่างดีนั่นเอง

2. แก้อาการคันผิวหนัง ลูกหยีสามารถนำมาแก้อาการคันผิวหนังบางชนิดได้ โดยจะใช้ส่วนของเมล็ดมาทำ การรักษานั้นเอง

3. บรรเทาอาการไข้หวัด ลูกหยีนอกจากจะช่วยบรรเทาอาการไอและอาการเจ็บคอได้แล้วยังสามารถนำมากินเพื่อแก้อาการของหวัดได้อีกด้วย ทั้งนี้ก็เพราะว่าในลูกหยีนั้นอุดมไปด้วยสารอาหาร

และวิตามินที่มีสรรพคุณมากมาย รวมทั้งกรดอินทรีย์และวิตามินซี ที่จะช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย จึงช่วยบรรเทาอาการหวัดได้ดีและป้องกันไข้หวัดได้ด้วย

4. รักษาแผล แล้วกระตุ้นการไหลนมแม่ ลูกหมีมีประโยชน์ในการรักษาแผลและช่วยในการกระตุ้นการผลิตน้ำนมของคุณแม่หลังคลอดได้ดี ซึ่งจะใช้รากของลูกหมีมาทำเป็นยานั่นเอง อีกทั้งสำหรับคนที่ไม่ค่อยเจริญอาหาร ก็สามารถเอารากของลูกหมีมาต้มเป็นสมุนไพรทาน เพื่อให้อยากอาหารมากขึ้นด้วย

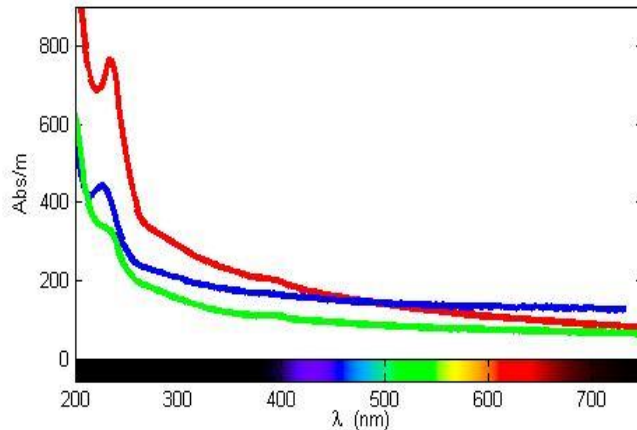
5. แก้อาการท้องเสีย สำหรับใครที่มักเกิดอาการท้องร่วงบ่อยๆ ลูกหมีก็ช่วยรักษาอาการท้องร่วงได้เช่นกัน ซึ่งจะนำส่วนเปลือกนอกของลูกหมีเท่านั้น และไม่เพียงแต่ช่วยบรรเทาอาการท้องร่วงได้เพียงอย่างเดียว แต่เปลือกนอกของลูกหมีก็สามารถช่วยแก้โรคริดสีดวงทวารได้อีกด้วย ไม่จำเป็นต้องผ่าตัดหรือบรรเทาด้วยขั้นตอนของแพทย์ปัจจุบันให้ยุ่งยากเลย

6. เป็นยาระบายอ่อนๆ ไม่ใช่แค่อาการท้องเสียเท่านั้น แต่สำหรับใครที่ท้องผูกบ่อยๆ ก็สามารถแก้ด้วยลูกหมีเหมือนกัน ซึ่งก็จะนำส่วนของยอดอ่อน เพราะว่ามีฤทธิ์เป็นยาระบายอ่อนๆ นั้นเอง แต่ไม่ควรทานมากเกินไปเพราะอาจจะทำให้ท้องร่วงแทนก็ได้ (กศน.อำเภอควนเนียง, 2560)

## 2.10 หลักการเครื่องมือ

### 2.10.1 เครื่อง UV-VIS spectrophotometer

UV-VIS spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 nm ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสี และไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน และปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสารต่างๆเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ เป็นเทคนิคที่ให้สภาพไวที่ดี และใช้กันอย่างแพร่หลาย ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งเรียกว่า Spectrum ดังแสดงในภาพที่ 2.8

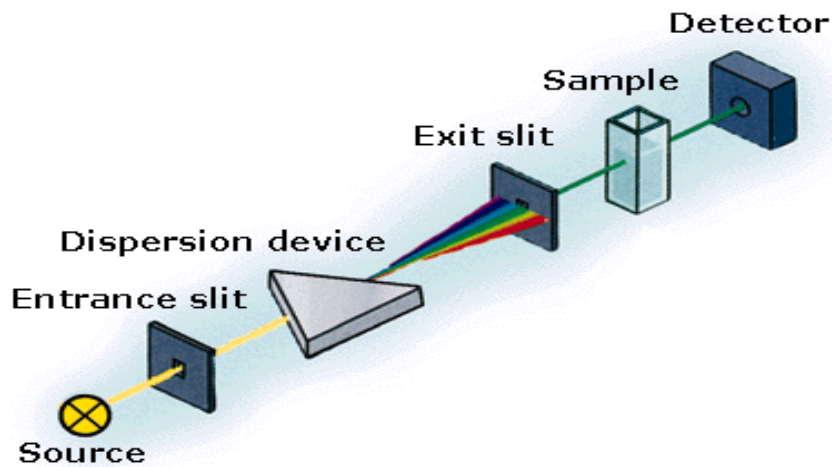


ภาพที่ 2.8 UV-VIS spectrum

ที่มา : [http://en.wikipedia.org/wiki/File:UVVIS\\_spectrum\\_of\\_bisulphide\\_in\\_sewage.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:UVVIS_spectrum_of_bisulphide_in_sewage.jpg)

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ประกอบไปด้วย

1. Light source แหล่งกำเนิดรังสีเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมาอย่างต่อเนื่อง และคงที่ รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอ หลอดกำเนิดรังสีมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นรังสีที่เปล่งออกมา เช่น ช่วง UV จะใช้หลอด H<sub>2</sub> and D<sub>2</sub> lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 nm และช่วง Visible ใช้หลอด
2. Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 nm เป็นต้น Monochromator เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียวใช้ฟิลเตอร์ปริซึมหรือเกรตติง
3. Cell sample เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง บางครั้งอาจเรียกว่า Cuvettes ที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วจะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะแก้วจะดูดกลืนรังสีในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควออร์ตซ์ ซึ่งใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล
4. Detector ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดรังสีมีหลายชนิดที่นิยม ได้แก่ Photomultiplier tube และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด Silicon diode detector



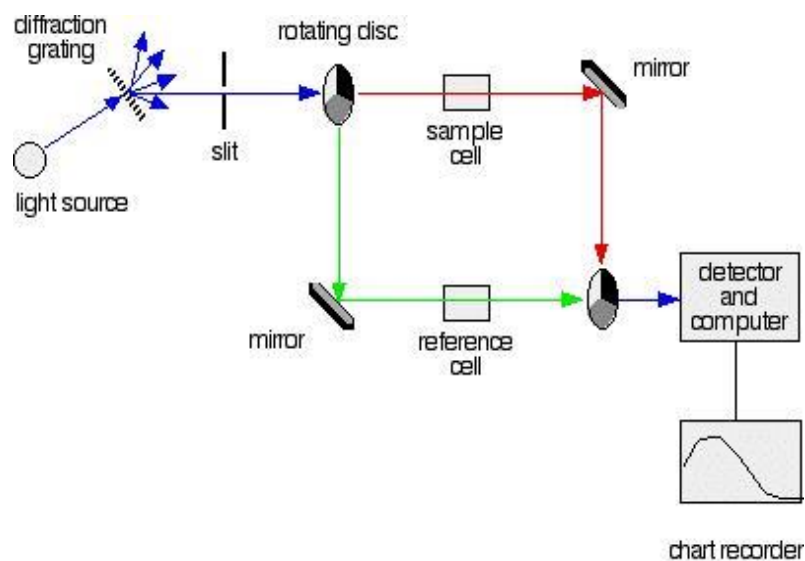
ภาพที่ 2.9 องค์ประกอบของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer

ที่มา : <http://faculty.sdmiramar.edu/fgarces/LabMatters/Instruments/UV-Vis/Cary50.htm>

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. Single-Beam spectrophotometer (ภาพที่ 2.9) เมื่อลำรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสีจะผ่านเลนส์ โมโนโครเมเตอร์ที่เป็น Grating ผ่านสารตัวอย่าง แล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณ เนื่องจาก สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัดลำรังสีนี้จะเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณเลย การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน

2. Double-Beam Spectrophotometer ลำรังสีจะผ่านโมโนโครเมเตอร์ 2 ครั้งด้วยกัน ทำให้ได้ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวอย่างมีประสิทธิภาพ และความละเอียดมากขึ้น เมื่อออกจาก Exit slit แล้วลำรังสีจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำรังสี (Beam chopper) ก็จะสะท้อนไปผ่านสารตัวอย่าง ในขณะที่เดียวกันลำรังสีจะผ่านไปผ่านสารอ้างอิง ด้วยวิธีนี้ ลำรังสีลำเดียวที่ผ่านโมโนโครเมเตอร์จะถูกอุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกเป็นลำรังสีสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลา เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ไปตกกระทบบ phototube ความแตกต่างของความเข้มจะกลายเป็นสัญญาณส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกสัญญาณต่อไปในการใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำรังสีคู่



ภาพที่ 2.10 Double beam spectrophotometer

ที่มา : (<http://www.chemguide.co.uk/analysis/uvvisible/spectrometer.html>)

### 2.10.2 เครื่อง FT-IR spectrometer (Fourier Transform Infrared Spectrometer)

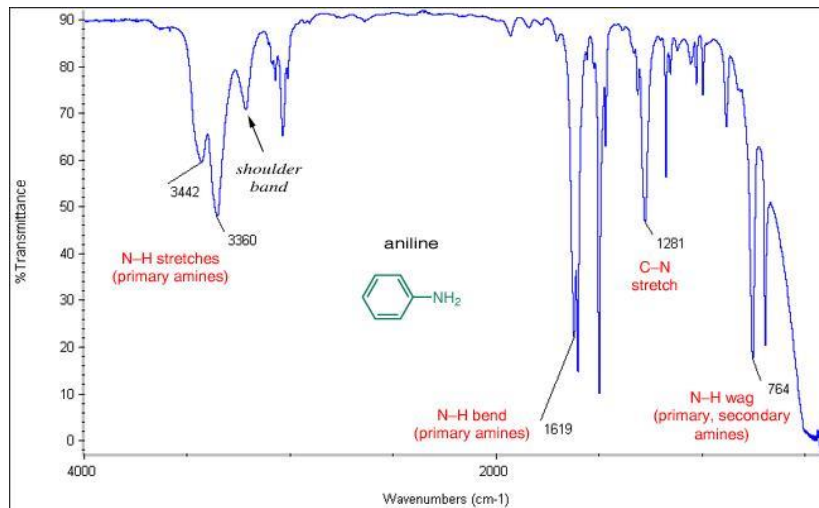
FT-IR spectrometer (Fourier Transform Infrared Spectrometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบ โครงสร้างของสาร โดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด ที่อยู่ในช่วงเลขคลื่น (Wave number) ประมาณ  $12800-10\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) เป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าแต่ให้ความร้อนที่สัมผัสได้ รังสีอินฟราเรดอยู่ระหว่างช่วง Visible radiation กับ Microwave radiation โดยช่วงของรังสีอินฟราเรด แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่

1. Near Infrared ( $12800-4000\text{ cm}^{-1}$ )
2. Middle Infrared ( $4000-200\text{ cm}^{-1}$ )
3. Far Infrared ( $200-10\text{ cm}^{-1}$ )

ช่วงของรังสีอินฟราเรดที่ใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ช่วง Middle IR เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีพลังงานค่อนข้างต่ำ เมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเข้าไปจะทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่น และการหมุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล การที่โมเลกุลจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้นั้นความถี่ของรังสีอินฟราเรดต้องเท่ากับความถี่การสั่นของโมเลกุลของสารนั้นๆ ซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะ และแตกต่างกันไปทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง และชนิดของสารอินทรีย์ได้ การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ด้วย

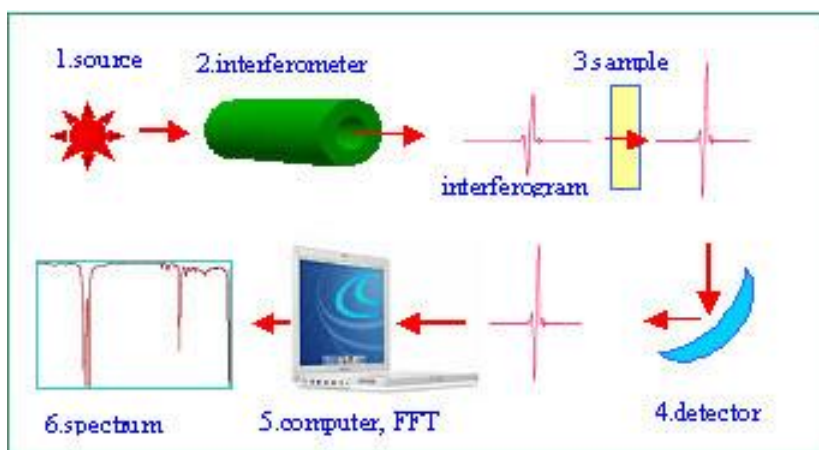
เทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Wave number กับ Transmittance ซึ่งเรียกว่า Infrared spectrum



ภาพที่ 2.11 Infrared spectrum ของ Aniline

ที่มา : (<http://orgchem.colorado.edu/Spectroscopy/irtutor/aminesir.html>)

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง FTIR spectrometer ประกอบไปด้วย Light source, Interferometer Sample, Detector และ Computer



ภาพที่ 2.12 ส่วนประกอบของเครื่อง FTIR spectrometer

ที่มา : (<http://www.nuance.northwestern.edu/KeckII/Instruments/FT-IR/index.html>)

การใช้เครื่อง FTIR spectrometer วิเคราะห์ตัวอย่างใช้เวลาสั้นๆ และไม่สิ้นเปลืองสารเคมีจึงนิยมนำมาใช้เพื่อการตรวจสอบสารในเชิงคุณภาพ หรือเพื่อยืนยันสูตรโครงสร้างของตัวอย่าง เช่น

วิเคราะห์ชนิดของสารเคลือบผิวภาชนะบรรจุอาหาร ตัวอย่างสารสกัดจากพืช ตัวอย่างโพลีเมอร์ เป็นต้น นอกจากการวิเคราะห์โดยใช้ช่วง Middle IR แล้วช่วง Near IR

## 2.11 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยด้วยเทคนิคบีอีที (Brunauer-Emmett-Teller Method, BET)

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิว (Surface area) ของสารที่ต้องการวิเคราะห์ โดยอาศัยเทคนิคการแทนที่พื้นที่ผิว หรือรูพรุนด้วยแก๊สไนโตรเจน ใช้สำหรับการศึกษาวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) การกระจายขนาดของรูพรุน (Pore size distribution) และปริมาตรรูพรุนรวม (Total pore volume) โดยการวัดปริมาณแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุแล้วนำมาคำนวณหาค่าต่างๆ โดยการดูดซับของก๊าซไนโตรเจนบนพื้นผิวของแข็งจะเกิดขึ้นเร็วในช่วงแรก ซึ่งที่ถูกดูดซับนั้นจะมีส่วนหนึ่งที่เคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียวจนเต็มพื้นที่ผิวก่อนแสดงถึงการดูดซับบนพื้นผิวแบบชั้นเดียว จากนั้นแก๊สไนโตรเจนที่เหลือแพร่กระจายไปเคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลหลายชั้น โดยปกติสารที่มีรูพรุนที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนด้วยเทคนิคบีอีที จะเป็นวัสดุที่มีรูพรุนขนาด 2-50 นาโนเมตร (Mesopore)

## 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shim et al. (2001) ศึกษาการบำบัดถ่านกัมมันต์ (Pitch-Based Activated Carbon Fibers) ด้วยสารละลายกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่าการบำบัดถ่านกัมมันต์ด้วยสารละลายกรดไนตริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ลดลง ซึ่งถูกอธิบายว่าเป็นเพราะสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างคาร์บอนบนผิวถ่านกัมมันต์กับกรดไนตริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์จะไปอุดตันรูพรุนบางส่วนของถ่านกัมมันต์ เป็นผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนลดลง และยังพบอีกว่าการบำบัดถ่านกัมมันต์ด้วยสารละลายกรดไนตริกจะส่งผลให้หมู่ฟังก์ชันฟีนอลแลคโตน และคาร์บอกซิลของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น ส่วนการบำบัดถ่านกัมมันต์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้หมู่ฟีนอลและคาร์บอกซิลของถ่านกัมมันต์ลดลง แต่หมู่แลคโตนเพิ่มขึ้น

Lua and Yang (2005) ทำการศึกษาผลของการกระตุ้นทางเคมีของถ่านกัมมันต์เปลือกถั่วพิสทาชิโอ โดยการเผากระตุ้นภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนและภายใต้ความดันสูญญากาศ สารเคมีที่ใช้กระตุ้นคือซิงค์คลอไรด์ ( $\text{ZnCl}_2$ ) พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผากระตุ้นภายใต้ความดันสูญญากาศมีคุณสมบัติดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผากระตุ้นภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน อัตราส่วนสารกระตุ้นเวลาในการเผากระตุ้น และอุณหภูมิในการเผากระตุ้น มีผลต่อพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนขนาดเล็กของถ่านกัมมันต์



Rahman et al. (2005) ได้ศึกษาการดูดซับมาลาไชต์กรีน (Malachite Green) ด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากแกลบโดยการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ ) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่อุณหภูมิการเผากระตุ้นต่างๆ พบว่าอุณหภูมิการเผากระตุ้นที่เหมาะสมคือ 500 องศาเซลเซียส ผลการดูดซับมาลาไชต์กรีนพบว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกมีประสิทธิภาพการดูดซับมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไอโซเทอมการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิช ส่วนไอโซเทอมการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้นสอดคล้องเฉพาะแบบแลงเมียร์

Akmil-Basar et al. (2005) ได้ศึกษาการดูดซับมาลาไชต์กรีนด้วยถ่านกัมมันต์ 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากซีลีอ์ไม้น ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) และถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากโพลีเอทิลีนเอเทอร์ฟาทาเลท (PET) ที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับมาลาไชต์กรีนสูง โดยที่ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากซีลีอ์ไม้นจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากโพลีเอทิลีนเอเทอร์ฟาทาเลท ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับของสารละลายมาลาไชต์กรีนอยู่ในช่วง พีเอช 6-10 เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากซีลีอ์ไม้นคือ 120 นาที และถ่านกัมมันต์จากโพลีเอทิลีนเอเทอร์ฟาทาเลทคือ 90 นาที จลนพลศาสตร์การดูดซับสอดคล้องกับสมการอัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับ 1 ไอโซเทอมการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์และการวิเคราะห์โดยใช้สมการการแพร่ภายในรูพรุน พบว่าขั้นตอนการแพร่ภายในรูพรุนเป็นขั้นตอนกำหนดอัตรา (Limiting Step)

ภควดี (2553) ได้ศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านและถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกมังคุด เปลือกทุเรียน ชั่งข้าวโพด และแกลบ โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านและถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย  $ZnCl_2$  แล้วนำไปหาพื้นที่ผิวของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาถ่านคือ  $450\text{ }^{\circ}C$  เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ส่วนการเตรียมถ่านกัมมันต์เตรียมโดยแช่ถ่านในสารละลาย  $ZnCl_2$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาที่  $700\text{ }^{\circ}C$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ถ่านที่เตรียมได้มีพื้นที่ผิวในช่วง  $151-208\text{ m}^2\text{g}^{-1}(\text{char})$  ส่วนถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวอยู่ในช่วง  $166-222\text{ m}^2\text{g}^{-1}(\text{char})$  ซึ่งหาได้จากการใช้สมการของ Langmuir isotherm นอกจากนี้ผลการนำถ่านและถ่านกัมมันต์ไปกำจัดตะกั่วจากน้ำทิ้ง พบว่าถ่านมีแนวโน้มในการกำจัดโลหะหนักตะกั่วได้ดีกว่า ถ่านกัมมันต์ยกเว้นถ่านจากแกลบ โดยที่ถ่านจากเปลือกมังคุด เปลือกทุเรียน ชั่งข้าวโพด และแกลบ สามารถกำจัดตะกั่วได้ร้อยละ 54.3, 72.7, 78.5 และ 36.8 ตามลำดับ ขณะที่ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด เปลือกทุเรียน ชั่งข้าวโพด และแกลบ สามารถกำจัดตะกั่วได้ร้อยละ 33.3, 38.1, 42.8 และ 50.8 ตามลำดับ

พัชรภรณ์ และพูนศิริ (2554) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ้มเมล็ดสบู่ดำด้วยวิธี กระตุ้นทางเคมี สารเคมีที่ใช้มี 3 ชนิดได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), สารละลายกรด ฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ ) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นการผลิตถ่านกัมมันต์ แบบ 2 ขั้นตอนคือ ต้องเผาเปลือกหุ้มเมล็ดสบู่ดำด้วยกระบวนการคาร์บอนเซชันก่อน แล้วจึงนำถ่าน เปลือกหุ้มเมล็ดสบู่ดำที่ได้ ไปกระตุ้นด้วยสารเคมีที่ต้องการศึกษา การศึกษาในครั้งนี้ได้ศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์คือ การ กระตุ้นถ่านด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) อัตราส่วนถ่านเปลือกหุ้มเมล็ดสบู่ดำต่อ สารเคมี 1:1 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 500 °C นาน 60 นาที ได้ปริมาณถ่านกัมมันต์ร้อยละ 60.24 พื้นที่ผิวจำเพาะ 730.20  $m^2/g$  ค่าการดูดซับสารละลายไอโอดีน 964.21  $mg/g$  และค่าการดูดซับ สารละลายสีเมทิลีนบลู 500.00  $mg/g$  ตามลำดับ

ปัญญา (2555) ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกทุกวางโดยถ่านคาร์บอนซึ่งสามารถ เตรียมได้จากการเผาลูกทุกวางที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ขณะที่ถ่านกัมมันต์ เตรียมได้โดยการกระตุ้นถ่านคาร์บอนด้วยกรดซัลฟูริก ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากผลการศึกษา พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนถ่านด้วยวิธีไอโอดีน นัมเบอร์และ วิธีเมทิลีนบลู ให้สภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนที่สภาวะเดียวกัน คืออุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และ ที่เวลา 120 นาที

รุจิรา (2556) ได้ศึกษาการผลิตและการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดเพื่อใช้ในการดูดซับ โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ ) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) ในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักถ่านต่อ ปริมาตรของสารละลายตัวกระตุ้นเท่ากับ 1:3 ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้น ถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ตัวทำละลายอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์จากนั้น จึงวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ได้แก่ เปรอร์เซ็นต์แฉะ และความชื้น ค่าการดูดซับไอโอดีน ค่าการดูดซับฟีนอล ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู และค่าการดูดซับมีเทน จากผลการทดลองพบว่าสภาวะ การกระตุ้นที่เหมาะสมของการดูดซับไอโอดีน คือ 0.5 M  $ZnCl_2$  ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที สำหรับสภาวะการกระตุ้นที่เหมาะสมของการดูดซับเมทิลีนบลู คือ 50%  $H_3PO_4$  ที่ อุณหภูมิห้อง เวลา 120 นาที มีค่าการดูดซับเมทิลีนบลูสูงสุดในการศึกษาการดูดซับฟีนอล พบว่าการ กระตุ้นด้วย 0.1 M KOH ที่อุณหภูมิ 120 นาทีมีค่าการดูดซับสูง การวิเคราะห์การดูดซับมีเทนของ ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีนั้นพบว่าเวลาที่น้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล คือ 60 นาทีและสภาวะ ในการดูดซับมีเทนที่ดีที่สุด คือ สภาวะการกระตุ้นต่างที่ความเข้มข้น 0.1 M KOH อุณหภูมิห้อง เวลา

120 นาที ค่าการดูดซับมีเทนเท่ากับ 0.21 mg/g ถ่านกัมมันต์ซึ่งข้าวโพดและปริมาณการดูดซับมีเทนที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับการดูดซับมีเทนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า

อรดี และศศิธร (2557) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกปูเพื่อใช้กำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ พบว่าการคาร์บอนเซชันถ่านด้วยการเผาเปลือกปูที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที และกระตุ้นถ่านคาร์บอนเซชันด้วยซิงค์คลอไรด์ในอัตราส่วน น้ำหนักแห้งของถ่านต่อซิงค์คลอไรด์ 1:2 ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์ นอกจากนี้ได้ศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการดูดซับสีเมทิลีนบลู ได้แก่ ปริมาณถ่านกัมมันต์ เวลาเข้าสู่สมดุล ความเป็นกรดต่าง และไอโซเทอมของการดูดซับ จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณถ่านที่เหมาะสมในการดูดซับเท่ากับ 32 กรัมต่อลิตร เวลาในการดูดซับที่เหมาะสมเท่ากับ 150 นาที ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.0 และไอโซเทอมของการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากเปลือกปูสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ และเมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้สำหรับการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากโรงงาน ฟอกย้อม พบว่า สีย้อมในน้ำทิ้งตัวอย่างมีความเข้มข้นลดลงร้อยละ 63.5 – 75.6 ในการบำบัดเพียงครั้งแรก

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

##### 3.1.1 สารเคมี

1. กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid ;  $H_3PO_4$ )
2. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide ; KOH)
3. ซิงค์ (II) คลอไรด์ (Zinc (II) chloride ;  $ZnCl_2$ )
4. ไอโอดีน (Iodine ;  $I_2$ )
5. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid ; HCl)
6. โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium thiosulphate ;  $Na_2S_2O_3$ )
7. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate ;  $Na_2CO_3$ )
8. เมทิลีนบลู (Methylene blue)
9. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium hydrogen phosphate ;  $Na_2HPO_4$ )
10. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium hydrogen phosphate ;  $KH_2PO_4$ )
11. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide ; KI)
12. โพแทสเซียมไอโอเดต (Potassium iodate ;  $KIO_3$ )
13. ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer)
14. โพแทสเซียมโบรไมด์ (Potassium bromide ; KBr)
15. น้ำแป้ง (Dissolved flour)
16. น้ำกลั่น (Distilled water)

##### 3.1.2 วัสดุอุปกรณ์

1. ครุชีเบิล (Crucible)
2. โกร่งบด (Mortar )
3. ปีกเกอร์ (Beaker)
4. กรวยกรอง (Funnel)
5. กระดาษกรอง (Filter Paper)
6. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
7. บิวเรต (Burette)
8. ขวดรูปชมพู่ (Elenmeyer flask)
9. โถดูดความชื้น (Desiccator)
10. ปิเปต (Pipette)
11. ช้อนตักสาร (spatula)

12. แท่งแก้วคน (Stirring rod)
13. หลอดหยด (Dropper)
14. ตะแกรงร่อน ขนาด 180 ไมคอน
15. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
16. กระจกบอทวง (cylinder)
17. ถังมือยาง
18. ขวดน้ำกลั่น (wash bottle)
19. ขวดเก็บสารละลายมาตรฐาน ขนาด 500 mL และ 1000 mL
20. หลอดทดลอง (Test Tube)

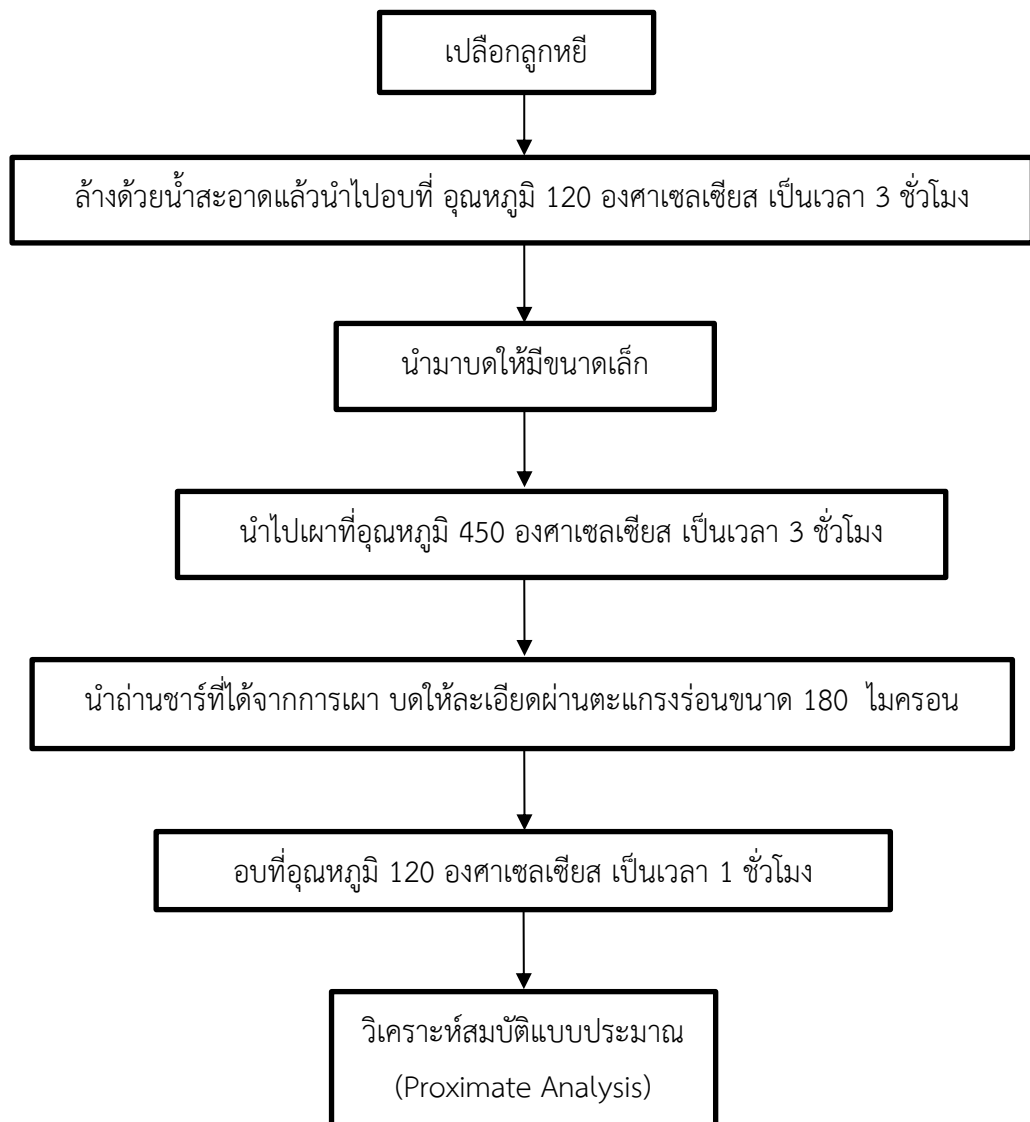
### 3.1.3 เครื่องมือ

1. เตาให้ความร้อน (Hot plate)
2. เครื่องชั่ง (Balance)
3. เตาให้ความร้อน (stirrer hotplates)
4. ตู้อบ (hot air oven) ยี่ห้อ Memmert
5. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)
6. เครื่องเขย่า (Sieve Shaker)
7. เตาเผา (Furnace) ยี่ห้อ Carbolite
8. เครื่องมือศึกษาเอกลักษณ์ของสารด้วยอินฟราเรด (Fourier transform Infrared

Spectroscopy : FTIR) ยี่ห้อ JASCO 6800

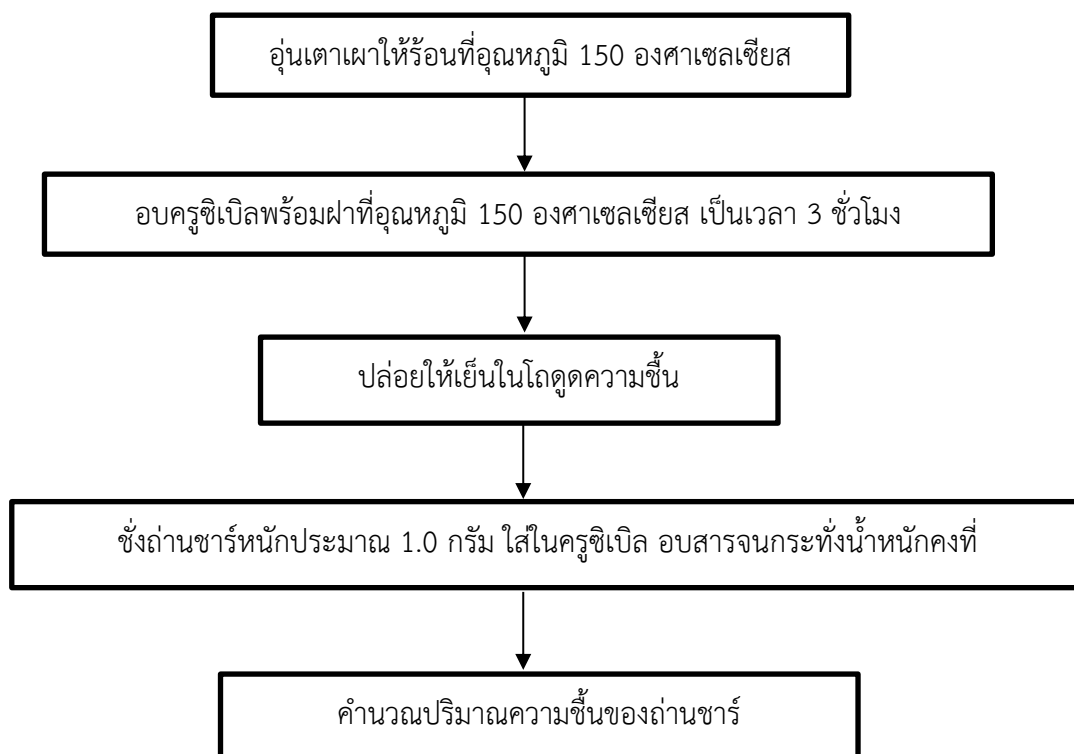
### 3.2 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.2.1 วิธีการเตรียมถ่านชาร์จากเปลือกลูกหอย

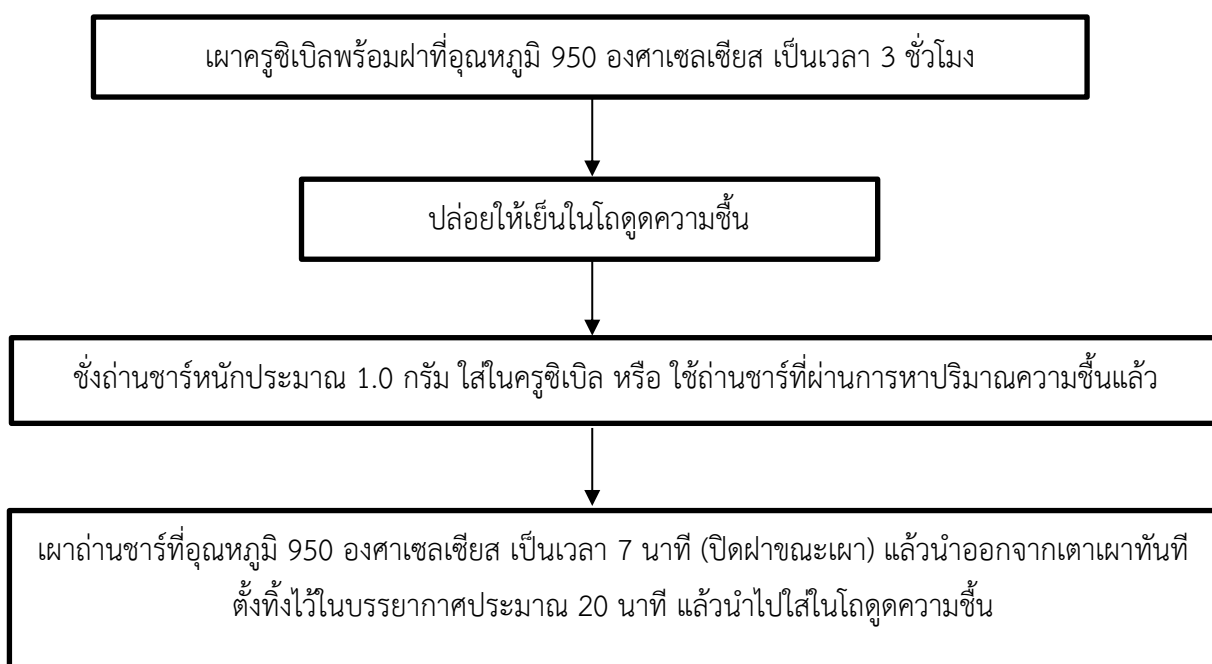


### 3.2.2 การวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis)

- ปริมาณความชื้น



- ปริมาณสารระเหย (Volatile matter)



↓

บันทึกน้ำหนักถ่านชาร์หลังจากการเผา ทำซ้ำจนถ่านชาร์มีค่าคงที่  
แล้วทำการคำนวณสารระเหยในถ่านชาร์

- ปริมาณเถ้า (Ash)

เผาครุชชีเบลพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น

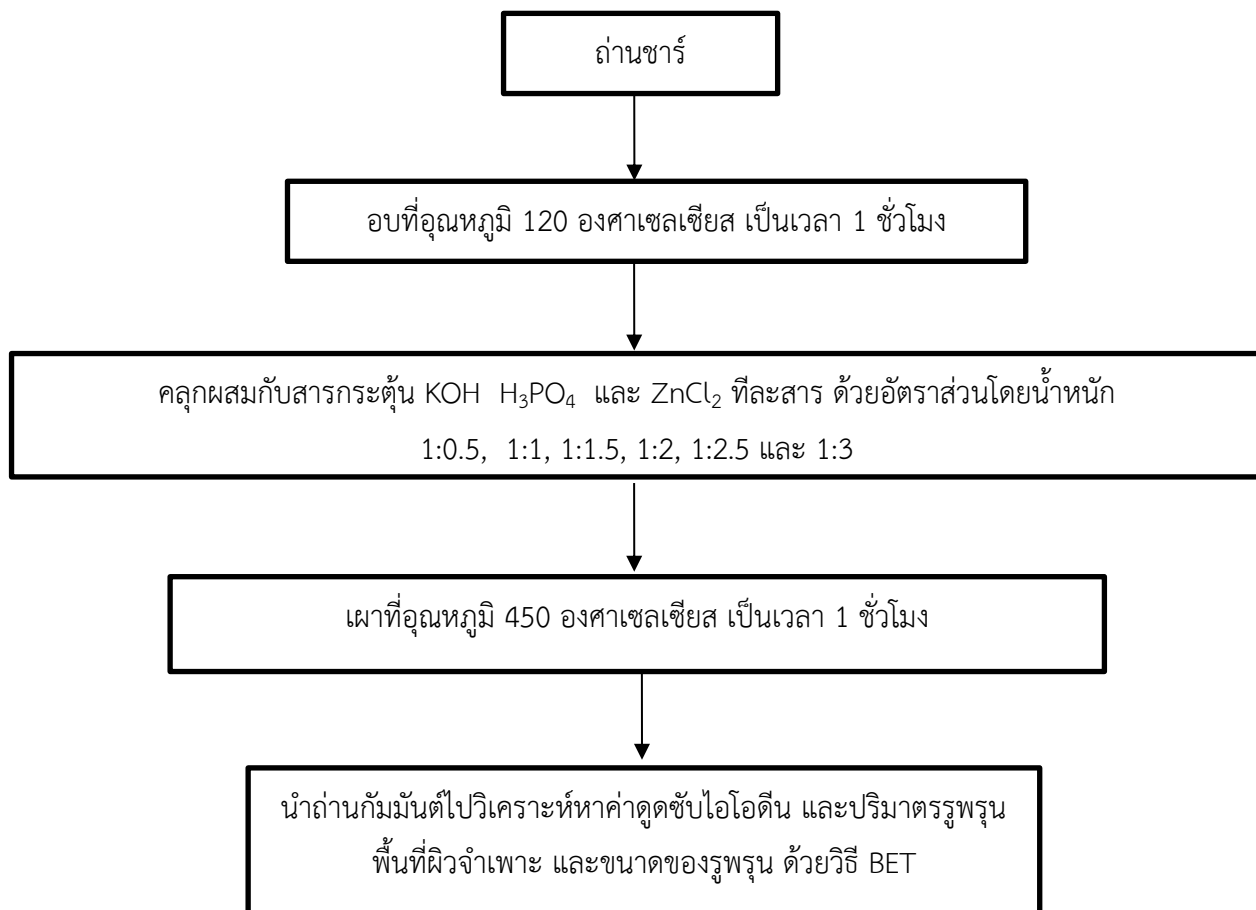
ชั่งถ่านชาร์หนักประมาณ 1.0 กรัม ใส่ในครุชชีเบล หรือ ใช้ถ่านชาร์  
ที่ผ่านการหาปริมาณความชื้นแล้ว

เผาถ่านชาร์ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ถ่านชาร์มีน้ำหนักคงที่ (เปิดฝาล่วงขณะเผา)

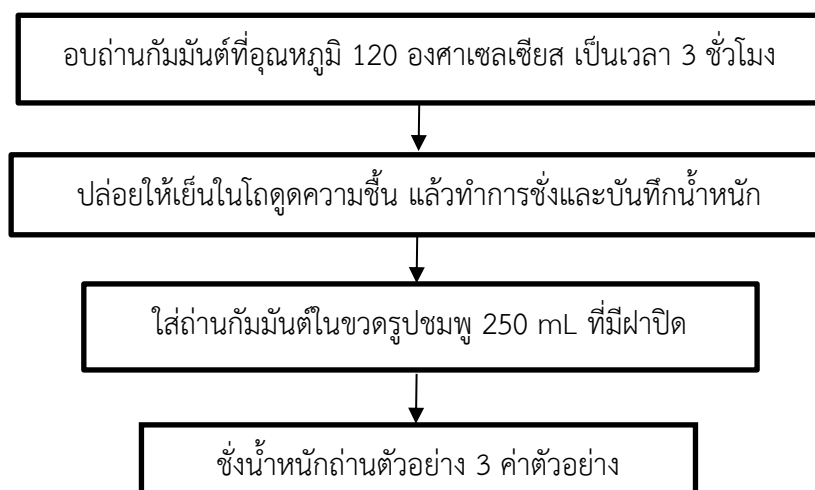
คำนวณปริมาณเถ้าในถ่านชาร์

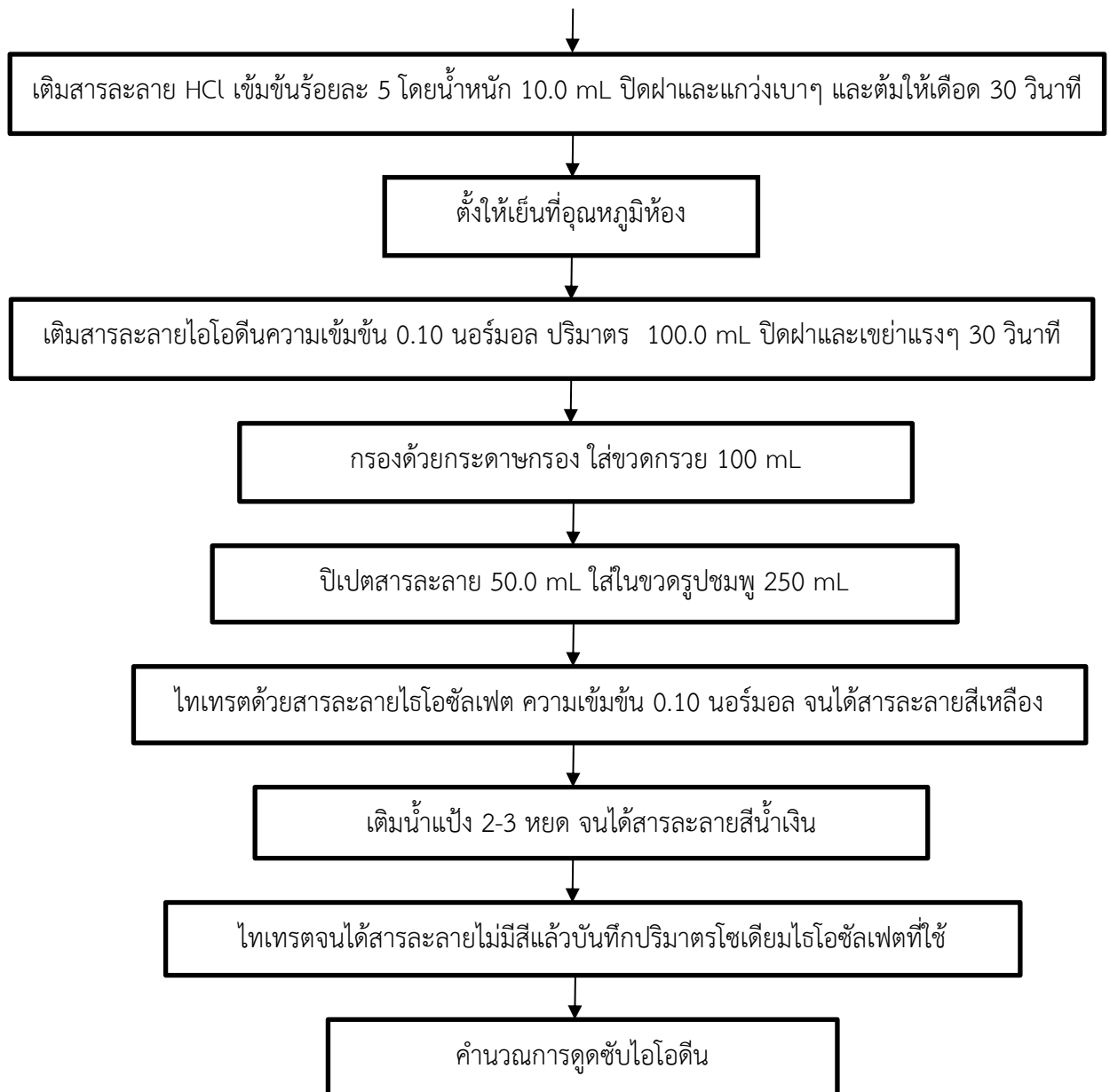


### 3.2.3 วิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์

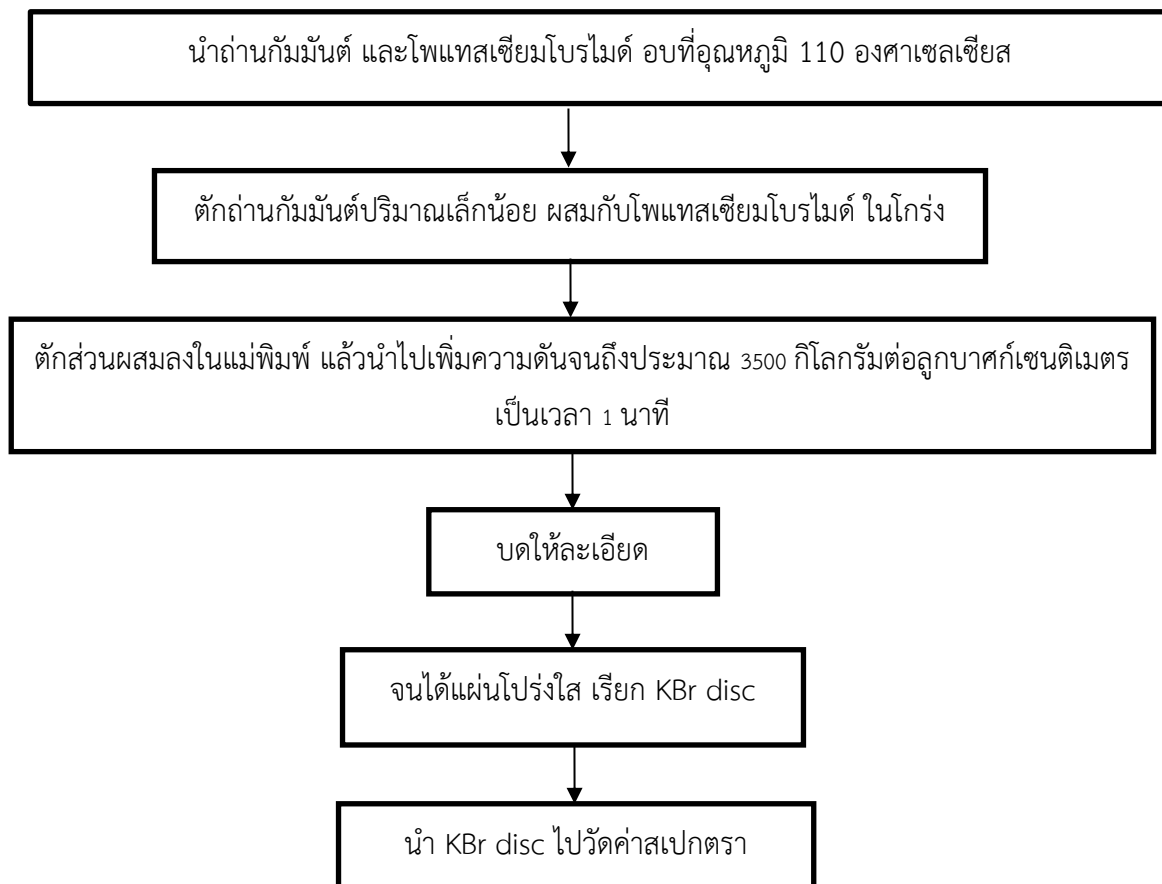


### 3.2.4 การวิเคราะห์หาค่าสมบัติการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)





### 3.2.5 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านและถ่านกัมมันต์



## บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

### 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate Analysis) ของเปลือก ลูกหิและถ่านชาร์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของเปลือกลูกหิและถ่านชาร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า เปลือกลูกหิและถ่านชาร์มีปริมาณความชื้นร้อยละ 8.76 และ 11.5 สารระเหย ร้อยละ 75.73 และ 32.37 เถ้าร้อยละ 1.60 และ 41.65 และคาร์บอนคงตัวร้อยละ 22.6 และ 25.99 ตามลำดับ

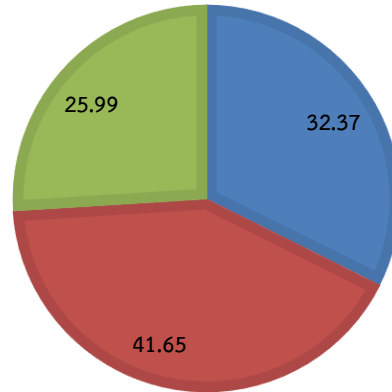
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านชาร์และเปลือกลูกหิ

วัตถุดิบ	ความชื้น	การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
		สารระเหย	เถ้า	คาร์บอนคงตัว
เปลือกลูกหิ	8.76±0.42	75.73±0.18	1.60±0	22.67±0.18
ถ่านชาร์	11.5±2.09	32.37±0.35	41.65±0.81	25.99±0.69

หมายเหตุ ผลการวิเคราะห์  $\bar{X} + SD$ , n=3

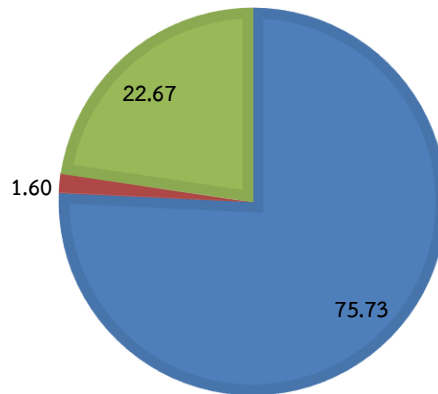
จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณในตารางที่ 4.1 พบว่า เปลือกลูกหิมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเท่ากับร้อยละ 22.67 ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อการนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตถ่านกัมมันต์ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชีวมวลประเภทอื่นๆ ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนคงตัวดังนี้ เปลือกและเมล็ดลิ้นจี่ ร้อยละ 18.0 เมล็ดลำไย ร้อยละ 19.6 กะลาผลปาล์ม ร้อยละ 19.8 ต้นไอลิกานัม ร้อยละ 23.0 (เกศศิริ, 2554) กากกาแฟ ร้อยละ 1.01 (ทองฉัตรและพรสวรรค์, 2016) เปลือกมังคุด ร้อยละ 1.76 (สุภาพรและคณะ, 2557) ลูกหูกวาง ร้อยละ 19.64 (ปัญญา, 2555) และเปลือกขนุน ร้อยละ 36 (Prahas et al., 2008) เมื่อนำเปลือกลูกหิมาผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ทำให้เกิดการสลายตัวของโครงสร้างและระเหยออกไปในรูปของสารระเหย ซึ่งสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายได้ระเหยในกระบวนการคาร์บอนไนเซชันไปมากแล้ว ทำให้ถ่านชาร์มีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูงขึ้นเป็นร้อยละ 25.99

■ สารระเหย ■ ไม้ ■ คาร์บอนคงตัว



ภาพที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านชาร์ (ไม่รวมความชื้น)

■ สารระเหย ■ ไม้ ■ คาร์บอนคงตัว



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของเปลือกถ่านชาร์ (ไม่รวมความชื้น)

## 4.2 ร้อยละผลผลิตที่ได้ (% Yield) ของถ่านกัมมันต์

ผลการหาค่าร้อยละผลผลิต (% Yield) ที่ได้ ของถ่านกัมมันต์ หาโดยการคำนวณจากการแทนค่าสูตร ดังนี้

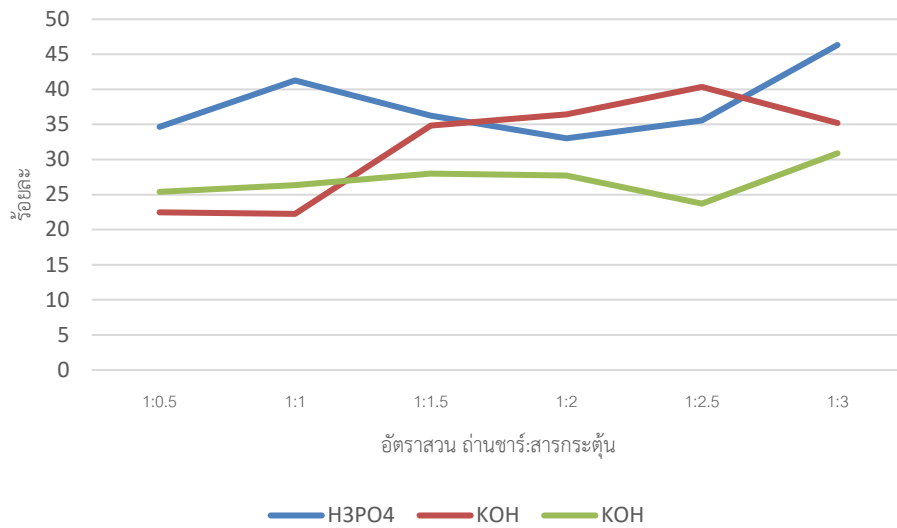
$$\% \text{ Yield} = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \times 100$$

$M_1$  = น้ำหนักเปลือกกลุหียก่อนคาร์บอนไนซ์

$M_2$  = น้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ได้ (หลังล้างสารกระตุ้นออก)

ตารางที่ 4.2 ร้อยละผลผลิตที่ได้ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกลุหีย

ชนิดสารกระตุ้น	ตัวอย่างที่	อัตราส่วนถ่านชาร์ : สารกระตุ้น	ร้อยละผลผลิตที่ได้ (Percent Yield)
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	AC1-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:0.5	34.68
	AC2-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:1	41.28
	AC3-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:1.5	36.27
	AC4-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:2	33.02
	AC5-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:2.5	35.56
	AC6-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:3	46.33
KOH	AC1-KOH	1:0.5	22.45
	AC2-KOH	1:1	22.25
	AC3-KOH	1:1.5	34.84
	AC4-KOH	1:2	36.45
	AC5-KOH	1:2.5	40.35
	AC6-KOH	1:3	35.2
ZnCl <sub>2</sub>	AC1-ZnCl <sub>2</sub>	1:0.5	25.39
	AC2-ZnCl <sub>2</sub>	1:1	26.36
	AC3-ZnCl <sub>2</sub>	1:1.5	27.99
	AC4-ZnCl <sub>2</sub>	1:2	27.72
	AC5-ZnCl <sub>2</sub>	1:2.5	23.71
	AC6-ZnCl <sub>2</sub>	1:3	30.89



ภาพที่ 4.3 ร้อยละผลผลิตที่ได้ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกหยี

#### 4.3 ร้อยละการได้คืนของสารกระตุ้น (% Activation Reagent Recovery)

ผลการหาค่าร้อยละการได้คืนของสารกระตุ้น (% Activation Reagent Recovery: ARR) ของถ่านกัมมันต์ ซึ่งแสดงถึงปริมาณของสารกระตุ้นที่ยังคงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์หลังจากการกระตุ้นหาโดยการคำนวณจากการแทนค่าสูตร ดังนี้ (วารี, 2556)

$$\% \text{ ARR} = \frac{(M_3 - M_2)}{M_4} \times 100$$

$M_2$  = น้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ได้ (หลังล้างสารกระตุ้นออก)

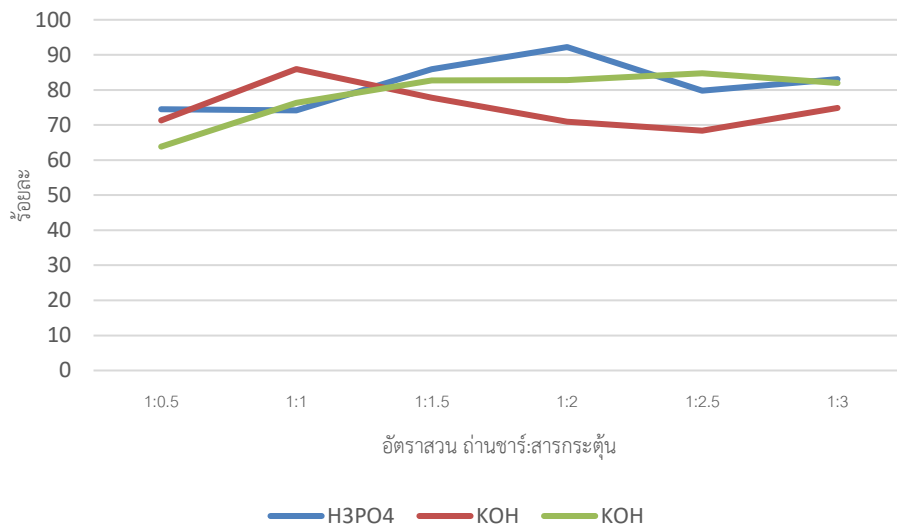
$M_3$  = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ได้ (ก่อนล้างสารกระตุ้นออก)

$M_4$  = น้ำหนักของสารกระตุ้น

ตารางที่ 4.3 ร้อยละการได้คืนของสารกระตุ้นของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกหอย

ชนิดสาร กระตุ้น	ตัวอย่างที่	อัตราส่วน ถ่านชาร์ : สารกระตุ้น	ร้อยละการได้คืนของสารกระตุ้น (ARR)
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	AC1-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:0.5	74.47
	AC2-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:1	74.17
	AC3-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:1.5	85.89
	AC4-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:2	92.22
	AC5-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:2.5	79.8
	AC6-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:3	83.09
KOH	AC1-KOH	1:0.5	71.31
	AC2-KOH	1:1	85.95
	AC3-KOH	1:1.5	77.76
	AC4-KOH	1:2	70.93
	AC5-KOH	1:2.5	68.38
	AC6-KOH	1:3	74.89
ZnCl <sub>2</sub>	AC1-ZnCl <sub>2</sub>	1:0.5	63.83
	AC2-ZnCl <sub>2</sub>	1:1	76.36
	AC3-ZnCl <sub>2</sub>	1:1.5	82.69
	AC4-ZnCl <sub>2</sub>	1:2	82.82
	AC5-ZnCl <sub>2</sub>	1:2.5	84.75
	AC6-ZnCl <sub>2</sub>	1:3	81.95





ภาพที่ 4.4 ร้อยละการได้คืนของสารกระตุ้นของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วย

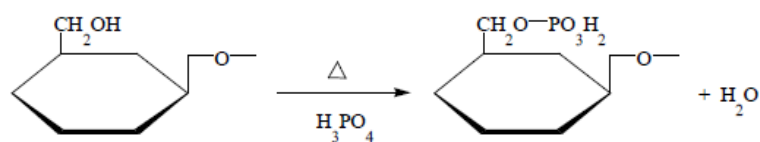
#### 4.4 ผลการหาพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วย

การหาพื้นที่ผิวจำเพาะ-BET ประมาณรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดยสาร 3 ชนิด คือ H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, KOH และ ZnCl<sub>2</sub> เทียบกับถ่านชาร์ในอัตราส่วน 1:1 ผลแสดงข้อมูลดังตารางที่ 4.4 พบว่า สารกระตุ้นที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุด คือ AC-ZnCl<sub>2</sub>, AC-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Charcoal และ AC-KOH มีค่า 421.20, 420.30, 235.50 และ 154.70 m<sup>2</sup>/g ตามลำดับ ส่วนสารกระตุ้นที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีปริมาตรรูพรุนรวมสูงสุด คือ AC-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, AC-ZnCl<sub>2</sub>, Charcoal และ AC-KOH มีค่า 0.21, 0.20, 0.12 และ 0.10 cm<sup>3</sup>/g ตามลำดับ และสารกระตุ้นที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีขนาดรูพรุนเฉลี่ยสูงสุด คือ AC-KOH, AC-ZnCl<sub>2</sub>, AC-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> และ Charcoal มีค่า 25.73, 20.10, 18.87 และ 2.00 nm ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยจากเปลือกกล้วย

ชนิดของสารกระตุ้น	พื้นที่ผิวจำเพาะ-BET (m <sup>2</sup> /g)	ปริมาตรรูพรุนรวม (cm <sup>3</sup> /g)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (nm)
Charcoal	235.50	0.12	2.00
AC-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	420.30	0.21	20.10
AC-KOH	154.70	0.10	25.73
AC-ZnCl <sub>2</sub>	421.20	0.20	18.87

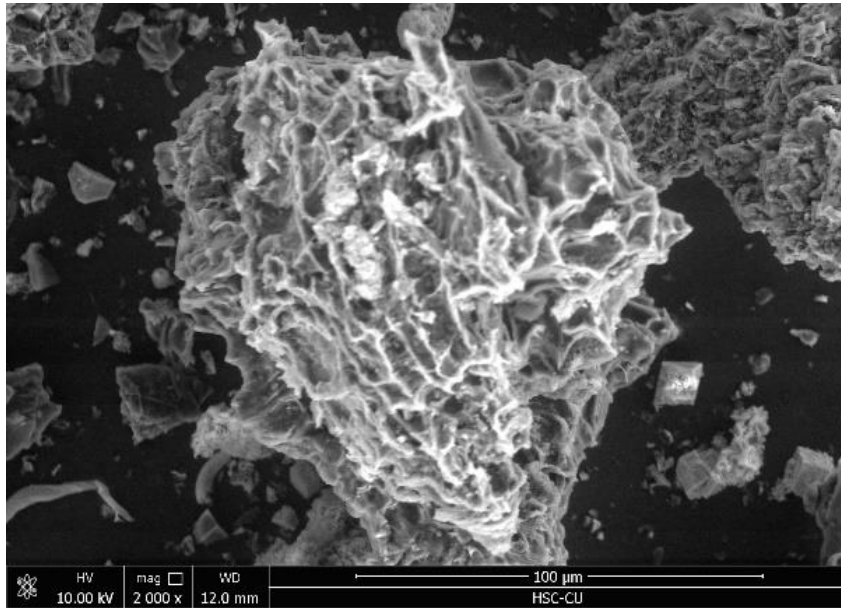
จากตารางที่ 4.4 ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้นที่แตกต่างกัน ได้แก่  $H_3PO_4$ ,  $KOH$  และ  $ZnCl_2$  โดยกระตุ้นในสภาวะที่เหมือนกัน ดังนี้ อัตราส่วนระหว่างสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบเป็น 1:1 เมากระตุ้นที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น 1 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า  $H_3PO_4$  และ  $ZnCl_2$  ให้พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนมากกว่า  $KOH$  ทั้งนี้  $H_3PO_4$  และ  $ZnCl_2$  เป็นสารที่มีความสามารถในการทำละลายสูง ทำให้สามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของวัตถุดิบได้อย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะกรดฟอสฟอริกเหมาะกับการใช้เป็นสารกระตุ้นวัสดุชีวมวล เนื่องจากทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสเกิดการขยายตัว ส่งผลให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างหลังจากการให้ความร้อน (ปรินทร, 2551)



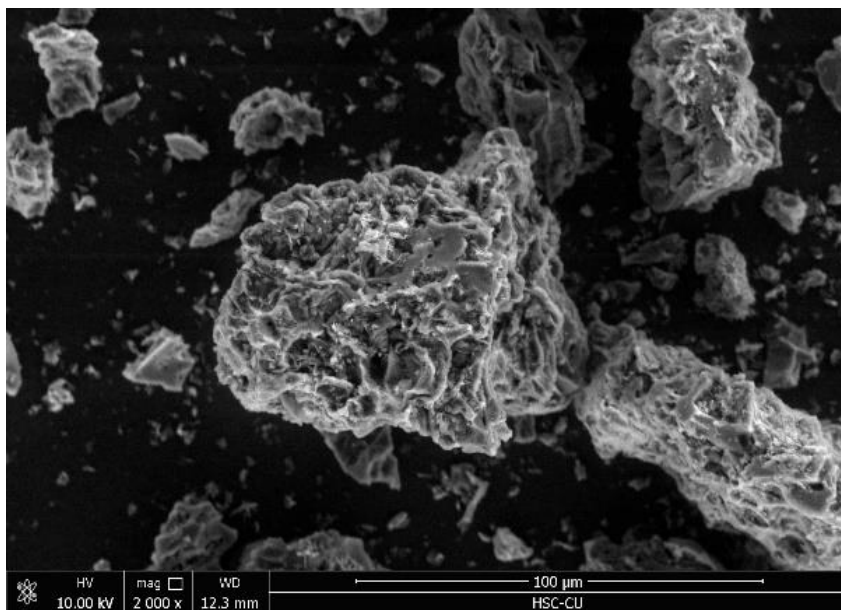
ภาพที่ 4.5 ปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลสกับกรดฟอสฟอริก (ปรินทร, 2551)

#### 4.5 การศึกษาภาพถ่ายของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

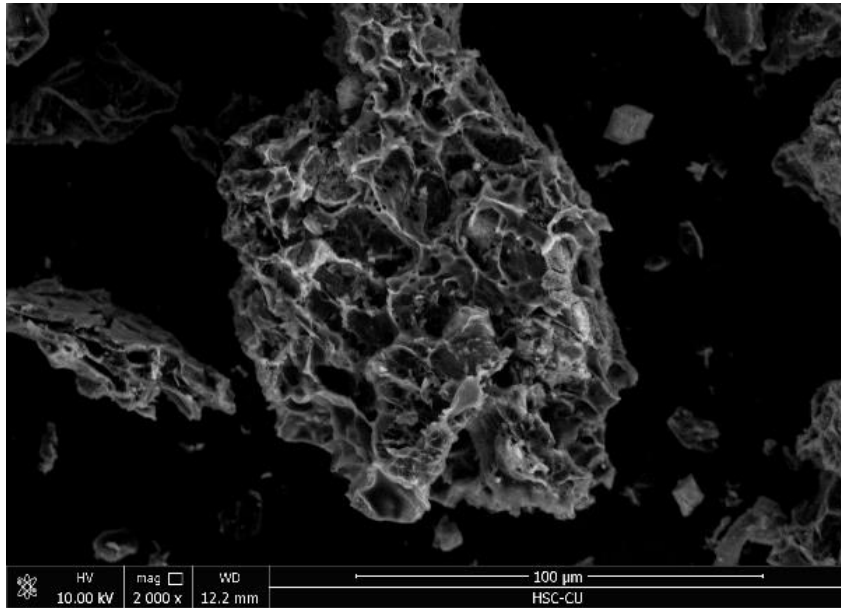
ผลจากการถ่ายภาพด้วยเทคนิค SEM ในรูปภาพที่ 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9 พบว่า สภาพพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกหอย ที่ผ่านการกระตุ้นด้วย  $H_3PO_4$ ,  $KOH$  และ  $ZnCl_2$  มีมากกว่าถ่านชาร์ และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกหอย ที่ผ่านการกระตุ้นด้วย  $H_3PO_4$ ,  $KOH$  และ  $ZnCl_2$  มีขนาดใหญ่กว่าถ่านชาร์ เช่นกัน



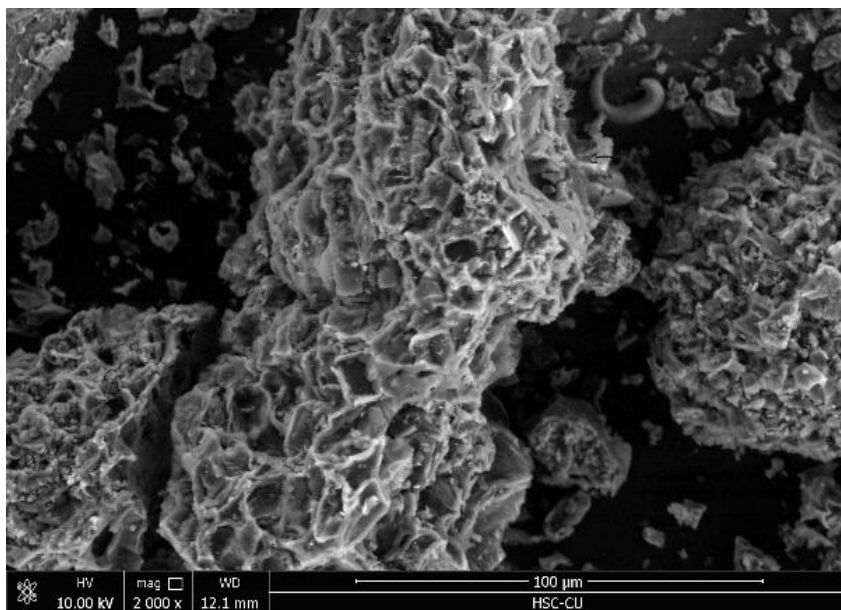
ภาพที่ 4.6 สภาพพื้นผิวของถ่านชาร์ ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า



ภาพที่ 4.7 สภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ (AC-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า



ภาพที่ 4.8 สภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ (AC-KOH) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า



ภาพที่ 4.9 สภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ (AC-ZnCl<sub>2</sub>) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

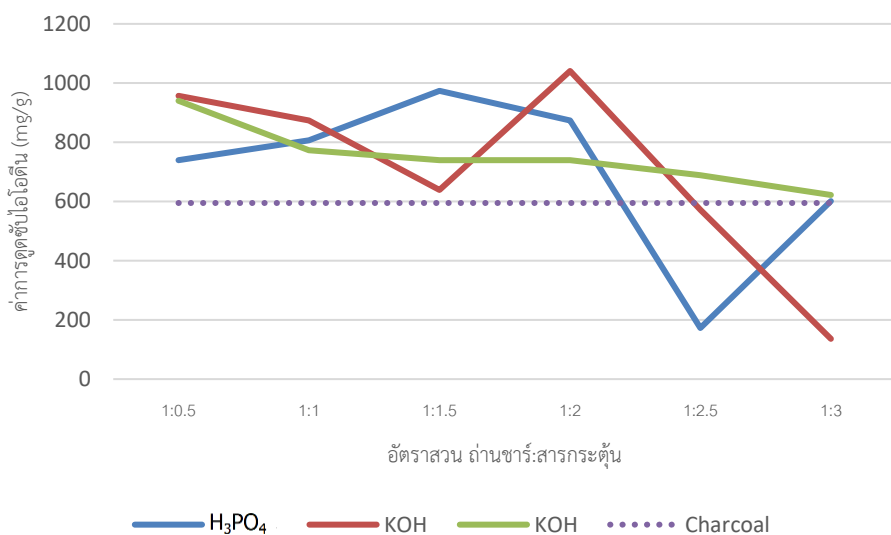
#### 4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วย

การหาค่าดูดซับไอโอดีน (Iodine number) ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดยสาร 3 ชนิด คือ  $H_3PO_4$ , KOH และ  $ZnCl_2$  แต่ละสารกระตุ้น ใช้อัตราส่วน (ถ่านชาร์ : สารกระตุ้น) แตกต่างกัน 6 ค่า คือ 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 และ 1:3 ผลแสดงข้อมูลดังตารางที่ 3 พบว่า ถ่านกัมมันต์ทุกตัวอย่างมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าถ่านชาร์ (Charcoal) ที่ไม่ผ่านการกระตุ้น ยกเว้น AC-KOH ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:2.5, AC- $H_3PO_4$  ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:2.5 และ AC-KOH ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:3 เท่านั้นที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนต่ำกว่าถ่านชาร์ มีค่าการดูดซับไอโอดีน 571.70, 172.62 และ 136.07 mg/g ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด 5 อันดับ คือ AC-KOH ในอัตราส่วนถ่านชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:2, AC- $H_3PO_4$  ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:1.5, AC-KOH ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:0.5, AC- $ZnCl_2$  ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:0.5 และ AC- $H_3PO_4$  ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:2 มีค่าการดูดซับไอโอดีน 1,040.83, 973.81, 957.05, 940.30 และ 873.28 mg/g ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วย

ตัวอย่างที่	ชนิดสารกระตุ้น	อัตราส่วน ถ่านชาร์ : สารกระตุ้น	ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)
Charcoal	-	-	594.90
AC1- $H_3PO_4$	$H_3PO_4$	1:0.5	739.24
AC2- $H_3PO_4$		1:1	806.26
AC3- $H_3PO_4$		1:1.5	973.81
AC4- $H_3PO_4$		1:2	873.28
AC5- $H_3PO_4$		1:2.5	172.62
AC6- $H_3PO_4$		1:3	600.80
AC1-KOH	KOH	1:0.5	957.05
AC2-KOH		1:1	873.28
AC3-KOH		1:1.5	638.71
AC4-KOH		1:2	1040.83
AC5-KOH		1:2.5	571.69
AC6-KOH		1:3	136.07

ตัวอย่างที่	ชนิดสารกระตุ้น	อัตราส่วน ถ่านชาร์ : สารกระตุ้น	ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)
AC1-ZnCl <sub>2</sub>	ZnCl <sub>2</sub>	1:0.5	940.30
AC2-ZnCl <sub>2</sub>		1:1	772.75
AC3-ZnCl <sub>2</sub>		1:1.5	739.24
AC4-ZnCl <sub>2</sub>		1:2	739.24
AC5-ZnCl <sub>2</sub>		1:2.5	688.98
AC6-ZnCl <sub>2</sub>		1:3	621.96



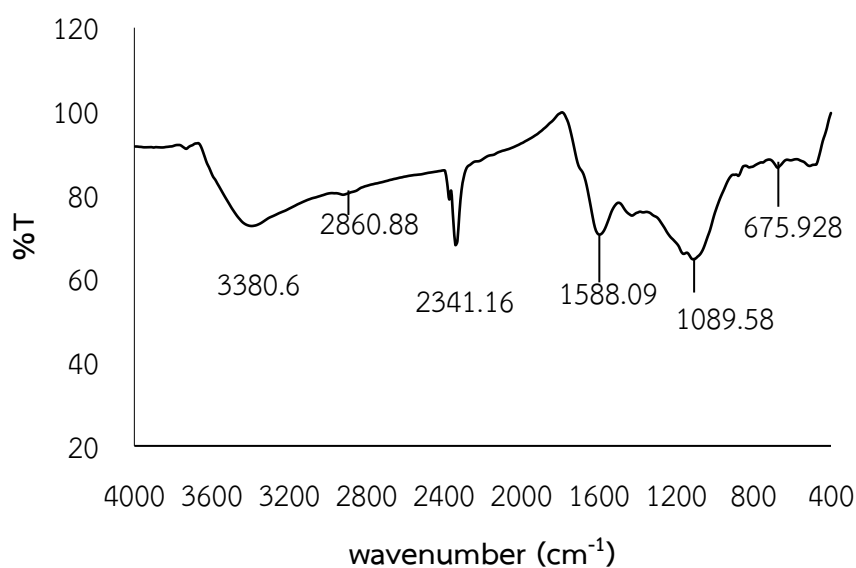
ภาพที่ 4.10 แสดงผลการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกหยีในอัตราส่วนที่ต่างกัน

#### 4.7 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกหยีด้วยเทคนิคฟลูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทมิเตอร์

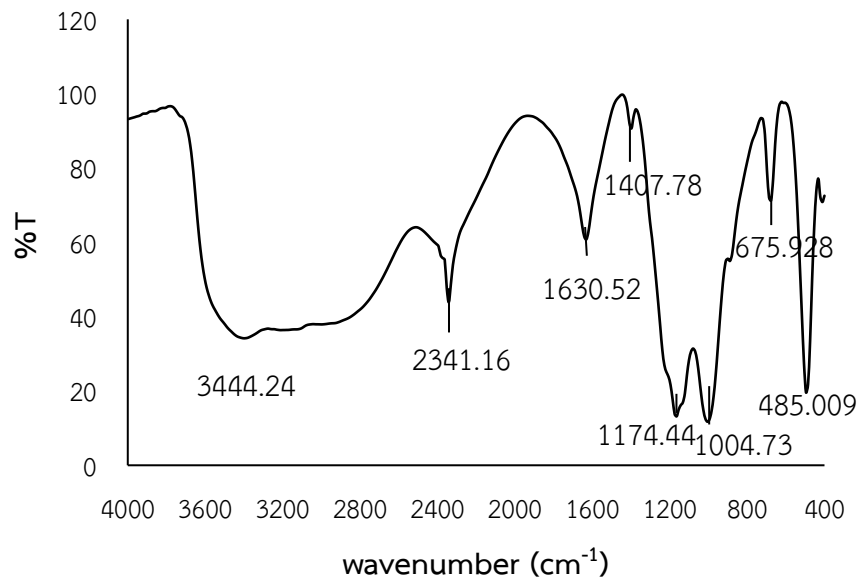
ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับต่างกัน อาจเกิดจากการที่หมู่ฟังก์ชันที่ผิวของถ่านกัมมันต์มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงทำการศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวถ่านชาร์และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ทั้งหมด โดยใช้เครื่องฟลูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทมิเตอร์ (FTIR spectrometer)

ตารางที่ 4.6 เลขคลื่นของแถบต่างๆเกิดขึ้นในอินฟราเรดสเปกตรัม พร้อมการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

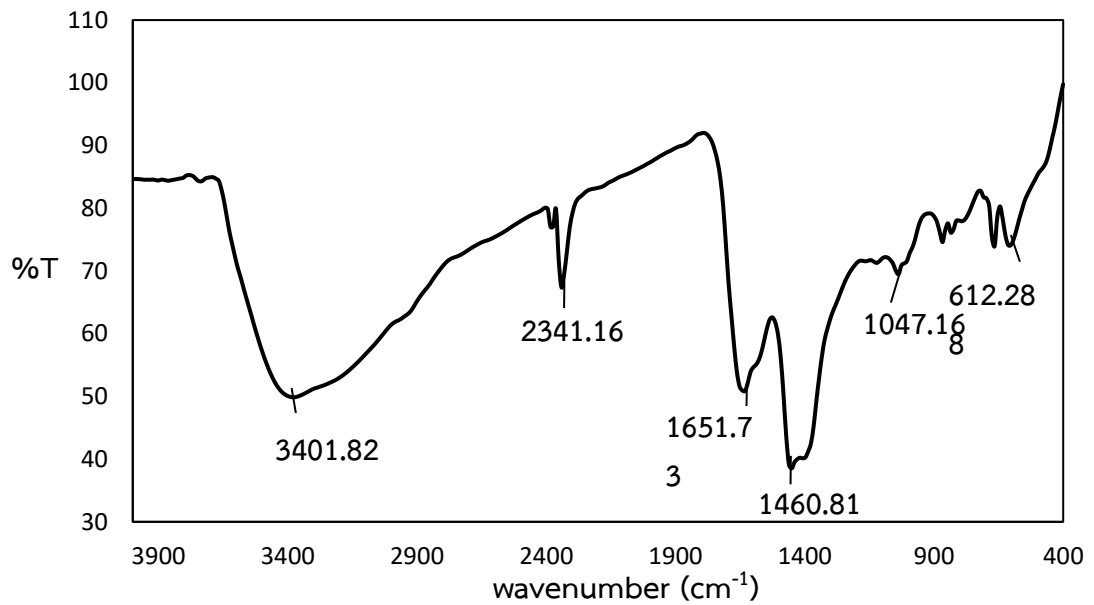
หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm <sup>-1</sup> )
Hydroxyl group (O-H Stretching,ROH)	3600-3300
Alkane (C-H Stretching)	2900-2800
Ester (ROOR')	1750-1550
Aromatic(C-C Stretching) Asymmetric and symmetric carboxylate (C-O) <sub>2</sub> Stretching) และ Alkane (C-H Bending)	1580-1540
Alcohol (C-O Stretching) Ether (ROR)	1050-1200
Cyclic group	880-600



ภาพที่ 4.11 อินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านชาร์

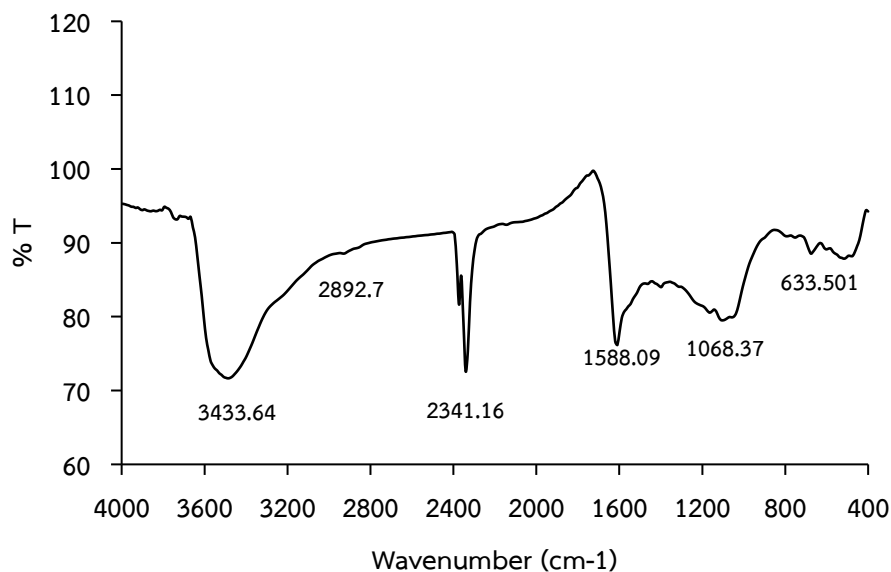


ภาพที่ 4.12 อินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ AC-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>



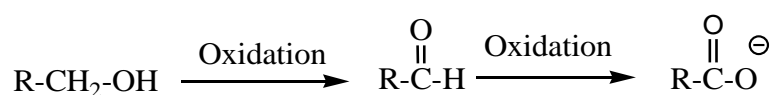
ภาพที่ 4.13 อินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ AC-KOH





ภาพที่ 4.14 อินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ AC-ZnCl<sub>2</sub>

เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของถ่านชาร์และถ่านกัมมันต์ทั้งสามชนิด พบว่าถ่านชาร์จะมีแถบของหมู่ C-O แถบที่กว้างอยู่ระหว่าง 1050-1200 cm<sup>-1</sup> เป็นผลมาจากการสั่นสะเทือนของ C-O ในกลุ่ม R-OR ในอีเทอร์มีความเข้มที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ มีแถบของหมู่ -OH เกิดขึ้นและจะมีแถบของหมู่ C=O หรือ COO<sup>-</sup> ในความเข้มขั้นที่ต่ำมาก แต่เมื่อทำการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้น จะพบว่าแถบหมู่ -OH มีความเข้มต่ำลง และความเข้มของแถบ C=O หรือ COO<sup>-</sup> เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า การกระตุ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเปลี่ยนจากหมู่ -OH ไปเป็นหมู่ C=O หรือ COO<sup>-</sup> ตามสมการ



ซึ่งการที่มีหมู่ฟังก์ชัน C=O หรือ COO<sup>-</sup> ที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความสามารถในการดูดซับสารต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ต่างกันออกไป เช่น เมื่อนำไปดูดซับไอออนของโลหะการดูดซับน่าจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากหมู่ C=O หรือ COO<sup>-</sup> มีความเป็นลบสูง ก็สามารถที่จะดึงดูดไอออนของโลหะซึ่งมีสมบัติเป็นบวกได้มากขึ้น เป็นต้น

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกหอย ด้วยกระบวนการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง โดยการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทำการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้น 3 ชนิด คือ  $H_3PO_4$ , KOH และ  $ZnCl_2$

จากการทดลองพบว่า การวิเคราะห์แบบประมาณในขั้นของการคาร์บอนไนซ์ ถ่านชาร์ที่ได้จากเปลือกลูกหอยมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงขึ้นจากประมาณร้อยละ 22 เป็นประมาณร้อยละ 26 จากนั้นทำการกระตุ้นถ่านกัมมันต์โดยสาร 3 ชนิด คือ  $H_3PO_4$ , KOH และ  $ZnCl_2$  แล้วทำการวัดค่าการหาพื้นที่ผิวจำเพาะ-BET ปริมาตรรูพรุนรวม ขนาดรูพรุนเฉลี่ย และถ่ายภาพด้วยเทคนิค SEM พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดยสารทั้ง 3 ชนิด คือ AC-KOH, AC- $H_3PO_4$  และ AC- $ZnCl_2$  มีขนาดรูพรุนเฉลี่ยสูงขึ้นอย่างมาก คือ 25.73, 20.10 และ 18.87 nm ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ชัดเจนจากภาพถ่าย SEM ส่วนปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ-BET และปริมาตรรูพรุนรวม ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย  $H_3PO_4$  และ  $ZnCl_2$  มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ-BET และปริมาตรรูพรุนรวมสูงขึ้นอย่างมาก คือ AC- $H_3PO_4$  มีค่า  $420.30 \text{ m}^2/\text{g}$  และ  $0.21 \text{ cm}^3/\text{g}$  ตามลำดับ และ AC- $ZnCl_2$  มีค่า  $421.20 \text{ m}^2/\text{g}$  และ  $0.20 \text{ cm}^3/\text{g}$  ตามลำดับ

จากการหาค่าดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดยสาร 3 ชนิด คือ  $H_3PO_4$ , KOH และ  $ZnCl_2$  แต่ละสารกระตุ้น ใช้อัตราส่วน (ถ่านชาร์ : สารกระตุ้น) แตกต่างกัน 6 ค่า คือ 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 และ 1:3 พบว่า ถ่านกัมมันต์ทุกตัวอย่างมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าถ่านชาร์ ยกเว้น AC-KOH ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:2.5, AC- $H_3PO_4$  ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:2.5 และ AC-KOH ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:3 เท่านั้นที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนต่ำกว่า ถ่านชาร์ มีค่าการดูดซับไอโอดีน 571.70, 172.62 และ 136.07 mg/g ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด 5 อันดับ คือ AC-KOH ในอัตราส่วนถ่านชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:2, AC- $H_3PO_4$  ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:1.5, AC-KOH ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:0.5, AC- $ZnCl_2$  ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:0.5 และ AC- $H_3PO_4$  ในอัตราส่วนชาร์ต่อสารกระตุ้น 1:2 มีค่าการดูดซับไอโอดีน 1,040.83, 973.81, 957.05, 940.30 และ 873.28 mg/g ตามลำดับ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาคุณสมบัติของถ่านชาร์หลังการคาร์บอนเซชัน ก่อนกระบวนการกระตุ้น เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ก่อนและหลังการกระตุ้น เพื่อช่วยในการอธิบายผลการทดลองให้ชัดเจนยิ่งขึ้น
2. ควรมีการวัดค่าการหาพื้นที่ผิวจำเพาะ-BET ปริมาตรรูพรุนรวม ขนาดรูพรุนเฉลี่ย และถ่ายภาพด้วยเทคนิค SEM ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากอัตราส่วนผสมถ่านชาร์และสารกระตุ้นอื่นๆ
3. ควรศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ทางการค้า
4. ควรมีการศึกษาคุณลักษณะจำเพาะของถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้อื่นๆ ในท้องถิ่นชายแดนภาคใต้

## บรรณานุกรม

- กศน. อำเภอควนเนียง. (2560). ลูกหีสามรส. สืบค้นจาก  
<http://sk.nfe.go.th/kuannieng03/?name=knowledge1&file=readknowledge&id=32>
- เกศศิริ เหล่าวิชระสุวรรณ. (2558). การดูดซับโลหะโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ.  
“วิทยาศาสตร์เพื่อ สุขภาพ : จากงานวิจัยพื้นฐานสู่การค้าเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนในอนาคต” การ  
ประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 3 (ASTC2015), 2-  
12. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ ม.หอการค้าไทย.
- จันทิมา ชังสิริพร. (2559). การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางพาราที่ได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับงาน  
เครื่องกรองน้ำ. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำนักวิจัยและพัฒนา.
- เต็ม สมิตินันท์. (2557). ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์ ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2557  
<http://www.dnp.go.th/botany/mplant/index.aspx>
- ทองฉัตร จึงสมาน และพรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์. (2559). การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยใช้  
พลังงานไมโครเวฟ. วารสารวิศวกรรมลาดกระบัง. 33(1), 36-41.
- ทักษิณ อาชวาคม, สมัย เสวครบุรี, บัวใส สมสูง และฤทัยวรรณ รินโรสง. (2551). พืชกินได้ในป่าสะแกราช  
เล่ม 1. ปทุมธานี: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก. (2558). ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ : ตลาดยังมีความต้องการสูง?. วารสารวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 23(6), 945-954.
- ธีระ วงศ์เนตร และปรีชา ปัญญา. (2554). การผลิตถ่านกัมมันต์จากเห้งน้ำมันสำหรับปะหลัง. สักทอง : วารสาร  
มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. 17(1), 13-20
- นิดดา หงส์วิวัฒน์ และทวีทอง หงส์วิวัฒน์ผลไม้. (2550). 111 ชนิด : คุณค่าอาหารและการกิน .กรุงเทพฯ  
: แสงแดด.
- ประวัติความเป็นมาของลูกหีที่คุณไม่เคยรู้มาก่อน. (2559). สืบค้นจาก  
<https://eggogkendo1.wordpress.com/>
- ปริญทร์ เต็มถาวรศิลป์. (2551). “การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์” จาก ไม้  
ตง และ ไม้หมาจู้” วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปัญญา มณีจักร์. (2555). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกहुกวาง. วารสารวิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษา  
เอกชนแห่งประเทศไทย (สสอท.). 18(1), 119 – 128

- พัชรารมณ์ แสงโยจารย์ และ พูนศิริ หอมจันทร์ (2554) “ การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ้มเมล็ดสับดูดำ โดยการกระตุ้นทางเคมี ”. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะ เกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.
- พิทักษ์ อยู่มี (2558) การเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงจากผงถ่านไม้ โดยการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 43(4), 788-798
- ภควดี สุขอนันต์. (2553). การศึกษาสมบัติและคุณลักษณะของพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ จากเปลือกมังคุดที่เตรียมแบบ 1 ชั้นและ 2 ชั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 41(3/1)(พิเศษ), 285-288.
- รุจิรา ปิ่นแก้ว. (2556). การผลิตและการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดเพื่อใช้ในการดูดซับมีเทน. สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.
- วารี เนื่องจำนงค์. (2556). เคมีอินทรีย์. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์.
- วิจิตร จินดาพันธ์ไพโรจน์. (2543). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส *Eucalyptus camaldulensis* Dehn โดยกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศรีสุดา นิเทศน์ธรรม, อัจฉรา บุญมาหล้า, และอรุวรรณ ชัยสิทธิการ. (2558). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากของเสียประเภทโฟมพอลิยูรีเทนโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนต สำหรับการดูดซับสีย้อม. วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. 3(1), 8-18.
- สรารุช ศรีคุณ. (2550). การศึกษาการดูดซับสีย้อมและไอออนโลหะตะกั่ว ด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สุภาพร รัตนพันธ์, เพ็ญภา เพ็งแจ่ม, และพนิดา กังซุ่น. (2557). การเตรียมและลักษณะจำเพาะของถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 17(3), 13-21.
- อรดี ฤทธิชัย และ ศศิธร มั่นเจริญ. (2557). “การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกปู”. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 19(1), 131-140.
- Akmil-Basar C., Onal Y., Kilicer T. and Eren D. (2005). Adsorptions of high concentration malachite green by two activated carbons having different porous structures. *Journal of Hazardous Material*. 127, 73-80.
- Chandra, T. C., Mirna, M. M., Sunarso, J., Sudaryanto, Y. and Ismadji, S. (2009). Activated carbon from durian shell: Preparation and characterization. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 40(4), 457-462.

- Lua, A.C. and Yang, T. (2005). Characteristics of activated carbon prepared from pistachio-nut shell by zinc chloride activation under nitrogen and vacuum conditions. *J Colloid Interface Sci.* 290(2), 505-13.
- Munusamy, K., Somani, R. S. and Bajaj H. C. (2011). TAMARIND SEEDS CARBON: PREPRARTION AND METHANE UPTAKE. *BioResources.* 6(1), 537-551.
- Prahas, D., Kartika, Y., Indraswati, N. and Ismadji, S. (2008). Activated carbon from jackfruit peel waste by  $H_3PO_4$  chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization. *Chemical Engineering Journal*, 140(1-3), 32–42.
- Rahman, I.A., Saad, B., Shaidan, S. and Sya Rizal, E.S. (2005). Adsorption characteristics of malachite green on activated carbon derived from rice husks produced by chemical–thermal process. *Bioresource Technology.* 96(14), 1578-1583.
- SHIM, J.W., PARK, S.J. and RYU, S.K. (2001). Effect of modification with  $HNO_3$  and  $NaOH$  by pitch-based activated carbon fibers. *Carbon.* 39(11), 1635-1642.

ภาคผนวก

## ประวัติผู้วิจัย

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางอาอีเซาะส์ เบ็ญหาวัน  
(ภาษาอังกฤษ) Mrs. Aeesoh Benhawan
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 1-9599-00031-74-1
- ตำแหน่งปัจจุบันอาจารย์พนักงานมหาวิทยาลัย สาขาเคมี
- หน่วยงาน-ที่อยู่  
สาขาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร  
มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000 โทร 089-2009250  
Fax 073-227148 E-mail [aeesoh.b@gmail.com](mailto:aeesoh.b@gmail.com)

### 5. ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา	ระดับการศึกษา	สาขาวิชาเอก	มหาวิทยาลัย	ประเทศ
2546	ปริญญาตรี เกียรตินิยม (วท.บ.)	เคมี	สงขลานครินทร์ หาดใหญ่	ไทย
2550	ปริญญาโท (วท.ม.)	เคมีอินทรีย์	สงขลานครินทร์ หาดใหญ่	ไทย

### 6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

- 6.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย: - ไม่มี
- 6.2 หัวหน้าโครงการวิจัย:
  - 6.2.1 Chemical Constituents from the Bark of *Artocarpuselasticus*
  - 6.2.2 ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดหยาบจากพืชสมุนไพรพื้นบ้านบางชนิด
- 6.3 ผลงานวิจัย Chemical Constituents from the Bark of *Artocarpuselasticus* ปีที่พิมพ์/งานเสร็จสมบูรณ์ปี 2552 แหล่งทุน Center of Excellence for Innovation in Chemistry (PERCH-CIC)
- 6.4 ผลงานวิจัยที่นำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ
  - 1.A. Yanya and W. Mahabusarakam. "Prenylated Flavonoids from the Bark of *Artocarpuselasticus*". The 6<sup>th</sup> IMT-GT UNINET CONFERENCE 2008, The Gurney Resort Hotel & Residences Penang, Penang, Malaysia, 28-30 August 2008. (Poster presentation)
  - 2.AeesohYanya and WilawanMahabusarakam. "Prenylated Flavones from the Bark of *Artocarpuselasticus*". 4<sup>th</sup> National Grade Research Conference, BuraphaUniversity, Chonburi, Thailand, 13 March 2009. (Poster presentation)