

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสงเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกระดูกไก่



จิตติ หวานเสนาะ  
เจษฎา มานะสิทธิชัย

๑พ.  
๑๘๑๗  
๒๕๔๙

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 72267  
วัน,เดือน,ปี..... 12 ส.ย. 2550

b. 117 65951  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SYNTHESIS OF ACTIVATED CARBON FROM CHICKEN BONE**



**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING,  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2006**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การสังเคราะห์ด่านกัมมันต์จากกระดูกไก่  
โดย นายจิตติ หวานเสนาะ  
นายเจษฎา มานะสิทธิชัย  
อาจารย์ที่ปรึกษา คร.พรสวรรค์ อิศวแสงรัตน์  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ดร.พรสวรรค์ อิศวแสงรัตน์)

.....กรรมการ

(อ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์)

.....กรรมการ

(ดร.อภิรักษ์ นัมคณิศรณ)

.....กรรมการ

(อ.เรณูดี เบญจางคประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การสังเคราะห์ด่างกัมมันต์จากกระดูกไก่
โดย	นาย จิตติ      หวานเสนาะ      รหัสประจำตัว 46010111 นาย เกษฎา      มานะสิทธิชัย      รหัสประจำตัว 46010131
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พรสวรรค์      อัสวแสงรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ศิริพันธ์      มุรธาธัญลักษณ์
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ศึกษาการสังเคราะห์ด่างกัมมันต์จากกระดูกไก่โดยการเผาแบบอับอากาศ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 30 40 50 และ 60 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเผากระดูกไก่แบบอับอากาศภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน คือ อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ได้ผลผลิต 51.7275 เปอร์เซ็นต์และคาร์บอนคงตัว 66.1027 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดในด้านซาร์ มีผลต่อการดูดซับไอโอดีนที่อุณหภูมิ 750 และ 850 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 60 90 และ 120 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ที่เวลา 90 นาที มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด คือ 458 มิลลิกรัมไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของด่างกัมมันต์ เปรียบเทียบกับด้านซาร์ที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด มีค่าการดูดซับไอโอดีน 135 มิลลิกรัมไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของด้านซาร์ จะเห็นว่าด่างกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดมีประสิทธิภาพในการดูดซับไอโอดีนหรือค่าไอโอดีนนัมเบอร์มากกว่าด้านที่ไม่ได้กระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดเนื่องจากเมื่อผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดจะทำให้พื้นที่ผิวของด่างกัมมันต์มีค่าสูงขึ้น

**Report title** Synthesis of Activated Carbon from Chicken bone  
**By** Mr. Chitti Wansanoa ID. 46010111  
Mr. Jedsada Manasittichai ID. 46010131  
**Advisor** Dr. Pornsawan Assawasangrat  
**Co-advisor** Ms. Siripan Muratatanyarak  
**Report for** Bachelor Degree of Chemical Engineering  
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### Abstract

This project studied the synthesis of activated carbon from Chicken bone via carbonization under nitrogen atmosphere, at temperature of 400, 450, 500, 550 and 600 °C, and in period of 20, 30, 40, 50 and 60 minutes. The result exhibited the most suitable condition at temperature of 550 °C in period of 60 minutes with 51.7275 %yield and 66.1027 %fixed carbon. In the study of the effect of physically activated unburned carbon by superheated steam on iodine adsorption at temperature of 750 and 850 °C, in period of 60, 90, and 120 minutes, the result exhibited the highest iodine adsorption at temperature of 750 °C, in period of 90 minutes, with 458 (mg adsorbed iodine)/(g activated carbon). Compared with unburned carbon with 135 (mg adsorbed iodine)/(g activated carbon), the activated carbon that was physically activated by superheated steam showed the more iodine adsorption efficiency or iodine number, because of the increased surface area of activated carbon by the activation.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือในการทำโครงการนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีเพื่อใช้ในโครงการนี้

ขอขอบคุณ ร้านข้าวมันไก่ โรงอาหารชงโค ที่เอื้อเฟื้อกระดุกไ่ในการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.พรสวรรค์ อิศวแสงรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท และ อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ช่วยให้ปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากคำแนะนำและการแก้ไขที่ดี คณะผู้ศึกษารู้อีกซามซึ่งเป็นอย่างมาก พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือตลอดการทำงานโครงการนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้มีพระคุณสูงสุดในชีวิต ที่ให้การสนับสนุนให้กำลังใจและคำแนะนำตลอดมา หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้ศึกษาขออ้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

จิตติ หวานเสนาะ

เจษฎา มานะสิทธิชัย

14 มีนาคม 2550

# สารบัญ

หน้า

สารบัญ.....	ก
สารบัญตาราง.....	ค
สารบัญรูปภาพ.....	จ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษาและขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 ถ่านกัมมันต์.....	3
2.2 ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์.....	4
2.3 การผลิตถ่านกัมมันต์.....	5
2.3.1 การคาร์บอไนเซชัน (Carbonization).....	5
2.3.1.1 กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis).....	5
2.3.2 การกระตุ้น (Activation).....	7
2.3.2.1 การกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ.....	7
2.3.2.2 การกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี.....	8
2.4 ชนิดของถ่านกัมมันต์.....	9
2.4.1 แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ.....	9
2.4.2 แบ่งตามลักษณะของการดูดซับ.....	10
2.4.3 แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น.....	12
2.4.4 แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์.....	12
2.5 การตรวจถ่านกัมมันต์เบื้องต้น.....	12
2.6 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์.....	13
2.7 การดูดซับ.....	15
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การทดลอง.....	23
3.1 การเผาในที่อับอากาศ.....	23
3.2 การกระตุ้นคาร์บอน.....	24
3.2.1 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยไอน้ำยิ่งยวด.....	24
3.3 การทดสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปราย.....	30
4.1 การเผาแบบอับอากาศ.....	30
4.2 การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวดและการทดสอบการดูดซับไอโอดีน.....	33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	37
เอกสารอ้างอิง.....	38
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัว ความชื้น เถ้า และ สารระเหย.....	41
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน.....	49
ข.1 การสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายไอโอดีน.....	49
ข.2 กราฟเทียบมาตรฐาน.....	50
ภาคผนวก ค. แบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์การเผาแบบอับอากาศ.....	53
ภาคผนวก ง. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

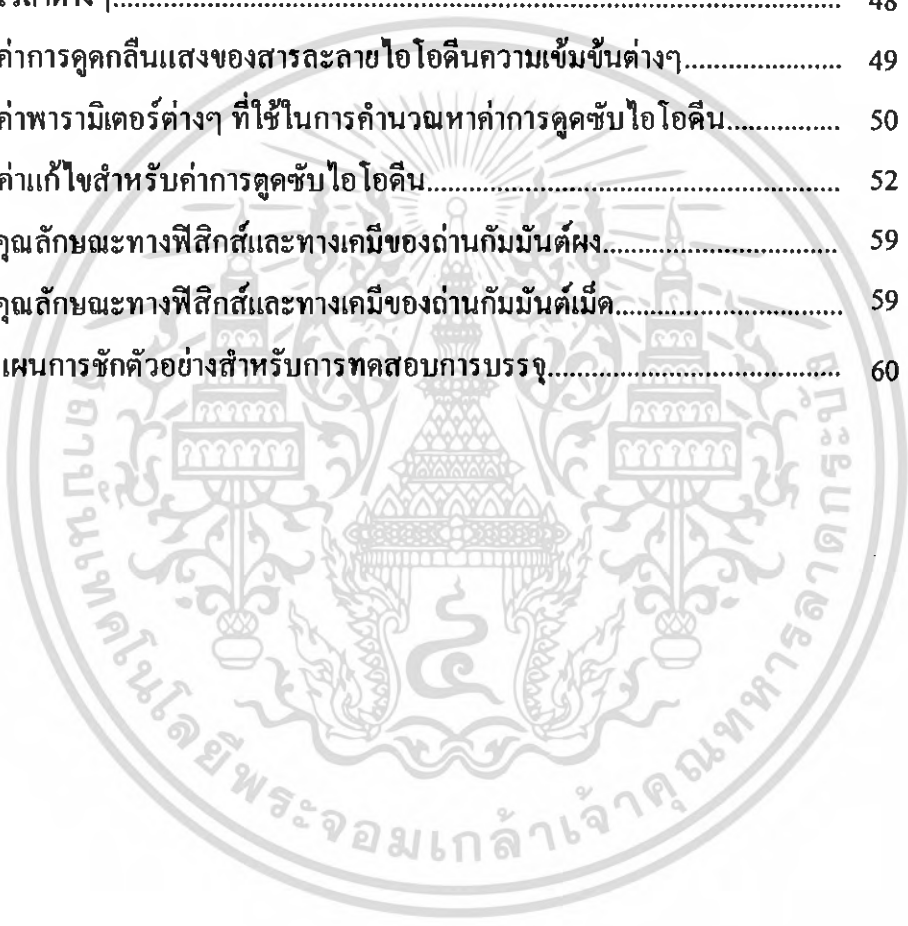
	หน้า
ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมและชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการกระตุ้นทางกายภาพสำหรับก๊าซชนิดต่างๆ.....	8
ตารางที่ 2.2 การแบ่งกลุ่มขนาดของรูพรุนตาม International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).....	11
ตารางที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาแบบอับอากาศที่เวลา 30 นาที ต่อเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนคงตัว เปอร์เซ็นต์สารระเหย และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้.....	30
ตารางที่ 4.2 ผลของเวลาที่ใช้ในกระบวนการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ต่อเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนคงตัว เปอร์เซ็นต์สารระเหย และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้.....	31
ตารางที่ 4.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการ.....	34
ตารางที่ 4.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ.....	34
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชาร์ก่อนและหลังการกระตุ้นที่สถานะต่างๆ.....	35
ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบงานวิจัย.....	36
ตารางที่ ก.1 น้ำหนักของกระดูกไก่ที่เผาแบบอับอากาศที่ 30 นาทีโดยแปรค่าอุณหภูมิต่างๆ.....	43
ตารางที่ ก.2 ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ.....	43
ตารางที่ ก.3 ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้าที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ.....	44
ตารางที่ ก.4 ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์สารระเหยที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ.....	45
ตารางที่ ก.5 น้ำหนักของกระดูกไก่ที่เผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส โดยแปรค่าเวลาต่างๆ.....	46
ตารางที่ ก.6 ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่เวลาต่างๆ.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ก.7	ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์สารระเหยที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศ ที่เวลาต่างๆ.....	47
ตารางที่ ก.8	ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้าที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่ เวลาต่างๆ.....	48
ตารางที่ ข.1	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไอโอดีนความเข้มข้นต่างๆ.....	49
ตารางที่ ข.2	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการดูดซับไอโอดีน.....	50
ตารางที่ ข.3	ค่าแก้ไขสำหรับค่าการดูดซับไอโอดีน.....	52
ตารางที่ ง.1	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ผง.....	59
ตารางที่ ง.2	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์เม็ด.....	59
ตารางที่ ง.3	แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ.....	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	ลักษณะโครงสร้างของผลึกแกรไฟต์แบบ Three-dimensional graphite.....	4
รูปที่ 2.2	ลักษณะโครงสร้างของผลึกแกรไฟต์แบบ Turbostratic structure.....	4
รูปที่ 2.3	การกระจายของปริมาตรจำเพาะและขนาดรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์.....	11
รูปที่ 2.4	การกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ...	11
รูปที่ 2.5	อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดูดซับ.....	16
รูปที่ 4.1	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาแบบอับอากาศที่เวลา 30 นาที.....	31
รูปที่ 4.2	ผลของเวลาที่ใช้ในกระบวนการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส.....	32
รูปที่ 4.3	ค่าการดูดซับไอโอดีนที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ ที่ใช้ในการกระตุ้น.....	34
รูปที่ ข.1	กราฟมาตรฐาน ไอโอดีน.....	50
รูปที่ ค.1	แบบจำลองการเผาแบบอับอากาศ.....	53
รูปที่ ค.2	เครื่องปฏิกรณ์การเผา.....	54
รูปที่ ค.3	ชุดควบคุมอุณหภูมิ.....	54
รูปที่ ค.4	เตาเผาความร้อนสูง.....	55
รูปที่ ค.5	เครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำยิ่งยวด.....	55
รูปที่ ค.6	เครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำกับเครื่องให้ความร้อน.....	56
รูปที่ ค.7	เทอร์โมคัปเปิลที่ต่อเข้ากับเครื่องปฏิกรณ์ความร้อน.....	56
รูปที่ ค.8	ชุดปฏิกรณ์การเผาแบบอับอากาศ.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

มลพิษทางน้ำนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญของสิ่งแวดล้อมปัญหาหนึ่ง น้ำเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำต่างๆ ทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำนั้นๆ เสื่อมลง ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่และไม่อยู่ในน้ำ ทั้งนี้ น้ำเสียยังส่งผลกระทบต่อ การปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อนำน้ำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือใช้สำหรับชุมชนเพราะต้องสิ้นเปลืองสารเคมีต่างๆ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพเพิ่มมากขึ้น [1] นอกจากนี้ประเทศไทยนั้นกำลังพัฒนาไปสู่การเป็นประเทศอุตสาหกรรมจึงมีโรงงานอุตสาหกรรมเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อปริมาณของน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น โดยน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจะมีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ปนเปื้อนอยู่หรือสีที่ไม่เป็นปกติอีกด้วย

ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นถ่านที่มีคุณสมบัติในการดูดซับกลิ่นและสี เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนสูง จึงมีการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง เช่น กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำดื่ม โดยใช้ถ่านกัมมันต์กำจัดความขุ่น สี กลิ่นและรส ทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ในการบำบัดน้ำเสียก็มีการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์นั้น พบว่าส่วนมากมักใช้ถ่านที่ได้จากการเผาอินทรีย์วัตถุ ซึ่งเรียกว่า “ถ่านสังเคราะห์” (Artificial Char) มีผู้ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบตั้งต้นประเภทต่างๆ เช่น ยูคาลิปตัส ชานอ้อย เปลือกถั่ว ฟางข้าว กากถั่วเหลือง เปลือกวอลนัท และปาล์มน้ำมัน ซึ่งใช้กรรมวิธีการสังเคราะห์ที่แตกต่างกันไป

### 1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกระดูกไก่โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ และวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้

### 1.3 ขอบเขตการศึกษาและขั้นตอนการดำเนินงาน

1.3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเผาถ่านกัมมันต์จากกระดูกไก่ โดยการเผาแบบอับอากาศ ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส และเวลา 20 30 40 50 และ 60 นาที

1.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวด ที่อุณหภูมิ 750 และ 850 องศาเซลเซียส และเวลา 60 90 และ 120 นาที

1.3.3 วิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้โดยการทดสอบการดูดซับไอโอดีน [2]

1.3.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.3.5 จัดทำรายงาน

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำกระดูกไก่ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เป็นการช่วยลดปริมาณของเสีย และยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับกระดูกไก่อีกด้วย

1.4.2 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพจากกระดูกไก่ต่อไป

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ มีชื่อภาษาอังกฤษว่า แอกทิฟคาร์บอน (active carbon) หรือ แอกทิเวตเต็ดคาร์บอน (activated carbon) เป็นถ่านที่มีสมบัติพิเศษที่ได้รับการเพิ่มคุณภาพหรือประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการใช้เทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้มีคุณสมบัติในการดูดซับสูง เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมาก และขนาดรูพรุนก็แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ผลึกถ่านที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านกรรมวิธีถ่านกัมมันต์ จนได้ผลึกถ่านสีดำ มีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติการดูดซับสารต่างๆ ได้ดี [3]

ในศตวรรษที่ 17 และ 18 ได้มีการผลิตถ่านขึ้นมาใช้โดยนำมาเผาในบริเวณที่มีอากาศจำกัด ถ่านที่ได้จะไปใช้ในโรงงานถลุงแร่ และใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ทำให้ความร้อน พบว่าถ่านมีคุณสมบัติในการดูดซับได้ดี การใช้ถ่านปริมาณเพียงเล็กน้อยสามารถกำจัดสี และกลิ่นในของเหลวชนิดต่างๆ ได้ เช่น ในอุตสาหกรรมทำไวน์และน้ำตาล การทำให้ถ่านมีความสามารถในการดูดซับดีขึ้นต้องผ่านกระบวนการกระตุ้นซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ไอน้ำ [4]

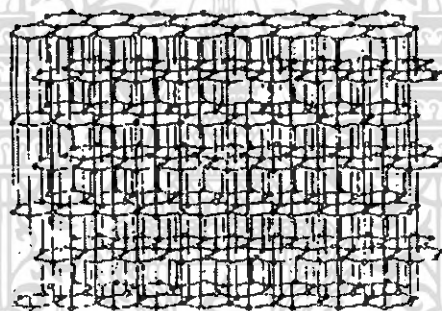
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด วัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบมักเป็นพวกอินทรีย์สาร ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่มักเป็นพวกเซลลูโลสที่มาจากพืชและต้นไม้ เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้ง และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบ กะลามะพร้าว ชี้เลื้อย ช้างข้าวโพด เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ แอนทราไซต์ เป็นต้น ส่วนวัตถุดิบที่มาจากสัตว์นั้นมีไม่มาก เช่น กระดูก เลือด และเขาสัตว์

ในเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า ไม้ กระดูก ลิกไนต์ และฟืน เหมาะสำหรับการเป็นวัตถุดิบผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับสิ่งปนเปื้อนในของเหลว ส่วนกะลามะพร้าว ถ่านหิน กากปีโตรเลียม เหมาะสำหรับการเป็นวัตถุดิบผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับสิ่งปนเปื้อนในก๊าซ

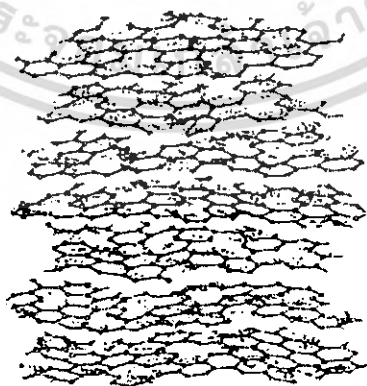
## 2.2 ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ [4,5]

ถ่านกัมมันต์มีลักษณะเป็นผลึก โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์จะมีการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนโดยยึดเกาะกันในลักษณะหกเหลี่ยมด้วยพันธะโคเวเลนต์ มีลักษณะคล้ายผลึกแกรไฟต์ในรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปขนาดและรูปร่างโครงสร้างของผลึกเหล่านี้จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เผา ถ้าอุณหภูมิที่เผาสูงผลึกถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีขนาดเล็ก นอกจากนี้รูปร่างอะตอมของคาร์บอนยังเปลี่ยนตามส่วนประกอบและโครงสร้างของวัตถุดิบ

ผลึกจะเกิดขึ้นด้วยกระบวนการหลายๆ แบบ ในระหว่างที่มีการให้ความร้อนสารอินทรีย์จะรวมกันก่อให้เกิดโครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติก การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจะเกิดขึ้น โดยที่ยังมีส่วนของไฮโดรคาร์บอนและวงแหวนเหลืออยู่ซึ่งสามารถสร้างพันธะกับธาตุอื่นที่เข้าไปจับกับอะตอมของไฮโดรเจน ออกซิเจน และคาร์บอน ทำให้มีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของผลึกแกรไฟต์แบบ Three-dimensional graphite



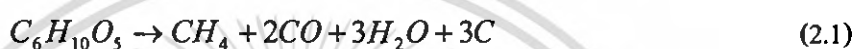
รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของผลึกแกรไฟต์แบบ Turbostratic structure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การผลิตถ่านกัมมันต์ [4-6]

### 2.3.1 การคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) [4]

ขั้นตอนนี้เป็นการเผาวัตถุดิบในสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่น้อย (Pyrolysis) ทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมี สารที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน และออกซิเจนจะออกมาในรูปของก๊าซ คาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันเป็นผลึก (Microcrystalline) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของถ่าน ขนาดของผลึกขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผา องค์ประกอบ และ โครงสร้างของวัตถุดิบ เมื่อเผาวัตถุดิบอะตอมของคาร์บอนจะมีการจัดเรียงตัวเป็นผลึกโดยยึดเกาะกันในลักษณะหกเหลี่ยมด้วยพันธะโคเวเลนต์ มีลักษณะคล้ายผลึกแกรไฟต์ วัตถุดิบซึ่งมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบเมื่อถูกเผาจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



ถ่านที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวจะมีสีดำตลอด เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวมันเงาปลายที่หักจะแหลมคม ปราศจากผงฝุ่นและเถ้า

ในทางการค้าผู้ผลิตถ่านจะพิจารณาค่าต่อไปนี้

- ปริมาณความชื้น (Moisture)
- สารระเหย (Volatile matters)
- ปริมาณเถ้า (Ash)
- น้ำหนักของคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)

ถ่านที่ดีจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง คือมีปริมาณความชื้น สารระเหย และเถ้าในปริมาณน้อย แต่ถ่านที่ได้จากขั้นตอนนี้จะมีความสามารถในการดูดซับต่ำมาก ดังนั้นถ่านนำถ่านนี้ไปผ่านกระบวนการกระตุ้น จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับให้สูงขึ้น

#### 2.3.1.1 กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis)

การไพโรไลซิส เป็นกระบวนการสลายสารอินทรีย์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงในที่อับอากาศ เป็นกระบวนการทางเคมีที่ผันกลับไม่ได้ กระบวนการไพโรไลซิสของชีวมวลโดยทั่วไปเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เกิดที่อุณหภูมิระหว่าง 200 – 600 องศาเซลเซียส โดยที่องค์ประกอบย่อยต่างๆ จะถูกปล่อยมาในสถานะก๊าซ

การไพโรไลซิสวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักเป็นปฏิกิริยาการสลายตัวทางความร้อนที่ไม่สมบูรณ์ จะได้ผลิตภัณฑ์ของถ่านคาร์บอน ของเหลวที่กลั่นออกมา และก๊าซต่างๆ การไพโรไลซิสในที่อับอากาศที่ได้คาร์บอนเป็นผลิตภัณฑ์หลัก เรียกว่า คาร์บอนไนเซชัน

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิส

ก. องค์ประกอบของชีวมวล

มีผลโดยตรงต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส โดยทั่วไปแล้วสารชีวมวลจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารระเหยประมาณร้อยละ 60 – 70 โดยน้ำหนัก

ข. อุณหภูมิ

เป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) โดยจะทำให้ส่วนประกอบของคาร์บอน และปริมาณสารระเหยเปลี่ยนแปลงไป อุณหภูมิในการไพโรไลซิสชีวมวล แบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรกเป็นช่วงตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึงประมาณ 135 องศาเซลเซียส ในช่วงนี้ปริมาณสารระเหยจะยังมีไม่มาก และสารส่วนใหญ่ที่ระเหยออกมาจะเป็นความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุ ช่วงที่สองเป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 135 – 400 องศาเซลเซียส ในช่วงอุณหภูมินี้ สารระเหยจะถูกปลดปล่อยออกมาในปริมาณค่อนข้างมาก โดยทั่วไปประมาณร้อยละ 75 และช่วงที่สาม เป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงมากกว่า 400 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเป็นกระบวนการผลิตคาร์บอน

ค. อัตราการให้ความร้อน

สารชีวมวลที่มีอัตราการให้ความร้อนต่ำ เช่น ถ่าน และน้ำมันดินจะให้ผลิตภัณฑ์พวกก๊าซต่างๆ เมื่อเพิ่มอัตราการให้ความร้อนเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของคาร์บอนที่ได้จะน้อยลง แต่จะเกิดพวกก๊าซมากขึ้น และในช่วงเวลาที่เท่ากัน เมื่อใช้อัตราการให้ความร้อนต่ำจะทำให้เกิดคาร์บอนมากขึ้น

ง. สภาพบรรยากาศ

กระบวนการไพโรไลซิส เป็นกระบวนการดูดความร้อน ซึ่งการให้ความร้อนมีสองวิธี คือ วิธีทางตรง ทำได้โดยการเผาไหม้บางส่วน หรือโดยการแยกส่วนเผาไหม้และส่วนไพโรไลซิสออกจากกัน แล้วใช้ตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อส่งผ่านความร้อนซึ่งกันและกัน วิธีทางตรงมักใช้ออกซิเจนหรืออากาศเติมเข้าไปยังเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส แม้ว่าออกซิเจนมีราคาค่อนข้างแพงแต่จะช่วยป้องกันปัญหาการก่อตัวของออกไซด์ของไนโตรเจนซึ่งเป็นก๊าซมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

จ. ขนาดของวัสดุ

ขนาดของวัสดุจะมีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิส คือ วัสดุที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเกิดได้เร็ว ในขณะที่วัสดุมีขนาดใหญ่ การให้ความร้อนจะช้าทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าวัสดุที่มีขนาดเล็ก การกระจายอุณหภูมิจะไม่สม่ำเสมอทำให้อัตราการสลายสารอินทรีย์ไม่คงที่ และปริมาณสารระเหยที่ได้ก็จะน้อยกว่า

### 2.3.2 การกระตุ้น (Activation) [4]

การกระตุ้นเป็นขั้นตอนที่ทำให้วัสดุเกิดความพรุน และพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เนื่องจากน้ำมันดินถูกกำจัดให้หลุดออกมาด้วยวิธีการทางกายภาพหรือวิธีการทางเคมี ทำให้ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ได้มีอะตอมคาร์บอนที่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ด้วย จึงมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น

การกระตุ้นมี 2 วิธีคือ การกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical activation) และการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี (Chemical activation)

#### 2.3.2.1 การกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ

วิธีนี้ใช้ก๊าซที่เป็นตัวออกซิไดซ์ เช่น ไออน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ หรืออากาศ ไปออกซิไดซ์น้ำมันดิน และคาร์บอนบางตัวใน โครงสร้างผลึก ก๊าซที่เป็นตัวออกซิไดซ์จะทำปฏิกิริยากับน้ำมันดิน และอะตอมของคาร์บอนดังสมการที่ (2.3) ถึงสมการที่ (2.5) ทำให้น้ำมันดินถูกกำจัดออก ถ่านกัมมันต์ที่ได้จึงมีรูพรุนกว้างมากขึ้น และมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นวิธีนี้ คือ ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีในวัตถุดิบ คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของก๊าซที่ใช้ อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา และระยะเวลาของเกิดปฏิกิริยา

##### 2.3.2.1.1 การกระตุ้นด้วยไออน้ำ (Steam activation)

ปฏิกิริยานี้ใช้ไออน้ำเป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน ดังนั้นจึงต้องทำที่อุณหภูมิสูงประมาณ 750 – 950 องศาเซลเซียส ดังสมการ



อัตราการออกซิไดซ์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงเกิน 1,000 องศาเซลเซียส เพราะคาร์บอนที่อยู่ชั้นนอกจำนวนมากจะถูกเผาไหม้ ทำให้ขนาดและความพรุนของอนุภาคลดลง

##### 2.3.2.1.2 การกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide activation)

ปฏิกิริยานี้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์ และเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน ดังสมการ



จากค่า  $\Delta \bar{H}$  จะเห็นว่าปฏิกิริยานี้ต้องการพลังงานความร้อนมากกว่าวิธีการกระตุ้นด้วยไออน้ำ จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า คือ ประมาณ 850 – 1,100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ใช้จะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทางเทคนิค แล้วจะใช้ก๊าซเชื้อเพลิงเผาไหม้ซึ่งจะเกิดทั้งไออน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนไดออกไซด์ และอาจมีออกซิเจนส่วนเกินบ้างเล็กน้อย หรืออาจจะเติมไอน้ำเข้าไปด้วยเพื่อเป็นการกระตุ้นโดยใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน

### 2.3.2.1.3 การกระตุ้นด้วยอากาศ (Air activation)

ปฏิกิริยานี้อาศัยออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังสมการ



การใช้อากาศกระตุ้นใช้กันน้อยมาก ทั้งนี้เพราะการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสถานะที่ต้องการทำได้ยากกว่าปฏิกิริยาดูดความร้อน อีกทั้งออกซิเจนจะทำให้ผิวของถ่านชาร์ใหม่

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมและชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการกระตุ้นทางกายภาพสำหรับก๊าซชนิดต่างๆ

ชนิดของก๊าซ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ชนิดของปฏิกิริยา
ไอน้ำ	750 – 950	ดูดความร้อน
CO <sub>2</sub>	850 – 1,100	ดูดความร้อน
O <sub>2</sub>	ต่ำกว่า 600	คายความร้อน

การกระตุ้นทางกายภาพมีข้อดี คือ หลังจากกระตุ้นแล้วสามารถนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ได้ทันที ส่วนข้อเสีย คือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าวิธีการกระตุ้นทางเคมี ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีขนาดรูพรุนเล็กกว่าชนิดที่ผลิตด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี รูพรุนที่ได้เป็นแบบไมโครพอร์ (Micro pore) เหมาะสำหรับดูดกลิ่น ไอ หรือก๊าซพิษ

### 2.3.2.2 การกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี

เป็นวิธีที่นำเอาวัตถุคิบหรืออินทรีย์สารมาผสมกับสารเคมีที่เรียกว่าสารกระตุ้นหรือตัวที่ทำให้เกิดปฏิกิริยากัมมันต์เข้าไปช่วยให้เกิดมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ความร้อน (pyrolysis) เช่น ปริมาณของน้ำมันดิน จะถูกกำจัดให้น้อยลงปริมาณของสารที่ระเหยได้ เช่น กรดน้ำส้ม เมทานอล และอื่นๆ ก็ลดปริมาณลงไปด้วยโดยจะมีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเผาให้เป็นถ่านธรรมดา ซึ่งผลที่ได้จากการทำเช่นนี้จะทำให้ได้ร้อยละของคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาก็จะลดต่ำลงด้วยซึ่งตัวกระตุ้นดังกล่าวมักเป็นเกลืออินทรีย์จำพวกเกลือโลหะคลอไรด์ ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลอไรด์ แต่ที่นิยมใช้กันมากคือซิงค์คลอไรด์ หลักการสำคัญของการทำถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีนี้ คือ เมื่ออินทรีย์วัตถุผสมกับเกลืออนินทรีย์ในอัตราส่วนหนึ่งให้ทั่วแล้วนำไปเผาในที่อับอากาศ ณ อุณหภูมิที่ทำให้อินทรีย์วัตถุสลายตัว เกลืออนินทรีย์จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ (เซลลูโลส ลิกนิน และอื่นๆ) ให้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ และยังคงปริมาณของน้ำมันดินและสารระเหยให้น้อยลงด้วย อีกทั้งเกลืออนินทรีย์เหล่านี้มีความคงทนต่อการสลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูงๆ

## 2.4 ชนิดของถ่านกัมมันต์

การแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่สนใจ ดังนี้

### 2.4.1 แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ [3]

ถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพเป็น 2 ประเภท ดังนี้

- ก. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered activated carbon: PAC)
- ข. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon: GAC)

#### ก. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง

ถ่านกัมมันต์ชนิดผงมักผลิตจากวัตถุดิบจำพวก เศษไม้ เศษถ่าน หรือซีลื้อผสมกับสารละลายซิงค์คลอไรด์ วิธีการบดถ่านกัมมันต์มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ เช่น การบดถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องบดแบบบอลล์มิลล์ จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะเม็ดเล็กรูปไข่ ความสามารถในการดูดซับน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการบดด้วยเครื่องคราด (Pulverizer) ซึ่งจะได้แบบเม็ดยาวรีเร็ว ถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีขนาดประมาณ 10 – 50 ไมครอนหรือน้อยกว่า นิยมใช้ถ่านกัมมันต์ในกระบวนการตกตะกอนหรือการกรองน้ำ นอกจากนี้ ยังอาจใช้เป็น Precoat ของเครื่องกรองแบบแท่งที่เรียกว่า Candle filter ที่ใช้ในการผลิตน้ำที่ต้องการความบริสุทธิ์สูงมากสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุตสาหกรรมอื่นๆ

ข้อดีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีราคาถูกกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดประมาณ 2 – 3 เท่า
2. การเพิ่มหรือลดปริมาณถ่านกัมมันต์สามารถทำได้ทันทีและสะดวก ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับผิวของถ่านกัมมันต์
3. การดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเพราะโมเลกุลหรือคอลลอยด์สามารถสัมผัสกับผิวของถ่านกัมมันต์ได้ง่าย

ข้อเสียของถ่านกัมมันต์ชนิดผง

1. การปรับปรุงสภาพถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่เสื่อมสภาพแล้วมักไม่คุ้มค่า ดังนั้นการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงจึงเป็นแบบใช้แล้วทิ้ง
2. แม้ว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงสามารถกำจัดสิ่งเจือปนให้เหลือน้อยลงได้ แต่ถ้าต้องการกำจัดให้หมดต้องใช้ปริมาณมากซึ่งไม่คุ้มค่า การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการกรองน้ำที่ต้องการความบริสุทธิ์โดยปกติไม่ควรเกิน 25 – 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดผลิตจากวัตถุดิบจำพวกถ่าน ไม้ก๊อก กะลามะพร้าว เมล็ดผลไม้ เป็นต้น จากการบดวัสดุขนาดใหญ่จะได้ลักษณะเม็ด หรือการอัดเศษถ่านกัมมันต์ผ่านแม่แบบออกมาเป็นแท่งแล้วตัดเป็นท่อนทรงกระบอกขนาดต่างๆ กัน ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดเม็ดทรายกรองน้ำ แข็งแต่เปราะ และเบากว่าทราย

ข้อดีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดหลังจากใช้และเสื่อมสภาพแล้วสามารถนำไปปรับปรุงสภาพและนำกลับมาใช้ได้ใหม่ แต่อย่างไรก็ตามการปรับปรุงสภาพทุกครั้งต้องมีการสูญเสียคาร์บอน เพราะการปรับปรุงสภาพต้องทำที่อุณหภูมิสูงมากทำให้คาร์บอนบางส่วนปนเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้

#### 2.4.2 แบ่งตามลักษณะของการดูดซับ

ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสีและกลิ่น ได้ในสภาพของแข็งและก๊าซ ดังนั้นสามารถจำแนกถ่าน กัมมันต์ตามลักษณะการดูดซับได้ 2 ชนิด คือ

ก. Gas adsorbent activated carbon โดยส่วนใหญ่มักใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ในการทำก๊าซให้บริสุทธิ์

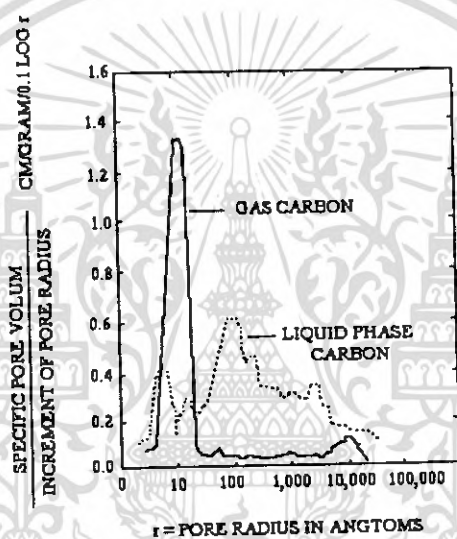
ข. Liquid adsorbent activated carbon มักใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ในการฟอกสี หรือการทำให้ของเหลวให้บริสุทธิ์

ข้อแตกต่างของถ่านกัมมันต์สองประเภทนี้ คือ การกระจายของปริมาตรจำเพาะและขนาดรูพรุน (Pore size distribution) การแบ่งขนาดของรูพรุน ดังตารางที่ 2.2 และ จากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับก๊าซจะมีขนาดรัศมีของรูพรุนส่วนใหญ่เล็กกว่า 20 อังสตรอม ซึ่งเป็นรูพรุนแบบไมโครพอร์ ส่วนคาร์บอนถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับของเหลวมีรัศมีรูพรุนอยู่ในช่วง 20 – 500 อังสตรอม อันเป็นรูพรุนแบบเมโซพอร์ รูปที่ 2.4 แสดงถึงการกระจายตัวของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ เช่น กะลามะพร้าว ถ่านหินประเภทแอนทราไซต์ บิทูมินัส พีท ลิกไนต์ เป็นต้น

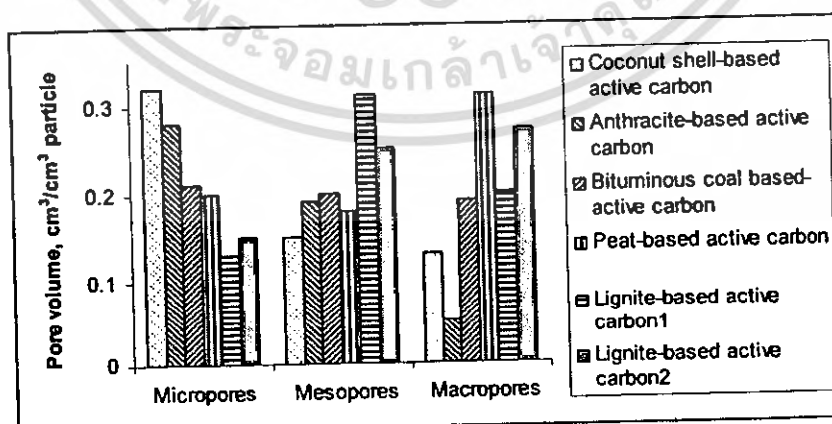
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การแบ่งกลุ่มขนาดของรูพรุนตาม International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) [7]

ประเภทของรูพรุน	รัศมีรูพรุน (นาโนเมตร)	รัศมีรูพรุน (อังสตรอม)
Micropores	< 2	< 20
Mesopores	2 – 50	20 – 500
Macropores	> 50	> 500



รูปที่ 2.3 การกระจายของปริมาณจำเพาะและขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์



รูปที่ 2.4 การกระจายตัวของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น [8]

ถ่านกัมมันต์แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้นได้ดังนี้

ก. ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical activated carbon)

เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดซ์ เช่น ไออน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวิธีนี้จะมีขนาดเล็ก นิยมใช้ดูดซับก๊าซและไอระเหย

ข. ถ่านกัมมันต์ที่ใช้สารเคมีเป็นสารกระตุ้น (Chemical activated carbon)

เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เป็นสารกระตุ้น เช่น ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวิธีนี้จะมีรูพรุนขนาดใหญ่

### 2.4.4 แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ [7]

ถ่านกัมมันต์แบ่งตามขนาดรูพรุนได้ดังนี้

ก. ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดรูพรุนแบบไมโครพอร์ (Micropores)

เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 2 นาโนเมตร ใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย

ข. ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดรูพรุนแบบเมโซพอร์ (Mesopores)

เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนอยู่ในช่วง 2 – 50 นาโนเมตร ใช้ในการดูดซับของเหลวหรือสารที่ขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น การฟอกสี

ค. ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดรูพรุนแบบแมโครพอร์ (Macropores)

เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร ใช้ในการดูดซับสารที่ขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น การฟอกสีที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าแบบเมโซพอร์

### 2.5 การตรวจถ่านกัมมันต์เบื้องต้น [9]

ก. ให้ดูลักษณะผิวของถ่านที่เป็นเม็ดหรือเป็นผง โดยนำผงถ่านใส่มือแล้วให้แดดส่องลงบนผงถ่าน ใช้นิ้วเขี่ยเพื่อดูว่าผิวผงถ่านเป็นเงาสะท้อนเมื่อกระทบกับแสงแดดหรือไม่ ถ้าผิวมันวาวและมีปริมาณมาก ให้สันนิษฐานว่าเป็นถ่านธรรมดา ก่อน เพราะถ่านธรรมดาหลังการเผาแบบอับอากาศเมื่ออบหรือหัก รอยที่หักจะดำมันวาวเนื่องจากพื้นที่ผิวไม่มีความพรุนเป็นผิวเรียบจึงสะท้อนแสงได้ดี ถ้าผิวดำด้านไม่วาวแสดงการมีรูพรุนที่ผิว รูพรุนนี้จะดูดแสงทำให้ไม่มีการสะท้อนแสงจึงเห็นเป็นสีดำด้านๆ ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นถ่านกัมมันต์

ข. การวัดค่าความหนาแน่นปรากฏ กระทำโดยนำถ่านกัมมันต์ที่ร่อนแล้วขนาด 1-3 มิลลิเมตรใส่ในกระบอกตวงที่ทราบน้ำหนักและวัดปริมาตรของชั้นถ่านในกระบอกตวงได้แน่นอน เมื่อนำน้ำหนักถ่านที่มีหน่วยเป็นกรัมหารด้วยปริมาตรที่มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าค่าความหนาแน่นปรากฏ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่าง 0.2 - 0.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรให้สันนิษฐานว่าเป็นถ่านกัมมันต์ ค่าความหนาแน่นปรากฏที่มีค่าน้อยวัดดูบมักจะจะเป็นพวกที่มาจากไม้ และค่าความหนาแน่นปรากฏที่มีค่ามากวัดดูบจะเป็นพวกที่มาจากกะลาต่างๆ และถ่านหิน ถ้าค่าความหนาแน่นปรากฏสูงกว่าช่วงที่กล่าวนี้ถือว่าเป็นถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ แต่ถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์อาจจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏน้อยกว่า 0.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรถ้าวัดดูบเริ่มต้นมาจากไม้ ดังนั้นวิธีวัดค่าความหนาแน่นปรากฏของตัวอย่างจะไม่ถูกต้องนักถ้าไม่ทราบว่าตัวอย่างทำมาจากวัสดุอะไร

ก. ในการทดสอบถ่านกัมมันต์โดยให้ถ่านตัวอย่างดูดสารละลายไอโอดีนเจือจาง ถ้าเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีสีจะจางและหายไปอย่างรวดเร็ว ได้สารละลายใสพร้อมทั้งเห็นฟองขณะดูดสารละลายซึ่งฟองมาจากอากาศที่อยู่ในรูปฟอง ถ้าเป็นถ่านธรรมดาการดูดสีจะช้ามากหรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเลย

## 2.6 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ [10,11]

ประมาณร้อยละ 60 ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้เป็นคาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง ซึ่งจะนำไปประยุกต์ใช้กับสารที่เป็นของเหลว ส่วนถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดใช้ในการดูดซับก๊าซ ตัวอย่างการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ได้แก่

### 2.6.1 การทำน้ำให้บริสุทธิ์

ใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับคลอรีนและสารอื่นๆ อยู่ในน้ำประปาหรือน้ำบาดาล ซึ่งอาจทำได้ 2 วิธี คือ

ก. ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงใส่ลงในน้ำแล้วกรองออก

ข. ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดทำเป็นชั้นให้น้ำไหลผ่าน

จากหลักการข้างต้นได้มีการคิดแปลงทำเครื่องกรองน้ำเพื่อให้น้ำบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย

### 2.6.2 อุตสาหกรรมเครื่องดื่มน้ำที่มีแอลกอฮอล์

ก. ใช้ถ่านกัมมันต์กำจัดรสและกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากวิสกี้ โดยให้วิสกี้ไหลผ่านชั้นของถ่านกัมมันต์ หรือใส่ถ่านกัมมันต์กับวิสกี้โดยตรงแล้วกรองออก

ข. ใช้ถ่านกัมมันต์ทำให้เกรดของไวน์ดีขึ้น

ค. ใช้ถ่านกัมมันต์เติมลงในเบียร์ เพื่อกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากการแช่เย็น โดยถ่านกัมมันต์จะทำหน้าที่ดูดซับตะกอน โปรตีนที่เอนไซม์ย่อยไม่ได้ และยังใช้ถ่านกัมมันต์ในการเตรียมน้ำสะอาดก่อนนำไปต้มเพื่อผลิตเบียร์อีกด้วย

### 2.6.3 อุตสาหกรรมผลิตไขมันและน้ำมัน

- ก. ใช้กำจัดสิ่งปลอมปนในน้ำมันพืช
- ข. ใช้ดูดตัวยับยั้ง (Inhibitor)
- ค. ใช้ร่วมกับดินช่วยฟอกขาว (Bleaching earth) เพื่อให้ได้สีของน้ำมันตามต้องการและมีรสดี

ขึ้น

### 2.6.4 อุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล

- ก. วัตถุประสงค์หลัก คือ ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อฟอกสีน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล
- ข. ใช้ในการดูดซับพวกโปรตีน เหล็ก หินปูน และฟอสเฟต ออกจากสารประกอบเด็กซ์ทริน (Dextrin) มอลโทส (Maltose) และเด็กซ์โทส (Dextrose) ทำให้สีของน้ำเชื่อม (Syrup) อยู่คงทนไม่เปลี่ยนเป็นสีคล้ำเมื่อเวลาผ่านไป

### 2.6.5 อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหาร

- ก. ใช้ถ่านกัมมันต์ดูดสีและกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากเจลาติน
- ข. ใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับเพกติน (Pectin) ออกจากน้ำผลไม้ ทำให้น้ำผลไม้ใส และยังกำจัดกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากน้ำผลไม้ได้ แต่ต้องใช้ถ่านกัมมันต์ในปริมาณที่พอเหมาะ มิฉะนั้นจะทำให้รสและกลิ่นของน้ำผลไม้เปลี่ยนไป

### 2.6.6 การทำให้ตัวทำละลายบริสุทธิ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

ในอุตสาหกรรมหลายประเภทนำตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตดินปืนชนิดไม่มีควัน อุตสาหกรรมผลิตฟิล์มถ่ายรูป อุตสาหกรรมผลิตหนังเทียม มีการนำแอกฮออล อีเทอร์ และอะซิโตน กลับมาใช้ใหม่ โดยการใส่ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับสารเจือปนในตัวทำละลายที่ใช้แล้ว

### 2.6.7 การประยุกต์ใช้งานด้านอื่นๆ

- ก. ใช้เป็นตัวกรองในหน้ากากกันก๊าซพิษ และไอพิษต่างๆ
- ข. ใช้ใส่ในก้นกรองของบู่หรือบางชนิด
- ค. ใช้ดูดควันหรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในห้องปรับอากาศหรือตู้เย็น
- ง. ใช้ดูดซับสิ่งสกปรกออกจากก๊าซธรรมชาติ หรือกำจัดสารที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบในโรงแยกก๊าซธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 การดูดซับ [12]

การดูดซับมี 2 แบบ คือ การดูดซับเชิงกายภาพ (Physical Adsorption) และการดูดซับเชิงเคมี (Chemical Adsorption) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

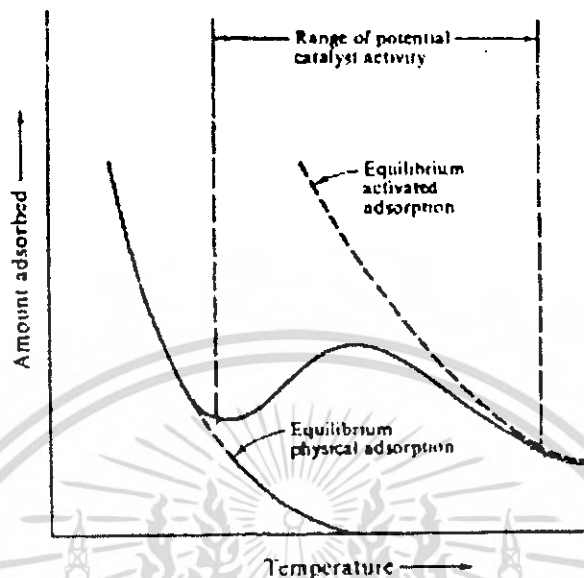
ก. การดูดซับเชิงกายภาพ จะเกิดขึ้นที่ใดก็ได้โดยไม่เจาะจง ปรากฏการณ์คล้ายกับการควบแน่นที่เกิดได้ทุกจุดบนผิวของแข็ง แรงยึดเกาะระหว่าง โมเลกุลที่ผิวของแข็งมีไม่มาก ส่วนมากนั้นจะเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์อันมีผลมาจากความร้อน เนื่องจากการดูดซับหรือพลังงานก่อกัมมันต์อยู่นั้น จะอยู่ในช่วงต่ำค่าประมาณ 4-40 กิโลจูลต่อโมล การดูดซับเข้าสู่สมดุลได้เร็วและผันกลับได้ ปริมาณการดูดซับของ โมเลกุลก๊าซจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการดูดซับเชิงกายภาพจึงไม่สามารถใช้ เป็นกลไกในการเกิดปฏิกิริยาของ โมเลกุลที่มีความเสถียรได้ อีกทั้งพลังงานก่อกัมมันต์มีค่าต่ำเกินไป แต่ อาจใช้ปฏิกิริยาของอะตอมหรือ อนุภาคมูลฐานที่ไม่ต้องการพลังงานก่อกัมมันต์มากก็ได้ โดยทั่วไปแล้ว นั้นก็อาจจะประยุกต์ใช้การดูดซับเชิงกายภาพในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ปริมาตรรูพรุน พื้นที่ผิว เป็นต้น

ข. การดูดซับเชิงเคมี การดูดซับนี้เกิดขึ้นอย่างจำเพาะบนจุดกัมมันต์ของผิวของแข็งโดย พันธะทางเคมี ความร้อนเนื่องจากการดูดซับหรือพลังงานก่อกัมมันต์อยู่ในช่วง 40-200 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งมากกว่าการดูดซับเชิงกายภาพเนื่องจากการดูดซับเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียว (Monolayer) การดูดซับของ ผ่านกัมมันต์เป็นปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Reaction) คือสารที่ทำปฏิกิริยากันอยู่ในวัฏภาค ที่ต่างกัน เช่น ปฏิกิริยาระหว่างก๊าซหรือของเหลวกับของแข็ง เป็นต้น

### 2.7.1 ไอโซเทอร์มการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

Langmuir [13] ได้เสนอแบบจำลองการดูดซับและการคายซับของก๊าซจากผิวของแข็ง เพื่อจะ อธิบายการดูดซับเชิงปริมาณไว้ แบบจำลองของ Langmuir นั้น ใช้พัฒนาสำหรับการดูดซับเชิงเคมี แต่มี การประยุกต์ใช้สำหรับการดูดซับเชิงกายภาพด้วย

การศึกษาว่าสารหรือโมเลกุลใดดูดซับบนผิวของแข็งได้มากขนาดไหนนั้น จะต้องควบคุมให้อุณหภูมิ คงที่ เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับมาก ข้อมูลจากการดูดซับจะรายงานออกมาในรูปของไอโซเทอ ร์มการดูดซับ แบบจำลองการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ของ Langmuir เรียกว่า ไอโซเทอร์ม การดูดซับ ของ Langmuir รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและปริมาณการดูดซับ จะเห็นได้ว่า เมื่อ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณการดูดซับมีแนวโน้มลดลง



รูปที่ 2.5 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดูดซับ

### 2.7.2 ทฤษฎีการดูดซับของแบบจำลอง Langmuir

กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นเรื่อยๆ โดยที่สารละลายจะถูกดูดซับและมีการคายซับไปพร้อมกัน ซึ่งอัตราการดูดซับและการคายซับที่เท่ากันจะทำให้เกิดสภาวะสมดุล เรียกว่า สมดุลของการดูดซับ ที่จุดสมดุลนี้ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับจะเท่ากับความเข้มข้นของตัวดูดซับและปริมาณของการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จะถูกดูดซับเพิ่มขึ้น การดูดซับที่เกิดขึ้นนี้สามารถใช้ไอโซเทอร์มการดูดซับอธิบายถึงสมดุลที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิคงที่

ไอโซเทอร์มการดูดซับเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ และความเข้มข้นของสารละลายที่เหลืออยู่ เมื่อนำความเข้มข้นของสารละลายที่เหลืออยู่ไปพล็อตกราฟในรูปของลอการิทึมกับปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ เส้นโค้งที่เกิดขึ้นจากการลากผ่านจุดที่ได้จากการทดลองทั้งหมดเรียกว่า ไอโซเทอร์มการดูดซับ

เนื่องจากวัสดุชีวมวลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการดูดซับต่างกัน และวัสดุชีวมวลชนิดเดียวกัน จะมีคุณสมบัติในการดูดซับสารแต่ละชนิดต่างกัน ดังนั้นจึงต้องศึกษาสมการไอโซเทอร์มการดูดซับ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบปริมาณสารที่ถูกดูดซับโดยวัสดุชีวมวลแต่ละชนิด สมการไอโซเมอร์การดูดซับที่นิยมนำมาใช้ในการอธิบายสมดุลการดูดซับ คือ สมการ Langmuir เนื่องจากสามารถอธิบายการดูดซับได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติฐานของทฤษฎีนี้มีแนวคิดจากแบบจำลองมอนอเลเยอร์ ดังนี้

1. ที่ทุกๆ ตำแหน่งผิวสัมผัสสามารถดูดซับโมเลกุลได้
2. โมเลกุลแต่ละโมเลกุลไม่มีผลกระทบต่อกัน หมายความว่ารวมถึงตำแหน่งของโมเลกุลไม่มีผลต่ออัตราการดูดซับ

3. พลังงานและกลไกการดูดซับของทุกๆ โมเลกุลบนผิวดูดซับเกิดขึ้นเหมือนกัน
4. การดูดซับของโมเลกุลบนแต่ละพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะเกิดเป็นชั้นเดียว

### 2.7.3 สมการที่ใช้อธิบาย ไอโซเทอร์มการดูดซับของ Langmuir กำหนดให้

$$\theta = v/v_m \tag{2.6}$$

- โดย  $\theta$  = สัดส่วนของพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยโมเลกุลที่ถูกดูดซับ  
 $v$  = สารเคมีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สมดุล (mg/g)  
 $v_m$  = สารเคมีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่อิ่มตัว (mg/g)

อัตราการดูดซับต่อหน่วยพื้นที่ผิวทั้งหมด

$$r_{ax} = k_a C_x (1 - \theta) \tag{2.7}$$

- โดย  $r_{ax}$  = อัตราการดูดซับของตัวถูกดูดซับ  
 $k_a$  = ค่าคงที่ของการดูดซับ  
 $C_x$  = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล (ppm)

ที่สมดุล

$$k_a C_x (1 - \theta) = k_d \theta \tag{2.8}$$

$$\theta = k_a C_x / (k_d + k_a C_x) \tag{2.9}$$

โดย  $k_d$  = ค่าคงที่ของการคายซับ

กำหนดให้  $K = k_a/k_d$  = ค่าคงที่สมดุล (2.10)

ได้

$$v = v_m K C_x / (1 + K C_x) \tag{2.11}$$

จัดให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรง

$$\frac{C_x}{v} = \frac{C_x}{v_m} + \frac{1}{Kv_m} \quad (2.12)$$

ถ้า  $v_m$  และค่า  $K$  สามารถหาได้จากความชัน  $1/v_m$  และจุดตัด  $1/Kv_m$  เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง  $C_x/v$  กับ  $C_x$

#### 2.7.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับหรือกระบวนการดูดซับ คือ ธรรมชาติของตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับ ดังนี้

##### ก. ธรรมชาติของ โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับ

ธรรมชาติของตัวดูดซับเป็นปัจจัยหลักอย่างหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ สามารถแบ่งได้เป็น

##### 1. พื้นที่ผิวและ โครงสร้างของรูพรุน

พื้นที่ผิวเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของ โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับในการดูดซับ นั่นคือความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของ โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าพื้นที่ผิวของ โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับ ไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนมีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับมากขึ้น เพราะถ้าขนาดของ โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปใน โมเลกุลของตัวดูดซับ ได้ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าขนาด โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของ โมเลกุลของตัวดูดซับ ได้ความสามารถในการดูดซับจะลดลง

##### 2. ขนาดของวัตถุ

ในกรณีที่ โมเลกุลเป็นตัวดูดซับ ไม่มีรูพรุน เมื่อวัตถุขนาดเล็กลงพื้นที่ผิวจะมากขึ้น ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้า โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมีรูพรุนมาก พื้นที่ผิวในการดูดซับจะไม่ขึ้นกับขนาดวัตถุ

##### 3. เคมิที่ผิวหน้า

หมู่ฟังก์ชันเฉพาะที่อยู่บนผิวของ โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับจะมีคุณสมบัติที่มีผลกับกระบวนการดูดซับ เช่น ถ้า โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับเป็นพวกออกไซด์และมีหมู่ฟังก์ชันนัลเป็นกรด ความสามารถในการดูดซับจะลดลง แต่ถ้ามีหมู่ฟังก์ชันนัลที่เป็นหมู่คาร์บอนิก ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น

## ข. ธรรมชาติของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ

ธรรมชาติตัวถูกดูดซับจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ ดังนี้

### 1. ความสามารถในการละลาย

ความสามารถในการละลายที่สูงจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปฏิกิริยาของตัวทำละลายและตัวถูกละลาย ทำให้การแพร่ขยาย การดูดซับลดลงเพราะก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับขึ้นจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อน

### 2. น้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุล

มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ เมื่อน้ำหนัก โมเลกุลและขนาด โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลจะทำให้ความสามารถในการละลายลดลง

### 3. ความมีขั้วของ โมเลกุล

ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อความมีขั้วเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มความมีขั้วทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

### 4. ค่าความเป็นกรด – เบส (pH) ของตัวถูกดูดซับ

ถ้าค่าความเป็นกรดของตัวถูกดูดซับลดลงอัตราการดูดซับจะเร็วและสูง เพราะค่าความเป็นกรดมีผลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซับคิมีว นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ที่เพิ่มมากขึ้นจากการแตกตัวเป็นไอออนในน้ำของตัวถูกดูดซับยังสามารถเกาะติดคิมีวด้านกัมมันต์ได้ดี ทำให้ด้านกัมมันต์มีสภาพเป็นกลางเสมอ เนื่องจากด้านกัมมันต์เป็นโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว จึงทำให้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วของตัวถูกดูดซับในน้ำมาเกาะคิมีวของด้านกัมมันต์ได้ดียิ่งขึ้นและทำให้เกิดการดูดซับคิมีวขึ้น

### 5. ผลของอุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับคิมีวจะลดลง เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิจิตร จินดาพันธ์ไพโรจน์ และคณะ [14] ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสคามาอุเลนซิส (*Eucalyptus Camaldulensis* Dehnh.) ที่มีอายุ 4-5 ปี โดยทำการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ ซึ่งใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำเป็นสารกระตุ้น สภาวะในการเผาแบบอับอากาศนั้น ใช้สภาวะที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที โดยผ่านก๊าซไนโตรเจนเข้ามาด้วย ซึ่งถ่านชาร์ที่ได้ถูกนำมากระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยมีอัตราการป้อนไอน้ำ 20 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาณการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 700 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณการป้อนอากาศ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ผลการทดลองในส่วนการเผาแบบอับอากาศ พบว่าที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ในเวลา 45 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเผาแบบอับอากาศถ่านชาร์จากไม้ยูคาลิปตัสที่มีอายุ 4-5 ปี เนื่องจากใช้เวลาและอุณหภูมิไม่สูงมาก รวมทั้งให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ที่สูงที่สุดด้วย เมื่อทำการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำที่ค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ 33.14 จะให้ค่าพื้นที่ผิวถึง 1076.15 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าการดูดซับไอโอดีน 1,233 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 242 มิลลิกรัมต่อกรัม

Hu Z. และ Srinivasan M.P. [15] ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 87.2 % โดยน้ำหนัก ตัวแปรที่ศึกษา คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 1:0.25 1:0.5 1:0.75 1:1 1:1.5 และ 1:2 และอุณหภูมิการกระตุ้น 600 700 และ 800 องศาเซลเซียส พบว่าถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลาย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1:0.75 อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละผลผลิต 23.6 ปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 2,451 ตารางเมตร/กรัม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย 19.8 อังสตรอม ปริมาตรรูพรุนรวม 1.210 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม และเมื่อนำข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลมาวิเคราะห์ด้วยสมการของ Langmuir พบว่าปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อกรัมของคาร์บอนกัมมันต์ ( $q_m$ ) เท่ากับ 396 มิลลิกรัม/กรัม และค่าคงที่การดูดซับ (K) เท่ากับ 0.0335

Ahmadpour A. และ Do D.D. [16] ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกถั่ว Macadamia โดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 5 - 500% โดยน้ำหนัก ตัวแปรที่ศึกษา คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกถั่ว Macadamia ที่ 212 - 300 ไมโครเมตร และ 500 - 600 ไมโครเมตร อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกถั่ว Macadamia ต่อสารกระตุ้น 1:1 1:2 1:3 1:4 และ 1:5 อุณหภูมิการกระตุ้น 500 600 700 และ 800 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 60 120 และ 180 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ คือ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกถั่ว Macadamia 212 - 300 ไมโครเมตร อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกถั่ว Macadamia ต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1:1 อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 120 นาที เมื่อหาปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้สมการของ BET และปริมาตรรูพรุนแบบไมโครพอร์โดยใช้สมการของ Dubinin Radushkevich ได้ค่าเท่ากับ 1,169 ตารางเมตร/กรัม และ 0.529 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม ตามลำดับ เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ คือ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกถั่ว Macadamia เท่ากับ 212 - 300 ไมโครเมตร อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกถั่ว Macadamia ต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1:1 อุณหภูมิการกระตุ้น 500 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 60 นาที ปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้สมการของ BET และปริมาตรรูพรุนแบบไมโครพอร์โดยใช้สมการของ Dubinin Radushkevich มีค่า 1,718 ตารางเมตร/กรัม และ 0.723 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม ตามลำดับ ดังนั้นการกระตุ้นโดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ให้ผลดีกว่าการใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เพราะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนแบบไมโครพอร์ที่สูงกว่าโดยใช้อุณหภูมิการกระตุ้นและเวลาการกระตุ้นที่ต่ำกว่า

Usmani T.H. et al. [17] ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์ของปากีสถานโดยการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ความเข้มข้น 3.7 โมล/ลิตร เป็นสารกระตุ้น ตัวแปรที่ศึกษา คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านลิกไนต์ต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1:0.5 1:1 1:1.5 และ 1:2 อุณหภูมิการกระตุ้น 650 750 และ 850 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 1 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ คือ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านลิกไนต์ต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1:2 อุณหภูมิการกระตุ้น 650 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 1 ชั่วโมง ตามลำดับ ค่าร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่ได้เท่ากับ 72.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนและค่าการดูดซับเมทีลีนบลู 990 มิลลิกรัม/กรัม และ 205 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ พื้นที่ผิวจำเพาะแบบไมโครพอร์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ด้วยสมการของ BET มีค่า 942 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ยที่วิเคราะห์ด้วยสมการของ Dubinin Radushkevich คือ 0.46 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และ 0.98 นาโนเมตร ตามลำดับ

ยูวดี เดชทวีทย์ และคณะ [18] ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยใช้การกระตุ้นในที่อับอากาศ และใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่อิ่มตัว และสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น ตัวแปรที่ศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีนี้ ได้แก่ อุณหภูมิในการกระตุ้น และชนิดของสารกระตุ้น เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยเตาเผา ภาชนะที่ใช้เผาทำจากสแตนเลส ทำการเผาวัตถุดิบครั้งละประมาณ 100 กรัม โดยผสมกับการสารกระตุ้นในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก คือที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส อัตราส่วน โดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักเป็น 1:2 ระยะเวลาในการกระตุ้นเท่ากับ 60 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ได้ 44.2 สภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ คือ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส อัตราส่วน โดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว 1:3 ระยะเวลาในการกระตุ้น 90 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ได้ 705 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมถ่านกัมมันต์ และร้อยละของถ่านกัมมันต์ที่ได้เท่ากับ 44.2 สภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1:1 คือ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราส่วน โดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายผสมนี้ คือ 1:3 ระยะเวลาในการกระตุ้น 90 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ได้ 540 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมถ่านกัมมันต์ และร้อยละของถ่านกัมมันต์ที่ได้ 55.1

## บทที่ 3

### การทดลอง

#### 3.1 การเผาในที่อับอากาศ

##### สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้

- วัตถุคืบ  
กระดุกไก่
- อุปกรณ์
  1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
  2. ครุชีเบิล
  3. เต้าเผา
  4. ภาชนะเก็บสาร
  5. เคสิเคเตอร์

##### วิธีการทดลอง

1. นำกระดุกไก่ที่ได้มาทำให้แห้งโดยผึ่งแดด หรืออบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
2. บดหยาบ
3. นำไปเผาในที่อับอากาศ (โดยปิดฝาครุชีเบิล) ที่อุณหภูมิ และเวลาที่กำหนด
4. นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ทิ้งไว้ให้เย็นในเคสิเคเตอร์

##### ตัวแปรที่ใช้ในการเผาแบบอับอากาศ

- อุณหภูมิ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส
- เวลาในการเผาแบบอับอากาศ 20 30 40 50 และ 60 นาที

ในเบื้องต้นจะเผากระดุกไก่ที่อุณหภูมิต่างๆ ที่เวลา 30 นาที และสำหรับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดปริมาณคาร์บอนคงตัวและผลผลิตสูงจะนำมาเผาที่เวลาต่างๆ เพื่อหาเวลาในการเผาที่เหมาะสมต่อไป

### 3.2 การกระตุ้นคาร์บอน

#### 3.2.1 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยไอน้ำยิ่งยวด

##### สารเคมีและอุปกรณ์

- สารเคมี
  - คาร์บอนที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศ
- อุปกรณ์
  1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
  2. เตาเผา
  3. เครื่องปฏิบัติการเผาแบบอับอากาศ
  4. ภาชนะเก็บสาร
  5. เติสเคเตอร์
  6. เครื่องปฏิบัติการไอน้ำ

##### วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการเผาแบบอับอากาศ 10 กรัม
2. บรรจุลงในเครื่องปฏิบัติการเผาแบบอับอากาศ
3. ผ่านไอน้ำจากเครื่องปฏิบัติการไอน้ำลงไปเครื่องปฏิบัติการเผาแบบอับอากาศ
4. เริ่มเผาที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด
5. นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ทิ้งไว้ให้เย็นในเตสเคเตอร์

##### ตัวแปรที่ใช้ในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ

- อุณหภูมิ 750 และ 850 องศาเซลเซียส
- เวลาในการเผาแบบอับอากาศที่ 60 90 และ 120 นาที

### 3.3 การทดสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

#### 3.3.1 การทดสอบการดูดซับไอโอดีน [19]

ค่าการดูดซับไอโอดีนเป็นปริมาณไอโอดีนมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แห้ง 1 กรัม โดยความเข้มข้นของไอโอดีนในสารละลายเมื่อเริ่มต้นและเมื่อสิ้นสุดการดูดซับ มีค่าเท่ากับ 0.1 และ 0.02 นอร์มอล ตามลำดับ

#### สารเคมีและอุปกรณ์

##### - สารเคมี

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก
2. น้ำกลั่น
3. ไอโอดีนชนิดเกล็ด
4. เกล็ดโพแทสเซียมไอโอไดด์
5. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต
6. โซเดียมคาร์บอเนตชนิดเกล็ด
7. โพแทสเซียมไอโอเตตชนิดเกล็ด
8. แป้งมัน

##### - อุปกรณ์

1. ตู้อบ
2. บีมซูญญาทาส
3. เครื่องกรองซูญญาทาส
4. เครื่องชั่งที่มีความแม่นยำ  $\pm 0.0001$  กรัม
5. เครื่องกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็ก
6. เติลเคเตอร์
7. แผ่นให้ความร้อน
8. ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 1 ลิตร และ 2 ลิตร
9. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
10. กระบอกตวงขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร
11. บิวเรตขนาด 5 10 และ 25 มิลลิลิตร
12. บีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร
13. ปิเปต 10 และ 25 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. กรวยแก้ว
15. ขวดสีชา
16. ขวดซังสารพร้อมฝาปิด
17. ซ้อนตักสาร
18. กระจกนาฬิกา
19. แท่งแก้วคนสาร
20. หลอดหยด
21. กระจกทรง

### 3.3.2 การเตรียมสารเคมีสำหรับการทดลอง

- สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก  
เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก 70 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 550 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วเทเก็บใส่ขวด
- สารละลายไอโอดีนเข้มข้น  $0.100 \pm 0.001$  นอร์มอล  
ชั่ง ไอโอดีน 12.70 กรัมและโพแทสเซียมไอโอไดด์ 19.10 กรัม ผสมให้เข้ากันในสภาพที่เป็นผงในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่น 2 – 6 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ กวนให้ละลาย จากนั้นจึงค่อยๆ เติมน้ำกลั่นลงไปครั้งละน้อย (ประมาณ 5 มิลลิลิตรต่อครั้ง) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนปริมาตรทั้งหมดเป็น 50 – 60 มิลลิลิตร จากนั้นใช้เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็กกวนต่อไปอีกอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าของแข็งละลายหมด จากนั้นนำไปเจือจางให้เป็นสารละลายปริมาตร 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร แล้วเทเก็บในขวดสีชา
- สารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟตเข้มข้น  $0.100 \pm 0.001$  นอร์มอล  
ชั่งโซเดียมไรโอซัลเฟต 24.82 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นที่เพิ่งต้มเดือดใหม่ๆ ปริมาตร  $75 \pm 25$  มิลลิลิตร คนให้ละลาย จากนั้นจึงเติมโซเดียมคาร์บอเนต  $0.1 \pm 0.01$  กรัม เพื่อป้องกันการสลายตัวของโซเดียมไรโอซัลเฟตเนื่องจากเบคทีเรีย จากนั้นนำไปเจือจางให้เป็นสารละลายปริมาตร 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร เทใส่ขวดสีชา ตั้งทิ้งไว้ 4 วัน ก่อนทำการเทียบค่ามาตรฐาน
- สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตเข้มข้น  $0.100 \pm 0.001$  นอร์มอล  
อบโพแทสเซียมไอโอเดตประมาณ 4 กรัม ด้วยอุณหภูมิ  $110 \pm 5$  องศาเซลเซียส แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องในเดสิเคเตอร์ นำสารที่อบแห้งแล้ว  $3.5667 \pm 0.0001$  กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร ในขวดวัดปริมาตรผสมให้เข้ากันแล้วเทเก็บใส่ขวดเก็บสารที่มีฝาปิด

- น้ำแป้ง

ผสมแป้งมัน  $1.0 \pm 0.5$  กรัมในน้ำกลั่นเย็น 5 – 10 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น  $25 \pm 5$  มิลลิลิตร พร้อมกับกวนสารตลอดเวลา เทสารข้างต้นลงในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ๆ ปริมาตร 1 ลิตร พร้อมกับกวนตลอดเวลา แล้วต้มสารละลายต่อไปอีก 4 – 5 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วเทเก็บในขวดเก็บสาร แช่ไว้ในตู้เย็น สารนี้ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งในวันที่ทดลอง

### 3.3.3 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

- สารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต 25.00 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไอโอไดค์  $3.00 \pm 0.01$  กรัม ลงไปแล้วเขย่าให้ละลาย ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก 5.0 มิลลิลิตร เติกลงในสารละลายข้างต้น โทเทรตหาไอโอไดน์ที่เหลืองด้วยสารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟตจนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้งลงไป 2 – 3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วโทเทรตต่อไปจนได้สารละลายไม่มีสี จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของโซเดียมไรโอซัลเฟตจากสมการ

$$N_1 = \frac{(P_1 \times R)}{S}$$

(3.1)

- เมื่อ  $N_1$  = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต (นอร์มอล)  
 $S$  = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)  
 $R$  = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (นอร์มอล)  
 $P_1$  = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)

การโทเทรตควรทำ 3 ครั้ง แล้วหาความเข้มข้นเฉลี่ย แต่ถ้าความเข้มข้นในแต่ละครั้งต่างกันมากกว่า 0.003 ควรทำการทดลองใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สารละลายไอโอดีน ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

ปีเปตสารละลายไอโอดีน 25.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนจนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองอ่อน หยคน้ำแป้งลงไป 2 – 3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์แล้วไทเทรตต่อไปจนได้สารละลายไม่มีสี จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นจากสมการ

$$N_2 = \frac{(S \times N_1)}{I}$$

(3.2)

เมื่อ  $N_2$  = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)  
 $I$  = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (มิลลิลิตร)  
 $N_1$  = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)  
 $S$  = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

การไทเทรตควรทำ 3 ครั้ง แล้วหาความเข้มข้นโดยเฉลี่ย แต่ถ้าความเข้มข้นในแต่ละครั้งต่างกันมากกว่า 0.003 นอร์มอล ควรทำการทดลองใหม่ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนจะมีค่า  $0.100 \pm 0.001$  นอร์มอล ถ้าความเข้มข้นไม่อยู่ในช่วงดังกล่าวต้องเตรียมสารละลายไอโอดีนใหม่

### 3.3.4 วิธีการทดสอบการดูดซับไอโอดีน

- บดถ่านกัมมันต์ให้มีขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน (325 เมช มาตรฐาน ASTM) อย่างน้อยร้อยละ 95 ประมาณ 10 กรัม
- อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นใน เดสิเคเตอร์
- ชั่งถ่านกัมมันต์ 2 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปีเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 10 มิลลิลิตรใส่ลงไป ปิดฝาขวดด้วยจุกยาง และเขย่าเบาๆ จนกระทั่งถ่านกัมมันต์เปียกทั่ว
- นำขวดรูปชมพู่ไปวางบนแผ่นให้ความร้อนที่อยู่ในตู้ควีน เปิดจุกยางออก ต้มจนเดือดประมาณ 30 วินาที เพื่อไล่สารประกอบซัลเฟอร์ซึ่งเป็นสารมลทิน แล้วยกลง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

- บีเปิดสารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.100 นอร์มอล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ปิดด้วยจุกยางอย่างรวดเร็ว และเขย่าแรงๆ เป็นเวลา 30 วินาที แล้วกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรอง แล้วเทส่วนที่ใสลงในปิทมกอร์

- นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปหาค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานสารละลายไอโอดีน

- หาค่าการดูดซับ ไอโอดีนได้จากสูตร

$$\text{ค่าการดูดซับ ไอโอดีน} = \left| \frac{(H_1 - H_2)}{m} \right| \times (12693D_1) \quad (3.3)$$

- เมื่อ
- $H_1$  = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนก่อนการดูดซับ (นอร์มอล)
  - $H_2$  = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนหลังการดูดซับ (นอร์มอล)
  - $m$  = น้ำหนักของสารตัวอย่างถ่านกัมมันต์ (กรัม)
  - $D_1$  = ค่าแก้ไขการดูดซับ ไอโอดีน (Correction factor) สามารถหาได้จากตารางที่ ข.3

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปราย

#### 4.1 การเผาแบบอับอากาศ

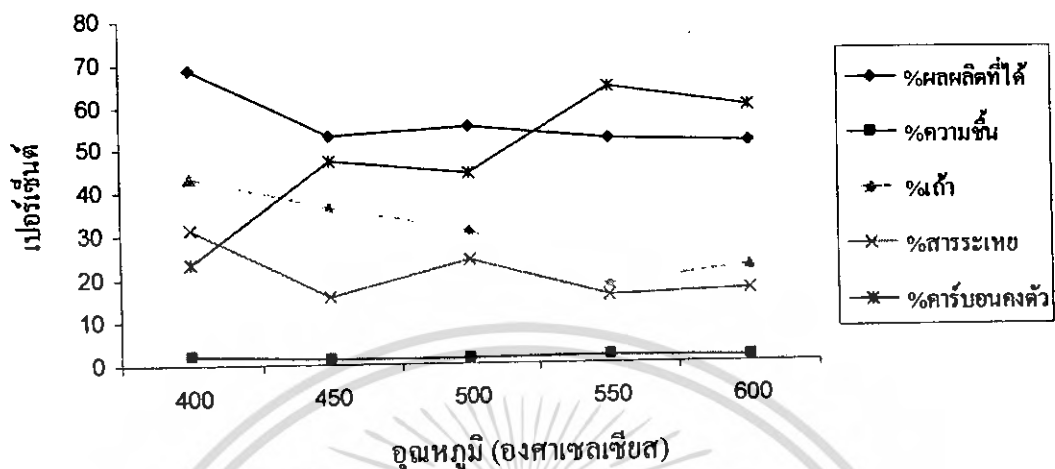
ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการเผาแบบอับอากาศภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่ความดัน 10 psi ต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้และองค์ประกอบของคาร์บอน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 โดยอุณหภูมิที่ศึกษาอยู่ในช่วง 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที

ตารางที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาแบบอับอากาศที่เวลา 30 นาที ต่อเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนคงตัว เปอร์เซ็นต์สารระเหย และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้

อุณหภูมิที่เผา (องศาเซลเซียส)	เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตที่ได้ (% Yield)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (% Moisture)	เปอร์เซ็นต์ เถ้า (% Ash)	เปอร์เซ็นต์ สารที่ระเหย (% Volatile Matters)	เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนคงตัว (% Fixed Carbon)
400	68.5889	2.0388	43.3834	31.3177	23.2601
450	52.9086	1.1462	36.1287	15.5597	47.1654
500	55.2720	1.1272	30.8788	23.7930	44.2010
550	52.2681	1.5151	18.2814	15.7744	64.4291
600	51.2522	1.2252	22.2558	16.8380	59.6810

ตารางที่ 4.1 แสดง เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ เปอร์เซ็นต์เถ้า เปอร์เซ็นต์ความชื้น เปอร์เซ็นต์สารระเหย และเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัว ที่การเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสมีค่าสูงสุด จากตารางที่ 4.1 นำมาแสดงเป็นกราฟรูปที่ 4.1 โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ต่างๆ กับค่าอุณหภูมิในการเผาแบบอับอากาศ พบว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ เปอร์เซ็นต์เถ้า และเปอร์เซ็นต์สารระเหยลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้กระดูกไก่เกิดการเผาไหม้กลายเป็นเถ้า น้ำมันทาร์และสารระเหยที่อยู่ในโครงสร้างของถ่านจะระเหยออกจากโครงสร้าง ทำให้ปริมาณสารระเหยที่เหลือและปริมาณผลผลิตที่ได้มีแนวโน้มลดลง และจากการที่เปอร์เซ็นต์ผลผลิตลดลงทำให้เปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาแบบอับอากาศเป็นเวลา 30 นาที

ในการพิจารณาสถานะที่เหมาะสมในการเผาแบบอับอากาศจะพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัว ดังนี้ ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส และนำไปทดลองหาค่าเวลาเพื่อให้ได้สถานะที่เหมาะสมที่สุดในการเผาแบบอับอากาศถ่านชาร์จากกระดูกไก่ต่อไป

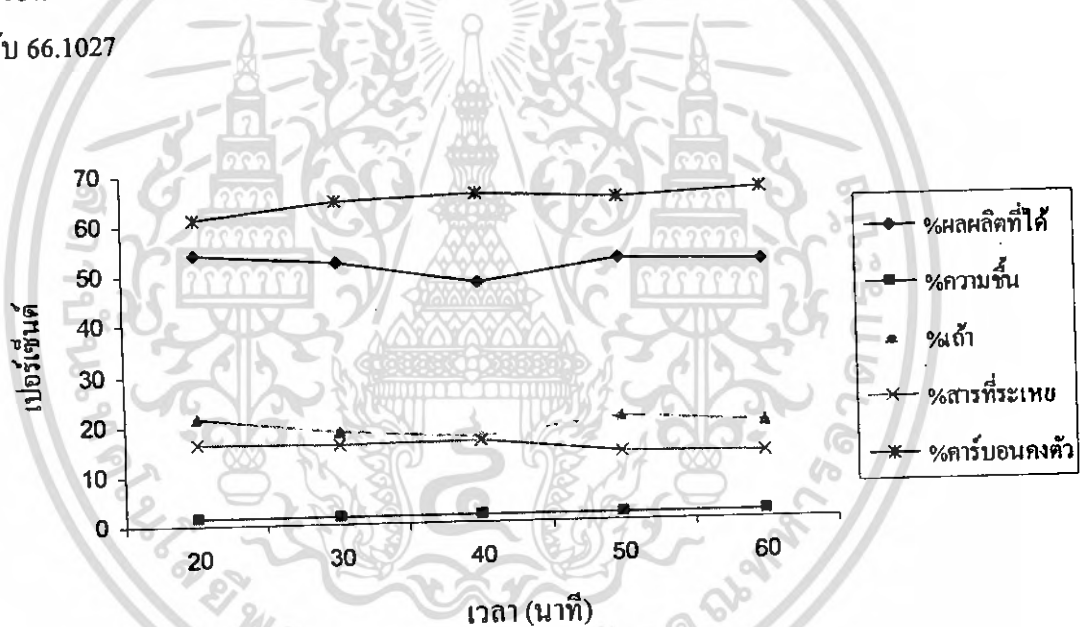
เมื่อทำการศึกษาผลของเวลาในการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการเผา 20 30 40 50 และ 60 นาที จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของเวลาที่ใช้ในกระบวนการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ต่อเปอร์เซ็นต์ของ คาร์บอนคงตัว เปอร์เซ็นต์สารระเหย และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้

เวลาที่ใช้เผา (นาที)	เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ (% Yield)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (% Moisture)	เปอร์เซ็นต์ฝ้าย (% Ash)	เปอร์เซ็นต์สารที่ระเหย (% Volatile Matters)	เปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัว (% Fixed Carbon)
20	54.0783	1.3009	21.5418	16.0696	61.0877
30	52.2681	1.5151	18.2814	15.7744	64.4291
40	47.8692	1.4170	16.8290	16.2803	65.4737
50	52.3978	1.3372	20.5666	13.7851	64.3111
60	51.7275	1.3672	19.0910	13.4391	66.1027

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ เปอร์เซ็นต์เถ้า เปอร์เซ็นต์ความชื้น เปอร์เซ็นต์สารระเหย และเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัว ของการเผาแบบอับอากาศที่เวลา 20 30 40 50 และ 60 นาที พบว่า เปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวที่เวลา 60 นาทีมีค่าสูงสุด จากตารางที่ 4.2 นำมาแสดงเป็นกราฟรูปที่ 4.2 โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ต่างๆ กับค่าเวลาในการเผาแบบอับอากาศ พบว่าช่วงเวลา 20 ถึง 60 นาที เปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งเมื่อเวลา 60 นาที จะมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวเท่ากับ 66.10 ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการเผาแบบอับอากาศของถ่านชาร์จากกระดูกไก่ คือ ที่อุณหภูมิในการเผา 550 องศาเซลเซียสและเวลา 60 นาที ซึ่งคุณสมบัติของถ่านชาร์ที่ได้จากการเผาในสภาวะนี้ คือ เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้เท่ากับ 51.7275 เปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 1.3672 เปอร์เซ็นต์เถ้าเท่ากับ 19.0910 เปอร์เซ็นต์สารที่ระเหยเท่ากับ 13.4391 และ เปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวเท่ากับ 66.1027



รูปที่ 4.2 ผลของเวลาที่ใช้ในกระบวนการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวดและการทดสอบการดูดซับไอโอดีน

ศึกษาการดูดซับ ไอโอดีนของถ่านชาร์ที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่ามีค่าการดูดซับ ไอโอดีนเท่ากับ 135 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านชาร์

ศึกษาสภาวะที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวด โดยนำถ่านชาร์ที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศจากการทดลองข้างต้น มากระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 750 และ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 90 และ 120 นาที จากนั้นทดสอบการดูดซับ ไอโอดีนของถ่านชาร์ที่ผ่านการกระตุ้นที่สภาวะข้างต้น มีค่าการดูดซับ ไอโอดีนดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ถ่านชาร์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดแล้ว จะให้ค่าการดูดซับ ไอโอดีนสูงกว่าถ่านชาร์ที่ยังไม่ผ่านการกระตุ้น โดยค่าการดูดซับ ไอโอดีนที่ 750 องศาเซลเซียส และเวลาในการกระตุ้น 90 นาที มีค่าสูงสุดเท่ากับ 458 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านชาร์

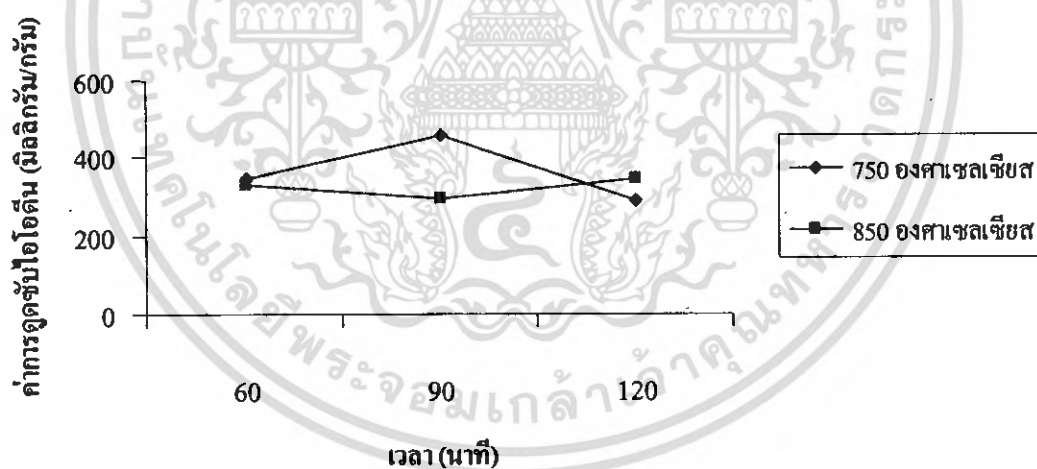
ซึ่งมีผลมาจาก การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้องค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนมีโอกาสหลุดออกไปได้มากขึ้น ดังนั้นจึงเกิดรูพรุนมากขึ้น ทำให้ค่าการดูดซับ ไอโอดีนสูงขึ้น แต่หากเพิ่มอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้รูพรุนที่เกิดขึ้นถูกทำลายไปได้ เป็นผลทำให้ค่าการดูดซับ ไอโอดีนลดลง นอกจากนี้ การเพิ่มเวลาในการกระตุ้นเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะทำให้องค์ประกอบอื่นๆ เช่น สารระเหย ถูกกำจัดออกไปทำให้เกิดช่องว่างหรือรูพรุนมากขึ้น ค่าการดูดซับ ไอโอดีนจึงมีค่าสูงขึ้น แต่การเพิ่มเวลาในการกระตุ้นนานเกินไปอาจทำให้ค่าการดูดซับ ไอโอดีนต่ำลงได้ เนื่องจากถ่านกัมมันต์สูญเสียโครงสร้างความเป็นรูพรุน และยังสามารถเกิดการสูญเสียคาร์บอนเป็นจำนวนมาก ทำให้ปริมาณของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการดูดซับ ไอโอดีนมีค่าลดลง เพราะถ่านที่เกิดขึ้นจะตกค้างอยู่ในรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการ

สถานะในการเผาถ่านชาร์		ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)
550 องศาเซลเซียส	60 นาที	135

ตารางที่ 4.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ

สถานะในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์		ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)
750 องศาเซลเซียส	60 นาที	348
	90 นาที	458
	120 นาที	289
850 องศาเซลเซียส	60 นาที	330
	90 นาที	297
	120 นาที	345



รูปที่ 4.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ ที่ใช้ในการกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชาร์ก่อนและหลังกระตุ้นที่สภาวะต่างๆ พบว่า ค่าของพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่ได้สอดคล้องกับค่าการดูดซับ ไอโอดีนที่ได้จากการทดลอง คือ ถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งรวดเร็วแล้วจะให้ค่าการดูดซับ ไอโอดีนที่สูงกว่า ซึ่งเป็นผลจากการที่มีพื้นที่ผิวสูงกว่าถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้น

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชาร์ก่อนและหลังการกระตุ้นที่สภาวะต่างๆ

สภาวะในการทดลอง			ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตรต่อ กรัม)
ก่อนการกระตุ้น	550 องศาเซลเซียส	60 นาที	135	152.1
หลังการกระตุ้น	750 องศาเซลเซียส	90 นาที	458	241.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบงานวิจัย

ข้อมูลเปรียบเทียบ	จิตติ หวานเสนาะ เกษภา มานะสิทธิชัย	วิจิตร จินดาพันธ์ ไพโรจน์	ยูวดี เดชทวีทย์ และคณะ	กนกการบอน	ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์	ถ่านกัมมันต์ทาง การค้า
1. วัตถุประสงค์	กระดูกไก่	ไม้ยูคาลิปตัส มาลดูเลนซิส	กะลามะพร้าว	กนกการบอนจาก โรงงานผลิต กระดาษ	ไม้ยูคาลิปตัส	กะลามะพร้าว
2. เตาเผา	เบตมิ่ง	เบตมิ่ง	เบตมิ่ง	-	เบตมิ่ง	-
3. สภาวะในการ คาร์บอนไนซ์	550 °ซ 60 นาที	450 °ซ 45 นาที	-	-	500 °ซ 45 นาที	-
4. สภาวะในการ กระตุ้น	750 °ซ 90 นาที	900 °ซ 150 นาที	800 °ซ 60 นาที	-	500 °ซ 45 นาที	-
5. สารกระตุ้น	ไอน้ำ	ไอน้ำ	ซิงค์กลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 60	-	โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 40	-
6. ค่าการดูดซับ ไอโอดีน (มก./ก)	458	1233	922	670	709	715
7. พื้นที่ผิวจำเพาะ (ม <sup>2</sup> /ก)	242	1076	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการเผาแบบอับอากาศเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ที่ความดัน 10 psi ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวและเปอร์เซ็นต์ผลผลิต พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส และใช้เวลาเผา 60 นาที ซึ่งให้เปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวสูงสุด เมื่อศึกษาการดูดซับไอโอดีน พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านชาร์มีค่าเท่ากับ 135 มิลลิกรัมไอโอดีนที่ดูดซับต่อกรัมของถ่านชาร์

จากการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดในถ่านชาร์ที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีน พบว่า สภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสและเวลา 90 นาที โดยค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านชาร์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสภาวะดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 458 มิลลิกรัมไอโอดีนที่ดูดซับต่อกรัมถ่านกัมมันต์

#### 5.1 ข้อเสนอแนะ

- 5.1.1 ศึกษาการกระตุ้นทางเคมีเปรียบเทียบกับกระตุ้นทางกายภาพ
- 5.1.2 ศึกษาการดูดซับสารอื่นๆ นอกจากไอโอดีนด้วย เช่น โทลูอิน เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วิทยา เพียรจิตร. เทคโนโลยีการกำจัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์ โอเคียนสโตร์. 2525.
- [2] American Water Works Association. 1994. **AWWA Standard for Granular Activated Carbon**. Denver. Colorado.
- [3] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์กระทรวงอุตสาหกรรม. 2532.
- [4] Hassler J.W. **Purification with Activated Carbon**. New York : Chemical Publishing Co. Inc. 1974. pp. 87-191
- [5] Samuel D.F. and Osman M.A. **Adsorption Processes for Water Treatment**. Stoncham : Butterworth Publishers. 1987. pp. 14-23
- [6] Douglas M.R. **Encyclopedia of Separation Technology**. A Kirk-Othmer Encyclopedia. New York : John Wiley & Sons 1997. vol. 1. pp. 72-172
- [7] Gregg S.J. and Sing K.S.W. **Adsorption Surface Area and Porosity**. 2<sup>nd</sup> ed. New York : John Wiley & Sons. 1978. vol.4. pp. 561 – 569.
- [8] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. “ถ่านกัมมันต์.” ข่าวกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 1987, ฉบับที่ 107, หน้า 12 – 13.
- [9] <http://www.sc.chula.ac.th/ASCON2002/>
- [10] Hassler J.W. **Purification with Activated Carbon**. New York : Chemical Publishing Co. Inc. 1974. pp. 87 – 191.
- [11] Kirk R.E. and Othmer D.F. **Kirk – Othmer Concise Encyclopedia of Chemical Technology**. New York : John Wiley & Sons. 1978. vol. 4. pp.561 – 569.
- [12] วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา. 2544. **จลนพลศาสตร์และการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี : Chemical Kinetics and Reactor Design**. กรุงเทพมหานคร, หน้า 312 – 319.
- [13] I. Langmuir. 1981. **The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Glass, Mica and Platinum**. Am Chem. Soc. 40, 1361.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [14] วิจิตร จินดาพันธ์ไพโรจน์. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสโดยการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำยิ่งยวด. วิทยานิพนธ์ ปรียญมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [15] Hu Z. and Srinivasan.M.P. "Preparation of High – Surface – Area Activated Carbon from Coconut Shell." *Microporous and Mesoporous Materials*. Vol. 27, May 1999. pp. 11 – 18.
- [16] Ahmadpour A. and Do D.D. **The Preparation of Activated Carbons from Macadamia Nut Shell by Chemical Activation.** *Carbon*. Vol. 35, no. 12, 1997. pp. 1723 – 1732.
- [17] Usmani T.H., Ahmed T.W., Ahmed S.Z. and Yousufzai A.H.K. **Preparation and Characterization of Activated Carbon from a Low Rank Coal.** *Carbon*. Vol. 34, no. 1, 1996. pp. 77 – 82.
- [18] ยวดี เดชทวีทย์, สายใจ นารดสมบูรณ์. ผลของสารละลายซิงค์คลอไรด์โซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.
- [19] Matlson, J.S. and Mark, H.B. **Activated carbon surface chemistry and adsorption from solution.** New York : Marcle Dekker, Inc. 1971.
- [20] มั่นสิน ตันจุลเวศม์, วิศวกรรมประปา เล่ม 2, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์ ก. วิวรรณ 2527 : 189-219. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัว ความชื้น เถ้า และสารระเหย

#### ก.1 ปริมาณคาร์บอนคงตัว

คาร์บอนคงตัวเป็นค่าจากการคำนวณ ซึ่งได้มาจากผลรวมของเปอร์เซ็นต์ความชื้น เถ้า และสารที่ระเหย หักออกจาก 100 เปอร์เซ็นต์

#### ก.2 ปริมาณความชื้น

ความชื้น คือ การหาปริมาณน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไปเนื่องจากความร้อนภายใต้สภาวะที่ควบคุมไว้ของ อุณหภูมิ เวลา สภาพแวดล้อม น้ำหนักตัวอย่าง และอุปกรณ์ที่เฉพาะเจาะจง โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังต่อไปนี้

- เเผาครุชเบิลที่ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และชั่งน้ำหนัก
- ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในครุชเบิล แล้วปิดฝา
- นำครุชเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 104 – 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- ปลดปล่อยให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ และนำไปชั่งน้ำหนัก

วิธีคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น ในการวิเคราะห์ คือ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = [(A - B)/A] \times 100 \quad (\text{ก.1})$$

เมื่อ  $A =$  น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

$B =$  น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

#### ก.3 ปริมาณเถ้า

เถ้า คือ ปริมาณน้ำหนักของกากหลังจากการเผาถ่านภายใต้สภาวะที่ควบคุม มีขั้นตอนการปฏิบัติ ดังนี้

- นำตัวอย่างไปบดให้ผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช
- ชั่งตัวอย่างมา 1 กรัม ใส่ครุชเบิล แล้วปิดฝา
- เเผาที่อุณหภูมิ 700 – 750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง
- ทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ ระวังเรื่องความชื้น
- ชั่งน้ำหนักครั้งสุดท้าย

วิธีคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของถ้ำในการวิเคราะห์ คือ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ถ้ำ} = [(A-B)/C] \times 100 \quad (\text{ก.2})$$

เมื่อ  $A =$  น้ำหนักของครุชชีเบล รวมกับฝาปิด และถ้ำ (กรัม)

$B =$  น้ำหนักของครุชชีเบล รวมกับฝา (กรัม)

$C =$  น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

#### ก.4 ปริมาณสารระเหย

น้ำหนักสารระเหย คือ น้ำหนักของถ้ำที่เสียไปจากการให้ความร้อน โดยวิธีนี้จะพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซผลิตภัณฑ์ ยกเว้นความชื้น โดยมีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

- ชั่งถ้ำ 1 กรัม ใส่ในครุชชีเบลพลาสติก ปิดฝาให้เรียบร้อย
- ใส่ครุชชีเบลลงใน Furnace Chamber และให้อุณหภูมิที่ 950 องศาเซลเซียส โดยมีขั้นตอนคือให้ความร้อนที่ 500 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 2 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 950 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 3 นาที

วิธีคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไป คือ

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป} = [(A-B)/A] \times 100 \quad (\text{ก.3})$$

เมื่อ  $A =$  น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

$B =$  น้ำหนักของตัวอย่างที่ได้จากการเผา (กรัม)

วิธีคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารระเหยในการวิเคราะห์ คือ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของสารระเหย} = C-D \quad (\text{ก.4})$$

เมื่อ  $C =$  เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป

$D =$  เปอร์เซ็นต์ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อมูลผลการทดลองและตัวอย่างการคำนวณ

ผลการทดลองการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักของกระดูกไก่ที่เผาแบบอับอากาศที่ 30 นาทีโดยแปรค่าอุณหภูมิต่างๆ

ชุดที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตที่ได้ (% Yield)
1	400	23.4150	16.0601	68.5889
2	450	23.4011	12.3812	52.9086
3	500	23.4171	12.9431	55.2720
4	550	23.4043	12.2330	52.2681
5	600	22.8792	11.7261	51.2522

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้

จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้} = [B/A] \times 100$$

เมื่อ

$$A = \text{น้ำหนักของตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)}$$

$$B = \text{น้ำหนักของตัวอย่างหลังเผา (กรัม)}$$

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้} &= [16.0601/23.4150] \times 100 \\ &= 68.5889 \end{aligned}$$

ตารางที่ ก.2 ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ

ชุดที่	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (% Moisture)
1	1.0104	0.9898	2.0388
2	1.0120	1.0004	1.1462
3	1.0291	1.0175	1.1272
4	1.0626	1.0465	1.5151
5	1.0447	1.0319	1.2252

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น

จากสมการที่ ก.1      เปอร์เซ็นต์ความชื้น =  $[(A - B)/A] \times 100$

เมื่อ      A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

          B = น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} &= [(1.0104 - 0.9898)/1.0104] \times 100 \\ &= 2.0388 \end{aligned}$$

ตารางที่ ก.3 ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้าที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ

ชุดที่	น้ำหนักครุชิล+ฝา (กรัม)	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักครุชิล+ฝา+เถ้า (กรัม)	เปอร์เซ็นต์เถ้า (% Ash)
1	51.6635	1.0315	52.2475	43.3834
2	44.4912	1.0299	45.2519	36.1287
3	46.0006	1.0104	46.6990	30.8788
4	50.1724	1.0043	50.9931	18.2814
5	50.1865	1.0249	50.9833	22.2558

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของเถ้า

จากสมการที่ ก.2      เปอร์เซ็นต์เถ้า =  $[(A - B)/C] \times 100$

เมื่อ      A = น้ำหนักของครุชิล รวมกับฝาปิด และเถ้า (กรัม)

          B = น้ำหนักของครุชิล รวมกับฝา (กรัม)

          C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} &= [(1.0315 - 0.584)/1.0315] \times 100 \\ &= 43.3834 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 คำนวณน้ำหนักที่ใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์สารระเหยที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ  
ต่างๆ

ชุดที่	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ สารที่ระเหย (% Volatile Matters)
1	1.0067	0.6709	31.3177
2	1.0182	0.8481	15.5597
3	1.0654	0.7999	23.7930
4	1.0596	0.8764	15.7744
5	1.0729	0.8791	16.8380

ตัวอย่าง วิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของสารระเหย

จากสมการที่ ก.3      เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป =  $[(A-B)/A] \times 100$

เมื่อ      A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

          B = น้ำหนักของตัวอย่างที่ได้จากการเผา (กรัม)

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป} &= [(1.0067 - 0.6709) / 1.0067] \times 100 \\ &= 33.3565 \end{aligned}$$

จากสมการที่ ก.4      เปอร์เซ็นต์ของสารระเหย = C-D

เมื่อ      C = เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป

          D = เปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ของสารระเหย} &= 33.3565 - 2.0388 \\ &= 31.3177 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสที่เวลาต่างๆ

ตารางที่ ก.5 น้ำหนักของกระดูกไก่ที่เผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส โดยแปรค่าเวลา  
ต่างๆ

ชุดที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตที่ได้ (% Yield)
1	20	15.5382	8.4028	54.0783
2	30	23.4043	12.2330	52.2681
3	40	16.6138	7.9529	47.8692
4	50	15.7911	8.2742	52.3978
5	60	16.5239	8.5474	51.7275

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้

จากสมการ

เมื่อ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้} = [B/A] \times 100$$

$$A = \text{น้ำหนักของตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)}$$

$$B = \text{น้ำหนักของตัวอย่างหลังเผา (กรัม)}$$

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้} &= [8.4028/15.5382] \times 100 \\ &= 54.0783 \end{aligned}$$

ตารางที่ ก.6 คำนำน้ำหนักที่ใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่เวลาต่างๆ

ชุดที่	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (% Moisture)
1	1.0147	1.0015	1.3009
2	1.0626	1.0465	1.5151
3	1.1644	1.1479	1.4170
4	1.1666	1.1510	1.3372
5	1.0167	1.0028	1.3672

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น

จากสมการที่ ก.1      เปอร์เซ็นต์ความชื้น =  $[(A - B)/A] \times 100$

เมื่อ      A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

          B = น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} &= [(1.0147 - 1.0015) / 1.0147] \times 100 \\ &= 1.3009 \end{aligned}$$

ตารางที่ ก.7 ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์สารระเหยที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่เวลาต่างๆ

ชุดที่	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ สารที่ระเหย (% Volatile Matters)
1	1.0040	0.8296	16.0696
2	1.0596	0.8764	15.7744
3	1.0058	0.8278	16.2803
4	1.0058	0.8537	13.7851
5	1.0043	0.8556	13.4391

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของสารระเหย

จากสมการที่ ก.3      เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป =  $[(A - B)/A] \times 100$

เมื่อ      A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

          B = น้ำหนักของตัวอย่างที่ได้จากการเผา (กรัม)

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป} &= [(1.0040 - 0.8296) / 1.0040] \times 100 \\ &= 33.3565 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ ก.4 เปอร์เซ็นต์ของสารระเหย = C-D

เมื่อ C = เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป

D = เปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของสารระเหย} = 17.3705 - 1.3009$$

$$= 16.0696$$

ตารางที่ ก.8 คำนำนหนักที่ใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้าที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่เวลาต่างๆ

ชุดที่	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	เปอร์เซ็นต์เถ้า (% Ash)
1	1.0027	0.7867	21.5418
2	1.0043	0.8207	18.2814
3	1.0060	0.8367	16.8290
4	1.0060	0.7991	20.5666
5	1.0078	0.8154	19.0910

วิธีคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเถ้าในการวิเคราะห์ คือ

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = [(A-B)/C] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักของครุชชีเบิ้ล รวมกับฝาปิด และเถ้า (กรัม)

B = น้ำหนักของครุชชีเบิ้ล รวมกับฝา (กรัม)

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = [(1.0027-0.7867)/1.0027] \times 100$$

$$= 21.5418$$

**ภาคผนวก ข**  
**การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน**

**ข.1 การสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายไอโอดีน**

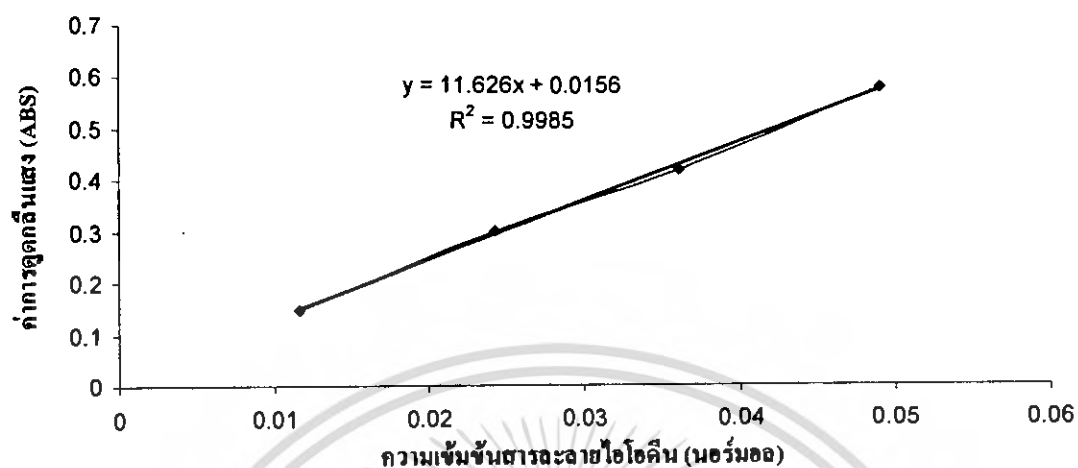
- ปิเปตสารละลายไอโอดีนจำนวน 10 20 30 และ 40 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 4 ขวด
- ปรับปริมาตรของสารละลายแต่ละขวดให้ได้ 100 มิลลิลิตร
- ปิเปตสารละลายที่ได้ 20 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายแต่ละขวด
- นำสารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer
- เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย กราฟมาตรฐานสารละลายไอโอดีน

**ข.2 กราฟเทียบมาตรฐาน**

ความยาวคลื่นแสงที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด ( $\lambda_{max}$ ) ของสารละลายไอโอดีนเท่ากับ 620 นาโนเมตร

**ตารางที่ ข.1** ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายไอโอดีน

ความเข้มข้น (นอร์มอล)	ค่าการดูดกลืนแสง (ABS)
0.0116	0.1495
0.0242	0.3035
0.0361	0.4255
0.0490	0.5895



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานไอโอดีน

ตาราง ข.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการดูดซับไอโอดีน

สภาวะในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (ABS)			ค่าความเข้มข้นที่อ่านจากกราฟมาตรฐาน	ค่าการดูดซับไอโอดีนที่คำนวณจากสมการ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
<b>ก่อนการกระตุ้น</b>						
550 องศาเซลเซียส	60 นาที	2.002	0.771	0.766	0.769	0.0648
<b>หลังการกระตุ้น</b>						
750 องศาเซลเซียส	60 นาที	2.003	0.439	0.445	0.442	0.0367
	90 นาที	2.001	0.310	0.314	0.312	0.0255
	120 นาที	2.004	0.515	0.522	0.519	0.0433
850 องศาเซลเซียส	60 นาที	2.007	0.457	0.469	0.463	0.0385
	90 นาที	2.002	0.504	0.511	0.508	0.0424
	120 นาที	2.004	0.445	0.447	0.446	0.0370

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน คือ 0.099 นอร์มอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ ข.2 สภาวะการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที มีค่าการดูดกลืนแสง 0.442 เทียบเป็นความเข้มข้นของกราฟมาตรฐานได้ 0.0367 นอร์มอล และนำค่านี้ไปเปิดตารางแก้ไขสำหรับค่าการดูดซับไอโอดีนที่ตาราง ข.3 ได้เท่ากับ 0.9375 นำค่าต่างๆ มาแทนค่าในสมการคำนวณค่าการดูดซับไอโอดีน ได้ดังนี้

#### ตัวอย่างการคำนวณค่าการดูดซับไอโอดีน

ถ่านกัมมันต์ที่สภาวะการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 60 นาที

$$\text{ค่าการดูดซับ ไอโอดีน} = [(H_1 - H_2)/M] \times [12,963D_1]$$

เมื่อ  $H_1$  = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนก่อนการดูดซับ (นอร์มอล)

$H_2$  = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนหลังการดูดซับ (นอร์มอล)

$M$  = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านกัมมันต์ (กรัม)

$D_1$  = ค่าการแก้ไขการดูดซับไอโอดีน (Correction factor)

$$\text{ค่าการดูดซับ ไอโอดีน} = [(0.099 - 0.0367)/2.0003] \times [12,963 \times 0.8619]$$

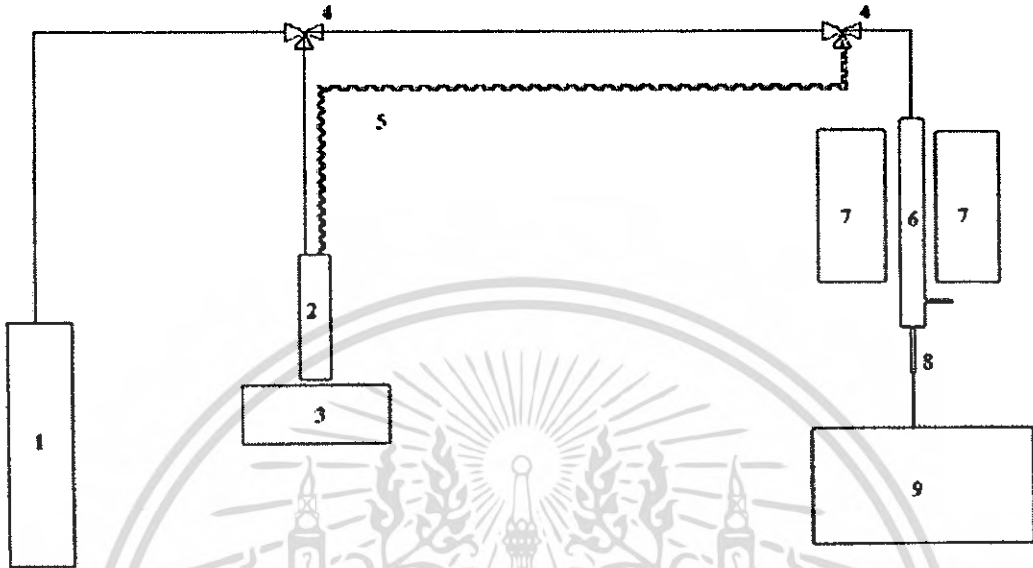
$$= 347.98 \text{ มิลลิกรัม ไอโอดีนที่ดูดซับต่อกรัมถ่านกัมมันต์}$$

ตารางที่ ข.3 ค่าแก้ไขสำหรับการคูณซ้ำไอโอดีน [20]

Residual filtrate (Normal)	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009
0.0080	1.1625	1.1625	1.1600	1.1575	1.1220	1.1538	1.1513	1.1500	1.1475	1.1463
0.0090	1.1438	1.1425	1.1400	1.1375	1.1363	1.1350	1.1325	1.1300	1.1288	1.1275
0.0100	1.1250	1.1238	1.1225	1.1213	1.1200	1.1175	1.1163	1.1150	1.1138	1.1113
0.0110	1.1100	1.1088	1.1075	1.1063	1.1038	1.1025	1.1000	1.0988	1.0975	1.0963
0.0120	1.0950	1.0938	1.0925	1.0900	1.0888	1.0875	1.0863	1.0850	1.0838	1.0825
0.0130	1.0800	1.0788	1.0775	1.0763	1.0750	1.0738	1.0725	1.0713	1.0700	1.0688
0.0140	1.0675	1.0663	1.0650	1.0625	1.0613	1.0600	1.0588	1.0575	1.0563	1.0550
0.0150	1.0538	1.0525	1.0513	1.0500	1.0488	1.0475	1.0463	1.0450	1.0438	1.0425
0.0160	1.0413	1.0400	1.0388	1.0375	1.0375	1.0363	1.0350	1.0333	1.0325	1.0313
0.0170	1.0300	1.0288	1.0275	1.0263	1.0250	1.0245	1.0238	1.0225	1.0208	1.0200
0.0180	1.0200	1.0188	1.0175	1.0163	1.0150	1.0144	1.0138	1.0125	1.0125	1.0113
0.0190	1.0100	1.0088	1.0075	1.0075	1.0063	1.0050	1.0050	1.0038	1.0025	1.0025
0.0200	1.0013	1.0000	1.0000	0.9988	0.9975	0.9975	0.9963	0.9950	0.9950	0.9938
0.0210	0.9938	0.9925	0.9925	0.9913	0.9900	0.9900	0.9888	0.9875	0.9875	0.9863
0.0220	0.9863	0.9850	0.9850	0.9838	0.9825	0.9825	0.9813	0.9813	0.9800	0.9788
0.0230	0.9788	0.9775	0.9775	0.9763	0.9763	0.9750	0.9750	0.9738	0.9738	0.9725
0.0240	0.9725	0.9708	0.9700	0.9700	0.9688	0.9688	0.9675	0.9675	0.9663	0.9663
0.0250	0.9650	0.9650	0.9638	0.9638	0.9625	0.9625	0.9613	0.9613	0.9606	0.9600
0.0260	0.9600	0.9588	0.9588	0.9575	0.9575	0.9563	0.9563	0.9550	0.9550	0.9538
0.0270	0.9538	0.9525	0.9525	0.9519	0.9513	0.9513	0.9506	0.9500	0.9500	0.9488
0.0280	0.9488	0.9475	0.9475	0.9463	0.9463	0.9463	0.9450	0.9450	0.9438	0.9438
0.0290	0.9425	0.9425	0.9425	0.9413	0.9413	0.9400	0.9400	0.9394	0.9388	0.9388
0.0300	0.9375	0.9375	0.9375	0.9363	0.9363	0.9363	0.9363	0.9350	0.9350	0.9346
0.0310	0.9333	0.9333	0.9325	0.9325	0.9325	0.9319	0.9313	0.9313	0.9300	0.9300
0.0320	0.9300	0.9294	0.9288	0.9288	0.9280	0.9275	0.9275	0.9275	0.9270	0.9270

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ก**  
**แบบจำลองเครื่องปฏิบัติการการเผาแบบอับอากาศ**

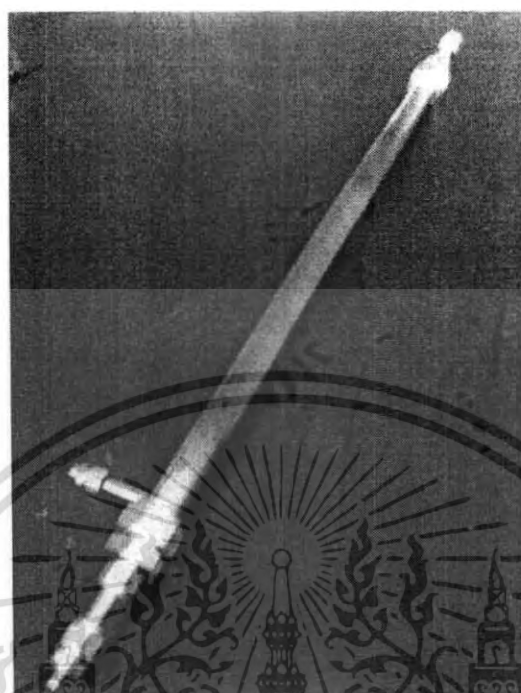


**รูปที่ ก.1 แบบจำลองการเผาแบบอับอากาศ**

ส่วนประกอบต่างๆ มีดังนี้

- |           |                         |
|-----------|-------------------------|
| หมายเลข 1 | ถังก๊าซไนโตรเจน         |
| หมายเลข 2 | เครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำ     |
| หมายเลข 3 | เครื่องให้ความร้อน      |
| หมายเลข 4 | วาล์ว 3 ทาง             |
| หมายเลข 5 | เคเบิลรักษาอุณหภูมิ     |
| หมายเลข 6 | เครื่องปฏิบัติการการเผา |
| หมายเลข 7 | เตาเผาความร้อนสูง       |
| หมายเลข 8 | เทอร์โมคัปเปิล          |
| หมายเลข 9 | ชุดควบคุมอุณหภูมิ       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 เครื่องปฏิบัติการเผา

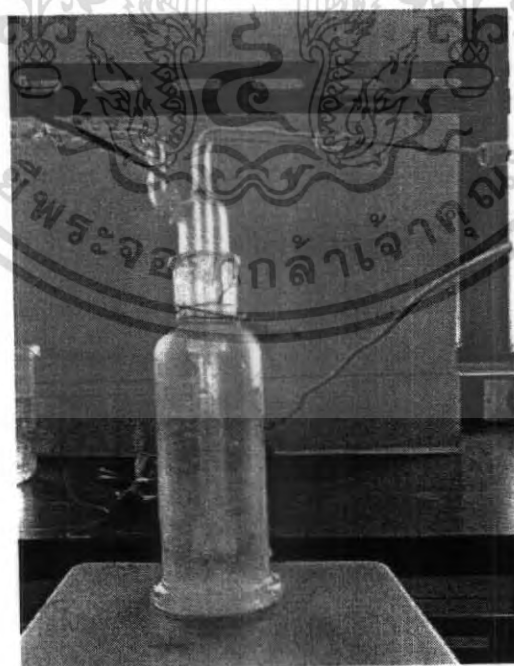


รูปที่ ค.3 ชุดควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

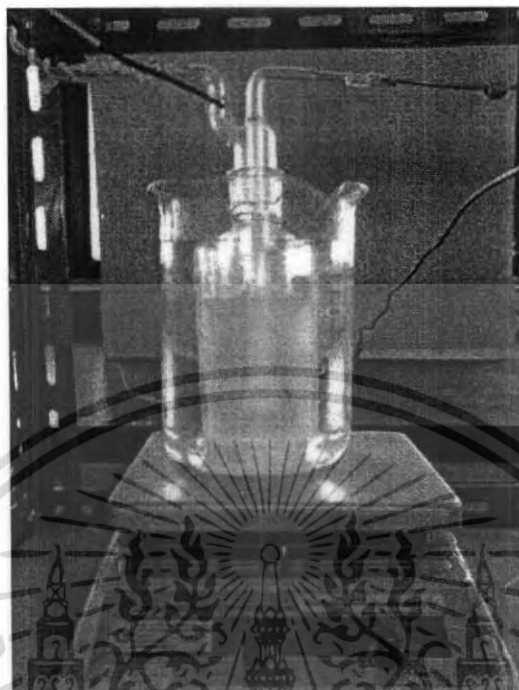


รูปที่ ค.4 เตาเผาความร้อนสูง



รูปที่ ค.5 เครื่องปฏิบัติการไอน้ำยิ่งยวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.๖ เครื่องปฏิกิริยาไอน้ำกับเครื่องให้ความร้อน



รูปที่ ๓.๗ เทอร์โมคัปเปิลที่ต่อเข้ากับเครื่องปฏิกิริยาความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๘ ชุดปฏิบัติการเผาแบบอับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

### มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์

#### ง.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ชนิด ขนาด คุณลักษณะที่ต้องการการบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบถ่านกัมมันต์

#### ง.2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

1. ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ กันได้เป็นอย่างดี
2. ค่าไอโอดีน หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับ และผ่านการกรองแล้วเป็น 0.02 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

#### ง.3 ชนิด

ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. ถ่านกัมมันต์ผง (Powdered Activated Carbon)
2. ถ่านกัมมันต์เม็ด (Granular Activated Carbon)

#### ง.4 ขนาด

1. ถ่านกัมมันต์ผง

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านตะแกรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก

2. ถ่านกัมมันต์เม็ด

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านตะแกรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

#### ง.5 คุณลักษณะที่ต้องการ

1. ลักษณะทั่วไป

- ถ่านกัมมันต์ผง ต้องเป็นผงละเอียดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใดๆ
- ถ่านกัมมันต์เม็ด ต้องเป็นเม็ดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใดๆ

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

2. คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

- ถ่านกัมมันต์ผง ให้เป็นไปตามตารางที่ ก.1

ตารางที่ ง.1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ผง

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ไม่น้อยกว่า	600
2	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.20 ถึง 0.75

- ถ่านกัมมันต์เม็ด ให้เป็นไปตามตารางที่ ก.2

ตารางที่ ง.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์เม็ด

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ไม่น้อยกว่า	600
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8
3	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.36
4	ความแข็ง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70

ง.6 การบรรจุ

1. ให้บรรจุถ่านกัมมันต์ในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท
2. น้ำหนักสุทธิของถ่านกัมมันต์ในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

ง.7 เครื่องหมายและฉลาก

1. ที่ภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์ทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีตัวเลข อักษร หรือ เครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- ชนิด
- น้ำหนักสุทธิ เป็นกิโลกรัม
- เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชื่อผู้ผลิต หรือ โรงงานที่ผลิต หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

2. ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

#### ง.8 การชักตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสิน

1. รุ่นในที่นี่ หมายถึง ถ่านกัมมันต์ชนิดเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน บรรจุในภาชนะชนิดและขนาดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

2. การชักตัวอย่าง และการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้จากแผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากับทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบการบรรจุ

- ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มจากรุ่นเดียวกัน ตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.3

- ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้างต้น จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตาม

เกณฑ์ที่กำหนด

2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ

- ให้ชักตัวอย่าง จากตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบการบรรจุมาแล้ว มาภาชนะบรรจุละเท่าๆ กัน ให้ได้ตัวอย่างรวมกันไม่น้อยกว่า 1,500 กรัม ผสมตัวอย่างทั้งหมดเข้าด้วยกัน แล้วแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน บรรจุแต่ละส่วนลงในภาชนะที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท พร้อมทั้งบันทึกรายละเอียดที่จำเป็นไว้ ตัวอย่างส่วนหนึ่งนำไปใช้ในการวิเคราะห์ อีก 2 ส่วน ที่เหลือให้ผู้ที่เกี่ยวข้องเก็บไว้เป็นหลักฐาน

#### ตารางที่ ง.3 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ
ไม่เกิน 25	3
26 – 50	4
51 – 100	5
101 – 300	6
301 – 500	7
501 – 80	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดทุกข้อ จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

#### ง.9 การทดสอบ

1. ให้ใช้วิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานนี้ หรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในมาตรฐานนี้
2. น้ำกลั่นและสารเคมีที่ใช้ ต้องมีความบริสุทธิ์เหมาะสมสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
3. การทดสอบขนาด

##### 3.1 ถ่านกัมมันต์ผง

###### - อุปกรณ์

1. ตะแกรง 150 ไมโครเมตร
2. กุชครุซิเบล

###### วิธีทดสอบ

นำตัวอย่างประมาณ 25 กรัม ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเคสิคเคเตอร์ จากนั้นให้รีบชั่งน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.001 กรัม ( $m_0$ ) เทตัวอย่างใส่บีกเกอร์ เติมน้ำ 600 ถึง 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน ทำตะแกรงให้เปียกก่อนแล้วค่อยเทตัวอย่างช้าๆ ผ่านตะแกรง ในขณะที่เทให้คนตัวอย่างเป็นครั้งคราว ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ออกให้หมด เมื่อเทตัวอย่างทั้งหมดลงบนตะแกรงแล้ว ใช้น้ำล้างตัวอย่างอีกจนกระทั่งไม่มีตัวอย่างผ่านตะแกรงอีก ถ้ายตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรง โดยใช้น้ำช่วยใส่ลงในบีกเกอร์แล้วกรองผ่านกุชครุซิเบล ซึ่งทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำกุชครุซิเบล ไปอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเคสิคเคเตอร์แล้วรีบชั่งทันที

###### วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณที่ผ่านตะแกรง/ร้อยละโดยน้ำหนัก} = \left(1 - \frac{m_1}{m_0}\right) \times 100 \quad (\text{ก.1})$$

เมื่อ  $m_0$  = น้ำหนักตัวอย่าง หลังอบแห้งครั้งแรก (กรัม)  
 $m_1$  = น้ำหนักตัวอย่าง หลังอบแห้งครั้งที่สอง (กรัม)

### 3.2 ถ่านกัมมันต์เม็ด

#### - อุปกรณ์

1. ตะแกรง 150 ไมโครเมตร
2. เครื่องเขย่า ที่มีอัตราการเขย่า  $285 \pm 5$  รอบต่อนาที

#### วิธีทดสอบ

ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม ใส่ในตะแกรง เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 3 นาที ถ่ายส่วนที่ค้างบนตะแกรงทั้งหมดลงในภาชนะที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว ชั่งและคำนวณส่วนที่ค้างบนตะแกรงเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

#### 4. น้ำหนักสุทธิ

ชั่งตัวอย่างทั้งหมดพร้อมภาชนะบรรจุ แล้วเทถ่านกัมมันต์ออก ชั่งภาชนะเปล่าแล้วเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง ได้เป็นน้ำหนักสุทธิต่อภาชนะบรรจุ

