



## อภินันทนาการ

### รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็น  
ตัวกรองอากาศในโรงงานอุตสาหกรรมพ่นสีรถยนต์

Activated carbon from tamarind shell for air filter of color coating Industry

หัวหน้าโครงการวิจัย	: ดร. สมชาย มณีวรรณ	ภาควิชาฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ร่วมวิจัย	: ดร.อนุสรณ์ วรสิงห์	ภาควิชาเคมี	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ร่วมวิจัย	: นางสาวนิตยา อายุยืน	ภาควิชาฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ร่วมวิจัย	: นางสาวณิชนันท์ คำนวนสินธุ์	ภาควิชาฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยนเรศวร

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน..... ๑๕ ก.ค. ๒๕๕๔
เลขทะเบียน..... ๑๕๕๙๓๖๕๗
เลขเรียกหนังสือ..... ๙ ๑๘
๙๒๓๗๖
๙๕๕)

สนับสนุนโดยงบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ 2551

## กิตติกรรมประกาศ

คณะกรรมการข้อขอบคุณ งบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
งบประมาณประจำปี 2551 ที่สนับสนุนการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี  
ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่  
ให้การช่วยเหลือในด้านสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือในการเก็บข้อมูลให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะกรรมการ



## **Abstract**

This research was to found the ratio and optimum condition of activated carbon production from Tamarind peel. In the experiment, combustion of the durian peel at 500 °C 600 °C and 700°C in the combustion chamber to produced the charcoal. The preparation process consisted of superheat steam at 80 kPa impregnation from 5 10 15 20 25 and 30 minutes. Ratio cement : activated carbon was 20 : 80 30 : 70 and 40 : 60. Carbonization temperature, % yield (ASTM D 1087) , Moisture (AWWA B 604) , Ash (ASTM D 2866) , Volatile carbon matters (ASTM D 5832), Fixed carbon (ASTM D 5834) and Adsorption of iodine number (AWWA B 604) were analyzed by Standard Activated carbon.

The carbonization temperature ranges from 500 to 700 °C for 1 hour. It was found that the activated carbon with carbonized at 700 °C is highest of the iodine number 287.85 mg / g. % yield is 39.58, % moisture is 3.56, % ash is 6.79, % Volatile carbon matters is 10.38, % fixed carbon is 79.25 . From packing, completeness carbon plate ratio of Banana : activated was 70 : 30 and 60 : 40 can product Tamarind peel, test Compressive was 90.25 N/mm<sup>2</sup> และ 122.50 N/mm<sup>2</sup> and efficiency Adsorption of iodine number were 120.45 mg/g It found that the activated carbon from the shell of tamarind can competed with the imported one.

**Keyword:** Activated carbon, Air filter, Carbon plate

## สารบัญ

บทที่	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ญ
<b>1. บทนำ</b>	<b>1-1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1-6
1.3 ประโยชน์ของงานวิจัย	1-6
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	1-7
<b>2. หลักการและทฤษฎี</b>	<b>2-1</b>
2.1 ถ่านกัมมันต์	2-1
2.1.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์	2-1
2.1.2 วิวัฒนาการของถ่านกัมมันต์	2-2
2.1.3 วัตถุดินที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์	2-2
2.1.4 โครงสร้างของผิวถ่านกัมมันต์	2-3
2.1.5 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์	2-4
2.1.6 หลักการทำงานของถ่านกัมมันต์	2-4
2.1.7 ชนิดของถ่านกัมมันต์	2-5
2.1.8 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	2-10
2.1.9 การวัดสมบัติของถ่านกัมมันต์	2-13
2.1.10 การทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์	2-13
2.1.11 การนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์	2-15
2.2 ทฤษฎีการคุณชั้บ	2-18
2.2.1 กลไกการคุณชั้บ	2-18

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.2.2 การดูดซับทางกายภาพ	2-19
2.2.3 การดูดซับทางเคมี	2-20
2.2.4 การดูดซับแลกเปลี่ยน	2-21
2.2.5 การดูดซับแบบบางจัง	2-21
2.2.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ	2-21
2.3 สถานการณ์ถ่านกัมมันต์ในปัจจุบัน	2-22
2.3.1 ภาวะตลาดทั่วไป	2-22
2.3.2 ผู้ผลิต	2-24
2.3.3 การลงทุน	2-25
2.3.4 บุคลากรและแรงงานที่เกี่ยวข้อง	2-26
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-26
 3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	3-1
3.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	3-2
3.1.1 อุปกรณ์ทดสอบสมบัติทางกายภาพ	3-2
3.1.2 อุปกรณ์ทดสอบสมบัติทางเคมี	3-8
3.1.3 อุปกรณ์ทดสอบความหนาแน่นปราศจากความแข็งต่อแรงอัด	3-10
3.2 วิธีการดำเนินการ	3-14
3.2.1 การกระตุ้นเป็นถ่านกัมมันต์ด้วยหม้ออัดความดัน	3-14
3.2.1.1 การศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้	3-15
3.2.1.2 การศึกษาปริมาณความชื้น	3-16
3.2.1.3 การศึกษาปริมาณเด็ก้า	3-18
3.2.1.4 การศึกษาปริมาณสารระเหย	3-19
3.2.1.5 การศึกษาปริมาณการรับอนคงตัว	3-20
3.2.1.6 การศึกษาค่าการดูดซับไอลอดีน	3-20
3.2.2 การขึ้นรูปแผ่นการ์บอน	3-24
3.2.2.1 การเตรียมตัวประทาน	3-24

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.2.2.2 การขึ้นรูปแผ่นคาร์บอน	3-26
3.2.3 การศึกษาค่าความหนาแน่นปรากฏและค่าความแข็งต่อแรงอัด	3-29
<b>4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล</b>	<b>4-1</b>
4.1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์จากเปลี่ยนมะขาม	4-1
4.1.1 ผลการศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้	4-1
4.1.2 ผลการศึกษาค่าความแข็งต่อแรงอัด	4-5
4.2 การเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ระหว่างถ่านกัมมันต์จากเปลี่ยนมะขาม และเกลท์มาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์	4-8
4.3 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถ่านเปลี่ยนฟิกมะขาม โดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)	4-10
4.4 วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของถ่านเปลี่ยนฟิกมะขาม โดยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)	4-10
<b>5. สรุปและข้อเสนอแนะ</b>	<b>5-1</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	5-1
5.2 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถ่านเปลี่ยนฟิกมะขาม โดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)	5-4
5.3 วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของถ่านเปลี่ยนฟิกมะขาม โดยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)	5-4
5.4 ข้อเสนอแนะ	5-5

## บรรณานุกรม

### ภาคผนวก

#### ก. ผลงานทางด้านวิชาการ

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เปดอ ก น ะ ข า ม	1-3
1.2 กล ว ย น ำ ห ว า	1-5
2.1 การจัดเรียงตัวของสารบอนอะตอนในผลึกของแกรไฟต์	2-4
2.2 ตัวอย่างรูปรุนของถ่านกัมมันต์	2-5
2.3 ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด หรือ เกล็ด	2-6
2.4 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	2-6
2.5 รูปแบบของ Adsorption Isotherms	2-9
2.6 แสดงถึงกลไกการดูดซับถ่านกัมมันต์	2-19
2.7 แสดงการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์ในลักษณะต่างๆ กัน ด้วยแรงกายภาพ	2-20
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3-1
3.2 เปดอ ก ทุ เร ย น	3-2
3.3 เตาเผาควบคุมอุณหภูมิและเวลา	3-2
3.4 เครื่องชั่งทอนนิยมสีดำแห่ง	3-3
3.5 ทดสอบความชื้นหรือเศษซิคเกเตอร์	3-3
3.6 เตาอบควบคุมอุณหภูมิ	3-4
3.7 ถ่ายกระเบื้องหรือถ่ายครูซิเบิล	3-4
3.8 เครื่องบดสารหรือมอทาร์	3-5
3.9 เครื่องร่อนแป้ง	3-5
3.10 บีกเกอร์ขนาดต่างๆ	3-6
3.11 ที่คีบถ่ายครูซิเบิล	3-6
3.12 หม้ออัดความดัน	3-7
3.13 เตาไฟฟ้า	3-7
3.14 เครื่องกรองแบบสุญญากาศ	3-8
3.15 ชุดการไฟทรด	3-8
3.16 สารเคมี	3-9
3.17 ปีเปตต์และกระปาะ	3-9
3.18 กล ว ย น ำ ว ა ด ิ บ	3.10
3.19 เม็ดทุเรียนพันธุ์ชนิด	3-10

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 ผงยิปซัม	3-11
3.21 แม่พิมพ์	3-11
3.22 แผ่นเหล็ก	3-12
3.23 อะลูมิเนียมฟอยล์	3-12
3.24 เครื่องทดสอบความแข็งต่อแรงอัด	3-13
3.25 ขั้นตอนการทดสอบวิธีทดสอบของผลิตภัณฑ์ได้	3-14
3.26 ถ่านกัมมันต์ในหม้ออัดความดัน	3-15
3.27 ขั้นตอนการทดสอบวิธีทดสอบของผลิตภัณฑ์ได้	3-16
3.28 เปลือกทุเรียนก่อนเผา	3-17
3.29 เปลือกทุเรียนหลังเผา	3-17
3.30 ขั้นตอนทดสอบความชื้น	3-17
3.31 บดถ่านทุเรียนให้ละเอียด	3-17
3.32 ร่อนถ่านด้วยตะแกรงคัดขนาด	3-17
3.33 หั่นน้ำหนักเปลือกทุเรียน	3-18
3.34 อบถ่วายกระเบื้อง	3-19
3.35 หั่นให้เย็นในโถดูดความชื้น	3-24
3.36 ขั้นตอนทดสอบถ้า	3-24
3.37 หั่นน้ำหนักเปลือกทุเรียน	3-24
3.38 เผาถ่วายกระเบื้อง	3-24
3.39 หั่นให้เย็นในโถดูดความชื้น	3-24
3.40 ขั้นตอนทดสอบสารระเหย	3-24
3.41 ชั่งถ่าน ใส่ขวดรูปหมู่	3-25
3.42 ปีเปตสารละลายไฮโดรคลอริก	3-25
3.43 ต้มให้เดือดประมาณ 10 วินาที	3-25
3.44 เติมสารละลายไฮโอดีน	3-25
3.45 กรองสารละลายที่ได้	3-26
3.46 ไตรีทดีวัช $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	3-26
3.47 อบໄล์ความชื้น	3-27

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.48 บดกล้ำยน้ำว้าดินให้เป็นผง	3-27
3.49 ชี้นจานแผ่นคาร์บอนที่ทำการขีนรูปในแม่พิมพ์	3-28
3.50 อบแผ่นคาร์บอน	3-29
3.51 ค่อยๆแกะฟอยล์ออก	3-29
3.52 แผ่นคาร์บอนผสมตัวประสานชนิดต่างๆ	3-29
3.53 ทำความสะอาดเท่าน้อด	3-30
3.54 ป้อนข้อมูลของชิ้นงาน	3-30
3.55 ป้อนคำสั่งอัดชิ้นงาน	3-30
3.56 ชิ้นงานหลังผ่านการอัด	3-30
4.1 แสดงค่าความแข็งต่อแรงอัดในสภาพต่างๆ	4-8
4.2 แสดงลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานเปลี่ยนฝึกมีขนาดและถ่าน Activate จากประเทศญี่ปุ่นตามลำดับ	4-10
4.3 กราฟแสดงลักษณะของอินฟราเรดスペกตรัมของถ่านเปลี่ยนฝึกมีขนาดและถ่าน Activate จากประเทศญี่ปุ่นตามลำดับ	4-10
5.1 แผ่นกรองอากาศโดยใช้ถ่านกันมันต์จากเปลี่ยนฝึกมีขนาด	5-2
5.2 แสดงลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานเปลี่ยนฝึกมีขนาดและถ่าน Activate จากประเทศญี่ปุ่นตามลำดับ	5-4
5.3 กราฟแสดงลักษณะของอินฟราเรดスペกตรัมของถ่านเปลี่ยนฝึกมีขนาดและถ่าน Activate จากประเทศญี่ปุ่นตามลำดับ	5-4

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงวัตถุคุณนิคต่างๆที่ได้มีการศึกษาในการผลิตถ่านกัมมันต์	2-3
2.2 แสดงการแบ่งกลุ่มของขนาดรูปrun	2-8
2.3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี	2-12
2.4 แสดง Dye solution for synthesis tests	2-15
2.5 แสดงรายชื่อผู้ผลิตถ่านกัมมันต์ในประเทศไทย	2-24
2.6 ประมาณการ โครงสร้างต้นทุนในการผลิตของผู้ประกอบการ เป็นดังนี้	2-26
3.1 แสดงส่วนผสมของพงถ่านกับกลัวน้ำว้าดินในอัตราส่วนต่างๆ	3-26
3.2 แสดงส่วนผสมของพงถ่านกับเม็ดมะขามใน ต่างๆ ที่ใช้ในการเขียนรูปแผ่นคาร์บอน	3-27
3.3 แสดงส่วนผสมของพงถ่านกับยิปซัมอัตราใน ต่างๆ ที่ใช้ในการเขียนรูปแผ่นคาร์บอน	3-28
4.1 แสดงผลการศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้ที่อุณหภูมิต่างๆ	4-1
4.2 ผลการศึกษาความชื้น (Moisture)	4-2
4.3 ผลการศึกษาเดา (Ash)	4-2
4.4 ผลการศึกษาสารระเหย (Volatile matter)	4-3
4.5 ผลการศึกษาคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon)	4-3
4.6 ผลการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพระหว่างถ่านกัมมันต์จากเปลี่ยนแปลงของถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ	4-4
4.7 ผลการศึกษาค่าการดูดซับไอลิเดนของถ่านกัมมันต์	4-4
4.8 ผลการเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอลิเดน	4-5
4.9 ผลการศึกษาค่าความแข็งต่อแรงอัดของยิปซัม ( $N/cm^2$ )	4-6
4.10 แสดงผลการศึกษาค่าความแข็งต่อแรงอัดของกลัวน้ำว้าดิน ( $N/cm^2$ )	4-6
4.11 แสดงผลการศึกษาค่าความแข็งต่อแรงอัดของเปลี่ยนแปลง ( $N/mm^2$ )	4-7
4.12 แสดงผลการศึกษาค่าความแข็งต่อแรงอัดเฉลี่ย ( $N/cm^2$ )	4-7
4.13 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆระหว่างเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์จากเปลี่ยนแปลง	4-9
5.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์จากเปลี่ยนแปลง	5-1
5.1 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆระหว่างถ่านกัมมันต์จากเปลี่ยนแปลงถ่านกัมมันต์ที่ผลิตภายในประเทศไทยและถ่านกัมมันต์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ	5-2

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

หน้า

5.3 แสดงค่าความแข็งต่อแรงอัด (Compressive Strength) ของแผ่นการ์บอนที่ทดสอบวัสดุตัว  
ผสานในอัตราส่วนต่างๆ จากการทดสอบตัวยกเครื่อง Compressive Test 5-3



## บทที่ 1

### บทนำ

จากการสำรวจที่น้ำท่าม่วง จังหวัดตากและจังหวัดเพชรบูรณ์ ของสำนักงานที่ดิน พบว่า ประชาชนส่วนใหญ่ใช้เวลาว่างที่เหลือจากการทำงานมาปรับเปลี่ยนภัยที่จากมีนาคม เช่น มะขามคลุก มะขามคง มะขามแซ่บ มะขามหวานเป็นอาชีพเสริม ซึ่งจากการบันทึกการปรับเปลี่ยนภัยที่ต่าง ๆ ดังกล่าว ทำให้เกิดของเหลือทึ่ง คือ เปลือกและเม็ดมะขาม ซึ่งมีปริมาณ 2-3 ตันต่อวัน ส่งผลให้เกิดปัญหาการจัดการกับวัสดุเหลือใช้ในการผลิต ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม น่องจากมีการทิ้งตามบ้านเรือนและสองข้างทางเข้าบ้าน เป็นแหล่งเพาะพันธุ์แมลงวันและแพร์กระจายเชื้อโรค ดังนั้นจึงมีแนวคิดนำเปลือกมะขามมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เนื่องจากมีสมบัติที่สามารถพัฒนาเป็นถ่านกัมมันต์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นแผ่นกรองอากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมพ่นสีรถชนิดได้

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัญหามลภาวะทางอากาศจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยเป็นปัญหาที่นับวันจะทวีความรุนแรงขึ้น เนื่องจากประเทศไทยมีการประกอบอาชีพที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมกันมากขึ้น เช่น โรงงานเคลื่อนยุบโลหะ โรงงานแสดงแสง โรงงานฟอกย้อม และโรงงานพ่นสีรถชนิด หากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ปล่อยอากาศเสียโดยไม่มีการนำบัด จะส่งผลกระทบกับประชากรจำนวนมาก หากได้รับผลกระทบในระดับที่เกินมาตรฐาน อาจก่อให้เกิดอาการคลื่นเหียน อาเจียน และอาจทำให้เกิดโรคระเริงหรือเสียชีวิตได้ [1]

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นผลิตภัยที่ได้จากการนำวัสดุดินธรรมชาติที่มีการบ่อนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัยที่สีดำ มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมากซึ่งขนาดรูพรุนก็แตกต่างกันทึ้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัสดุประสงค์ในการใช้งาน [2] ในสมัยสังครวมโลกครั้งที่ 1 มีการดูดซับมลพิษทางอากาศด้วยถ่านกัมมันต์ โดยนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ จากนั้นจึงทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจในสมบัติการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ของถ่านกัมมันต์ และได้มีการปรับปรุงพัฒนาอย่างต่อเนื่อง [3] ซึ่งปัจจุบันได้มีการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้ในการดูดซับมลพิษทางอากาศ เมื่อพิจารณาปริมาณการนำเข้าและส่งออกถ่านกัมมันต์ในปี 2000 พบว่าถ่านกัมมันต์ของไทยมีแนวโน้มที่จะสามารถทำการส่งออกไปจำหน่ายในต่างประเทศได้สูงขึ้น โดยเฉพาะถ่านที่ใช้เปลือกผลไม้เป็นวัสดุดิน [4] เนื่องจากมีผู้ผลิตจากประเทศไทยอื่นๆ เพียงไม่กี่ประเทศที่สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ได้ ได้แก่ ประเทศไทยลังกา ประเทศไทยแลเซีย และประเทศไทยปีลีปีนัส

เป็นต้น ศิริลักษณ์ นิวัชจรรย์ [5] ศึกษาถ่านกัมมันต์ จากกระ吝ะพร้าวและเปลือกข้าวโดยนำวัตถุคิดมาผ่านขั้นตอนการทำให้เป็นถ่าน แล้วนำมาผ่านกระบวนการเพิ่มพื้นที่ผิวน้ำโดยการทำปฏิกิริยา กับสารเคมี คือ สารละลายสังกะสีคลอไรด์ นำมารวมระห้าค่าการดูดซับ ไอโอดีนพบว่า ถ่านกัมมันต์จากกระ吝ะพร้าวได้ค่าการดูดซับ ไอโอดีนเฉลี่ย 249.9 ขณะที่ถ่านกัมมันต์จากเปลือกข้าวได้ค่าการดูดซับ ไอโอดีนเฉลี่ย 248.1 จุฑามาส จิตต์เจริญ [6] ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกระ吝ะปาล์ม โดยวิธีการกระตุนทางเคมีด้วยสารละลาย  $ZnCl_2$  พบร่วงภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ ใช้ความเข้มข้นของ  $ZnCl_2$  35% โดยนำหนัก และเวลาในปฏิกิริยาการกระตุน 2 ชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิในการเผาคือ  $700^{\circ}C$  และจากการ SEM พบร่วงภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวน้ำ อยู่ทั่วไปในโครงสร้าง โดยมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากกว่ารูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลให้มีพื้นที่ผิวน้ำในการดูดซับมาก สุภากร พ. เข็มประเสริฐ [7] ศึกษาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ประโยชน์ในการดูดซับโลหะโดยเมี่ยม หาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับมากที่สุด พบร่วงโดยทั่วไปถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวประมาณ 600-1,500 ตารางเมตรต่อกรัม รูพรุนของถ่านกัมมันต์มีขนาดอยู่ระหว่าง 20-20,000 อั้งสตรอม วัตถุคิดที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ไม้ กระ吝ะพร้าว ถ่านหิน ถ่านไอก กระดูก จี๊เดีย กาแฟ เม็ดกาแฟ เปเลื้อกของผลไม้บางชนิด เช่น เปเลื้อกมะนาว เป็นต้น ไฟฟ้าพ. ชีรเวชญาณ [8] ศึกษาถ่านไกและสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารพิษ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มาทำเป็นตัวดูดซับเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยได้ทำตัวดูดซับชนิดถ่านและถ่านกัมมันต์ จากชั้งข้าวโพด เถ้าขานอ้อย เถ้าเกلن และเปลือกเม็ดแมคคาเดเมีย พบร่วงมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารอิลินไกลดอลและอนุพันธ์ ได้สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีจานวนอยู่ในท้องตลาด จันดา รัตน์ นิ่มพาณิช และคณะ [9] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยการนำกระ吝ะพร้าวมาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หาค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ โดยเฉลี่ย 34.09 ทำการกระตุนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 260 องศาفار.en ไชค์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง วัดค่าเด็ก ไอโอดีนนัมเบอร์เฉลี่ยได้ 172 มิลลิกรัมต่อกรัม และทำการกระตุนทางเคมี โดยแซ่สารละลาย ชิงค์คลอไรด์ ในอัตราส่วน 2 : 1 นำไปกระตุนที่อุณหภูมิ  $700^{\circ}C$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัดค่าเด็ก ไอโอดีนนัมเบอร์เฉลี่ย 534 มิลลิกรัมต่อกรัม วิชัย ธรรมสาธิค และเกย์น พัฒน์ฤทธิ์ [10] ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่และชั้งข้าวโพดโดยการเผาไหม้ในท่ออบอากาศและใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในการกระตุนและหาสภาวะที่เหมาะสม พบร่วง อุณหภูมิเผาเท่ากับ  $920^{\circ}C$  อัตราส่วนเกลือ : ไผ่ เท่ากับ 2 : 1 ระยะเวลาเผา 50 นาที ความสามารถในการดูดซับ ไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 670 mg/g และร้อยละของผลผลิตที่ได้เท่ากับ 24% ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของการเผาชั้งข้าวโพดคือ  $850^{\circ}C$  อัตราส่วนเกลือต่อชั้งข้าวโพดเท่ากับ 4 : 1 ระยะเวลาเผาเท่ากับ 70 นาที ความสามารถในการดูดซับ ไอโอดีน 736.98 mg/g และร้อยละของผลผลิต ได้เท่ากับ 13% Guzel และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาผิวของถ่านกัมมันต์ชนิดที่เป็นกรด โดยทำการดูดซับสารละลาย เมทธิ-ลีนบลู (Methylene blue) กับ เมทธิลีนเยลโล (Metanil yellow) ทั้งนี้เพื่อระบุว่าเมทธิลีนเยลโลถูกผลักออกจากผิวของถ่านกัมมันต์ ส่วนเมทธิลีนบลูถูก

ดึงดูดเข้าสู่ผิวถ่านกัมมันต์ Tiwari และคณะ [12] ได้ศึกษาการกำจัด โลหะหนัก เช่น ปรอท ด้วยถ่านกัมมันต์จากแกลนและเปลือกข้าว โดยศึกษาจากสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายซึ่งทำการศึกษาทั้งแบบ แข็งและแบบคงล้มน์ ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ เวลาที่prototh สมผสกับตัวดูดซับ ขนาดอนุภาคของตัวดูดซับ ความเป็นกรดเป็นด่าง อัตราการไหลของprototh ที่ผ่านลงในคงล้มน์ และ ความสูงของตัวดูดซับที่บรรจุอยู่ในคงล้มน์ พนวณแบบแข็งสามารถกำจัดprototh ได้ถึง 98% สำหรับ แบบคงล้มน์จะกำจัดprototh ได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อลดอัตราการไหลของprototh และเพิ่มความสูง ของตัวดูดซับที่บรรจุในคงล้มน์ ให้อย่างเหมาะสม และ Usmani และคณะ [13] ได้ศึกษาการเตรียม ถ่านกัมมันต์จากถ่านหินเกรดค่าโดยใช้วิธีการกระตุนด้วยสารเคมีซิงค์คลอไรด์ เป็น 1:2 และแท้เป็น เวลา 1 ชั่วโมง พนวณว่าตัวดูดซับนี้มีค่าขนาดของรูพุนขนาด 0.46 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความกว้างของรูพุน โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.98 นาโนเมตร พื้นผิวของรูพุนขนาดเล็ก มีค่าการดูดซับไอลอดิน 142 ตาราง เมตรต่อกรัม เป็นค่าที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ท้าพื้นที่ผิว โดยศึกษาจากการดูดซับเมธิลีนบูลู

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่ามีการพัฒนา ปรับปรุงถ่านกัมมันต์ให้มีประสิทธิภาพ มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นในส่วนของวัสดุคุณภาพในการผลิต รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์ และจากการสำรวจพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดตาก ของสำนักงานที่ดิน โดยเฉพาะ หมู่บ้านในตำบลธรรมแหง ประชากรส่วนใหญ่ใช้เวลาว่างที่เหลือจากการทำงาน มาประรูปผลิตภัณฑ์จาก มะขาม เช่น มะขามคุก มะขามดอง มะขามแซ่บ มะขามหวานเป็นอาชีพเสริม โดยผู้ประกอบการ ประมาณ 30 – 40 ราย รับซื้อมะขามจากแหล่งต่าง ๆ ในตำบลธรรมแหง ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 10,000 ไร่และจากพื้นที่ใกล้เคียง เช่น จังหวัดพิษณุโลก จังหวัดพิจิตร จังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดสุโขทัย และจังหวัดอุตรดิตถ์ เป็นต้น ซึ่งจากการสำรวจการประรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทำให้เกิดของเหลือทิ้ง คือ เปลือกและเม็ดมะขาม ปริมาณ 2-3 ตันต่อวัน ทำให้เกิดปัญหาการจัดการกับวัสดุเหลือใช้ในการผลิต ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีการทิ้งตามบ้านเรือนและสองข้างทางเข้าหมู่บ้าน เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ แมลงวันและแพะกระจาดเชื้อโรค ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการ นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรดังกล่าวมาผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็น ตัวกรองอากาศในโรงงานอุตสาหกรรมพ่นสีรถยนต์ และเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการสร้างมูลค่าให้กับ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ส่งผลให้เกิดการสร้างงานและสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร



รูปที่ 1.1 เปลือกมะขาม

## มะขาม

ลักษณะทั่วไป มะขามเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่แตกกิ่งก้านสาขามาก เป็นลักษณะรุหะและหนา สีน้ำตาลอ่อน ใน เป็นใบประกอบ ใบเดือยออกตามกิ่งก้านใบเป็นคู่ ในข้อเป็นรูปขอบวน ปลายใบและโคนใบมน ดอกออกเป็นช่อเล็กๆ ตามปลายกิ่ง หนึ่งช่อ มี 10-15 ดอก ดอกยื่อยขนาดเล็ก กลับดอกสีเหลืองและมีจุดประดับอยู่กลางดอก ผล เป็นฝักยาว รูปร่าง ยาวหรือโค้ง ยาว 3-20 ซม. ฝักอ่อนมีเปลือกสีเขียวอมเทา สีน้ำตาลเกรียม เนื้อในคิดกับเปลือก เมื่อแก่ฝักเปลี่ยนเป็นเปลือกแข็งกรอบหักง่าย สีน้ำตาล เนื้อในลายเป็นสีน้ำตาลทึบเม็ด เนื้อมีรสเปรี้ยว และหวาน

การปลูก มะขามเป็นได้กับดินทุกชนิด เจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนในดินเหนียวทรายแล่งได้ดี แนะนำที่จะปลูกในถุงฟุ่น ใช้กิงพันธุ์ปลูกโดยการบุดหลุมและใส่ปุ๋ยที่กันหลุมก่อน คุ้ครักษามาหนึ่งเดือนกับ พืชโดยทั่วไป นิยมขยายพันธุ์โดยการทากกิ่ง ติดตากหรือต่อ กิ่ง เพราะได้ผลเร็วและไม่ทำให้ถูกพันธุ์

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Tamarindus indica Linn.*

ชื่อวงศ์ Leguminosae

ชื่อสามัญ Tamarind

ชื่อท้องถิ่น

- ภาคกลาง เรียก มะขามไทย
- ภาคใต้ เรียก สามัคคี
- นครราชสีมา เรียก ตะลูบ
- กะหรี่ยง-กาญจนบุรี เรียก ม่วงโคลัง
- เขมร-สุรินทร์ เรียก คำเปียล

สรรพคุณทางยา

- สารบางแก้อาการท้องผูก ใช้เม็ดมะขามเปียกสเปรี้ยว 10–20 ฝัก (หนัก 70–150 กรัม) จิมเกลือรับประทาน แล้วดื่มน้ำตามมากๆ หรือต้มน้ำใส่เกลือเล็กน้อยดื่มเป็นน้ำมะขาม

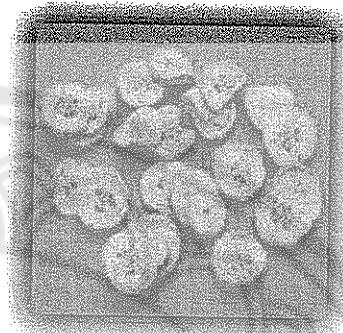
- ขับพยาธิ ใส่เดือน นำเอาเม็ดแก่มาหัว แล้วจะเหาะเปลือกออก เอาเนื้อในเม็ดไปแห้งแล้วเก็บ จนนุ่ม รับประทานครั้งละ 20-30 เม็ด

- ขับเสมหะ ใช้เนื้อในฝักแก่หรือเม็ดมะขามเปียกจิมเกลือรับประทานพอสมควร

คุณค่าทางโภชนาการ ยอดอ่อนและฝักอ่อนมีวิตามิน อ.มาก มะขามเปียกสเปรี้ยว ทำให้ชุ่มคอ ลดความร้อนของร่างกายได้ดี เนื้อในฝัก มะขามที่แก่จัด เรียกว่า มะขามเปียก ประกอบด้วยกรดอินทรีย์ หลายตัว เช่น กรดฟาร์ทฟาร์คิกรดซิติก เป็นต้น ทำให้ออกฤทธิ์ ระบายน้ำและลดความร้อนของร่างกายลง ได้แพทย์ไทยเชื่อว่า รสเปรี้ยวมีจะกัดเสมหะให้ถลายได้ด้วย

ในส่วนของตัวพืชแล้วการบอน กลุ่มวิจัยได้เลือกใช้ผงจากผลกล้วยน้ำว้าดินมาเป็นตัวอย่าง วัสดุพืชในงานวิจัยนี้ ซึ่งผลกล้วยน้ำว้าดินเป็นวัตถุคิดที่สามารถหาได้ง่ายตามบ้านเรือน และตามท้องตลาดหัวไทร และกล้วยน้ำว้ามีรายละเอียดของพรรณไม้โดยทั่วไปดังนี้

### กล้วยน้ำว้า



รูปที่ 1.2 กล้วยน้ำว้า

ลักษณะโดยทั่วไปไม้ล้มลุก สูง 2-4.5 เมตร มีลำต้นได้ดิน ลำต้นเหนือดินเกิดจากกาบใบหุ้มช้อนกัน ใน เดียว เรียงสลับช้อนกันรอบต้นที่ปลายยอด รูปขอบขนาน กว้าง 25-40 ซม. ยาว 1-2 เมตร ผิวใบเรียบมัน ท้องใบสีอ่อนกว่า มีนวล ดอก ช่อเรียกว่า หัวปลีออกที่ปลายยอด ในประดับหุ้มช่อดอกสีแดงหรือม่วง กลีบดอกสีขาว บาง ผล เป็นผลสด

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa sapientum* L.

ชื่อวงศ์ Musaceae

ชื่อสามัญ Banana

สรรพคุณทางยา

- ยาரักษาอาการท้องเสียและบิด ตำรายาไทยใช้ผลคิดซึ่งมีสารแทนนินมาก รักษาอาการท้องเสียและบิด โดยกินครั้งละครึ่งหรือหนึ่งผล

- ยามีฤทธิ์ป้องกันการเกิดแพลงในระบบอาหาร โดยใช้กล้วยคิด หั่นเป็นแว่น ตากแห้งบดเป็นผง กินวันละ 4 ครั้งๆ ละ 1-2 ช้อนแกง ก่อนอาหารและก่อนนอน อาจทำให้เกิดอาการท้องอืด ซึ่งป้องกันได้โดยกินร่วมกับยาขับลม เช่น ชิง

- ยามีฤทธิ์ป้องกันโรคต่างๆ อีกมากมาย คือกล้วยน้ำว้าห่านและสุกมีธาตุเหล็กในปริมาณสูงช่วยสร้างเม็ดเลือดแดง ป้องกันโรคโลหิตจาง มีแคลเซียม ฟอฟฟอรัส และวิตามินซีช่วยบำรุงกระดูก ฟัน และเหงือกให้แข็งแรง ช่วยให้ผิวพรรณเด็ก มีใบต้าแครอทีน ในอาชีวและไขอาหาร ช่วยให้ระบบขับถ่ายคล่องขึ้น กินกล้วยน้ำว้าสุก จะช่วยบรรเทาท้องและสามารถรักษาโรคเลือดออกตามไรฟันในเด็กเล็กได้ช่วยลดอาการเจ็บคอ เย็บหน้าอกที่มีอาการ ไอแห้งร่วมด้วย โดยกินวันละ 4-6 ลูก แบ่งกินกี่ครั้ง ก็ได้ กิน

กลัวยก่อนແປງຟັນທຸກວັນຈະທຳໄຫ້ໄມ້ມີກລິນປາກ ແລະ ຜິວພຣຜົດ ເທິ່ນພລໄດ້ໃນ 1ສັປາທໍ່ ກລ້ວຍນໍ້າວັດົບ ແລະ ມ່ານມີສາຮແທນນິນ ເພົດຕິນມີຄຸທີ່ຝາດສານ ລັກຢາ ອາກາຣທ້ອງເສີຍທີ່ໄໝຮູນແຮງໄດ້ ໂດຍກິນຄຣັງລະຄຣິ່ງ ພລ ທີ່ອື່ອ 1ພລ ອາກາຣທ້ອງເສີຍຈະຖຸເລາລັງ ນອກຈາກນີ້ຈາກກົດກົມວິຊັ້ນພວກເຮົາ ມີພລໃນກາຮັກຢາໂຮກ ກຣະເພາະໄດ້ອີກດ້ວຍ

ຈານວິຊັ້ນນີ້ຈຶ່ງໄດ້ທຳກາຮັກຢາສກວະທີ່ເໝາະສມໃນກາຮັກພລິດຄ່ານກົມມັນຕົ້ນຈາກປັບປຸງມະນາມ ເພື່ອໃຊ້ກຮອງອາກາຣໃນໂຮງຈານອຸດສາຫກຣມພັນສີຮອຍນົດ ໂດຍທຳກາຮັກຕົວແປຣຕ່າງໆ ເຊັ່ນ ອຸ່ນຫກູນໃນກາຮັກພາວະນີ້ ດ້ວຍອົບອະຂອງເຄົ້າ ສາຮະເໝຍ ປົມມາດຄົວບອນຄົວ ແລະ ກົດໜັບໄອໂອດິນ ເປັນດັນ ເພື່ອນຳໄປປະຢຸກຕີໃໝ່ເປັນຕົວກຮອງອາກາຣໃນໂຮງຈານອຸດສາຫກຣມພັນສີຮອຍນົດ ເປັນອີກແນວທາງໜຶ່ງໃນກາຮັກສ້າງມຸລຄໍາໄທກັບວັດຄຸທີ່ເລື່ອໃຊ້ທາງການເກຍຕຽ ສົ່ງພລໃຫ້ເກີດກາຮັກສ້າງຈານແລະສ້າງຮາຍໄດ້ໄທກັບເກຍຕຽກ ຕ່ອໄປ ນອກຈາກນີ້ຍັງໄດ້ທຳກາຮັກຢາເປົ້າຍຄ່ານກົມມັນຕົ້ນທີ່ພລິດໄທກັບຄ່ານກົມມັນຕົ້ນທີ່ນຳເຂົາຈາກຕ່າງປະເທດອີກດ້ວຍ

## 1.2 ວັດຄຸປະສົງກໍຂອງກາຮັກວິຊັ້ນ

1. ເພື່ອສົກຢາສກວະທີ່ເໝາະສມໃນກາຮັກພລິດຄ່ານກົມມັນຕົ້ນຈາກປັບປຸງມະນາມ
2. ເພື່ອສົກຢາສມັດທາງກາຍກາພຂອງຄ່ານກົມມັນຕົ້ນຈາກປັບປຸງມະນາມ
3. ເພື່ອປະຢຸກຕີຄ່ານກົມມັນຕົ້ນຈາກປັບປຸງມະນາມເປັນແຜ່ນກຮອງອາກາຣໃນໂຮງຈານອຸດສາຫກຣມ

## 1.3 ຂອນເບດຂອງກາຮັກວິຊັ້ນ

ເພື່ອໃຫ້ກາຮັກວິຊັ້ນຄຣັງນີ້ນຳຮັດລຸຕາມຈຸດມຸ່ງໜາຍທີ່ດັ່ງໄວ້ ຜູ້ວິຊັ້ນນີ້ໄດ້ກຳນົດຂອນເບດຂອງກາຮັກວິຊັ້ນໄວ້ດັ່ງນີ້ ຄື່ອ

1. ສົກຢາກາຮັກພລິດຄ່ານກົມມັນຕົ້ນຈາກປັບປຸງມະນາມໂດຍກາຮັກຮະຕູນທາງກາຍກາພດ້ວຍໄອນ້ເປົ້າຍ່ວດທີ່ສກວະຕ່າງໆ ຫຼຶ່ງວັດຄຸດົບທີ່ໄໝໃນກາຮັກວິຊັ້ນຄຣັງນີ້ ຄື່ອ ປັບປຸງມະນາມ

2. ສົກຢາທາງກາຍກາພແລະທາງເກມືອງຄ່ານກົມມັນຕົ້ນຈາກປັບປຸງມະນາມຕາມມາຕຣສານ ພລິດກັບທີ່ອຸດສາຫກຣມ (ມອກ. 900-2532) ໂດຍທຳກາຮັກຢາຄໍາຕ່າງໆ ດັ່ງຕ່ອໄປນີ້

- ສົກຢາຄໍາຮ້ອຍລະຂອງພລິດທີ່ໄດ້ (ASTM D 1087)
- ສົກຢາຄໍາຮ້ອຍລະຂອງກວາມຫື້ນ (AWWA B 604)
- ສົກຢາຄໍາຮ້ອຍລະຂອງເຄົ້າ (ASTM D 2866)
- ສົກຢາຄໍາຮ້ອຍລະຂອງສາຮະເໝຍ (ASTM D 5832)
- ສົກຢາຄໍາຮ້ອຍລະຂອງການົບອນຄົງທີ່ (ASTM D 5834)
- ສົກຢາຄໍາກວາມຫັນແນ່ປະກູດ (AWWA B 604)
- ສົກຢາຄໍາກວາມຫັນແນ່ປະກູດ (AWWA B 604)
- ສົກຢາຄໍາກວາມແໜ່ງ (AWWA B 604)

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สร้างวิสัยทัศน์ที่เหมาะสมในการพัฒนาค่านิยมด้านเปลี่ยนผ่านที่เหลือเชื่อที่ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมสีรอดูยน์และเพิ่มกรองอากาศในโรงเรือนสำหรับลักษณะปีก
2. ทราบสมบัติทางกายภาพบางประการของค่านิยมด้านเปลี่ยนผ่านเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงและหาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ มาปรับใช้เพื่อให้มีสมบัติใกล้เคียงกับของต่างประเทศ
3. ช่วยลดปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อมทางอากาศและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัย โดยจะแบ่งออกเป็นหัวข้อหลัก ๆ ได้แก่ ความหมายของถ่านกัมมันต์ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ ชนิดของถ่านกัมมันต์ การผลิตถ่านกัมมันต์ มาตรฐานและการทดสอบถ่านกัมมันต์ การประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ ทฤษฎีการดูดซับ ตลอดจน สถานการณ์ถ่านกัมมันต์ในปัจจุบัน และงานวิจัยถ่านกัมมันต์ในต่างประเทศ เพื่อเป็นแนวทางในการ คำนวณหาสมบัติต่างๆ รวมถึงการประยุกต์ใช้งาน

#### 2.1 ถ่านกัมมันต์

##### 2.1.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์

Derbyshire กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ คือวัตถุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูงสามารถดูดซับ สารเคมีจากแก๊สและของเหลวได้ดี และสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน โดยอาจใช้ในกระบวนการการทำ สารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้

Jankowska กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ คือ การนำเอาวัตถุดินที่มีการบ่อนเป็นองค์ประกอบมาผ่าน กระบวนการก่อถ่านกัมมันต์ ซึ่งทำให้วัตถุดินนั้นมีโครงสร้างรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูง โดยถ่านกัมมันต์ จะมีการบ่อนเป็นองค์ประกอบหลัก (87-90%) และมีธาตุอื่นที่เป็นองค์ประกอบคือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ชัลเฟอร์ และไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณมากน้อยเท่าไนน์จีนกับปริมาณที่มีในวัตถุดินและอาจเกิดขึ้น ได้อีกในขั้นตอนการผลิต

ตาม นบก. 900-2532 กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ คือ พลิตกัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดินธรรมชาติที่มี การบ่อนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อถ่านกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะ เป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

สามารถสรุปความหมายของถ่านกัมมันต์ไว้ได้ดังนี้

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หมายถึง พลิตกัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดินธรรมชาติที่มีการบ่อน เป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อถ่านกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมากซึ่งขนาดรูพรุนก็แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ กรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน [36]

### 2.1.2 วิัพนาการของถ่านกัมมันต์

แต่เดิมนี้เราทราบกันเพียงว่า ถ่านมีสมบัติในการดูดซึ่นของเหลว (คริสต์ศตวรรษที่ 15) ต่อมา ในปี พ.ศ. 2334 มีนักวิทยาศาสตร์ท่านหนึ่งพบว่าถ่านจากกระดูกสามารถดูดซึ่นได้มากกว่าถ่านซึ่งมาจากไม้ ต่อมาจึงนิยมนำถ่านจากกระดูกมาฟอกน้ำตาลทรายให้ขาวสะอาดบริสุทธิ์กันมาก และได้มีการค้นคว้าพัฒนาเรื่อยมาจนกระทั่ง ในปี พ.ศ. 2365 มีผู้พบว่าถ่านที่ได้จากการเผาเลือดกับด่างปี๊เต้า(potash) มีความสามารถดูดซึ่นได้มากกว่าถ่านกระดูกถึง 20-50 เท่า ในปี พ.ศ. 2443 Ostreyko นักวิทยาศาสตร์ชาวโปแลนด์ได้ค้นคิดวิธีนี้ คือ ใช้คลอไรด์ของโลหะผสมกับถ่านแล้วนำไปเผา จึงนับได้ว่า Ostreyko เป็นผู้ริเริ่มให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นอย่างจริงจัง ทำให้มีการผลิตถ่านกัมมันต์ในชื่อ ถ่างๆกันอีกมากมาย เช่น Epomit , Norit , Carboraffin , Filtchar ฯลฯ และได้มีการปรับปรุงมาเรื่อยๆ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นนิยมใช้ในการดูดซึ่นฟอกสีในโรงงานผลิตน้ำตาลซึ่งพบว่าใช้ได้ผลดีกว่าถ่านกระดูก

ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 มีการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ จากนั้นก็เริ่มทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจในสมบัติ การทำก๊าซให้บริสุทธิ์ของถ่านกัมมันต์ ซึ่งจากการทดลองโดยวิธีต่างๆได้พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลนั้นไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ เพราะมีลักษณะของ เบ้า และต้องใช้ในปริมาณมาก ทำให้มีผู้พยายามผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดใหม่ที่มีความหนาแน่นมากขึ้นเพื่อใช้ในการดูดก๊าซ โดยเฉพาะถ่านกัมมันต์ชนิดใหม่นี้ผลิตจากกะลาะมะพร้าว มีสมบัติในการดูดก๊าซ ได้ดี ส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะของ เบานี้ ได้จากไม้ จึงได้อายถ่านหินชนิดร่วน (Peat) ถ่านหินลิกไนท์และกาบที่เหลือจากการทำเยื่อกระดาษด้วยไขเซลลูโลส เป็นต้น เหมาะสมสำหรับการทำหน้ากากบริสุทธิ์ [37]

### 2.1.3 วัตถุดินที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดินที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด วัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดินมากเป็นพากอินทรีย์สารซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่มักเป็นพากเซลลูโลสที่มากพิชเช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ หญ้าไม้เหลือทิ้ง และวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น แกลบ กะลา มะพร้าว จึงเลือกเปลือกผลไม้ ซึ่งข้าวโพด เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีพากถ่านหินเช่น ลิกไนท์ แอนทราไซต์ เป็นต้น ส่วนวัตถุดินที่มากจากสัตว์นั้นมีไม่น่าเช่น กระดูก หรือ เข้าสัตว์ เป็นต้น

**วัตถุดินที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ควรจะมีสมบัติดังต่อไปนี้**

- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีปริมาณสารบินเป็นองค์ประกอบสูง
- มีราคากลางและหาได้ง่าย
- มีสมบัติคงที่

ตารางที่ 2.1 แสดงวัตถุคุณิตต่างๆที่ได้มีการศึกษาในการผลิตถ่านกัมมันต์ [38]

รายการของวัตถุคุณิตต่างๆ	รายการของสารเคมีที่ใช้ในการผลิต
- ชานอ้อย	<u>สัตว์</u>
- กาแฟสด	- เลือดสัตว์
- แกลบ	- กระดูก
- กาแฟของบีท (Beet-Sugar sludge)	- กาแฟ
- กระ吝ะพร้าว	- เตาสัตว์
- ซังเข้าวโพด	<u>ถ่านหินและอื่นๆ</u>
- เมล็ดอกมันอ่อนหรือเปลือกของพืชจำพวกอื่นๆ	- ถ่านหินลิกไนต์
- เมล็ดอกเมล็ดฝ้าย	- ถ่านหินบิทูมินัส
- เมล็ดอกถั่วถุง	- ถ่านหินชนิดร่วน (Peat)
- เมล็ดอกลูกน้ำ	- ถ่านหินน้ำมัน (Petroleum Coke)
- ของเสียจากโรงงานกลั่นสุรา	- หินน้ำมัน (oil shale)
- ของเสียจากเชื้อกระดาษ	- แกรไฟต์
- ของเสียจากยาง	- กากรกรดปิโตรเดียม (Petroleum Acid Sludge)
- เมล็ดกาแฟและเมล็ดผลไม้	- กาโนไฟแท็ลเชิยมฟอร์โรไซชาインท์
- ไม้ เกษ ไม้และขี้เลือย	- ผุนจากปล่องไฟและเขม่า

ถึงแม้ว่าจะสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ได้จากวัตถุคุณิตหลายชนิด แต่ทว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวัตถุคุณิตแต่ละชนิดจะมีสมบัติในการคุณศีรีอกรถลินแตกต่างกัน เช่น กระ吝ะพร้าว เมื่อเผาจะเกิดการลดตัวทำให้ได้รูพรุนที่มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสูง เหมาะสมสำหรับดูดก๊าซและกลิ่นในขณะกระดูกเมื่อเผาจะให้ถ่านที่มีสมบัติเหมาะสมต่อการคุ้นสี อย่างไรก็ตามอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ก็มีอิทธิพลต่อคุณภาพของถ่านกัมมันต์ด้วยเช่นกัน

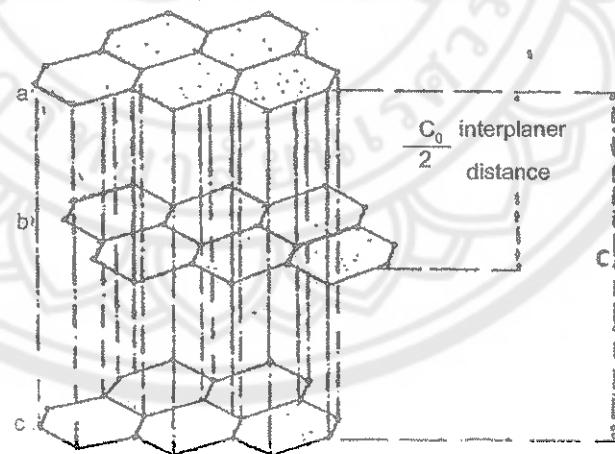
#### 2.1.4 โครงสร้างของผิวถ่านกัมมันต์ [39]

ถ่านกัมมันต์ เตรียมจากการเผาสลายสารอินทรีย์ด้วยความร้อน (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 °C ในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ ซึ่งเรียกว่า การคราร์บอนไนซ์ โดยความร้อนจะสลายอะตอมต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ในไตรเจน และ ไฮโดรเจน จนเหลือแต่อะตอมของคาร์บอนที่มีรูปแบบและเกิดการสร้างของโมโนติก (Aromatization) โดยอะตอมคาร์บอนซึ่งเดิมสร้างพันธะโดยใช้อิเลคตรอนจากชั้น 2s จำนวน 2 ตัว และชั้น 2p จำนวน 2 ตัว เกิดการ Hybridization เป็นลักษณะใช้อิเลคตรอนจากชั้น 1s เพียง 1 ตัว และชั้น 2p จำนวน 2 ตัว และมีอิเลคตรอนอิสระจากชั้น 2 p อีก 1 ตัว จึงเกิดพันธะ

แบบซิกมา (sigma bond) กับการบอนอะตอนข้างเคียง 3 ตัว เรียงกันเป็นรูปสามเหลี่ยมระนาบเดียวกัน และอิเลคตรอนอิสระที่เหลือจะโคจรอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างของระนาบพร้อมที่จะเกิดพันธะไฟ (pi bond) ซึ่งในที่สุดก็จะเกิดวงแหวนอะโนมาติกเคลื่อนที่ (resonance) ทั่วทั้งโครงสร้าง ได้เป็นวงอะโนมาติกเขื่อนโดยกันอย่างไม่มีระเบียบ ทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรง ซึ่งจะมีองค์ประกอบของทาร์ (tar) และสารอื่นๆ ที่ได้จากการเผาถ่าน โดยช่องว่างเหล่านี้จะเป็นรูปrunที่มีความสามารถในการดูดซับด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การกระตุ้นเพื่อกำจัดทาร์ ชาดุและสารประกอบอื่น โดยการเผาถ่านเพื่อให้ออกจากช่องว่างrunเหล่านี้และสร้างหมู่ฟังก์ชันลัลนีมาแทน ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ซึ่งมีผลต่อเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีคือ Riley ได้ศึกษาโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องเอ็กซเรย์และได้เสนอโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ไว้ 2 แบบ คือ แบบที่มีลักษณะแกรไฟฟ์แต่การวางตัวระหว่างชั้นไม่ตั้งฉากกัน ช่องว่างระหว่างชั้นจึงชิดมาก ทำให้แรงกระทำนีโอยกว่าผลึกแกรไฟฟ์ สำหรับอีกแบบหนึ่งเป็นที่มีลักษณะไม่เป็นระเบียบ โครงสร้างแบบนี้จะเสถียรมากขึ้นเมื่อมีอะตอนออกซิเจน

### 2.1.5 โครงสร้างrunrunของถ่านกัมมันต์ (Structure of Activated carbon)

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการบอร์นไนซ์มีความสามารถrunrunมากขึ้น เนื่องจากมีการสูญเสียสารประกอบการบอร์นระหว่างช่องว่างของผลึกการบอร์น runrunทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสม คือการทำให้มีความสามารถrunrunไม่ใช่เป็นการกระตุ้นให้ขาดของรูใหญ่ ซึ่งเป็นการทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอนในผลึกของแกรไฟฟ์

### 2.1.6 หลักการทำงานของถ่านกัมมันต์

การดูดซับเกิดขึ้นต่อเมื่อมีการสัมผัสโดยตรงระหว่างถ่านกัมมันต์ที่มีผิวสะอาดกับไอน้ำหรือสารละลายของสารที่ต้องการดูดซับ โดยที่ทั้งไอน้ำหรือสารละลายนี้จะต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิ

วิกฤติ (Critical temperature) และ ไอ้น้ำขึ้นสามารถควบคุมได้ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับนี้ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ (T) ความดัน (P) และยังขึ้นอยู่กับพลังงาน (E) ใน การเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารที่ถูกดูดซับและ สารดูดซับ

#### 2.1.7 ชนิดของถ่านกัมมันต์ [40]

สามารถออกได้โดยใช้หลักการต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้ใช้

##### 1. แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

ก. กระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวcarbon มักเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ตัวกระตุ้นที่ใช้ได้แก่ซิงค์คลอไรด์และโซเดียมคลอไรด์

##### ข. กระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation)

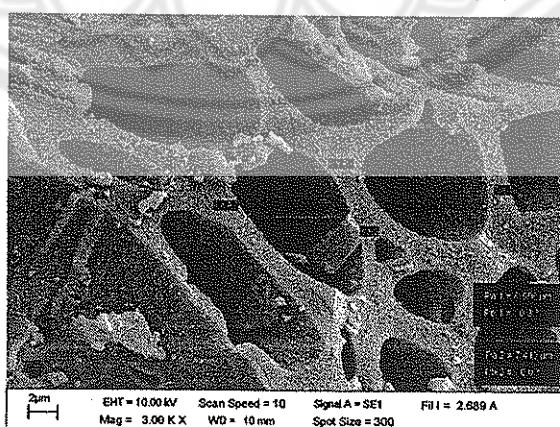
ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการคานี 2 รูปแบบ ได้แก่ เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้แก๊สออกซิไดส์ เช่น ไอน้ำ การรับอน ไออกไซด์ อากาศ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็ก

##### 2. แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ก. ขนาดเล็ก (Micropore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1.5 nm มักใช้ใน การดูดซับแก๊สหรือไอระเหย

ข. ขนาดกลาง (Mesopore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีรูพรุนประมาณ 1.5 ถึง 100 nm มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic reaction) ใช้ดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น การฟอกสี

ก. ขนาดใหญ่ (Macropore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 100 นาโนเมตร โดยไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ แต่เป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยัง รูพรุนเล็กได้ง่ายขึ้น มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสี และการผลิตยา



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

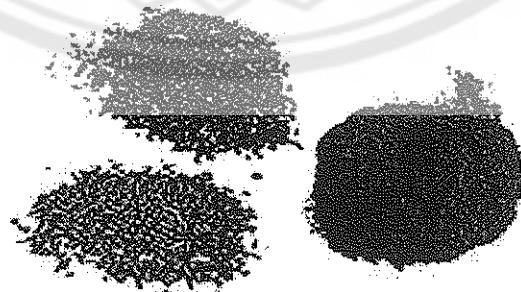
### 3. แบ่งตามลักษณะรูป่าง

ก. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 nm ไม่เกิน ร้อยละ 5 โดยนำหัวนัก มีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัด หรืออาจทำเป็นเกล็ดใช้สำหรับทำก๊าซให้บริสุทธิ์หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วให้บริสุทธิ์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมไขสังเคราะห์ อุตสาหกรรม พิล์ม ไปร์ง ไส อุตสาหกรรมการพิมพ์ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเคลือบผ้า อุตสาหกรรมก๊าซ นอกจากนี้ยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของก๊าซ และใช้เป็นวัสดุทำหน้ากากป้องกันก๊าซและไอพิษต่างๆ



รูปที่ 2.3 ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด หรือ เกล็ด

ข. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 nm ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 โดยนำหัวนัก มีลักษณะ ใช้สำหรับฟอกสีในของเหลว ดูดกลืนและแต่งรสของสารละลายได้หลายชนิด ใช้ในการทำน้ำตาลให้บริสุทธิ์ ใช้ในอุตสาหกรรมไขมันและน้ำมันทำให้ไขมันและน้ำมันปราศจากสีหรือสีอ่อนลง ใช้ในการทำน้ำประปา ให้มีรสและกลิ่นดีขึ้น ใช้ในการทำน้ำอัดลมบรรจุขวด นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ยังใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ อีก เช่น ผงชูรส เครื่องดื่มประเภทเบียร์หรือไวน์ ปิ้ง พลาสติก ก๊าซพิษและในเครื่องปฏิกรณ์ปราบماญ



รูปที่ 2.4 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง

การเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ระหว่างชนิดพังและชนิดเม็ด นอกจากระยะทางในการ运送ความประยุคแล้วขั้นตอนที่ต้องคำนึงถึง

- ชนิดของเครื่องมือที่มีอยู่
- การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไฟด้วย
- ความเข้มข้นของสิ่งปลอมปน
- การทำความสะอาด
- ชนิดของเครื่องมือที่มีอยู่**
- อัตราการใช้ถ่านกัมมันต์
- ธรรมชาติของการใช้งาน
- ขนาดของสิ่งปนเปื้อน
- การจัดวาง

มีหลายครั้งที่ทางโรงงานมีเครื่องมืออยู่แล้ว ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดหรือชนิดพัง แล้วแต่ชนิดของเครื่องมือ ตัวอย่างของโรงงานซึ่งสามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับถ่านกัมมันต์ชนิดพัง ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมเคมีซึ่งใช้ในการผลิตแบบ Batch อาจจะมีถัง Agitator และเครื่องกรองแบบใช้ความดัน โรงงานอุตสาหกรรมกำจัดน้ำเสียอาจจะมี mixed tank และclarifier

### อัตราการใช้ถ่านกัมมันต์

ถ้าอัตราการใช้ถ่านกัมมันต์ต่ำ คือ น้อยกว่า 400 ปอนด์/วัน การนำถ่านกัมมันต์แบบเม็ดมาใช้นั้น ไม่ค่อยเหมาะสมเท่าไรเนื่องจากไม่เป็นการประหยัดเงินเท่าที่ควร ทั้งนี้ เพราะว่า ถ่านกัมมันต์แบบพังมีราคาถูกกว่าแบบเม็ด ดังนั้นค่า Operating cost ของถ่านกัมมันต์จะต่ำลง ขึ้นอยู่กับอัตราการใช้ถ่านกัมมันต์

- มีความเข้มข้นของมลพิษต่ำ
- ปริมาณของเหลวต่ำ
- อัตราการไฟด้วยต่ำ
- มีความเข้มข้นของมลพิษที่ต้องการดึงออกต่ำ

แต่ถ้าอัตราการใช้ถ่านกัมมันต์สูง การใช้ถ่านกัมมันต์เม็ด จะประยุคกว่าในการนำกลับมาใช้ใหม่อีกรั้ง

### การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไฟด้วย ความเข้มข้นของมลพิษและส่วนประกอบ

ในการถังที่อัตราการไฟด้วย ความเข้มข้นของมลพิษและส่วนประกอบการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วนั้น การใช้ถ่านกัมมันต์เม็ดจะเหมาะสมกว่า เพราะว่าถ่านที่เทียบสามารถช่วยแก้ปัญหาได้ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว แต่ในเครื่องมือสมัยใหม่อาจใช้ถ่านกัมมันต์พงก์ได้ ถ้าสามารถเติมถ่านได้ทันทีที่มีการเปลี่ยนแปลง

#### 4. ลักษณะการดูดซับ

ถ่านกัมมันต์สามารถใช้ดูดซับสีและกลิ่น ในสภาพของเหลวและก๊าซ ดังนั้นสามารถแบ่งตามลักษณะการดูดซับได้ 2 ชนิด คือ

Gas-adsorption carbon โดยมากมักถูกใช้ในการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ เช่น การนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ การแยกก๊าซหรือการขึ้นไส้กันกรอง

Liquid-adsorption carbon ถูกนำมาใช้กับงานฟอกสีหรือทำให้ของเหลวบริสุทธิ์ มีลักษณะเหลวๆ เช่น น้ำ

ข้อแตกต่างระหว่าง Gas-adsorption carbon และ Liquid-adsorption carbon คือการกระจายขนาดของรู (pore-size) แสดงให้เห็นว่า Gas-adsorption carbon มีมากที่สุดในรูป micropore คือ รัศมีอยู่ในช่วง  $3\text{-}50 \text{ }^{\circ}\text{A}$  นอกจากนี้อาจยังอยู่ในรูป macropore คือรัศมีอยู่ในช่วง  $1,000\text{-}50,000 \text{ }^{\circ}\text{A}$  และในช่วง transition จะมีรัศมีอยู่ในช่วง  $50\text{-}1,000 \text{ }^{\circ}\text{A}$  แต่จะมีปริมาณไม่มากนัก

โดยทั่วไปแล้ว Liquid-adsorption carbon จะมีพื้นที่ผิวพอๆ กับ Gas-adsorption carbon แต่จะมีปริมาตรซ่องว่างทั้งหมดใหญ่กว่า

Liquid-adsorption carbon ทั้งหมดไม่จำเป็นที่จะใช้งานในการดูดซับของเหลว ทั้งนี้ เพราะขนาดของช่องถ่านกัมมันต์มีทั้ง micropore และ transition ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง transition เป็นส่วนใหญ่แต่ในช่วง micropore ก็มีไม่น้อยเช่นกัน เนื่องมาจากกระบวนการผลิตต่างๆ กันและมาจากการวัดอุบัติส่วนต่างๆ กัน แต่ถ้าต้องการให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีปริมาณการดูดซับอนุญาตเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานในสภาพ Liquid-adsorption carbon นั้นจะต้องมีการเลือกใช้วัตถุคิบ ซึ่งตัวอย่างของวัตถุคิบเหล่านี้ได้แก่ ไข่สีเขียว ถ่านลิกไนท์ บิทูมินัส ถ่านปิโตรเลียม

ตารางที่ 2.2 แสดงการแบ่งกลุ่มของขนาดรูปrun

Class of Pore	Radius of pore
Micropore	$3\text{-}50 \text{ }^{\circ}\text{A}$
Transition	$50\text{-}1000 \text{ }^{\circ}\text{A}$
Macropore	$1000\text{-}50000 \text{ }^{\circ}\text{A}$

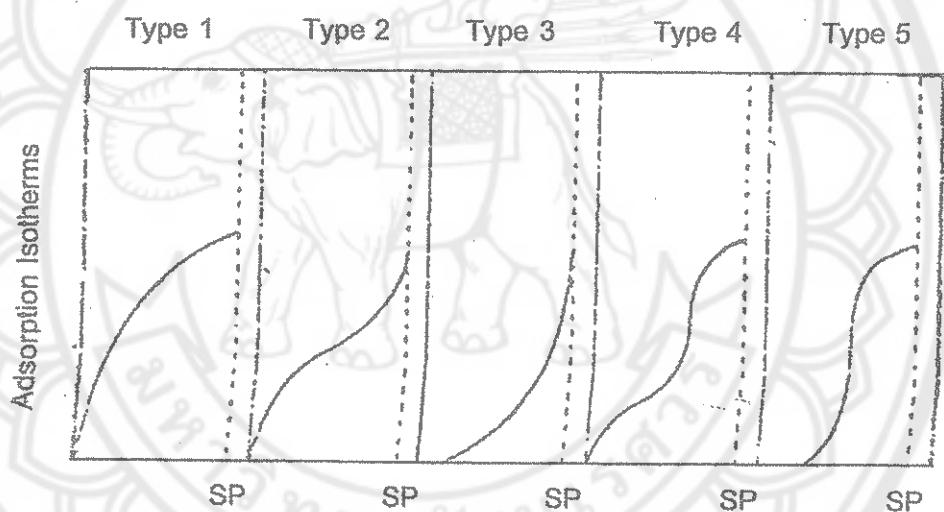
### ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

- อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงการดูดซับจะลดลง
- ความดัน การดูดซับจะเพิ่มขึ้นถ้าความดันเพิ่ม
- เฟสของระบบมีผลต่อการดูดซับ เช่น ตัวดูดซับตัวหนึ่งมีความสามารถในการดูดในเฟสก๊าซได้ดี แต่อาจจะไม่มีความสามารถในการดูดซับในเฟสของเหลวก็ได้
- ขนาดของอนุภาค อัตราการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอยู่กับผิวน้ำของตัวดูดซับและความเร็วในการแพร่กระจายของก๊าซเข้าไปในอนุภาค
- ตัวขัดขวาง (Contaminant) ซึ่งอาจสะสมในระหว่างการดูดซับ

คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์เกี่ยวกับการดูดซับก๊าซ

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการคุณชั้นก๊าซมักอยู่ในรูปเม็ดหรือผ่านการบดเป็นผงละเอียดแล้วมาอัดเป็นเม็ดใหม่ นิยมใช้ในการกำจัดพอกไอของสารละลายจากก๊าซผสม หรือคุณภาพสารพิษออกจากราก ก๊าซ จึงใช้ในการทำหน้ากากกันก๊าซพิษ นอกจากนั้นยังใช้ในการแยกก๊าซพอกไอโดยการบ่อนออกจากรากแบบลำดับส่วน (Fraction of Hydrocarbon Gases) โดยพวไหโดยการบ่อนที่มีขนาดใหญ่จะถูกคุณชั้บโดยถ่านกัมมันต์ได้ดี ถ่านกัมมันต์ที่อิ่มตัวแล้ว จะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการระเหยพอกสารที่ถูกคุณชั้บไว้ออกไป

ในระบบการดูดซึบก๊าซโดยทั่วไป จะเกี่ยวข้องกับสภาพทางไนโมิก คือการดูดซึบจะขึ้นอยู่กับ  
สภาวะของการเคลื่อนที่สัมพันธ์ของก๊าซ หรือทั้งก๊าซและตัวดูดซึบโดยตรง ซึ่งในการทำงานจะทำไปใน  
ถึงสภาวะที่จุดสมดุลก็ตาม แต่คุณลักษณะของระบบการดูดซึบจะขึ้นอยู่กับ รูปแบบของสภาวะที่จุด  
สมดุลเป็นอย่างมาก รูปแบบของ Adsorption Isotherms แบ่งเป็น 5 แบบ



รูปที่ 2.5 รูปแบบของ Adsorption Isotherms

แบบที่ 1 เป็น Isotherms ของระบบที่การดูดซึบเกิดเป็น Monolayer เช่น การดูดซึบออกซิเจนบนการ์บอนแบล็คที่  $-183^{\circ}\text{C}$

แบบที่ 2 เป็น Isotherms ของระบบที่การดูดซับเกิดเป็น Multilayer หลังจากเกิด Monolayer แล้ว เช่น การดูดซับบนการร้อนแบล็คที่  $30^{\circ}\text{C}$

แบบที่ 3 เป็นแบบที่ปริมาณของก๊าซที่ถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นมาก ที่ความดัน ไออัมตัวสัมพัทธ์เข้าใกล้หนึ่ง ซึ่งเกิดจากโครงสร้างของตั้งคุดซับของก๊าชขั้นแรกน้อยกว่าความร้อนของการควบแน่น ที่เกิดขึ้นกับไมโครกอลใน Monolayer นั้น เช่น ไบรมีนถูกดูดซับบนชิลิกานเจลที่  $20^{\circ}\text{C}$

แบบที่ 4 เป็นแบบที่เปลี่ยนไปจากแบบที่ 2 โดยจะเกิด Multilayer ที่จำกัดอันหนึ่งคือ เมื่อรู capillaries ถูกทำให้เต็มแล้ว เช่นการดูดซับไอน้ำบน Active carbon ที่  $30^{\circ}\text{C}$

แบบที่ 5 คล้ายกับการเปลี่ยนแบบที่ 3 เช่น กรณีไอน้ำถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ที่  $100^{\circ}\text{C}$

Adsorption Isotherms ถูกใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้ Adsorbent ทั่วไป โดยถ้ารูปร่างของ Adsorption Isotherms อยู่ในแบบที่ 1 หรือ 4 บวกการดูดซับนั้นสามารถแยกตัวถูกดูดซับนั้นจากก๊าซตัวพา (Carrier gas) แต่ถ้าเป็นแบบที่ 3 หรือ 5 การดูดซับของก๊าซไม่เหมาะสมที่จะใช้ เพราะไม่คุ้มค่า แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดไอของเบนซินและอะซิโโนได้ ส่วนมีเทนจะดูดซับได้ไม่ดี

### 2.1.8 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ [41]

การกระตุ้น(activation) แบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ การกระตุ้นทางเคมี และการกระตุ้นทางกายภาพ

1. การกระตุ้นทางเคมี เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้สารเคมี สารเคมีที่ใช้แพร่หลาย คือ แกลเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมชัลไฟด์ สังกะสีคลอไรด์ กรดฟอสฟอริก เป็นต้น หลักการเตรียมด้วยวิธีนี้เตรียมได้ 2 แบบ คือ

ก. การพิเศษสารเคมีกับวัตถุดินโดยตรง โดยนำถ่านที่ผ่านการบดและคัดแยกผ่านตะแกรงร่อนให้ได้ขนาดที่เหมาะสม นำไปแข็งในสารเคมีเพื่อช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ความร้อน (pyrolysis) เมื่อนวดให้เข้ากันดีแล้วนำมาเผาในท่ออุณหภูมิสูง ไม่ให้อากาศเข้า เมื่อเข็นลงนำมาสกัดแยกสารเคมีออก ก็จะได้ถ่านที่มีปฏิกิริยาตามต้องการ ไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

ข. การพิเศษสารเคมีกับวัตถุดินที่ผ่านการกรองในชั้น โดยนำอินทรีย์วัตถุไปผ่านการกรองในชั้นให้ได้ผลลัพธ์ถ่านก่อนแล้วจึงเติมสารเคมีก่อถ่านกัมมันต์อีกทีหนึ่ง

สำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์แบบแรกจะมีความลำบากตอนที่จะถังสารประกอบที่เกิดขึ้นตามรูปนุ่นได้ยากกว่าแบบหลัง

การกระตุ้นทางเคมีจะช่วยลดการเกิด火災และสารอื่นๆที่เกิดในกระบวนการ ดังนั้นร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงค่อนข้างมีปริมาณสูง

- กระตุ้นแบบนึ่งกับวัตถุดินที่เป็นไม้
- อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ในช่วง  $500 - 900^{\circ}\text{C}$
- สารกระตุ้นที่ใช้กันทั่วไปในทางอุตสาหกรรม คือ ซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริก

การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โดยใช้สารละลายน้ำซิงค์คลอไรด์ผสมกับวัตถุดินโดยใช้สภาวะที่อุณหภูมิประมาณ  $130^{\circ}\text{C}$  หลังจากนี้จะนำไปทำการกรองในชั้นที่อุณหภูมิ  $600 - 850^{\circ}\text{C}$  ชั่งในระดับอุตสาหกรรม จะคำนึงถึงประสิทธิภาพ ในการนำเอารูปแบบมาใช้ใหม่ เป็นอย่างมาก ด้วย

ประสิทธิภาพ การนำซิงค์คลอไรด์ กลับมาใช้ใหม่ ที่ก่อนข้างจำกัด ประกอบกับปัญหาการกัดกร่อนต่อเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้การใช้ซิงค์คลอไรด์ เป็นสารกระตุ้นในระบบหลังจึงลดลง

**การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก** กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น จะใช้อุณหภูมิในการกระตุ้น ที่ก่อนข้างต่ำคือ  $400-500^{\circ}\text{C}$  ซึ่งการใช้กรดฟอสฟอริกนั้น สามารถผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยยังได้กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูง พบว่าต่ำกว่า  $400^{\circ}\text{C}$  ไม่สามารถผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพดีได้เช่นนี้

ในการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีนี้ ขนาดของถ่านมีอิทธิพลต่อการดูดซับมาก จะทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเปลี่ยนไป มีผลต่อความจุของการดูดซับ โดยที่ความจุของการดูดซับจะแปรผันตามพื้นที่ผิวทั้งหมดของถ่าน เพราะฉะนั้นพงถ่านที่หนาเท่ากัน ถ่านที่เป็นผลลัพธ์ของถ่านที่มีความจุของการดูดซับมากกว่า

2. การกระตุ้นทางกายภาพ เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้แก๊สร้อนบนไอดอกไซด์อากาศ หรือไอน้ำ ซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นก่อนข้างสูงประมาณ  $800-1,000^{\circ}\text{C}$  เพราะไอน้ำที่ใช้ต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนขึ้นชุด(superheated stream) เพื่อให้สารอินทรีย์ต่างๆลายไป ทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะรูพรุน(porous)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตกรณีผลิตด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยกายภาพ คือ เตาเผาแบบหมุน ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- แหล่งกำเนิดไอน้ำ เป็นส่วนที่เปลี่ยนน้ำที่เป็นของเหลวให้กลายเป็นไอน้ำ
- ตัวเครื่อง ประกอบด้วย ท่อบรรจุสาร มองเตอร์หมุน ที่วัดอุณหภูมิและเครื่องควบแน่น
- แหล่งให้ความร้อน เพื่อให้ไอน้ำผ่านเข้ามาในตัวเครื่องเป็นไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง

โดยในการผลิตเตาเผา จะใช้ที่นิวเคลียร์ นักเคมี และผู้เชี่ยวชาญในการดำเนินการก่อสร้าง ซึ่งโครงสร้างของเตาเผาอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับต่ำกว่า  $1,000^{\circ}\text{C}$  ที่ต้องการ

ก. การกระตุ้นด้วยไอน้ำ เป็นการกระตุ้นทางกายภาพอย่างหนึ่ง ทำโดยใช้ไอน้ำ ชั่งขวด ซึ่งมีอุณหภูมิตั้งแต่  $750 - 950^{\circ}\text{C}$  ไอน้ำซึ่งสามารถทำปฏิกิริยา กับผลิตภัณฑ์ถ่านได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) ดังนี้

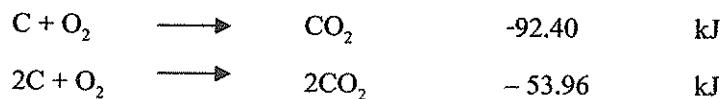


โดยมีกลไก(mechanism) ดังนี้



ถ่านที่ได้จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำ มีค่าการบันปะมาณร้อยละ  $97 - 98$  และยังคงมีรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์ได้จากกล้องจุลทรรศน์

ข. การกระตุ้นด้วยอากาศ ปฏิกิริยานี้ใช้ออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดส์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เห็นกัน ดังสมการ



การกระตุ้นด้วยอากาศ ต้องใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า  $800^{\circ}\text{C}$  ออกซิเจนจากอากาศเข้าทำปฏิกิริยากับผลึกคาร์บอน อีกทั้งออกซิเจนจะทำให้ผิวของถ่าน ไหม้ ทำให้เกิดการสูญเสียอย่างมาก

ก. การกระตุ้นด้วยคาร์บอน ไดออกไซด์ ปฏิกิริยานี้ใช้ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ เป็นตัวออกซิไดส์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เห็นกัน ดังสมการ



จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยานี้ ต้องการพลังงานความร้อนมากกว่า วิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า โดยใช้อุณหภูมิประมาณ  $800 - 1,100^{\circ}\text{C}$  ขึ้นอยู่กับวัสดุดิน

สำหรับการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ อำนาจในการดูดซับจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้

1. ธรรมชาติของปฏิกิริยาและความเพิ่มขึ้นของก๊าซที่นำมาออกซิไดส์
2. อุณหภูมิของปฏิกิริยา
3. จำนวนและชนิดของเกลือแร่ที่เป็นองค์ประกอบของถ่าน

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพ และทางเคมี [6]

	ทางเคมี	ทางกายภาพ	ผลลัพธ์
เคมี	- ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ซับซ้อน - ไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า - ไม่ต้องใช้เวลา等待	- ใช้ต้นกัมมันต์ที่รูพรุนขนาดเล็ก ทำให้มีการดูดซับได้ดี - ไม่มีสารเคมีตกค้าง ไม่เป็นอันตราย - ต้นทุนในการผลิตต่ำ	- วัสดุ อุปกรณ์ หายาก มีความเสี่ยง - ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า - ต้องใช้เวลา等待
กายภาพ	- ต้องใช้ต้นกัมมันต์ที่รูพรุนขนาดใหญ่ - ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า - ต้องใช้เวลา等待	- ให้ต้นกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ - มีสารเคมีตกค้างต้องสีขาวล้างนาน - ต้นทุนในการผลิตสูง	- ต้องใช้ต้นกัมมันต์ที่รูพรุนขนาดใหญ่ - ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า - ต้องใช้เวลา等待

### 2.1.9 การวัดสมบัติของถ่านกัมมันต์

การวัดสมบัติของถ่านกัมมันต์ทำได้โดยการวัดความสามารถในการดูดติดผิวcarbон (Adsorptive Capacity) ซึ่งได้มีการใช้ adsorbate ที่มีความเข้มข้นนิคต่างๆ ได้แก่ Phenol ,Tannin ,Iodine และ Molasses การดูดซับ Phenol เป็นดัชนีชี้วัดความสามารถของ carbón ในการกำจัดรสและกลิ่นทางเคมี ส่วนการดูดซับ Tannin ใช้เป็นดัชนีวัดความสามารถในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ในน้ำที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของพืชผัก การดูดซับ Iodine และ Molasses ใช้แสดงให้เห็นว่า carbón นี้ใช้เป็นถ่านกัมมันต์ได้

พื้นที่ผิวเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดสมรรถนะของ carbón ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง (มีหน่วยเป็น  $m^2/g$ ) จะมีอำนาจหรือขีดความสามารถในการดูดติดผิวสูงตามไปด้วย การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะของ carbón ทำได้โดยการหาปริมาณในไตรเจนที่ถูก carbón ดูดเก็บไว้ วิธีวัดสมรรถนะของ carbón อาจกระทำได้โดยการวัด Iodine Number (ค่าการดูดซับไออกีน) หรือ Molasses Number (ค่าการดูดซับ Molasses) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิว carbón

Iodine Number แสดงถึงสมรรถนะของ carbón ในการกำจัดสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (ขนาดใหญ่กว่า  $10^\circ A$ )

Molasses Number แสดงถึงสมรรถนะของ carbón ในการกำจัดสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (ขนาดใหญ่กว่า  $28^\circ A$ )

### 2.1.10 การทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์ [42]

เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมนี้ ถูกใช้ในการดูดซับและฟอกสีสารต่างๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือก๊าซ ดังนั้นการทดสอบสามารถแบ่งตามสภาพของการทดสอบได้ทั้งหมด 3 วิธี ด้วยกัน คือ

1. การทดสอบสมบัติทั่วๆ ไป (General Properties of Activated Carbon Test)
2. การทดสอบสมบัติต่างๆ กับการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้งานกับของเหลว (Liquid Adsorption Test)
3. การทดสอบสมบัติต่างๆ กับการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้งานกับก๊าซ (Gas Adsorption Test)

#### 2.1.10.1 การทดสอบสมบัติทั่วๆ ไป

การทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบถ่านกัมมันต์ในสภาพทั่วๆ ไป ซึ่งไม่ว่าจะใช้งานในสภาพของเหลวหรือก๊าซก็ตาม สำหรับสมบัติที่จะทดสอบและวิธีทดสอบมีดังนี้

- ความชื้น

ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ 2 g อบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิเกตเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณความชื้นเป็นร้อยละ ดังนี้

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป}}{\text{น้ำหนักเดิม}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(1)$$

#### - ความหนาแน่นปูรากฎ

ทดสอบกัมมันต์ลงบนกรวย reservoir funnel ซึ่งมีเครื่องมือสับทำด้วยโลหะ เพื่อให้ถ่านกัมมันต์ลงสู่ระบบอุดตัว นำไปชั่งน้ำหนักและคำนวณความหนาแน่นปูรากฎจากสูตร

$$\text{ความหนาแน่นปูรากฎ (g)} = \frac{\text{น้ำหนักของการร่อน}}{10000} \times (\% \text{ ความชื้น}) \quad \dots\dots\dots(2)$$

#### - ความแข็ง

ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ 50 g ใส่ใน Hardness testing pan พร้อมด้วยลูกนอลอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางครึ่งนิ้วและ 3/4 นิ้ว อย่างละ 15 ลูก วาง Hardness testing pan ช้อนบน pan และช้อนบน Sieve เปลาแล้วปิดฝา นำเข้าเครื่องเที่ยงค์ที่เรียกว่า Ro-Tap shaker หรือที่คล้ายคลึงกันเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นหยอดลูกนอลอกออกให้หมด ก่อนถ่ายถ่านกัมมันต์ใน Sieve ขนาด 20 mesh รองรับด้วย bottom pan และ sieve เปลา พร้อมกับปิดฝาเข้าเครื่องเที่ยงค์ เป็นเวลา 3 นาที ชั่งน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ถังอยู่บน Sieve ขนาด 20 mesh คำนวณ Hardness Number เป็นร้อยละ

#### 2.1.10.2 การทดสอบสมบัติต่างๆที่ยกันถ่านกัมมันต์ไปใช้งานกับของเหลว

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นั้นเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานกับงานที่เป็นของเหลวหรือไม่ การทดสอบนี้จะเป็นการนำถ่านกัมมันต์ไปทดสอบการดูดซึ่และการดูดกลืนของเหลว ซึ่งจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ จะบอกได้เพียงว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ดูดซึ่ดูดกลืนได้หรือไม่ ดูดได้มากน้อย โดยประมาณ แต่ถ้าต้องการทราบว่าจะใช้งานจริงๆกับสิ่งนี้ๆสำหรับการทดสอบ และวิธีการทดสอบของ liquid adsorption มีดังนี้

##### 1. การทดสอบสีข้อม (Dye test)

ความเข้มข้นของสารต่างๆที่ใช้ในการทดสอบนี้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 ซึ่งเป็นตารางตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ การทดสอบสารละลายนี้ประกอบด้วยสีต่างๆที่ผสมกันอยู่อย่างเหมาะสมและสามารถแสดงการทดสอบได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ สำหรับการทดสอบ มีดังนี้

1) ใช้ขวดรูปชุมพู่ขนาด 200 ml เติมสารละลาย 100 ml ลงในขวดรูปชุมพู่ พร้อมกับชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ ซึ่งสามารถดูดตัวถูกละลาย 50-99%

2) ทำการเขย่า เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$  ซึ่งอัตราการดูดซับสีจะเร็วมากในช่วง 10 นาทีแรก แล้วจะช้าลงเรื่อยๆ หลังจาก 1 ชั่วโมงผ่านไป

3) กรองสีพสมที่ดูดได้ ผ่านกระดาษกรอง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 cm หรือเทียบเท่า (กระดาษ Whatman เบอร์ 5) ลงในรูปซึ่งอาจต้องเข้ากับตัว suction เพื่อให้การกรองรวดเร็วขึ้น

4) เผาสารที่กรองได้เป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนที่จะทำการหาความเข้มข้นของสี ข้อมูลที่ค่านวณได้ จะถูกใช้ในอัตราส่วน 7:1

สมบัติของการดูดซับสีต่างๆ สารละลายที่ทำการทดสอบ ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลง ดังนี้ การทดสอบแต่ละครั้งต้องมีค่ากันมั่นคงมากเพียงพอ

ตารางที่ 2.4 แสดง Dye solution for synthesis tests

Solvent	Solutes	Concentration (g/l)	Other Conditions	Suggested Carbon size ( $\mu\text{m}$ )
Water	Methylene Blue	0.08	-	0.15-0.50
Water	Malachite Green	0.91	-	0.10-0.50
Water	Alizarin Red	0.73	Buffered to pH 6.2	0.10-0.50
Water	Ponceau Red	1.09	Buffered to pH 7.0	0.02-1.00
Ethanol	Methylene Blue	0.50	-	0.40-3.50
Ethanol	Malachite Green	0.43	-	0.60-8.00

## 2. การทดสอบไมลาส (Molasses Tests)

การทดสอบไมลาสนี้เป็นการทดสอบว่า ตัวอย่างของถ่านกัมมันต์ใดที่จะดูดสีของเหลว ได้มากน้อยเพียงใด ก็จะทำการดูดไมลาสหากน้อยเท่านั้น ซึ่งก่อนจะทำการทดลองนั้นจะต้องเตรียม ความเข้มข้นของไมลาสมากน้อยเท่านั้น ซึ่งก่อนจะทำการทดลองนั้นจะต้องเตรียมความเข้มข้นของไมลาสเพื่อใช้เป็น Stock solution ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ไมลาส ประมาณ 20-60 g ใส่พร้อมกับไคโซเดียม ฟอสเฟต ประมาณ 6.5 g ลงในสารละลาย 500 ml จากนั้นเติมน้ำเพื่อให้เจือจางจนได้ปริมาตร 1 l รอง โดยผ่านชั้นของกระดาษกรองหน้า 1/4 นิ้ว ใน Buchner funnel ซึ่งถ้าแห้งทั้งไวสารละลายจะทำปฏิกิริยา กับจุลินทรีย์ ดังนั้นสามารถแก้ไขได้โดยการนำไปแช่เย็นและก่อนจะนำมาใช้ต้องทดสอบใหม่อีกรั้ง

### 2.1.11 การนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์ [43]

ปัจจุบันมีการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากความสามารถในการดูดซับ จากการศึกษาค้นคว้าสามารถแบ่งประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ ได้ 2 ประเภท คือ

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดอ่อนหรือมีความหนาแน่นต่ำ มีลักษณะเป็นผง นำไปใช้ประโยชน์ ดังนี้

### อุตสาหกรรมน้ำตาล

สำหรับการฟอกสีน้ำตาลให้ขาวแทนการใช้ถ่านกระดูก นอกจากจะช่วยลดค่าใช้จ่ายแล้วยังช่วยให้น้ำตาลบริสุทธิ์จากสารประกอบในโตรอินสทีที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่สุด อุตสาหกรรมผลิตกลูโคสซึ่งการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อเหล็ก หินปูนและฟอสเฟต ซึ่งการคุณภาพเหล่านี้จะเกิดขึ้นในช่วงแรกๆซึ่งสารประกอบจะประกอบด้วย เดกซ์ตริน мол โถสและเดกซ์โถส

- ทำให้สีอ่อนลงไม่เปลี่ยนเป็นสีคล้ำเมื่อเวลาผ่านไป
- ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น

### อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมัน

ในน้ำมันและไขมัน ได้มามาจากสัตว์และพืช ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนสำคัญที่เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ นอกเหนือนี้ยังประกอบไปด้วยอนุมูลอิสระและสารอื่นๆที่อยู่ในน้ำมันดินน้ำมันดินน้ำมันดึงน้ำบทบาทอย่างมาก

- ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตปืนลมที่อยู่ในน้ำมันพืช
- คุณภาพสูงหรือสารพิษเปอร์ออกไซด์ ทำให้น้ำมันบริสุทธิ์
- หากใช้ร่วมกับดินฟอกสี (Bleaching Earth) ทำให้ได้น้ำมันหรือไขมันที่ปราศจากสีหรือสีอ่อนลงและลดลง

### อุตสาหกรรมเครื่องดื่มผสมแอลกอฮอล์

ใช้ในการกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ของวิสกี้หลังการกลิ่นและช่วยให้วิสกี้มีคุณภาพดีขึ้นจะทำได้ด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธีแรก นำถ่านกัมมันต์มาทำเป็นชิ้นให้วิสกี้ไหลผ่านชิ้นหลักการเดียวกับการกรองและอีกวิธีหนึ่ง คือ นำถ่านกัมมันต์ประมาณ 0.1-0.2% ผสมกับวิสกี้โดยตรง ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แต่วิสกี้มีรสเปรี้ยวจะต้องใช้ถ่านกัมมันต์ถึง 0.3-0.5% ที่เดียว

ส่วนในเครื่องดื่มพิวเบียร์ เมื่อแช่เย็นแล้วไปปรตีนจะตกละบกจนเป็นอัตราอย่างเช่น ปั๊มน้ำสามารถแก้ไขได้โดยการเติมถ่านกัมมันต์ในเบียร์อัตราส่วน ถ่าน-6 ปอนด์ต่อบีเยร์ 100 บาร์เรล โดยที่ถ่านกัมมันต์นี้จะเข้าไปลดค่าใช้จ่ายที่ไม่ถูก่อนไขม์อย่างสลายได้

### อุตสาหกรรมน้ำบริโภค

การทำให้น้ำบริสุทธิ์นั้นมีความสำคัญสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม เพราะว่าจะต้องนำมาใช้ทั้งอุปโภคและบริโภคและหากว่ามีความจำเป็นต้องใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่ไม่ดีพอ เช่น น้ำมีกลิ่นหรือสีที่จำเป็นต้องใช้เพื่อไม่ให้ทางเลือก ถ่านกัมมันต์จะได้เป็นอย่างมาก ซึ่งการใช้ถ่านกัมมันต์กับการบำบัดน้ำนั้น สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงละเอียดผสมลงในกรวย แล้วกรองออก

2. ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด บางครั้งอาจจะนำบัดน้ำ้ด้วยท่านเป็นภาชนะซึ่งค่อนข้างสะอาดสวยงาม เครื่องมือเหล่านี้ได้แก่ เครื่องกรองน้ำ้ เครื่องกรองน้ำ้ทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย

#### ผลิตภัณฑ์ทางด้านอาหาร

มีการใช้ถ่านกัมมันต์กับอุดสาหกรรมอาหารเป็นอย่างมาก แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงสารอาหาร บางอย่างที่ใช้ถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีดังนี้ คือ

- เจลลัติน (Gellatin) ถ่านกัมมันต์จะถูกใส่เข้าไปเพื่อคุณลักษณะที่อยู่ในเจลลัติน เหตุที่ต้องคุณลักษณะเปลกปลอนออกมานั้นเนื่องจากว่าถ้ามีสิ่งเปลกปลอนเหล่านี้จะทำให้เจลลัตินมีลักษณะมัวๆ ซึ่งการนำบัดน้ำ้ทำได้โดยเติมถ่านกัมมันต์ในสารละลายเจลลัตินที่มีความเข้มข้น 6-10% รักษาอุณหภูมิของสารผสมนี้ไว้ที่อุณหภูมิ 60-65 °C เป็นเวลา 30 นาที สารละลายเจลลัตินจะมีความเข้มข้นประมาณ 20% แล้วทำการกรองอีกครั้ง

- เพกติน (Pectin) เพกตินนี้มักได้มาจากการสกัดผลไม้หลายชนิด ซึ่งเพกตินที่ได้จะมีลักษณะมัวๆ และมีกลิ่นเฉพาะตัวที่ไม่ค่อยดีนัก ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการผสมถ่านกัมมันต์และสารละลาย 1% เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50°C

- น้ำผลไม้ น้ำผลไม้ที่ได้จากการคั้นน้ำ้ บางครั้งจะมีลักษณะมุ่นน้ำ้สามารถแก้ไขได้โดยเติมถ่านกัมมันต์ลงไป แต่จะต้องจำไว้ว่าต้องเติมในปริมาณน้อยเท่านั้น เพราะถ้าเติมในปริมาณมากเกินไปจะทำให้กลิ่นและรสของน้ำผลไม้เปลี่ยนไป

#### อุดสาหกรรมเคมีและยา

ใช้ในขบวนการผลิตสารเคมีต่างๆ มากมาย เช่น Acetamide , Atabrine , Caffeine , Calcium Ferroyamide , Citrid acid , Glutamic acid , Glycerine , Procaine , Sodium acetate Streptomycin ทำให้ปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นและช่วยในการลดดันทุน

ในต่างประเทศมีการทดลองโดยใช้ถ่านกัมมันต์ในการรักษาโรคโดยตรงแล้ว เช่น แพทย์ชาว อังกฤษนิยมใช้ถ่านเพื่อรักษาอาการอักเสบจากการติดเชื้อ ในประเทศไทยรังสรรค์ใช้พงถ่านกัมมันต์เพื่อกำจัดสารพิษ ส่วนนักวิทยาศาสตร์ของสหรัฐอเมริกาใช้พงถ่านลดก๊าซในกระเพาะอาหารหรือใช้ถูกเชื้อแบคทีเรียที่เป็นตัวผลิตก๊าซในลำไส้ตลอดจนอาการท้องเดินจากการรับประทานอาหารที่เป็นพิษด้วย

#### การนำบัดสารอินทรีย์

ถ่านกัมมันต์สามารถใช้บัดพวกอินทรีย์สาร ได้ เช่น กัน ตัวอย่างอินทรีย์สารที่ถูกนำบัด มีดังนี้ คือ แอลกอฮอลและกรดแอลกอติก

- กรดแอลกอติก ได้จากการหมักน้ำตาลพวงแอลกอฮอลและน้ำตาลอื่นๆ ซึ่งผลมาจากการหมักน้ำจะทำให้ pH ต่ำลง ดังนั้นจึงนิยมเติมพวงค่างลงไป(แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์) ดังนั้น ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะได้แคลเซียมแอลกอติด ซึ่งตัวนี้จะทำให้โปรตีนพวกอัลบูมิน และสาร โปรตีนที่เกิด

จากการทดลอง ปัญหานี้แก้ไขได้โดยเดินถ่านกัมมันต์ลงไปซึ่งจะช่วยลดสี กลิ่นและอันตรายให้น้อยลง

- เม็ดถ่าน น้ำทึบจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้หัวบีทเป็นวัตถุดิบในน้ำมีเบดี้มิน 0.2-0.4 % และกรดกลูตามิโนบีดิบกว่า 0.2 % ถ้าหากว่าปล่อยน้ำทึบเหล่านี้ไปเลี้ยงโดยที่มีปริมาณสารอินทรีย์มากเกินไป จะทำให้ค่า BOD สูง ปัญหานี้แก้ไขได้โดยเดินถ่านกัมมันต์ลงไป จะทำให้การดูดซับผลิตภัณฑ์เหล่านี้กลับมา ส่งผลให้ลดลงภาวะทางสิ่งแวดล้อม

2. ถ่านกัมมันต์ชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ด เกล็ด หรือแผ่น นำไปใช้ประโยชน์คือ

2.1 ใช้ในการทำหม้อกุ้งก้าว ใช้ทึบในการทหาร และในอุตสาหกรรม สำหรับป้องกันสารอินทรีย์บางอย่างได้

2.2 ใช้ในการนำตัวทำละลายที่ระเหยได้กลับมาใช้ใหม่ ที่ใช้มากที่สุดคือ การใช้แยกไอกตัวทำละลายจากอากาศเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ โดยที่ไอกตัวทำละลายที่ดูดซับไว้ในถ่านที่มีปฏิกิริยาที่อุณหภูมิปกติ จะถูกดูดซับกลับมาเมื่อผ่านไอน้ำความดันต่ำ

2.3 ใช้ในการปรับอากาศ โดยใช้คูลเกล็นอันไม่พึงประสงค์ออกจากห้องปรับอากาศ ออกจากนี้ยังช่วยกำจัดก้าวcarbenone ได้ออกไซด์ ไฮโดรเจน ในโทรศัพท์ แอนโนเนีย อะเซทิก\_acetone และก้าวต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมได้ด้วย

2.4 ใช้ในโรงงานยาสูบ ใช้แทนเชลลูโลส ซึ่งเป็นกันกรองบุหรี่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งไม่สามารถป้องกันสารพิษในควันบุหรี่ได้ทั้งหมด เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์แทนเชลลูโลสจะช่วยกำจัดก้าวที่ไปกัดการทำงานของซีเลียในระบบทางเดินหายใจ

นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ยังถูกใช้ในงานอื่นๆ เช่น

- ใช้ผสมลงในสีเพื่อป้องกันการกัดกร่อน
- ใช้ถ่านกัมมันต์ฟอกสีในอุตสาหกรรมทำพวงหรีด
- อุตสาหกรรมปรับอากาศใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับน้ำพิษในอากาศต่างๆ เช่น การ์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และ อะเซทิก
- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการการทำปฏิกิริยาของก้าวหรือในการผลิตฟอสเฟต

## 2.2 ทฤษฎีการดูดซับ (Adsorption)

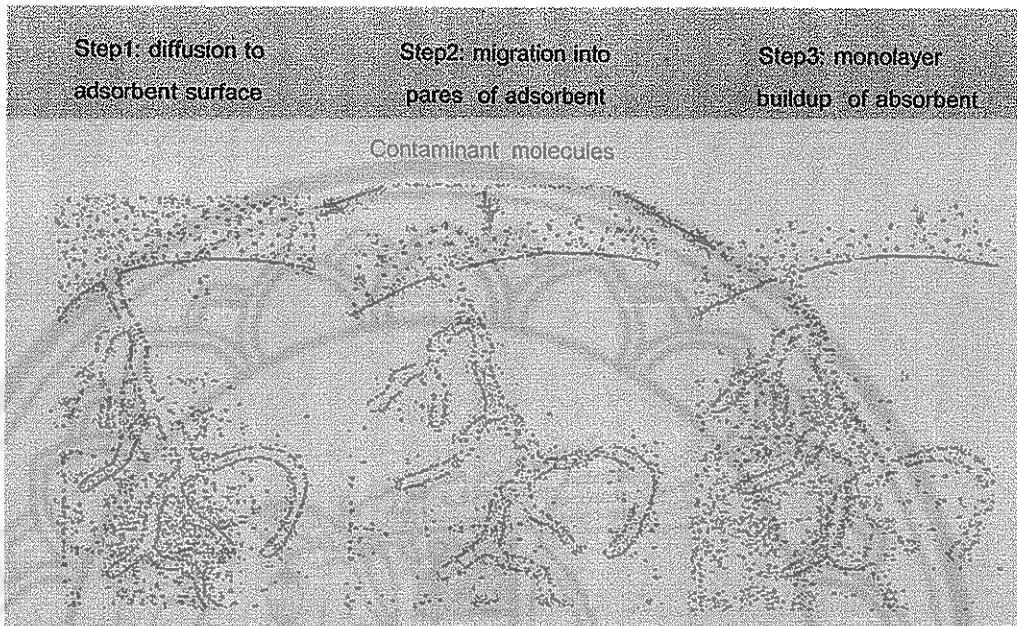
### 2.2.1 กลไกการดูดซับ (Mechanisms of Adsorption)

เนื่องจากการดูดซับเป็นการถ่ายเทนวัสดุ (mass transfer) จากก้าวหรือของเหลวมาเข้าของแข็ง หรือของเหลว การดูดติดผิวเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะ ดังรูปที่ 2

ระยะที่ 1 ไมเลกูลของสิ่งสกปรก (Adsorbate) ในน้ำเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่ร่องรอยของถ่าน

ระยะที่ 2 ไมเลกุลของสิ่งสกปรกจะฟื้งกระจาย (diffusion) เข้าไปในรูพรุนของถ่าน

ระยะที่ 3 เกิดการดูดซับในรูพรุนนี้ระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นที่ผิวของถ่านซึ่งอาจดูดติดด้วยแรงทางเคมีหรือเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน



รูปที่ 2.6 แสดงถึงกลไกการดูดซับถ่านกัมมันต์ (Activatted carbon)

ปรากฏการณ์การดูดซับของถ่านกัมมันต์แบ่งได้ 4 ชนิด คือ

1. การดูดซับทางกายภาพ
2. การดูดซับทางเคมี
3. การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน
4. การดูดซับแบบเจาะจง

### 2.2.2. การดูดซับทางกายภาพ

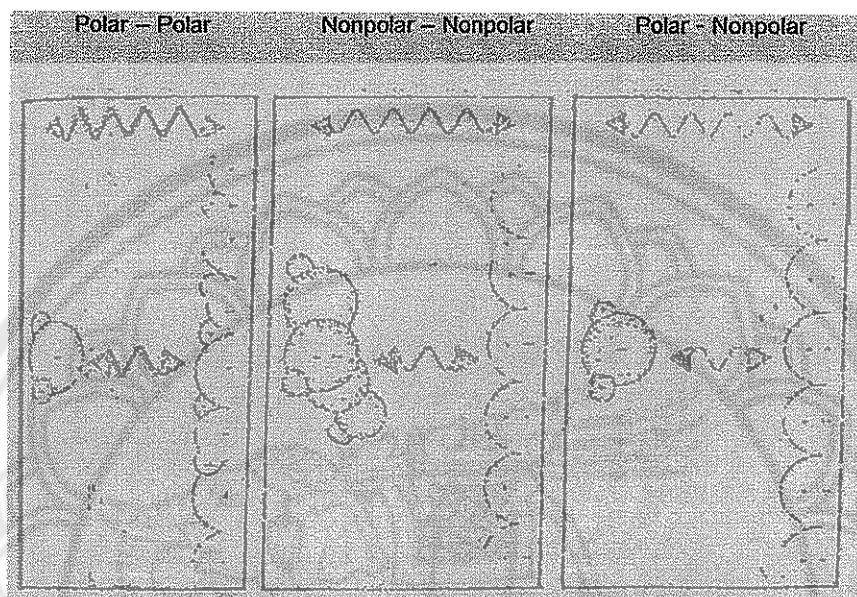
การดูดซับทางกายภาพ เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับ โดยมีแรงบีบเหนี่ยวระหว่างไมเลกุลอ่อนๆ และเป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงวันเดอร์瓦ลส์ หรือ พันธะไฮโดรเจน นอกเหนือไปยังนี้

- โพลาร์กับโพลาร์ไมเลกุลเกิดจาก Orientation effect คือแรงดึงดูดระหว่างไมเลกุลที่มีประจุตรงข้าม

- อนอนโพลาร์กับอนอนโพลาร์ไมเลกุล เกิดจาก Dispersion effect ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ว่าอนอนโพลาร์ไมเลกุลสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลไมเลกุลได้ ถ้าอิเลคตรอนเคลื่อนที่นาอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งพากจะทำให้เป็นไดโพลไมเลกุลได้และเมื่อมีอนอนโพลาร์ที่มีลักษณะเดียวกันเข้ามายังเกิดแรง

ดึงดูดกันมักเป็นแรงที่อ่อน ( เช่น สารอินทรีย์และถ่านกัมมันต์ เพราะสารสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นอนิโอลาร์ ไม่เลกูล )

- โพลาร์และอนิโอลาร์ ไม่เลกูลเกิดจาก Induce effect ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวแน่นของโพลาร์ ไม่เลกูลเข้าใกล้กัน อนิโอลาร์ ไม่เลกูล เหนี่ยวแน่นให้เกิดประจุตรงข้ามแล้วดึงดูดกัน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2.7 แสดงการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์ในลักษณะต่างๆ กันด้วยแรงกายภาพ

ซึ่งมีพิสัยทางระยะห่างว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวถูกซับทำได้ง่ายและการดูดซับอาจเกิดช้อนกันเป็นหลายชั้น

### 2.2.3. การดูดซับทางเคมี [44]

การดูดซับทางเคมี เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับและตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยากัน สร่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงดึงเหนี่ยวระหว่างอะตอนหรือกลุ่มอะตอนเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอนเป็นสารประกอบใหม่เข้า โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากตัวถูกซับจะทำได้ยากและการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว ซึ่งมีลักษณะดังนี้

2.1 เป็นชนิดพันธะเคมี (Chemical bond) เกิดจากการใช้อิเลคตรอนร่วมกันหรือให้อิเลคตรอนไปเลยหรือเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิเลคตรอนมีผลทำให้เกิดแรงดึงเหนี่ยวแรงกว่าแรงทางกายภาพ

2.2 ไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ เพราะชีดหนี่ยวแรงที่มากมีการจัดกันเป็นสารประกอบเคมี (chemical Compound)

**2.2.4. การคุดซับแลกเปลี่ยน** เกิดขึ้นเมื่อตัวคุดซับและตัวถูกคุดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกคุดซับเป็นไอออนที่มีประจุตรงข้ามกับตัวคุดซับ หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่ที่ผิวของตัวคุดซับด้วยไอออนของตัวถูกคุดซับ

**2.2.5. การคุดซับแบบเจาะจง** เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงดึงดูดเหนี่ยวของโนเลกุลตัวถูกคุดซับกับตัวคุดซับที่อยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกคุดซับเปลี่ยนโครงสร้างไป พฤติกรรมการคุดซับชนิดนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการคุดซับทางกายภาพ การคุดซับทางเคมี การคุดซับแลกเปลี่ยนหรือการคุดซับแบบเจาะจงขึ้นอยู่กับชนิดของคู่ตัวคุดซับกับตัวถูกคุดซับนั้น

### **2.2.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการคุดซับ**

ในระหว่างที่มีการคุดซับเกิดขึ้น โนเลกุลของตัวถูกจะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนผิวน้ำกับมันต์หรือสารคุดซับอื่นๆ โนเลกุลส่วนใหญ่เกาะติดอยู่ในโครงสร้างอนและมีบางส่วนเกาะติดที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโนเลกุลจากน้ำไปหาโครงสร้างอื่นๆ ได้ถึงจุดสมดุลจึงหยุด ความเข้มข้นโนเลกุลของน้ำจะเหลือน้อยมากเพรำะ โนเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปขึ้นอยู่บนโครงสร้าง อัตราเร็วและจำกัดความสามารถของการคุดซับการรับอนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่

#### **ก. ขนาดและพื้นที่ผิวของโครงสร้าง**

สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของการรับอนคือ ขนาดและพื้นที่ผิวน้ำดของโครงสร้างอนมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการคุดซับในทางลบ กล่าวคือ อัตราคุดซับเป็นสัดส่วนผลกระทบกับขนาดโครงสร้าง ดังนั้น โครงสร้างที่มีขนาดเล็กจะคุดซับได้ดีกว่าโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ ขณะนี้โครงสร้างอนแห้งจะมีอัตราการคุดซับสูงกว่าโครงสร้างเม็ด ส่วนพื้นที่ผิวของโครงสร้างนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการคุดซับ นั่นคือ โครงสร้างที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโนเลกุลได้มากกว่าโครงสร้างที่มีพื้นที่ผิวน้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวส่วนใหญ่ของโครงสร้างได้มาจากการซ่องว่างหรือโครงสร้างในขนาดโครงสร้างจะมีบทบาทน้อยในการกำหนดพื้นที่ผิว โครงสร้างที่แบบผังและแบบเม็ดจะมีพื้นที่ผิวต่ำหน่วยน้ำหนักใกล้เคียงกันซึ่งหมายถึงความสามารถในการคุดซับใกล้เคียงกัน

#### **ข. ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกคุดซับบนผิวโครงสร้าง**

เมื่อมีการคุดซับเกิดขึ้น โนเลกุลจะถูกดึงออกจากน้ำและไปเกาะกับผิวของของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้ย่อนมีแรงดึงดูดเหนี่ยว กับน้ำได้อย่างหนาแน่นจึงเป็นสารที่ยากต่อการคุดซับ สารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้อยจะสามารถเกาะติดบนผิวโครงสร้างได้ดีกว่า แต่มีสารบางชนิดที่ละลายเกาะติดผิวโครงสร้างได้ยาก แต่ในทางตรงกันข้ามการคุดติดผิวอาจเกิดขึ้นได้จ่ายกับสารที่ละลายน้ำได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจ

ก่อร้าวได้ร่วมกับความสัมพันธ์อ่อนน้อม ในเชิงปริมาณระหว่างความสามารถในการดูดซับและมีความสามารถในการละลายน้ำ

### ค. ความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีผลต่ออัตราการดูดซับ ถ้าค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงอัตราการดูดซับจะเร็วและมากเพระค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีผลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนที่เพิ่มขึ้นยังสามารถเกาะติดผิวการ์บอนไดออกไซด์ทำให้การ์บอนมีสภาพเป็นกลาสเสนอ เนื่องจากสารน้ำมีข้อคิดเห็นข้างเป็นลบ จึงทำให้ไม่เลกุตไม่มีข้อคิดเห็นทางเคมีที่ผิวของสารบินได้ดี

### ง. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับลดลง เมื่อจากกระบวนการดูดซับเป็นปฏิกิริยาความร้อน

## 2.3 สถานการณ์ถ่านกัมมันต์ในปัจจุบัน [45]

### 2.3.1 ภาวะตลาดทั่วไป

การเติบโตของตลาดถ่านกัมมันต์เปรียบเทียบการใช้งานในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องซึ่งมีอยู่มากมาย ดังกล่าวข้างต้น ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องกรองอากาศ อุตสาหกรรมน้ำดื่มและน้ำประปา อุตสาหกรรมชุมชนโลหะ อุตสาหกรรมอาหาร นอกจากนี้แล้วยังมีการใช้ถ่านกัมมันต์ในครัวเรือนโดย เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ้น เช่น กลิ่นอับในตู้เย็น ตู้เสื้อผ้า ตู้รองเท้าฯลฯ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ตลาดของถ่านกัมมันต์มีอยู่อย่างกว้างขวาง และมีแนวโน้มในการใช้งานอย่างสม่ำเสมอในประเทศไทย และ ยังสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ออย่างไรก็ตามยังต้องมีการนำเข้าถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ใน อุตสาหกรรมที่ต้องการคุณภาพของถ่านกัมมันต์ระดับสูง เช่น ในอุปกรณ์ฟอกอากาศบางชนิด จึงทำให้ ยังมีมูลค่าการนำเข้ามาสูงกว่ามูลค่าการส่งออกไปในปัจจุบัน

ถ่านกัมมันต์สามารถนำไปใช้ได้ในหลายอุตสาหกรรมทั้งนี้ตัวอย่างของกลุ่มสินค้าที่มีการใช้ ถ่านกัมมันต์เป็นองค์ประกอบหนึ่งของกระบวนการผลิตซึ่งมีแนวโน้มว่าจะมีอัตราการขยายตัวสูงขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการถ่านกัมมันต์ขยายตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เช่น

- กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องกรองอากาศ/หน้ากากป้องกันก๊าซพิษ เนื่องจากสภาพแวดล้อมของประเทศไทยโดยเฉพาะในเขตชุมชนเมือง ประสบภัยปัญหามลภาวะเป็นพิษทำให้มีความต้องการเครื่องกรองอากาศและหน้ากากป้องกันก๊าซพิษกันมากขึ้น จึงส่งผลต่อเนื่องทำให้มีปริมาณความต้องการถ่านกัมมันต์สูงขึ้น เช่น ก๊าซไนโตรเจนโดยใช้เป็นตัวดูดซับก๊าซพิษออกไปจากบรรจุภัณฑ์

- กลุ่มอุตสาหกรรมน้ำดื่มและน้ำประปา เป็นกลุ่มตลาดที่มีขนาดใหญ่และมีอัตราการขยาย

ตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากเป็นสินค้าที่จำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้คน ขณะเดียวกันน้ำมันบริสุทธิ์ตามแหล่งน้ำธรรมชาติก็หายากขึ้น ทั้งนี้ ถ่านกัมมันต์เป็นปัจจัยสำคัญในการช่วยให้น้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยการดูดซับสิ่งเจือปนต่างๆ ออกໄไป

- กลุ่มโรงงานชุมโภหะ ซึ่งจะมีการระบายน้ำที่ปั่นปืนไปด้วยไสหันกประเกตต่างๆ เช่น โครเมียม นิกเกิต ทองแดง เป็นต้น ออกมาสู่แหล่งน้ำต่างๆ แต่เนื่องด้วยข้อบังคับกฎหมายว่าด้วยเรื่องสิ่งแวดล้อม ทำให้โรงงานชุมโภหะต้องทำการบำบัดน้ำเสียหล่นน้ำก่อนการระบายน้ำสู่แหล่งน้ำเป็นเหตุให้มีความต้องการถ่านกัมมันต์ในกระบวนการบำบัดดังกล่าวในการเป็นตัวดูดซับไสหันกที่เลือปนอยู่ในน้ำออกมาน้ำ

- กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป มักมีกลิ่นของวัตถุดินอาหารที่เหม็นคาว โดยบางครั้งยังเป็นกลิ่นโซยออกไปอนอกพื้นที่โรงงานส่งผลให้ชาวบ้านใกล้เคียงได้รับความเดือดร้อน ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่จะมีการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับกลิ่นต่างๆ ให้จางลงไป ซึ่งปัจจุบันในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารมีอัตราขยายตัวค่อนข้างสูง อีกทั้งเป็นกลุ่มที่ทำรายได้และนำเงินตราต่างประเทศเข้ามามีปัจจุบันมาก ส่งผลให้รัฐบาลให้การสนับสนุนเป็นอย่างมากโดยเมื่ออุตสาหกรรมอาหารขยายตัวเพิ่มขึ้น ปริมาณความต้องการถ่านกัมมันต์ก็ย่อมขยายตัวเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันจากการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ แล้ว ด้วยคุณสมบัติในด้านการดูดกลิ่น ได้ดี ทำให้ในปัจจุบันได้มีการนำมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ภายในครัวเรือนได้อีกด้วย โดยเป็นผลิตภัณฑ์ใช้ดูดซับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอันภายในตู้เย็น ตู้เสื้อผ้า หรือใช้เป็นตัวดูดกลิ่นในรองเท้า โดยมีการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สวยงามและขนาดกะทัดรัด สามารถพกพาไปไหนได้

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์มีกลิ่นคล้ายกับกลิ่นต่างๆ ในอุตสาหกรรมใดอุตสาหกรรมหนึ่งเป็นการเฉพาะ จะน้ำผู้ผลิตถ่านกัมมันต์จะมีความเสี่ยงด้านพิษทางอากาศกลุ่มหนึ่งคล้ายตัวต่างๆ นอกจากนี้ไม่เพียงแต่มีผลต่อสุขภาพภายนอกในประเทศไทยเท่านั้น ปัจจุบันยังสามารถทำการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้อีกด้วย แม้ว่าจะต้องอาศัยการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศเป็นบางส่วน แต่ก็มีแนวโน้มว่าสามารถทดแทนการนำเข้าได้มากขึ้น เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ภายในประเทศไทยไม่เป็นที่ยอมรับจากผู้ใช้มากนัก โดยผู้ใช้มักมีทัศนคติและความเชื่อมั่นในสินค้าที่นำเข้ามาจากต่างประเทศว่ามีคุณภาพดีกว่าสินค้าที่ผลิตภายในประเทศ ทั้งนี้ถ่านกัมมันต์บางชนิดที่ยังไม่มีการผลิตในประเทศไทยเองจากปัจจุบันมีความต้องการยังไม่น่าพอใจ รวมทั้งวัตถุดินภายนอกในประเทศไทยไม่เอื้ออำนวยต่อการผลิต เช่น ถ่านกัมมันต์จากถ่านหิน เป็นต้น ทำให้ไม่คุ้มทุนสำหรับการลงทุนผลิตของผู้ประกอบการในประเทศไทย

เมื่อพิจารณาจากปริมาณการนำเข้า-ส่งออกสินค้าประเภทถ่านกัมมันต์ พบร่วมกับไทยยังคงนำเข้าผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ ในปี พ.ศ. 2549 มีมูลค่า 349 ล้านบาท จากประเทศไทยต่างๆ เช่น สาธารณรัฐเชก

ญี่ปุ่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย เป็นต้น ขณะเดียวกัน ไทยมีมูลค่าส่งออก สูงถึง 171 ล้านบาท โดยประเทศที่ส่งออกหลัก คือ ประเทศไทยรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น บรasil โดยถ่านกัมมันต์ของไทยมีแนวโน้มที่จะสามารถทำการส่งออกไปจำหน่ายในต่างประเทศได้สูงขึ้น โดยเฉพาะผู้ผลิตที่ใช้กระบวนการพิริวต์เปลือกผลไม้ เป็นวัตถุดินเนื่องจากมีผู้ผลิตจากประเทศอื่นๆเพียงไม่กี่ประเทศที่สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ได้ ซึ่งได้แก่ ศรีลังกา มาเลเซีย และฟิลิปปินส์

### 2.3.2 ผู้ผลิต

ปัจจุบันมีผู้ผลิตถ่านกัมมันต์ในประเทศไทยจำนวน 5 ราย โดยเป็นผู้ผลิตขนาดเล็ก มีทุนจดทะเบียนไม่เกิน 10 ล้านบาท 3 ราย และขนาดกลางมีทุนจดทะเบียน 50-60 ล้านบาท 2 ราย โดยวัตถุดินน้ำที่ใช้ในการผลิตสามารถหาได้ภายในประเทศไทยทั้งหมดที่สำคัญ คือ กะละมะพร้าว กะลาปาล์มน้ำมัน แกลบ จี๊เลือย เป็นต้น ซึ่งต้องนำไปเผาให้เป็นถ่านก่อนนำไปใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์และสารเคมีบางชนิด เช่น ชิงค์คลอไรค์ กรดฟอสฟอริก ฯลฯ ส่วนเครื่องจักรที่ใช้ คือ เตาเผาแบบหมุน ซึ่งออกแบบสร้างโดยทีมวิศวกรและนักเคมีผู้เชี่ยวชาญ จากข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรมมีผู้ผลิตถ่านกัมมันต์ภายในประเทศไทย จำนวน 5 ราย ดังนี้

ตารางที่ 2.5 แสดงรายชื่อผู้ผลิตถ่านกัมมันต์ในประเทศไทย

ลำดับ	ชื่อ ที่อยู่	ประเภท	จำนวน
1. พีอ คาร์บอน	167 หมู่ที่ 3 ถ.บ่อสร้าง-ดอย สะเก็ค ต.ตลาดใหญ่ อ.ดอย สะเก็ค จ.เชียงใหม่ Tel: (01) 9517725	ถ่านกัมมันต์	60 ล้านบาท
2. หจก. เชียงใหม่ ธัญญผล	170หมู่ 4 ถ.เชียงใหม่-พิริวต์ ต.สันทรายน้อย อ.เมือง จ.เชียงใหม่ Tel: (053)491987	ถ่านกัมมันต์	7.6 ล้านบาท
3. บริษัท วินมิลล์ เคมีกอล จำกัด	หมู่ 1 ถ.พระพุทธบาท ต.ท่าอุ้ง  อ.กาญจนดิษฐ์	ผลิตถ่านกัมมันต์ ชนิดเม็ด	10 ล้านบาท

15593657



4. บริษัท การโน้ต กัญจน์ จำกัด	จ. สุราษฎร์ธานี  77/6 หมู่ 9 ช.คลองหนอง ใหญ่ ต.สุขาภิบาล 1 แขวง/ เขตบางแค <sup>กทม.</sup> 10160 Tel: 0-2454-2876-80	ผลิตถ่านกัมมันต์ ชนิดเม็ด	50 ล้านบาท ก 75 ล.ก. 2554 TS ๑๕๖.๘ ๙๒๗๖ ๔๕๗
5. บริษัท ซี.ไอ.แคน ติค คาร์บอน จำกัด	67หมู่ 2 ต.นครราชสีมา- โชคชัย ต.หนองบัวคลາ อ.เมือง จ.นครราชสีมา Tel: (044) 312351		60 ล้านบาท

### 2.3.3 การลงทุน

ด้านการลงทุนนี้ส่วนใหญ่จะใช้ในการลงทุนด้านสินทรัพย์固定資産 80% ประกอบด้วยค่าเครื่องจักร ยานพาหนะและอุปกรณ์สำนักงาน ส่วนอีก 20% เป็นเงินทุนหมุนเวียนที่ใช้ในการดำเนินงาน กิจการ ซึ่งเป็นทั้งค่าใช้จ่ายในการผลิตผลิตสินค้าและค่าใช้จ่ายในการตลาด ณ การลงทุนขั้นต้น 50 ล้านบาท ทำการผลิตและจำหน่ายถ่านกัมมันต์ 8000 ตัน/ปี ในระดับราคาจำหน่าย 30000 บาท/ตัน จะมีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี โดยได้รับผลตอบแทนจากการลงทุน 38.6% ณ อายุโครงการ 5 ปี ซึ่งได้รับผลตอบแทนสูงเชิงเด่นโดยตลอดจากกำไรสุทธิ 10% ของยอดขาย

จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์มีกลุ่มตลาดที่กว้างขวางมาก ไม่จำกัดอยู่ในอุตสาหกรรมหนึ่งเป็นการเฉพาะ ฉะนั้นผู้ผลิตถ่านกัมมันต์จะมีความเสี่ยงด้านพื้นที่ตลาดก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อตัวเอง นอกเหนือไปจากนี้ ไม่เพียงแต่มีตลาดอยู่ในประเทศไทยเท่านั้น ปัจจุบันยังสามารถทำการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้อีกด้วย แม้ว่าจะต้องอาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศบางส่วน แต่ก็มีแนวโน้มว่าจะสามารถหาแหล่งการนำเข้าได้มากขึ้น เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทยไม่เป็นที่ยอมรับจากผู้ใช้งานนักโดยผู้ใช้มักมีทักษะดีและความเชื่อมั่นในสินค้าที่นำเข้าจากต่างประเทศว่ามีคุณภาพดีกว่าสินค้าที่ผลิตภายในประเทศ

ทั้งนี้ถ่านกัมมันต์บางชนิดที่ยังไม่มีการผลิตในประเทศไทยเนื่องจากปริมาณความต้องการยังไม่มาก พอ รวมทั้งวัตถุคุณภาพในประเทศไทยไม่เอื้ออำนวยต่อการผลิต เช่นถ่านกัมมันต์จากถ่านหิน เป็นต้น ทำให้ไม่คุ้นเคยสำหรับการลงทุนผลิตของผู้ประกอบการในประเทศไทย เมื่อพิจารณาปริมาณการนำเข้า-ส่งออก สินค้าประเภทถ่านกัมมันต์ในปี พ.ศ. 2549 มีมูลค่า 349 ล้านบาท จากประเทศต่างๆ เช่น สาธารณรัฐเชก

ญี่ปุ่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย เป็นต้น ขณะเดียวกัน ไทยมีมูลค่าส่งออกสูงถึง 171 ล้านบาท โดยประเทศที่ส่งออกหลัก คือ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น บรasil โดยถ่านกัมมันต์ของไทยมีแนวโน้มที่จะสามารถทำการส่งออกไปจำหน่ายในต่างประเทศได้สูงขึ้น

#### 2.3.4 บุคลากรและแรงงานที่เกี่ยวข้อง

ณ ปริมาณการผลิต 7,000-8,000 ตัน/ปี ใช้เงินลงทุนประมาณ 47-50 ล้านบาท (ไม่รวมค่าที่ดิน และสิ่งปลูกสร้างซึ่งจะเปรียบเทียบตามราคาประเมินของสถานที่ตั้ง โรงงาน) โดยประกอบด้วยการลงทุนด้านสินทรัพย์ทั่วไปประมาณ 40 ล้านบาท หรือ 80% ของเงินลงทุนโดยเป็นค่าเครื่องจักร 30 ล้านบาท หรือประมาณ 75% ของเงินลงทุนทั้งหมด การลงทุนด้านayan พาหนะและอื่นๆ ประมาณ 8,280,000 บาท และการลงทุนด้านเครื่องใช้สำนักงานและตกแต่ง 1,720,000 บาท ทั้งนี้ต้องการเงินทุนหมุนเวียนเพื่อเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานประมาณ 7 ล้านบาท/เดือน โดยประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายด้านวัสดุคุณภาพ แรงงานการผลิตและค่าโสหุ้ยการผลิตประมาณ 83.5% และค่าใช้จ่ายด้านการตลาดและการบริหารประมาณ 16.5% ของเงินทุนหมุนเวียนทั้งหมด โดยได้รับกำไรเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10 ของรายได้จากการขาย

ตารางที่ 2.6 ประมาณการโครงสร้างต้นทุนในการผลิตของผู้ประกอบการ เป็นดังนี้

ประเภท	ประมาณ (%)
1. วัสดุคุณภาพในประเทศ	60%
2. ค่าใช้จ่ายแรงงาน	10-20%
3. ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร	5%
4. โสหุ้ยการผลิต	15%
รวม	100%

ณ การลงทุนขั้นต้น 50 ล้านบาท ทำการผลิตและจำหน่ายถ่านกัมมันต์ 8,000 ตัน/ปี ในระดับราคาจำหน่าย 30,000 บาท/ตัน จะมีระยะเวลาคืนทุน 2-3 ปี โดยได้รับผลตอบแทนจากการลงทุน 38.6% ณ อายุโครงการ 5 ปี ซึ่งได้รับผลตอบแทนสูตรที่เท่ากัน โดยตลอด

#### 2.4 วิจัยเกี่ยวกับถ่านกัมมันต์ภายในประเทศ

พิชัย ธรรมเดชวนิช [7] ศึกษาการผลิตและประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์จากยางล้อใช้แล้วเพื่อหาเทคนิคที่สามารถควบคุมกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ในขนาดพืชุนตามที่ต้องการได้ โดยนำยางรถยนต์ที่แยกเฉพาะส่วนที่ต้องการ นำมานำคเป็นผงและให้ความร้อนที่เหมาะสมจนได้เป็นถ่านออกมานอกนั้นก็นำไปอัดเม็ดและบรรจุท่อ ก่อนนำไปทดลองใช้จริง พอบว่าสามารถพัฒนาเทคนิคในการผลิตถ่านกัมมันต์

จากยางล้อใช้แล้วที่มีความสามารถในการดูดซับฟืนออลเทียนได้กับถ่านกัมมันต์ทางการค้า และมีความสามารถในการดูดซับสีข้อมินทรีย์สูงกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า

**สุภากรณ์ เชื้อประเสริฐ [8]** ศึกษาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ประโยชน์ในการดูดซับโลหะ โครเมียม หาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับมากที่สุด พนวจฯ โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวประมาณ 600-1,500 ตารางเมตรต่อกรัม รูปทรงของถ่านกัมมันต์มีขนาดอยู่ระหว่าง 20-20,000 อั้งสตรอม วัตตุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันตนั้นมีหลายชนิด ได้แก่ ไม้, กระ吝ะพร้าว, ถ่านหิน, ถ่านโกึก, กระดูก, ขี้เลือย, กาบเมล็ดกาแฟ, เปลือกของผลไม้บางชนิด เช่น เปลือกมะนาว เป็นต้น

**บุญ สวัสดิ์ชัย [9]** ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากชั้งข้าวโพดสำหรับกำจัดโครเมียมจากน้ำเสีย ของโรงงานอุตสาหกรรม โดยการนำมาผ่านกระบวนการกระตุ้นทางกายภาพ เริ่มจากการเผาถ่านชั้ง ข้าวโพดในเตาเผาอันจากอากาศที่อุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  ถึง  $500^{\circ}\text{C}$  แล้วผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำขึ้น化เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พนวจฯ ว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นสามารถนำไปใช้ในการจับโครเมียมในน้ำทึ่ง จากโรงงานอุตสาหกรรมได้

**พิศาล อรรถคำและคณะ [10]** ศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จาก กระ吝ะพร้าวและทำการปรับปรุงเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) โดยการติดตั้ง Orifice Meter เพื่อวัด อัตราการไหลของอากาศและก๊าซหุงต้ม ติดตั้งลิ้นลมหมุน เพื่อควบคุมอัตราการการไหลของอากาศ ส่วน อัตราการไหลของน้ำใช้การควบคุมแบบหยดน้ำและช่องแซมระบบการป้องกันการสูญเสียความร้อน โดยใช้ปูนหนไฟใหม่มีริเวณฝ่าครอบเตา พนวจฯ อุณหภูมิที่ใช้คือ  $900^{\circ}\text{C}$  เวลา 20 นาที ปริมาณถ่าน เริ่มต้น 80 g ค่าความสามารถในการดูดซับไอโอดีน  $730\text{-}750 \text{ mg/g}$  ร้อยละของผลผลิตเฉลี่ยเป็น 50.45

**วิญูรัล ไสกพา กิจโภศ แฉะ กาวิณี วุฒิกุล [11]** ได้ทดลองการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จาก กระ吝ะพร้าวและเปลือกข้าว นำมายิ่งเคระห์ค่าการดูดซับไอโอดีน ทึ่งสองวิธี คือ การไตรเตอร์แบบโพเทนชิโอมิเตอร์และไตรเตอร์แบบไอโอดิเมตري พนวจฯ วิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน โดยวิธี ไตรเตอร์แบบโพเทนชิโอมิเตอร์จะให้ผลการทดลองที่มีความถูกต้องมากกว่าวิธีการไตรเตอร์แบบไอโอดิเมตري นั่นคือมีค่าการดูดซับไอโอดีนดังนี้ ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $7\text{-}10 \text{ mm}$ ) ได้ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย  $15.2 \text{ mg/g}$  ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดขนาดกลาง (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $5\text{-}7 \text{ mm}$ ) ได้ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย  $162.0 \text{ mg/g}$  จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์แบบผง ได้ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย  $249.9 \text{ mg/g}$  สำหรับถ่านกัมมันต์จากเปลือกข้าวเตรียม ได้เฉพาะแบบผงมีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย  $248.1 \text{ mg/g}$

อุราระณ อุ่นแก้ว [12] ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์เม็ดจากคลาไมฟ์ร้า โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำแล้ววิเคราะห์ทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์ พนว่าอุณหภูมิที่ใช้ตั้งแต่ 700- 1,075 °C เวลาตั้งแต่ 30-130 นาที มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด 1540 mg/g Haedness number คิดเป็นร้อยละ 30-92 Methylene blue test มีค่าตั้งแต่ 0.005-0.371 g/g Apparent density ตั้งแต่ 0.31-0.59 g/cm<sup>3</sup>

จุฑามาส จิตต์เจริญ [13] ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากคลาปาร์ล์โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลาย ZnCl<sub>2</sub> พนว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ ใช้ความเข้มข้นของ ZnCl<sub>2</sub> 35% โดยนำหนัก และเวลาในปฏิกริยาการกระตุ้น 2 ชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิในการเผาคือ 700 °C ตามลำดับ และจากภาพ SEM พนว่าถ่านกัมมันต์มีรูพรุนขนาดเล็กและรูพรุนขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วไปในโครงสร้าง โดยมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากกว่ารูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมาก

นิสากร แสงนิล [14] ได้ศึกษาฤทธิกรรมการดูดซับจากการสร้างไอโซเทอมของวัสดุดูดซับโดยเทคนิคสเปกโทรสโคปีในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารละลาย พนว่าถ่านกัมมันต์ ถ่านแกลบ และถ่านแกลบเผา มีการดูดซับแบบภายในภายนอก สามารถวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุได้เท่ากับ 520.1 , 28.9 และ 35.7 cm<sup>2</sup>/g ตามลำดับ และพนว่าการดูดซับไม่เข้มกับพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับแต่ถูกควบคุมด้วยประจุบันผิวน้ำของวัสดุดูดซับหากจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับไอออกไซด์เหล่านี้ จะต้องปรับพื้นผิววัสดุดูดซับให้เป็นประจุลบ

ศิริลักษณ์ นิวิฐารยองค์ [15] ได้ศึกษาถ่านกัมมันต์จากคลาไมฟ์ร้าและเปลี่ยนข้าวโดยนำวัตถุดินมาผ่านขั้นตอนการทำให้เป็นถ่าน แล้วนำมาผ่านกระบวนการเพิ่มพื้นที่ผิวน้ำโดยการทำปฏิกริยากับสารเคมีคือ สารละลายสังกะสีคลอร์ไรด์ นำวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน พนว่าถ่านกัมมันต์จากคลาไมฟ์ร้าได้ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย 249.9 mg/g และที่ถ่านมันต์จากเปลี่ยนข้าวได้ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย 248.1 mg/g

จันควรตน์ นิมพานิช และคณะ [16] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยการนำคลาไมฟ์ร้าที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 30 นาที หากค่าวิธีและผลผลิตที่ได้ โดยเฉลี่ย 34.09 ทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 260 °F เป็นเวลา 3 ชั่วโมง วัดค่าแลดูไอโอดีนนัมเบอร์เฉลี่ยได้ 172 mg/g และทำการกระตุ้นทางเคมี โดยแซ่สารละลายซิงค์คลอร์ไรด์ ในอัตราส่วน 2 : 1 นำไปกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัดค่าแลดูไอโอดีนนัมเบอร์เฉลี่ย 534 mg/g

วีรากรส มั่นเมือง [17] ได้ศึกษากระบวนการทำบริสุทธิ์นำมันหล่ออلينเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วด้วยสารดูดซับชนิดต่างๆ ได้แก่ ชีโอลайте ดินขาวและเบนโทไนต์ โดยการจะผ่านเพียงครั้งเดียว โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของกลัมม์เป็น 1.5 นิ้ว อัตราส่วนระหว่างสารดูดซับกับน้ำมันหล่ออلينเครื่องยนต์ใช้แล้วเป็น 868.05 และ 1041.67 g/l ส่วนชีโอลайте ดินขาวและเบนโทไนต์ ถูกบรรจุอยู่ในกลัมม์ 4 นิ้ว พบว่ามีไฮโดรคาร์บอน อยู่ในช่วงเดียวกับน้ำมันหล่ออلينที่ยังไม่ได้ผ่านการใช้งาน มีความหนืดลดลง สีของน้ำมันผ่านเกลที่ทำให้กำหนดไว้และสารตะกั่วในน้ำมันลดลงด้วย

ธเรศ ศรีสุติพย์ และคณะ นิทัศนารุกุล [18] ได้ศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ่นและเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการกรองตื้น ด้วยโซเดียมคลอไรด์ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการเผาตัดดูบให้เป็นเกล้าถ่านพร้อมการกรองตื้นคือ  $800^{\circ}\text{C}$  ใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถ่านเปลือกหุ่นและถ่านเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 567 และ 532 mg/g ซึ่งต่ำกว่าข้อกำหนดมาตรฐานของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตเพื่อจำหน่าย ต้องมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ไม่ต่ำกว่า 600 mg/g แต่สามารถดูดติดผิวตะกั่วได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติมา ฤกษ์หร่าย และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากวงเครื่องกลวายโดยวิธีการกรองทางเคมี โดยการเผาที่อุณหภูมิ  $500^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที ในที่อันอากาศแล้วนำไปกรองตื้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วนถ่านวงเครื่องกลวายต่อสารละลายน้ำ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็น  $1.0 : 0.5$  ที่อุณหภูมิ  $900^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าจะให้ค่าเลขไอโอดีนเฉลี่ย  $1031.30 \text{ mg/g}$  ค่าการดูดซับเมทิลีนบูต 592.09 mg/g จากนั้นนำไปวิเคราะห์การดูดซับแคลเซียมไฮอนไดเนอยกว่า  $0.001 \text{ mg/l}$  และแมกนีเซียมไฮอน  $0.0299 \text{ mg/l}$

เทอดธรรม เย็นนาวย และวิศิษฐ์ วงศานนท์ [20] ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของซิงค์คลอไรด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกลามะพร้าวโดยทำการกรองในชั้นถ่านกลาที่อุณหภูมิ  $400^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นได้นำถ่านที่ผ่านกระบวนการกรองในชั้นถ่านไปก่อถ่านกัมมันต์ด้วยสารเคมี 2 ชนิด คือซิงค์คลอไรด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์โดยใช้ความเข้มข้นเท่ากัน 5.00 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนสารละลายน้ำต่อถ่านกลามะพร้าวเป็น  $2 : 1$  ที่อุณหภูมิ  $600 - 800^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 – 3 ชั่วโมง พบว่าถ่านกลามะพร้าวที่ผ่านการก่อถ่านกัมมันต์โดยใช้สารละลายน้ำ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีสมบัติที่ดีกว่าในกรณีใช้ซิงค์คลอไรด์ โดยการก่อถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงให้ค่าเลขไอโอดีนสูงสุด 621.9

ประราลี แวนแก้ว [21] ได้ทำการศึกษาการดูดซับของโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์โดยถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิห้องโดยการคนถ่านกัมมันต์  $1.5 \text{ g}$  ในสารละลายน้ำ โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์  $50 \text{ ml}$  ในช่วงเวลาต่างๆ จนถึง 180 วินาที พบว่าใน

เบสทั่งสองชนิด ความเข้มข้นของเบสจะหยุดลงหลังจากช่วงเวลา 40 นาที จำนวนโมลที่ถูกดูดซับ คือ  $5.0 \times 10^{-4}$  และ  $5.4 \times 10^{-4}$  โมลต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับสัมประสิทธิ์ในการดูดซับ คือ 59 และ 56 ลิตร ต่อโมล ตามลำดับ

ผลิตา นิทกานจารุกุล [22] ได้ศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกทุเรียนและเม็ดมะม่วงหิมพานต์ พบร่วงการดูดติดผิวตะกั่วจะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของน้ำเสียเพิ่มขึ้น ถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงกว่าเปลือกทุเรียน 90% และเปลือกทุเรียนมีประสิทธิภาพสูงกว่าเม็ดมะม่วงหิมพานต์

ปริชา ชีโนเรตโคชิน [23] ได้สร้างเตาไฟฟ้าเพื่อใช้เตรียมถ่านกัมมันต์จากกระ吝ะพร้าวและขุยมะพร้าว พบร่วงอุณหภูมิ  $400^{\circ}\text{C}$  ในที่อันอากาศให้ค่าร้อยละผลผลิตสูงสุด เมื่อนำไปกระตุ้นที่อุณหภูมิ  $800^{\circ}\text{C}$  ได้ถ่านกัมมันต์จากกระ吝ะพร้าวและขุยมะพร้าวที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 368 และ 585 mg/g ตามลำดับ ความหนาแน่น  $0.60$  และ  $0.06 \text{ g/cm}^3$  ตามลำดับ จากการหาความด้านทานของน้ำที่ผ่านถ่านที่มีปฏิริยาจากถ่านกระ吝ะพร้าวและขุยมะพร้าว พบร่วงความด้านทานของน้ำจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งของน้ำที่ผ่าน

วิชัย ธรรมสาธิและเกย์น พัตรมงคลกุญช์ [24] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่และซังข้าวโพด โดยการเผาใหม่ในที่อันอากาศและใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในการกระตุ้นและหาสภาพะที่เหมาะสม พบร่วง อุณหภูมิเผาเท่ากับ  $920^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนเกลือ : ไม้ไผ่เท่ากับ  $2 : 1$  ระยะเวลาเผา 50 นาที ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ  $670 \text{ mg/g}$  และร้อยละของผลผลิตที่ได้เท่ากับ 24% ส่วนสภาพะที่เหมาะสมของการเผาซังข้าวโพดคือ  $850^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนเกลือต่อซังข้าวโพดเท่ากับ  $4 : 1$  ระยะเวลาเผาเท่ากับ 70 นาที ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน  $736.98 \text{ mg/g}$  และร้อยละของผลผลิตได้เท่ากับ 13%

สยาม พินพ์ภาพันธ์ และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาสภาพะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกล้วนน้ำว้าดิน ใช้ในการดูดซับเครื่องกรองน้ำ โดยศึกษาสมบัติดังนี้ ความชื้น ค่าร้อยละของเล้า สารระเหย ปริมาณการรับอนคงตัว ปริมาณอินทรีย์การรับอน ค่าความเป็นกรดเป็นเบส การดูดซับของไอโอดีนและเมทิลีนบูลูโดยนำถ่านที่ผ่านการกรองอยู่ในเซชั่นที่อุณหภูมิ  $500^{\circ}\text{C}$  มากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วนถ่านต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น  $1 : 0.5$ ,  $1 : 1.0$ ,  $1 : 1.5$  และ  $1 : 2.0$  ตามลำดับ และเผากระตุ้นที่  $600\text{-}900^{\circ}\text{C}$  พบร่วง ถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการใช้เป็นตัวดูดซับในเครื่องกรองน้ำ เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีอุณหภูมิ  $800^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วน  $1 : 1.0$  ซึ่งมีค่าการดูดซับเมทิลีนบูลู  $595.93 \text{ mg/g}$  มีค่าการดูดซับไอโอดีน  $926.83 \text{ mg/g}$  ซึ่งสูงกว่าเกลท์มารฐานที่กำหนดไว้ คือ  $600 \text{ mg/g}$

## 2.5 งานวิจัยเกี่ยวกับถ่านกัมมันต์ในต่างประเทศ

Guzel และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาพิวของถ่านกัมมันต์ชนิดที่เป็นกรด โดยทำการดูดซับสารละลายน Methylene blue กับ Metanil yellow ทั้งนี้ เพราะว่า Metanil yellow ถูกผลักออกจากพิวของถ่านกัมมันต์ส่วน Methylene blue ถูกดึงดูดเข้าสู่พิวถ่านกัมมันต์

Issa I และคณะ [27] ได้ศึกษาเปรียบเทียบการเพิ่มพื้นที่พิวของไม้ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบโดยใช้ กรดโพแทสเซียมและไฮโดรฟอสเฟต เป็นตัวกระตุ้นเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างเป็นออกไซด์ซึ่งได้ตรวจสอบหลายวิธี โดยการไตรเตρท์โพเทนชิโอมิตรี โกรโนมาไทรกราฟี พนวจว่าไม้จากแหล่งกำเนิดเดียวกัน แต่โครงสร้างรูปทรงของถ่านที่ได้รับการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ มีพื้นที่พิวประมาณ  $2300 \text{ m}^2/\text{g}$  แตกต่างจากการใช้ไฮโดรฟอสเฟตกระตุ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งการเพิ่มพื้นที่พิวและความไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

Tiwari และคณะ [28] ได้ศึกษาการกำจัดโลหะหนัก เช่น ปรอท ด้วยถ่านกัมมันต์จากแกลบและเปลือกข้าว โดยศึกษาจากสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายซึ่งทำการศึกษาทั้งแบบแข็งและแบบคอลัมน์ และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ เวลาที่ปรอทสัมผัสกับตัวดูดซับ ขนาดอนุภาคของตัวดูดซับ ความเป็นกรดเป็นด่าง อัตราการไหลของปรอทที่ผ่านลงในคอลัมน์ และความสูงของตัวดูดซับที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ พนวจว่าแบบแข็งสามารถกำจัดปรอทได้ถึง 98% สำหรับแบบคอลัมน์จะกำจัดปรอทได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อถอดอัตราการไหลของปรอทและเพิ่มความสูงของตัวดูดซับที่บรรจุในคอลัมน์ได้อย่างเหมาะสม

Usmani และคณะ [29] ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากถ่านหินเกรดต่ำโดยใช้วิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมีซิงค์คลอไรด์ เป็น 1 : 2 และแข็งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พนวจว่าตัวดูดซับนี้มีค่าขนาดของรูพูนขนาด  $0.46 \text{ cm}^3$  ความกว้างของรูพูนโดยเฉลี่ยเท่ากับ  $0.98 \text{ nm}$  พื้นพิวของรูพูนขนาดเล็ก มีค่าการดูดซับไฮโอดีน  $142 \text{ mg/g}$  เป็นค่าที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์หาพื้นที่พิวโดยศึกษาจากการดูดซับเมทิลีนบูลู

Young Zou และคณะ [30] ได้ศึกษาถ่านกัมมันต์จากประเทศไทยที่ถูกเตรียมโดยใช้เกลในโลหะ การกระตุ้นด้วยโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ เพื่อวิเคราะห์หา วัตถุคุณ ขนาดอนุภาค และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น ถ่านที่ถูกกระตุ้นจะสามารถเพิ่มพื้นที่พิวดูดซับ  $2400 \text{ m}^2/\text{g}$  และสามารถดูดซับเมทิลีนบูลูได้ถึง  $440 \text{ mg/g}$

Kirubakaran,C.J.et al. [31] ได้ทำการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกลามะพร้าวโดยใช้  $\text{ZnCl}_2$  และ  $\text{H}_2\text{PO}_4$  เป็นสารกระตุ้นโดยทำการกระตุ้นในเครื่องแอดดิเวเตอร์ ทั้งแบบฟลูอิไดซ์เบดและ

แบบเบนนิ่ง พนว่า เวลาที่เหมาะสมคือ 2 ชั่วโมง การดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในฟลูอิไดร์เบคสูง กว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในแบบนิ่งและเครื่องแยกตัวเรตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบคจะ กระตุ้นรัตตุดิบขนาดใหญ่ ได้ดีกว่าแบบนิ่ง ทึ้งนี้เพราะพิวของวัตตุดิบสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ จากการทดลองพบว่าการใช้วัตตุดิบที่ มีขนาด 0.515 mm

Mukherjee,S and al. [32] ได้ทำการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากวัตตุดิบ 2 ชนิด คือ กระ吝ะพร้าวและเปลือกถั่วถั่วสิสง โดยใช้สารกระตุนต่างๆ คือ  $ZnCl_2$ ,  $CaCl_2$ ,  $NaoH$  และ  $H_2SO_4$  กระตุน ที่อุณหภูมิ 600 ถึง  $800^{\circ}C$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พนว่า เเล้วในถ่านกัมมันต์จากถั่วถั่วสิสงมากกว่าถ่านกัมมันต์จากกระ吝ะพร้าวและพบว่า  $ZnCl_2$  จะเป็นสารกระตุนที่ทำให้เกิดเส้าในถ่านกัมมันต์น้อยที่สุด

Johnson และคณะ [33] ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากผงถ่านหินขนาด  $8 \times 30$  เมช สำหรับ ความหนาแน่นปูรากฎเท่ากับ  $0.735 g/cm^3$  โดยการอบเม็ดถ่านหินให้แห้ง แล้วนำไปกระตุนด้วยก๊าซ ผสมระหว่าง ไอน้ำอิมตัวบวคยิงและก๊าซในโตรเรน อัตราการไหล 2.5 และ  $1000 ml/min$  ที่อุณหภูมิ  $760-860^{\circ}C$  เป็นเวลา 60 นาที นอกจากนี้ได้ทดลองถังผงถ่านหินด้วยกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 10 ก่อนนำมาระตุน พนว่าหลังจากถังสารเคมีออกแล้วมีค่าการดูดซับไอกोเดินสูงกว่าตอนที่ยังไม่ได้ถังสารเคมีออกไป ในขณะที่ยังไม่ถังสารเคมีจะมีร้อยละของเส้าสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการถังสารเคมีออกไปแล้ว

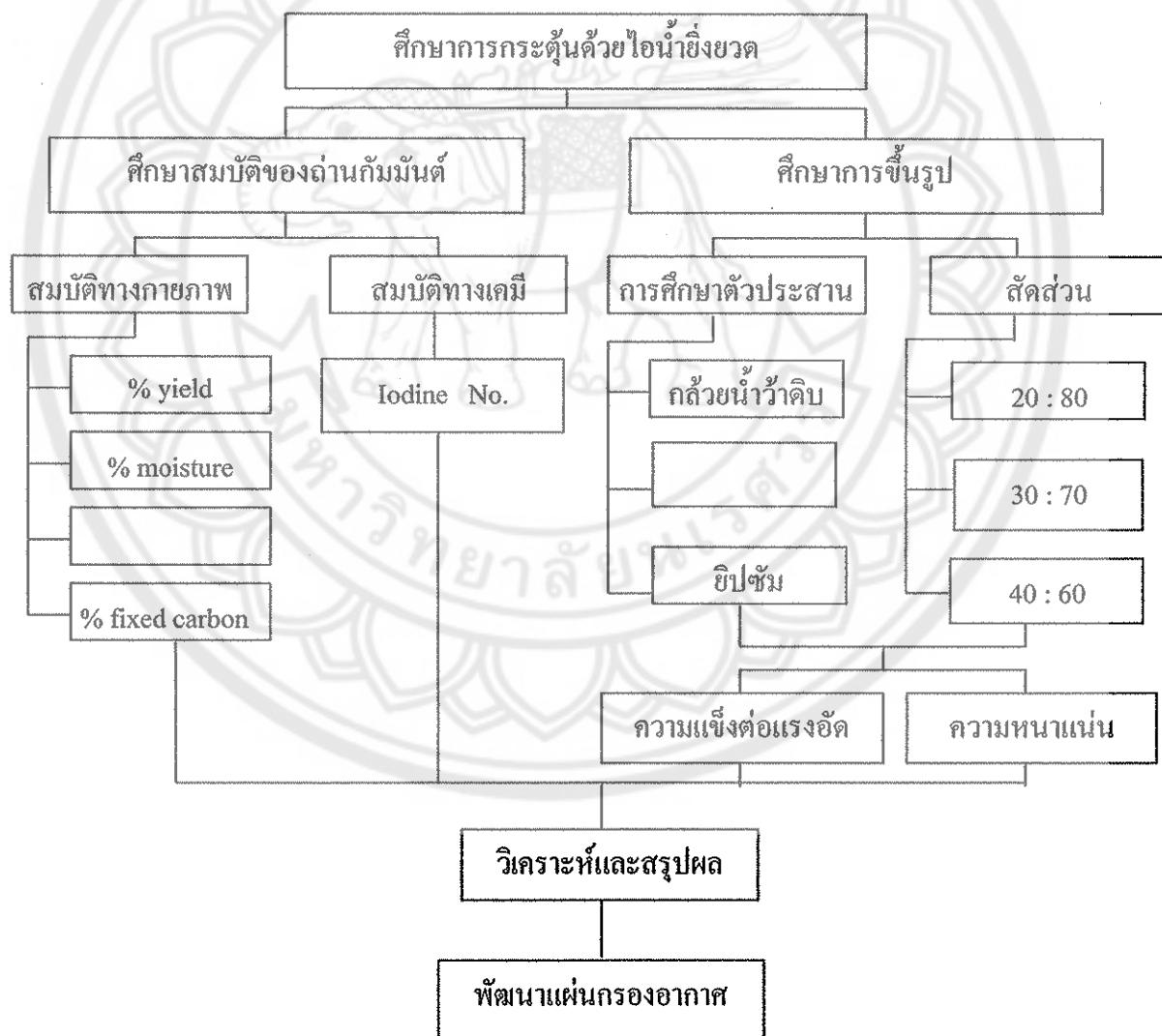
Ninomiya และคณะ [34] ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm นำมาคาร์บอนไซด์ที่อุณหภูมิ  $800^{\circ}C$  จากนั้นนำไปกระตุนในเครื่องแยกตัวเรตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบค ด้วยก๊าซระหว่างอากาศกับไอน้ำอิมตัวบวคยิง พบว่า มีค่าการดูดซับไอกอเดิน  $12.3 mg/g$  มีความ หนาแน่น  $448 g/l$  และมีค่าการดูดซับบนเซนร้อยละ  $38.2$  โดยน้ำหนัก

Jame R. Layton [35] ได้ศึกษาการทำงานของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในตู้ปลาทะเล พนว่าหากตู้ปลา ทะเลมีปริมาณสารอินทรีย์สูงจะมีผลทำให้อัตราการเกิดโรคสูงขึ้น อัตราการเจริญเติบโตในวัย เจริญเติบโตน้อยลง และไม่มีการเพิ่มจำนวนในปลาวัยเจริญพันธุ์ ดังนั้นการลดปริมาณสารอินทรีย์ในตู้ ปลาไม่จำเป็นและถ่านกัมมันต์เป็นทางเลือกที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพทางหนึ่ง โดยหลักเลี้ยง การเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่มาจากกระบวนการกระตุนทางเคมี เนื่องจากมีการปล่อยฟอสเฟต โลหะหนัก ทำให้ค่า pH เหี้ยงได้

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในบทนี้ได้กล่าวถึงวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย เพื่อทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2532) และ ASTM ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบร้อยละของผลผลิตที่ได้ (ASTM D 1087) ความชื้น (AWWA B 604) เล้า (ASTM D 2866) สารระเหย (ASTM D 5832) คาร์บอนคงที่ (ASTM D 5834) การดูดซับไฮโดรเจน ความแข็งต่อแรงอัด และความหนาแน่นปรากฏ (AWWA B 604) ตลอดจนศึกษาแหล่งผลิต กระบวนการผลิต ปริมาณการผลิต ต้นทุนการผลิต และราคาของถ่านกัมมันต์ตามท้องตลาด โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังรูปที่ 3.1



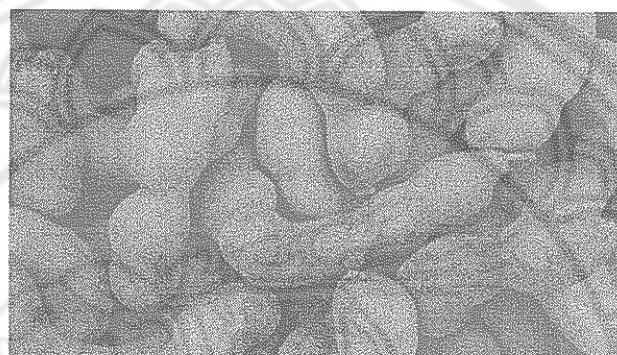
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ตอนที่ 1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

#### 3.1.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

##### 3.1.1.1 วัสดุเปลือกมะขาม

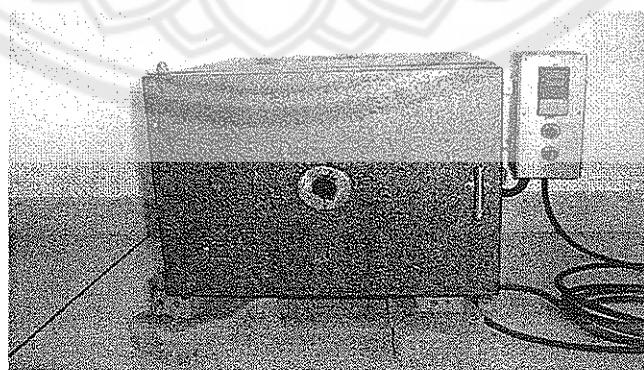
นักวิจัยได้เลือกเปลือกของฝักมะขาม มาใช้เป็นตัวอย่างของผงถ่านคาร์บอนในงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งเปลือกฝักมะขามเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถหาได้โดยทั่วไปของทุกภูมิภาคในประเทศไทย และมีมากในเขตภาคเหนือ



รูปที่ 3.2 เปลือกมะขาม

##### 3.1.1.2 เตาเผาควบคุมอุณหภูมิ

ใช้เตาเผาแบบปิดที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการเผาได้ จากห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกริก จังหวัดพิษณุโลก ทึ้งสองข้างของเตาเผามีขดลวดความร้อนซึ่งทนความร้อนได้สูงถึง  $1,000^{\circ}\text{C}$  ขดอยู่และมีเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิภายในเตา เพื่อให้เตาเผาสามารถทำงานตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด ไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.3 เตาเผาควบคุมอุณหภูมิและเวลา

### 3.1.1.3 เครื่องซั่งทكنิยมสีตัวแทน

เครื่องซั่งแบบดิจิตอล ที่ใช้ในการซั่งน้ำหนักของเปลือกมะขามควรเป็นเครื่องที่มีความละเอียดสูง (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง มีค่าความผิดพลาด 0.01%) ควรเป็นเครื่องที่มีฝาครอบปิดทุกด้านเนื่องจากผงถ่านมะขามที่จะนำมาซั่งมีขนาดเล็กมากและต้องการความแม่นยำสูง



รูปที่ 3.4 เครื่องซั่งทكنิยมสีตัวแทน

### 3.1.1.4 โถดุดความชื้นหรือเดซิเกเตอร์

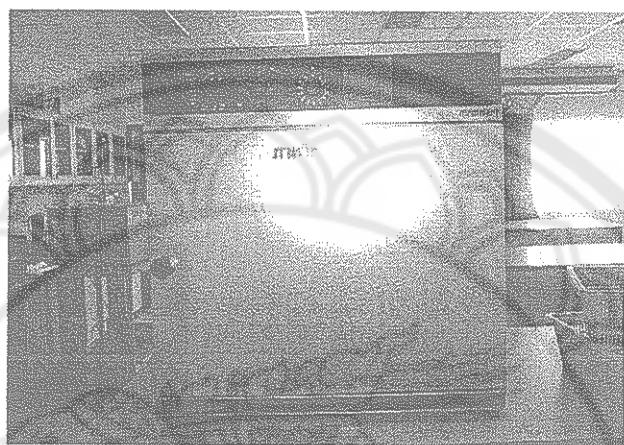
เดซิเกเตอร์หรือ โถดุดความชื้น เป็นภาชนะแก้วใช้สำหรับทำสารให้แห้ง เนื่องจากบรรจุสารที่สามารถดูดไอน้ำหรือความชื้นไว้ภายใน เรียกสารนี้ว่า เดซิแคนท์ เดซิแคนท์จะอยู่ทางตอนล่างของเดซิเกเตอร์ ถ้าสารดังกล่าวมีลักษณะสีเข้มพูหรือแดงต้องนำไปอบที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมงก่อน ส่วนตอนกลางจะมีแผ่นกระเบื้องเคลือบสำหรับวางสารที่ต้องการทำให้แห้ง



รูปที่ 3.5 โถดุดความชื้นหรือเดซิเกเตอร์

### 3.1.1.5 ตู้อบความคุณอุณหภูมิ

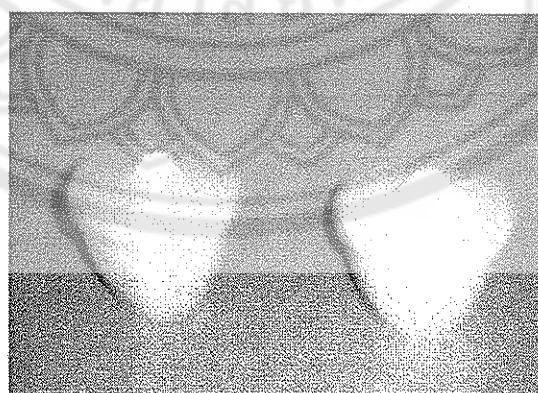
ตู้อบความคุณอุณหภูมิ ใช้ตู้อบจากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก สามารถกำหนดอุณหภูมิการอบได้ถึง  $300^{\circ}\text{C}$  และเวลาในการอบ ได้นานถึง 24 ชั่วโมง ภายในตู้อบมีชั้นสำหรับวางสารที่ต้องการอบแห้ง 2 ชั้น ใช้ทดสอบความชื้นโดยทำการอบที่อุณหภูมิ  $105^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (AWWA B 604) แล้วนำมาคำนวณค่าผ้าหนังก็ที่หายไป



รูปที่ 3.6 ตู้อบ

### 3.1.1.6 ถ้วยกระเบื้องหรือถ้วยครุชิเบิล

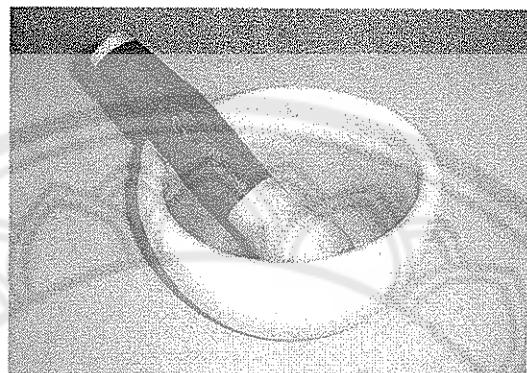
ถ้วยครุชิเบิลหรือถ้วยกระเบื้อง เป็นถ้วยที่มีความจุ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร และสามารถทนความร้อนสูงถึง  $1,000^{\circ}\text{C}$  ใช้ถ้วยกระเบื้องจากสำหรับทดสอบสมบัติทางกายภาพของถ่านกันมันต์ เช่น ความชื้น ปริมาณสารระเหย เส้า และปริมาณการบูนคงที่



รูปที่ 3.7 ถ้วยกระเบื้องหรือถ้วยครุชิเบิล

### 3.1.1.7 เครื่องบดสารหรือมอทาร์

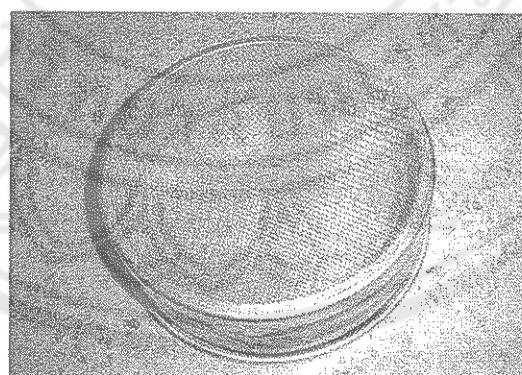
ใช้เครื่องบดสารจากห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ประกอบด้วย ถ้วยบรรจุสารและแท่นบดสาร สำหรับบดถ่านจากเปลือกมะขามและตัวประสานต่างๆให้เป็นผง เพื่อนำไปกระตุนทางกายภาพให้กลາຍเป็นถ่านก้มมันต์



รูปที่ 3.8 เครื่องบดสารหรือมอทาร์

### 3.1.1.8 เครื่องร่อนแป้ง

เครื่องร่อนแป้งขนาด 30 เมซ.ใช้สำหรับร่อนผงถ่านจากเปลือกมะขามที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดสารหรือมอทาร์เพื่อคัดผงถ่านให้ได้ขนาดตามต้องการและยังช่วยแยกสารอินทรีย์ที่เลือปนในผงถ่านอันเป็นอุปสรรคในการกระบวนการกระตุนถ่านก้มมันต์อีกด้วย



รูปที่ 3.9 เครื่องร่อนแป้ง

### 3.1.1.9 บีกเกอร์

ใช้บีกเกอร์ที่ใช้มีขนาด 1,000 ml , 500 ml และ 50 ml ใช้บรรจุถ่านจากเปลือกมะขามในการทดสอบสมบัติทางกายภาพ การอบ การบดและร่อนถ่าน ใช้ดวงปริมาณน้ำกลั่นในการกระบวนการกระตุน

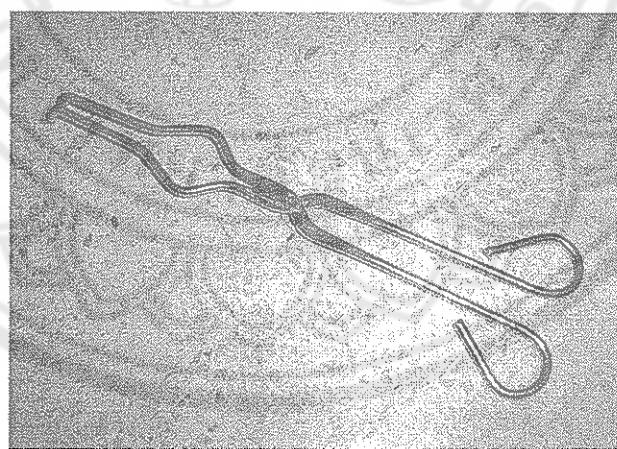
ถ่านกัมมันต์ด้วยหม้ออัดความดัน รวมทั้งบรรจุสารเคมีต่างๆที่ใช้ในการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)



รูปที่ 3.10 บีกเกอร์ขนาดต่างๆ

#### 3.1.1.10 กิมคีบถ้วยกูชิเบล

ใช้กิมคีบถ้วยกูชิเบลจากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก สำหรับคีบถ้วยกูชิเบลเข้าเตาเผาที่มีอุณหภูมิสูงและกิมคีบถ้วยกูชิเบลใส่ลงในโดดดุดความร้อนที่น้ำสังออกจากการเตาเผาร่วมทั้งคีบถ้วยกูชิเบลชั่งในเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งด้วย

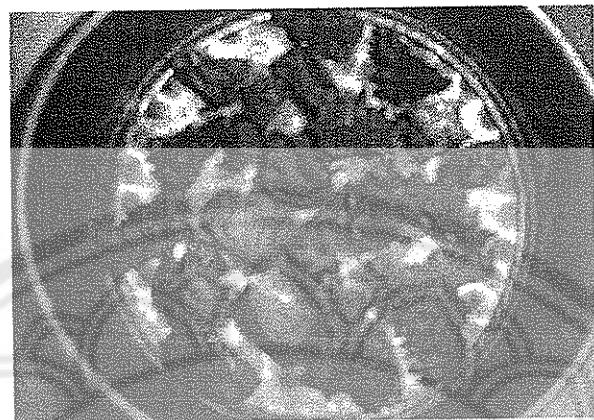


รูปที่ 3.11 กิมคีบถ้วยครูชิเบล

#### 3.1.1.11 หม้ออัดความดัน

เป็นหม้อที่ใช้ความดันสูงถึง 80 kpa มีความจุ 4 l อุณหภูมิภายในหม้ออัดความดัน 1,000 – 1,500 °C ประกอบด้วยรังผึ้งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 cm สูงจากก้นหม้อ 13 cm แต่ละรูมีเส้นผ่าศูนย์กลาง

0.5 cm มีตะแกรงขนาด 30 เมซ อญ্যหนึ่อรังผึ้งขึ้นไป 5 cm ฝาปิดมีปุ่มล็อก หากปิดฝาโดยไม่กดปุ่มล็อก ความดันภายในหม้อจะไม่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.12 หม้ออัดความดัน

### 3.1.1.12 เตาไฟฟ้า

เป็นเตาที่ให้ความร้อนได้โดยไฟฟ้าแทนการเผาไหม้ด้วยแก๊สหุงต้ม แผ่นความร้อนหน้าเตาขนาด 1,000 W ช่วยกระจายความร้อนอย่างทั่วถึงสามารถควบคุมอุณหภูมิด้วยปุ่มปรับระดับความร้อนได้ถึง 6 ระดับ หากอุณหภูมิของแผ่นความร้อนเกินระดับที่ได้ปรับตั้งไว้และจะเริ่มทำการตัดการทำงานเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่าระดับที่ตั้งไว้ โดยสังเกตจากไฟแสดงสถานะการทำงาน

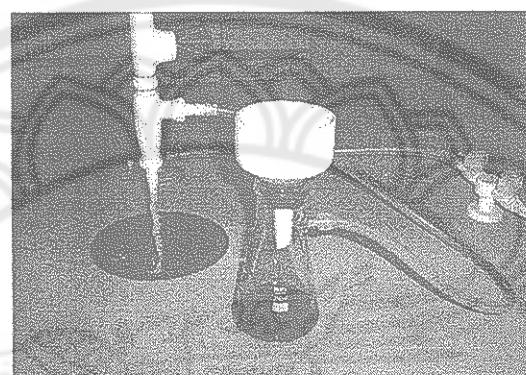


รูปที่ 3.13 เตาไฟฟ้า

### 3.1.2 การทดสอบสมบัติทางเคมี

#### 3.1.2.1 เครื่องกรองแบบสูญญากาศ (Buchner funnel)

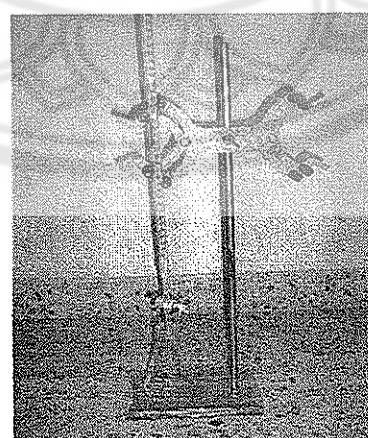
เครื่องกรองแบบสูญญากาศหรือบุชเนอร์ ประกอบด้วยขวดแก้วลักษณะคล้ายขวดรูปปั้มพูไว้ใส่สารละลายที่กรองได้ ใต้ปากขวดลงมาราว 1 นิ้วครึ่งจะมีท่อเล็กๆ สำหรับต่อ กับถ้วยยาง โดยปลายอีกข้างของถ้วยยางจะต่อ กับท่อน้ำซึ่งเป็นน้ำไว้ติดอยู่บนผู้ต้องการ what man เมอร์ 42 ภายในกรวยอะลูминินาที่ถูกถูกย่างขึ้น ไว้กับตัวของขวดแก้ว



รูปที่ 3.14 เครื่องกรองแบบสูญญากาศ

#### 3.1.2.2 ชุดการไฟเกรต

ชุดการไฟเกรตใช้สำหรับการวินิจฉัยห้าความเข้มข้นของสารละลายที่ซึ่งไม่ทราบความเข้มข้นจากสารละลายที่ทราบความเข้มข้นแล้วหรือที่เรียกว่าสารละลายน้ำตรฐาน อุปกรณ์ที่ใช้ในการไฟเกรตคือ ที่จับและขาดตึงสำหรับบีบบิวเรตซึ่งปลายของบิวเรตต์จะมีกีก็อกปิดเปิดสารละลายที่ต้องการหาความเข้มข้นและฟลาสสำหรับบรรจุสารละลายน้ำตรฐาน



รูปที่ 3.15 ชุดการไฟเกรต

### 3.1.2.3 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบค่าการดูดซับไฮโอดีน ได้แก่ โปเปตสเซียมไฮโอดีต ( $KIO_3$ ) โซเดียมไฮโซลฟ์ต ( $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ) โซเดียมคาร์บอนเนต ( $Na_2CO_3$ ) สารละลายมาตรฐานไฮโอดีน ( $I_2$ ) โปเปตสเซียมไฮโอดีน ( $KI$ ) สารละลายไฮโดรคลอริก ( $HCl$ ) น้ำมัน น้ำกลั่น



รูปที่ 3.16 สารเคมี

### 3.1.2.4 ปีเปตต์และกระเพาะยาง

ปีเปตต์เป็นอุปกรณ์วัสดุปริมาณตร โดยทุ่นปีเปตต์ลงในสารละลายให้ปลายปีเปตต์อยู่ต่ำกว่าระดับสารละลายตลอดเวลาที่ดูด ใช้กระเพาะยางดูดสารละลายให้ขึ้นมาในปีเปตต์อย่างช้าๆ เมื่อสารละลายขึ้นมาอยู่เหนือจุดอกปริมาณตรในปีเปตต์ ใช้นิ้วชี้ปิดปลายปีเปตต์ให้แน่นแล้วก็นิ้วชี้ขึ้นเพื่อปล่อยสารละลายลงในภาชนะ



รูปที่ 3.17 ปีเปตต์และกระเพาะ

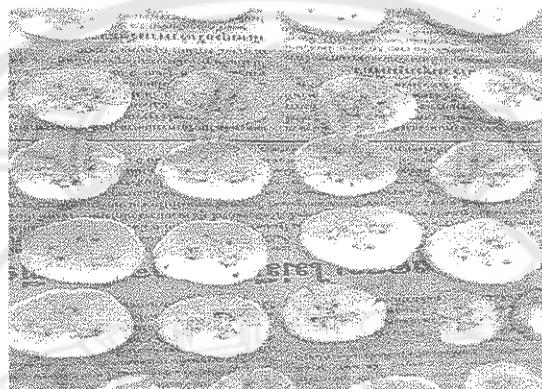
## ตอนที่ 2 การขึ้นรูปแผ่นการ์บอนและทดสอบความคงทน

### 3.1.3 การขึ้นรูปแผ่นการ์บอน

#### 3.1.3.1 วัสดุตัวประสาณ

##### (ก) กล้าวน้ำว้าดิน

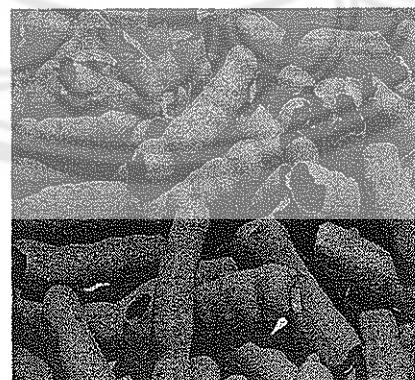
กล้าวน้ำว้าดินที่ใช้ในการทดสอบสมบัติต่างๆนี้ ได้จากกลุ่มแม่น้ำท่าโพธิ์ ตำบลท่าโพธิ์ อ่าเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งได้ทำการแปรรูปกล้าวน้ำว้าดินเป็นกล้าวน้ำเป็นอาทีพหลัก



รูปที่ 3.18 กล้าวน้ำว้าดิน

##### (ข) เปลือกมะขาม

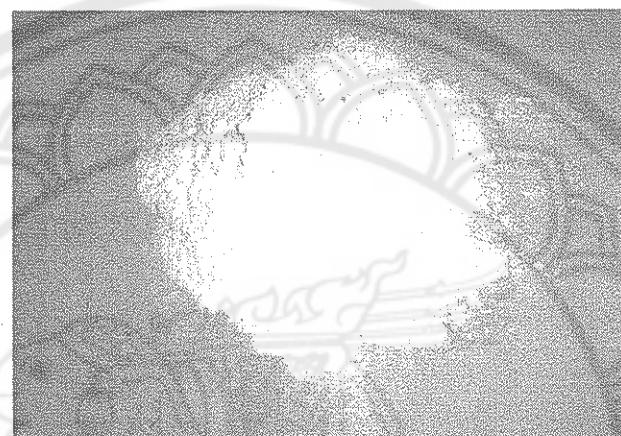
เปลือกมะขามทั้งนี้ทางกลุ่มวิจัยได้เลือกเปลือกของฝักมะขาม มาใช้เป็นตัวอย่างของผงถ่าน การ์บอนในงานวิจัยครั้งนี้งานวิจัยนี้ ซึ่งเปลือกฝักมะขามเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่สามารถหาได้โดยทั่วไปของทุกภูมิภาคในประเทศไทย



รูปที่ 3.19 เปลือกมะขาม

### (ก) ยิปซัม

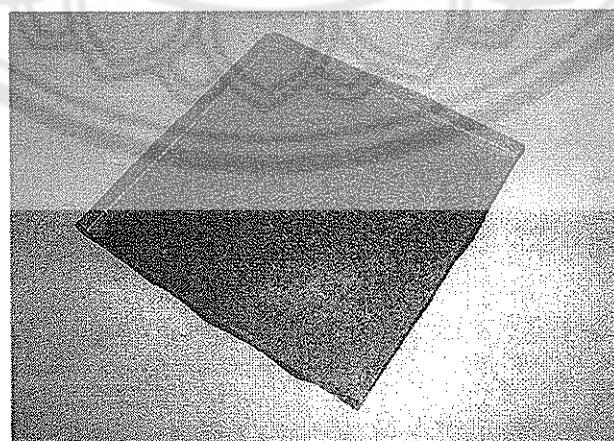
ผงยิปซัม หรือแคลเซียมซัลไฟต์ที่มีน้ำร่วมอยู่ด้วย ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) สามารถละลายได้ในกรดเกลือโดยไม่เกิดฟองฟุ้ง ใช้เล็บมือขีดเป็นรอยได้ ความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.2-2.4 โดยปกติจะใส่ห้องน้ำสีขาว แต่อาจจะมีสีอื่นได้ตามชนิดและปริมาณของผลทินที่ป่นอยู่ ผงยิปซัมที่ใช้ในการทดสอบสมบัติต่างๆนั้น ได้จากชุมชนพัฒนาและส่งเสริมภูมิปัญญาท้องถิ่นวัดไฝล้อม ตำบลกระแหง อําเภอเมือง จังหวัดตาก ซึ่งทำการผลิตฝ่ายยิปซัมเป็นอาชีพเสริม



รูปที่ 3.20 ผงยิปซัม

#### 3.1.3.2 แม่พิมพ์

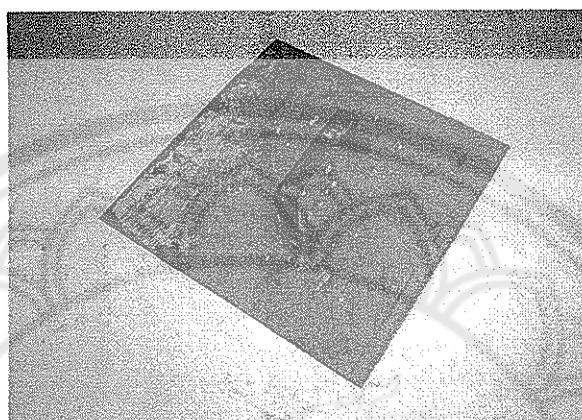
แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นการ์บอนเป็นอะลูมิเนียมขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ  $20 \times 20 \times 1 \text{ cm}$  สามารถทนความร้อนได้ถึง  $500^{\circ}\text{C}$  โดยทำการเชื่อมที่มุนทั้งสี่ด้านด้วยเทคนิค spot ซึ่งมีความแข็งแรง ทนทาน กว่าใช้เทคนิคบัดกรี



รูปที่ 3.21 แม่พิมพ์

### 3.1.3.3 แผ่นเหล็ก

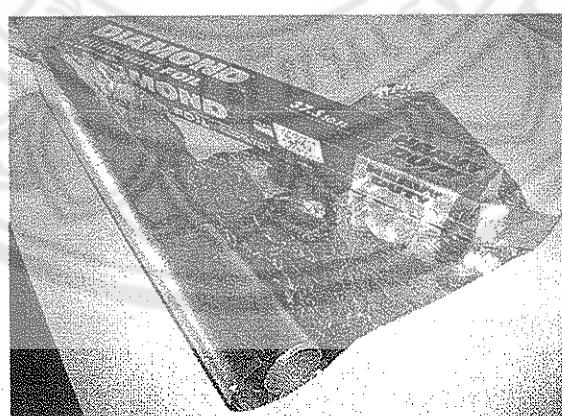
แผ่นเหล็กขนาด 50 นิวตัน สำหรับช่วยในการบีบอัดแผ่นการ์บอนในแม่พิมพ์ให้กระตัวกัน ใช่วางบนแม่พิมพ์ที่ห่อฟอยล์จะอบໄล์ความชื้น เพื่อให้ไม่เลกุลของถ่านชิดกันมากขึ้นมีหูหิ่วเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายออกจากเตาอบซึ่งมีอุณหภูมิภายในสูง



รูปที่ 4.22 แม่พิมพ์แผ่นเหล็ก

### 3.1.3.4 ฟอยล์

อะลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 7.5 ฟุต สำหรับห่อแม่พิมพ์บรรจุถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการทดสอบประสานสัดส่วนต่างๆ เพื่อป้องกันถ่านกัมมันต์ได้รับความร้อนโดยตรง ซึ่งอาจส่งผลให้แผ่นการ์บอนมีร้อยร้าวหรือแตกหักได้



รูปที่ 4.23 อะลูมิเนียมฟอยล์

### 3.1.4 การทดสอบค่าความหนาแน่นปูกระถางและค่าความแข็งต่อแรงอัด

#### 3.1.4.1 เครื่องทดสอบความแข็งต่อแรงอัด (Compressive Density)

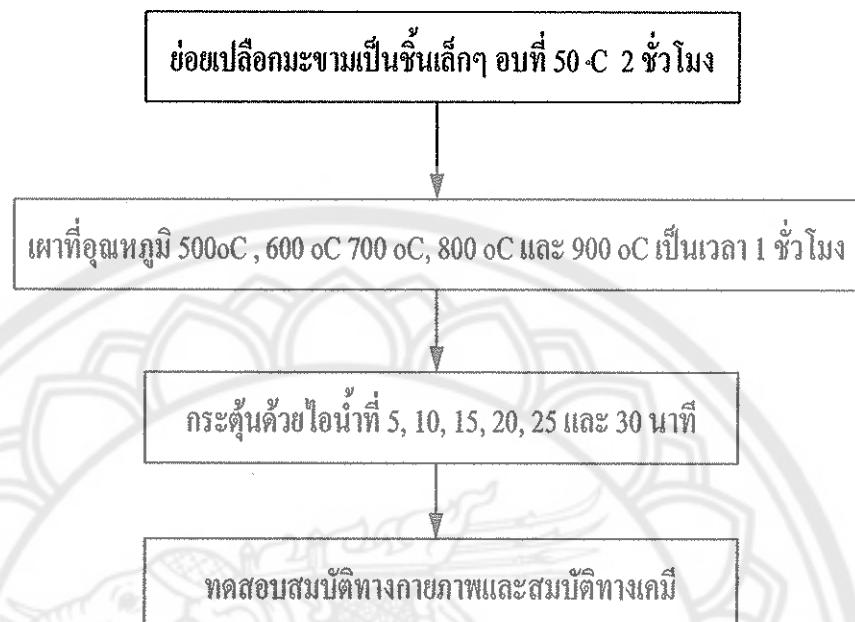
ใช้เครื่องทดสอบความแข็งต่อแรงอัด (Compressive Density) จากภาควิชาวิศวกรรมโยธาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยการวางแผ่นคาร์บอนไว้บนแท่นทดสอบ หมุนเกลียวกดแผ่นเหล็กลงมา แผ่นเหล็กดังกล่าวจะบีบอัดแผ่นคาร์บอนเมื่อแผ่นคาร์บอนมีร่องร้าวเครื่องกีจจะเพื่อบันทึกค่าความแข็งต่อแรงอัดรวมทั้งค่าความหนาแน่นปูกระถางของชิ้นงาน



รูปที่ 4.24 เครื่องทดสอบความแข็งต่อแรงอัด

### 3.2 วิธีการดำเนินการ

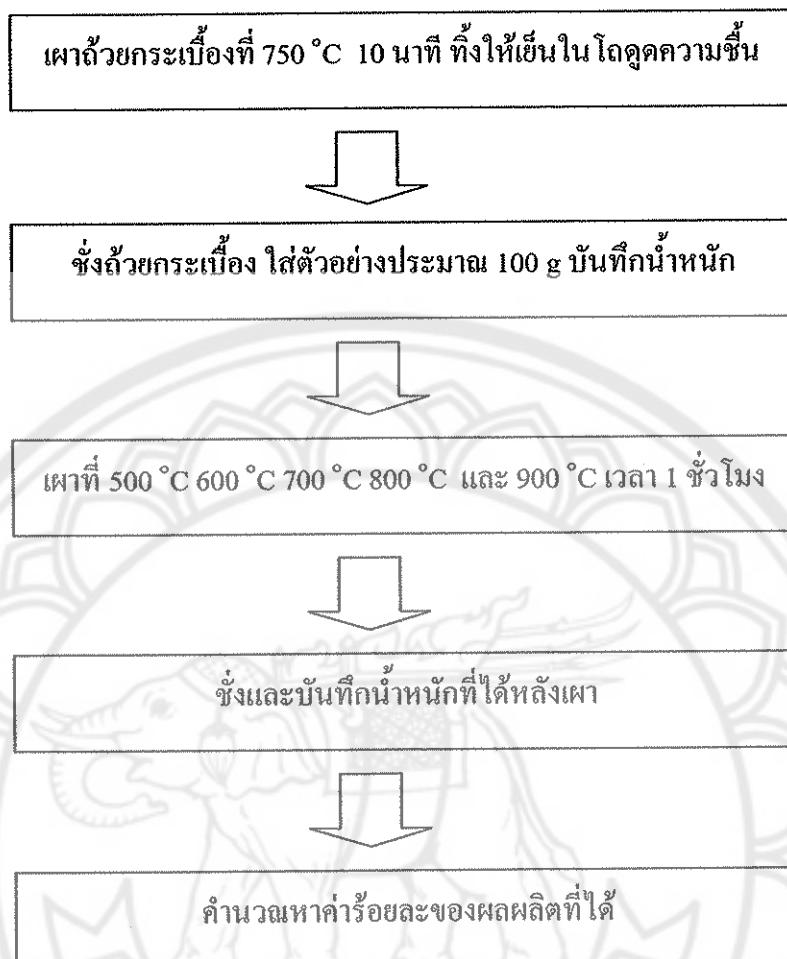
#### 3.2.1 การกระตุ้นเป็นถ่านกัมมันต์ด้วยหม้ออัดความดัน



รูปที่ 4.25 ขั้นตอนการทดสอบร้อยละของผลผลิตที่ได้

1. หันเปลือกมะขามเป็นชิ้นเด็กๆ อบในเตาอบที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโคลด์ครัวมีชื่อ
2. เผาถ้วยกระเบื้องในเตาเผาที่  $750^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10 นาที ใส่เปลือกมะขามประมาณ 100 g บันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างก่อนเผารวมน้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง
3. ทำการเผาที่อุณหภูมิ  $500^{\circ}\text{C}$ ,  $600^{\circ}\text{C}$ ,  $700^{\circ}\text{C}$ ,  $800^{\circ}\text{C}$  และ  $900^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่ง และบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถ่านจากเปลือกมะขามหลังเผารวมน้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง
4. เติมน้ำกลั่น 2 l วางถ่านจากเปลือกมะขามบนตะแกรงเหนือรังผึ้ง กระตุ้นด้วยความดันไอโอน้ำที่ 80 kpa เป็นเวลา 15 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที, 25 และ 30 นาที
5. ทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี ดังนี้

### 3.2.1.1 การศึกษาเรื่องลักษณะของผลผลิตที่ได้ (ตามมาตรฐาน ASTM D 1087)



รูปที่ 3.26 ขั้นตอนการทดสอบร้อบลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้

1. นำเปลือกมะขามไปปอกในเตาอบที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นพักให้เย็นในโถดูดความชื้น
  2. เผาถั่วกระเบื้องในเตาเผาที่  $750^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นพักให้เย็นในโถดูดความชื้น
  3. ซึ้งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถั่วกระเบื้อง
  4. ใส่เปลือกมะขามประมาณ 100 g ให้คละเข้าด้วยกันกับถั่วกระเบื้อง บันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างก่อนเพารวมน้ำหนักของถั่วกระเบื้อง
  5. เผาที่อุณหภูมิ  $400^{\circ}\text{C}$ ,  $500^{\circ}\text{C}$ ,  $600^{\circ}\text{C}$ ,  $700^{\circ}\text{C}$ ,  $800^{\circ}\text{C}$  และ  $900^{\circ}\text{C}$  เวลา 1 ชั่วโมง
  6. ซึ้งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถ่านจากเปลือกมะขามหลังเพารวน้ำหนักของถั่วกระเบื้อง
  7. คำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ ดังนี้

$$\text{ร้อยละของผลผลิตที่ได้} (\% \text{ yield}) = [100 - \{ (X-Y) / X \times 100 \}] \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\begin{array}{lcl} \text{เมื่อ} & X & = \text{น้ำหนักของเปลือกมะขามก่อนเผา (g)} \\ & Y & = \text{น้ำหนักของเปลือกมะขามหลังเผา (g)} \end{array}$$

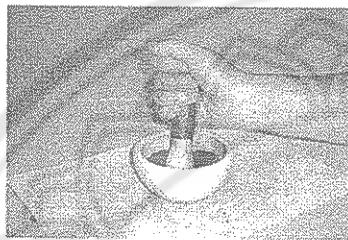
### 3.2.1.2 การศึกษาปริมาณความชื้น (ตามมาตรฐาน AWWA B 604 )



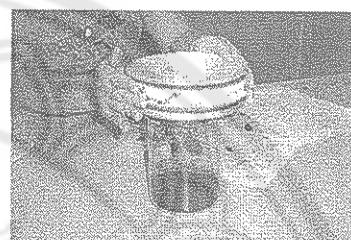
1. บดถ่านจากเปลือกมะขาม และนำมายัดบนกดด้วยตะแกรงคัดขนาด 0.2-0.5 mm
2. เผาถวยกระเบื้องในเตาเผาที่ 750 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในโคลุคความชื้น
3. ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถวยกระเบื้อง
4. ใส่พถ่านจากเปลือกมะขามประมาณ 2 g ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ในถวยกระเบื้อง บันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างก่อนอบแห้งรวมน้ำหนักของถวยกระเบื้อง
5. นำไปอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโคลุคความชื้น
6. ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างหลังอบแห้งรวมน้ำหนักของถวยกระเบื้อง

## 7. คำนวณหาค่าความชื้นดังนี้

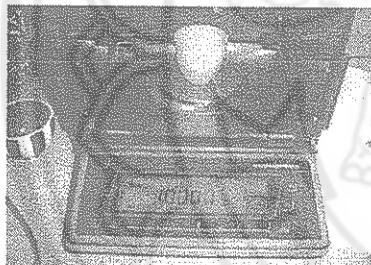
เมื่อ  $L$  = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ (g)  
 $K$  = น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (g)



รูปที่ 3.28 บดค่านมะขามให้ละเอียด



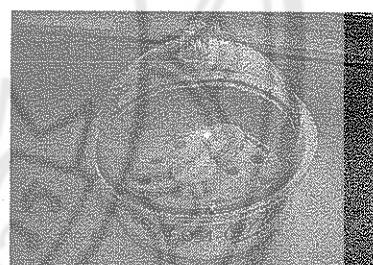
รูปที่ 3.29 ร่อนถ่านด้วยตะแกรงคัดขนาด



รูปที่ 3.30 ชั้นนำหนักเปลือก

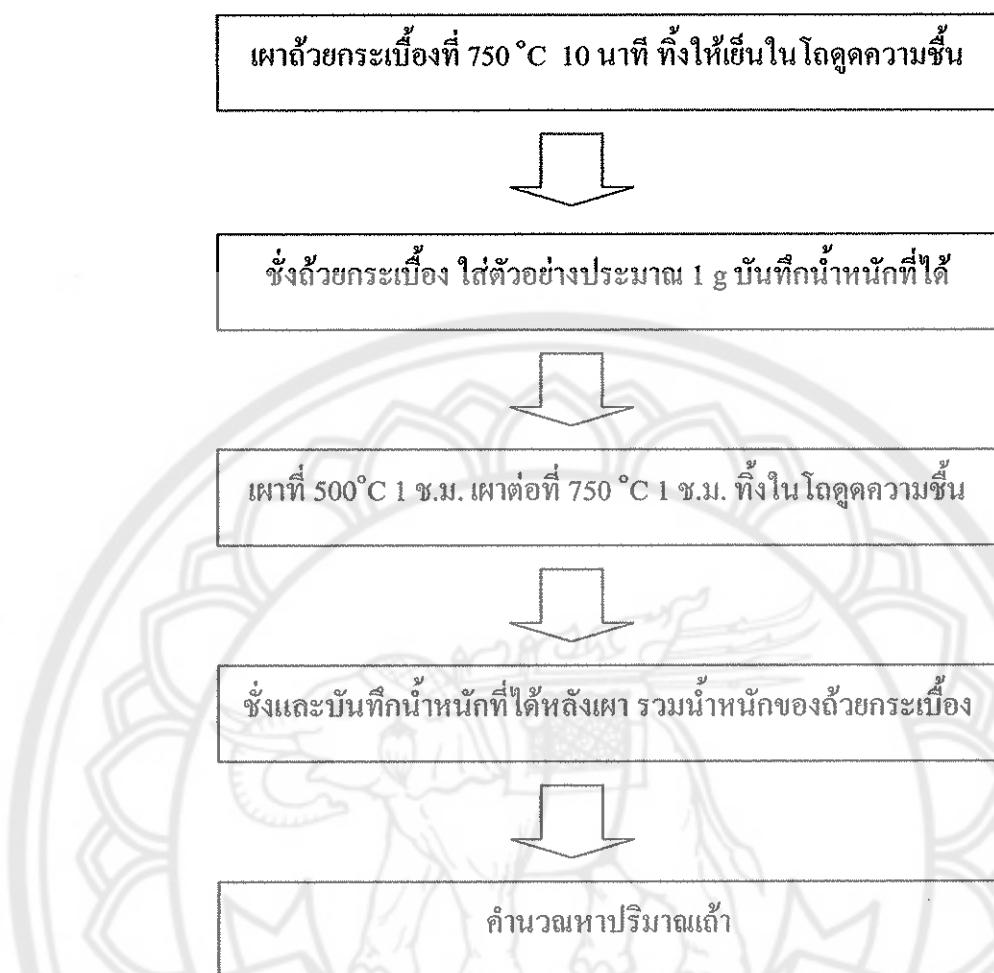


รูปที่ 3.31 อบถั่วขยะกระเบื้อง



รูปที่ 3.32 ทิ้งให้เย็นในโถดมความชื้น

### 3.2.1.3 การศึกษาปริมาณแก้ว (ตามมาตรฐาน ASTM D 2868)

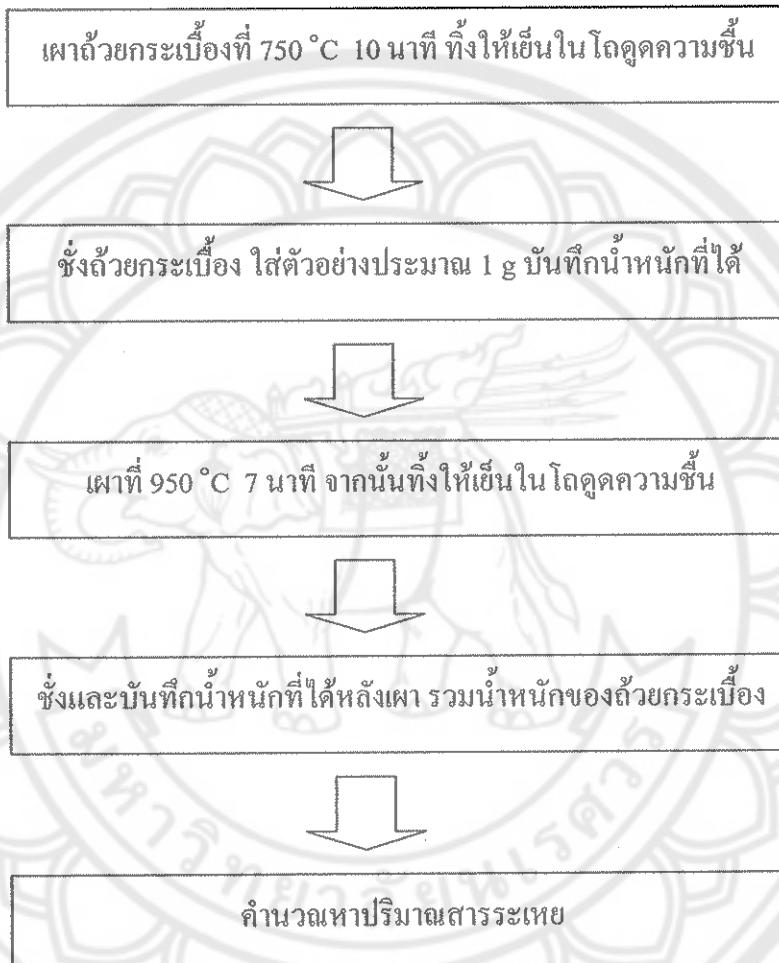


รูปที่ 3.33 ขั้นตอนทดสอบเล้า

1. บดถ่านจากเปลือกมะขาม และนำมาคั้นขนาดตัวตะแกรงคัดขนาด 0.2-0.5 mm
  2. เพาถัวยกระเบื้องในเตาเผาที่ 750 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นพิ่งให้เย็นในโคลุคความร้อน
  3. ชั้งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถัวยกระเบื้อง
  4. ใส่ผงถ่านจากเปลือกมะขามประมาณ 1 กรัม ให้ละเอียดเล็กๆ นิยมต้านแห่งที่ 4 ในถ้วยกระเบื้อง บันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างก่อนอบแห้งรวมน้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง
  5. นำไปเผาในเตาเผาความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วเผาต่อที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นพิ่งให้เย็นในโคลุคความร้อน
  6. ชั้งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างหลังผ่านรวมน้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง
  7. คำนวณหาค่าถ้าดังนี้

เมื่อ	T	=	น้ำหนักของถ้าพร้อมด้วยกระเบื้อง (g)
	J	=	น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง (g)
	U	=	น้ำหนักของตัวอย่างก่อนเผา (g)

### 3.2.1.4 การทึกษายาปริมาณสารระเหย (ตามมาตรฐาน ASTM D 5832)



รูปที่ 3.34 ขั้นตอนทดสอบสารระเหย

1. บดถ่านจากเปลือกมะขาม และนำมารักษาด้วยตะแกรงกัดขนาด 0.2-0.5 mm
2. เผาถ้วยกระเบื้องในเตาเผาที่ 750 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในโคลุคความชื้น
3. ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถ้วยกระเบื้อง
4. ใส่ผงถ่านจากเปลือกมะขามประมาณ 1 g ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ในถ้วยกระเบื้อง บันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างก่อนเผาร่วมน้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง
5. นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 7 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในโคลุคความชื้น
6. ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างหลังเผาร่วมน้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง

#### 7. คำนวณหาค่าสาระแห่ง ดังนี้

เมื่อ  $P$  = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนเผา (g)  
 $Q$  = น้ำหนักของตัวอย่างหลังเผา (g)

เมื่อ  $C$  = ร้อยละน้ำหนักที่สูญเสีย<sup>ชั้น</sup>  
 $M$  = ร้อยละความชื้น

### 3.2.1.5 การศึกษาค่าการ์บอนคงตัว (ตามมาตรฐาน ASTM D 5834)

ค่าการ์บอนฟุตเป็นค่าที่คำนวณผลรวมร้อยละของความชื้น เน้า และสารระเหยที่ก่อออกจากรถยนต์ 100 ลิตร ดังนั้นค่าการ์บอนฟุตคำนวณได้จากสูตร

เมื่อ  $A =$  ร้อยละเก้า  
 $VM =$  ร้อยละปริมาณสารระเหย  
 $M =$  ร้อยละความชื้น

### 3.2.1.6 การศึกษาค่าการดูดซับไฮโดรเดิน (ตามมาตรฐาน AWWA B 604)

สารคณิตศาสตร์

1) สาระภาษากรดไฮโดรคลอรอวิค ร้อยละ 5 ໂຄຍ້າຫັນັກ

ผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 70.00 ml ลงในน้ำகளின் 550.00 ml เข่าให้เข้ากัน

2) สารละลายน้ำตราชูนโป๊ಡເສເຈີຍໄອໂອດຕ 0.1000 N (normal, N)

ชั้งโปแลตเซียมไอโซเดต (Primary Standard Grade Potassium Iodate,  $KIO_3$ ) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ  $110^\circ C$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วพิ่งให้เย็นในโถ ดูความชื้น จำนวน  $3.5667\text{ g}$  ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น  $1,000\text{ ml}$

**3) สารละลายน้ำโซเดียมไนโตรซัลเฟต  $0.1 \pm 0.001\text{ N}$  (normal, N)**

ละลายน้ำโซเดียมไนโตรซัลเฟต (Sodium Thiosulfate,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )  $24.8200\text{ g}$  ในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือด  $75.00\text{ ml}$  เติมโซเดียมคาร์บอเนต  $0.1000\text{ g}$  ถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด  $1\text{ l}$  ทำให้เข้าจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร  $1,000\text{ ml}$  เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ทิ้งไว้อย่างน้อย  $4$  วัน ก่อนทำการตรวจสอบความเข้มข้น

**4) สารละลายน้ำโซเดียมไนโตรดีน  $0.1 \pm 0.001\text{ N}$  (normal, N)**

ชั้งไนโตรดีน  $12.7000\text{ g}$  และโปเปตเซียนไนโตรไนด์ ( $\text{KI}$ )  $19.1000\text{ g}$  ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น  $2\text{-}5\text{ ml}$  คนให้เข้ากันแล้ว ใช้ของแข็งละลาย คือยา เติมน้ำที่ละน้อย (ครึ่งละปะมาณ  $5.00\text{ ml}$ ) จนกระหึ่งให้สารสารละลายน้ำปะมาณ  $40\text{ ml}$  ทิ้งสารละลายไว้อย่างน้อย  $4$  ชั่วโมง คุณเป็นระบะเพื่อให้แน่ใจว่าของแข็งละลายหมด ถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด  $1\text{ l}$  ทำให้เข้าจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร  $1,000\text{ ml}$  เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ตรวจสอบความเข้มข้น กับสารละลายน้ำโซเดียมไนโตรซัลเฟต  $0.1000\text{ N}$

**5) น้ำเปลี่ยนขั้นร้อยละ  $10$  โดยน้ำหนัก**

สารละลายน้ำเปลี่ยน (Soluble Starch)  $1.0 \pm 0.5\text{ g}$  ในน้ำเย็น  $5\text{-}10\text{ ml}$  คนสารละลายน้ำเปลี่ยนกับน้ำกลั่นเพิ่มอีก  $25 \pm 5\text{ ml}$  เทสารละลายลงในน้ำเดือด  $1\text{ l}$  แล้วต้มต่อให้เดือดอีก  $4\text{-}5$  นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

**การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย**

**1) การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายน้ำโซเดียมไนโตรซัลเฟต**

(1) ปีเปตสารละลายน้ำเปลี่ยนโซเดียมไนโตรเจต ( $\text{KIO}_3$ )  $25.00\text{ ml}$  ใส่ในขวดรูปปั้นพู๊ขนาด  $250\text{ ml}$  เติมโปเปตเซียนไนโตรไนด์ ( $\text{KI}$ )  $2.0000\text{ g}$  เขย่าจนละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น  $5\text{ ml}$  ลงในขวดรูปปั้นพู๊

(2) ไหเกรตทันที่ด้วยสารละลายน้ำโซเดียมไนโตรซัลเฟต  $0.1\text{ N}$  เมื่อสีของสารละลายน้ำเปลี่ยนจากลงบนกระหึ่ง เป็นสีเหลืองอ่อน (ไกล์สิงจุด End Point) หยดน้ำเปลี่ยน  $2\text{-}3$  หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไหเกรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายน้ำโซเดียมไนโตรซัลเฟตที่ใช้ทำการไหเกรตครั้งต่อครั้งน้อย  $3$  ครั้ง

คำนวณ หาความเข้มข้นสารละลายน้ำโซเดียมไนโตรซัลเฟตโดยใช้สูตร

$$N_1 = (P \times R) / S \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

เมื่อ  $N_1$  = ความเข้มข้นของสารละลายน้ำโซเดียมไนโตรซัลเฟต ( $\text{N}$ )

P	=	ปริมาตรสารละลายน้ำ iodine (ml)
R	=	ความเข้มข้นสารละลายน้ำ iodine (N)
S	=	ปริมาตรสารละลายน้ำ iodine ที่ใช้ (ml)

## 2) การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายน้ำ iodine

(1) ปีเปตสารละลายน้ำ iodine 25.00 ml ใส่ในขวดรูปมนุษย์ขนาด 250 ml

(2) ไหเกรตทันที่ด้วยสารละลายน้ำ iodine 0.1000 N เมื่อสิ่งสารละลายน้ำ iodine ทางลงบนกระหั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ไกล์ลิงจุด End Point) หยดน้ำเปล่า 2-3 หยด สารละลายน้ำ iodine ไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายน้ำ iodine ที่ใช้ทำการไหเกรตซ้ำอีก 3 ครั้ง

คำนวณหาความเข้มข้นสารละลายน้ำ iodine โดยใช้สูตร

$$N_2 = (S \times N_1) / L \quad \dots \dots \dots (10)$$

เมื่อ	N <sub>2</sub>	=	ความเข้มข้นของสารละลายน้ำ iodine (N)
	S	=	ปริมาตรสารละลายน้ำ iodine ที่ใช้ (ml)
	N <sub>1</sub>	=	ความเข้มข้นของสารละลายน้ำ iodine (N)
	L	=	ปริมาตรสารละลายน้ำ iodine (ml)

## วิธีวิเคราะห์การหาค่า Iodine number

1) ชั้งผงถ่านตัวอย่าง 0.2500 g, 0.5000 g และ 1.0000 g โดยให้ละเอียคลึงทวนนิยมตำแหน่งที่ 4 ใส่ลงในขวดรูปมนุษย์ขนาด 250 ml

2) เติมสารละลายน้ำ iodine 0.1000 N ปริมาตร 50.00 ml เพช่า 30 วินาทีถึง 1 นาที

3) กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ทึ้งสารละลายน้ำ iodine ได้ในขวดแรก

4) ปีเปตสารละลายน้ำ iodine ได้มา 25.00 ml ใส่ในขวดรูปมนุษย์ขนาด 125 ml

5) ไหเกรตด้วยสารละลายน้ำ iodine 0.1000 N เมื่อสารละลายน้ำ iodine ทางลงบนกระหั่งเป็นสีเหลืองอ่อน หยดน้ำเปล่า 2-3 หยด สารละลายน้ำ iodine จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไหเกรตต่อจนสารละลายน้ำ iodine ไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายน้ำ iodine ที่ใช้ ทำซ้ำ 3 ครั้ง

6) คำนวณหาค่า iodine number โดย

ค่าการดูดซับจำเพาะของ iodine (X/M) ได้จากสูตร

$$\frac{X}{M} = \frac{A - (DF \times B \times S)}{M} \quad \dots \dots \dots (11)$$

เมื่อ  $\frac{X}{M}$  = มิลกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านที่ใช้ดูดซับ

A =  $(N_1)(12693.0)$

$N_1$  = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (N)

B =  $(N_2)(126.93)$

เมื่อ  $N_2$  = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไนโตรซัลเฟต (N)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไนโตรซัลเฟตที่ใช้

M = ปริมาณถ่านที่ใช้ (g)

DF = ค่าคงที่ของการเรือจาก หาได้จากสูตร

$$DF = \frac{I + H}{F} \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

เมื่อ I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (ml)

H = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% (ml)

F = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ในเทอร์ (ml)

เมื่อคำนวณหาค่า  $X/M$  ซึ่งเป็นค่าการดูดซับไอโอดีนแล้ว สามารถหาค่า X ได้โดยนำค่า M มาคูณกับค่า  $X/M$  ที่ได้ จากนั้นนำค่า X มาหาค่า  $\log X$  เพื่อนำค่า  $\log X$  ไปplotกราฟที่กับค่า  $\log C$  โดยค่า C หาได้จากสูตร

$$C = \frac{N_2 \times S}{F} \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ

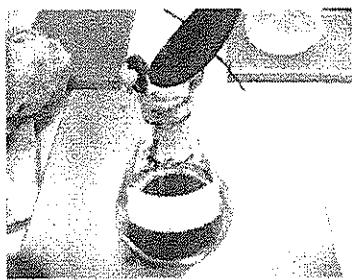
$N_2$  = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไนโตรซัลเฟต (N)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไนโตรซัลเฟตที่ใช้ (ml)

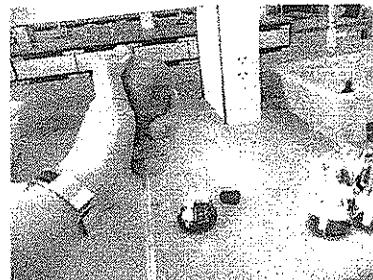
F = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ในเทอร์ (ml)

กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง จากสมการเส้นตรงของกราฟจะทำให้ทราบค่า y จากนั้นจะสามารถหาค่าไอโอดีนนั้นเบอร์ได้โดย

$$\text{Iodine Number} = 10^y \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$



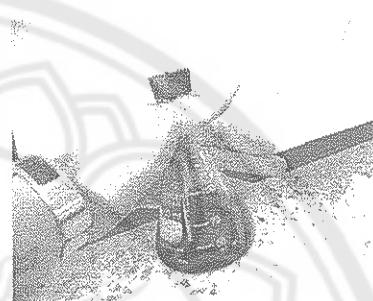
รูปที่ 3.35 ชั้งค่าน ใส่ข้าวครุปழนพ์



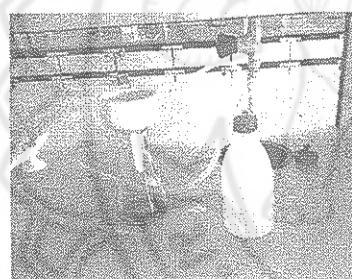
รูปที่ 3.36 นีเป็ตสารละลายน้ำไฮโคลอเริก



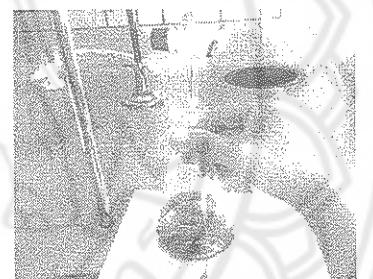
รูปที่ 3.37 ต้มให้เดือดประมาณ 10 วินาที



รูปที่ 3.38 เติมสารละลายน้ำไฮโอดีน



รูปที่ 3.39 กรองสารละลายน้ำที่ได้

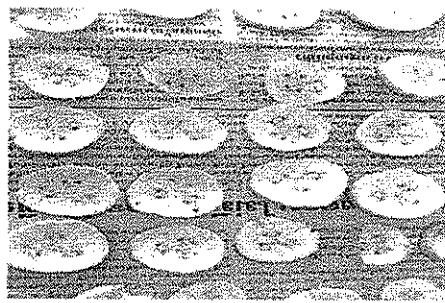
รูปที่ 3.40 ไถเครทด้วย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 

### 3.2.2 การขึ้นรูปแผ่นการรับอน

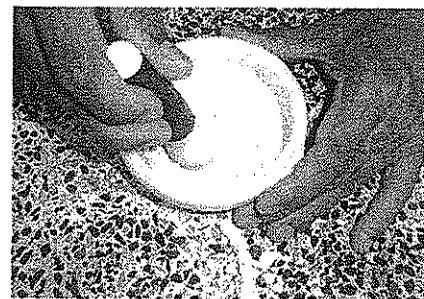
#### 3.2.2.1 การเตรียมตัวประสาน

##### (ก) กลั่วyan้ำว้าดิบ

- ตัดกลั่วyan้ำว้าดิบจากสวนกลั่วyan้ำว้า ตำบลทำโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก
- ใช้มีดปอกเปลือกกลั่วyan้ำว้าดิบแล้วฝานเป็นแผ่นบางๆ
- อบกลั่วyan้ำว้าดิบเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- บดกลั่วyan้ำว้าดิบให้ละเอียดเป็นผงด้วยเครื่องบดสารหรือ Motar
- ร่อนผงกลั่วyan้ำว้าดิบด้วยตะกรงคัดขนาด



รูปที่ 3.41 อบไอล์กามรีน

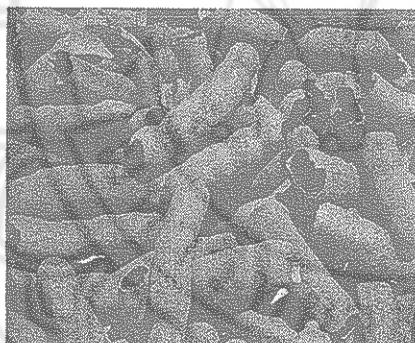


รูปที่ 3.42 บดให้เป็นผง

## (ข) เปลือกมะขาม

ทั้งนี้ทางกลุ่มวิจัยได้เลือกเปลือกของฝักมะขาม มาใช้เป็นตัวอย่างของผงถ่านคาร์บอนในงานวิจัยครั้งนี้งานวิจัยนี้ ซึ่งเปลือกฝักมะขามเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่สามารถหาได้โดยทั่วไปของทุกภูมิภาคในประเทศไทย

- อบเปลือกมะขามเพื่อ ไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- บดเปลือกมะขามให้ละเอียดเป็นผงด้วยเครื่องบดสารหรือ Motar
- ร่อนผงเปลือกมะขามด้วยตะแกรงคัดขนาด



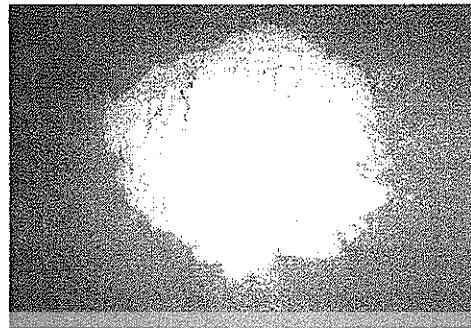
รูปที่ 3.43 เมล็ดมะขามรูปที่



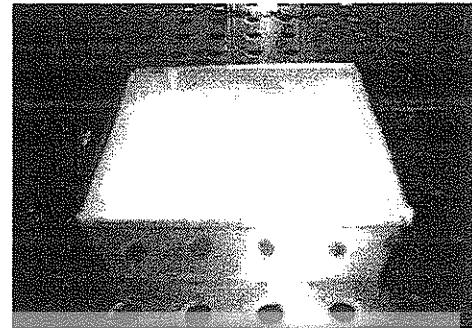
3.44 บดให้ละเอียด

## (ก) พงขิปชั้น

- จัดหาพงขิปชั้น เพื่อช่วยลดการแข็งตัว ทำให้จับตัวกับวัสดุอื่นได้ดี มีกำลังอัดสูง
- อบพงขิปชั้นเพื่อ ไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 3.45 ผงยิปซัม



รูปที่ 3.46 อบไอล์ความชื้น

### 3.2.2.2 การขึ้นรูปแผ่นภาชนะ

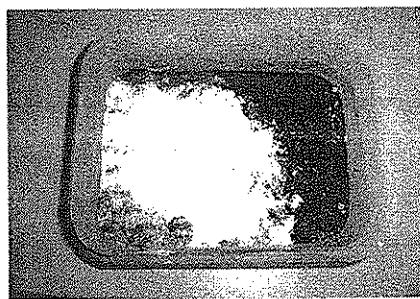
#### (ก) กลวยน้ำว้าดิบ

- นำผงถ่านจากเปลือกมะขามและผงวัสดุตัวพسانจากผลกลวียน้ำหัวว้าดิบมาผสมให้เข้ากันแล้วใส่น้ำที่อัตราส่วนต่างๆ ตามตารางดังนี้

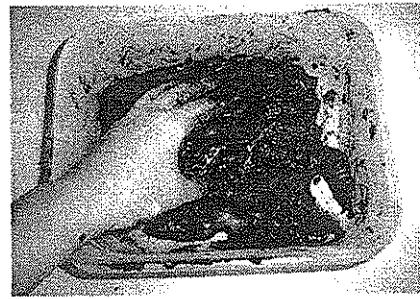
ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนผสมของผงถ่านกับกลวยน้ำว้าดิบในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน (ผงถ่าน:วัสดุพسان)	ผงถ่านจากเปลือก มะขาม (g)	ผงวัสดุตัวพسانจาก ผลกลวียน้ำหัวว้าดิบ (g)	น้ำ (ml)
80:20	160.00	40.00	200
70:30	140.00	60.00	200
60:40	120.01	80.00	200

- ห่อฟอยล์ให้ทั่วทั้งแผ่นพิมพ์ ซึ่งแม่พิมพ์ กว้าง 20 cm. X 20 cm. และหนา 1 cm.
- นำส่วนผสมที่ได้กลูกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน มาใส่ในแม่พิมพ์ โดยทำการเกลี่ยพิวน้ำขึ้นงานให้เรียบและสม่ำเสมอ
- นำชิ้นงานที่บรรจุใส่แม่พิมพ์เรียบร้อยแล้ว ไปห่อด้วยฟอยล์อีก 2 ชั้น อบด้วยเตาอบที่ อุณหภูมิ  $150^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
  - ทิ้งให้เย็นในโคลุคความชื้น ประมาณ 24 ชั่วโมง
  - ค่อยๆ แกะฟอยล์ที่ห่อชิ้นงานออกแล้วพิ่งให้แห้ง



รูปที่ 3.47 ผสมตัวประสาน



รูปที่ 3.48 นวดให้เข้ากัน

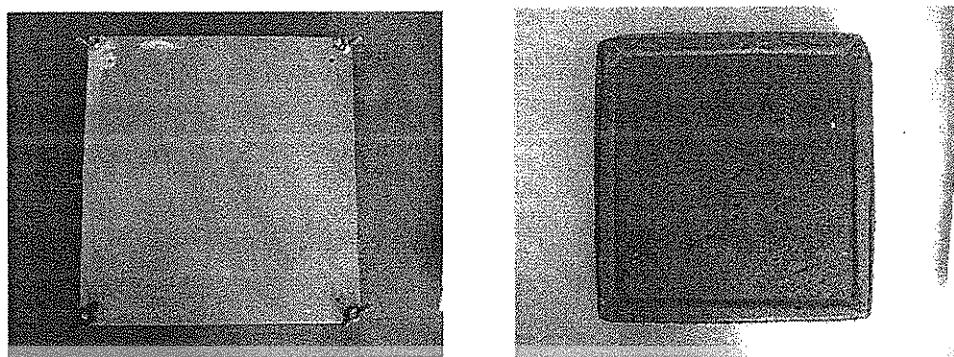
## (ข) เม็ดคุณภาพ

- นำผงถ่านจากเปลือกมะขามและผงวัสดุตัวประสานจากเม็ดคุณภาพผสมให้เข้ากัน แล้วใส่น้ำที่อัตราส่วนต่างๆ ตามตารางดังนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนผสมของผงถ่านกับเม็ดคุณภาพใน ต่างๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นควร์บอน

อัตราส่วน (ผงถ่าน:วัสดุประสาน)	ผงถ่านจากเปลือก ฟักมะขาม(g)	ผงวัสดุตัวประสานจาก ผลกล้วยน้ำหวัด(g)	น้ำ(ml)
80:20	120.02	30.02	150
70:30	105.02	45.01	150
60:40	90.00	60.10	150

- ห่อฟอยล์ให้ทั้งแผ่นแม่พิมพ์ ซึ่งแม่พิมพ์ กว้าง 20 cm × 20 cm และหนา 1 cm
- นำส่วนผสมที่ได้คลุกเคล้าให้เป็นเนื้อดีเยิกัน มาใส่ในแม่พิมพ์ โดยทำการเกลี่ยผิวน้ำริ้นงานให้เรียบและสม่ำเสมอ
- นำชิ้นงานที่บรรจุใส่แม่พิมพ์เรียบร้อยแล้ว ไปห่อด้วยฟอยล์อีก 2 ชั้น อบด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
  - ทิ้งให้เย็นในโคลด์ความชื้น ประมาณ 24 ชั่วโมง
  - ก่อนนำไปห่อฟอยล์ที่ห่อชิ้นงานออกแล้วผิงให้แห้ง



รูปที่ 3.49 ชิ้นงานแผ่นкар์บอนที่ทำการขึ้นรูปในแม่พิมพ์

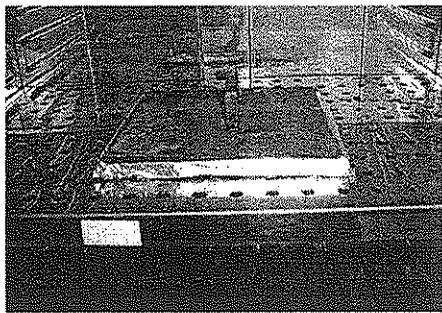
(ค) พยุงปั๊ม

- นำพยุงค่ามาจากเปลือกกระดาษและผงวัสดุตัวพسانจากยิปซัมมาผสมให้เข้ากัน แล้วใส่น้ำที่อัตราส่วนต่างๆ ตามตารางดังนี้

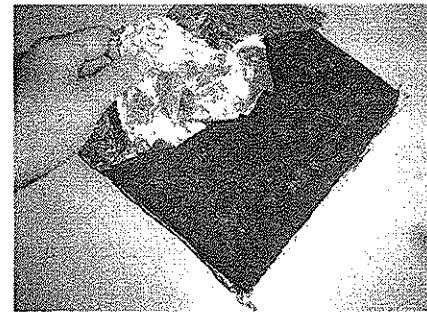
ตารางที่ 3.3 แสดงส่วนผสมของพยุงค่ากับยิปซัมอัตราใน ต่างๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นкар์บอน

อัตราส่วน (พยุงค่า:วัสดุพسان)	พยุงค่าจากเปลือก กระดาษ (g)	ผงวัสดุตัวพسانจาก ยิปซัม (g)	น้ำ (ml)
80:20	160.0008	40.0026	200
70:30	140.0001	60.0021	200
60:40	120.0004	80.0017	200

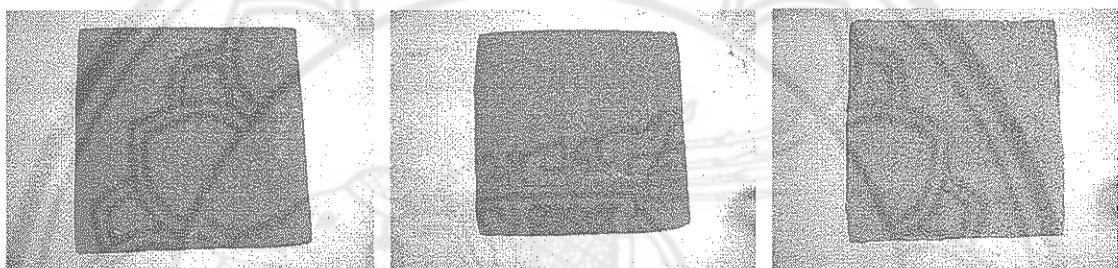
- ห่อฟอยล์ให้ทั่วทั้งแม่พิมพ์ ซึ่งแม่พิมพ์ กว้าง 20 cm × 20 cm และหนา 1 cm
- นำส่วนผสมที่ได้คลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน มาใส่ในแม่พิมพ์ โดยทำการเกลี่ยผิวน้ำชิ้นงานให้เรียบและสม่ำเสมอ
  - นำชิ้นงานที่บรรจุใส่แม่พิมพ์เรียบร้อยแล้ว ไปห่อด้วยฟอยล์อีก 2 ชั้น อบด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ  $150^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
  - ถึงให้เย็นใน道士ความชื้น ประมาณ 24 ชั่วโมง
  - ก่อรากแกะฟอยล์ที่ห่อชิ้นงานออกแล้วผึ่งให้แห้ง



รูปที่ 3.50 อบแห่นครร์บอน



รูปที่ 3.51 ค่ออย่างแกะฟอยล์ออก



(ก) กลัวยันน้ำว้าดิน

(ห) เปเลือกมະขາມ

(ก) ชิปซัม

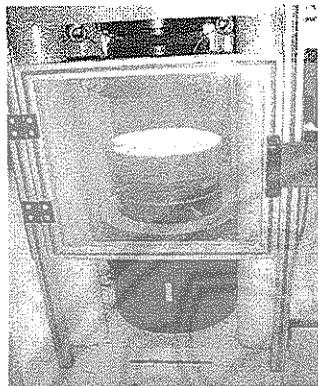
รูปที่ 3.52 แห่นครร์บอนพสมตัวประสานชนิดต่างๆ

- ทดสอบสมบัติทางกายภาพของแห่นครร์บอน ดังนี้

### 3.2.3 การศึกษาค่าความหนาแน่นป์รากฎและค่าความแข็งต่อแรงอัด

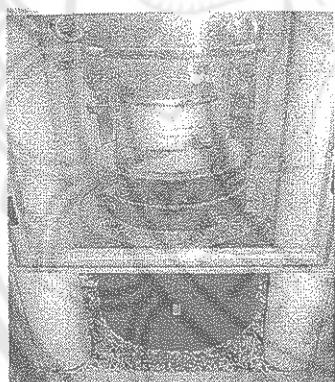
1. อบชิ้นงานที่อุณหภูมิ  $140^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเกเตอร์
2. ชั้งและบันทึกน้ำหนักที่แผ่นอนของชิ้นงาน
3. เปิดเครื่องทดสอบความแข็งและทำการตั้งค่าต่างๆ ได้แก่ ความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนักของชิ้นงาน
4. ทำความสะอาดแท่นวางชิ้นงานด้วยเบรนชันนัม เพื่อให้ผิวน้ำของแท่นวางอยู่ในระดับเดียวกัน ป้องกันความคลาดเคลื่อนจากการอัดชิ้นงาน
5. วางชิ้นงานบนผิวน้ำของแท่นวางชิ้นงาน ควรระวังอย่าให้ส่วนใดส่วนหนึ่งของชิ้นงานยื่นออกมานอกแท่นวางชิ้นงาน
6. ป้อนคำสั่งให้เครื่องทดสอบความแข็งต่อแรงอัดทำงานซึ่งอาศัยหลักการทำงานของไฮดรอลิก เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไป น้ำมันจะหมุนเพื่อกราฟิกชิ้นงานกับแท่นอัดชิ้นงานด้านบน

7. ร่องนกว่าเครื่องทดสอบความแข็งต่อแรงอัดที่ดุดำรงแสดงชิ้นงานที่ได้เข้าไปนี้จะแตกแล้ว บันทึกค่าความแข็งต่อแรงอัดและค่าความหนาแน่นปูกระถางหน้าปัดของเครื่องทดสอบความแข็งต่อแรงอัดดังกล่าว

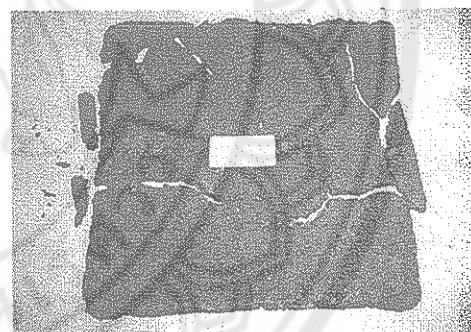


รูปที่ 3.53 ทำความสะอาดแท่นอัด

รูปที่ 3.54 ป้อนข้อมูลของชิ้นงาน



รูปที่ 3.55 ป้อนคำสั่งอัดชิ้นงาน



รูปที่ 3.56 ชิ้นงานหลังผ่านการอัด

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบของงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิการเผาที่เหมาะสม การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี นอกจากนี้ยังทำการศึกษา ชนิดและสัดส่วนของตัวประสานรวมทั้งค่าความหนาแน่นปูรากูและค่าความแข็ง

#### 4.1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของถ่านกันมันจากการเปลือกมะขาม

จากการนำเปลือกมะขามตากแห้งมาเผาในที่อับอากาศ ณ อุณหภูมิ  $500^{\circ}\text{C}$ ,  $600^{\circ}\text{C}$ ,  $700^{\circ}\text{C}$  โดย ทุกอุณหภูมิใช้เวลาท่ากันคือ 1 ชั่วโมง นำถ่านเปลือกมะขามที่ได้มากระตุ้นด้วยไอน้ำ ในหม้ออัดความดันที่ความดัน 80 kpa เป็นเวลา 5 , 10 , 15 , 20 , 25 และ 30 นาที จากนั้นนำถ่านจากเปลือกมะขามทั้งที่ยังไม่ได้กระตุ้นและกระตุ้นแล้วไปวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีบางประการ ได้แก่ ค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ (ASTM D 1087) ความชื้น (AWWA B 604) เถ้า (ASTM D 2866) สารระเหย (ASTM D 5832) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM D 5834) และการคุดซับไอก็อดีน ( AWWA B 604) ดัง ตาราง

##### 4.1.1 ผลการศึกษาเรื่องร้อยละของผลผลิตที่ได้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการศึกษาเรื่องร้อยละของผลผลิตที่ได้ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )	%ผลผลิต
500	35.2011
600	32.6908
700	29.6215

จากตาราง 1 พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาจะแบร์เพกพันกับร้อยละของผลผลิตที่ได้ โดยที่ อุณหภูมิการเผาสูงจะให้ผลผลิตต่ำและอุณหภูมิการเผาต่ำจะให้ผลผลิตสูง เนื่องจากอุณหภูมิการเผามี ผลต่อการแปรสภาพกล่ายเป็นถ่านน้ำดังนั้นถ้าอุณหภูมิการเผาสูงเกินไปวัสดุจะกล่ายเป็นถ่านเสียส่วนใหญ่ ส่งผลให้ได้ปริมาณถ่านน้อยลง ในขณะที่อุณหภูมิการเผาต่ำวัสดุจะกล่ายเป็นถ่านได้น้อย จึงได้ปริมาณ ถ่านมากกว่าการเผาที่อุณหภูมิสูง

ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาความชื้น (Moisture)

อัตราการต้มอาหาร	ความชื้น (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
500	3.6078	3.6109	3.6140	3.6109
600	3.5092	3.5041	3.5071	3.5068
700	3.4490	3.4548	3.4608	3.4549

จากตาราง 2 พบว่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นแปรผกผันกับอุณหภูมิการเผา โดยที่อุณหภูมิการเผาสูง เปอร์เซ็นต์ความชื้นจะต่ำและอุณหภูมิการเผาต่ำ เปอร์เซ็นต์ความชื้นจะสูง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความร้อน มีผลต่อการระเหยของน้ำในวัสดุ ดังนั้นที่อุณหภูมิการเผาสูงมีความร้อนมากกว่าในวัสดุระเหยไปได้มาก ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำ ในขณะที่อุณหภูมิการเผาต่ำมีความร้อนน้อยกว่าในวัสดุระเหยไปได้น้อย จึงมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่าการเผาที่อุณหภูมิสูง

ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาเดือ (Ash)

อัตราการต้มอาหาร	ความชื้น (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
500	1.3733	1.3745	1.3768	1.3749
600	1.2260	1.2283	1.2296	1.2283
700	1.0815	1.0844	1.0890	1.0850

จากตาราง 4.3 พบว่าเปอร์เซ็นต์เดือแปรผกผันกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา โดยที่อุณหภูมิการเผาสูงจะมีเปอร์เซ็นต์เดือน้อยและอุณหภูมิการเผาต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์เดือสูง เนื่องจากอุณหภูมิการเผาเมื่อผลต่อการแปรสภาพลายเป็นเดือ ดังนั้นถ้าอุณหภูมิการเผาสูงวัสดุจะลายเป็นเดือได้มาก ในขณะที่ อุณหภูมิการเผาต่ำวัสดุจะลายเป็นเดือได้น้อย

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาสารระเหย (Volatile matter)

อุณหภูมิที่เผา (°C)	สารระเหย (%)			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
500	5.7642	5.6910	5.6546	5.7033	0.0558
600	5.3371	5.2099	5.1426	5.2298	0.0988
700	4.3051	4.3123	4.2787	4.2987	0.0177

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเปอร์เซ็นต์สารระเหยแปรผันกับอุณหภูมิการเผา โดยที่อุณหภูมิการเผาสูง เปอร์เซ็นต์สารระเหยจะต่ำ และที่อุณหภูมิการเผาต่ำเปอร์เซ็นต์สารระเหยจะสูง เนื่องจากอุณหภูมิการเผามีผลต่อการระเหยของสารอินทรีย์ในวัสดุดังนี้ ถ้าอุณหภูมิการเผาสูงสารอินทรีย์จะระเหยออกจากวัสดุได้มาก ส่งผลให้พบปริมาณสารระเหยในวัสดุน้อย ในขณะที่อุณหภูมิการเผาต่ำสารอินทรีย์จะระเหยออกจากวัสดุได้น้อยจึงพบปริมาณสารระเหยในวัสดุมาก

ตาราง 4.5 ผลการศึกษาคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon)

อุณหภูมิที่เผา (°C)	คาร์บอนคงที่ (%)			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
500	89.2547	89.3226	89.3546	89.3109	0.0510
600	89.9870	90.1070	90.1670	90.0351	0.0917
700	91.1042	91.0992	91.1295	91.1614	0.0162

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงที่แปรผันตามอุณหภูมิการเผา โดยที่อุณหภูมิการเผาสูง เปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงที่จะมากและที่อุณหภูมิการเผาต่ำเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงที่จะน้อย เนื่องจากความร้อนมีผลต่อสภาพการถ่ายเป็นถ่าน ซึ่งมีการburnเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้น ถ้าอุณหภูมิการเผาสูงมีความร้อนมากสภาพความเป็นถ่านสูงส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงที่มาก ในขณะที่อุณหภูมิการเผาต่ำมีความร้อนน้อยสภาพความเป็นถ่านต่ำ ทำให้มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงที่น้อยตามไปด้วย

ตารางที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพระหว่างถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามและของถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ

สมบัติทางกายภาพ	ถ่านกัมมันต์เปลือกมะขามที่อุณหภูมิ การเผาต่างๆ (°C)			ถ่านกัมมันต์ต่างประเทศ
	500	600	700	
% ความชื้น	3.6109	3.5068	3.4549	3.3072
% เต้า	1.3749	1.2283	1.0850	1.3759
% สารระเหย	5.7033	5.2298	4.2987	4.9116
% คาร์บอนคงตัว	89.311	90.087	90.035	91.161

จากการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ ระหว่างถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามและถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ พบว่าถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีสมบัติใกล้เคียงกัน โดยที่ ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามมีเปอร์เซ็นต์ความชื้น, เปอร์เซ็นต์การอนคงตัวสูงกว่าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ ในขณะที่ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามมีเปอร์เซ็นต์เต้า น้อยกว่าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ ส่วนเปอร์เซ็นต์สารระเหยถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามมีค่าเปอร์เซ็นต์ สารระเหยสูงกว่าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศยกเว้นที่ อุณหภูมิการเผาเนื้อยกกว่าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสภาพแวดล้อมในระหว่างการผลิตแตกต่างกัน ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ความชื้น ในต่างประเทศมีความชื้นน้อยกว่าประเทศไทยซึ่งเป็นเขต้อนชื้น ส่งผลให้ถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นน้อยกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามที่ผลิตภายในประเทศไทย

ตารางที่ 4.7 ผลการศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

อุณหภูมิที่เผา (°C)	ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย (mg/g)	
	ก่อนกระตุ้น	หลังกระตุ้น
500	164.68	209.17
600	213.88	221.01
700	242.99	287.86

จากตารางที่ 4.7 พบร้า ทุกอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าถ่านจากเปลือกมะขามที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำ

ชิ้งยาวดเนื่องจากไอน้ำซึ่งขาดทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อถ่านมากขึ้น ส่งผลให้มีค่าการดูดซับไออกอีนเพิ่มขึ้น ด้วย

#### ตารางที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบค่าการดูดซับไออกอีน

ถ่านกัมมันต์	อุณหภูมิที่เผา (°C)	ค่าการดูดซับไออกอีน
เปลือกมะขาม	500	209.17
	600	221.01
	700	287.85
ตัวอย่างจากต่างประเทศ		723.00
ตัวอย่างภายในประเทศ		252.00

จากการเปรียบเทียบค่าการดูดซับไออกอีนระหว่างถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม ถ่านกัมมันต์ภายในประเทศและต่างประเทศ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามที่อุณหภูมิการเผา 700°C มีค่าการดูดซับไออกอีนสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตภายในประเทศ แต่มีค่าน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในต่างประเทศทั้งนี้ อาจเป็นเพราะศักยภาพในการผลิตถ่านกัมมันต์ ทั้งในเรื่องความพร้อมและประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ไม่ดีเท่าที่ควร

#### 4.2.2 ผลการศึกษาค่าความแข็งต่อแรงอัด

นอกจากความสวยงามของผลิตภัณฑ์แล้ว สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน เป็นสิ่งที่ผู้ใช้พิจารณาถึง ดังนั้นเมื่อผู้ผลิตมีวัตถุประสงค์และกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาด และรูปร่างตามมาตรฐานที่กำหนด และมีสีที่สวยงามแล้ว จะต้องคำนึงถึงความคงทนต่อการใช้งาน ซึ่งความคงทนต่อการใช้งานของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทแตกต่างกัน ตามลักษณะการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างผลิตภัณฑ์ให้มีความแข็งแรงทนทาน และควบคุมให้ความแข็งแรงทนทานดังกล่าวอยู่ในระดับมาตรฐาน ทำให้จำเป็นต้องมีการทดสอบให้ทราบ ค่าความแข็งแรง และค่าความแข็งของวัสดุ หรือผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สามารถนำผลการทดสอบไปใช้ควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ และพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ โดยทั่วไปค่าความแข็งแรงจะแบ่งออกได้เป็น 7 ประเภทหลักๆ ตามหลักของแรกที่มีการทำ คือ

- ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile Strength หรือ Yielded Strength)
- ความแข็งแรงต่อแรงเฉือน (Shear Strength)
- ความแข็งแรงต่อแรงดัด (Bending Strength)
- ความแข็งแรงต่อแรงกด (Bearing Strength)

5. ความแข็งแรงต่อแรงบิด (Torsion Strength)
6. ความแข็งแรงต่อแรงอัด (Compressive Strength)
7. ความแข็งแรงต่อแรงกระแทก (Impact Strength)

ซึ่งในการทดลองนี้ กลุ่มวิชัยได้เลือกใช้การทดสอบค่าความแข็งแรงประเทกความแข็งแรงต่อแรงอัด(Compressive Strength) โดยวิธีการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดจะมีรายละเอียดดังนี้ แรงดึงและแรงอัดจะเป็นแรงประเทกเดียวกัน คือเป็นแรงตรง (Direct Load) เพราะแรงทั้งสองถูกกำหนดให้กระทำผ่านจุดศูนย์กลางของหน้าตัดและอาจทำให้วัสดุเปลี่ยนแปลงความขาวเป็นสีคลอกหรือหดสันเข้าตามพิษทางของแรงกระทำ

การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัดโดยทั่วไปใช้สำหรับทดสอบวัสดุที่มีความเปราะ การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัดจะใช้หลักการเพิ่มความดันอัดอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ หน่วยการวัดความแข็งแรงต่อแรงอัดที่ได้คือ นิวตันต่อตารางเซนติเมตร ข้อจำกัดของการทดสอบคือผิวด้านข้างของชิ้นทดสอบจะต้องเรียบกลมสม่ำเสมอ และวางชิ้นทดสอบให้อยู่กึ่งกลางของตัวกดอัด วัสดุที่นำมาทดสอบหากเป็นวัสดุที่มีความเหนียวจะเกิดรอยร้าวและพองออกด้านข้าง หากวัสดุมีความอ่อนจะถูกอัดแน่นโดยไม่แตกหัก แต่หากวัสดุมีความเปราะจะแตกหักเป็นรูปกรวย Compressive Test ได้ค่าดังนี้

ตารางที่ 4.9 ผลการศึกษาค่าความแข็งต่อแรงอัดของยิปซัม ( $N/cm^2$ )

สัดส่วน	จำนวนครั้ง			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
20 :80	780	740	750	756.67	20.82
30 :70	840	890	810	846.67	40.42
40 :60	850	860	850	853.33	5.77

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการศึกษาค่าความแข็งต่อแรงอัดของกลั่วน้ำว้าดิน ( $N/cm^2$ )

สัดส่วน	จำนวนครั้ง			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
20 :80	640	600	650	630	26.46
30 :70	630	640	690	653.33	32.15
40 :60	630	660	650	646.67	15.28

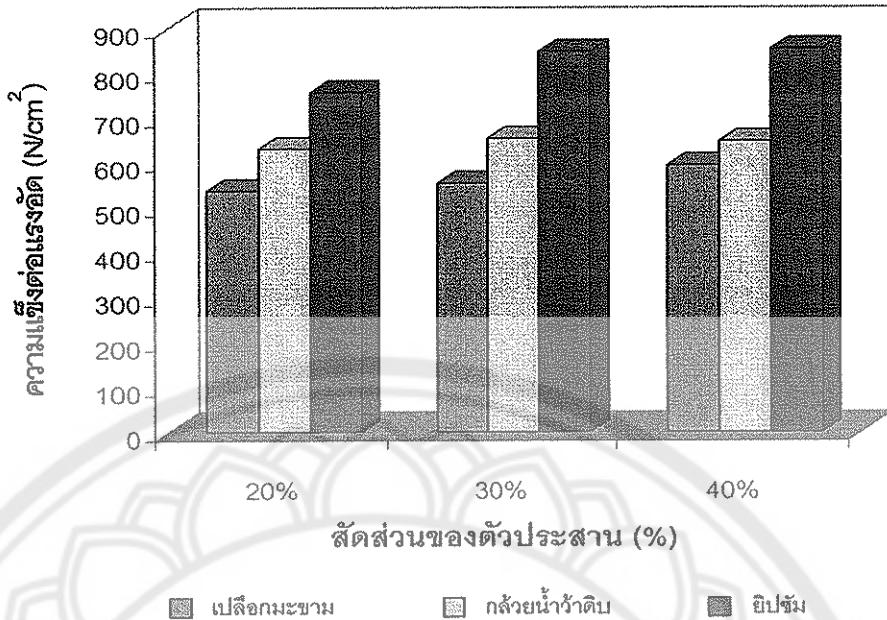
ตารางที่ 4.11 แสดงผลการศึกษาค่าความแข็งต่อแรงอัดของเปลือกมะขาม ( $N/mm^2$ )

สัดส่วน	พื้นที่ผิวน้ำตัด ( $mm^2$ )	ค่าแรงอัด (Fraction load) (N)	เฉลี่ย	S.D.
30 : 70	$4 \times 10^3$	$361 \times 10^3$	90.25	70.95
40 : 60	$4 \times 10^3$	$490 \times 10^3$	122.5	28.87

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการศึกษาค่าความแข็งต่อแรงอัดเฉลี่ย ( $N/cm^2$ )

ชนิดของตัว ประสาน	สัดส่วน ตัวประสาน : ถ่านกัมมันต์			
	0 : 100	20 : 80	30 : 70	40 : 60
ขี้นรูปไม้ได้	756.67	846.67	853.33	
กลวยน้ำว้าดิบ	630.00	653.33	646.67	
เปลือกมะขาม	536.67	553.33	593.33	

จากตาราง 4.12 พบว่าชนิดของตัวประสานมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งต่อแรงอัด โดยแผ่น karton ที่ใช้ขี้นรูปเป็นตัวประสานจะมีค่าความแข็งต่อแรงอัดสูงกว่าแผ่น karton ที่ใช้กลวยน้ำว้าดิบ และเปลือกมะขามเป็นตัวประสาน ตามลำดับ เนื่องจากขี้นรูปมีความหนาแน่นจำเพาะของสารมากกว่าสารอินทรีย์จากธรรมชาติอย่างกลวยน้ำว้าดิบและเปลือกมะขาม เมื่อนำตัวประสานดังกล่าวมาทดสอบกับถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามในสัดส่วนเท่าๆ กัน ตัวประสานที่มีความหนาแน่นมาก อนุภาคจะซึ่งกันมาก มีช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อย จึงมีโครงสร้างแข็งแกร่ง ล่งผลให้มีค่าความแข็งต่อแรงอัดสูงกว่า แผ่น karton ที่ใช้กลวยน้ำว้าดิบและเปลือกมะขามเป็นตัวประสานตามลำดับ นอกจากนี้ค่าความแข็งต่อแรงอัดยังแปรผันตามสัดส่วนของตัวประสาน โดยที่สัดส่วนของตัวประสานมากกว่าถ่านกัมมันต์ ค่าความแข็งต่อแรงอัดจะมีค่าสูง สัดส่วนของตัวประสานน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ ค่าความแข็งต่อแรงอัดมีค่าต่ำ เนื่องจากตัวประสานแต่ละชนิดต่างกันมีความหนาแน่นปูกระถางมากกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม เมื่อนำตัวประสานแต่ละชนิดมาทดสอบกับถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนตัวประสานมากกว่าถ่านกัมมันต์ จึงส่งผลให้ส่วนผสมนั้นมีค่าความหนาแน่นปูกระถางมาก ในขณะที่การผสมในสัดส่วนตัวประสานน้อยกว่าถ่านกัมมันต์จะมีค่าความหนาแน่นปูกระถางน้อย ลดคลื่องกับผลการศึกษาค่าความหนาแน่นปูกระถาง



รูปที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งต่อแรงอัดเฉลี่ยในสภาวะต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 พบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามที่ไม่ใช้ตัวประสานนี้ ไม่สามารถขึ้นรูปได้ และค่าความแข็งต่อแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของตัวประสาน โดยยิปซัม : ถ่านกัมมันต์ ในสัดส่วน 40 : 60 มีค่าความแข็งต่อแรงอัดสูงสุด คือ  $585.33 \text{ N/cm}^2$  ในขณะที่ เปลือกมะขาม : ถ่านกัมมันต์ ในสัดส่วน 20 : 80 มีค่าความแข็งต่อแรงอัดต่ำสุด คือ  $536.67 \text{ N/cm}^2$

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2532) กำหนดไว้ว่าถ่านกัมมันต์ จะต้องมีค่าความแข็งต่อแรงอัดไม่น้อยกว่า  $700 \text{ N/cm}^2$  จากการทดลองพบว่า ยิปซัม : ถ่านกัมมันต์ ในสัดส่วน 20 : 80 , 30 : 70 และ 40 : 60 มีค่าความแข็งต่อแรงอัด  $756.67 \text{ N/cm}^2$   $846.67 \text{ N/cm}^2$  และ  $853.33 \text{ N/cm}^2$  ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ สำหรับสัดส่วน 20 : 80 นี้มีค่าความหนาแน่นปูรากฎต่ำกว่ามาตรฐานจึงไม่นำมาพิจารณา ดังนั้นยิปซัม : ถ่านกัมมันต์ ในสัดส่วน 30 : 70 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม เนื่องจากมีปริมาณถ่านกัมมันต์มากกว่าสัดส่วน 40 : 60 ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่าขณะที่มีค่าความแข็งต่อแรงอัดแตกต่างกันแล้วกันน้อยสอดคล้องกับค่าความหนาแน่น

#### 4.2 การเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ระหว่างถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามและเกลท์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์

จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม คืออุณหภูมิการเผา กระตุ้นด้วยไอน้ำเป็นเวลา 15 นาที สัดส่วนยิปซัมต่อถ่านกัมมันต์เป็น 30 : 70 เนื่องจากมีสมบัติ

ต่างๆเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่าน (AWWA B 604) เนื่องจากที่อุณหภูมิการเผา  $700^{\circ}\text{C}$  มีค่าการดูดซับไออกไซด์สูง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาเป็น  $800^{\circ}\text{C}$  และ  $900^{\circ}\text{C}$  พบว่ามีค่าการดูดซับไออกไซด์สูงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ร้อยละของผลผลิตที่ได้ลดลงเป็นจำนวนมาก ดังนั้นที่อุณหภูมิการเผา  $700^{\circ}\text{C}$  จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม ส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการระคุนด้วยไอน้ำ 15 นาที ให้ค่าการดูดซับไออกไซด์สูงสุด เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการระคุนเป็น 20, 25 และ 30 นาที พบว่าค่าการดูดซับไออกไซด์อย่างต่อเนื่องลดลง ดังนั้นที่ระยะเวลาในการระคุน 15 นาที จึง เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการระคุนถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม สำหรับสัดส่วนระหว่างตัว ประสานและถ่านกัมมันต์พบว่า 30 : 70 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมเนื่องจากทั้งสัดส่วน 30 : 70 และ 40 : 60 มีค่าความหนาแน่นปราชญ์และค่าความแข็งต่อแรงอัดเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ แต่สัดส่วน 30 : 70 มีถ่านกัมมันต์มากกว่าสัดส่วน 40 : 60 จึงมีความสามารถในการดูดซับ ได้ดีกว่า

#### 4.2.1 ผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆ ระหว่างเกลท์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม

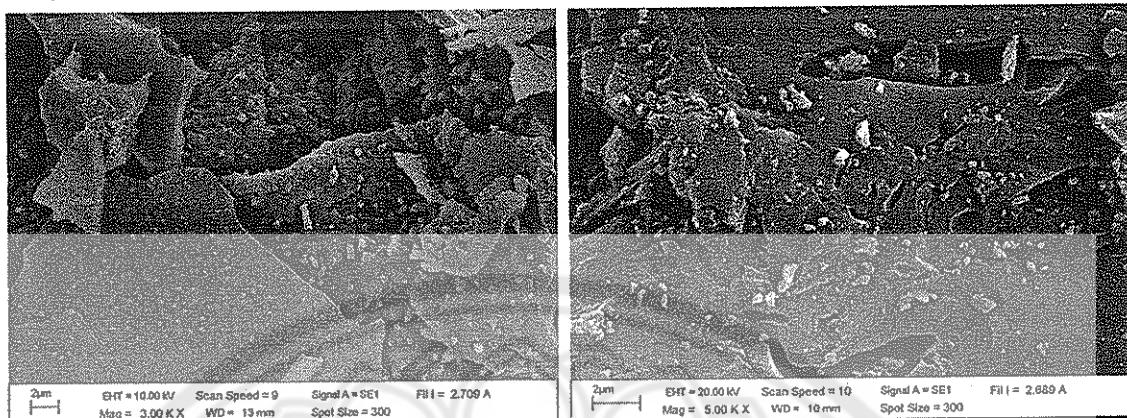
ตารางที่ 4.13 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆระหว่างเกลท์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม

คุณลักษณะ	เกลท์ที่กำหนด (มอก.900-2532)	ถ่านกัมมันต์จาก เปลือกมะขาม	ความแตกต่างจาก มาตรฐาน (%)
1. ค่าไออกไซด์ไม่น้อยกว่า	600	287	+ 30.72
2. ร้อยละความชื้นไม่เกิน	8	3.24	+ 60.75
3. ความหนาแน่นปราชญ์ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) ไม่น้อยกว่า	0.36	0.37	+ 2.78
4. ความแข็งต่อแรงอัด ( $\text{N}/\text{cm}^2$ ) ไม่น้อยกว่า	700	846.67	+ 20.95

หมายเหตุ + หมายถึง ดีกว่ามาตรฐาน  
- หมายถึง ต่ำกว่ามาตรฐาน

จากการ 4.13 พบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามในงานวิจัยนี้ มีคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ค่า การดูดซับไออกไซด์ ค่าร้อยละความชื้น ค่าความหนาแน่นปราชญ์ และค่าความแข็งต่อแรงอัด เป็นไปตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 900-2532) กระทรวงอุตสาหกรรม

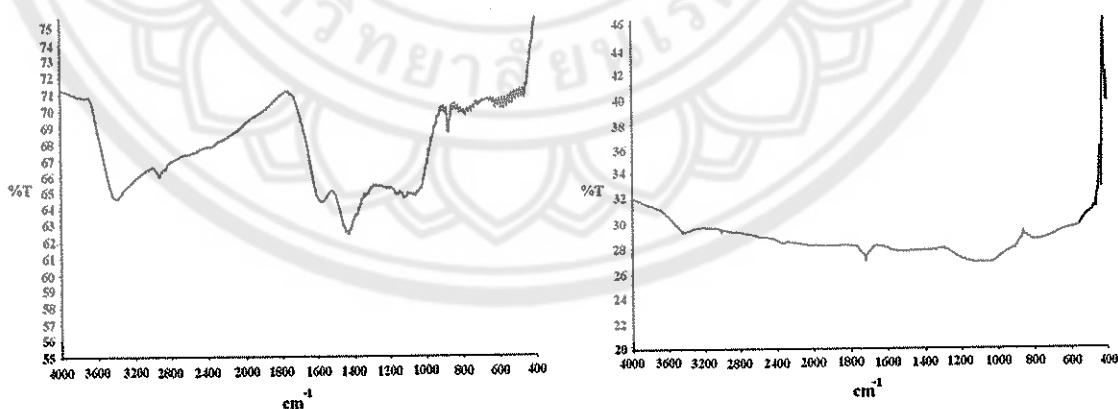
### 4.3 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถ่านเปลี่ยนฟิกมะขามโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะพื้นผิวของถ่านเปลี่ยนฟิกมะขามและถ่าน Activate จากประเทศญี่ปุ่นตามลำดับ

วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวได้ดังนี้ ถ่านมะขามมีความหยาบมากและมีรูพรุนน้อยกว่าถ่าน Activate จากประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีลักษณะเป็นผิวเรียบกว่าและมีรูพรุนสูงทำให้ได้ค่าการดูดซับไออกีดีนของถ่านมะขามมีค่าน้อยกว่าและได้ค่าการดูดซับต่ำ

### 4.4 วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของถ่านเปลี่ยนฟิกมะขามโดยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงลักษณะของอินฟราเรดスペกตรัมของถ่านเปลี่ยนฟิกมะขามและถ่าน Activate จากประเทศญี่ปุ่นตามลำดับ

วิเคราะห์จากการฟพบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านเปลือกมะขามมีค่าสูงกว่าของต่างประเทศเล็กน้อยเมื่อเทียบกับของต่างประเทศ โดยพบว่าขนาดของประเภทญี่ปุ่นมีค่าอินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านใกล้กับของญี่ปุ่น ดังนั้นจึงสามารถนำผลิตเป็นถ่านกันมั่นต์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ปัญหามลภาวะทางอากาศจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยเป็นปัญหาที่นับวันจะ ทวี ความรุนแรงขึ้น เนื่องจากการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมทำให้มีโรงงานขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้น เช่น โรงงานเคลือบชุบโลหะ โรงงานแสดงแสง โรงงานฟอกซ้อม และโรงงานพ่นสีรถยนต์ หากโรงงาน อุตสาหกรรมเหล่านี้ปล่อยอากาศเสียโดยไม่มีการบำบัด จะส่งผลกระทบกับประชากรจำนวนมาก หาก ได้รับการสะสมในระดับที่เกินมาตรฐาน อาจก่อให้เกิดอาการคื่นเหียน อาเจียน และอาจทำให้เสียชีวิต นอกจากนี้ยังสามารถสะสมแล้วก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้

ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือก มะขามเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกรองอากาศในโรงงานอุตสาหกรรมพ่นสีรถยนต์ นอกจากเป็นการใช้ ทรัพยากรที่มีอยู่ในประเทศไทยให้เกิดประโยชน์ แลงยังช่วยลดปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อมแล้วงานวิจัย ดังกล่าวข้างต้นสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรซึ่งมีผลต่อเนื่องให้เกิดการสร้างงาน และสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรมากขึ้นด้วย

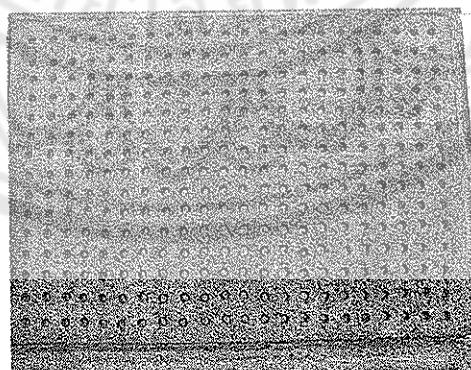
ผลการทดสอบพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นกรองอากาศด้วยถ่านกัมมันต์จาก เปลือกมะขาม คือ ที่อุณหภูมิการเผา  $700^{\circ}\text{C}$  กระดุนทางกายภาพด้วยไอน้ำเป็นเวลา 15 นาที มีค่าการคูด ขับไอโอดีนสูงสุด  $687 \text{ mg/g}$  ค่าร้อยละของผลผลิตเฉลี่ย  $35.25$  ความชื้นร้อยละ  $3.14$  เถ้าร้อยละ  $0.93$  ปริมาณสารระเหยร้อยละ  $4.40$  ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ  $91.53$  และ พนว่าเมื่อนำมาถ่านกัมมันต์ ทดสอบค่าความแข็งต่อแรงอัด (Compressive Strength) ได้ค่าเท่ากับ  $90.25 \text{ N/mm}^2$  และ  $122.50 \text{ N/mm}^2$  ตามลำดับ และทดสอบประสิทธิภาพการคูดขับกลืนจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์ได้เท่ากับ  $120.45 \text{ mg/g}$  สรุปได้ว่าการขึ้นรูปแผ่นกรองอากาศจากถ่านเปลือกฝักมะขาม โดยใช้ผงกลั่วน้ำร้อน เป็นตัว ประสาน ได้อัตรา ส่วนที่เหมาะสมคือ  $70:30$  ซึ่งเป็นอัตราส่วนขั้นต้นที่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นกรอง ที่สามารถเสริมประสิทธิภาพให้กับแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ให้มีคุณสมบัติในการใช้งานคือขึ้น จาก แผ่นกรองจากถ่านเปลือกฝักมะขามซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์สำหรับโรงงาน อุตสาหกรรมสีรถยนต์สำหรับการกรองอากาศ

ตารางที่ 5.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม

สมบัติทางกายภาพและเคมี	อุณหภูมิการเผา (°C)		
	500	600	700
%yield (%)	25.20	22.69	19.62
Moisture (%)	3.36	3.15	3.24
Ash (%)	0.37	0.23	0.09
Volatile (%)	5.70	5.32	4.03
Carbon (%)	90.57	91.30	92.64
I <sub>2</sub> No.2 (mg/g)	209.17	221.01	287.86

จากตารางพบว่าเปลือกมะขามสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ใช้ในประเทศไทยได้ เนื่องจากมีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม แต่เมื่อเทียบกับทางด้านทางด้านประเภทพืชที่มีค่าน้ำยอกกว่าต่างประเทศมาก โดยเฉพาะค่าการดูดซับไฮโอดีน ของจีนและสหราชอาณาจักร มีค่าประมาณ 1,277-1,491 mg/g

เปลือกมะขามสามารถนำมาใช้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ โดยถ่านกัมมันต์ดังกล่าวมีร้อยละของความชื้น ค่าความแข็งต่อแรงอัด และค่าความหนาแน่นปราศจาก ไกส์เกียงกัน ถ่านกัมมันต์ทั้งที่ผลิตภายในประเทศไทย ในขณะที่มีค่าการดูดซับไฮโอดีนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาแผ่นกรองอากาศในอุตสาหกรรมได้ ดังตารางที่ 5.2



รูปที่ 5.1 แผ่นกรองอากาศโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม

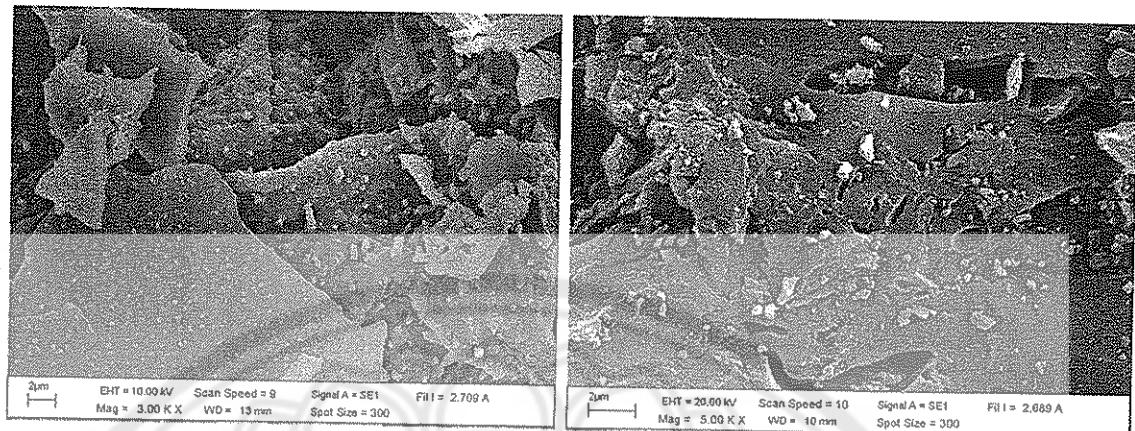
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆระหว่างถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตภายในประเทศและถ่านกัมมันต์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ

บริษัท/ผู้ผลิต	ประเทศไทย	ความชื้น (%)	ค่าความหนา หนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ )	ค่า ความแข็ง ( $\text{N/cm}^2$ )	ค่าความดูดซึม ( $\text{mg/g}$ )
<u>ถ่านกัมมันต์จากงานวิจัย</u>					
ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม	ไทย	3.14	0.37	847	784
<u>ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศไทย</u>					
1.พีเอ คาร์บอน	ไทย	3.06	0.72	940	185
2.หจก.เชียงใหม่ รัฐยุญผล	ไทย	3.75	0.36	549	589
3.วินมิลค์ เกมีคอล จำกัด	ไทย	3.28	0.68	874	354
4.คาร์บิโนกาญจน์ จำกัด	ไทย	3.47	0.48	730	287
5.ซี.ไอ แอกนิติก คาร์บอน	ไทย	3.35	0.39	627	875
<u>ถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ</u>					
1.ไทยฟอร์เมเนเตชั่น อินดัสตรี	จีน	3.67	0.52	891	1277
2.การประปานครหลวง	อเมริกา	2.38	0.23	652	1491
3.ผลิตภัณฑ์อากาศ	ไต้หวัน	2.44	0.47	793	1339
4.ไวท์แอนโกล จำกัด	อสเตรเลเนีย	3.18	0.69	925	1138
5. Loxley จำกัด	นอร์เวย์	2.50	0.61	800	965

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความแข็งต่อแรงอัด (Compressive Strength) ของแผ่นคาร์บอนที่สมวัสดุตัว พسانในอัตราส่วนต่างๆ จากการทดสอบด้วยเครื่อง Compressive Test

อัตราส่วน	พื้นที่ทดสอบ ( $\text{mm}^2$ )	ค่าแรงอัด (N)	ค่าความแข็งต่อแรงอัด ( $\text{N/mm}^2$ )
70:30	$4 \times 10^3$	$361 \times 10^3$	90.25
60:40	$4 \times 10^3$	$490 \times 10^3$	122.5

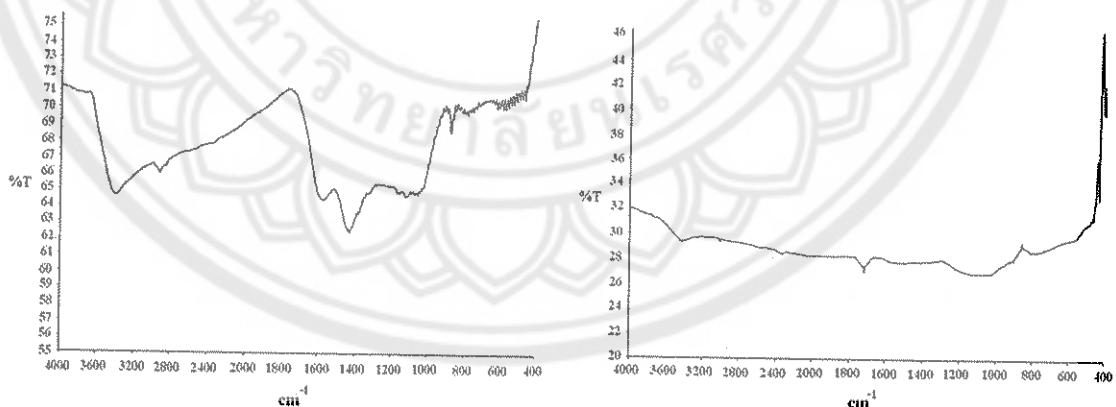
## 5.2 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถ่านเปลือกฟักมะขามโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)



รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะพื้นผิวของถ่านเปลือกฟักมะขามและถ่าน Activate จากประเทศญี่ปุ่นตามลำดับ

วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวได้ดังนี้ ถ่านมะขามมีความหยาบมากและมีรูพรุนน้อยกว่าถ่าน Activate จากประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีลักษณะเป็นผิวเรียบความและมีรูพรุนสูงทำให้ได้ค่าการดูดซับไออกอีเดินของถ่านมะขามมีค่าน้อยกว่าและได้ค่าการดูดซับต่ำ

## 5.3 วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของถ่านเปลือกฟักมะขามโดยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงลักษณะของอินฟราเรดスペกตรัมของถ่านเปลือกฟักมะขามและถ่าน Activate จากประเทศญี่ปุ่นตามลำดับ

วิเคราะห์จากกราฟพบว่าอินฟราเรดスペกตรัมของถ่านเปลือกฟักมะขามมีค่าสูงกว่าของถ่านประเทศเล็กน้อยเมื่อเทียบกับของถ่านประเทศ โดยพบว่าขนาดของประเทศญี่ปุ่นมีค่าอินฟราเรด

สเปกตรัมของถ่านไกล์กับของผู้วิจัย ดังนั้นจึงสามารถนำผลิตเป็นถ่านก้มมันต์ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรม และการประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป

#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยนี้พบว่า แผ่นกรองอากาศโดยใช้ถ่านก้มมันต์จากเปลือกมะขามที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพด้วยไอน้ำ เป็นวัสดุคุณภาพดีในระดับหนึ่งสมควร มีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคุ้มครอง ดังนี้

1. พงถ่านกรองที่ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นนั้น ควรทำการอัดใส่ในแม่พิมพ์ให้แน่นเต็มแม่พิมพ์ และเกลี่ยพื้นผิวให้เรียบสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันการแตกร้าว และไม่เรียบของพื้นผิวชิ้นงาน
2. การทดสอบค่าความแข็งแรงของชิ้นงานควรจะทำในหลาย เทคนิค เพื่อเป็นทางเลือกในการนำชิ้นงานไปใช้ให้เหมาะสมและสนับสนุนการพัฒนาหาวัสดุตัวประสานอื่นๆ ที่เหลือใช้ทางการเกษตร มากกว่าที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแผ่นให้ดียิ่งขึ้น
3. ควรศึกษาการผลิตแผ่นกรองอากาศจากถ่านก้มมันต์โดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ ที่มีความหลากหลาย เช่น ซังข้าวโพด เปลือกมังคุด เปลือกขนุน กาบมะพร้าว
4. ควรศึกษาการผลิตแผ่นกรองอากาศจากถ่านก้มมันต์โดยใช้สารอื่นเป็นตัวกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพเพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผ่นกรองอากาศจากถ่านก้มมันต์ที่ใช้ไอน้ำซึ่งคาดว่าเป็นตัวกระตุ้น เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน เป็นต้น
5. ควรศึกษาการผลิตแผ่นกรองอากาศจากถ่านก้มมันต์โดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีเพื่อนำมาเปรียบเทียบความเหมาะสมทั้งในด้านประสิทธิภาพและประสิทธิผลกับแผ่นกรองอากาศจากถ่านก้มมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ

## บรรณานุกรม

- [1] ทรงชัย พรรถสวัสดิ์ และคณะ. (2536). เทคโนโลยีการควบคุมคอมพิวเตอร์ระดับชาติ สถาบันสูงสุด 36 , สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
- [2] จ่ายจาก เอียน. (2538). การคุณชั้นและการประยุกต์ในอุตสาหกรรม. เทคนิคโรงพิมพ์ที่ 12 ฉบับที่ 125 เดือนมกราคม. หน้า 125-128.
- [3] วิภาวดี วิภาวดี. (2544). ธุรกิจใหม่ในเอเชีย. กรุงเทพฯ : สารสารเอนเชิญในวันนี้ ฉบับที่ 289 เดือน กันยายน. หน้า 157.
- [4] เตชะดม กัทรศัย. (2543). ทุเรียนราชพฤกษ์. กรุงเทพฯ : โปรด-เอสเอ็มเอ็ม. หน้า 189-200.
- [5] สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร กรมการค้าภายใน. (2550). ผลิตผลสินค้าทางการเกษตร. กรุงเทพฯ : สารสารทำสวนบนกระดาษ ฉบับที่ 34 หน้าที่ 27-29
- [6] ผู้เขียน ชุมกลิน. ทุเรียนทุเรียน. (2543). (ไม่ปรากฏเอกสารที่พิมพ์). สืบกันเมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2550 จาก: <http://www.wikipidea.org>
- [7] พิชัยรัตน์ อริยะเดชาภิชา.( 2549). การผลิตและประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์จากยางล้อใช้แล้ว. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [8] สุกากรณ์ เชื้อประเสริฐ.(2549). การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการคุณติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกผลไม้. สารวิจัยสภาวะแวดล้อม ปีที่ 24 เล่มที่ 2, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [9] บุญ สวัสดิ์ชัย. (2548). การใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลสำหรับการกำจัดโครงเริมจากน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. มหาวิทยาลัยเรศวร.
- [10] พิศาล อรรคคำและคณะ. (2548). การผลิตถ่านกัมมันต์จากกระ吝ะพาร์ว่าโดยเทาแพแบบหมุน. วิทยานิพนธ์ วศ.ม.สถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [11] วิญญาณ์ ไสภานกิจ โภศด และ ภาวนี วุฒิกุล.(2548).การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จาก กระ吝ะพาร์วและเปลือกข้าว. โครงการพระราชดำริ สวนจิตรลดา:กรุงเทพ
- [12] อุรัววรรณ อุ่นแก้ว. (2548). การผลิตถ่านกัมมันต์จากกระ吝ะพาร์วัลเม่นน้ำหนันด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำอิมตัวยิงยาด. กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [13] จุฑามาศ จิตต์เจริญ. (2547). การเตรียมถ่านกัมมันต์โดยใช้สารละลาย  $ZnCl_2$ . วิทยานิพนธ์ วศ.ม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [14] นิศากร แสงนิล.(2547).การหาพื้นที่ผิวจำเพาะและการคุณชั้นโลหะของวัสดุคุณชั้นบางชนิด. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- [15] ศิริลักษณ์ นิวัฒนธรรม. (2547). การผลิตถ่านกัมมันต์จากกล้าปาล์มน้ำมันด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยสาร อะลัยสังกะสีคลอไรต์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [16] จินดารัตน์ นิ่มพาณิช และคณะ. (2546). การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเหยวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [17] วีรากรณ์ มั่นเมือง. (2545). การทำน้ำมันเครื่องหล่อเลี้นเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพด้วยถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [18] ชเรศ ศรีสุกิต และ ลดา นิทัศนารุกุล. (2545). การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการกรุดคิดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกผลไม้. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม ปีที่ 24 เล่มที่ 2.
- [19] กิตติมา ฤกษ์หาราย และคณะ. (2544). การผลิตถ่านกัมมันต์จากง่วงเกรือกถัวโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [20] เทอดวรรณ เย็นสถา และวิชัย วงศานันท์. (2544). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชิ้งค์คลอไรต์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกล้ามะพร้าว : กรุงเทพ. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [21] ประภัส แวงแก้ว. (2544). การกรุดชั้นโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์โดยถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [22] ลดา นิทัศนารุกุล. (2544). การศึกษาความสามารถในการกรุดคิดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกทูเรียนและเมล็ดมะม่วงพิมพานต์. กรุงเทพ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [23] ปรีชา ชิโนเรศ โยธิน. (2543). การพัฒนาวิธีการเตรียมถ่านอย่างมีประสิทธิภาพ. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [24] วิชัย ธรรมสาธิตและเกynom พัตรณณีฤกษ์. (2543). การผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยเกลือโซเดียมคลอไรต์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. สถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [25] สยาม พิมพ์ภาณุนทร์ และคณะ. (2543). การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกถัวน้ำไวท์ที่ใช้ในการกรุดชั้นเครื่องกรองน้ำ. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [26] Guzel Fuat. (2006). The effect of surface Acidity upon the Adsorption Capacities of Activated Carbons. Separation Science and Technology.
- [27] Issa I.Salame and Teresa J.Bandosz. (2006). Comparison of the surface Feature of Two Wood – Based Activated Carbon. Ind. Eng. Chem.
- [28] Tiwari , D.P.Singh , D.K. , and Saksena , D.N. Hg(II). (2006). Adsorption from Aqueous solution using Rice – Husk Ash. Journal of Environmental Engineering.

- [29] Usmani , Haider , Tanzil , Wahab , Tomoor , Ahmed , Zafar , S. , and YousufZal , A.H.K. (2005).Preparation and Chara Characterization of Activated Carbon from a Low Rank Coal. Carbon.
- [30] Yong Zou and Bu-Xing han. (2001). High-Surface Area Activated Carbon from Chinense Coal. Energy Fuels.
- [31] Kirubakaran,C.J.et al. (1998). Adsorption from Fluidizebase-Basing Activated Carbon. Engineering and Technology.
- [32] Mukherjee,S and al.(1997). Comparison of Palm shell- Peanut Activated Carbon. Agricultural Technology.
- [33] Johnson และคณะ. (1996). การผลิตถ่านกัมมันต์จากผงหิน. (ไม่ปรากฏเอกสารที่พิมพ์) สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2550 จาก [www.science.direct.co.th](http://www.science.direct.co.th)
- [34] Ninomiya และคณะ.(1996). การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้. (ไม่ปรากฏเอกสารที่พิมพ์) สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2550 จาก [www.thai-charcoal.com](http://www.thai-charcoal.com)
- [35] Jame R. Layton (1996). การทำงานของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในตู้ทะเล. การเลี้ยงปลาตู้. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2550 จาก [www.sanook.com](http://www.sanook.com)
- [36] พาสุก คงชาตรี และคณะ. (2535). การเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์จากกระบวนการฟร้าว เนื้อตาอโนนด และเปลือกเนลล์มะ่วงหินพานท์.กรุงเทพ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย,
- [37] พิณพิมล สิงชีวงศ์ .(2547). การผลิตถ่านกัมมันต์จากหินอ้อย. พระจอมเกล้าธนบุรี วิทยานิพนธ์ วศ.ม. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [38] กทราย ปัญญวัฒนกิจ.(2540).การผลิตถ่านกัมมันต์จากกระถางปาล์มน้ำมันด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยไอโน่เอ็นด้วยดีจิ้ง.วศ.ม. มหาวิทยาลัยนพก.
- [39] พชรี ทิภារและคณะ.(2547). การผลิตถ่านกัมมันต์จากปาล์มน้ำมัน.วิทยานิพนธ์ วศม. มหาวิทยาลัยนเรศวร
- [40] อุไรวรรณ ธรรมรัตนพคุณ.(2548). ถ่านกัมมันต์. (ไม่ปรากฏเอกสารที่พิมพ์) สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2548 จาก [www.charcoalkingdom.com](http://www.charcoalkingdom.com)
- [41] สัมฤทธิ์ ไม้พ่วง.(2545). การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย.งานวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
- [42] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.(2532). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ (ถ่านกัมมันต์). กรุงเทพ :กระทรวงอุตสาหกรรม.

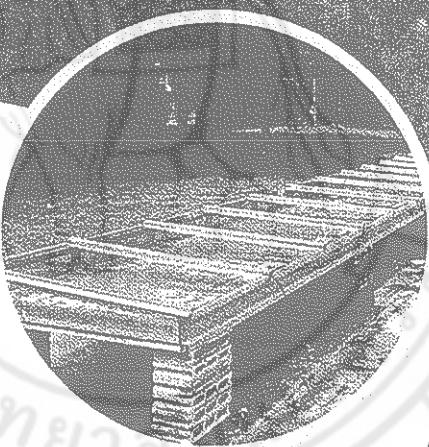
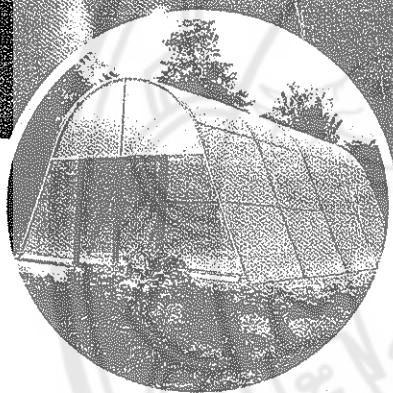
- [43] จิตาพร ทองท่วม.(2549). ถ่านกัมมันต์ ถ่านดีมีประ โภชน์. (ไม่ปรากฏเอกสารที่พิมพ์)  
สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2548 จาก [www.kapook.com](http://www.kapook.com)
- [44] ยุพาพร เพชรทองและคณะ. (2547).ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จาก  
เปลือก มะขาม.วิทยานิพนธ์. วศน. มหาวิทยาลัยนเรศวร
- [45] สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร กรมการค้าภายใน.(2550). สถานการณ์ทุเรียนไทย. กรุงเทพฯ :  
วารสารทำสวนบนกระดาษ ฉบับที่ 34 หน้าที่ 47-60



# การประชุมวิชาการ เครือข่ายพลังงาน

## แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4

The 4<sup>th</sup> Conference on Energy Network of Thailand (E-NETT)

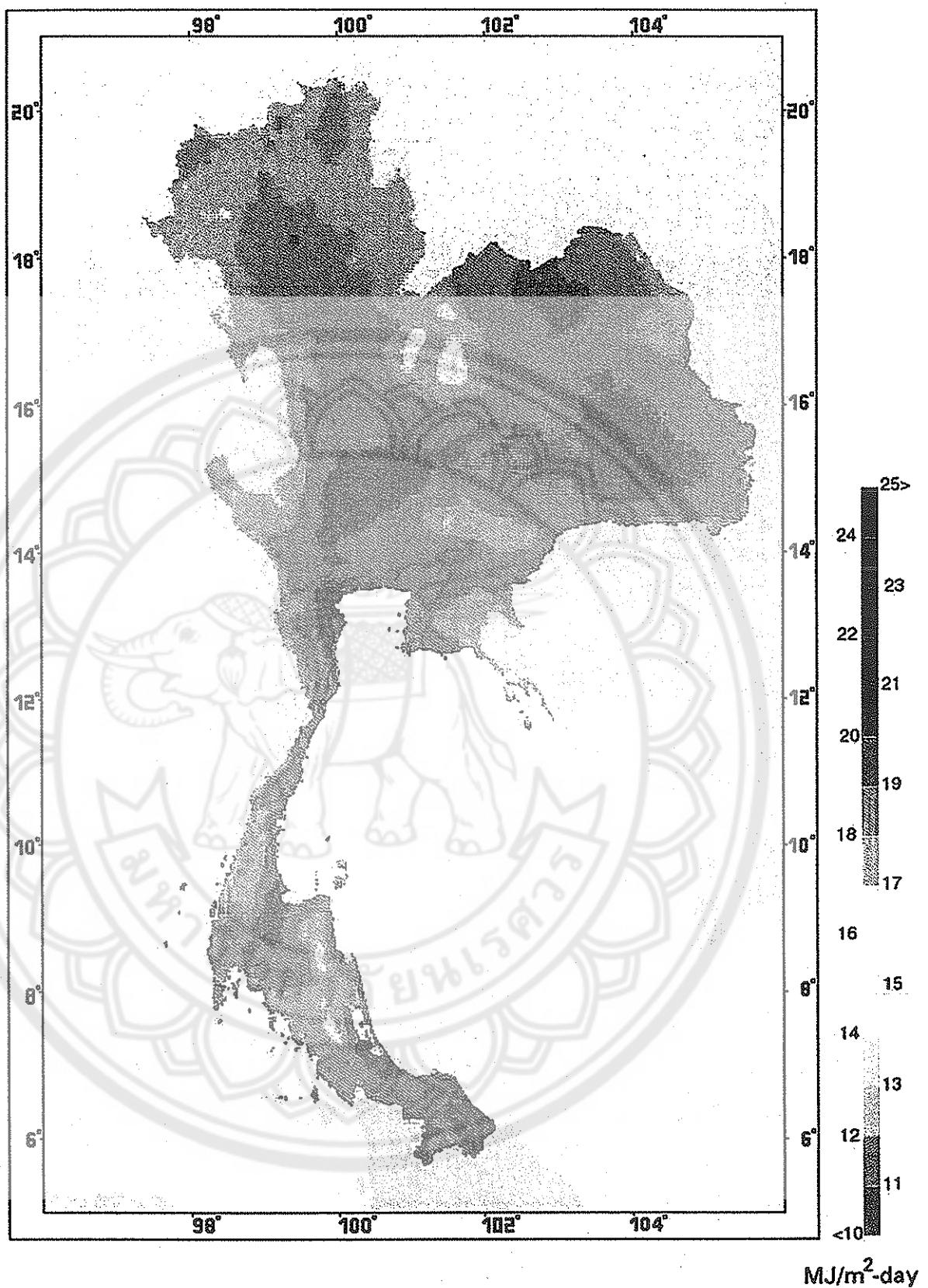


จัดโดย

Solar Energy Research Laboratory  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ร่วมกับ<sup>1</sup>  
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
และคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร



วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2551  
ณ โรงแรมโรสวาร์เดิน รีเวอร์ไซด์ (สวนสามพราน) นครปฐม



**แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยจากข้อมูลการสำรวจเที่ยบ**  
**(SOLAR RADIATION MAP OF THAILAND FROM SATELLITE DATA)**

พัฒนาโดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน  
 ร่วมกับ Solar Energy Research Laboratory ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เมื่อ พ.ศ. 2540

สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร  
Physical - Chemical Property of Activated Carbon from Waste Agricultural

ศิรนุช จินดาภักษา, พิชณันท์ ค่านวนลินธ์, สมชาย มณีวรรณ์, พรสราร์ต ออมรักษ์ชัย และอนุสรณ์ วรสิงห์  
หน่วยวิจัยพลังงานทางด้านความร้อนและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้า จังหวัดพิษณุโลก 65000  
โทร. 055-261-000-4 ต่อ 3523 โทรสาร 055-261-000-4 ต่อ 3552 \*อีเมล somchaim@nu.ac.th

Sirinuch Chindaruksa, Nitchanan Khamnuansin, Somchai Maneewan, Pornsawan Amornsakchai and Anusorn Vorasingha  
Thermal Energy and Energy Conservation Promotion Research Unit  
Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand  
Tel: 0-5526-000-4 ext. 3552-3, Fax: 055-261-000-4 ext. 3552  
\*Corresponding author E-mail: somchaim@nu.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ เมล็ดอกทุเรียนและเปลือกมะขาม โดยทำการเผาไหม้ในเตาเผาอันอากาศที่  $500^{\circ}\text{C}$  ถึง  $700^{\circ}\text{C}$  ทำการระดูด้วยไอน้ำในหม้ออัดความดัน 80 kPa เป็นเวลา 30 นาที ทำการวิเคราะห์ด้วยปรับต่างๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ดังนี้ อุณหภูมิในการเผา ค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้ (ASTM D 1087) ความชื้น (ASTM D 2867) เศ้า (ASTM D 2866) สารระเหย (ASTM D 5832) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM D 5834) และการดูดซับไออกเจน (AWWA B 604) พนวจว่าที่อุณหภูมิการเผา  $700^{\circ}\text{C}$  มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่าดูดซับไออกเจนสูงสุด โดยที่ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนมีค่าการดูดซับไออกเจนมากกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม คือ 719.05 mg/g และ 287.85 mg/g ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนมีค่าผลผลิตเฉลี่ยร้อยละ 24.79 ความชื้นร้อยละ 3.22 เศ้าร้อยละ 0.98 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 4.19 และปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 91.61 ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามมีค่าผลผลิตเฉลี่ยร้อยละ 19.62 ความชื้นร้อยละ 3.24 เศ้าร้อยละ 0.09 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 4.30 และปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 92.64

### Abstract:

This paper was to found the optimum condition of activated carbon production from Mass Product; durian peel and tamarind shell. In the experiment, combustion of the Mass Product at  $500^{\circ}\text{C}$  to  $700^{\circ}\text{C}$  in the combustion chamber to produced the charcoal. The preparation process consisted of superheat steam at 80 kPa impregnation 30 minutes. Carbonization temperature, % yield (ASTM D 1087), Moisture (ASTM D 2867), Ash (ASTM D 2866), Volatile carbon matters (ASTM D 5832), Fixed carbon (ASTM D 5834) and Adsorption of iodine number (AWWA B 604) were analyzed by Standard Activated carbon. It was found that  $700^{\circ}\text{C}$  the activated carbon is highest of the iodine number. The iodine number of Activated carbon from durian peel was higher than activated carbon from tamarind shell. There were 719.05 mg/g and 287.85 mg/g. The durian peel activated carbon has 24.79 % yield, 3.22 % moisture, 0.98 % ash, 4.19 % Volatile matters and 91.61 % fixed carbon. The tamarind shell activated carbon has 19.62 % yield, 3.24 % moisture, 0.09 % ash, 4.03 % Volatile matters and 92.64 % fixed carbon.

คำสำคัญ : วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, ถ่านกัมมันต์, สมบัติทาง  
กายภาพและเคมี

Keyword: Waste Agricultural, Activated Carbon, Physical –  
Chemical Property

## 1. บทนำ

ปัญหามลภาวะทางอากาศจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย เป็นปัญหาที่มีวันจะกว่าความรุนแรงขึ้น เนื่องจากประเทศไทยมีการประกอบอาชีพที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมกันมากขึ้น เช่น โรงงานเคลือบชุบโลหะ โรงงานสแตนเลส โรงงานฟอกย้อม และโรงงานพ่นสีรอยันต์ หากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ปล่อยอากาศเสียโดยไม่มีการบังคับ จะส่งผลกระทบกับประชากรจำนวนมาก หากได้รับการสะสมในระดับที่เกินมาตรฐาน อาจก่อให้เกิดอาการคลื่นหัวใจ อาเจียน และอาจทำให้เสียชีวิต นอกจากนี้ยังสามารถสะสมแล้วก่อให้เกิดโรคเรื้อรังได้ [1]

ถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้ในการดูดซับ ตั้งแต่ค.ศ. 15 Ostreyko นักวิทยาศาสตร์ชาวโปแลนด์ ได้ใช้คลอร์ไรด์ของโลหะผสมกับถ่านแล้วนำไปเผาเพื่อใช้ในการดูดซับ จึงนับได้ว่า Ostreyko เป็นผู้เริ่มที่เกิดอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นอย่างจริงจัง ทำให้มีการผลิตถ่านกัมมันต์ในเชือต่างๆ เช่น Epomit, Norit, Carboraffin, Filterchar เป็นต้น ในระหว่างสังคրามโลกครั้งที่ 1 มีการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษจากจุดเนื้อเรือทำให้เกิดวิกฤติในสมัยการท่าก้าวให้บริสุทธิ์ของถ่านกัมมันต์ และได้มีการปรับปรุงพัฒนาอย่างต่อเนื่อง [2]

ปัจจุบันได้มีการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้อย่างแพร่หลาย เช่น

- ใช้ในการทำหน้ากากป้องกันก๊าซ ทั้งในการทหาร และในโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับป้องกันสารอินทรีย์บางอย่างได้ [3]

- ใช้ในการนำตัวทำละลายที่รีดเย็น ได้กลับมาใช้ใหม่ ที่ใช้มากที่สุดคือ การใช้แยกไอดัตัวทำละลายจากอากาศเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ โดยที่ไอดัตัวทำละลายที่ดูดซับไว้ในด่านที่มีปฏิกิริยาที่อุณหภูมิปกติ จะถูกขยายออกมากเมื่อผ่านไอน้ำความดันต่ำ [4]

- ใช้ในการปรับอากาศ โดยใช้ถุงกัมมันต์อันไม่พึงประสงค์ออกจากห้องปรับอากาศ นอกจากนี้ยังช่วยกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไฮโดรเจน แมลงเนีย อะเซทิลีน และก๊าซต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมได้ด้วย [5]

- ใช้ในโรงงานยาสูบ ใช้แทนเซลลูโลส เป็นกันกรองบุหรี่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งไม่สามารถป้องกันสารพิษในควันบุหรี่ได้ทั้งหมด เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์แทนเซลลูโลส จะช่วยกำจัดก๊าซที่ไปกดการทำงานของบุหรี่ในระบบทางเดินหายใจ [6]

เนื่องจากถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่มีราคาไม่แพงและมีความสามารถในการดูดซับสูงมาก แต่ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับการดูดซับที่ไม่ครอบคลุมสารพิษทุกชนิด จำเป็นต้องอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมซึ่งจะมีประสิทธิภาพอย่างเต็มที่ การเลือกใช้ถ่านกัมมันต์จะต้องคำนึงถึงดัชนีการดูดซับ ดังนี้ อุณหภูมิ ความชื้น เส้า สารระเหย บริมาณคาร์บอนคงตัว และการดูดซับ ดังนี้เพื่อเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุเรียนและเปลือกมะเขือเทศ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวจะสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและยังช่วยสร้างงานให้กับเกษตรกรมากขึ้น

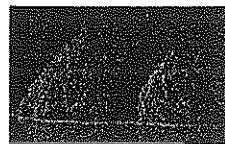
## 2. หลักการและทฤษฎี

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นถ่านที่มีสมบัติพิเศษที่ได้รับการเพิ่มคุณภาพ หรือประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการใช้เทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้มีสมบัติในการดูดซับสูง [7]

ประเภทของถ่านกัมมันต์ มี 2 ประเภท ดังนี้



รูปที่ 1 ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด



รูปที่ 2 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (granular activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ได้ไม่เกิน ร้อยละ 5 โดยหัวนัก มักใช้ในการกรองอากาศ ทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ

2. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (powder activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ได้ไม่เกิน ร้อยละ 90 โดยหัวนัก มักใช้ในการทำสารละลายให้บริสุทธิ์ เช่น การกรองน้ำประปา

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ มี 2 วิธี ดังนี้

### 1. การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation)

เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ หรือไอน้ำ ซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่อห้องซูปเปรเมล 700 - 1,000 °C เพราะไอน้ำที่ใช้ต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนยิ่งขวดเพื่อทำให้สารอินทรีย์ต่างๆ ละลายไปและทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะรูพรุน

ข้อดี - ได้ถ่านกัมมันต์ที่รูพรุนขนาดเล็ก ทำให้มีการดูดซับได้ดี

- ไม่มีสารเคมีตกค้าง ไม่เป็นอันตราย

- ต้นทุนในการผลิตต่ำ

ข้อเสีย - วัสดุ อุปกรณ์ หายาก มีความเฉพาะเจาะจง

### 2. การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation)

เป็นการนำวัตถุดิบมาผสมกับสารเคมี เช่น ZnCl<sub>2</sub> หรือ NaCl เพราะมีความสามารถดูดซับความชื้นได้ดี แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 - 700 °C ลักษณะสารเคมีออกฟองแตกให้แห้ง ตัวกระตุ้นจะแทรกเข้าไปในเนื้อถ่านทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ ไม่นิยมนำมาบีโภค

ข้อดี - สะดวก ง่าย ไม่ยุ่งยากในการทำการทดลอง

ข้อเสีย - ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่

- มีสารเคมีตกค้างต้องเสียเวลาล้างนา

- ต้นทุนในการผลิตสูง [8]

### 3. วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- เตาเผาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้
- เครื่องชั่งหนักนิยม 4 ตำแหน่ง
- เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้
- โถดุดความชื้นหรือเดสซิเคเตอร์
- ถ้วยกระเบื้องทนความร้อนหรือครุภัณฑ์
- เครื่องบันดาลหรือมอเตอร์
- หม้ออัดความดัน

การศึกษาดังกล่าว ได้ทำการเผาเปลือกทุเรียน กระตุ้นด้วยไอน้ำและศึกษาตัวแปรต่างๆ ดังนี้

#### 3.2 การศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้ (% yield) จากสูตร

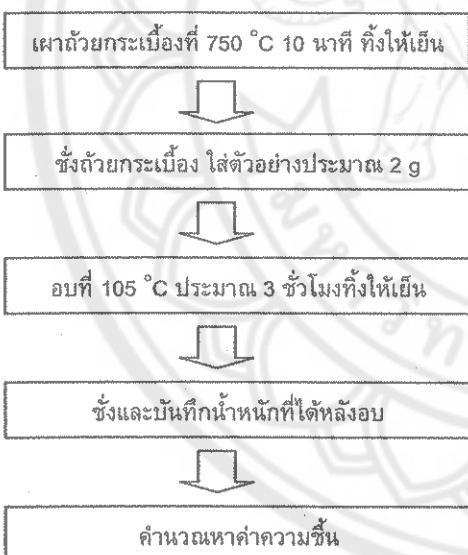
$$Y_i = [(X - Y) / X] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ  $Y_i$  = ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (%)

$X$  = น้ำหนักของเปลือกทุเรียนก่อนเผา (g)

$Y$  = น้ำหนักของเปลือกทุเรียนหลังเผา (g)

#### 3.3 การศึกษาปริมาณความชื้น (Moisture ; M) [9]



รูปที่ 3 ขั้นตอนทดสอบความชื้น

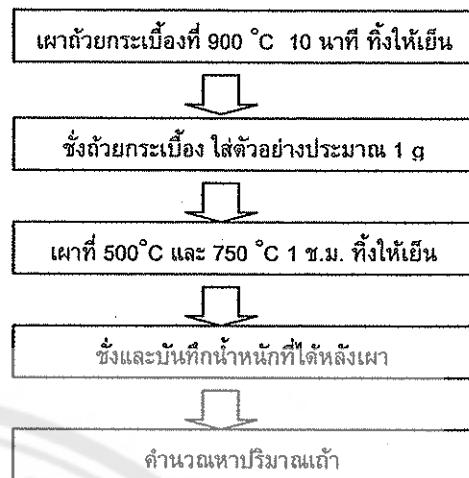
$$M = [(L - K) / L] \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ  $M$  = ร้อยละของความชื้น (%)

$L$  = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ (g)

$K$  = น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (g)

#### 3.4 การศึกษาปริมาณเถ้า (Ash content; Ac) [10]



รูปที่ 4 ขั้นตอนทดสอบเถ้า

$$Ac = [(T - J) / U] \times 100 \quad (3)$$

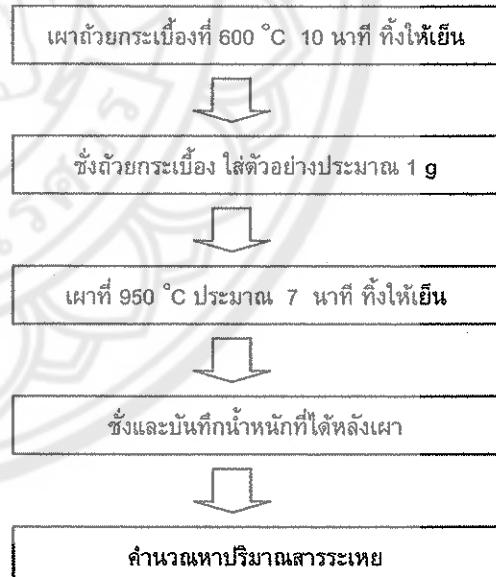
เมื่อ  $Ac$  = ร้อยละของเถ้า (%)

$T$  = น้ำหนักของเถ้าพร้อมถ้วยกระเบื้อง (g)

$J$  = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง (g)

$U$  = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนเผา (g)

#### 3.5 การบริมาณสารระเหย (Volatile matter ;Vm) [11]



รูปที่ 5 ขั้นตอนทดสอบสารระเหย

$$Vm = [(P - Q) / P] \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ  $Vm$  = ร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสีย (%)

$P$  = น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

$Q$  = น้ำหนักของตัวอย่างหลังเผา (g)

$$Vm = WL - M$$

(5)  $M = \text{ปริมาณถ่านที่ใช้ (g)}$   
 $DF = \text{ค่าคงที่ของการเจือจาง หาได้จากสูตร}$

เมื่อ  $WL = \text{ร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสีย (%)}$   
 $M = \text{ร้อยละความชื้น (%)}$

### 3.5 การศึกษาค่าคาร์บอนองค์ตัว (Fixed carbon ; Fc) [12]

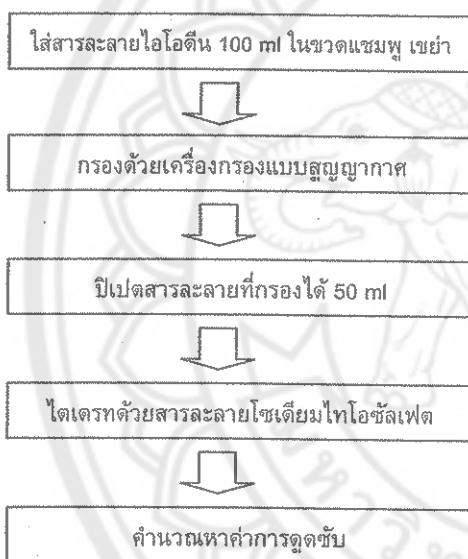
$$Fc = 100 - (A + Vm + M)$$

$$(6) DF = \frac{1+H}{F}$$

เมื่อ  $Fc = \text{ร้อยละของคาร์บอนองค์ตัว}$   
 $A = \text{ร้อยละเต้า}$   
 $Vm = \text{ร้อยละปริมาณสารระเหย}$   
 $M = \text{ร้อยละความชื้น}$

เมื่อ  $I = \text{ปริมาตรของไอโอดีน (ml)}$   
 $H = \text{ปริมาตรไออกซอลฟอริก 5% (ml)}$   
 $F = \text{ปริมาตรของไอโอดีนที่ใช้ในการไดเรก (ml)}$

### 3.6 การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) [13]



รูปที่ 6 ขั้นตอนการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน

ค่าการดูดซับจำเพาะของไอโอดีน ( $X/M$ ) ได้จากสูตร

$$(7) \frac{X}{M} = \frac{A - (DF \times B \times S)}{M}$$

เมื่อ  $\frac{X}{M} = \text{มิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านที่ใช้ดูดซับ}$

$$A = (N_1)(12693.0)$$

$$N_1 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายน้ำยาไอโอดีน (N)}$$

$$B = (N_2)(126.93)$$

$$N_2 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายน้ำยาไอโอดีนไอกซอลฟอริก (N)}$$

$$S = \text{ปริมาตรของสารละลายน้ำยาไอโอดีนไอกซอลฟอริกที่ใช้ (ml)}$$

เมื่อคำนวณหาค่า  $X/M$  ซึ่งเป็นผลของการดูดซับไอโอดีนแล้ว สามารถหาค่า  $X$  ได้โดยนำค่า  $M$  มาคูณกับค่า  $X/M$  ที่ได้ จากนั้นนำค่า  $X$  มาหาค่า  $\log X$  เพื่อนำค่า  $\log X$  ไปplot ลงกราฟกับค่า  $\log C$  โดยค่า  $C$  หาได้จากสูตร

$$(9) C = \frac{N_2 \times S}{F}$$

เมื่อ  $C = \text{ความเข้มข้นของสารละลายน้ำยาไอโอดีนที่เหลือ (N)}$   
 $N_2 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายน้ำยาไอโอดีนไอกซอลฟอริก (N)}$   
 $S = \text{ปริมาตรของสารละลายน้ำยาไอโอดีนไอกซอลฟอริกที่ใช้ (ml)}$   
 $F = \text{ปริมาตรของสารละลายน้ำยาไอโอดีนที่ใช้ในเทอร์ (ml)}$

กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง จากสมการเส้นตรงของกราฟจะทำให้ทราบค่า  $y$  จากนั้นจะสามารถหาค่าไอโอดีนแม่เบอร์ได้โดย

$$(10) \text{Iodine Number} = 10^y$$

#### 4. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเคมีระหว่างถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ่นและถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม

	ถ่านจากเปลือกหุ่นเรียน			ถ่านจากเปลือกมะขาม		
	อุณหภูมิการเผา (°C)		อุณหภูมิการเผา (°C)			
สมบัติ	500	600	700	500	600	700
% yield	26.87	25.16	24.79	25.20	22.69	19.62
Moisture	3.57	3.30	3.22	3.36	3.15	3.24
Ash	0.87	0.85	0.98	0.37	0.23	0.09
Volatile	6.58	5.23	4.19	5.70	5.32	4.03
Carbon	89.04	90.61	91.61	90.57	91.30	92.64
I <sub>2</sub> No.	613.97	683.72	719.05	209.17	221.01	287.86

จากการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเคมี ระหว่างถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ่นเรียนและถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม พบว่า ถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีสมบัติใกล้เคียงกัน โดยที่ ถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ่นเรียนมี เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ , เปอร์เซ็นต์ความชื้น, เปอร์เซ็นต์เต้า , เปอร์เซ็นต์สารระเหย , ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่า ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ่นเรียน มีเปอร์เซ็นต์สารระเหยน้อยกว่า ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม

เนื่องจากเปลือกหุ้นเรียนมีความหนาแน่นของเส้นใยมากกว่าเปลือกมะขาม จึงเพิ่มให้มีได้ยากกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามที่มีเส้นใยเบาบาง ทำให้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ้นเรียนมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้สูงกว่าถ่านจากเปลือกมะขาม ส่วนผลให้ถ่านจากเปลือกหุ้นเรียนมีเปอร์เซ็นต์ความชื้น , เปอร์เซ็นต์เต้าและเปอร์เซ็นต์สารระเหยมากกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ้นเรียนยังมีค่าการดูดซับไฮโดรเจนสูงกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม ทั้งนี้ เพราะเปลือกหุ้นเรียนมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าเปลือกมะขาม เมื่อผ่านการกระตุนด้วยไอน้ำ ทำให้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ้นเรียนมีรูปทรงมากกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม ส่วนผลให้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ้นเรียนมีค่าการดูดซับไฮโดรเจนสูงกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าการดูดซับไฮโดรเจนระหว่างถ่าน

กัมมันต์จากเปลือกหุ้นเรียน ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม และถ่านกัมมันต์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ถ่านกัมมันต์	อุณหภูมิไฟ (°C)	ค่าการดูดซับไฮโดรเจน (mg/g)
เปลือกหุ้นเรียน	500	614
	600	683
	700	719
เปลือกมะขาม	500	209
	600	221
	700	287
ต่างประเทศ	จีน	1277
	อเมริกา	1491

จากการเปรียบเทียบค่าการดูดซับไฮโดรเจน ระหว่างถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ้นเรียน , ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม และถ่านกัมมันต์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ พบว่าค่าการดูดซับไฮโดรเจนของถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ้นเรียนและถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามมีค่า้อยกว่าถ่านกัมมันต์จากประเทศจีนและสหรัฐอเมริกา เนื่องจากศักยภาพของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ ทั้งในเรื่องความพร้อมและประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พบว่าที่อุณหภูมิการเผา 700 °C มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่าดูดซับไฮโดรเจนสูงสุด โดยที่ถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ้นเรียนมีค่าการดูดซับไฮโดรเจนมากกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขาม คือ 719.05 mg/g และ 287.85 mg/g ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์จากเปลือกหุ้นเรียนมีค่าผลผลิตเฉลี่ยร้อยละ 24.79 ความชื้นร้อยละ 3.22 เต้าร้อยละ 0.98 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 4.19 และปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 91.61 ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามมีค่าผลผลิตเฉลี่ยร้อยละ 19.62 ความชื้นร้อยละ 3.24 เต้าร้อยละ 0.09 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 4.03 และปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 92.64

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และโครงการส่งเสริมผู้มีคุณลักษณะความเป็นครุวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (ส.ค.ว.ค.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กองวิจัยทางการแพทย์. (2526). สารเคมีกับคุณภาพชีวิต. กรุงเทพ : กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.
- [2] หาสุก คงชาตรี และคณะ. (2535). การเบรเยนเทียนถ่านกัมมันต์จากกะลาะพราว เนื้อต้าลโหนด และเปลือกเมล็ดมะม่วง หิมพานต์. กรุงเทพ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- [3] Yong Zou and Bu-Xing han. (2001). High-Surface Area Activated Carbon from Chinnese Coal. Energy Fuels.
- [4] Usmani , Haider , Tanzil , Wahab , Tomoor , Ahmed , Zafar , S. , and YousufZal , A.H.K. . (1996). Perparation and Chara Characterization of Activated Carbon from a Low Rank Coal. Carbon.
- [5] Tiwari , D.P.Singh , D.K. , and Saksena , D.N. Hg(II). (1995) Adsorption from Aqueous solution using Rice – Husk Ash. Journal or Enviromental Engineering.
- [6] พินพิมล สิงขิริวงศ์. (2537). การผลิตถ่านกัมมันต์จากชาห้ออย. พระจอมเกล้าธนบุรี : วิทยานิพนธ์ วศม. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [7] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2532). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ถ่านกัมมันต์). กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [8] บุญ สวัสดิ์ชัย. การใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลในการกำจัดโกรเมี้ยมจากน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยเกรียง : วิทยานิพนธ์ วศม. วิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม.
- [9] American Standard of testing Material. Standard test method for moisture in Activated Carbon ASTM D 2867 – 95.1996.
- [10] American Standard of testing Material. Standard test method for total ash content of Activated Carbon ASTM D 2866 – 94. 1996.
- [11] American Standard of testing Material. Standard test method for Volatile Matter Content of Activated Carbon ASTM D 5832 – 95.1996.
- [12] American Standard of testing Material. Standard test method for fixed carbon Content of Activated Carbon ASTM D 5832 – 95.1996.
- [13] American water work Association. Standard test for determination of iodine number of granular Activated Carbon.1996