



การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนโดยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ

ปิ่นณัฏพัทธ์ วงษ์พิมพ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม  
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์  
มิถุนายน 2563



การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนโดยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ



ปณณัฏพัฑฒ์ วงษัฒพัฒพัฑ

วฤทธานฤพณณัฏพัฑฒ์นั้เป็ญส่วนหนึ่ญงการศฤกษาตามหลักสูตร  
หลักสูตรวฤศวกรรณศาสตรณหาบัณณัฏพัฑฒ์ สาขาวิชาการจัตุการงานวฤศวกรรณ  
คณณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรณณ มหาวฤทยาฬัฒราชภัฏอุตตรดิตุถ์

ณฤนายน 2563

ลฤชลฤทฤฐ์ของมหาวฤทยาฬัฒราชภัฏอุตตรดิตุถ์

The Fabrication Of Durian Peel Activated  
Carbon By Using Steaming Activation

The image features a large, faint watermark of the Uttaradit Rajabhat University logo in the background. The logo is circular and contains a central emblem with a flame-like design and a tiered structure. The text "UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY" is written around the bottom half of the circle, and Thai script is at the top.

Punpatipat Wongpim

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements  
for Master of Engineering Program (Engineering Management)  
faculty of Industrial Technology Uttaradit Rajabhat University

June 2020

Copyright of Uttaradit Rajabhat University

วิทยานิพนธ์ เรื่อง  
การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนโดยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ  
ของ  
ปณณฎิพัทธ์ วงษ์พิมพ์

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจากคณะกรรมการที่ปรึกษาและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์  
ให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทงศักดิ์ โนไชยา )  
ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์ อินทวงศ์)  
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปณิพัทธ์ ถนอมพงษ์ชาติ)  
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.พลิศภัทร์ คำฟู )  
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์และเลขานุการ

(อาจารย์ ดร.ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ)  
ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษาประจำหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์ อินทวงศ์)  
คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

(อาจารย์ ดร.เชาวฤทธิ์ จั่นจั่น)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรืองเดช วงศ์หล้า)  
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

## บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง	การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนโดยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ
ผู้วิจัย	ปิ่นนภฎิพัทธ์ วงษ์พิมพ์
ปริญญา	หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม)
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร.พลิศรัสร คำฟู
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญพัทธ์ ฌนอมพงษ์ชาติ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการ คุณสมบัติ และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ โดยเปลือกทุเรียนจะถูกคาร์บอนไนเซชันด้วยการเผาแบบอับอากาศ ที่ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำผงถ่านที่ได้มาทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที จากนั้นนำมา วิเคราะห์ค่าความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าร้อยละผลผลิต และค่าการดูดซับโลหะหนัก และพื้นที่ผิว BET

ผลวิจัย พบว่า ผงถ่านที่ผ่านการคาร์บอนไนเซชันเผาแบบอับอากาศมีค่าร้อยละความชื้น 24.16 มีค่าร้อยละของผลผลิตอยู่ในช่วง 75.92-75.96 มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 9.94 มีร้อยละการดูดซับโลหะหนักอยู่ที่ 0.23-12.87 และมีพื้นที่ผิว BET เท่ากับ 215 ตารางเมตรต่อกรัม และทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่าค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 13.96-13.99 ค่าร้อยละผลผลิตมีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 86.03-86.06 ตามลำดับ ค่าร้อยละของการดูดซับโลหะหนักมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการกระตุ้นไอน้ำ มีค่าเฉลี่ยร้อยละอยู่ในช่วง 0.83-73.40 ขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าลดลงจาก 9.94 อยู่ในช่วง 7.24-7.34 และเมื่อพิจารณาค่าพื้นที่ผิว BET พบว่ามีค่าพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นโดยมีค่าอยู่ในช่วง 531-612 ตารางเมตรต่อกรัม

ดังนั้น กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ สามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่ได้ค่าการดูดซับผ่านตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 900-2547

คำสำคัญ : ถ่านกัมมันต์ เปลือกทุเรียน การกระตุ้นด้วยไอน้ำ

## Abstract

Title	The Fabrication Of Durian Peel Activated Carbon By Using Steaming Activation
Author	Punpatipat Wongpim
Degree	Master of Engineering Program (Engineering Management)
Advisor	Dr. Phalitphat Khumfu
Co-Advisor	Assistant Professor Dr.Patipat Thanompongchart

The purposes of this research were to study process, quality and appropriate condition of fabrication of activated carbon produced from durian peels and to examine adsorptive capacity of the activated carbon. The experiment started with carbonizing durian peels by burning in a confined space at 400 °C for 1 hour then using steaming activation at 100 °C for 30, 60 and 90 minutes. Afterwards, the durian peel activated carbon was analyzed for moisture content, pH value, percentage of yield, heavy metal adsorption, and BET.

The results revealed that the moisture content of durian peel activated carbon burned in a confined space was 24.16% with 75.92-75.96 percentage of yield, 9.94 pH value, heavy metal adsorption at 0.23-12.87% and 215 m<sup>2</sup>/g BET. However, after steaming activation the moisture content of durian peel activated carbon was between 13.96-13.99%, while the percentage of yield increased to 86.03-86.06. Similarly, the percentage of heavy metal adsorption increased to 0.83-73.40, while the pH value decreased to 7.24-7.34. Moreover, the results showed an increase of the BET to 531-612 m<sup>2</sup>/g.

Therefore, the fabrication of durian peel activated carbon by steaming activation can produce the activated carbon with the adsorption value that has met the standard of TIS 900-2547.

Keyword : Activated Carbon Durian Peel Steaming Activation

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ ดร.พลิศภัทร์ คำฟู อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิพัทธ์ วัฒนพงษ์ชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วยที่ได้กรุณาแนะนำแนวทางสู่ความสำเร็จ และช่วยเหลือแก้ไขปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ รวมทั้งรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณนายนพดล บุญยรัตน์พันธุ์ เจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้คำแนะนำ และความสะดวกในการจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้จัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ขอขอบคุณบิดามารดา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านค่าใช้จ่ายในการศึกษาตลอดมา

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเอื้อประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า และหน่วยงานที่สนใจได้ไม่มากนักน้อย และหากเกิดข้อบกพร่องประการใด กลุ่มผู้วิจัยขอน้อมรับฟังคำชี้แนะจากผู้รู้ทุกท่าน และหากเกิดคุณความดีอันใดขึ้นผู้จัดทำขอน้อมรับสักการะแต่ผู้มีพระคุณข้างต้นทุกท่าน ณ โอกาสนี้

ปณณปฏิพัทธ์ วงษ์พิมพ์

## สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
คำถามการวิจัย.....	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	2
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
การผลิตถ่านกัมมันต์.....	4
ลักษณะของน้ำเสีย.....	20
ทฤษฎี.....	22
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย.....	27
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	27

ขั้นตอนดำเนินการวิจัย .....	34
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	35
ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลการเผาในที่อับอากาศ.....	35
ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลการกระตุ้นทางกายภาพด้วยหม้อนึ่งไอน้ำ.....	39
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	47
สรุปผลการวิจัย.....	47
อภิปรายผล.....	47
ข้อเสนอแนะ.....	48
บรรณานุกรม.....	49
ภาคผนวก.....	51
ภาคผนวก ก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ .....	52
ภาคผนวก ข อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	54
ภาคผนวก ค ภาพรวมการปฏิบัติงาน.....	60
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	68

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีชนิดผง .....	6
ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีชนิดเม็ด .....	6
ตารางที่ 3 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีชนิดอัดเม็ด.....	7
ตารางที่ 4 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีชนิดแท่ง.....	7
ตารางที่ 5 สารเคมี ที่นิยมใช้เป็นสารกระตุ้นในการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี .....	9
ตารางที่ 6 ตัวแปรในการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี.....	16
ตารางที่ 7 วัตถุประสงค์ที่มีการศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์.....	19
ตารางที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นก่อนเผาในที่อับอากาศ.....	35
ตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นหลังเผาในที่อับอากาศ .....	35
ตารางที่ 10 แสดงผลการหาค่า pH ที่ผ่านการเผาในที่อับอากาศ .....	36
ตารางที่ 11 แสดงผลการหาค่าไอโอดีนัมเบอร์.....	36
ตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายปรอท (Hg) .....	36
ตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายทองแดง (Cu) .....	37
ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายแคดเมียม (Cd).....	37
ตารางที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายตะกั่ว (Pb).....	38
ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายเหล็ก (Fe).....	38
ตารางที่ 17 แสดงผลพื้นที่ผิว BET ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านเผาในที่อับอากาศ.....	38
ตารางที่ 18 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นทางกายภาพ.....	39
ตารางที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นทางกายภาพ.....	39
ตารางที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นทางกายภาพ.....	40
ตารางที่ 21 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่า pH ที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพ .....	40
ตารางที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่าไอโอดีนัมเบอร์.....	41

ตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายปรอท (Hg)..... 41

ตารางที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายทองแดง Cu..... 42

ตารางที่ 25 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายแคดเมียม (Cd)..... 43

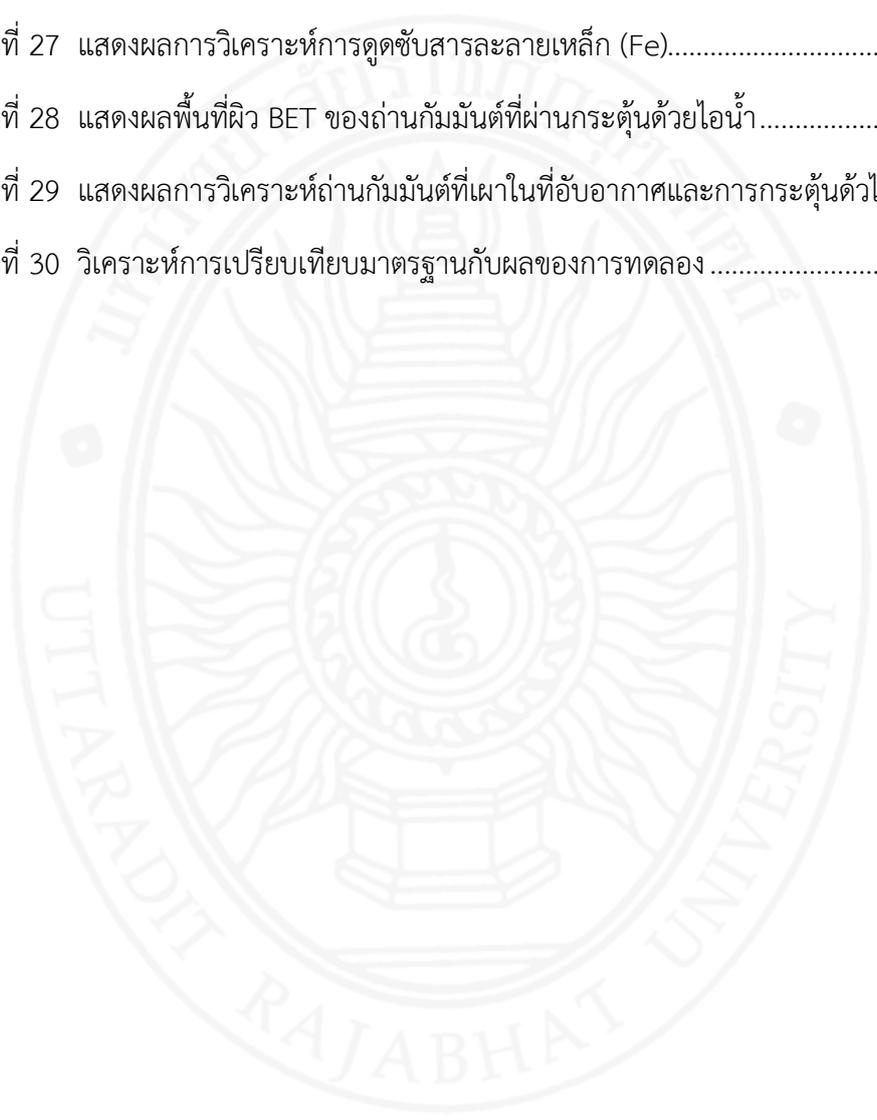
ตารางที่ 26 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายตะกั่ว (Pb)..... 43

ตารางที่ 27 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายเหล็ก (Fe)..... 44

ตารางที่ 28 แสดงผลพื้นที่ผิว BET ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระตุ้นด้วยไอน้ำ..... 44

ตารางที่ 29 แสดงผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่เผาในที่อับอากาศและการกระตุ้นด้วยไอน้ำ..... 45

ตารางที่ 30 วิเคราะห์การเปรียบเทียบมาตรฐานกับผลของการทดลอง ..... 46



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1 กลไกการดูดซับสารบนถ่านกัมมันต์.....	17
ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนดำเนินการวิจัย.....	34



# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประชากรของประเทศไทยได้มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ความต้องการอาหาร และที่อยู่อาศัยก็มากขึ้น ก่อให้เกิดการพัฒนาประเทศให้ทัดเทียมประเทศอื่น ๆ โดยอาศัยเทคโนโลยีที่เหมาะสม และความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีนั้นเองที่น่าพาซึ่งสารพิษ และของเสียมากมาย เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอจะปล่อยน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสี และปริมาณสารอินทรีย์ในปริมาณสูง รวมถึงสี และกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนาอีกด้วย ส่วนอุตสาหกรรมชุบโลหะ อุตสาหกรรมเคลือบผิวเหล็กกล้า อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ ก่อให้เกิดสารพิษจำพวกโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกายทั้งระบบหายใจ ระบบประสาท และอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ ดังนั้นการบำบัดสารพิษเหล่านี้ จึงจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้มนุษย์ดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปลอดภัย

การดูดซับหรือการดูดซับ เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่ง และมีการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย ทั้งทางด้านอุตสาหกรรม และทางด้านสิ่งแวดล้อมการใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการปิโตรเลียม และปิโตรเคมี อุตสาหกรรมอาหาร และยา อุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์ อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องกรองน้ำดื่ม และใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาเพื่อการอุปโภคบริโภค

ถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัสดุดิบทางธรรมชาติหรืออินทรีย์วัตถุ ซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำมีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี และได้นำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น ทางด้านอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมยา และระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากหาได้ง่าย และมีราคาถูก ได้แก่ ชังข้าวโพด ชี้อ้อย กะลาปาล์ม น้ำมัน กะลามะพร้าว เศษไม้ เปลือกถั่วชนิดต่าง ๆ

จากความสำคัญข้างต้นผู้วิจัยจึงได้ตระหนักถึงการนำเอาเศษวัสดุที่เป็นขยะเหล่านี้มาสร้างมูลค่าเพิ่ม และใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าที่สุดเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำเอาเปลือกทุเรียน ซึ่งเป็นวัสดุดิบทางธรรมชาติที่ไม่มีราคา ที่มีอยู่มากในช่วงเดือนมิถุนายน จนถึงเดือนสิงหาคมของ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ โดยจะทำการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนโดยวิธีการทางกายภาพ

## คำถามการวิจัย

1. สามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนได้อย่างไร
2. ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนสามารถดูดซับสารอย่างไร

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนโดยใช้วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ และประสิทธิภาพในการดูดซับไอโอดีน และโลหะหนัก

## ขอบเขตของงานวิจัย

### ขอบเขตด้านเนื้อหา

ในงานวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนนี้มีวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ เผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง และการกระตุ้นทางกายภาพ โดยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที เพื่อวิเคราะห์หาค่าการดูดซับโลหะหนัก

## นิยามศัพท์เฉพาะ

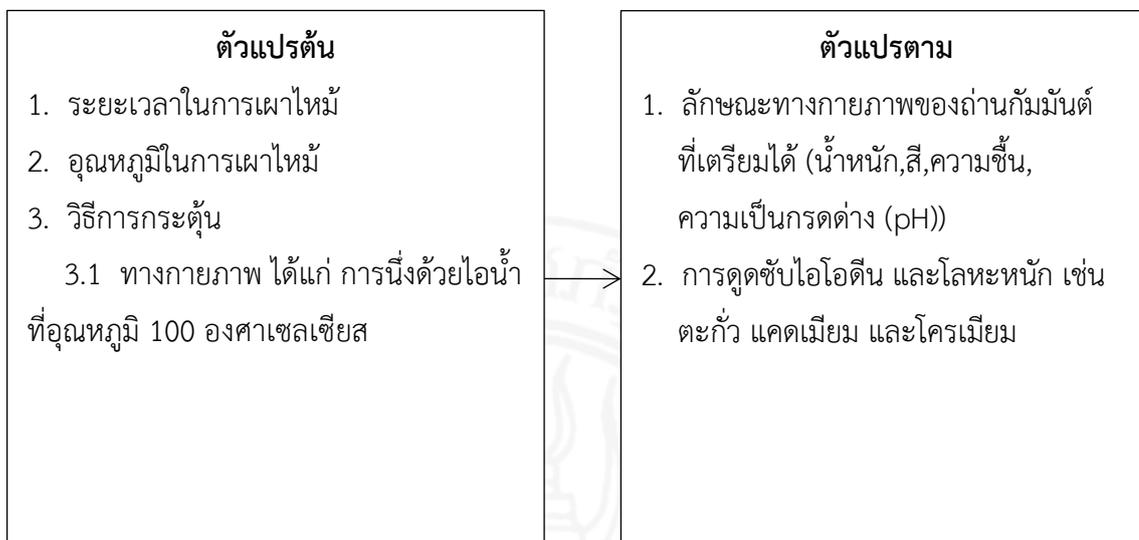
ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัสดุธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีรูพรุน และพื้นที่ผิวสูง ดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี

เปลือกทุเรียน (Durian Peel) หมายถึง เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดใหญ่ ผลไม้ที่มีลักษณะผลเป็นพู ๆ เปลือกจะมีลักษณะมีหนามแหลม เนื้อในจะมีรสหวาน มัน

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ได้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน
2. ได้วิธีการ และสภาวะ ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน
3. ได้ทราบคุณสมบัติ ในการดูดซับไอโอดีน และโลหะหนัก

### กรอบแนวคิดในการวิจัย



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ โดยการกระตุ้นทางกายภาพ ดังต่อไปนี้

1. การผลิตถ่านกัมมันต์
2. ลักษณะน้ำเสีย
3. ทูเรียน
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### การผลิตถ่านกัมมันต์

มันสิน ตันจุลเวศม์ (2543) ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่มีความพรุน (Porosity) สามารถผลิตได้จาก ถ่านหิน ถ่านโค้ก ถ่านไม้ กะลามะพร้าว หรือถ่านแกรไฟต์ ความพรุนที่เพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือการกระตุ้นทางกายภาพ ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผลึกของถ่านเพิ่มขึ้น การกระตุ้น ที่เหมาะสมจะได้รูพรุนเป็นจำนวนมาก ทำให้ถ่านมีพื้นที่ผิวภายใน (Internal Surface Area) เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถดูดติดผิว และกลิ่นได้มากกว่าถ่านธรรมดา

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยกระบวนการพิเศษ เพื่อให้เกิดรูพรุนและ พื้นที่ผิวสัมผัสจำนวนมากขึ้น โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสประมาณ 600-2,000 ตารางเมตรต่อกรัม และมีขนาดรูพรุน (Pore Size) อยู่ระหว่าง 20-20,000 อังสตรอม

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่มีความสามารถในการดูดซับสูง นอกจากนี้ตามผิวของรูพรุนเหล่านี้ยังมีอิเล็กตรอนอิสระที่พร้อมจะแลกเปลี่ยนประจุและยึดเหนี่ยวโมเลกุลของสารต่าง ๆ ได้ดีเนื่องจากถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดี จึงมีการใช้ถ่านกัมมันต์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท และในด้านองค์ประกอบ ถ่านกัมมันต์ไม่ใช่คาร์บอนที่บริสุทธิ์ แต่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสารประกอบคาร์บอนกับธาตุอื่น ๆ ที่ไม่สามารถเขียนออกมาเป็นสารประกอบเคมีได้

มาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (The American Society for Testing and Material : ASTM) ได้ให้คำนิยามของถ่านกัมมันต์ว่าเป็นวัสดุจำพวกคาร์บอน ซึ่งผลิตได้จากการนำวัตถุดิบที่มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูงมาก มาผ่านกระบวนการสังเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อให้มีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดีขึ้น โดยมีนิยามของการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ว่า เป็นกระบวนการที่โมเลกุลของสารในสถานะของไหลไปจับบนผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยแรงทางเคมีหรือทางกายภาพ หรือแรงทั้ง 2 ชนิดร่วมกัน

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (มอก, 900-2547) ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้ ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านที่มีคุณสมบัติดูดซับ สี กลิ่น รส บางชนิดได้เป็นอย่างดี ถ่านชนิดนี้มี โครงสร้างเป็น รูพรุน ผลิตได้จากถ่านหิน ถ่านไม้ ถ่านกะลา มะพร้าว หรือถ่านกระดูก ด้วยกรรมวิธีก่อกัมมันต์

### **ชนิด และชั้นคุณภาพถ่านกัมมันต์**

ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ

1. ชนิดผง
2. ชนิดเม็ด แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ
  - 2.1 ชั้นคุณภาพพิเศษ
  - 2.2 ชั้นคุณภาพที่ 1
3. ชนิดอัดเม็ด
4. ชนิดแท่ง

### **ขนาด**

1. ชนิดผง ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านแรง 150 ไมโครเมตรต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก
2. ชนิดเม็ด และชนิดอัดเม็ด ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขายแต่ปริมาณที่ผ่านแรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
3. ชนิดแท่ง ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

### **คุณลักษณะที่ต้องการ**

1. ลักษณะทั่วไป
  - 1.1 ชนิดผง ต้องเป็นผงสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้
  - 1.2 ชนิดเม็ด และชนิดอัดเม็ด ต้องเป็นเม็ดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้
  - 1.3 ชนิดแท่ง ต้องเป็นแท่ง ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้
2. คุณลักษณะทางฟิสิกส์ และทางเคมี
  - 2.1 ชนิดผง ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีชนิดผง

รายการ	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีการทดสอบ
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	
2	ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.20 ถึง 0.75	AWWA B600

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547, น.3

2.2 ชนิดเม็ด ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีชนิดเม็ด

รายการ	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		วิธีการทดสอบ
		ชั้นคุณภาพพิเศษ	ชั้นคุณภาพที่ 1	
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	1000	600	
2	ความชื้น ร้อยละไม่เกิน	8		
3	ความหนาแน่นปรากฏกรัมต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.20		AWWA B604
4	ความแข็ง (Abrasion Resistance) ร้อยละไม่น้อยกว่า	70		AWWA B604 Ro-Tap Abrasion Test

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547, น.3

2.3 ชนิดอัดเม็ด ให้เป็นไปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีชนิดอัดเม็ด

รายการ	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีการทดสอบ
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8	AWWA B604
3	ความหนาแน่นปรากฏกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.20	AWWA B604
4	ความแข็ง (Abrasion Resistance) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70	Ro-Tap Abrasion Test

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547, น.4

2.4 ชนิดแท่ง ให้เป็นไปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีชนิดแท่ง

รายการ	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีการทดสอบ
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8	

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547, น.4

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มี คาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีรูพรุนและพื้นที่ผิวสูง ดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี

**โครงสร้างของถ่านกัมมันต์**

ดร.พงษ์ วิทิตศานต์ รัชนี ททรัพย์มี สันติ เมฆฉาย รัตนจิตต์ อัคราชีวะ และเสาวลักษณ์ ศิวพัฒนานนท์ (2549) ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์ (Graphite) แต่แตกต่างกันที่พื้นที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์มีมากกว่าแกรไฟต์ โดยโครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์มีโครงสร้าง เช่น เดียวกันกับแกรไฟต์แต่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่าผลึกของแกรไฟต์ โดยโครงสร้างประกอบไปด้วยชั้นของคาร์บอนอะตอมในรูปของวงแหวนเบนซีน (Benzene Ring) หรือกลุ่มของอะตอมคาร์บอนที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม (Regular Hexagon) นั่นคือ

แต่ละอะตอมจะเกิดพันธะโควาเลนต์ (Covalent) ความยาวระหว่างอะตอมภายในชั้นประมาณ 1.42 อังสตรอม อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งเป็นโพสิทีฟอิเล็กตรอน (+1-Electron) จะเคลื่อนที่ไปทั่วโครงสร้าง เกิดเป็นเรโซแนนซ์ (Resonance) เพื่อทำให้โครงสร้างมีความเสถียยิ่งขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้น เป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waals Force) แต่ละแผ่นรบกวนกัน 3.35 อังสตรอม ดิสเพลเมนต์ (Displacement) ในทิศทางขนานกับแผ่น (layer) จะเกิดง่ายเพราะแรงยึดเหนี่ยวแวนเดอร์วาลส์อ่อน ดังนั้น จะเกิดข้อบกพร่อง (Defect) ในโครงสร้างได้ง่าย

### กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ในปัจจุบันมีหลายวิธี แต่โดยทั่วไป กระบวนการผลิต มีกรรมวิธีซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การเผาที่อุณหภูมิต่ำ (Carbonization) เป็นการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่านโดยใช้อุณหภูมิ ประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส เพื่อขับไล่ธาตุต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนออกไป
2. การกระตุ้น (Activation) เป็นการนำถ่านที่ได้จากขั้นตอนแรกมาเพิ่มคุณภาพ และสมบัติ ในการดูดซับให้ดีขึ้น โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวทำให้สารมีให้รูพรุนมากขึ้นการกระตุ้นแบ่งเป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ

2.1 วิธีการกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) คือ การเติมสารอินทรีย์ (สารกระตุ้น) ลงไปผสมกับถ่านก่อนการคาร์บอนเซชัน โดยเมื่อแช่วัตถุดิบไว้ในสารกระตุ้นสารประกอบ ที่เหลือตกค้างบนผิวถ่านบางส่วนจะละลายออกจากถ่าน จากนั้น ถ่านจะดูดติดผิวสารกระตุ้น เข้าไปแทรกอยู่ตามรูพรุนของถ่านเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงสารอินทรีย์เหล่านี้ จะไม่สลายตัว แต่สามารถล้างด้วยกรดหรือน้ำ ทำให้ผิวคาร์บอนมีอิสระในการดูดติดผิวสารอื่นได้ สารเคมีที่นิยม ใช้ในการกระตุ้น นิยมใช้สารประกอบของโพแทสเซียมหรือโซเดียม เช่น โพแทสเซียมคาร์บอเนต โพแทสเซียมซัลไฟด์ และสารดูดน้ำ (Dehydrating Agent) เช่น สารในกลุ่มโลหะคลอไรด์ กรดฟอสฟอริก เป็นต้น สารกระตุ้นที่นิยมใช้ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สารเคมี ที่นิยมใช้เป็นสารกระตุ้นในการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี

สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในการผลิตถ่านกัมมันต์	
กรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ )	โพแทสเซียมไธโอซัลเฟต ( $K_2S_2O_3$ )
กรดบอริก ( $H_3BO_3$ )	โพแทสเซียมซัลไฟต์ ( $K_2S$ )
กรดไนตริก ( $HNO_3$ )	แมงกานีสคลอไรด์ ( $MnCl_2$ )
กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ )	แมงกานีสซัลเฟต ( $MnSO_4$ )
แคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ )	โซเดียมคลอไรด์ ( $NaCl$ )
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $Ca(OH)_2$ )	โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $NaOH$ )
แคลเซียมฟอสเฟต ( $Ca(PO_3)_2$ )	โซเดียมซัลเฟต ( $NaSO_4$ )
ไซยาไนด์ (CN)	ซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ )
ปูนโดโลไมต์ ( $CaMg(CO_3)_2$ )	เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_2$ )

ที่มา: ลลิตา นิต์ศนจารุกุล, 2544, น.16

2.2 วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation) เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่ผิวคาร์บอน ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ให้สูงขึ้น และมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ส่วนใหญ่แก๊สออกซิไดซ์ที่นิยมใช้ ได้แก่ ไอน้ำอ้อมตัวยั้งยวด แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) แก๊สออกซิเจน เป็นต้น ข้อดีของการกระตุ้นแบบนี้ คือ ไม่มีสารตกค้าง หลังจากการกระตุ้น จึงสามารถนำถ่านที่ได้ไปใช้งานได้ทันที เพราะไม่มีปัญหาในการล้างสารเคมีที่เหลือในการตกค้าง ส่วนข้อเสียคือ ต้องใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นสูงกว่าวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี (700-1,200 องศาเซลเซียส)

### ขั้นตอนการกระตุ้น (Activation)

การกระตุ้น คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิว และการทำให้พื้นผิวมีความว่องไวมากขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สาเหตุหนึ่งเนื่องจากว่าวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี และประสิทธิภาพ ในการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะ และชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการอื่น ๆ ก่อนการกระตุ้น

#### 1. วัตถุประสงค์ของการกระตุ้น

1.1 เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (Active Surface Area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน

1.2 เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้ว ซึ่งหมายถึงทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้นโดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น

1.3 เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุ หรืออนินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (Active Centers)

2. การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.1 วิธีการกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation)

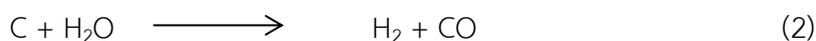
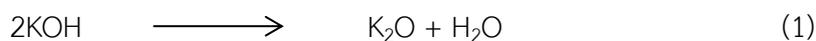
เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยากับสารเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมีนั้น มีข้อดีของวิธีนี้คือ ใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก 400-600 องศาเซลเซียส แต่ก็มีข้อเสียคือ สารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ ทำให้ต้องเสียเวลา และค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวเพิ่มขึ้น รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อน ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น สารเคมีส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นตัวกระตุ้นส่วนใหญ่เป็นสารตูดน้ำ ได้แก่ซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) กรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ ) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

2.1.1 การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) การใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่งในการผลิตถ่านกัมมันต์ทางอุตสาหกรรมโดยแช่วัตถุดิบในสารละลายซิงค์คลอไรด์ประมาณ 0.5-4 ส่วนต่อน้ำหนักของวัตถุดิบแห้ง 1 ส่วน อาจเติมกรดเกลือหรือกรดฟอสฟอริกลงไปเล็กน้อย แล้วนำไปทำการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส จากนั้นล้างถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยน้ำหรือกรดไฮโดรคลอริกเจือจางเพื่อกำจัดซิงค์คลอไรด์ที่เหลือ และสารประกอบของซิงค์คลอไรด์ที่เกิดขึ้นออกไปในทางอุตสาหกรรม สารละลายซิงค์คลอไรด์ที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกแต่ด้วยปัญหาการกัดกร่อนเครื่องปฏิกรณ์ทำให้ระยะหลังการใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นลดลงมาก

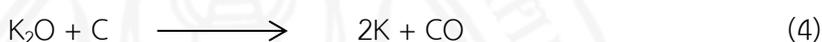
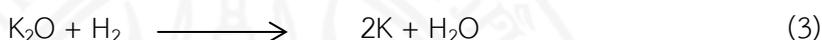
2.1.2 การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ ) การใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้นจะใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่ำกว่าการใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นคือประมาณ 400-600 องศาเซลเซียส ตัวอย่างของการผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีนี้ ได้แก่ การใช้ดินพุด หรือ ขี้เถ้าโดยการผสมกับสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 25-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแล้วนำไปเผากระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ จะเกิดจากการตูดน้ำของกรดฟอสฟอริกซึ่งคล้ายกับการกระตุ้นโดยใช้ซิงค์คลอไรด์ โดยกรดฟอสฟอริกกลายเป็นฟอสฟอรัส และไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยได้จะถูกออกซิไดซ์กลับมาเป็นกรดฟอสฟอริกสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.1.3 การกระตุ้นด้วยสารประกอบของโปแตสเซียมหรือโซเดียม (K, Na) เป็นการกระตุ้นโดยใช้สารละลายที่มีไอออนของโปแตสเซียมหรือโซเดียม (K, Na) กับวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบแล้วให้ความร้อนไอออนของโลหะเหล่านี้จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของผลึกของถ่านกัมมันต์เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส โมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และออกซิเจนจะหลุดออกไปทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ตามต้องการโครงสร้างของวัตถุดิบเมื่อให้ความร้อน

โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์พื้นที่ผิวสูง แสดงดังนี้



สมการที่ 1 และ 2 เป็นการสลายตัวของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นโพแทสเซียมออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) และน้ำ ซึ่งเป็นสารทำให้คาร์บอนในถ่านหินเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันจากนั้นโพแทสเซียมออกไซด์ถูกรีดิวซ์ด้วยไฮโดรเจนหรือคาร์บอนกลายเป็นโลหะโพแทสเซียม ดังสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกเป็นสารที่มีความสามารถในการทำละลายสูงทำให้สามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของวัตถุดิบได้อย่างสม่ำเสมอ จากการศึกษาของนักศึกษาหลายกลุ่ม พบว่าการใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลนั้นทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสเกิดความเสถียร และองค์ประกอบของฟอสเฟตยังทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสเกิดการขยายตัว ส่งผลทำให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างหลังจากการให้ความร้อน

## 2.2 วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้น นิยมใช้แก๊สออกซิไดซ์ต่าง ๆ เช่น ไอน้ำอิมัวยงวด (Steam) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) แก๊สออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อน ปฏิกิริยาการกระตุ้นอันเกิดจากความร้อนเพียงอย่างเดียวก็ได้แต่ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากถึง 1,200 องศาเซลเซียส แต่พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดซ์

### ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

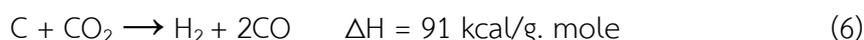
2.1 การกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยการใช้ไอน้ำเป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน จัดว่าเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นจึงต้องทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ 5



อัตราการออกซิไดซ์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงเกิน 1,000 องศาเซลเซียส เพราะปฏิกิริยาจะกลายเป็น Diffusion Controlled Rate ซึ่งอะตอมของคาร์บอนที่อยู่ชั้นนอกจำนวนมากจะถูกเผาไหม้ให้มีขนาดและความพรุนของอนุภาคเล็กลง

### 2.2 การกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

เป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน จัดว่าเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนเช่นกัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการที่ 6



จากค่า  $\Delta H$  จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยานี้ต้องการพลังงานความร้อนมากกว่าวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ดังนั้นจึงใช้อุณหภูมิกระตุ้นสูงกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยทั่วไปมักจะใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นประมาณ 850 -1,100 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อุณหภูมิที่ใช้จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้อยู่ แต่ในทางปฏิบัติ แล้วจะใช้แก๊สเชื้อเพลิงเผาไหม้ ซึ่งจะให้ทั้งไอน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และอาจมีแก๊สออกซิเจนส่วนเกินบ้างเล็กน้อย หรืออาจจะมีการเติมไอน้ำเข้าไปด้วยเพื่อเป็นการกระตุ้น โดยใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน

2.3 การกระตุ้นด้วยอากาศ โดยการใช้ออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ จัดเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ 7 และ 8



การใช้อากาศเพื่อทำการกระตุ้นมีการใช้กันน้อยมาก ทั้งนี้เพราะว่าการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะที่ต้องการทำได้ยากกว่า อีกทั้งแก๊สออกซิเจนอาจจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ผิวของถ่านทำให้เกิดความเสียหายได้ด้วย

#### คุณสมบัติในการดูดซับ

คุณสมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์หาได้จากไอโซเทอมการดูดซับของเหลวบนถ่านกัมมันต์ เมื่อนำไปดูดซับของเหลวตัวอย่างของคุณสมบัติในการดูดซับคือ

##### 1. การดูดซับไอโอดีน

การศึกษาการดูดซับไอโอดีนเป็นวิธีที่ง่ายในการหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์โดยเป็นการหาจำนวนมิลลิกรัมของสารละลายไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม ที่จุดความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เท่ากับ 0.02 นอร์มัลหรือความเข้มข้นที่เหลืออาจมีค่าแตกต่างจาก 0.02 นอร์มัลได้โดยให้อยู่ในช่วง 0.007-0.03 นอร์มัลโมเลกุลของไอโอดีนมีขนาดเท่ากับ 0.54 นาโนเมตร

##### 2. การดูดซับเมทิลีนบลู

ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูจะสามารถบอกค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ได้สำหรับโมเลกุลที่ถูกดูดซับมีขนาดใกล้เคียงกับโมเลกุลของเมทิลีนบลูซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงของรูพรุนแบบเมโซพอร์คือ จะมีขนาดใหญ่กว่า 1.5 นาโนเมตร เนื่องจากเมทิลีนบลูมีขนาดรัศมีโมเลกุลเท่ากับ 1.6 นาโนเมตร

### คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์

#### 1. ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้กำหนดค่าสารระเหยที่อยู่ในถ่านหิน และโค้กโดยนำมาประยุกต์ใช้กับถ่านกัมมันต์ได้ทำการทดสอบได้โดยนำตัวอย่างมาบดให้มีขนาดเล็กกว่า 0.1 นาโนเมตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $950 \pm 25$  องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 7 นาที ค่าของปริมาณสารระเหยจะเป็นมวลที่หายไปอันเกิดจากการให้ความร้อนที่สภาวะดังกล่าวแก่ถ่านกัมมันต์

#### 2. ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

เป็นการหาปริมาณน้ำที่มีในถ่านกัมมันต์โดยการอบให้แห้งในเตาอบทำการวิเคราะห์โดยบดถ่านกัมมันต์นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ (ประมาณ 3 ชั่วโมง) โดยสามารถคำนวณปริมาณความชื้นได้จากน้ำหนักที่หายไป

#### 3. ปริมาณเถ้า (Ash)

ปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์อาจมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูง และเวลานานปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเถ้าโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกอน นอกจากนี้จะเป็นสารประกอบพวกซัลเฟตคาร์บอนเนต และสารประกอบอื่น ๆ ของเหล็กอะลูมิเนียมแคลเซียมโซเดียมโปแตสเซียมแมกนีเซียม และโลหะอื่น ๆ ซึ่งจะมีสารประกอบเหล่านี้อยู่ในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ

### การดูดซับ

สุโรชินี สุกุลดวงดี (2545, น.16) ลักษณะของการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ สามารถจำแนกได้ 4 ประเภทคือ

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) การดูดซับแบบนี้ อาศัยการดูดติดด้วยแรงประเภทแวนเดอร์วาลส์ หรือพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเป็นแรงอ่อน ไม่ยึดติดแน่น และยังพบว่าไม่มีแรงกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับทำได้ง่าย และการดูดซับเกิดขึ้นได้หลายชั้น และเกิดขึ้นไม่ดีที่อุณหภูมิต่ำ

2. การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวถูกดูดซับเดิม คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม และกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมขึ้นใหม่ โดยมีพันธะเคมีที่แข็งแรงมีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับที่ได้ยาก และการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว

3. การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนประจุ (Ion-Exchange Adsorption) การดูดซับแบบนี้ อาศัยการดูดติดด้วยแรงไฟฟ้าสถิตบริเวณผิวเมื่อตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับมีประจุ และเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงกันข้าม

4. การดูดซับแบบเฉพาะเจาะจง (Specific Adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บนผิว แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวดูดซับ พฤติกรรมของการดูดซับชนิดนี้ จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพ และทางเคมี

พุนศิริ หอมจันทร์ (2550, น.12) การดูดซับ หมายถึง การที่อะตอมหรือโมเลกุลหรือไอออนของสารที่ถูกดูดซับ (Adsorbate) เขมายึดเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวอนุภาคของตัวดูดซับ (Adsorbent) ด้วยแรงทางเคมีหรือฟิสิกส์ โดยสมบัติของตัวดูดซับจะต้องมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากหรือมีปริมาตรของรูพรุนขนาดเล็กที่มาก และจะต้องมีความสัมพันธ์เชื่อมกันระหว่างรูพรุนเป็นโครงร่างตาข่าย เพื่อให้จะให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ภายในได้ IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) ได้ทำการแบ่งขนาดรูพรุนไว้ดังนี้

1. รูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) คือ รูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 นาโนเมตร
2. รูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) คือ รูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2-50 นาโนเมตร
3. รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) คือ รูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 นาโนเมตร

#### ทฤษฎีการดูดซับ

สิริจิตต์ แสงอรุณ (2544, น.18) การดูดซับ (Sorption) คือปรากฏการณ์ที่เกิดความสมดุลในการแยกสารประกอบประเภทไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ไปยังพื้นผิวของระบบสองสถานะ (Two-Phase System) อันประกอบด้วย ส่วนที่เป็นของเหลว เช่น น้ำ และส่วนที่เป็นของแข็ง เช่น ดินฮิวมัส หรือผงกัมมันต์ กระบวนการทางกายภาพที่เกิดขึ้นเมื่อสารปนเปื้อนแยกไปยังของแข็ง มักจะเกี่ยวกับพันธะที่ไม่แข็งแรง สามารถย้อนกลับได้

สรารุส ศรีคุณ (2550, น.15) การดูดซับ เป็นการแยกสารองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลวหรือแก๊ส โดยให้สารละลายหรือแก๊สผสมสัมผัสกับตัวดูดซับ องค์ประกอบแต่ละชนิดในสารละลายมีความสามารถในการกระจายบนผิว และเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกัน การดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ จำนวนชั้นของโมเลกุลของตัวดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ และขนาดรูพรุนในตัวดูดซับ ดังนั้นในการแยกองค์ประกอบที่ต้องการต้องเลือกตัวดูดซับให้เหมาะสมกับองค์ประกอบนั้นโดยทั่วไป กระบวนการดูดซับของโมเลกุลต่าง ๆ บนผิวถ่านกัมมันต์ สามารถเขียนอยู่ในรูปปฏิกิริยาของการดูดซับ ได้ดังนี้



โดยที่ A คือ ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) และ S คือตัวดูดซับ (Adsorbate) และ  $A \times S$  คือ สารประกอบที่เกิดจากการดูดซับ (Adsorbate Compound) ในปฏิกิริยาของการดูดซับที่เกิดขึ้นนี้ ตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับด้วยกลไกการดูดซับ

โดยการดูดซับสามารถแบ่งตามความแตกต่างของแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นในการดูดซับได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

### 1. การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย และแรงไฟฟ้าสถิตย์ การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานคายความร้อนค่อนข้างน้อยต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่าย สารที่ถูกดูดซับ สามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุล สารดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย สมมุติฐานของการดูดซับทางกายภาพ มีดังนี้

1. การดูดซับเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ
2. การดูดซับเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์
3. การดูดซับเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer Adsorption)
4. พลังงานกระตุ้นต่ำ
5. การดูดซับเป็นแบบผันกลับได้ (Reversible Adsorption)

### 2. การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือ ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพ และทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง

ตารางที่ 6 ตัวแปรในการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	50-400 กิโลจูลต่อโมล
2. อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
3. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
4. การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
5. การดูดซับบนแก๊สของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดเฉพาะบางระบบ
6. พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
7. รูปแบบชั้นของการดูดซับ	Monolayer หรือ Multilayer	Monolayer

ที่มา: ตัวแปรในการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี, 2558

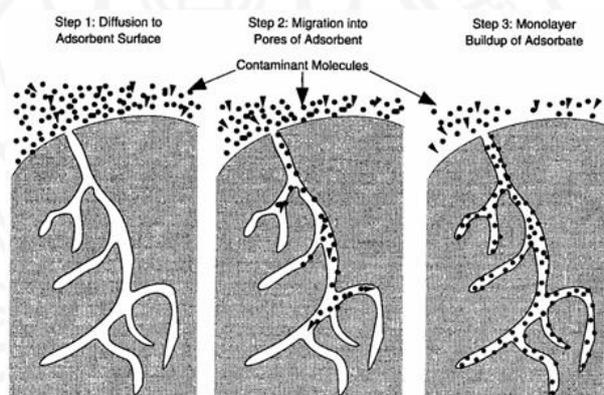
### 3. กลไกการดูดซับ

ในกระบวนการดูดซับโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยขั้นตอนของการดูดซับ และขั้นตอนการคืนสภาพของตัวดูดซับหรือที่เรียกว่า การคายซับ (Desorption) ในขั้นตอนการดูดซับนี้ สารละลายจะถูกส่งผ่านไปบนตัวดูดซับอย่างต่อเนื่องกระทั่งเข้าสู่สมดุลการดูดซับ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้งานของตัวดูดซับจึงได้มีการคืนสภาพให้กับตัวดูดซับนั้น ซึ่งทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิ หรือลดความดันของระบบ ขั้นตอนของการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ โดยแสดงกลไกการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ได้ ดังภาพที่ 1

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารถูกดูดซับเข้าหาตัวดูดซับ เป็นการเคลื่อนที่ของสารถูกดูดซับให้เข้ามาติดกับผิวนอกของตัวดูดซับ โดยสารที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน จะเคลื่อนที่ตามธรรมชาติเข้าหาตัวดูดซับหรือเป็นการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian Motion) ซึ่งการแพร่กระจายจะทำให้สารที่มีขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้มากกว่า และมีโอกาสวิ่งเข้าหาถ่านกัมมันต์ได้มากกว่า แต่สำหรับสารที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนนั้น สารจะเคลื่อนที่เข้าหาถ่านกัมมันต์ ตามทิศทางการไหลของของไหลการแพร่กระจาย ในระดับโมเลกุลจะเกิดขึ้นน้อยมากโดยที่ขนาด และน้ำหนักของสารถูกดูดซับจะเข้ามามีบทบาทสำคัญ ในการสร้างกลไกแบบตะกอน และติดค้าง ซึ่งอาจทำให้เกิดการตกตะกอนในทิศทางที่กำลังเคลื่อนที่เข้าหาถ่านกัมมันต์ได้ ดังนั้นขนาด และการกระจายขนาด (Size Distribution) จึงมีความสำคัญอย่างมากต่อกลไกการเคลื่อนย้ายของสารถูกดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอน Pre-Diffusion เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ เข้าสู่ รูพรุนภายในของถ่านกัมมันต์ โดยปกติแล้วถ่านกัมมันต์นี้จะมีฟิล์มของของไหลห่อหุ้มอยู่ คล้ายเยื่อบาง ๆ โดยรอบ เมื่อโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ เคลื่อนที่เข้ามายังถ่านกัมมันต์โมเลกุลของสาร ต้องทำการแทรกตัวผ่านฟิล์มของน้ำให้ได้จึงจะสามารถเข้าไปในผิวถ่านกัมมันต์ได้จึงจะมีการดูดซับ เกิดขึ้น เนื่องจากถ่านกัมมันต์ นี้จะมีพื้นที่ผิวส่วนใหญ่อยู่ภายในโพรงที่เรียกว่า รูพรุน โดยภายในรูพรุนนี้จะมีช่องเป็นโพรงลดเลี้ยวไปมา

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการเกาะติดโดยโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะต้องเกาะติดบนผิวภายในของถ่านกัมมันต์ได้โดยไม่หลุดออกไป ซึ่งเป็นขั้นตอนที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการนับถือว่า เกิดการดูดซับที่ผิวภายในรูพรุนอย่างสมบูรณ์



ภาพที่ 1 กลไกการดูดซับสารบนถ่านกัมมันต์

ที่มา: ฐานความรู้การกำจัดกลิ่น กรมควบคุมมลพิษ, 2547, น.18

ศรัณย์ จิตตวนิขประภา (2554, น.16) การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (Interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟส 2 เฟส เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็งโดยสารที่เกิดการดูดซับเรียกว่า “ตัวดูดซับ” (Adsorbent) และสารที่ถูกดูดซับเรียกว่า “ตัวถูกดูดซับ” (Adsorbate) การดูดซับ จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ สำหรับการดูดซับระหว่างเฟส ของเหลว-ของแข็งนั้น ในการดูดซับโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอย สารจะถูกกำจัดออกจากน้ำ และไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับ และมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวนอก

### วัสดุที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยวัตถุดิบนั้นได้มาจากการเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ขึ้นมาเอง วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม คือ พีท ลิกไนต์ ไม้ ป่าลัม และกะลามะพร้าว เนื่องจากวัตถุดิบเหล่านี้มีความสามารถในการดูดซับสูง และมีรูพรุนขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก โดยทั่วไปคุณสมบัติของวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตถ่านกัมมันต์มีดังนี้

1. มีปริมาณสารระเหยต่ำ
2. มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง
3. หาง่ายและราคาถูก
4. มีคุณสมบัติคงที่

หรือเรียกว่าถ่านสังเคราะห์ (Artificial Char) หรืออาจเป็นถ่านที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural Char) เช่น ถ่านหิน เป็นต้น ถ่านสังเคราะห์สามารถแบ่งตามอินทรีย์วัตถุที่ใช้ได้เป็น

#### 2 ประเภทคือ

1. ถ่านสังเคราะห์เนื้อแข็ง (Hard Artificial Char) เช่น ถ่านหินน้ำมัน ถ่านไม้ที่ได้จากการคาร์บอนในเซชันที่ความดันสูง เป็นต้น
2. ถ่านสังเคราะห์เนื้ออ่อน (Soft Artificial Char) เช่น ถ่านไม้ ถ่านขานอ้อย ถ่านกลบ ถ่านหินน้ำมัน ถ่านกากน้ำตาล เป็นต้น

โดยทั่วไปตามทฤษฎีอินทรีย์วัตถุทุกชนิดสามารถนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้ ปัจจุบันจึงมักนิยมนำของเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากหาง่าย และมีราคาถูก แต่อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากของเสียที่เหลือทิ้งทางการเกษตรนั้น จะเกิดปัญหา คือ วัตถุดิบมีคุณสมบัติไม่คงที่ แม้ว่าจะเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกัน ทำให้ยากในการควบคุมขั้นตอนการผลิต แหล่งของวัตถุดิบที่นำมาศึกษาเพื่อผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 วัดถุดิบที่มีการศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

จากพืชจากสัตว์	อินทรีย์วัตถุ	วัดถุดิบถ่านหิน	วัดถุดิบ	อนินทรีย์วัตถุ
ชานอ้อย	ถ่านหิน		เลือด	ฝุ่นจากปล่องไฟ
กากน้ำตาล	แกรไฟต์		กระดูก	เขม่า
สารจำพวกแป้ง	ถ่านลิกไนต์		ปลา	กากโปรแตสเซียมเฟอโร
เมล็ดพืช	หินน้ำมัน		กากหนัง	ไซยาไนด์
กะลามะพร้าว	ถ่านพีท			เศษยาง
เปลือกถั่ว	ถ่านหินน้ำมัน			กากกรดปิโตเลียม
กากกาแฟ				ของเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ
ซังข้าวโพด				ของเสียจากโรงงานกลั่นสุรา
เปลือกเมล็ดฝ้าย				
เมล็ดแข็งของ				
ผลไม้				
วัชพืชทะเล				
แกลบ				
ขี้เลื่อย				
ไม้				

ที่มา: ลลิตา นิทัศน์จารุกุล, 2544, น.12

### ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละอุตสาหกรรมจะแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น

1. ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดซับแก๊สหรือไอ เช่น
  - 1.1 ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้าที่กากป้องกันแก๊สพิษ ทั้งที่ใช้ในการทหาร และที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษ และไอของสารอินทรีย์ได้
  - 1.2 ใช้แยกแก๊สโซลีนออกจากแก๊สธรรมชาติ
  - 1.3 ใช้แยกเบนซีน (Benzene) ออกจากแก๊สอุตสาหกรรม

1.4 ใช้แยกไฮดรอกซีของตัวทำละลายที่ใช้แล้ว เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์ จะดูดซับไฮดรอกซีเหล่านั้น ที่อุณหภูมิห้อง และคายออกที่ความดันของไอต่าง ๆ เช่น การสกัดด้วย ตัวทำละลาย การหมักอุตสาหกรรมพลาสติก ผลิตภัณฑ์ยาง เป็นต้น

1.5 กำจัดสิ่งเจือปนออกจากแก๊ส เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีน แอมโมเนียคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น

1.6 กำจัดสารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ (Organic Sulfur) เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสิ่งเจือปนอื่น ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม

1.7 กำจัดกลิ่นในอากาศ ในเครื่องปรับอากาศ ทำให้กลิ่นเหม็นน้อยลง

1.8 ใช้ดูดกัมมันตภาพรังสีออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์

## ลักษณะของน้ำเสีย

รัตน มหาชัย และนาถ ภูวงศ์ผา (2547) น้ำเสีย หมายถึง ภาวะที่น้ำเสื่อมคุณภาพ หรือน้ำ ที่มีสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ที่เคยเป็นอยู่ตามธรรมชาติ เนื่องจากมีสิ่งเจือปน จนทำให้สิ่งมีชีวิต ต่าง ๆ ได้รับผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อม น้ำเสียแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. น้ำเสียทางกายภาพ (Physical Wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่มีสภาพทางกายภาพ เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ได้แก่ น้ำที่มีอุณหภูมิร้อนหรืออุณหภูมิต่ำกว่าสิ่งมีชีวิตจะดำรงอยู่ได้ ซึ่งน้ำปกติควรมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 20-35 องศาเซลเซียส น้ำที่มีสีเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม น้ำที่มี กลิ่นเน่าเหม็น น้ำที่มีรสเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น เปรี้ยวหรือเค็ม และมีค่า pH ไม่อยู่ระหว่าง 5.0-9.0 เป็นต้น

2. น้ำเสียทางเคมี (Chemical Wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่ปนเปื้อนสารมีพิษต่าง ๆ ซึ่งอาจมองไม่เห็นด้วยสายตา ได้แก่ โลหะหนัก (Heavy Metals) สารกัมมันตรังสี (Radioactive Substance) วัตถุมีพิษ (Toxic Substance) เป็นต้น

3. น้ำเสียทางชีววิทยา (Biological Wastewater) หมายถึง น้ำที่มีการปนเปื้อนของสาร ที่มีพิษต่อสุขภาพอนามัย ได้แก่ เชื้อโรค พยาธิ และเชื้อรา เป็นต้น

### โลหะหนัก

พรพรรณ พนาปวุฒิกุล (2549) โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป ที่มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ โดยทั่วไปโลหะมีสถานะ เป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ โลหะหนักส่วนใหญ่มีลักษณะ ทางกายภาพคล้ายคลึงกัน คือ นำไฟฟ้า และความร้อนได้ดี มีความมันวาว สะท้อนแสงได้ดี และมีความเหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ส่วนสมบัติทางเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ

มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่าทำให้สามารถรวมตัวกับสารอื่น ๆ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ และเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ จะทำให้โลหะหนักเหล่านี้ แพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม โดยปนเปื้อนในน้ำ ดิน อากาศ และผลผลิตทางการเกษตร จากนั้นจะเข้าสู่สิ่งมีชีวิต และร่างกายมนุษย์โดยถ่ายทอดผ่านทางโซ่อาหาร ซึ่งโลหะหลายชนิดมีสมบัติที่เป็นอันตราย เมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอาจมีผลทำให้พิการหรือเสียชีวิตได้ เช่น ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล สังกะสี และปรอท ซึ่งในปัจจุบัน โลหะหนักเหล่านี้ ได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากโลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ ในกระบวนการธรรมชาติ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการกำจัดออกจากของเสียก่อนทิ้ง เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม

#### **ตะกั่ว (Lead, Pb)**

พิมล เรียนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวาณิช (2533) ตะกั่วมีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ Pb จัดอยู่ในหมู่ที่ 4 ของตารางธาตุ มีน้ำหนักอะตอม 207.2 มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 327.5 องศาเซลเซียส จุดเดือดประมาณ 1,620-1,740 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น (ที่ 20 องศาเซลเซียส) 11.34 กิโลกรัมต่อลิตร เป็นโลหะที่มีอยู่ตามธรรมชาติทั่วไป มีประโยชน์ทั้งพืชและสัตว์ เปลือกโลกมีตะกั่วเฉลี่ยประมาณ 10-15 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบ ตัวอย่างแร่ที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ เช่น Galenite หรือ Galena ซึ่งเป็นซัลไฟด์ของตะกั่ว (PbS)

#### **แคดเมียม (Cadmium, Cd)**

พิมล เรียนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวาณิช (2533) แคดเมียมเป็นโลหะอ่อนสีเงิน มีจุดหลอมเหลว 320.9 องศาเซลเซียส จุดเดือด 769 องศาเซลเซียส และมีความถ่วงจำเพาะ 8.65 (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ในธรรมชาติ แคดเมียมอยู่ในรูปของซัลไฟด์ (CdS) และพบบนผิวโลกประมาณ 0.15-0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยส่วนใหญ่อยู่ร่วมกับแร่สังกะสี

#### **การใช้ประโยชน์จากแคดเมียม**

แคดเมียมมีการใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ใช้ชุบโลหะ (Electroplating) ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการเกิดปฏิกิริยาในสี (Color Agent) ในสีทำบ้าน สีน้ำมัน ยาง แก้ว พลาสติก ผ้าเส้นใย ใช้ผสมเงินเพื่อทำภาชนะต่าง ๆ ใช้ทำแบตเตอรี่ ทำกระป๋องโลหะบางชนิด อุตสาหกรรมรถยนต์ และส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่น

## ทุเรียน

เคหการเกษตร (2533, น.1) กล่าวว่าทุเรียนเป็นไม้ผลที่มีลักษณะแปลก คือ ผลมีหนามแหลมเห็นได้ชัดเป็นผลที่มีรสดี และมีราคาแพง เนื้อผลมีสีขาว เหลือง จำปา และอื่น ๆ ซึ่งน่ารับประทาน นอกจากนี้ยังมีกลิ่นหอม และมีรสหวานมันด้วย จัดเป็นผลไม้ที่เซहतหน้าชูตาคนไทย ทั้งนี้เพราะมีความแปลกทั้งรูปร่างกลิ่น และรสทั้งยังเป็นที่ยอมรับของคนทั่วโลก ดังจะเห็นได้ว่าปัจจุบันได้แพร่หลายไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ และตลาดนอกประเทศแถบเอเชียด้วยกัน ยิ่งกว่านั้นเนื้อของทุเรียนยังมีคุณค่าทางอาหารสูงมาก ได้แก่ด้านพลังงานความร้อน (ไขมัน) โปรตีน และแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย

เฉลิมทศพล เจริญสุข และคณะ (2537, น.6-7) กล่าวว่าทุเรียนจัดได้ว่าเป็นราชาของผลไม้ และผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่ง เป็นผลไม้ที่มีผลขนาดใหญ่ รสชาติหวานมัน กลิ่นหอมน่ารับประทาน และยังมีคุณค่าทางอาหารสูงอีกด้วย ในปัจจุบันนี้ ผลทุเรียนจากประเทศไทยที่ส่งไปยังต่างประเทศเป็นที่ยอมรับกันมากขึ้นในด้านคุณภาพผลผลิตที่ดีทำให้เป็นที่รู้จักนิยมนำไปบริโภคกันอย่างแพร่หลาย ทำให้ผลผลิตส่งออกมีทั้งในรูปแบบผลสด และผลแช่แข็ง และแปรรูปต่าง ๆ อีกมากมาย

ธวัชชัย รัตน์ชเลศ และศิวพร ธรรมดี (2542, น.79-80) กล่าวว่าทุเรียนหมอนทองเป็นพันธุ์ทุเรียนในกลุ่ม “กำป็น” ติดผลดี เป็นพันธุ์เบา ติดดอกออกผลเร็วกว่าพันธุ์อื่น ๆ ภาคตะวันออก เก็บเกี่ยวราว พฤษภาคม-กรกฎาคม ภาคใต้ราว สิงหาคม-ตุลาคม ต้นมีทรงพุ่มเป็นรูปฉัตร พุ่มโปร่ง กิ่งแขนงห่าง แต่โคนกิ่งไม้ใหญ่จึงไม่ค่อยแข็งแรง เจริญเติบโตดี ใบยาว ปลายใบสอบเรียว และยาวมาก ดอกมีจำนวน 5-30 ดอก/ช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศ ผลขนาดค่อนข้างใหญ่หนัก 2.0-4.5 กก./ผล รูปทรงขอบขนานมีความยาวมากกว่าความกว้างอย่างเห็นได้ชัด ใหลผลกว้าง ก้นผลแหลม ผิวผลมีสีทั้งสีเขียวและน้ำตาลแดง พูเห็นเด่นชัด พูมักไม่ค่อยเต็มทั้ง 5 พู และจะมีพูหนึ่งที่มีการเจริญมาก ทำให้ผลกลมไม่สม่ำเสมอ หนามมีสีน้ำตาล มี 2 ชนิดในผลเดียวกัน คือหนามใหญ่ และปลายเรียวแหลม ซึ่งกระจายอยู่ทั่วผล และหนามเรียวเล็กคล้ายเขี้ยว เรียกว่า “หนามเขี้ยว” แซมอยู่ระหว่างหนามใหญ่ ประปราย ก้านผลใหญ่แข็งแรง ยาวประมาณ 6.5 ซม. เปลือกค่อนข้างบางวัดได้ 0.89 ซม. เนื้อหนา วัดได้ 1.7 ซม. กิ่งละเอียดกิ่งหยาบ สีเหลืองอ่อนซีด แท้ง รสหวานจัด มันมีกลิ่นอ่อนกว่าพันธุ์อื่น ๆ เมื่อสุกเต็มที่แล้วยังสามารถเก็บไว้ได้นานกว่าพันธุ์อื่น ๆ โดยเนื้อยังแข็งแท้ง เมล็ดเล็กเป็นส่วนใหญ่อันที่มีอายุ 15 ปี ให้ผลผลิตประมาณ 70-80 ผลต่อต้น อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 130 วัน จุดเด่นของพันธุ์ก็คือ เป็นทุเรียน ที่มีปริมาณเนื้อมากที่สุดเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่น ๆ คุณภาพเนื้อเหมาะสำหรับการแปรรูป แต่จุดด้อยก็คือ การสุกไม่สม่ำเสมอในผลเดียวกัน เนื้อหยาบ และสีเหลืองไม่เข้ม ไม่ทนทานต่อ

โรโคโคนเนา-รากเนา เป็นพันธุ์ที่ปลูกมากเป็นอันดับสองรองจากพันธุ์ “ชะนี” ปัจจุบันมีการขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในอนาคตคาดว่าจะมีพื้นที่ปลูกมากที่สุด

อภิชาติ ศรีสอาด และพัชรี สำโรงเย็น (2556, น.10-11) กล่าวว่า ทุเรียนเป็นไม้ผลยืนต้นไม่ผลัดใบ ซึ่งได้ชื่อว่าเป็นราชาของผลไม้ ผลทุเรียนมีขนาดใหญ่ และหนามแข็งปกคลุมทั่วเปลือก ลำต้น ตรงสูง 25-50 เมตร ขึ้นอยู่กับชนิด แตกกิ่งเป็นมุมแหลม ปลายกิ่งตั้งกระจายกิ่งกลางลำต้นขึ้นไปเปลือกชั้นนอกของลำต้นมีสีเทาแก่ ผิวขรุขระหลุดลอกออกเป็นสะเก็ด ไม่มียาง ใบเป็นใบเดี่ยว เกิดกระจายทั่วกิ่ง เกิดเป็นคู่อยู่ตรงกันข้ามระนาบเดียวกัน ก้านใบกลมยาว 2-4 เซนติเมตร แผ่นใบรูปไข่แกมขอบขนานปลายใบเรียวแหลม ยาว 10-18 เซนติเมตร ผิวใบเรียบลื่น มีไขนวล ใบด้านบนมีสีเขียว ท้องใบมีสีน้ำตาล เส้นใบด้านล่างนูนเด่น ขอบใบเรียบ ดอกเป็นดอกช่อ มี 3-30 ช่อบนกิ่งเดียวกัน เกิดตามลำต้น และกิ่งก้านยาว 1-2 เซนติเมตร ลักษณะดอกสมบูรณ์เพศ มีกลีบเลี้ยง และมีกลีบดอก 5 กลีบ บางครั้งอาจมี 4 หรือ 6 กลีบ มีสีขาวหอม ลักษณะดอกคล้ายระฆัง มีช่วงเวลาออกดอก 1-2 ครั้งต่อปี ช่วงเวลาออกดอกขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ และสถานที่ปลูกเลี้ยง โดยทั่วไปทุเรียนจะให้ผลเมื่อมีอายุ 4-5 ปี โดยจะออกตามกิ่ง และสุกหลังจากผสมเกสรไปแล้ว 3 เดือน ผลเป็นผลสดชนิดผลเดี่ยวอาจยาวมากกว่า 30 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางอาจยาวกว่า 15 เซนติเมตรมีน้ำหนัก 1-3 กิโลกรัม เป็นรูปรีถึงกลม เปลือกทุเรียนมีหนามแหลมเมื่อแก่ผลมีสีเขียว เมื่อสุกมีสีน้ำตาลอ่อน แตกตามแต่ละส่วนของผลเรียกเป็นพู เนื้อในมีตั้งแต่สีเหลืองอ่อนถึงแดงขึ้นกับชนิดเนื้อในจะนุ่ม กิ่งอ่อนกิ่งแข็ง มีรสหวาน เมล็ดมีเยื่อหุ้ม กลมรี เปลือกหุ้มสีน้ำตาล ผิวเรียบ เนื้อในเมล็ดสีขาว รสชาติฝาด ทุเรียนเป็นพืชพื้นเมืองของบรูไน อินโดนีเซีย และมาเลเซียเป็นที่รู้จักในโลกตะวันตกมาประมาณ 600 ปีมาแล้ว ไม่ว่าจะห้ามหรือสุกกอม ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีการนำทุเรียนมาทำอาหารได้หลายอย่าง ทั้งเป็นอาหารคาว และอาหารหวาน แม้แต่เมล็ดก็ยังรับประทานได้เมื่อทำให้สุก อีกทั้งทุเรียนยังมีมากกว่า 30 ชนิด และมีอย่างน้อย 9 ชนิดที่รับประทานได้ ทุเรียนมีสายพันธุ์ประมาณ 100 สายพันธุ์ให้ผู้บริโภคเลือกรับประทาน นอกจากนี้ยังมีราคาสูงอีกด้วย

ไพโรจน์ ผลประสิทธิ์ (2546, น.18) กล่าวว่า ทุเรียนเป็นผลไม้ชั้นหนึ่ง ผลโตเท่ากับแตงเมอล็อง (Melon ผลคล้ายแตงไทย) และมีหนามแหลมทั้งผล เปลือกแข็งกว่าลูกมารีอง (Marron คล้ายลูกเกาลัด) ต้นทุเรียนเป็นต้นไม้โต และสูงเวลาที่มันมีผลอยู่เต็มต้นต้องระวังอย่าอยู่ใต้ต้นเพราะมันอาจตกลงมาถูกหัวของเรา น้ำหนัก และหนามแหลมของมันอาจทำให้ได้รับอันตรายถึงตายได้ ผลทุเรียนมีกลิ่นเหม็นมากสำหรับคนที่ไม่คุ้น เวลาผ่ากลิ่นของมันแรงจัดและลอยไปได้ไกล ๆ อาจพูดได้ว่าธรรมชาติเล่นตลกที่สร้างให้ผลไม้ที่มีกลิ่นที่เหม็นที่สุดแต่รสอร่อยที่สุด ข้างในผลทุเรียนมีเมล็ดใหญ่ซึ่งหุ้มห่อด้วยครีมสีเหลืองอันมีรสชาติดีเป็นการชดเชยกลิ่นเหม็น เนื่องจากคนสยามชอบผลไม้เนี้ยม ๆ เขาจึงคิดค้นจนพบเคล็ดลับที่จะเก็บรักษาไว้กินทั้งปี กล่าวคือเอาครีมสด ๆ นี้ (เนื้อทุเรียน) ทำเป็นผลไม้กวนโดยเอาไปเคี่ยวแล้วเก็บไว้ในโถเพื่อไว้กินทุกฤดู

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิจิตร จินดาพันธ์ไพโรจน์ (2543) ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส ด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบคุณภาพของ ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส อายุ 4 ปี และอายุ 5 ปี ในขั้นตอนการคาร์บอนเซชันตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิ และเวลาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนเซชันของไม้ทั้งสองชนิด คือ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที และขั้นตอนการกระตุ้นถ่านคาร์บอน โดยตัวแปร คือ อุณหภูมิ เวลา ขนาดอนุภาค และชนิดของก๊าซในการกระตุ้น สภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นของ ถ่านคาร์บอนจากไม้ยูคาลิปตัส อายุ 4 ปี และอายุ 5 ปี อยู่ที่สภาวะเดียวกันคือ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 นาที ขนาดอนุภาค 0.6 - 0.3 มิลลิเมตร และใช้ไอน้ำเป็นตัวกระตุ้น สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากไม้ยูคาลิปตัส อายุ 5 ปี คือ ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.1809 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ร้อยละปริมาณเถ้า 6.37 ร้อยละผลิตภัณฑ์ 33.14 ค่าการดูดซับไอโอดีน 1,233 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 242 มิลลิกรัมต่อกรัม พื้นที่ผิวแบบแลงเมียร์ 1,497.32 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวแบบบีอีที 1,076.15 ตารางเมตรต่อกรัม

ลลิตา นิตศนจากรุกุล (2544) ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้เกลือแกง (NaCl) เป็นสารกระตุ้น โดยทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ในแบบแบทช์ และแบบต่อเนื่อง โดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง พบว่า อุณหภูมิในการเผากระตุ้นที่เหมาะสมคือ 800 องศาเซลเซียส โดยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน และจากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุดคือ 567 และ 532 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกัมมันต์ ตามลำดับ มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 387 และ 489 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ และมีปริมาตรรูพรุน 0.205 และ 0.248 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ

พรธาดา จาบทอง (2547) ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ใช้แล้ว และถ่านกัมมันต์ทางการค้าซึ่งมีสมบัติของรูพรุนที่แตกต่างกันคือมีขนาด Mesopore และ Micropore ตามลำดับ และศึกษาสมดุลงและจลนพลศาสตร์การดูดซับของฟีนอล และสีย้อมเรด 31 ด้วยถ่านกัมมันต์ทั้งสองประเภทรวมทั้งการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับที่มีการแข่งขันกันระหว่างตัวถูกดูดซับสองขนาด โดยแบ่งการทดลองออกเป็นจลนพลศาสตร์ การดูดซับระบบหนึ่งองค์ประกอบ จลนพลศาสตร์การดูดซับระบบสององค์ประกอบพร้อมกันจลนพลศาสตร์การดูดซับฟีนอลแล้วตามด้วยเรด 31 และจลนพลศาสตร์การดูดซับเรด 31 แล้วตามด้วยฟีนอล พบว่าสมดุลงการดูดซับของฟีนอล และเรด 31 ด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากยางรถยนต์ และถ่านกัมมันต์ทางการค้า สามารถอธิบายด้วยสมการของฟรอนดลิช และแลงเมียร์ตามลำดับ และขั้นตอนควบคุมของกระบวนการดูดซับสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองการแพร่ภายในรูพรุน (Intraparticle Diffusion) และความแตกต่างของ

โครงสร้างรูพรุน และการกระจายตัวของขนาดรูพรุน มีผลกระทบต่อความสามารถในการดูดซับ และจลนพลศาสตร์การดูดซับ

รุ่งนภา สุขสว่าง (2550) การผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และการประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อม และโลหะหนักในน้ำ เป็นการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และเปลือกลูกยางพาราซึ่งศึกษาจากค่าไอโอดีนนมเบอร์ โดยคาร์บอนที่ช่วงอุณหภูมิ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส วิธีการกระตุ้นทางเคมี แล้วกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ ) 50 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนของถ่าน: สารเคมี (w/w) เท่ากับ 1: 1, 1: 2 และ 1: 3 เฝ้ากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส และศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อม เมทิลไวโอเลต (Methyl Violet) มาลาไคท์กรีน (Malachite Green) คองโกเรด (Congo Red) และทองแดง (Copper) ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10, 20 และ 30 ppm โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากแกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และเปลือกลูกยางพารา แล้วเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตจากกะลาปาล์ม

พูนศิริ หอมจันทร์ (2551) ได้กล่าวไว้ว่า การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกสบู่ดำโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี โดยกระตุ้นด้วย  $NaOH$ ,  $H_3PO_4$  และ  $ZnCl_2$  ในสภาวะเดียวกัน คือ ได้อัตราส่วนของถ่านเปลือกสบู่ดำ : สารเคมี 1:1 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที จากการทดลองพบว่าการกระตุ้นถ่านด้วยสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ ( $NaOH$ ) ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพในการดูดซับสูงกว่าการกระตุ้นถ่านเปลือกสบู่ดำด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ ) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) ตามลำดับที่สภาวะเดียวกัน คือได้อัตราส่วนของถ่านเปลือกสบู่ดำต่อสารเคมีที่ใช้ในกระตุ้น 1:1 อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ปริมาณถ่านกัมมันต์ร้อยละ 22.21 ร้อยละการเผาที่ 77.79 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 839.75 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าการดูดซับสารละลายไอโอดีน 749.82 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับสารละลายสีเมทิลีนบลู 286.26 มิลลิกรัมต่อกรัม

สิงหเดช แดงจวง (2552) ได้กล่าวไว้ว่า การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลโดยวิธีการกระตุ้นทั้งทางเคมีโดยใช้  $KOH$  และทางกายภาพด้วยก๊าซ  $CO_2$  เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าพื้นที่ผิวสูง ๆ ให้เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจน จากผลการวิจัยสามารถเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูงได้ค่าพื้นที่ผิวสูงสุด 1,120 ตารางเมตรต่อกรัม โดยเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2.30 ชั่วโมง และใช้สารกระตุ้นในอัตราส่วน  $KOH/Char=4$  ค่าพื้นที่ผิวที่ได้นี้มีค่าสูงพอสมควร จึงทำให้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ ที่เตรียมได้นี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น เป็นตัวดูดซับก๊าซ ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และใช้ในอุตสาหกรรมน้ำดื่ม

อิริวัฒน์ เจริญบุตร (2555) ได้กล่าวไว้ว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดจากเปลือกฝักมะขาม และ การศึกษาการดูดซับโลหะหนัก โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ ทำการศึกษาโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมถ่านกัมมันต์ โดยใช้การกระตุ้นทางเคมีด้วย กรดฟอสฟอริก ร่วมกับ การกระตุ้นทางกายภาพด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาการดูดซับ โลหะหนัก โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เวลาในการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก และอัตราส่วนของกรดฟอสฟอริกต่อวัตถุดิบ ถ่านกัมมันต์ ที่เตรียมได้มีพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนรวมเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการกระตุ้นด้วย แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จาก 500 องศาเซลเซียส ไปเป็น 600 องศาเซลเซียส พื้นที่ผิว และ ปริมาตรรูพรุนรวมของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิในการกระตุ้น ต่อไป 700 องศาเซลเซียส พื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนรวมมีค่าลดลง การศึกษาการดูดซับโลหะหนัก โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ ทำการศึกษาการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม ในระบบ การดูดซับแบบกะ และแบบหอดูดซับ พบว่า สำหรับการดูดซับแบบกะ เวลาที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล คือ 36 ชั่วโมง โดยถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับตะกั่วได้มากที่สุดรองลงมาได้แก่ ทองแดง และแคดเมียม ตามลำดับ เมื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ และไอโซเทิร์มของการดูดซับ พบว่า การดูดซับเป็นไปตาม แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับสองเทียม และไอโซเทิร์มการดูดซับของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับแบบหอดูดซับ พบว่า เมื่ออัตราการไหลมีค่าสูงขึ้น ทำให้เวลาทั้งหมด ที่ใช้ในการดำเนินการ (td) มีค่าลดลง โดยตะกั่วมีค่า td มากกว่าทองแดง และแคดเมียม ตามลำดับ

ไชยยันต์ ไชยยะ ปทุมทิพย์ ดันทับทิมทอง และประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ (2551) ได้กล่าวไว้ว่า การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางพาราโดยใช้ไอน้ำ ถูกแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การคาร์โบไนซ์ และการกระตุ้นด้วยไอน้ำการคาร์โบไนซ์เปลือกเมล็ดยางพาราประกอบด้วยการแปรผันอุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง จากนั้นทดสอบพื้นที่ผิวของถ่านเปลือก เมล็ดยางพาราโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Sorption Analyzer พบว่า ถ่านเปลือกเมล็ดยางพาราที่มี พื้นที่ผิวสูงสุด คือ 426.0 ตารางเมตรต่อกรัม ที่ภาวะการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นถ่านดังกล่าวนี้กระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยอัตราไหลไอน้ำ 55.56 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อมิล ด้วยการแปรอุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมงจากการทดลอง พบว่าผลที่ได้ การผลิตสูงสุดของถ่านกัมมันต์ คือ 99.98 เปอร์เซ็นต์ ที่ภาวะการกระตุ้น 700 องศา เซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขณะที่ถ่านกัมมันต์ ที่มีพื้นที่ผิวสูงสุดคือ 633.1 ตารางเมตรต่อกรัม ที่ภาวะการกระตุ้น 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ยของ ถ่านกัมมันต์อยู่ช่วงเมโซพอร์ (Mesopore) คือ 2.3-2.9 nm

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยได้ใช้วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์ ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนโดยมีวิธีการกระตุ้นด้วยทางกายภาพ เพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องตามรายการดังต่อไปนี้

1. เปลือกทุเรียน
2. ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง พรอท และเหล็ก
3. ก๊าซไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์
4. อุปกรณ์เครื่องแก้ว หลอดแก้ว ปีกเกอร์ บิวเรต โถดูดความชื้น ขวดรูปชมพู่

ขวดวัดปริมาตร

5. เทอร์โมมิเตอร์
6. กระดาษกรอง
7. เต้าไฟฟ้าอุณหภูมิสูง 1,200 องศาเซลเซียส
8. หม้อนึ่งไอน้ำ
9. เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง
10. เครื่องดูดสูญญากาศ
11. เครื่องชั่งละเอียด
12. เครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ BET

### วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยได้ดำเนินการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนโดยวิธีนำไปเผาในชั้นบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากเผาจะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสีดำ นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ และนำไปทดสอบการประยุกต์ใช้ในการดูดซับไอโอดีน และโลหะหนัก ในสารละลายสังเคราะห์ และวัดความเป็นกรดต่าง pH และการกระตุ้นด้วยกายภาพ โดยการใช้หม้อนึ่งไอน้ำ มีรายละเอียดขั้นตอนต่อไปนี้

1. เตรียมเปลือกทุเรียนที่ได้
2. วัดความชื้น และน้ำหนักของเปลือกทุเรียนก่อนการเผา
3. เผาเปลือกทุเรียนในที่อับอากาศ
4. นำถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผาไปวัดความชื้น และน้ำหนักหลังการเผา

5. ทดสอบการดูดซับไอโอดีน และโลหะหนักในสารละลายสังเคราะห์
6. ตรวจสอบวิเคราะห์พื้นที่ผิว BET
7. วัดความเป็นกรดต่าง pH
8. ถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปกระตุ้นด้วยทางกายภาพ
  - 8.1 นึ่งด้วยไอน้ำโดยใช้หม้อนึ่ง
  - 8.2 เวลาที่ใช้ในการเผา
  - 8.3 วัดความชื้น และน้ำหนักของถ่านกัมมันต์
  - 8.4 ทดสอบการดูดซับไอโอดีน และโลหะหนักในสารละลายสังเคราะห์
  - 8.5 ตรวจสอบวิเคราะห์พื้นที่ผิว BET
  - 8.6 วัดความเป็นกรดต่าง pH

### วิเคราะห์หาความชื้น

เพื่อต้องการคำนวณหาความชื้นของเปลือกทุเรียนก่อน และหลังเผา หาความชื้นหลังจากทำการกระตุ้นทางกายภาพ

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักเปลือกทุเรียนก่อนอบและหลังเผา (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักเปลือกทุเรียนเริ่มต้น (g)}}$$

### การศึกษาปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อการดูดซับ

กำชัย นุ้ยธิกุล (2548) ค่าการดูดซับ (Amount of Adsorption)

การคำนวณค่าการดูดซับ ( $q_t$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$Q_t = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{M} \quad (1)$$

โดย

$C_0$  คือ ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$C_t$  คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่เวลาในการดูดซับใด ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$Q_t$  คือ ค่าการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$V$  คือ ปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการดูดซับ (ลิตร)

$M$  คือ น้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ใช้การดูดซับ (กรัม)

### การวิเคราะห์พื้นผิวของถ่านกัมมันต์

ในการวิเคราะห์สมบัติความพรุนของถ่านกัมมันต์ทำได้โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ และขนาดรูพรุน จากนั้นนำข้อมูลไอโซเทิร์ม การดูดซับที่ได้มาคำนวณสมบัติความพรุนโดยใช้ทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ปริมาตรรูพรุนขนาดกลางจากการพิจารณาการกระจายขนาดรูพรุน (Pore Size distribution) โดยใช้ทฤษฎี Density functional theory (DFT) (Olivier, 1995) ขนาดรูพรุนเฉลี่ยคำนวณด้วยสมการ

$$\frac{4V}{A}$$

เมื่อ

$V$  = ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (ลูกบาศก์เมตรต่อกรัม)

$A$  = เท่ากับพื้นที่ผิวจำเพาะ ( $S_{BET}$  ตารางเมตรต่อกรัม)

### การทดสอบความสามารถในการดูดซับไอโอดีน

ปริมาณไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ การตรวจวัดค่าการดูดซับปริมาณไอโอดีนต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ เป็นวิธีการบอกความสามารถในการดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลแตกต่างกันของถ่านกัมมันต์ โดยค่าการดูดซับปริมาณไอโอดีน แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก (0.4-1.0 นาโนเมตร) ค่าการดูดซับปริมาณไอโอดีนต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ทดสอบโดยใช้วิธีการไตเตรทแบบไอโอดิเมทรี (Iodometry) เพื่อหาปริมาณของไอโอดีนที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับไว้โดยใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต ( $Na_2S_2O_3$ ) เป็นไตเตรนต์ ซึ่งเป็นการทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM-D4607-94 (ASTM Committee on Standards, 1998a) ค่าที่ได้เรียกว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (Iodine Number) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม ( $\frac{mg}{g}$ ) โดยคำนวณความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ (C) จากสูตร  $C = \frac{N_1}{(50 \times S)}$

เมื่อ

$C$  = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ มีหน่วยเป็น N

$N_1$  = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

$S$  = ปริมาตรของของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

และคำนวณค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ ( $\frac{\times}{m}$ ) ได้จากสูตร

$$\left(\frac{\times}{m}\right) = \frac{[A - (DF \times B \times S)]}{m}$$

เมื่อ

$$A = 12693 N_2$$

$N_2$  = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

$$B = 126.93 N_1$$

$$DF = \text{dilution factor} \frac{(100+10)}{50} = 2.2$$

$m$  = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (กรัม)

$x$  = ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์กับความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือหลังการดูดซับ (C) จะได้กราฟเป็นเส้นตรงคำนวณค่าความสามารถในการดูดซับไอโอดีน ( $\frac{x}{m}$ ) ของถ่านกัมมันต์ตรงตำแหน่งที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือเท่ากับ 0.02 N ค่าปริมาณการดูดซับที่ได้มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ ( $\frac{mg}{g}$ ) โดยคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{ปริมาณการดูดซับ} \left( \frac{mg}{g} \right) = \frac{\text{ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ (mg/L)} \times \text{ปริมาตรของสารละลาย (L)}}{\text{น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (g)}}$$

#### หาค่าไอโอดีนนัมเบอร์

1. บดถ่านหลังการเผาให้ละเอียดร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 80 ml
2. นำถ่านกัมมันต์ไปบดไล่ความชื้นที่ 110 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำมาถ่านที่อบแล้วชั่ง 1 กรัมลงในขวดชมพูขนาด 125 ml
4. เติมสารไอโอดีนลงไปในถ่านกัมมันต์ 5 ml
5. กรองด้วยกระดาษเบอร์ 40

#### หาค่า pH

1. ทำการปรับเทียบมาตรฐานจะปรับช่วง pH ที่ต้องการวัดด้วยสารบัฟเฟอร์ 3 ค่า คือ pH4, pH7 และ pH10 ที่มีค่าครอบคลุมในช่วงที่ต้องการวัด
2. นำมาถ่านกัมมันต์ที่ได้ชั่ง 0.2 กรัมลงในขวดชมพูขนาด 125 ml
3. นำมาถ่านกัมมันต์ที่ได้เติมน้ำกลั่น ลงไป 50 ml
4. นำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เขย่า 30 นาที
5. เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำถ่านที่ได้ไปวัดอ่านค่าด้วยเครื่อง (EUTECH PC2700)

แล้วอ่านค่า

### ตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย

1. ปิเปตต์ ( $\text{KIO}_3$ ) 25 ml ลงในขวดชมพู
2. เติม KI 2g เขย่าจนละลาย
3. เติมปิเปตต์ Hu เข้มข้น 5ml ลงในขวดชมพู
4. ไตเตรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมโซลซัลเฟต 0.1 จนสีของไอโอดีน  
จางจนเป็นสีเหลืองอ่อน หยด น้ำแป้ง 2-3 หยดจนเป็นสีน้ำเงิน

5. ไตเตรตต่อจนไม่มีสี
6. บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมโซลซัลเฟตที่ใช้ ทำ 3 ครั้ง

### คำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต จากสูตร

$$N1 = (P.R)/S$$

$$N1 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต (M)}$$

$$P = \text{ปริมาตรสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (ml)}$$

$$R = \text{ความเข้มข้นของสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (ml)}$$

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

### ตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

1. สารละลาย  $\text{I}_2$  25 ml ลงในขวดชมพู
2. ไตเตรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมโซลซัลเฟต 0.1 จนสีของไอโอดีนจางจนเป็น  
สีเหลืองอ่อน หยด น้ำแป้ง 2-3 หยดจนเป็นสีน้ำเงิน
3. ไตเตรตต่อจนไม่มีสี
4. บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมโซลซัลเฟตที่ใช้ ทำ 3 ครั้ง
5. คำนวณหาความเข้มข้นสารละลายไอโอดีน

$$N2 = (S.N1)/I$$

$$N2 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (M)}$$

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

$$N1 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไอโอซัลเฟต}$$

$$I = \text{ปริมาตรสารละลายไอโอดีน (ml)}$$

### วิธีการวิเคราะห์

1. นำถ่านกัมมันต์ที่บด แล้วมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 145-155 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง  
แล้วทิ้งให้เย็นที่โถดูดความชื้น
2. คำนวณน้ำหนักของถ่านที่ใช้ในการทดลอง 3 คำนวณน้ำหนัก โดยใช้สูตร

$$M = [A - (DF)C(12693.0).(50)]/E$$

โดยให้

$M =$  น้ำหนักของถ่าน (g)

$A = (N_2)(12693.0)$

$DF =$  Dilution Factor =  $(100+10)/50=2.2$

$C =$  Residue Iodine

$E =$  ค่า Iodine Number โดยประมาณ

ค่า Carbon Dosages 3 ค่า จะคำนวณโดยใช้ค่า  $C$  ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ 0.01, 0.02, 0.03

3. ชั่งถ่าน 1.00 g ใส่ขวดชมพูขนาด 250 ml 3 ขวด

4. บีเปตต์ 5 เปอร์เซ็นต์ Hu จำนวน 10 ml ลงในขวดชมพูปิดจุก เขย่าเพื่อให้

ตัวอย่างเปียกทั่ว

5. นำไปตั้งบน Hot Plate ในตู้ดูดควันจนเดือด ทิ้งไว้ให้เดือด ต่อประมาณ 30 วินาที

เพื่อไล่อะไรในตัวอย่าง

6. นำถ่านออกมา ทิ้งไว้จนเย็นเท่าอุณหภูมิห้อง

7. บีเปตต์  $I_2$  0.1N จำนวน 100 ml ลงในขวดชมพู ปิดจุกทันทีเขย่าอย่างแรง

เป็นเวลา 30 วินาที เปิดจุกแล้วกรองสารละลายผ่านกระดาษซับไขมัน (เบอร์ 42)

8. บีเปตต์สารละลายที่กรองได้ 50 ml ลงในขวดชมพู

9. ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.1M จนเป็นสีเหลืองอ่อน

10. เติมน้ำแข็ง 2 ml แล้วไตเตรตต่อจนไม่มีสีบันทึก ปริมาตรสารละลาย

โซเดียมไฮโอซัลเฟต

**การคำนวณหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์**

$IN = [(B-S).N.12690]/\text{Weight of Sample}$

โดย

$B =$  สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรตแบลนค์ หน่วย ml

$S =$  สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรตแบลนค์ ตัวอย่างหน่วย ml

$N =$  ความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

**วิธีการทำการดูดซับสารต่างทั้ง 5 ตัว**

ตะกั่ว (Pb), ปรอท (Hg), ทองแดง Cu, แคดเมียม (Cd), เหล็ก (Fe)

1. บดถ่านหลังการเผาให้ละเอียดร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 80 ml

2. นำถ่านกัมมันต์ไปอบไล่ความชื้นที่ 110 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง

3. นำมาถ่านที่อบแล้วชั่ง 1 กรัมลงในขวดชมพูขนาด 125 ml

4. เติมสารละลายมาตรฐานตะกั่วไอออนความเข้มข้น 100 ppm ลงไป 50 ml

5. นำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เขย่า 30 นาที
6. เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำถ่านที่ได้ไปกรองเอาของแข็งออกจากของเหลว ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บของเหลวใส ใส่ขวดเก็บตัวอย่างปิดฝาให้สนิท
7. นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์ หาปริมาณตะกั่วที่เหลือ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก AAS แล้วนำค่าที่ได้ไป วิเคราะห์ (ค่า Absorbance ที่ 510 nm)

#### สูตรการคำนวณค่าร้อยละการดูดซับของถ่านกัมมันต์

$$\% \text{Adsorption} = \frac{(\text{Initial con} - \text{Retain con}) \times 100}{\text{Initial con}}$$

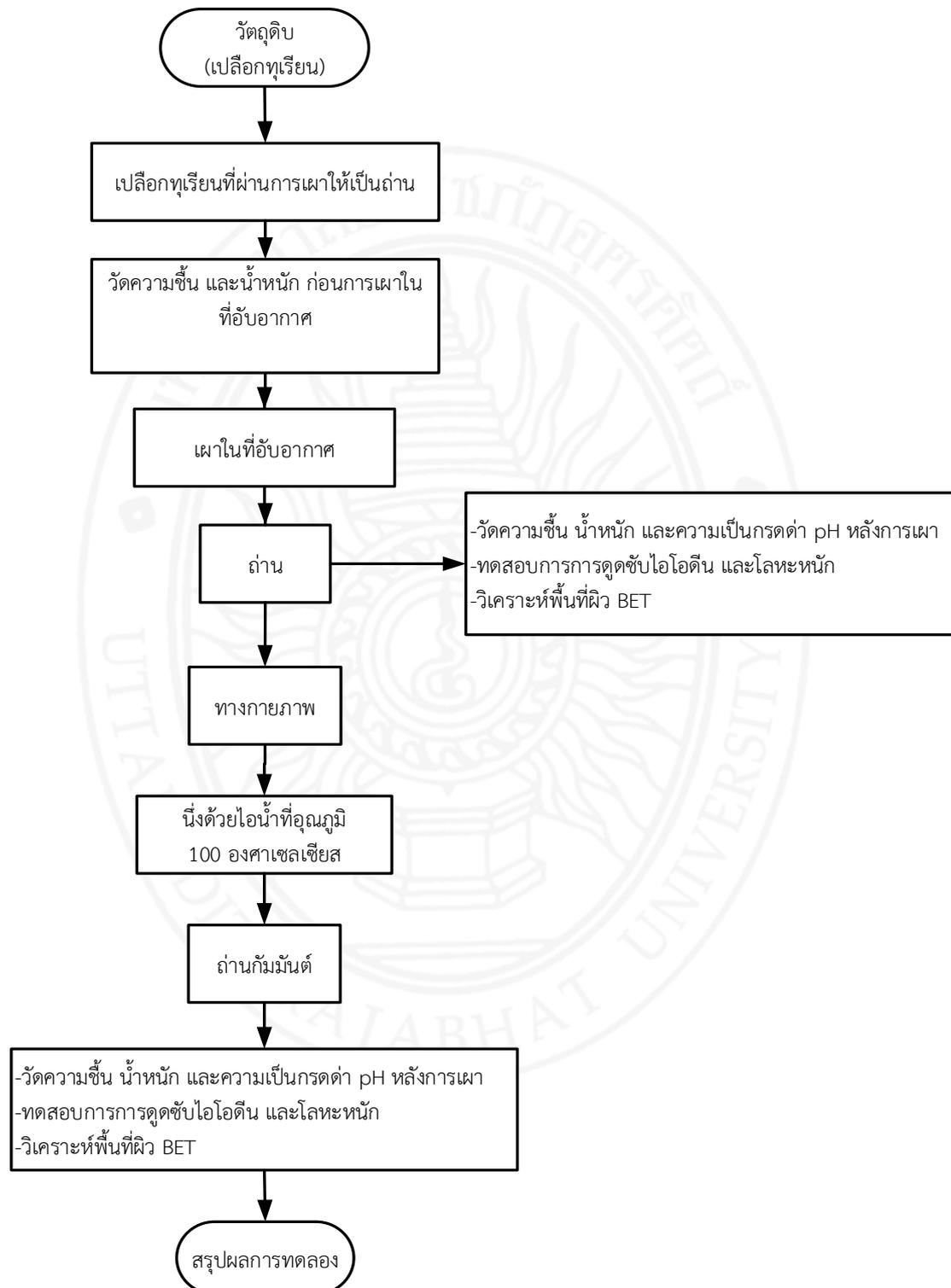
#### วิธีการกระตุ้นด้วยทางกายภาพโดยวิธีการนึ่งด้วยไอน้ำ

1. นำถ่านที่ผ่านการเผาเป็นผงถ่านกัมมันต์มาบด และคัดขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ 80 ml
2. หาความชื้นของถ่านก่อนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ
3. ชั่งถ่านโดยแบ่งออกเป็น 3 ตัวอย่าง อย่าง 500 กรัม
3. เตรียมหม้อนึ่งที่มีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
4. นำถ่านที่เตรียมใส่ในหม้อนึ่ง โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ตัวอย่าง
5. ระยะเวลาในการนึ่ง 30, 60 และ 90 นาที
6. หาค่าความชื้นหลังการกระตุ้นด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ
7. นำถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นไปวิเคราะห์หาการดูดซับโลหะหนักไอโอดีนัมเบอร์ และพื้นที่ผิว BET ของถ่านกัมมันต์

#### ตัวอักษรย่อ และความหมายที่ใช้ในงานวิจัย

- A1 = ถ่านกัมมันต์ที่ถูกเผาอบอากาศที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- D1 = ถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
- D2 = ถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที
- D3 = ถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที

## ขั้นตอนดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนดำเนินการวิจัย

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในงานวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนนี้ มีวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ เผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง และการกระตุ้นทางกายภาพ โดยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที มีผลการทดลองดังนี้

#### ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลการเผาในที่อับอากาศ

ตารางที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นก่อนเผาในที่อับอากาศ

ถ่านกัมมันต์	ครั้งที่	น้ำหนักของถ่านก่อน (g)	น้ำหนักของถ่านหลัง (g)	ร้อยละความชื้น	ค่าเฉลี่ย
A1	1	100.06	53.44	46.62	46.58
	2	100.08	53.50	46.58	
	3	100.04	53.48	46.56	

จากผลการทดลองนำเปลือกทุเรียนที่ไม่ผ่านการเผาในที่อับอากาศมาทำการวิเคราะห์หาความชื้น พบว่าความชื้นของเปลือกทุเรียน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 46.58 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นหลังเผาในที่อับอากาศ

ถ่านกัมมันต์	ครั้งที่	น้ำหนักของถ่านก่อน (g)	น้ำหนักของถ่านหลัง (g)	ร้อยละความชื้น	ค่าเฉลี่ย
A1	1	100.08	75.94	24.14	24.16
	2	100.10	75.90	24.20	
	3	100.06	75.92	24.14	

จากผลการทดลองการนำเปลือกทุเรียนที่ผ่านการเผาในที่อับอากาศมาทำการวิเคราะห์หาความชื้น พบว่าความชื้นของเปลือกทุเรียน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 24.16 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 10 แสดงผลการหาค่า pH ที่ผ่านการเผาในที่อับอากาศ

ถ่านกัมมันต์	ครั้งที่	น้ำหนักถ่าน (g)	เติม สารละลาย	รอบ/นาที	ค่าที่ได้	ค่าเฉลี่ย
	1	0.216			9.98	
A1	2	0.205	50	150/30	9.93	9.94
	3	0.202			9.91	

จากการวิเคราะห์หาค่า pH ของเปลือกทุเรียนที่ผ่านการเผาในที่อับอากาศพบว่า ค่า pH ของเปลือกทุเรียนที่เผาในที่อับอากาศมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 9.94 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 11 แสดงผลการหาค่าไอโอดีนนมเบอร์

ถ่านกัมมันต์	ครั้งที่	น้ำหนักถ่าน (g)	กรดไฮโดร คลอริก (ml)	ต้ม (วินาที)	ไอโอดีน นมเบอร์ (ml)	ไตรเตรท (ml)	ค่าที่ได้ (S)	ค่าเฉลี่ย
	1	1.029			100	50	33.9	
A1	2	1.005	5	30	100	50	34.6	34.13
	3	1.008			100	50	33.9	

จากการวิเคราะห์หาค่าไอโอดีนนมเบอร์ ของเปลือกทุเรียนที่ผ่านการเผาในที่อับอากาศพบว่า ค่าไอโอดีนนมเบอร์ของเปลือกทุเรียนที่เผาในที่อับอากาศมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 34.13 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายปรอท (Hg)

ถ่านกัมมันต์	น้ำหนักถ่าน (g)	เติม สารละลาย	เขย่า รอบ/นาที	ค่า เริ่มต้น	ค่าที่ได้ (ppm)	%Ads	ค่าเฉลี่ย
					99.6	0.4 %	
A1	1.008	50	150/30	100 %	99.3	0.7 %	0.76%
					98.8	1.2 %	

จากการวิเคราะห์หาการดูดซับสารละลายปรอท (Hg) ของเปลือกทุเรียนที่ผ่านการเผาในที่  
 อับอากาศพบว่า การดูดซับสารละลายปรอท (Hg) ของเปลือกทุเรียนที่เผาในที่อับอากาศมีค่าเฉลี่ย  
 อยู่ที่ 0.76 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายทองแดง (Cu)

ถ่านกัมมันต์	น้ำหนักถ่าน (g)	เติม สารละลาย	เขย่า รอบ/นาที	ค่าเริ่มต้น	ค่าที่ได้ (ppm)	%Ads	ค่าเฉลี่ย
					99.8	0.2 %	
A1	1.002	50	150/30	100 %	99.9	0.1 %	0.23 %
					99.6	0.4 %	

จากการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับสารละลายทองแดง (Cu) ของเปลือกทุเรียน  
 ที่ผ่านการเผาในที่อับอากาศพบว่า ค่าการดูดซับสารละลายทองแดง (Cu) ของเปลือกทุเรียนที่เผาในที่  
 อับอากาศมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.23 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายแคดเมียม (Cd)

ถ่านกัมมันต์	น้ำหนักถ่าน (g)	เติม สารละลาย	เขย่า รอบ/นาที	ค่าเริ่มต้น	ค่าที่ได้ (ppm)	%Ads	ค่าเฉลี่ย
					87.0	13.0 %	
A1	1.001	50	150/30	100 %	86.8	13.2 %	12.87%
					87.6	12.4 %	

จากการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับสารละลายแคดเมียม (Cd) ของเปลือกทุเรียนที่ผ่าน  
 การเผาในที่อับอากาศพบว่า ค่าการดูดซับสารละลายแคดเมียม (Cd) ของเปลือกทุเรียนที่เผาในที่  
 อับอากาศ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.87 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายตะกั่ว (Pb)

ถ่านกัมมันต์	ครั้งที่	น้ำหนักถ่าน (g)	เติม สารละลาย	เขย่า รอบ/นาที	ค่า เริ่มต้น	ค่าที่ได้ (ppm)	%Ads	ค่าเฉลี่ย
A1	1	1.029				95.5	4.5 %	
	2	1.028	50	150/30	100%	98.6	1.4 %	3.10 %
	3	1.030				96.6	3.4 %	

จากการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับสารละลายตะกั่ว (Pb) ของเปลือกทุเรียนที่ผ่านการเผา ในที่้อากาศพบว่า ค่าการดูดซับสารละลายตะกั่ว (Pb) ของเปลือกทุเรียนที่เผาในที่้อากาศ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายเหล็ก (Fe)

ถ่านกัมมันต์	ครั้งที่	น้ำหนักถ่าน (g)	เติม สารละลาย	เขย่า รอบ/นาที	ค่า เริ่มต้น	ค่าที่ได้ (ppm)	%Ads	ค่าเฉลี่ย
A1	1	1.029				97.1	2.9%	
	2	1.035	50	150/30	100%	97.4	2.6%	2.67%
	3	1.030				97.5	2.5%	

จากการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับสารละลายเหล็ก (Fe) ของเปลือกทุเรียนที่ผ่านการเผา ในที่้อากาศพบว่า ค่าการดูดซับสารละลายเหล็ก (Fe) ของเปลือกทุเรียนที่เผาในที่้อากาศ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.67 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 17 แสดงผลพื้นที่ผิว BET ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านเผาในที่้อากาศ

ถ่านกัมมันต์	พื้นที่ผิว BET (m <sup>2</sup> /g)
A1	215 ตารางเมตรต่อกรัม

จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านในที่อับอากาศเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นในที่อับอากาศที่ 400 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 ชั่วโมง มีค่าพื้นที่ผิว 215 ตารางเมตรต่อกรัม

### ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลการกระตุ้นทางกายภาพด้วยหม้อนึ่งไอน้ำ

ตารางที่ 18 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นทางกายภาพ เวลา 30 นาที

ถ่านกัมมันต์	ครั้งที่	น้ำหนักของถ่านก่อน (g)	น้ำหนักของถ่านหลัง (g)	ร้อยละความชื้น	ค่าเฉลี่ย
D1	1	100.02	86.02	14.00	13.99
	2	100.05	86.06	13.99	
	3	100.03	86.04	13.99	

จากการวิเคราะห์หาค่าการหาความชื้นที่ทำการกระตุ้นทางกายภาพ D1 พบว่า ร้อยละความชื้นของเปลือกทุเรียนที่ทำการกระตุ้นทางกายภาพ D1 มีค่าเฉลี่ย อยู่ที่ 13.99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นทางกายภาพ เวลา 60 นาที

ถ่านกัมมันต์	ครั้งที่	น้ำหนักของถ่านก่อน (g)	น้ำหนักของถ่านหลัง (g)	ร้อยละความชื้น	ค่าเฉลี่ย
D2	1	100.00	86.04	13.96	13.98
	2	100.02	86.02	14.00	
	3	100.01	86.03	13.98	

จากการวิเคราะห์หาค่าการหาความชื้นที่ทำการกระตุ้นทางกายภาพ D2 พบว่า ร้อยละความชื้นของเปลือกทุเรียนที่ทำการกระตุ้นทางกายภาพ D2 มีค่าเฉลี่ย อยู่ที่ 13.98 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นทางกายภาพ เวลา 90 นาที

ถ่านกัมมันต์	ครั้งที่	น้ำหนักของถ่านก่อน (g)	น้ำหนักของถ่านหลัง (g)	ร้อยละความชื้น	ค่าเฉลี่ย
D3	1	100.00	86.03	13.97	
	2	100.00	86.05	13.95	13.96
	3	100.00	86.04	13.96	

จากการวิเคราะห์หาค่าการหาความชื้นที่ทำการกระตุ้นทางกายภาพ D3 พบว่า ร้อยละความชื้นของเปลือกทุเรียนที่ทำการกระตุ้นทางกายภาพ D3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 13.96 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 21 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่า pH ที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพ

ถ่านกัมมันต์	ครั้งที่	น้ำหนักของถ่าน (g)	เติม สารละลาย	เขย่า รอบ/นาที	ค่าที่อ่านได้	ค่าเฉลี่ย
D1	1	0.206			7.30	
	2	0.208	50	150/30	7.31	7.31
	3	0.209			7.32	
D2	1	0.201			7.23	
	2	0.201	50	150/30	7.23	7.24
	3	0.200			7.24	
D3	1	0.200			7.34	
	2	0.202	50	150/30	7.33	7.34
	3	0.201			7.34	

จากการวิเคราะห์หาค่า pH ของถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพ จะเห็นได้ว่า ถ่านที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพ D3 มีค่า pH สูงที่สุดเฉลี่ยอยู่ที่ 7.34 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ D1 มีค่า pH เฉลี่ยอยู่ที่ 7.31 เปอร์เซ็นต์ และ D2 มีค่า pH เฉลี่ยอยู่ที่ 7.24 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่าไอโอดีนนมเบอร์

ถ่านกัมมันต์	ครั้งที่	น้ำหนักถ่าน (g)	กรด ไฮโดร คอริก	ต้ม (วินาที)	ไอโอดีน นมเบอร์ (ml)	ไตรเตรท (ml)	ค่าที่ได้ (S)	ค่าเฉลี่ย
D1	1	1.020			100	50	30.5	
	2	1.007	50	30	100	50	30.8	30.6
	3	1.005			100	50	30.6	
D2	1	1.054			100	50	33.6	
	2	1.005	50	30	100	50	32.0	32.3
	3	1.056			100	50	31.4	
D3	1	1.129			100	50	30.5	
	2	1.011	50	30	100	50	31.5	30.8
	3	1.040			100	50	30.6	

จากการวิเคราะห์หาค่า ไอโอดีนนมเบอร์ ของเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นทางกายภาพ จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีน (ค่าS) ของถ่านที่ผ่านการกระตุ้น D2 มีค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีน (ค่าS) มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 32.3 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ D3 มีค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีน (ค่าS) อยู่ที่ 30.08 เปอร์เซ็นต์ และ D1 ค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีน (ค่าS) อยู่ที่ 30.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายปรอท (Hg)

ถ่านกัมมันต์	น้ำหนักถ่าน (g)	เติม สารละลาย	เขย่า รอบ/นาที	ค่า เริ่มต้น	ค่าที่อ่านได้ (ppm)	%Ads	ค่าเฉลี่ย
D1	1.013	50	150/30	100 %	99.0	1.0 %	
					99.5	0.5 %	0.83%
					99.0	1.0 %	
D2	1.022	50	150/30	100 %	98.9	1.1 %	1.20%
					98.6	1.4 %	
					96.7	3.3 %	3.67%
D3	1.012	50	150/30	100%	96.9	3.1 %	
					96.3	3.7 %	

จากการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพของสารละลายปรอท (Hg) จะเห็นได้ว่า ถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพ D3 มีค่าร้อยละการดูดซับโลหะหนักของสารละลายปรอท (Hg) มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.67 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ D2 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 1.20 เปอร์เซ็นต์ และ D1 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 0.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายทองแดง Cu

ถ่านกัมมันต์	น้ำหนักถ่าน (g)	เติม สารละลาย	เขย่า รอบ/นาที	ค่า เริ่มต้น	ค่าที่อ่านได้ (ppm)	%Ads	ค่าเฉลี่ย
D1	1.062	50	150/30	100 %	97.9	2.1 %	1.93 %
					98.0	2.0 %	
					98.3	1.7 %	
D2	1.026	50	150/30	100 %	98.8	1.2 %	1.37 %
					98.3	1.7 %	
					98.8	1.2 %	
D3	1.035	50	150/30	100 %	98.3	1.7 %	1.67 %
					98.1	1.9 %	
					98.6	1.4 %	

จากการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพของสารละลายทองแดง (Cu) จะเห็นได้ว่า ถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพ D1 มีค่าร้อยละการดูดซับโลหะหนักของสารละลายทองแดง (Cu) มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.93 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ D3 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 1.67 เปอร์เซ็นต์ และ D2 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 1.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 25 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายแคดเมียม (Cd)

ถ่านกัมมันต์	น้ำหนักถ่าน (g)	เติม สารละลาย	เขย่า รอบ/นาที	ค่า เริ่มต้น	ค่าที่ได้ (ppm)	%Ads	ค่าเฉลี่ย
					57.0	43.0 %	
D1	1.032	50	150/30	100 %	56.7	43.3 %	43.2%
					56.1	43.9 %	
					27.0	73.0 %	
D2	1.005	50	150/30	100 %	26.2	73.2 %	73.4%
					26.0	74.0 %	
					36.3	63.7 %	
D3	1.014	50	150/30	100 %	35.3	64.7 %	64.17%
					35.9	64.1 %	

จากการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพของสารละลายแคดเมียม (Cd) จะเห็นได้ว่า ถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพ D2 มีค่าร้อยละการดูดซับโลหะหนักของสารละลายแคดเมียม (Cd) มากที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 73.40 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ D3 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 64.17 เปอร์เซ็นต์ และ D1 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 43.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 26 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายตะกั่ว (Pb)

ถ่านกัมมันต์	น้ำหนักถ่าน (g)	เติม สารละลาย	เขย่า รอบ/นาที	ค่า เริ่มต้น	ค่าที่ได้ (ppm)	%Ads	ค่าเฉลี่ย
					96.4	3.6 %	
D1	1.031	50	150/30	100 %	95.9	4.1 %	3.83 %
					96.2	3.8 %	
					92.0	8.0 %	
D2	1.044	50	150/30	100 %	92.6	7.4 %	6.07 %
					97.2	2.8 %	
					97.6	2.4 %	
D3	1.038	50	150/30	100 %	95.1	4.9 %	3.73 %
					96.1	3.9 %	

จากการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพของสารละลายตะกั่ว (Pb) จะเห็นได้ว่า ถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพ D2 มีค่าร้อยละการดูดซับโลหะหนักของสารละลายตะกั่ว (Pb) มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.07 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ D1 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 3.83 เปอร์เซ็นต์ และ D3 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 3.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 27 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายเหล็ก (Fe)

ถ่านกัมมันต์	น้ำหนักของถ่าน (g)	เติมสารละลาย	เขย่ารอบ/นาที	ค่าเริ่มต้น	ค่าที่ได้ (ppm)	%Ads	ค่าเฉลี่ย
D1	1.030	50	150/30	100 %	94.3	5.7 %	5.0 %
					94.7	5.3 %	
					94.5	5.5 %	
D2	1.070	50	150/30	100 %	94.4	5.6 %	5.5 %
					94.3	5.7 %	
					94.8	5.2 %	
D3	1.040	50	150/30	100 %	95.1	4.9 %	5.0n%
					94.8	5.2 %	
					95.1	4.9 %	

จากการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพของสารละลายเหล็ก (Fe) จะเห็นได้ว่า ถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพ D2 มีค่าร้อยละการดูดซับโลหะหนักของสารละลายเหล็ก (Fe) มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.50 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ D3 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 5.00 เปอร์เซ็นต์ และ D1 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 5.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 28 แสดงผลพื้นที่ผิว BET ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระตุ้นด้วยไอน้ำ

ถ่านกัมมันต์	พื้นที่ผิว BET (ตารางเมตรต่อกรัม)
D1	531
D2	612
D3	571

จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระตุ้นด้วยไอน้ำจะเห็นได้ว่า ถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพ D1 มีค่าพื้นที่ผิวมากที่สุดคือ 612 ตารางเมตร ต่อกรัม รองลงมาคือ D3 มีค่าพื้นที่ผิว 571 ตารางเมตรต่อกรัม และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระตุ้นด้วยไอน้ำเป็น D1 มีค่าพื้นที่ผิว 531 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 29 แสดงผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่เผาในที่อับอากาศและการกระตุ้นด้วยไอน้ำ

ถ่านกัมมันต์	ค่า ความชื้น	ค่า pH	ค่าไอโอดีน นัมเบอร์	พื้นที่ผิว BET	ร้อยละการดูดซับโลหะหนัก				
					Hg	Cu	Cd	Pb	Fe
A1	24.16	9.94	34.13	215	0.76	0.23	12.87	3.10	2.67
D1	13.99	7.31	30.60	531	0.83	1.93	43.20	3.81	5.00
D2	13.98	7.24	32.30	612	1.20	1.37	73.40	6.07	5.50
D3	13.96	7.34	30.80	571	3.67	1.67	67.12	3.73	5.00

จากการวิเคราะห์ค่าความชื้น ค่าร้อยละของผลผลิต และค่าร้อยละของการดูดซับของ ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน พบว่า ค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ยของเปลือกทุเรียนก่อนเผา คาร์บอนในเซชัน มีค่าเท่ากับ 24.16 เมื่อทำการคาร์บอนในเซชันด้วยการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และทำการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที พบว่าค่าร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์มีค่าอยู่ในช่วง 13.96-13.99 ค่าร้อยละของผลผลิตของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่เผาแบบอับอากาศ มีค่าร้อยละผลผลิต อยู่ในช่วง 75.92-75.96 และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยค่าร้อยละของผลผลิตมีค่า เท่ากับ 86.03-86.06 ขณะที่ค่าร้อยละของการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ที่เผาแบบอับอากาศ พบว่า มีค่าการดูดซับโลหะหนักอยู่ในช่วงค่าร้อยละ 0.23-12.87 มีค่า pH เท่ากับ 9.94 และมีพื้นที่ผิว BET ของถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 215 ตารางเมตรต่อกรัม และเมื่อนำผง ถ่านกัมมันต์มาบด และคัดขนาดด้วยตะแกรง และทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที พบว่า ค่าร้อยละการดูดซับโลหะหนัก และพื้นที่ผิวของ ถ่านกัมมันต์มีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 30 วิเคราะห์การเปรียบเทียบมาตรฐานกับผลของการทดลอง

กระบวนการ	มาตรฐาน อุตสาหกรรม	A1	D1	D2	D3	ผลของ A	ผลของ D
ค่า pH	7	9.94	7.31	7.24	7.34	ผ่าน	ผ่าน
ค่าไอโอดีนนมเบอร์	≥600	34.13	30.60	32.30	30.80	ผ่าน	
ค่าพื้นที่ผิว BET	-	215	531	612	571	ผ่าน	
(Hg)	100 %	0.76	0.83	1.20	3.67		
(Cu)	100 %	0.23	1.93	1.37	1.67		ผ่าน
(Cd)	100 %	12.87	43.20	73.40	67.12		
(Pb)	100 %	3.10	3.81	6.07	3.73		
(Fe)	100 %	2.67	5.00	5.50	5.00		

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547, น.3

จากการวิเคราะห์การเปรียบเทียบมาตรฐานกับผลการทดลอง พบว่า ความชื้นของถ่านกัมมันต์ ลดลงแต่ไม่ผ่านมาตรฐานของถ่านกัมมันต์ ส่วนค่า pH อยู่ในช่วง 7.31-7.37 ค่าพื้นที่ผิว BET มีค่าพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจาก 215 ตารางเมตรต่อกรัม เป็น 612 ตารางเมตรต่อกรัม และผลของการดูดซับ โลหะหนัก ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้ดีที่สุด คือ การดูดซับ แคดเมียม (Cd) ในช่วงระยะเวลาที่ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน โดยวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ การเผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสในเวลา 1 ชั่วโมง และการกระตุ้นทางกายภาพ โดยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที เพื่อวิเคราะห์หาการดูดซับโลหะหนัก ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน

#### สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบค่าร้อยละความชื้น ค่าร้อยละผลผลิต ค่าการดูดซับโลหะหนัก พบว่า กระบวนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำเป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที สามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่ผ่านตามาตรฐานอุตสาหกรรม 900-2547 ทุกเงื่อนไข กล่าวคือ การกระตุ้นด้วยไอน้ำส่งผลให้เกิดรูพรุนขนาดเล็ก และมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นภายในผงถ่าน จึงมีค่าการดูดซับโลหะหนักที่มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการกระตุ้นดังนั้น กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ สามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่ได้ค่าการดูดซับผ่านตามาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 900-2547

ดังนั้นผลการทดลอง พบว่า ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน มีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 60 นาที มีการดูดซับโลหะหนักที่ดีที่สุด คือ การดูดซับแคดเมียม (Cd) มีค่าการดูดซับอยู่ที่ 73.40 เปอร์เซ็นต์ และมีพื้นที่ผิว BET 621 ตารางเมตรต่อกรัม จึงสรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกทุเรียน ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ สามารถในการดูดซับโลหะหนัก ประเภท แคดเมียม ตามแหล่งน้ำทิ้งที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้

#### อภิปรายผล

เมื่อนำผงถ่านกัมมันต์มาบด และคัดขนาดด้วยตะแกรง มาทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที จากการศึกษาวิเคราะห์ พบว่า ผงถ่านที่ผ่านการคาร์บอนไนเซชันเผาแบบอับอากาศ มีค่าร้อยละความชื้น 24.16 มีค่าร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วง 75.92-75.96 มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 9.94 มีร้อยละการดูดซับโลหะหนักอยู่ที่ 0.23-12.87 และมีพื้นที่ผิว BET เท่ากับ 215 ตารางเมตรต่อกรัม และทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่า ค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 13.96-13.99 ค่าร้อยละผลผลิตมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 86.03-86.06 ตามลำดับค่าร้อยละของการดูดซับโลหะหนักมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการกระตุ้นไอน้ำ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ

อยู่ในช่วง 0.83-73.40 ขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าลดลงจาก 9.94 อยู่ในช่วง 7.24-7.34 และเมื่อพิจารณาค่าพื้นที่ผิว BET พบว่า มีค่าพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นโดยมีค่าอยู่ในช่วง 531-612 ตารางเมตรต่อกรัม ดังนั้น กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ สามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่ได้ค่าการดูดซับผ่านตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 900-2547

### ข้อเสนอแนะ

1. ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนโดยวิธีการผลิตการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที แล้วยังมีวิธีการอื่น ๆ เช่น กระบวนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำเป็นเวลา 120, 150 นาที และอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นต้น
2. ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนโดยวิธีการกระตุ้นที่อุณหภูมิครั้งนี้ มีข้อจำกัดในการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงที่ 400 องศาเซลเซียส เพราะว่า เตาเผาที่ใช้ในการทดลองเป็นเตาเผาที่ผลิตขึ้นมาเองจะถึง 200 ลิตร จึงควรมีการใช้เตาเผาที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่านี้
3. สามารถนำถ่านที่ผลิตด้วยวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์หรือ โลหะหนัก ประเภท แคดเมียม เป็นต้น
4. สามารถนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ไปใช้ในการดูดซับกลิ่น หรือน้ำเสียในบ้านเรือน เช่น ใช้ในการดูดซับกลิ่นจากตู้เย็น ตู้เสื้อผ้า และน้ำเสียตามคลองหมู่บ้าน เป็นต้น

## บรรณานุกรม

- กำชัย น้อยธิกุล. (2548). *การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับสีของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- เคหการเกษตร. (2533). *การทำสวนทุเรียน-เงาะและเทคนิคต่าง ๆ*. กรุงเทพฯ: เจริญรัฐการพิมพ์.
- เฉลิมทศพล เจริญสุข และคณะ. (2537). *การปลูกและขยายพันธุ์ทุเรียน ราชานแห่งผลไม้*. กรุงเทพฯ: เพชรกะรัต.
- ไชยยันต์ ไชยยะ ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ. (2551). *การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางพาราโดยใช้ไอน้ำ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- ธพงษ์ วิทิตสานต์ รัชณี ทรัพย์มี สันติ เมฆฉาย รัตนจิตต์ อัคราชีวะ และเสาวลักษณ์ ศิวพัฒนานนท์. (2549). *โครงการวิจัยและตรวจสอบคุณภาพถ่านกัมมันต์*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมีเทคนิคคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธวัชชัย รัตน์ชเลศ และศิวพร ธรรมดี. (2542). *พันธุ์ไม้ผลการค้าประเทศไทยคู่มือเลือกพันธุ์สำหรับผู้ปลูก*. กรุงเทพฯ: ลินคอร์นโปรดักชั่น.
- พรพรรณ พนาปวุฒิกุล. (2549). *ความปลอดภัยด้านสารเคมี โลหะหนัก ตัวการปัญหาสิ่งแวดล้อม*. ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สืบค้น 05 ตุลาคม 2558. จาก <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=7>
- พรรณดา จาบทอง. (2547). *จลนพลศาสตร์การดูดซับของสารละลายสององค์ประกอบในน้ำซึ่งประกอบด้วยฟินอล เรด31 และ/หรือแบล็ค5 ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ทำจากยางรถยนต์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิมล เรือนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวานิช. (2533). *เคมีสภาวะแวดล้อม*. กรุงเทพฯ: เดียสโตร.
- พูนศิริ หอมจันทร์. (2550). *การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกสับดำโดยวิธีกระตุ้นทางเคมี*. การศึกษาอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พูนศิริ หอมจันทร์. (2551). *การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกสับดำโดยวิธีกระตุ้นทางเคมี*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ไพโรจน์ ผลประสิทธิ์. (2546). *หลากเรื่อง-หลายรส ผลไม้ไทย*. กรุงเทพฯ: มาสเตอร์การพิมพ์.
- มันสิน ตันกุลเวศม์. (2543). *วิศวกรรมประปา*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รุ่งนภา สุขสว่าง. (2550). *การผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการประยุกต์*

- การกำจัดสีย้อมและโลหะหนักในน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยบูรพา.  
รัตนา มหาชัย และนาง ภูวงศ์ผา. (2547). การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วย  
ซิลิกาเจลที่เตรียมจากแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ลลิตา นิต์ศนจารกุล. (2544). การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้  
ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.
- วิจิตร จินดาพันธ์โพธิ์โรจน์. (2543). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส *Eucalyptus*  
*Camaldulensi* Dehnh โดยการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำร้อนยวดยิ่ง.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศรัณย์ จิตตวนิชประภา. (2554). การดูดซับยาปฏิชีวนะ *Ciprofloxacin* ด้วยถ่านที่เตรียมจาก  
กากกาแฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สรารุช ศรีคุณ. (2550). การศึกษาการดูดซับสีย้อมและไอออนโลหะตะกั่ว ด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์  
จากเปลือกทุเรียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2547). มาตรฐาน  
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์. กระทรวงอุตสาหกรรม: กรุงเทพฯ.
- สิงหนเดช แดงจวง. (2552). การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวล. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
โทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
- สิริจิตต์ แสงอุ๋นอุ๋น. (2544). การศึกษาจลศาสตร์การดูดติดผิวและการคายอคูมิเนียมของดิน.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุชานุช พิศุทธางกูร. (2557). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลิกนินด้วยวิธีกระตุ้นทางเคมีเพื่อดูดซับ  
เมธิ ลีนบูล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สุโรชนี สุกุลดวงดี. (2545). ลักษณะของการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อริวัฒน์ เจริญบุตร. (2555). ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดได้จากเปลือกฝักมะขามและการศึกษาการดูดซับ  
โลหะหนัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อภิชาติ ศรีสอาด และพัชรี สำโรงเย็น. (2556). แนวทางและแบบอย่างการผลิต ทุเรียน มังคุด เงาะ  
ยุคใหม่. กรุงเทพฯ: นาคา อินเตอร์มีเดีย.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์

### มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์

สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศไทยในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 900-2547) แสดงดังตารางที่ 31 – 32

ตารางที่ 31 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ถ่านกัมมันต์ชนิดผง)

รายการที่	คุณสมบัติ	ค่าที่กำหนด
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	600
2	ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.20 ถึง 0.75

ตารางที่ 32 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด)

รายการที่	คุณสมบัติ	ค่าที่กำหนด	
		ชั้นคุณภาพพิเศษ	ชั้นคุณภาพที่ 1
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	1000	600
2	ค่าความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8	
3	ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.20	
4	ความแข็ง ร้อยละไม่น้อยกว่า	70	



ภาคผนวก ข  
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ ข-3 เครื่องชั่ง



ภาพที่ ข-4 เครื่องเขย่า



ภาพที่ ข-5 เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง pH



ภาพที่ ข-6 เครื่องวัดค่าการดูดซับ



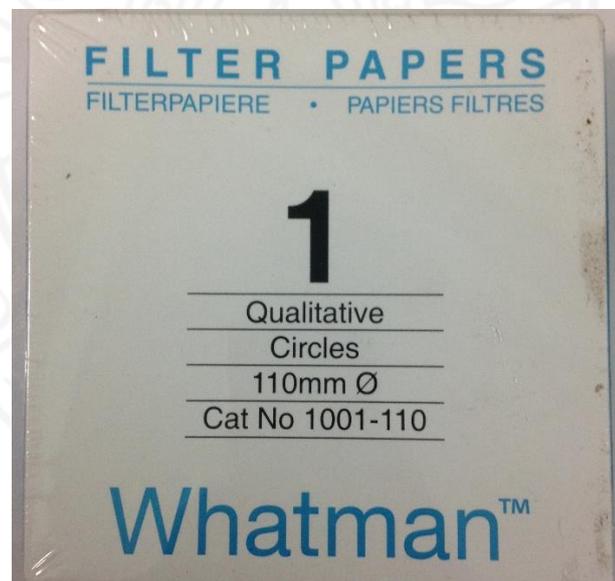
ภาพที่ ข-7 เต้าเผาที่อับอากาศ



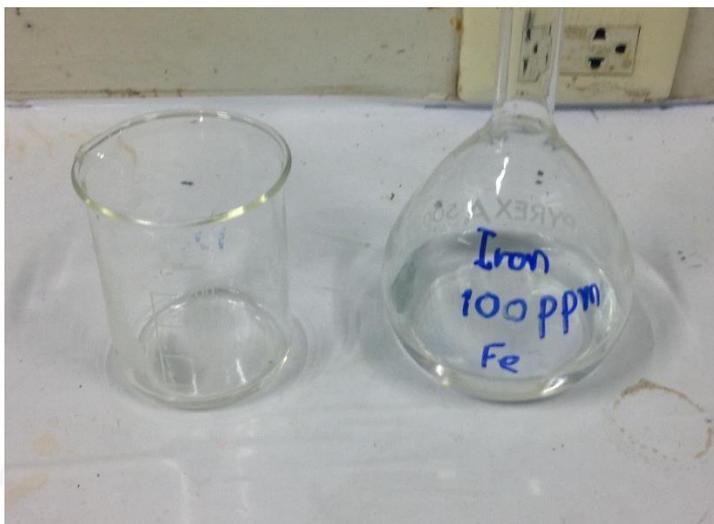
ภาพที่ ข-8 สารเคมีกรดต่าง 4,7,10 pH



ภาพที่ ข-9 สารเคมีโลหะหนัก



ภาพที่ ข-10 กระดาษกรอง



ภาพที่ ข-11 ปีกเกอร์



ภาพที่ ข-12 หม้อนึ่งความดันสูง



ภาคผนวก ค  
ภาพรวมการปฏิบัติงาน



ภาพ ค-13 เปลือกทุเรียน



ภาพ ค-14 การตากเปลือกทุเรียน



ภาพ ค-15 ชั่งน้ำหนักก่อนเผาในที่อับอากาศ



ภาพ ค-16 เผาเปลือกทุเรียนในที่อับอากาศ



ภาพ ค-17 ถ่านที่ได้หลังการเผาในที่อับอากาศ



ภาพ ค-18 ชั่งน้ำหนักถ่านหลังเผา



ภาพ ค-19 บดถ่านให้ละเอียด



ภาพ ค-20 ถ่านหลังการบด



ภาพ ค-21 หาความกรดต่างค่า pH



ภาพ ค-22 ทดสอบการดูดซับไอโอดีนนมเบอร์



ภาพ ค-23 กรองผงถ่านด้วยกระดาษ Whatman 1



ภาพ ค-24 ทดสอบการดูดซับโลหะหนักด้วยเครื่อง  
Thermo scientific GENEYS 20



ภาพ ค-25 นึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันสูง



## ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ปิ่นนภฎพัทธ์ วงษ์พิมพ์
วัน เดือน ปี เกิด	04 ตุลาคม 2530
สถานที่เกิด	จังหวัด อุตรดิตถ์
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรีเทคโนโลยีบัณฑิต (ทล.บ.) สาขาวิชาเทคโนโลยี อุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
ที่อยู่ปัจจุบัน	91 หมู่ 3 ต.ท่าแฝก อ.น้ำปาด จ.อุตรดิตถ์

