การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลามะเยาหินโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

นางสาวจตุรภัทร เลิศวิภาภัทร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

PREPARATION OF ACTIVATED CARBON FROM CANDLENUT SHELL BY SUPERHEATED-STEAM ACTIVATION

Miss Jaturapat Lestwipapat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Chemical technology

Department of Chemical technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลามะเยาหินโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง
โดย	นางสาวจตุรภัทร เลิศวิภาภัทร
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชลธารา)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนีรัตน์ พิพัฒน์มโนมัย)

จตุรภัทร เลิศวิภาภัทร : การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลามะเยาหินโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. (PREPARATION OF ACTIVATED CARBON FORM CANDLENUT SHELL BY SUPERHEATED-STEAM ACTIVATION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์, 89 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลามะเยาหินโดยการกระตุ้นทางกายภาพแบบ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการคาร์บอไนเซชัน จะศึกษาผลของอุณหภูมิ 350 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส เวลา 30 60 90 และ 120 นาที พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนเซชันกะลามะเยาหินคือ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที ถ่านชาร์มีร้อยละผลได้ 43.08 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีร้อยละสารระเหย 21.23 และร้อยละคาร์บอนคงตัว 64.50 ขั้นตอนที่สองเป็นการกระตุ้นถ่านชาร์ โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลา ชนิดของแก๊สในการกระตุ้น และขนาดอนุภาค พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านชาร์จากกะลามะเยาหินคือ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ขนาดอนุภาค 2.36-4.75 มิลลิเมตร โดยใช้ไอน้ำผสมอากาศเป็นตัวกระตุ้น สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้คือ ร้อยละผลได้ 68.81 ร้อยละปริมาตรเถ้า 24.35 ค่าการดูดซับไอโอดีน 973.28 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 227.03 มิลลิกรัมต่อกรัม พื้นที่ผิวแบบบีอีที 1245.76 ตารางเมตรต่อกรัม จากการวิเคราะห์พบว่าสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีค่าใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะเยาหินได้

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต...

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก...................

ปีการศึกษา 2554

5272240723: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY
KEYWORDS : ACTIVATED CARBON / CARBONIZATION / ACTIVATION / CANDLENUT SHELL

JATURAPAT LESTWIPAPAT : PREPARATION OF ACTIVATED CARBON FROM CANDLENUT SHELL BY SUPERHEATED-STEAM ACTIVATION. ADVISOR : ASSOC.PROF. THARAPONG VITISANT, Ph.D., 89 pp.

This research was focused on preparation of activated carbon from candlenut shell by a two-step at process : the first step was carbonization. The studied variables were temperatures of 350 400 450 and 500 °C and reaction of times 30 60 90 and 120 min. The optimum condition of carbonization was contained temperature of reaction 500 °C and contained time 90 min, giving charcoal yield of 43.08 % solid product volatile matter of 21.23 % and fixed carbon 64.50 %. The second step was activation. The investigated variables were temperatures of 350 400 450 and 500 °C, reaction of times 30 60 90 and 120 min, activating agents and particle size. The optimum condition of activation was 800°C, time 90 min, the mixture of steam and air activating agents and particle size 2.36-4.75 mm. The characteristics prepared activated carbon was yield 68.81 %, ash 24.35 %, iodine number 973.28 mg/g, methylene blue 227.03 mg/g and BET surface area 1245.76 m^2/g. The analysis found that properties of activated carbon that it will be close to commercial-grade activated carbon. Thus, this research can be adopted to produce activated carbon from candlenut shell.

Department : Chemical Technology	Student's Signature ....
Field of Study : Chemical Technology	Advisor's Signature ....
Academic Year : 2011	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จได้ดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งรองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำและให้ข้อคิดเห็นต่างๆที่ช่วยให้งานวิจัยดำเนินไปได้ด้วยดี พร้อมกันนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ ที่กรุณามาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนีรัตน์ พิพัฒน์มโนมัย ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการเรื่องต่างๆรวมถึงการซ่อมเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้งขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ เคมีเทคนิคทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือและให้คำปรึกษาและคำแนะนำดีๆ เสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อไทย……	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……	จ
กิตติกรรมประกาศ……	ฉ
สารบัญ……	ช
สารบัญตาราง……	ฎ
สารบัญภาพ……	ฎ
บทที่	
1 บทนำ……	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย……	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย……	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย……	2
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย……	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย……	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……	4
2.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์……	4
2.2 วัตถุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์……	4
2.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์……	4
2.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ……	4
2.3.1.1 ความชื้น……	4
2.3.1.2 การลดขนาด……	4
2.3.1.3 การกักเก็บวัตถุดิบ……	5
2.3.2 การคาร์บอไนเซชั่น……	5
2.3.3 การกระตุ้น……	7
2.3.3.1 การกระตุ้นทางเคมี……	7
2.3.3.2 การกระตุ้นทางกายภาพ……	9
2.4 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์……	13

บทที่ หน้า

2.5 ถ่านกัมมันต์ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม…………………………… 16
2.5.1 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง…………………………………………………….. 16
2.5.2 ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดและอัดเม็ด……………………..……………... 18
2.5.3 ถ่านกัมมันต์ชนิดขึ้นรูป………………………………………………. 18
2.6 การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์…………………………………………. 19
2.6.1 สมบัติทั่วไปของถ่านชาร์หรือถ่านกัมมันต์…………………………… 19
2.6.1.1 ปริมาณสารระเหย………………………………………. 19
2.6.1.2 ปริมาณความชื้น…………………………………………… 20
2.6.1.3 ปริมาณเถ้า………………………………………………… 20
2.6.2 สมบัติทางกายภาพ…………………………………………………... 20
2.6.2.1 พื้นที่ผิว………………………………………………….. 20
2.6.2.2 ความหนาแน่นปรากฏ……………………………………... 25
2.6.2.3 ค่าความแข็ง/ ค่าการขัดถู………………………………….. 25
2.6.2.4 ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคถ่าน………………….. 25
2.6.3 สมบัติทางเคมี………………………………………………………... 26
2.6.3.1 การดูดซับไอโอดีน………………………………………… 26
2.6.3.2 การดูดซับเมทิลีนบลู……………………………………… 26
2.6.3.3 โมลาสนัมเบอร์…………………………………………….. 27
2.6.3.4 แทนนิน………………………………………………….. 27
2.6.3.5 การดูดซับคาร์บอนเตตระคลอไรด์……………………….. 27
2.7 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์……………………………………………………. 27
2.7.1 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดของเหลว……………………….. 27
2.7.2 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดแก๊สและไอ……………………… 28
2.8 มะเยาหิน……………………………………………………………………... 28
2.8.1 ลักษณะทั่วไปของมะเยาหิน………………………………………… 28
2.8.2 การปลูกต้นมะเยาหิน………………………………………………... 29
2.8.3 ผลผลิตที่ได้จากการปลูกมะเยาหิน………………………………….. 29
2.8.4 น้ำมันจากเมล็ดมะเยาหิน……………………………………………. 29

บทที่		หน้า
	2.8.5 ประโยชน์ของน้ำมันมะเยาหิน…………………………………………..	30
	2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…………………………………………………………	31
3	วิธีดำเนินการวิจัย……………………………………………………………...	36
	3.1 รูปแบบการศึกษา………………………………………………………..	36
	3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย…………………………………...	36
	3.3 สารเคมี……………………………………………………………………..	37
	3.4 การเตรียมวัตถุดิบ…………………………………………………………	38
	3.5 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง……………………………………………..	38
	3.5.1 วิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของกะลามะเยาหิน……………………	38
	3.5.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของกะลามะเยาหิน………………………	39
	3.5.3 การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อน……………………………..	39
	3.5.4 การคาร์บอไนเซชัน……………………………………………………	39
	3.5.5 การกระตุ้น……………………………………………………………	40
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล………………………………………………………………	43
	4.1 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆของกะลามะเยาหิน………………………………..	43
	4.1.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของกะลามะเยาหิน……………………..	43
	4.1.2 การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของกะลามะเยาหินด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก…………………………………………...	44
	4.2 การคาร์บอไนต์กะลามะเยาหิน………………………………………………	46
	4.2.1 ผลของเวลาในการคาร์บอไนต์ของกะลามะเยาหิน…………………..	47
	4.2.2 ผลของอุณหภูมิในการคาร์บอไนต์ของกะลามะเยาหิน………………	50
	4.3 การกระตุ้นถ่านชาร์จากกะลามะเยาหิน……………………………………...	53
	4.3.1 การกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง………………………………………	53
	4.3.1.1 ผลของเวลาในการคาร์บอไนต์ของกะลามะเยาหิน………..	54
	4.3.1.2 ผลของอุณหภูมิในการคาร์บอไนต์ของกะลามะเยาหิน……	57
	4.3.2 การกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งผสมกับอากาศ……………………….	60
	4.3.3 ขนาดอนุภาค……………………………………………………………	63
	4.4 ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์………………………………………	64

บทที่ หน้า

5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ………………………………………………….. 67
5.1 สรุปผลการวิจัย……………………………………………………………. 67
5.1.1 ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านชาร์จากกะลามะเยาหิน………… 67
5.1.2 ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลามะเยาหิน……. 67
5.2 ข้อเสนอแนะ………………………………………………………………….. 68
รายการอ้างอิง……………………………………………………………………………... 69
ภาคผนวก…………………………………………………………………………………….. 74
ภาคผนวก ก………………………………………………………………………... 75
ภาคผนวก ข………………………………………………………………………... 78
ภาคผนวก ค………………………………………………………………………... 79
ภาคผนวก ง……………………………………………………………………….... 80
ภาคผนวก จ………………………………………………………………………... 85
ภาคผนวก ฉ………………………………………………………………………... 88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์…………………………………………………………………. 89

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง……………………	17
2.2	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด…………………	17
2.3	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดเม็ด………………	18
2.4	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง…………………	19
4.1	การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของกะลามะเยาหิน………………………………..	43
4.2	ค่าการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านชาร์จากกะลามะเยาหินจากการคาร์บอไนซ์ ณ ภาวะต่างๆ…………………………………………………………………	46
4.3	สมบัติของถ่านกัมมันต์จากกะลามะเยาหิน ขนาดอนุภาค 2.36-4.75 มิลลิเมตร ด้วยอัตราการไหลของไอน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ………………………………………………………………………..	53
4.4	การเปรียบเทียบสมบัติต่างๆของถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในภาวะแก๊สออกซิไดซ์ต่างชนิดกัน……………………………………	61
4.5	สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศ โดยขนาดอนุภาคถ่านชาร์ต่างๆกัน……………………………………………………………...	63

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอไนซ์………………………………....	5
2.2	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์………………	8
2.3	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากกระตุ้นด้วยไอน้ำ……………………………..	10
2.4	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากกระตุ้นทางกายภาพโดยกำจัดฟีนอลและน้ำ…..	10
2.5	โครงสร้างของกราไฟต์…………………………………………………………	14
2.6	ลักษณะวงเบนซินที่เชื่อมกันเป็นแผ่นซ้อนกัน………………………………………	14
2.7	การเคลื่อนที่ของไพอิเล็กตรอนในโครงสร้างของถ่านและถ่านกัมมันต์…………	14
2.8	ลักษณะของรูพรุนในถ่านกัมมันต์………………………………………………..	15
2.9	ลักษณะกราฟไอโซเทอมของการดูดซับทั้ง 5 ชนิด………………………………	21
2.10	โครงสร้างทางเคมีของเมทิลีนบลู……………………………………………...	26
3.1	ลักษณะของผลมะเยาหินที่ใช้ในการทดลอง……………………………………	38
3.2	กระป๋องอลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลอง……………………………………………	40
3.3	แผนภาพเครื่องมือและอุปกรณ์ในขั้นตอนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์……………..	42
4.1	การสลายตัวทางความร้อนของกะลามะเยาหินภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก…………………………………………………………	45
4.2	ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณของผลิตภัณฑ์ ณ อุณหภูมิต่างๆ………………………………………………………………………..	47
4.3	ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณสารระเหย ณ อุณหภูมิต่างๆ………………………………………………………………………..	47
4.4	ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณเถ้า ณ อุณหภูมิต่างๆ………………………………………………………………………..	48
4.5	ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของคาร์บอนคงตัว ณ อุณหภูมิต่างๆ………………………………………………………………………..	48
4.6	ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆ………………………………………………………………………..	50

ภาพที่		หน้า
4.7	ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณสารระเหย ณ เวลาต่างๆ…………………………………………………………………………..	50
4.8	ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณเถ้า ณ เวลาต่างๆ…………………………………………………………………………..	51
4.9	ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของคาร์บอนคงตัว ณ เวลาต่างๆ…………………………………………………………………………....	51
4.10	ผลของเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ณ อุณหภูมิต่างๆ…………………………………………………………………………....	54
4.11	ผลของเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อร้อยละของปริมาณเถ้า ณ อุณหภูมิต่างๆ…………………………………………………………………………..…	54
4.12	ผลของเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน ณ อุณหภูมิต่างๆ………	55
4.13	ผลของเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู ณ อุณหภูมิต่างๆ…..	55
4.14	ผลของเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิต่างๆ…………………………………………………………………………..	56
4.15	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆ…………………………………………………………………………..	57
4.16	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อร้อยละของปริมาณเถ้า ณ เวลาต่างๆ…….	58
4.17	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน ณ เวลาต่างๆ………	58
4.18	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู ณ เวลาต่างๆ…..	59
4.19	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ณ เวลาต่างๆ…………………………………………………………………………..	59
4.20	ลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวอย่าง……………………………………………....	64
4.21	ลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์………………………………………….	65

บทที่1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในภาวะปัจจุบันมีแนวโน้มการใช้งานถ่านกัมมันต์ (Actived carbon) ภายในประเทศที่สูงขึ้นเรื่อยๆ โดยมีการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี 2550 ประเทศไทยมีการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ ในปริมาณ 4,435,887 กิโลกรัม ราคาเฉลี่ย 50.03 บาทต่อกิโลกรัม เพิ่มเป็นปริมาณ 6,323,241 กิโลกรัม ราคาเฉลี่ย 69.13 บาทต่อกิโลกรัม ในปี 2553 และปริมาณการส่งออกถ่านกัมมันต์ของประเทศไทยมีค่าเพิ่มขึ้น ในปี 2550 ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกถ่านกัมมันต์ปริมาณ 9,309,014 กิโลกรัม ราคาเฉลี่ย 28.30 บาทต่อกิโลกรัม เพิ่มเป็นปริมาณ 7,617,107 กิโลกรัม ราคาเฉลี่ย 46.69 บาทต่อกิโลกรัม ในปี 2553 (ที่มา กรมศุลกากร) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศที่เพิ่มขึ้นในปริมาณเล็กน้อย และการส่งออกถ่านกัมมันต์ของประเทศไทยเพื่อส่งขายไปต่างประเทศ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศไทยได้รับความเชื่อถือจากต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น โดยพิจารณาจากปริมาณการส่งออกที่สูงขึ้น แต่เมื่อเทียบราคาขายต่อกิโลกรัมของการนำเข้าและส่งออกถ่านกัมมันต์ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในประเทศไทยยังไม่มีประสิทธิภาพที่ดีพอเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากต่างประเทศ ซึ่งการใช้งานถ่านกัมมันต์จะใช้ในการบำบัดของเสียในน้ำ ทำน้ำดื่ม หรือการกำจัดมลภาวะในอากาศ อีกทั้งยังใช้ในอุตสาหกรรมการฟอกสี กำจัดกลิ่นในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งการใช้งานกับวัตถุประสงค์ดังกล่าวยิ่งต้องมีการส่งเสริมการใช้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพ เนื่องจากมีมาตรการที่เข้มงวดเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานการผลิตอาหารที่สะอาด ดังนั้นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์น่าจะเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย ราคาถูก ซึ่งวัสดุที่เหมาะสมอย่างยิ่งคือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต จะสามารถนำของเสียจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ได้ และสามารถนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มาเพื่อใช้งานภายในประเทศหรือเพื่อการส่งออก และเป็นการเพิ่มแรงจูงใจให้ผู้บริโภคหันมาซื้อถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น เป็นการช่วยให้เศรษฐกิจไทยดีขึ้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้น

มะเยาหินเป็นพืชพลังงานใหม่ยังไม่เป็นที่รู้จักกันมากนัก แต่เดิมปลูกมากในประเทศลาวและทางตอนใต้ของประเทศจีน ปัจจุบันทางภาคเหนือของประเทศไทยเริ่มนำมะเยาหินมาเพาะปลูกมากขึ้น โดยจะนำเมล็ดมะเยาหินมาหีบเพื่อเอาน้ำมันออก น้ำมันมะเยาหินที่ได้มีสีเหลืองและมีกลิ่นเฉพาะตัว ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมทำสีและน้ำมันซักแห้ง (Drying Oil) ส่วนประกอบของกะลามะเยาหินมีสองส่วน ส่วนแรกเป็นกะลามีประมาณร้อยละ 68 ส่วนที่สองเป็นส่วนเนื้อมีประมาณร้อยละ 32 เมื่อนำมะเยาหินไปหีบเอาน้ำมันออกจะมีส่วนเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากส่วนใหญ่จะนำไปทิ้งหรือนำไปทำเป็นปุ๋ย จึงเล็งเห็นว่าสามารถนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับส่วนที่เหลือของมะเยาหินได้ โดยกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์มีกระบวนการผลิต 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกคือการคาร์บอไนซ์ โดยตัวแปรที่ใช้ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิและเวลา และขั้นตอนที่สองคือขั้นตอนการกระตุ้น ตัวแปรที่ใช้ศึกษาได้แก่ อนุภาคของถ่านชาร์ อุณหภูมิและเวลา วิธีการกระตุ้นมีสองวิธี คือการกระตุ้นทางกายภาพกับการกระตุ้นทางเคมี เนื่องจากการกระตุ้นทางเคมีทำให้มีสารตกค้างในถ่านกัมมันต์และอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการต้องทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีนั้นๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการใช้การกระตุ้นทางกายภาพ โดยผ่านแก๊สออกซิไดซ์ที่เป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาวิธีการและหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยวิธีกระตุ้นทางกายภาพ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เป็นการศึกษาเชิงการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อเป็นความรู้ในการพัฒนาการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของขั้นตอนการคาร์บอไนเซชัน โดยตัวแปรที่ศึกษาคืออุณหภูมิและเวลาในการคาร์บอไนซ์
3. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของขั้นตอนการกระตุ้นถ่านชาร์จากกะลามะเยาหิน โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ ตัวแปรที่ใช้ศึกษาคือ ขนาดอนุภาคของถ่านชาร์ อุณหภูมิและเวลาในการกระตุ้น
4. ศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1. ค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ
2. เตรียมวัตถุดิบ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
3. วิเคราะห์องค์ประกอบของกะลามะเยาหิน
4. ศึกษาช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของกะลามะเยาหินด้วยเทคนิค TGA เพื่อหาช่วงอุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์
5. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ โดยมีตัวแปรที่ศึกษาดังนี้

   5.1 อุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์ (350, 400, 450 และ 500 องศาเซลเซียส)

   5.2 เวลาในการคาร์บอไนซ์ (30, 60, 90 และ 120 นาที)
6. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นทางกายภาพ โดยมีตัวแปรที่ใช้ศึกษาดังนี้

   6.1 อุณหภูมิในการกระตุ้น (650, 700, 750 และ 800 องศาเซลเซียส)

   6.2 เวลาในการกระตุ้น (30, 60, 90 และ 120 นาที)

   6.3 ขนาดของอนุภาคถ่านชาร์ (0.6-1.18, 1.18-2.36 และ 2.36-4.75 มิลลิเมตร)
7. ศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

   7.1 วิเคราะห์ค่าโดยประมาณ (Proximate analysis)

   7.2 ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine adsorption)

   7.3 ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene blue)

   7.4 ค่าพื้นที่ผิวรูพรุน (BET surface area)

   7.5 ลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์ (SEM)
8. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ได้ภาวะการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลามะเยาหินที่เหมาะสมด้วยวิธีกระตุ้นทางกายภาพ
2. เป็นข้อมูลในการผลิตถ่านกัมมันต์ในเชิงการค้า

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) หมายถึง ถ่านที่มีคุณสมบัติดูดซับสี กลิ่น รส บางชนิดได้เป็นอย่างดี ถ่านชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นรูพรุน ผลิตได้จากถ่านหิน ถ่านไม้ ถ่านกะลามะพร้าว หรือถ่านกระดูก ด้วยกรรมวิธีก่อกัมมันต์ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)

2.2 วัตถุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ควรมีสมบัติดังนี้ มีปริมาณสารระเหยต่ำ มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง ราคาถูกและหาได้ง่าย ในปัจจุบันของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์จำนวนมาก เนื่องจากหาได้ง่ายและมีราคาถูก แต่อย่างไรก็ตามในการผลิตถ่านกัมมันต์จากของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตร วัตถุดิบจากธรรมชาติมีคุณสมบัติไม่คงที่ ถึงแม้ว่าจะเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกัน ทำให้ยากในการควบคุมการกระจายขนาดของรุพรุนในขั้นตอนการผลิต

2.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

2.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เป็นขั้นตอนที่สามารถกำหนดคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยปัจจัยที่ต้องพิจารณามีดังนี้

2.3.1.1 ความชื้น

ความชื้นของวัตถุดิบก่อนเข้าขั้นตอนการคาร์บอไนซ์ควรควบคุม เพื่อลดเวลาและลดมลภาวะในรูปของควัน และสามารถลดพลังงานในการคาร์บอไนซ์ การลดความชื้นสามารถทำได้โดยการอบด้วยเตาอบ หรือการตากแดด

2.3.1.2 การลดขนาด

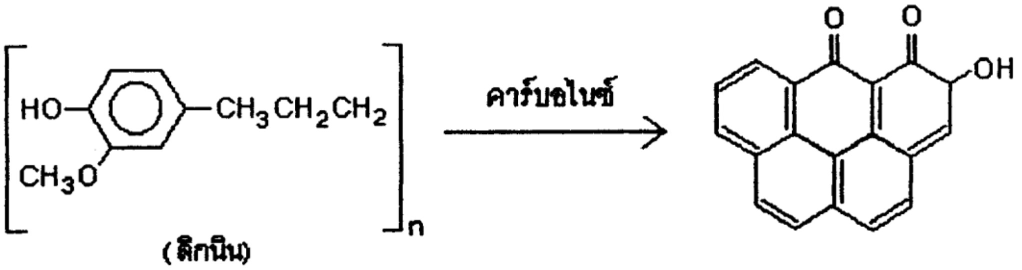
การลดขนาดของวัตถุดิบก่อนเข้าขั้นตอนการคาร์บอไนซ์มีความจำเป็น เพื่อให้ความร้อนกระจายตัวเข้าไปในวัตถุดิบอย่างทั่วถึง

2.3.1.3 การกักเก็บวัตถุดิบ

เมื่อวัตถุดิบผ่านการอบเพื่อลดความชื้น ผ่านการลดขนาดเพื่อให้ความร้อนกระจายอย่างทั่วถึง จะถูกนำไปเก็บในที่กักเก็บที่มิดชิดป้องกันความชื้น เพื่อป้องกันการเกิดความชื้นเนื่องจากฝนและป้องกันการติดไฟได้เองในอากาศร้อน

2.3.2 การคาร์บอไนเซชัน

กระบวนการคาร์บอไนเซชันหรือการคาร์บอไนซ์ เป็นกระบวนการไพโรไรซิสรูปแบบหนึ่งในภาวะอับอากาศหรือภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ เป็นการเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์เกิดการจัดเรียงโครงสร้างใหม่ขึ้นดังภาพที่ 2.1 โดยระหว่างกระบวนการจะมีสารโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น น้ำ สารระเหย และแก๊สต่างๆ ออกมาจากวัตถุดิบ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นของแข็งสีดำ เรียกว่า ถ่านชาร์ (Char)



ภาพที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอไนซ์

ขั้นตอนการคาร์บอไนซ์เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ เพราะเป็นขั้นตอนริเริ่มของโครงสร้างรูพรุน โดยองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช้คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน หลุดออกมาในรูปของแก๊ส และน้ำมันทาร์ โครงสร้างของถ่านชาร์จะเกิดการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้เกิดช่องว่างรูพรุนขึ้น สัดส่วนคาร์บอนเพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบเริ่มต้น โดยขั้นตอนการคาร์บอไนซ์แบ่งได้ 3 ขั้นตอน (วิจิตร จินดาพันธ์ไพโรจน์, 2543) ดังนี้

1. จะมีการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างวัตถุดิบที่ช่วงอุณหภูมิ 27-197 องศาเซลเซียส
2. เข้าสู่ขั้นตอนการไพโรไลซิสโดยเกิดแก๊สและนำมันทาร์ในโครงสร้างที่ช่วงอุณหภูมิ 197–497 องศาเซลเซียส

3. เป็นช่วงที่มีการเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านชาร์ โดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงไปมาก ที่ช่วงอุณหภูมิ 497–847 องศาเซลเซียส

ปัจจัยในกระบวนการคาร์บอไนซ์ที่ทำให้ถ่านมีสมบัติที่ต้องการมีดังนี้

1. อุณหภูมิ และเวลา

อุณหภูมิจะมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณการเกิดถ่านชาร์จะลดลง เพราะการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบนั้น

2. อัตราการให้ความร้อน

อัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อการจัดเรียงตัวคาร์บอนในโครงสร้างถ่านชาร์ เมื่อเพิ่มอัตราความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมารสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็วทำให้ถ่านที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาจะสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ด้วยอัตราความร้อนที่ต่ำ เพราะถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่เมื่อทำการกระตุ้น สารกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

3. ตัวกลางของปฏิกิริยา (Medium of reaction)

ตัวกลางของปฏิกิริยาจะมีผลต่อปฏิกิริยา ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สเฉื่อยเช่น แก๊สไนโตรเจน ปริมาณถ่านชาร์ที่ได้จะมากกว่าตัวกลางชนิดอื่น แต่ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้จะมีปริมาณถ่านชาร์น้อยกว่าตัวกลางที่เป็นแก๊สเฉื่อยแต่ถ่านชาร์ที่ได้จะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้น

4. ธรรมชาติของวัตถุดิบ

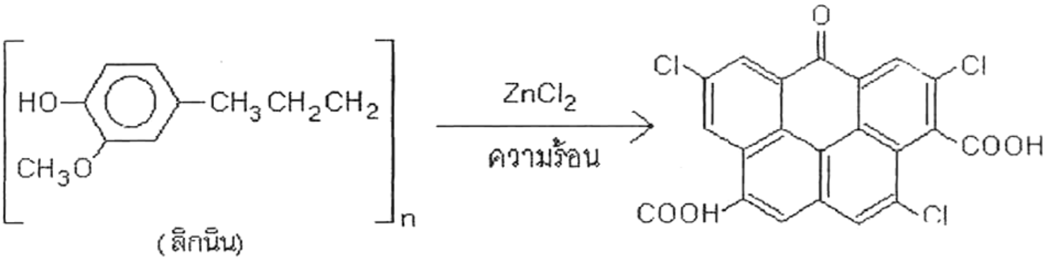
วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกัน โดยถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกัน เพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีที่สุด ซึ่งจะเหมาะกับการนำไปใช้ในระบบที่เหมาะสมต่อไป

2.3.3 การกระตุ้น

การกระตุ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านชาร์ให้มากขึ้น ทำให้ถ่านชาร์มีรูพรุนและมีความสามารถในการดูดซับสารมากขึ้น หรือเป็นการเพิ่มความว่องไวให้กับผิวถ่านชาร์ และประสิทธิภาพของการกระตุ้นจะขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการอื่นๆก่อนการกระตุ้นด้วย วัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทั้งที่เป็นสายโซ่และเป็นวง เช่น เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วการกระตุ้นมี 2 วิธีในการผลิตถ่านกัมมันต์คือ

2.3.3.1 **การกระตุ้นทางเคมี** (chemical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น โดยแสดงตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาดังภาพที่ 2.2 ข้อดีของวิธีการกระตุ้นนี้คือใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก คือ 400–600 องศาเซลเซียส แต่มีข้อเสียคือ มีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมี รวมถึงเครื่องมือที่ใช้ก็ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อน



ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจากการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์

ในการผลิตถ่านกัมมันต์ทางการค้าโดยใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมี โดยทั่วไปจะใช้ซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริก โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด โดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ผสมกับวัตถุดิบใช้อุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส การใช้อุณหภูมิที่ต่ำโดยช่วงอุณหภูมิมีผลต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ หลังจากนี้จะนำไปทำการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600-850 องศาเซลเซียส ซึ่งกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะคำนึงถึงประสิทธิภาพในการนำเอาซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่เป็นอย่างมาก ด้วยประสิทธิภาพการนำซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่ที่ค่อนข้างจำกัด ประกอบกับปัญหาการกัดกร่อนต่อเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้การใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นในระยะหลังจึงลดลงบ้าง
- การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น จะใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ค่อนข้างต่ำคือ 400-500 $^{\circ}$C ซึ่งการใช้กรดฟอสฟอริกนั้นสามารถผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่โดยยังได้กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ได้คือ

1. อัตราส่วนของลิกนินต่อเซลลูโลสในวัตถุดิบ
2. อัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบ
3. อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น
4. อัตราการให้ความร้อน

2.3.3.2 **การกระตุ้นทางกายภาพ** (physical activation)

เป็นวิธีการเพิ่มปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวโดยปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification) ด้วยแก๊สออกซิไดซ์ที่ช่วงอุณหภูมิ 700-1000 องศาเซลเซียส แก๊สที่ใช้โดยทั่วไปคือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และอากาศ โดยอาจใช้ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือรวมแก๊สดังกล่าวก็ได้

ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ยังเป็นตัวดูดซับที่ไม่ดีจึงต้องทำการกระตุ้นให้ได้ถ่านที่มีการดูดซับสูงขึ้น โดยใช้การกระตุ้นเพื่อให้ถ่านชาร์ทำปฏิกิริยากับแก๊สที่เป็นตัวออกซิไดซ์ ดังสมการที่ 2.1-2.4

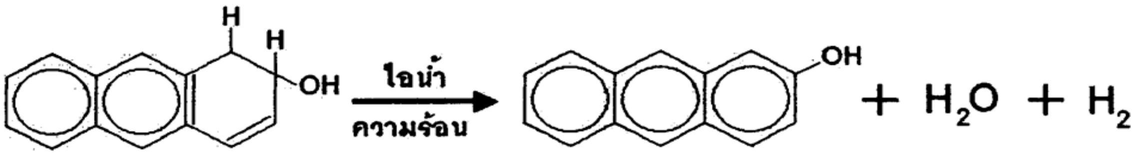
$$H_2O + C_X \longrightarrow H + CO + C_{x-1} \quad (800\text{-}900\ ^{o}C)\ldots\ldots\ldots(2.1)$$

$$CO_2 + C_x \longrightarrow 2CO + C_{x-1} \quad (800\text{-}900\ ^{o}C)\ldots\ldots\ldots(2.2)$$

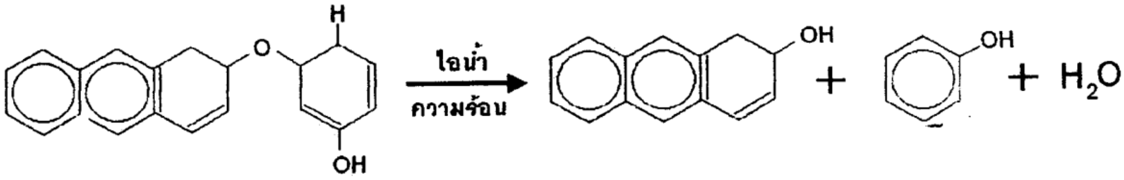
$$O_2 + C_x \longrightarrow 2CO + C_{x-2} \quad (800\text{-}900\ ^{o}C)\ldots\ldots\ldots(2.3)$$

$$O_2 + C_x \longrightarrow CO_2 + C_{x-1} \quad (\text{ต่ำกว่า } 600\ ^{o}C)\ldots\ldots\ldots(2.4)$$

บนผิวของคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ แสดงดังภาพที่ 2.3 และ 2.4 โดยเกิดการจัดเรียงตัวขึ้นใหม่ในโครงสร้าง ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่าน การใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวเป็นตัวกระตุ้นจะต้องใช้ความร้อนสูงมากถึง 1200 องศาเซลเซียส และสมบัติที่พบคือถ่านกัมมันต์ที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือไอน้ำร่วมกับความร้อน ข้อดีของการกระตุ้นวิธีนี้คือไม่มีสารเคมีตกค้าง แต่มีข้อเสียคือต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าวิธีกระตุ้นด้วยสารเคมี



ภาพที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากกระตุ้นด้วยไอน้ำ



ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากกระตุ้นทางกายภาพโดยกำจัดฟีนอลและน้ำ

การกระตุ้นทางกายภาพเป็นการกระตุ้นแบบ 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนการคาร์บอไนซ์กับขั้นตอนการกระตุ้นถ่านชาร์ที่อุณหภูมิสูงภายใต้แก๊สออกซิไดซ์ที่เหมาะสม เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ หรือการผสมกับของแก๊สออกซิไดซ์ ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้นคือ (ถ่านกัมมันต์, 2553)

1. โครงสร้างของคาร์บอนหรือถ่านชาร์ที่นำมากระตุ้น
2. สารอนินทรีย์ปนเปื้อนที่อยู่ในเนื้อคาร์บอน
3. ชนิดของแก๊สออกซิไดซ์
4. อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
5. ความดันของแก๊ส
6. เวลาในการเกิดปฏิกิริยา
7. ขนาดอนุภาคของถ่านชาร์

ในกระบวนการกระตุ้น อะตอมคาร์บอนทำปฏิกิกริยากับแก๊สออกซิไดซ์ เกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันกับถ่านกลายเป็นแก๊สคาร์บอไดออกไซด์และแก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์ กลายเป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านจากขั้นตอนการคาร์บอไนซ์จะมีรูพรุนเล็กๆจำนวนมากที่เกิดจากช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอน รูพรุนที่เกิดขึ้นนี้จะมีปริมาณทาร์ที่เกิด

จากการสลายตัวด้วยความร้อน และคาร์บอนอสัณฐานจะขัดขวางการเกิดรูพรุน ดังนั้นการกระตุ้นจึงเป็นทั้งการเปิดรูพรุน และเป็นการสร้างรูพรุนใหม่ขึ้นจากการจัดเรียงตัวของโครงสร้างให้เป็นระเบียบมากขึ้น ชนิดของแก๊สออกซิไดซ์ที่ใช้ในการกระตุ้นโดยส่วนใหญ่มีดังนี้

- การกระตุ้นด้วยไอน้ำ ไอน้ำถือได้ว่าเป็นตัวกระตุ้นทางกายภาพที่มีการใช้กันมาก เนื่องจากโมเลกุลของน้ำ เป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยไอน้ำมีข้อดีคือ โมเลกุลของน้ำเป็นโมเลกุลที่เล็กจะสามารถแพร่เข้าไปได้อย่างรวดเร็วในโครงสร้างรูพรุนที่มีขนาดเล็กได้ และเกิดปฏิกิริยาที่รวดเร็ว คือเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถึงสามเท่า ในสภาวะความดัน 10 กิโลพาสคัลและอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาในการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำแสดงดังสมการ 2.5

$$C + H_2O = CO + H_2 \qquad \Delta H = +117 \text{ kJ mol}^{-1} \text{.............(2.5)}$$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน และเป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อน จึงสมมุติเป็นปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันของถ่านชาร์ โดยเขียนอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (r) แบบ Langmuir – Hinshellwood ได้ดังสมการ 2.6

$$r = \frac{k_1 p_{H_2O}}{1 + k_2 p_{H_2O} + k_3 p_{H_2}} \qquad (2.6)$$

ซึ่ง P_{H2O} คือ ความดันย่อยของไอน้ำ

P_{H2} คือ ความดันย่อยของแก๊สไฮโดรเจน

k_1, k_2, k_3 คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

อย่างไรก็ตามในปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จะมีการยับยั้งปฏิกิริยาโดยเกิดจากแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นเข้าไปเกาะติดบนตำแหน่งว่องไวบนผิวของคาร์บอน ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง

- การกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.7

$C + CO_2 = 2CO \qquad \Delta H = +159\ kJmol^{-1}$……………..(2.7)

ปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนเช่นเดียวกับไอน้ำ ซึ่งอัตราการปฏิกิริยาแสดงดังสมการที่ 2.8

$$r = \frac{k_1 p_{CO_2}}{1 + k_2 p_{CO} + k_3 p_{CO_2}} \qquad (2.8)$$

ซึ่ง P_{CO2} คือ ความดันย่อยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

P_{CO} คือ ความดันย่อยของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

K_1, k_2, k_3 คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

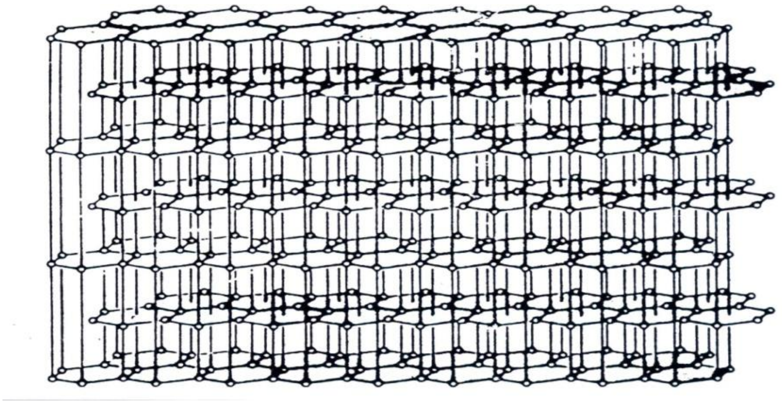
ในการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ในช่วง 800 – 900 องศาเซลเซียส ในปฏิกิริยานี้จะมีการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาขึ้นโดยเกิดจาก แก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจน โดยแก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.9

$C(O) + CO = C + CO_2$ ……………………(2.9)

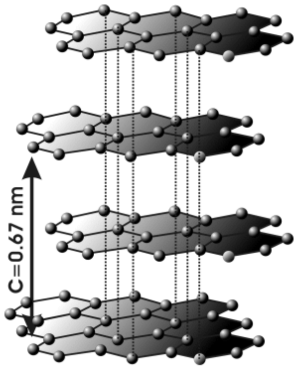
- การกระตุ้นด้วยอากาศเป็นการกระตุ้นแก๊สออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดซ์กับอะตอมคาร์บอนทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สคาร์บอมอนอไซด์ โดยการกระตุ้นด้วยอากาศเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นจะใช้ต่ำกว่าแก๊สชนิดอื่นๆ แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเผาไหม้กับอะตอมคารืบอนได้ง่าย ทำให้ยากต่อการควบคุมจึงมีการใช้อากาศผสมกับแก๊สออกซิไดซ์ชนิดอื่นๆ

2.4 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

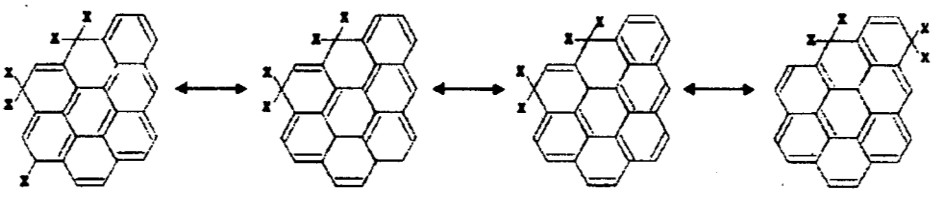
โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ มีลักษณะคล้ายกราไฟต์ (Graphite) กล่าวคือ อะตอมของคาร์บอนเรียงตัวเป็นชั้น ๆ แสดงดังภาพที่ 2.5 เมื่อถ่านชาร์จากขั้นตอนการคาร์บอไนซ์จะเกิดการสร้างวงอะโรมาติก โดยอะตอมคาร์บอนจะสร้างพันธะอิเล็คตรอนจากชั้น 2s จำนวน 2 ตัว และชั้น 2p จำนวน 2 ตัว เกิดการไฮบริไดเซชันโดยเปลี่ยนการใช้อิเล็คตรอนจากชั้น 2s จำนวน 1 ตัว และชั้น 2p จำนวน 2 ตัว และมีอิเล็คตรอนอิสระจากชั้น 2p อีก 1 ตัว (sp^2 Hybridization) จึงเกิดพันธะแบบซิกมา (Sigma bond) กับคาร์บอนอะตอมที่อยู่ข้างเคียง 3 ตัวเรียงกันเป็นรูปสามเหลี่ยมในระนาบเดียวกันและอิเล็คตรอนอิสระที่เหลือจะโคจรอยู่บนและล่างของระนาบ พร้อมที่จะเกิดพันธะแบบไพ (¶-bond) ในที่สุดจะเกิดเป็นวงแหวนอะโรแมติกที่มีอิเล็คตรอนเคลื่อนที่ (Resonance) ได้ทั่วโครงสร้างซึ่งเรียกว่าวงเบนซินหรือวงอะโรแมติก วงเบนซินแต่ละวงจะเชื่อมติดกันจนมีลักษณะเป็นแผ่น และแผ่นของวงเบนซินหลายแผ่นเรียงตัวกันเป็นชั้นๆอย่างไม่เป็นระเบียบ จะมีการผลักกันระหว่างชั้น โดยไพอิเล็คตรอนที่อยู่จะเคลื่อนที่บนและล่างของแต่ละชั้นแต่ละชั้นห่างกันประมาณ 0.335 นาโนเมตร แสดงดังภาพที่ 2.6 โดยมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้น คือแรงแวนเดอวาลส์ซึ่งเป็นแรงที่ไม่ค่อยแข็งแรง และแต่ละชั้นประกอบไปด้วยกลุ่มอะตอมคาร์บอนที่มีโครงสร้างลักษณะเป็นรูปหกเหลี่ยม โดยอะตอมคาร์บอนแต่ละอะตอมจะใช้ซิกมาอิเล็กตรอนสร้างพันธะเดี่ยวกับอะตอมข้างเคียง 3 อะตอม และความยาวพันธะระหว่างอะตอมภายในชั้นประมาณ 0.144 นาโนเมตร อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งตัวจะเป็นไพอิเล็กตรอนใช้ในการสร้างพันธะที่ไม่อิ่มตัวคือพันธะคู่ ถ่านกัมมันต์แต่โดยทั่วไปจะมีอิเล็กตรอนไม่ครบคู่ ทำให้อะตอมคาร์บอนบางตัวต้องรับอิเล็กตรอนดังกล่าวไว้ จึงมีความหนาแน่นประจุสูง อะตอมดังกล่าวจึงปล่อยให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังอะตอมข้างเคียงเพื่อลดความหนแน่นของประจุ แสดงดังภาพที่ 2.7 เพื่อทำให้โครงสร้างเสถียรยิ่งขึ้น (ถ่านกัมมันต์, 2553)



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของกราไฟต์



ภาพที่ 2.6 ลักษณะวงเบนซินที่เชื่อมกันเป็นแผ่นซ้อนกัน



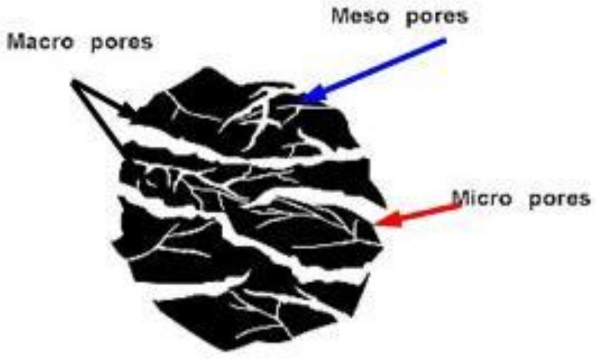
ภาพที่ 2.7 การเคลื่อนที่ของไพอิเล็กตรอนในโครงสร้างของถ่านและถ่านกัมมันต์

ความพรุน (Porosity) ของถ่านกัมมันต์ จะมีปริมาตรความพรุนอยู่ระหว่าง 0.5-1.5 ml/g โดยสามารถแบ่งรูพรุนออกเป็น 3 ขนาด โดยขนาดรูพรุนต่างๆแสดงได้ดังภาพที่ 2.8 (ถ่านกัมมันต์, 2553)

1. รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) ขนาดของรูพรุนขนาดใหญ่ที่พบในถ่านกัมมันต์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 5,000-20,000 อังสตรอม ปริมาตรความพรุนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-0.8 ml/g และพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดใหญ่จะมีค่าน้อยกว่า 2 m^2/g

2. รูพรุนขนาดกลาง (Transitional Pores) จะมีรัศมีอยู่ระหว่าง 20-1,000 อังสตรอม จะมีปริมาตรความพรุนอยู่ระหว่าง 0.02-0.1 ml/g และจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด

3. รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) จะมีรัศมีน้อยกว่า 20 อังสตรอม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6-8 อังสตรอม จะมีปริมาตรความพรุนมีอยู่ระหว่าง 0.15-0.5 ml/g และจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะอย่างน้อยที่สุด 95 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด



ภาพที่ 2.8 ลักษณะของรูพรุนในถ่านกัมมันต์

2.5 ถ่านกัมมันต์ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 900-2547)

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆมีหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเคมีและเภสัชกรรม ใช้ฟอกสีในอุตสาหกรรมอาหาร น้ำตาล น้ำมันพืช น้ำอัดลม โมโนโซเดียมแอล-กลูตาเมต (Monosodium L-Glutamate) ใช้ดูดก๊าซในก้นกรองบุหรี่ เครื่องทำให้อากาศบริสุทธิ์ในโรงงาน และใช้ในการกรองน้ำ

ถ่านกัมมันต์ แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ

- ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (powdered activated carbon)
- ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (granular activated carbon) แบ่งออกได้เป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ
  - ชั้นคุณภาพพิเศษ (premium grade)
  - ชั้นคุณภาพที่ 1 (first grade)
- ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดเม็ด (pelletised activated carbon)
- ถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง (block activated carbon)

2.5.1 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (powdered activated carbon)

ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ลักษณะทั่วไปเป็นผงสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้ ขนาดถ่านกัมมันต์ชนิดผงจะต้องมีปริมาณที่ผ่านแร่ง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก โดยวิธีทดสอบนำตัวอย่างประมาณ 25 กรัม อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง จนได้มวลคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นให้รีบชั่งให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.001 กรัม (m_0) เทตัวอย่างลงในบีกเกอร์ เติมน้ำ 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถึง 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากันทำแร่งให้เปียกก่อนแล้วเทตัวอย่างช้าๆผ่านแร่ง ในขณะที่เทให้คนตัวอย่างเป็นครั้งคราว ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ออกให้หมด เมื่อเทตัวอย่างทั้งหมดลงบนแร่งแล้วใช้น้ำล้างตัวอย่างอีกจนกระทั่งไม่มีตัวอย่างผ่านแร่งอีก ถ่ายตัวอย่างที่ค้างบนแร่ง โดยใช้น้ำช่วยใส่ลงในบีกเกอร์แล้วกรองผ่านกูชครูซิเบิลซึ่งทราบมวลแน่นอนแล้ว นำกูชครูซิเบิลนั้นไปอบที่

อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมงจนได้มวลคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วรีบชั่งทันที (m_1)

วิธีคำนวณ คำนวณหาปริมาณที่ผ่านแร่ง จากสูตร

$$\text{ปริมาณที่ผ่านแร่ง ร้อยละโดยน้ำหนัก} = \left[1 - \frac{m1}{m0}\right] \times 100$$

เมื่อ m_0 คือ มวลตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งแรกเป็นกรัม

เมื่อ m_1 คือ มวลของตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งที่ 2 เป็นกรัม

สามารถพิจารณาคุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600
ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.20 ถึง 0.75

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
	ชั้นคุณภาพพิเศษ	ชั้นคุณภาพที่ 1
ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	1000	600
ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8	
ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.20	
ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70	

2.5.2 **ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดและอัดเม็ด** (granular activated carbon)

ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ลักษณะทั่วไปเป็นเม็ดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้ ขนาดถ่านกัมมันต์ชนิดผงจะต้องมีปริมาณที่ผ่านแร่ง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยวิธีทดสอบชั่งตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม ใส่ในแร่ง เขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่มีอัตราการเขย่า 285 รอบต่อนาที $\pm$ 5 รอบต่อนาที มีลักษณะการเขย่าเป็นแบบขึ้นลงและหมุนวนพร้อมกัน นาน 3 นาที ถ่ายส่วนที่ค้างบนแร่งทั้งหมดลงในภาชนะที่ทราบมวลแน่นอนแล้ว ชั่งคำนวณส่วนที่ค้างบนแร่งเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก สามารถพิจารณาคุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดเม็ดแสดงดังตารางที่ 2.2 และคุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดอัดเม็ดแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดเม็ด

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600
ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8
ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.20
ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70

2.5.3. **ถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง** (block activated carbon)

ถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง ลักษณะทั่วไปเป็นแท่งสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้ ขนาดถ่านกัมมันต์ชนิดแท่งให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย โดยคุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดเม็ดแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600
ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8

2.6 การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์นั้น ต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่วัตถุดิบที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรด้วยวิธีวิเคราะห์โดยประมาณหรือวิเคราะห์เฉพาะธาตุเพื่อหาคุณสมบัติเบื้องต้น จากนั้นหาสมบัติของถ่านชาร์ที่ได้จากขั้นตอนการคาร์บอไนซ์ จะมีการวิเคราะห์หาสมบัติโดยประมาณอีกทีเพื่อหาค่าปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัวที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากขั้นตอนการกระตุ้น หลังจากที่ถ่านชาร์ผ่านขั้นตอนการกระตุ้นได้เป็นถ่านกัมมันต์แล้ว จะมีการวิเคราะห์โดยประมาณอีกครั้งเพื่อหาปริมาณเถ้าซึ่งเป็นค่าที่มีการกำหนดในการซื้อขายถ่านกัมมันต์ การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เช่น พื้นที่ผิว ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร (bulk density) ค่าความแข็ง และสมบัติทางเคมีเช่น ค่าการดูดซับไอโอดีน ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู โดยรายละเอียดการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติถ่านกัมมันต์มีดังต่อไปนี้

2.6.1 สมบัติทั่วไปของถ่านชาร์หรือถ่านกัมมันต์ (วิจิตร จินดาพันธ์ไพโรจน์, 2543)

2.6.1.1 ปริมาณสารระเหย

ปริมาณสารระเหยเป็นค่ามาตรฐานที่กำหนดใช้ในถ่านหินและโค้ก แต่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับถ่านกัมมันต์ได้ โดยทำการทดสอบได้ดังนี้ นำตัวอย่างมาบดให้มีขนาดเล็กกว่า 0.1 นาโนเมตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 950$\pm$25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที $\pm$10 วินาที ค่าของปริมาณสารระเหยจะเป็นมวลที่หายไปอันเกิดจากการให้ความร้อนแก่ถ่านกัมมันต์

2.6.1.2 **ปริมาณความชื้น**

ปริมาณความชื้นเป็นปริมาณน้ำที่มีอยู่ในถ่านกัมมันต์ หาได้โดยการอบตัวอย่างให้แห้งในเตาอบ การวิเคราะห์ทำได้โดยบดถ่านกัมมันต์ชนิดผงปริมาณ 1-2 กรัม หรือชนิดเม็ด 5–10 กรัม จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ (ประมาณ 3 ชั่วโมง) สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณความชื้นได้จากน้ำหนักที่หายไป

2.6.1.3 **ปริมาณเถ้า**

ปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์นั้นอาจจะมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงและเวลานานค่าปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เถ้าโดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยออกไซด์ นอกจากนั้นจะเป็นสารประกอบพวกซัลเฟต คาร์บอเนต และสารประกอบโลหะอื่นๆของเหล็ก อะลูมิเนียม แคลเซียม โซเดียม โปตัสเซียม แมกนีเซียม ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะมีอยู่ในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะประกอบด้วย ซิลิกอน ซึ่งการกำจัดเถ้าออกจากถ่านกัมมันต์นั้นจะทำได้โดยใช้กรด หากมีเถ้าที่มีองค์ประกอบที่ซับซ้อนมากจะต้องใช้กรดผสมกัน เช่นกรดที่ผสมกันระหว่าง กรดไฮโดรฟลูโอริกและกรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น

2.6.2 **สมบัติทางกายภาพ**

2.6.2.1 **พื้นที่ผิว** (Surface area)

ในการหาค่าพื้นที่ผิวจะต้องใช้ไอโซเทอม (Isotherm) ของการดูดซับ ซึ่งไอโซเทอมจะมีรูปแบบตามธรรมชาติของตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ ความดันย่อยที่ต่างๆเพื่อสร้างไอโซเทอมของการดูดซับ โดยค่าจากไอโซเทอมของการดูดซับจะบอกถึง

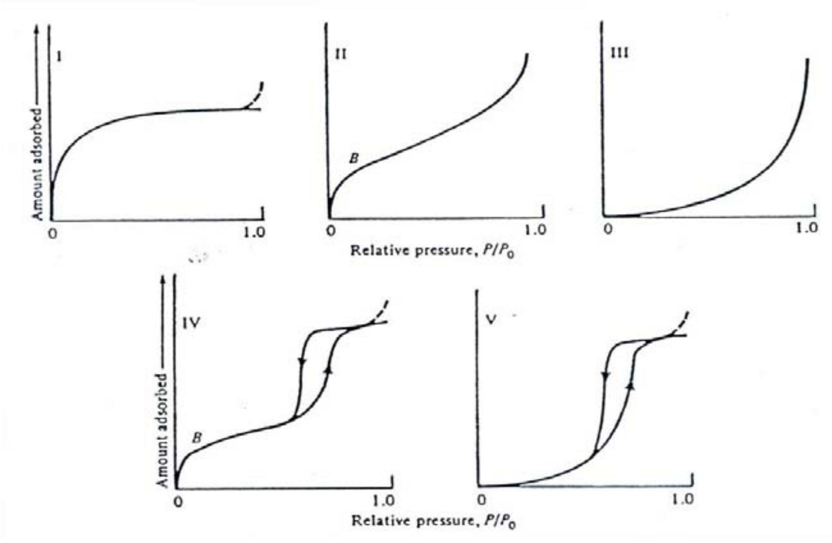
- ค่าของพื้นที่ผิว
- ค่าของปริมาตรรูพรุน
- ทราบลักษณะเคมีพื้นผิว (surface chemistry) ของตัวดูดซับ

- ทราบข้อมูลพื้นฐานของการดูดซับ
- ทราบประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่ใช้ในระบบการแยกหรือการทำให้บริสุทธิ์

ไอโซเทอมของการดูดซับทางกายภาพ ทั้งหมดสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกเสนอโดย Brunauer, Deming, and Teller (BDDT) ปัจจุบันการแบ่งกลุ่มได้ถูกเรียกว่า Brunauer, Emmett and Tellet (BET) classification เมื่อค่าความดันย่อยมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับก็มีค่าเพิ่มขึ้น จนการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว และหลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นแบบหลายชั้นดังแสดงในภาพที่ 2.9

- ไอโซเทอมชนิดที่ 1

ส่วนใหญ่จะเป็นการดูดซับของแข็งที่มีลักษณะรูพรุนขนาดเล็กและดูดซับในรูพรุนขนาดเล็ก ค่าพื้นที่ผิวภายนอก (external surface area) จะต่ำ ที่ความดันย่อยต่ำ ($< 0.1\ p/p_o$) ซึ่งการดูดซับจะเสร็จสมบูรณ์ที่ความดันย่อยประมาณ 0.5 p/p_o ตัวอย่างการดูดซับของไอโซเทอมแบบที่ 1 คือ การดูดซับของไนโตรเจนบนถ่านที่มีรูพรุนขนาดเล็กที่ อุณหภูมิ 77 K การดูดซับของแอมโมเนียบนผิวถ่านชาร์ที่อุณหภูมิ 273 K และการดูดซับบนซีโอไลต์



ภาพที่ 2.9 ลักษณะกราฟไอโซเทอมของการดูดซับทั้ง 5 ชนิด

- ไอโซเทอมชนิดที่ 2

ไอโซเทอมชนิดนี้อาจเรียกว่ารูปแบบ ซิกมอยด์ หรือแบบเอส (sigmoid or S-shaped) เป็นรูปแบบไอโซเทอมการดูดซับของตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุนหรือตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเกิดการดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) จากจุด B จะแสดงถึงการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เสร็จสมบูรณ์ หลังจากจุด B ที่ความดันสูงขึ้นจะเกิดการดูดซับต่อเนื่องจากชั้นแรก และจะเกิดการดูดซับเสร็จสมบูรณ์ที่ความดันย่อยที่สูงขึ้น

- ไอโซเทอมชนิดที่ 3

ไอโซเทอมชนิดนี้เป็นรูปแบบของการดูดซับที่มีแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับที่อ่อน แต่แรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับด้วยกันจะมีค่อนข้างมาก ทำให้มีการรวมตัวกันของตัวถูกดูดซับก่อนที่การดูดซับชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์ ตัวอย่างการดูดซับของไอโซเทอมแบบนี้ คือ การดูดซับของไอน้ำบนผิวถ่านที่ไม่มีรูพรุน

- ไอโซเทอมชนิดที่ 4

ไอโซเทอมชนิดนี้จะพบในสารที่มีขนาดรูพรุนประมาณ 15–1,000 อังสตรอม โดยความชันของกราฟเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเริ่มมีการดูดซับในรูพรุน และการเปลี่ยนระดับของกราฟเมื่อความดันเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการควบแน่นภายในรูพรุนของของแข็ง (capillary condensation in pores) โดยลักษณะกราฟไอโซเทอมในช่วงแรกจะเหมือนกับชนิดที่ 2 ซึ่งจุดเปลี่ยนโค้งหรือจุด B จะแสดงถึงการดูดซับชั้นแรกอย่างสมบูรณ์ตัวอย่างเช่น การดูดซับเบนซีน (benzene) บนไอรอนออกไซด์เจล (iron (III) oxide gel) ที่อุณหภูมิ 320 K

- ไอโซเทอมชนิดที่ 5

ไอโซเทอมชนิดนี้จะพบในสารที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของแก๊สกับผิวของของแข็งน้อย โดยกราฟชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายชนิดที่ 3 แต่ชนิดที่ 5 นี้สามารถเกิดการควบแน่นในรูพรุนได้ สำหรับรูพรุนที่มีขนาดในช่วงเดียวกับชนิดที่ 4 ตัวอย่างเช่น การดูดซับไอน้ำ (water vapor) บน

ถ่านหิน ที่อุณหภูมิ 373 K สำหรับไอโซเทอมชนิดที่ 3 และชนิดที่ 5 นี้จะคำนวณหาพื้นที่ผิวได้ยาก เนื่องจากชั้นการดูดซับชั้นที่ 2 จะถูกสร้างขึ้นก่อนที่ชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์

- การคำนวณพื้นที่ผิวโดยวิธีบีอีที (BET)

เนื่องจากการหาค่าพื้นที่ผิวแบบบีอีทีเป็นการหาแรงในการดูดซับทางกายภาพ จะคล้ายๆกับแรงในการควบแน่น (Liquefaction) ที่เป็นแรงวานเดอร์วาลล์ (Van der Waals force) ดังนั้นการดูดซับทางกายภาพของถ่านทั้งผิวแบนและบนผิวโค้ง ไม่ได้มีเฉพาะการดูดซับแบบชั้นเดียว (monomolecular layer) แต่สามารถเกิดการดูดซับต่อไปเรื่อยๆจนเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multimolecular layer)

ทฤษฎีของบีอีที (Braunauer Emmett and Teller, BET) จะเพิ่มเติมจากทฤษฎีของแลงเมียร์ โดยทฤษฎีของแลงเมียร์จะเป็นทฤษฎีการดูดซับแบบชั้นเดียว ทฤษฎีของบีอีที จะสามารถเกิดการดูดซับแบบหลายชั้น บนพื้นผิวที่ไม่มีรูพรุนได้ โดยจะสมมุติฐานว่าการดูดซับชั้นบนสุดจะเป็นสภาพสมดุลกับไอของแก๊ส คืออัตราการระเหยของชั้นโมเลกุลของชั้นต่างๆจะเท่ากับอัตราการควบแน่น และมีสมมุติฐานอย่างง่ายที่ใช้สำหรับการดูดซับชั้นแรก (first monolayer) ว่าจะใช้พลังงานการดูดซับ (heat of adsorption, ΔH_l) ส่วนการดูดซับชั้นที่สองขึ้นไปจะใช้พลังงานการควบแน่น (heat of liquefaction, ΔH_L) ซึ่งสมการโดยทั่วไปของบีอีที (BET) คือ สมการ (2.10)

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)P}{V_m C P_o} \tag{2.10}$$

เมื่อ P_O คือ ความดันไออิ่มตัว

V_m คือ ปริมาตรการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer capacity)

C คือ ค่าคงที่ ($C \approx \exp[(\Delta H_L - \Delta H_l) / (RT)]$

เมื่อเขียนกราฟค่า {P / [V(P_o – P)]} กับ P/P_O จะได้เส้นตรงความชัน [(C-1) / V_mC] และตัดแกน {P / [V(P_O – P)]} ที่จุด 1/ (V_mC) ซึ่งจะหา V_m ได้

จุดประสงค์หลักของสมการนี้ คือ เพื่ออธิบายไอโซเทอมชนิดที่ 2 และสามารถอธิบายไอโซเทอมชนิดที่ 3 ได้ ในกรณีที่การดูดซับชั้นแรก (monolayer adsorption) คายความร้อนน้อยกว่าการควบแน่น (liquefaction) (C<1) คือ จะสามารถใช้คำนวณหาพื้นที่ผิวจากข้อมูลไอโซเทอมได้แม้ว่าการดูดซับชั้นแรกจะเกิดไม่สมบูรณ์

สมการบีอีที (BET) สามารถใช้กับสารที่มีรูพรุนได้ ถ้าการดูดซับเกิดขึ้น n ชั้น เมื่อ n สัมพันธ์กับขนาดของรูพรุน จะได้ดังสมการ (2.11)

$$V = \frac{V_m CX - (n+1)X^n + nX^{n+1}}{(1-X) + (C-1)X - CX^{n+1}}$$

(2.11)

เมื่อ $X = P/P_O$

สมการนี้เป็นรูปแบบสมการทั่วไป แต่สามารถลดรูปเป็นสมการแลงเมียร์ (Langmuir) ได้ เมื่อ n=1 และเป็นสมการบีอีที (BET) เมื่อ $n = \infty$

วิธีบีอีที (BET) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการคำนวณหาพื้นที่ผิว โดยใช้หลักการคำนวณเหมือนวิธีแลงเมียร์ แต่จะต่างกันตรงการคำนวณค่า V_m โดยกราฟบีอีทีจะเป็นการเขียนกราฟระหว่าง {P / [V(P_O – P)]} กับ P/P_O ซึ่งมักจะได้เส้นตรงในช่วงความดันสัมพัทธ์ P/P_O ระหว่าง 0.05 ถึง 0.35 โดยที่

ความชัน คือ [(C-1) / V_mC]

จุดตัด คือ [1 / V_mC]

จากสมการของจุดตัดและความชันจะได้

V_m = 1 / (จุดตัด + ความชัน)

และจากค่า V_m สามารถคำนวณหาพื้นที่ผิวของสารตัวอย่างได้เช่นเดียวกับวิธีแลงเมียร์

ในความเป็นจริงนั้นการดูดซับทางกายภาพจะไม่เกิดการดูดซับแบบเต็มพื้นที่ผิวอย่างสมบูรณ์ในชั้นแรก เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลแก๊สกับผิวของแข็งมีค่าไม่เท่ากับการดูดซับทางเคมี แต่สมการบีอีทีสามารถคำนวณได้จากจำนวนโมเลกุลที่ใช้ในการปกคลุมพื้นที่ผิวของแข็งจนเต็ม 1 ชั้นได้ แม้ว่าการดูดซับชั้นแรกจะเกิดเฉพาะในการดูดซับทางเคมีเท่านั้น

แม้ว่าสมการบีอีทีจะมีการใช้กันอย่างกว้างขวางเพราะมีรูปแบบของสมมุติฐานที่ง่ายและยังสอดคล้องกับการดูดซับแบบหลายชั้น แต่อย่างไรก็ตามสำหรับสารที่มีรูพรุน จะเกิดปรากฏการณ์ช่องว่าง (hysteresis) จากการควบแน่นในรูพรุน (pore condensation) หรือเมื่อแสดงจุด B บนกราฟของไอโซเทอมไม่ชัดเจน ทำให้ค่าของ V_m ที่คำนวณได้จากสมการบีอีทีจะมีความน่าเชื่อถือลดน้อยลง ตัวอย่างเช่น การดูดซับของซีโอไลต์ จะได้กราฟบีอีทีเป็นเส้นตรงที่มีความดันสัมพัทธ์ต่ำประมาณ 0.01 หรือน้อยกว่านั้น แต่ถ้ายอมรับความผิดพลาดเล็กน้อยได้โดยสามารถประมาณเส้นกราฟบีอีทีเป็นเส้นตรงโดยให้ผ่านจุดเริ่มต้น (origin) และสามารถคำนวณ V_m ได้จากการวัดปริมาตรของแก๊สที่ถูกดูดซับที่ความดันสัมพัทธ์ระหว่าง 0.2 ถึง 0.3 ได้

2.6.2.2 **ความหนาแน่นปรากฏ** (Apparent Density) ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูงหมายความว่าเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับสารได้ในปริมาณที่มาก

2.6.2.3 **ค่าความแข็ง/ ค่าการขัดถู** (Hardness/ Abrasion Number) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความต้านทานการสึกกร่อน การทนต่อแรงเสียดสี และความสามารถในการคงสภาพของถ่านกัมมันต์ต่อกระบวนการล้างวัสดุกรอง (backwashing) โดยค่านี้จะแตกต่างกันอย่างชัดเจนเพราะขึ้นกับชนิดวัตถุดิบและวิธีที่ถ่านถูกกระตุ้น

2.6.2.4 **ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคถ่าน** (Particle Size Distribution) จะพิจารณาที่ความละเอียดของผงถ่าน ซึ่งยิ่งถ่านมีขนาดอนุภาคละเอียดมากก็จะยิ่งเพิ่มพื้นที่ผิว

ของถ่านมากขึ้น โดยจะมีผลให้โมเลกุลของแก๊สสามารถดูดซับเข้าไปในโครงสร้างของถ่านได้เร็วขึ้น และทำให้ความดันของก๊าซในระบบลดลงแต่ไม่มาก ดังนั้นในอุตสาหกรรมจึงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมากมาย

2.6.3 สมบัติทางเคมี

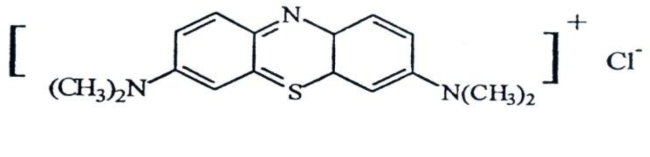
สมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์หาได้จากนำถ่านกัมมันต์ไปดูดซับของเหลวต่างๆ ดังนี้

2.6.3.1 การดูดซับไอโอดีน

การดูดซับไอโอดีนเป็นวิธีที่ง่ายสำหรับการหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ เป็นการหาสารละลายไอโอดีนในหน่วยมิลลิกรัมที่ถูกดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์จำนวน 1 กรัม โดยใช้จุดที่ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนเหลือเท่ากับ 0.02 นอร์มัล ซึ่งสามารถมีค่าแตกต่างจาก 0.02 นอร์มัลได้แต่ให้อยู่ในช่วง 0.007–0.03 นอร์มัล ซึ่งในบางครั้งถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็กสูง ค่าการดูดซับไอโอดีนอาจมีค่าต่ำ เนื่องจากโมเลกุลไอโอดีนไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า 1 นาโนเมตรได้

2.6.3.2 การดูดซับเมทิลีนบลู

การดูดซับเมทิลีนบลูเป็นค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใกล้เคียงกับขนาดโมเลกุลของเมทิลีนบลู ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงของรูพรุนขนาดกลางนั่นคือ มีขนาดใหญ่กว่า 1.5 นาโนเมตร โดยโครงสร้างของโมเลกุลเมทิลีนบลูแสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของเมทิลีนบลู

2.6.3.3 โมลาสนัมเบอร์ (Molass Number) เป็นค่าที่บอกปริมาณของรูพรุนขนาดใหญ่ (macropore) คือรูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 20 อังสตอม หรือมากกว่า 2 นาโนเมตร โดยถ่านที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จำนวนมาก ค่าโมลาสนัมเบอร์จะสูง จะสามารถดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เช่นโมเลกุลของสีได้ดีกว่าถ่านที่มีรูพรุนพรุนเล็ก ซึ่งมีค่าโมลาสนัมเบอร์ที่ต่ำ

2.6.3.4 แทนนิน (Tannin) เป็นสารผสมที่ประกอบด้วยสารโมเลกุลขนาดใหญ่และสารโมเลกุลขนาดกลาง คล้ายกับผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีทั้งรูพรุนขนาดใหญ่ และรูพรุนขนาดกลาง ดังนั้นค่าแทนนินจึงเป็นค่าที่ใช้บอกความสามารถในการดูดซับสารโมเลกุลขนาดใหญ่และกลางของถ่าน และมีหน่วยเป็นพีพีเอ็ม (ppm, part per million คือ ส่วนในล้านส่วน)

2.6.3.5 การดูดซับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride Activity) เป็นการหาความพรุนของถ่านกัมมันต์โดยดูจากค่าการดูดซับไออิ่มตัวของสารคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (ถ่านกัมมันต์, 2553)

2.7 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ (วิจิตร จินดาพันธ์ไพโรจน์, 2543)

ในอุตสาหกรรมมีการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆกัน ขึ้นอยู่กับสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ และแบ่งประเภทการใช้งานหลักๆได้ 2 ประเภท คือ

2.7.1 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดของเหลว

- อุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น
- อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค ใช้ในการฟอกสีแล้ว นอกจากนี้ยังใช้ในการแยกเอาสบู่และเปอร์ออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันได้ด้วย
- อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นและฟอกสีของผลิตภัณฑ์อาหาร
- อุตสาหกรรมเครื่องดื่มและแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ เป็นต้น มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการทำให้เครื่องดื่มที่ได้มีรสชาติดีขึ้น
- อุตสาหกรรมเคมีและยา ถ่านกัมมันต์ใช้ในการผลิตสารเคมีและยาหลายชนิด
- อุตสาหกรรมการทำน้ำให้บริสุทธิ์ โดยใช้เป็นตัวดูดกลิ่นและฟอกสี

- อุตสาหกรรมการแยกสารที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังการสกัดจากแร่ด้วยวิธีไซยาไนด์ การแยกไอโอดีนออกจากน้ำเกลือที่เกิดในหลุมน้ำมัน (petroleum oil-well brines) ตลอดจนการผลิตวิตามินและฮอร์โมนอีกหลายชนิด

- ขนวนการที่มีการใช้สารเร่ง (catalytic process) ถ่านจะทำหน้าที่เป็นตัวพาสารเร่ง (catalyst carrier) ในปฏิกิริยาที่มีการใช้สารเร่งหลายชนิด รวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของตัวเร่งให้ดีขึ้นด้วย เป็นต้น

2.7.2 **ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดแก๊สและไอ**

- อุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษและไอของสารอินทรีย์ ไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และสามารถคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำๆ

- อุตสาหกรรมปรับอากาศ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ดูดแก๊สพิษในอากาศต่างๆ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน แก๊สไนโตรเจน และแก๊สอะเซทิลีน เป็นต้น

- อุตสาหกรรมบุหรี่ จะใช้ถ่านกัมมันต์เป็นก้นกรองบุหรี่ เป็นต้น

2.8 **มะเยาหิน** (เถลิงศักดิ์ วีระวุฒิ และคณะ, 2552)

ชื่อสามัญ Wood-oil tree, mu-tree, Cantonese wood-oil tree, abrasion-oil tree คนไทยเรียก มะเยาหิน มีชื่ออื่นๆว่า มะเยาเหลี่ยม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Vernicia Montana Lour. อยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae มีถิ่นกำเนิดในพม่า อินโดจีน เวียดนาม ลาว และจีนตอนใต้ ในประเทศไทยพบภาคเหนือตอนบนบางอีสานบางจังหวัด

2.8.1 **ลักษณะทั่วไปของมะเยาหิน**

ต้นมะเยาหินมีลักษณะคล้ายต้นปอ สูงประมาณ 10-15 เมตร เป็นไม้ผลัดใบ ลำต้นตรง เปลือกบางสีน้ำตาล มักมีรอยด่างตามลำต้น เนื้อไม้สีขาวนวลค่อนข้างอ่อน เบาเหนียว เลื่อยผ่าได้ง่าย ลักษณะของใบค่อนข้างใหญ่เป็นแบบใบเดี่ยว มีก้านใบยาว ปลายใบแหลม โคนใบเป็นรูปหัวใจ มะเยาหินจะออกดอกราวเดือนสิงหาคม-กันยายน ออกดอกเป็นช่อเล็กๆสีขาว มีกลิ่นหอมเล็กน้อย ลักษณะของดอกคล้ายดอกมะลิลา มีผลแก่เก็บได้ระหว่างเดือนธันวาคม-มกราคม ลักษณะของผลมะเยาหิน เมื่อสดมีสีเขียว ผิวหยาบขรุขระ เมื่อแห้งจะมีสีดำ ผลเป็นพู 1 ผลมี 3-5

พู 1 พูมี 1 เมล็ด เมล็ดรวมกะลามีน้ำมัน 50-60 เปอร์เซ็นต์ กากใช้ทำปุ๋ย มีโปรตีน 20-25 เปอร์เซ็นต์แต่มีพิษใช้เลี้ยงสัตว์ไม่ได้ ต้นมะเยาหินเริ่มเก็บผลได้ตั้งแต่ อายุ 3 ปี จนถึง 25-30 ปี

2.8.2 การปลูกต้นมะเยาหิน

การปลูกจะหว่านเมล็ดในกะบะ แปลงเพาะหรือในเรือนเพาะชำ เมื่อต้นกล้ามีอายุราว 1 ปี จะย้ายไปปลูกในแปลงด้วยระยะ 6x6 หรือ 7x7 หรือ 8x8 เมตร ปัจจุบันปลูกต้นมะเยาหินกันมากในสหรัฐอเมริกา บราซิล อาร์เจนตินา และปารากวัย ภูมิประเทศที่เหมาะสมในการปลูกต้นมะเยาหินต้องเป็นที่ลาดไม่มีน้ำขัง มีระดับสูงกว่าระดับน้ำทะเลประมาณ 600-1000 เมตร ดินไม่เป็นด่าง อากาศในฤดูร้อนไม่ควรเกิน 32 องศาเซลเซียส และฤดูหนาวจะต้องไม่หนาวจนน้ำค้างแข็ง ฝนไม่ควรมากกว่าปีละ 1000-2000 มิลลิเมตร ต้นมะเยาทางภาคเหนือของประเทศไทยเก็บผลได้ประมาณเดือนธันวาคม ในบางพื้นที่ไม่สามารถทำการเกษตรแบบไถพรวนได้เนื่องจากพื้นที่นั้นเป็นเนินชันมาก หรือเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกพืช หรือเป็นพื้นที่ที่ต้องการใช้เป็นต้นน้ำลำธาร อาจส่งเสริมให้ปลูกมะเยาหินเป็นไม้ป่าซึ่งจะได้ประโยชน์มากกว่าทิ้งเป็นที่ดินว่าง นอกจากนี้ก็อาจส่งเสริมให้ปลูกเป็นพืชเสริมได้เพราะมีดอกที่สวยงาม

2.8.3 ผลผลิตที่ได้จากการปลูกมะเยาหิน

ตั้งแต่เริ่มเพาะปลูกจนถึงเริ่มให้ผลใช้ระยะเวลานาน 3 ปี หลังจากนั้นสามารถให้ผลได้ถึงอายุ 30 ปี ผลผลิตที่ได้ในประเทศประมาณไร่ละ 100 กิโลกรัมในปีแรก และผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในปีถัดไป แต่เมื่อเทียบกับต่างประเทศแล้ว ผลผลิตในประเทศได้ต่ำกว่า คือ ผลผลิตของต่างประเทศอยู่ที่ประมาณ 145-230 กิโลกรัมต่อปีต่อไร่ นอกจากนี้เมื่อต้นไม่ออกผลเนื่องจากอายุเกิน 30 ปีแล้ว ยังสามารถตัดต้นมะเยาหินเพื่อนำไม้ไปใช้ประโยชน์อื่นๆได้อีกด้วย อาทิเช่น ทำเฟอร์นิเจอร์ เพราะไม้จากต้นมะเยามีเนื้อเหนียวและเบา มีความทนทานสูง ลายเส้นของไม้สวย ประเทศญี่ปุ่นจึงนิยมเลื่อยเป็นไม้กระดานทำขั้นบันได บุผนัง และทำฝ้าเพดาน เป็นต้น

2.8.4 น้ำมันจากเมล็ดมะเยาหิน

น้ำมันเมล็ดมะเยาหินมาจากการสกัดเนื้อในของเมล็ดมะเยาหินที่แก่จัด โดยทั่วไปเมล็ดมะเยาหินมีลักษณะคล้ายลูกเกาลัดแต่มีขนาดเล็กกว่า เปลือกเมล็ดแข็ง เมื่อกะเทาะเปลือกออก เนื้อข้างในมีสีขาวปนเหลือง ส่วนประกอบของเมล็ด ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเปลือกประมาณ 68 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เป็นเมล็ดในประมาณ 32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อนำไปสกัดแล้วจะได้น้ำมันประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันมะเยาหินที่ได้จะมีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นเฉพาะตัว นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมทำสีและน้ำมันชักแห้ง (Drying Oil) เพราะน้ำมันมะเยาหินเป็นน้ำมันทาแห้งประเภท Conjugated Type มีอัตราแห้งเร็วกว่าน้ำมันลินสีด เมื่อน้ำมันมะเยาหินถูกแสงจะเปลี่ยน

สภาพอย่างรวดเร็วจนอาจเกิดผลึกแข็งขึ้นเมื่อเก็บไว้นานๆ ดังนั้นเมื่อน้ำมันมะเยาหินสัมผัสกับอากาศจะแห้งตัวเร็วมาก

2.8.5 ประโยชน์ของน้ำมันมะเยาหิน

น้ำมันเมล็ดมะเยาหินเป็นน้ำมันประเภททาแห้ง (drying oil) และกันน้ำได้ มีคุณสมบัติทางเคมีดังนี้ Specific gravity, Iodine value และ Acid value เป็นต้น จากคุณสมบัติทางเคมีดังกล่าวทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่นใช้ทำน้ำมันชักแห้ง (Drying oil) อัตราการแห้งเร็วกว่าน้ำมันลินสีด ใช้เป็นส่วนผสมสีทาบ้าน (Paint paste) ใช้ทำน้ำมันวานิชหรือน้ำมันชักเงา (Varnish) ในอุตสาหกรรมทำสี ใช้ทำสีย่น (Wrinkled finish) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมตกแต่งเครื่องมือเครื่องใช้ที่เป็นโลหะ ทำให้เกิดความสวยงามและทนทานต่อการขัดถู ใช้ทำสีเคลือบ (Enamel paint) ที่มีประโยชน์ต่อการตกแต่งภายใน ปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำมันมะเยาหินในการผลิตหลายแห่ง โดยนำไปผลิต Alkyd Resin หรือ Oil Resin ทำเรซินสังเคราะห์และอุตสาหกรรมเคลือบผิวหน้าที่ป้องกันน้ำ สายงานเคมี พืชน้ำมันและสารธรรมชาติหมึกพิมพ์ออฟเซท โรงงานอุตสาหกรรมผลิตหมึกพิมพ์ เป็นต้น น้ำมันมะเยาหินในอุตสาหกรรมดังกล่าวมีแนวโน้มต้องการใช้เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นถ้ามีการผลิตและสกัดน้ำมันมะเยาหินให้ได้ประสิทธิภาพดีในประเทศก็จะลดปริมาณการนำเข้าน้ำมันมะเยาหินหรือสารที่มีน้ำมันมะเยาหินเป็นส่วนประกอบลง และอาจมีการส่งออกไปต่างประเทศด้วย

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิชชรี นิลนนท์ (2540) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกาง 2ขั้นตอน คือ คาร์บอไนเซชั่นและกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและแก๊สคาร์บอไดออกไซด์ ขั้นตอนแรกทำคาร์บอไนซ์ตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิ 250-400 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการคาร์บอไนซ์ 20-60 นาที พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ คือ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่านไม้ร้อยละ 38.07 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 71.44 สารระเหยร้อยละ 23.02 และเถ้าร้อยละ 5.54 ขั้นที่ 2 การกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิ 700-850 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น 30 60 90 และ 120 นาที ขนาดอนุภาค <0.355, 0.355-0.6, 0.6-1.18, 1.18-2.36, 2.36-4.75 มิลลิเมตร พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นคือ อุณหภูมิ อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ที่เวลา 60 นาที ขนาดอนุภาค 0.6-1.18 มิลลิเมตร ปริมาณการป้อนอากาศและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 5 ลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ ด้วยปริมาณไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มากเกินพอ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่านกัมมันต์ร้อยละ 27.47 มีพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด 639.74 ตารางเมตรต่อกรัม โดยแบ่งเป็นพื้นที่ผิวรูพรุนชนิดแมคโครพอร์ 156.50 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวรูพรุนชนิดไมโครพอร์ 483.24 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าการดูดซับไอโอดีน 675.14 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู 254.73 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อนำถ่านกัมมันต์มราผลิตได้จากภาวะที่เหมาะสมนี้ไปทำการดูดซับไดโครเมตไอออน พบว่ามีค่าความจุในการดูดซับ 66.23 และ 59.52 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ pH 1 และ pH 2 ตามลำดับ

วิจิตร จินดาพันธ์ไพโรจน์ (2543) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม่ยูคาลิปตัสด้วยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ โดยทำการเปรียบเทียบคุณภาพของถ่านกัมมันต์อายุ 4 ปี และอายุ 5 ปี โดยทำการทดลองแบบ 2 ขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนแรก เป็นขั้นตอนการคาร์บอไนซ์ ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลา พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ของไม้ทั้งสองชนิดอยู่ที่ภาวะเดียวกันคือ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และเวลา 45 นาที ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนการกระตุ้นถ่านชาร์ โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลา ขนาดอนุภาค และชนิดของแก๊สในการกระตุ้น ภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นของถ่านชาร์ทั้งสองชนิดอยู่ที่ภาวะเดียวกันคือ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และเวลา

150 นาที ขนาดอนุภาค 0.3-0.6 มิลลิเมตร และใช้ไอน้ำเป็นสารกระตุ้น พบว่ามีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.1809 กรัมต่อลูกบาศกเซนติเมตร ร้อยละปริมาณเถ้า 6.37 ร้อยละผลิตภัณฑ์ 33.14 ค่าการดูดซับไอโอดีน 1233 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 242 มิลลิกรัมต่อกรัม พื้นที่ผิงแบบแลงเมียร์ ($S_{Langmuir}$) 1497.32 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวแบบบีอีที (S_{BET}) 1076.15 ตารางเมตรต่อกรัม พบว่าสมบัติดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

อลิสรา นิติวัฒนา (2553) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาแมคาเดเมียโดยการกระตุ้นทางกายภาพแบบ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการคาร์บอไนซ์ โดยตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิและเวลา พบว่าภาวะที่เหมาะสมของการคาร์บอไนซ์คือ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และเวลา 60 นาที ขั้นที่สองเป็นขั้นตอนการกระตุ้นด้วยไอน้ำแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ โดยตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิและเวลา พบว่า ทั้งอุณหภูมิและเวลามีผลต่อการพัฒนาโครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำแบบใช้อากาศมีค่าพื้นที่ผิวมากกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำแบบไม่ใช้อากาศ โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาแมคาเดเมียมีพื้นที่ผิวรูพรุนอยู่ระหว่าง 476.7 ถึง 1022.0 ตารางเมตรต่อกรัม

Pastor-Villegas และคณะ (2002) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการกระตุ้นบนโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจาก rockrose เตรียมถ่านชาร์โดยไพโรไลซิสในแก๊สไนโตรเจนและกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ(อัตราการไหลของน้ำควบคุมโดยใช้จำนวนโมลต่อนาทีของน้ำตลอดจนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์/ไนโตรเจน) ที่ 700-950 องศาเซลเซียสถึงร้อยละมวลการเผาที่หายไป 40 เทคนิคที่นำมาใช้กับการศึกษาโครงสร้างรูพรุนได้แก่ pycnometry (เมอร์คิวรีฮีเลียม) การดูดซับ (แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 298 เคลวิน แก๊สไนโตรเจน 77 เคลวิน) การวัดความพรุนโดยใช้ปรอท และวิเคราะห์ลักษณะรูพรุนด้วย SEM การเตรียมโดยกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยเฉพาะที่ 700 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ที่ได้แสดงปริมาตรรูพรุนทั้งหมดมากกว่าเตรียมโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกระตุ้น โครงสร้างรูพรุนที่แตกต่างกันดีที่สุดเมื่อกระตุ้นระหว่างอุณหภูมิ 700 และ 850 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิสูงการพัฒนารูพรุนจะลดลงเพราะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือไอน้ำจะออกไปด้านนอกพร้อมกับมวลที่หายไป ที่อุณหภูมิต่ำโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสจะทำให้เกิดรูพรุนขนาดกลางมากกว่ากระตุ้นด้วยแก๊ส

คาร์บอนไดออกไซด์ และที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียสจะมีปริมาตรรูพรุนลดลงและมีรูพรุนขนาดใหญ่เกิดขึ้น

Ahmad และคณะ (2007) ถ่านกัมมันต์เตรียมจากไม้ปาล์มน้ำมันแบบสองขั้นตอนคือการไพโรไลซิสและการกระตุ้นทางกายภาพ เพื่อเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจะใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากการเผาหินปูนเป็นตัวกระตุ้น จากการทดลองพบว่าภาวะที่เหมาะสมของการไพโรไลซิสที่อัตราการไหลของอากาศ 7 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อูณหภูมิ 390 องศาเซลเซียสและการกระตุ้นใช้หินปูนจำนวน 7.45 กิโลกรัม เผาด้วยอัตราการไหลของอากาศที่ 202.4มิลลิลิตรต่อวินาทีเป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง จนกระทั่งอุณหภูมิการกระตุ้นคงที่ที่ 806 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์13.7 ร้อยละคาร์บอนคงตัว 68.3 ร้อยละสารระเหย 16.9 ร้อยละขี้เถ้า 4.3 ร้อยละความชื้น 10.6 ค่าพื้นที่ผิวแบบบีอีที (BET surface area) 1084 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็ก (micropore surface area) 931.6 ตารางเมตรต่อกรัม และค่าการดูดซับเมทิลีนบลูสูงสุดที่ 90.9 มิลลิกรัมต่อกรัม จากการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา (SEM) พบว่า เกิดรูพรุนขนาดเล็ก (micropores) จำนวนมากแต่รูพรุนขนาดกลาง (mesopores) มีจำนวนน้อย และวิเคราะห์ฟลูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (FTIR characterization) พบว่าเกิดหมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิว และค่าการดูดซับเมทิลีนบลูจะขึ้นกับพื้นที่ผิวแบบบีอีที

Suzuki และคณะ (2007) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากรำข้าวโดยเปรียบเทียบวิธีการกระตุ้นทางกายภาพกับทางเคมีพบว่า มีค่าพื้นที่ผิว 260 m^2g^{-1} และ 652 m^2g^{-1}ตามลำดับ และให้โครงสร้างรูพรุนขนาดเล็ก โดยเวลาการกระตุ้นและขั้นตอนการคาร์บอไนซ์มีความสำคัญต่อสมบัติถ่านกัมมันต์เช่น การกระตุ้นทางเคมีให้ค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน (652 m^2g^{-1} และ 0.137 cm^3g^{-1}) สูงกว่าเมื่อเทียบกับการกระตุ้นทางกายภาพ (260 m^2g^{-1} และ 0.025 cm^3g^{-1}) และกระตุ้นทางเคมีให้ร้อยละผลได้ของคาร์บอน (ร้อยละ 20-24) สูงกว่าเมื่อเทียบกับกระตุ้นทางกายภาพ (ร้อยละ13-14) ผลลัพธ์ของการทดลองขึ้นกับค่าใช้จ่ายในการทดลองด้วย โดยการผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีกระตุ้นทางเคมีจะเสียค่าใช้จ่ายสารเคมีและการบำบัดน้ำเสีย ทำให้ค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีกระตุ้นทางกายภาพ

Zabaniotou และคณะ (2008) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะกอกโดยเปรียบเทียบการกระตุ้นทางเคมี (กระตุ้นด้วยKOH) และกระตุ้นทางกายภาพ (กระตุ้นด้วย H_2O-CO_2) อุณหภูมิในการไพโรไลซิสที่ 800 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที ภายใต้แก๊สเฉื่อยและกระตุ้นด้วยแก๊สผสมระหว่างไอน้ำกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 970 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ทั้งสองนำมาวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิว BET ด้วยการดูดซับไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 77 เคลวิน การดูดซับเมทิลีนบลูที่อุณหภูมิห้อง และวิเคราะห์ SEM ค่าพื้นที่ผิว BET ที่สูงสุดของการกระตุ้นทางกายภาพและเคมีคือ1000-1200 m^2g^{-1} และ 3049 m^2g^{-1}ตามลำดับ

Thio Christine Chandra และคณะ (2009) การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อที่จะหาลักษณะรูพรุนที่เหมาะสม โดยตัวแปรที่ใช้ศึกษาคือ อัตราส่วนโพแทสเซียมต่อเปลือกทุเรียน (0.25-1.0) และอุณหภูมิการกระตุ้น (673-923 เคลวิน) ไอโซเทอมของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ถูกผลิตในช่วงอุณหภูมิและอัตราส่วนอิมแพ็คเนชั่นเป็นการผสมของไอโซเทอมชนิดที่ 1 และชนิดที่ 4 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้อัตราส่วนอิมแพ็คเนชั่นที่ต่ำ จะให้รูพรุนขนาดเล็ก และถ่านกัมมันต์ที่ใช้อัตราส่วนอิมแพ็คเนชั่นที่สูง จะให้รูพรุนขนาดใหญ่ โดยอัตราส่วนระหว่างโพแทสเซียมต่อเปลือกทุเรียนที่ 0.5 และอุณหภูมิการกระตุ้นที่ 773 เคลวิน จะให้ภาวะที่เหมาะสมโดยให้ค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์สูงสุด

Yang และคณะ (2010) ศึกษาการใช้กะลามะพร้าวเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และการผสมไอน้ำกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ผลการทดลองแสดงถึงค่าพื้นที่ผิว BET ที่ 2000 m^2g^{-1} เวลากระตุ้นโดยใช้ไมโครเวฟจะใช้เวลาน้อยมาก ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กระตุ้นจะมีค่าพื้นที่ผิว BET มากที่สุด อย่างไรก็ตาม เวลากระตุ้นประมาณ 2.5 เท่าให้ค่าพื้นที่ผิว BET สูงกว่ากระตุ้นโดยใช้ไอน้ำหรือการผสมของไอน้ำกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์วิเคราะห์โดยใช้ FTIR ไม่แสดงผลความแตกต่างในพื้นผิวหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยความแตกต่างของตัวกระตุ้น

Yang และคณะ (2010) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกวอลนัทโดยกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงก์คลอไรด์ในภาวะสุญญากาศ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการเตรียมมีปัจจัยหลักในการศึกษาที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตเช่นความดันในระบบ อุณหภูมิการกระตุ้น และอัตราส่วนอิมเพร็กเนชันที่มีผลต่อคุณสมบัติ (พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน)ของถ่านกัมมันต์ พบว่าในภาวะที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์คือ ความดันในระบบที่ 30 กิโลพาสคัล อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 450 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนอิมเพร็กเนชันที่ 2.0 ให้ค่าพื้นที่ผิว BET ที่ 1800 m^2g^{-1} และปริมาตรรูพรุนทั้งหมดที่ 1.176 cm^3g^{-1} วิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ด้วย SEM TEM และ FTIR จากนั้นได้นำมาใช้ในการกำจัดเมทิลีนบลูในน้ำ ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับพื้นที่ผิว BET ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่ดีที่สุดคือ 315 มิลลิกรัมต่อกรัม ผลของถ่านกัมมันต์และไอโซเทอมของการดูดซับเมทิลีนบลูหาได้จากโมเดลของ Redlich–Peterson and Langmuir–Freundlich พบว่าข้อมูลที่ดีอยู่ที่จุดสมดุล

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะเยาหิน โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed) เพื่อศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. ตะแกรงร่อนขนาด 0.250-4.750 มิลลิเมตร
2. เครื่องบดชีวมวลชนิดหยาบ KMAC รุ่น 3801
3. เครื่องบดชีวมวลชนิดละเอียด Retsch GMBH wesa-Germany รุ่น 5657 HAAN
4. เตาเผาไฟฟ้า (Muffle furnace) Carbolite รุ่น ESF 12/23
5. หม้อดูดความชื้น
6. เครื่องชั่งละเอียด
7. นาฬิกาจับเวลา
8. Tube furnace ชนิด 21100
9. ครูซิเบิล ความจุ 20 มิลลิลิตร พร้อมฝา
10. กระดาษกรองเบอร์ 42
11. ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ WT bider
12. เครื่องเขย่า
13. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
14. Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น JSM-6400
15. เครื่องวัดพื้นที่ผิวของ Micromeritics รุ่น Flow SorbII 2300

16. ชุดกระตุ้นแบบเบดนิ่ง เป็นลักษณะเตาให้ความร้อนแบบรีทอร์ต (retort) แนวตั้ง (vertical) สามารถปรับอุณหภูมิได้สูงถึง 1200 องศาเซลเซียส ตรงส่วนกลางจะเป็นส่วนของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อใส่ตัวอย่างเป็นท่อทรงกระบองมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.02 เมตร ยาว 0.40 เมตร

3.3 สารเคมี

1. กะลามะเยาหิน
2. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl)
3. โปตัสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_3)
4. โซเดียมฟอสเฟต(Na_2HPO_4)
5. เมทิลีนบลู (Methylene Blue)
6. แป้ง (Starch)
7. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
8. โปตัสเซียมไอโอเดต (KIO_3)
9. โปตัสเซียมไอโอไดด์ (KI)
10. ไอโอดีน (I_2)
11. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$)
12. น้ำปราศจากไอออน (DI water)

3.4 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นกะลามะเยาหินดังภาพที่ 3.1 โดยนำส่วนกะลาซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากการนำส่วนเนื้อไปหีบเอาน้ำมัน ลักษณะของวัสดุดิบจะแข็ง ซึ่งก่อนนำกะลามะเยาหินไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ จะนำกะลามะเยาหินมาบดและคัดขนาดให้มีขนาดช่วง 2.36-4.75 มิลลิเมตร นำมาล้างด้วยน้ำกลั่นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเก็บในหม้อดูดความชื้น ก่อนที่จะนำไปทำการทดลอง

ภาพที่ 3.1 ลักษณะผลมะเยาหินที่ใช้ในการทดลอง

3.5 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.5.1 วิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของกะลามะเยาหิน

- ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)
- ปริมาณเถ้า (Ash)
- ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

ทำการวิเคราะห์ตาม ASTM D 3172-89

3.5.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของกะลามะเยาหิน

- องค์ประกอบของคาร์บอน (C)
- องค์ประกอบของไฮโดรเจน (H)
- องค์ประกอบของไนโตรเจน (N)

ทำการวิเคราะห์ตาม ASTM D 3176-89

3.5.3 การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อน

โดยใช้เทคนิควิเคราะห์เทอมัลกราวิเมทริก (Thermogravimetric Analysis, TGA) ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 50 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที เพื่อวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของกะลามะเยาหิน และนำช่วงอุณหภูมิการสลายตัวที่ได้มากำหนดใช้ในการคาร์บอไนเซชัน

3.5.4 การคาร์บอไนเซชัน

ชั่งกะลามะเยาหินที่เตรียมไว้มาประมาณ 50 กรัม ใส่ลงในกระป๋องอลูมิเนียมที่ฝาเจาะรูดังภาพที่ 3.2 เพื่อจำกัดอากาศภายในและให้สารระเหยออกได้ จากนั้นนำมาคาร์บอไนซ์ในเตาเผาแบบให้ความร้อนสูง (Muffle furnace) โดยให้ความร้อนด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิที่ศึกษาคือ 350 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการจับเวลาตามที่ศึกษาคือ 30 60 90 และ120 นาที ทิ้งให้เย็นและเก็บตัวอย่างในหม้อดูดความชื้น จากนั้นนำถ่านชาร์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของถ่านชาร์ตาม ASTM D 3172-89 เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ของกะลามะเยาหิน เพื่อนำถ่านชาร์ที่ได้ไปทำการกระตุ้นเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นต่อไป

ภาพที่ 3.2 กระป๋องอลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลอง

3.5.5 การกระตุ้น

1. นำถ่านชาร์ที่ได้มาบดและคัดขนาดอนุภาคดังนี้ 0.6-1.18, 1.18-2.36 และ 2.36-4.75 มิลลิเมตร

2. ชั่งถ่านชาร์ขนาดอนุภาค 2.36-4.75 มิลลิเมตร ประมาณ15 กรัม ใส่ลงไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีตะแกรงรองอยู่ด้านล่าง เพื่อป้องกันถ่านชาร์หลุดออกด้านล่าง จากนั้นต่อเทอร์โมคัปเปิลเข้าทางด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง แล้วนำไปใส่ลงในเตาเผาแบบท่อ ทำการต่อท่อสแตนเลสรูปตัวแอลเข้าทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งเพื่อเป็นทางออกของแก๊สและสารระเหย

3. เปิดเตาเผาแบบท่อด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากอุณหภูมิห้องไปจนถึงอุณหภูมิที่ศึกษาคือ 650 700 750 และ 800 องศาเซลเซียส เมื่อใกล้ถึงอุณหภูมิที่ศึกษาจะเปิดเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส จากนั้นเปิดปั๊มน้ำที่อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที เพื่อป้อนน้ำผ่านเครื่องให้ความร้อน น้ำจะกลายเป็นไอผ่านเข้าทางด้านบนตัวเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ดังภาพที่ 3.3 แล้วทำการจับเวลาเริ่มตั้งแต่ป้อนไอน้ำเข้าเครื่องปฏิกรณ์ไปจนถึงเวลาที่ศึกษาคือ 30 60 90 และ 120 นาที ในกรณีที่กระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศจะป้อนอากาศด้วยอัตราการไหลของอากาศ 100 มิลลิลิตรต่อนาทีพร้อมกับให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ จากนั้นทำการป้อนไอน้ำแล้วทำการจับเวลา

4. เมื่อถึงเวลาที่กำหนดทำการปิดปั๊มน้ำ ปิดเครื่องให้ความร้อน และปิดเตาเผาแบบท่อ แล้วทิ้งไว้ให้เย็น นำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาเก็บในหม้อดูดความชื้น

5. ทำการวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์ต่างๆดังนี้

1. หาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์

2. หาความหนาแน่นเชิงปริมาตร ASTM D 2854-89

3. หาร้อยละของเถ้า ASTM D 2866-83

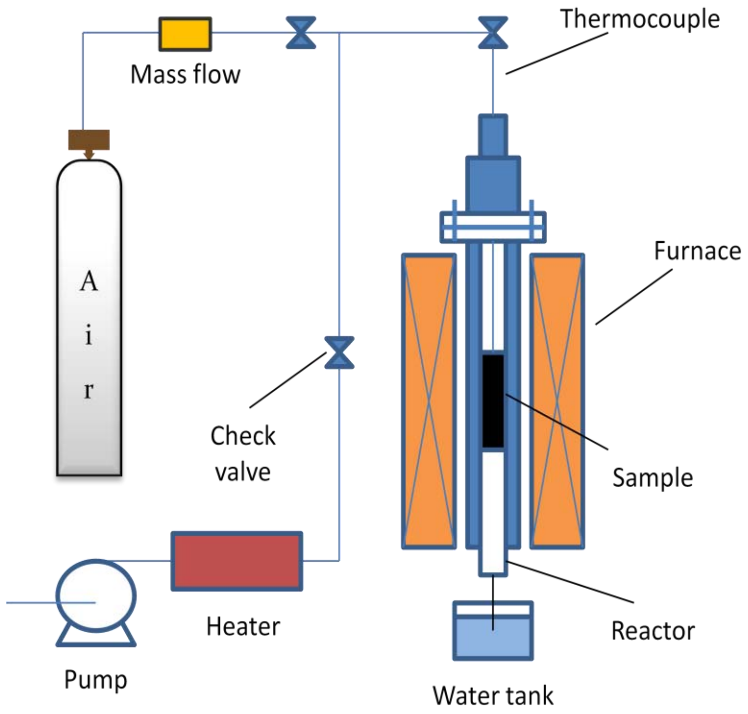
4. หาค่าการดูดซับไอโอดีน ASTM D 4607-86

5. หาค่าการดูดซับเมทิลีนบลู JIS 1470-1975

6. ดูลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิค SEM

6. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้เพื่อมาหาภาวะที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นนำภาวะที่เหมาะสมมาเป็นตัวกำหนดในการกระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศ โดยจะทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลาในการกระตุ้นที่ 30 60 90 และ 120 นาที เพื่อเปรียบเทียบชนิดของแก๊สออกซิไดซ์ที่ต่างกัน นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆตามข้อที่ 5

7. เมื่อได้ภาวะที่เหมาะสมข้อ 6 นำภาวะที่เหมาะสมนี้มาศึกษาขนาดอนุภาคของถ่านชาร์จากกะลามะเยาหิน ที่ขนาด 0.60-1.18, 1.18-2.36 และ 2.36-4.75 มิลลิเมตร เพื่อเปรียบเทียบกัน จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆตามข้อที่ 5 และหาค่าพื้นที่ผิวBET



ภาพที่ 3.3 แผนภาพเครื่องมือและอุปกรณ์ในขั้นตอนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆของกะลามะเยาหิน

4.1.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของกะลามะเยาหิน

จากการดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการตามที่ได้กล่าวในบทที่ 3 ผู้ดำเนินงานวิจัยได้เสนอและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ในรูปแบบของตารางและกราฟดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของกะลามะเยาหิน

การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก, ได้รับมา)	
- ความชื้น	9.12
- สารระเหย	54.10
- เถ้า	8.80
- คาร์บอนคงตัว*	27.98
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก, ไม่คิดค่าเถ้า)	
- คาร์บอน	44.30
- ไฮโดรเจน	6.03
- ไนโตรเจน	1.41
- ออกซิเจน*	48.26
พื้นที่ผิวแบบBET (ตารางเมตรต่อกรัม)	37.46
ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.62

*คำนวณจากค่าร้อยละผลต่าง

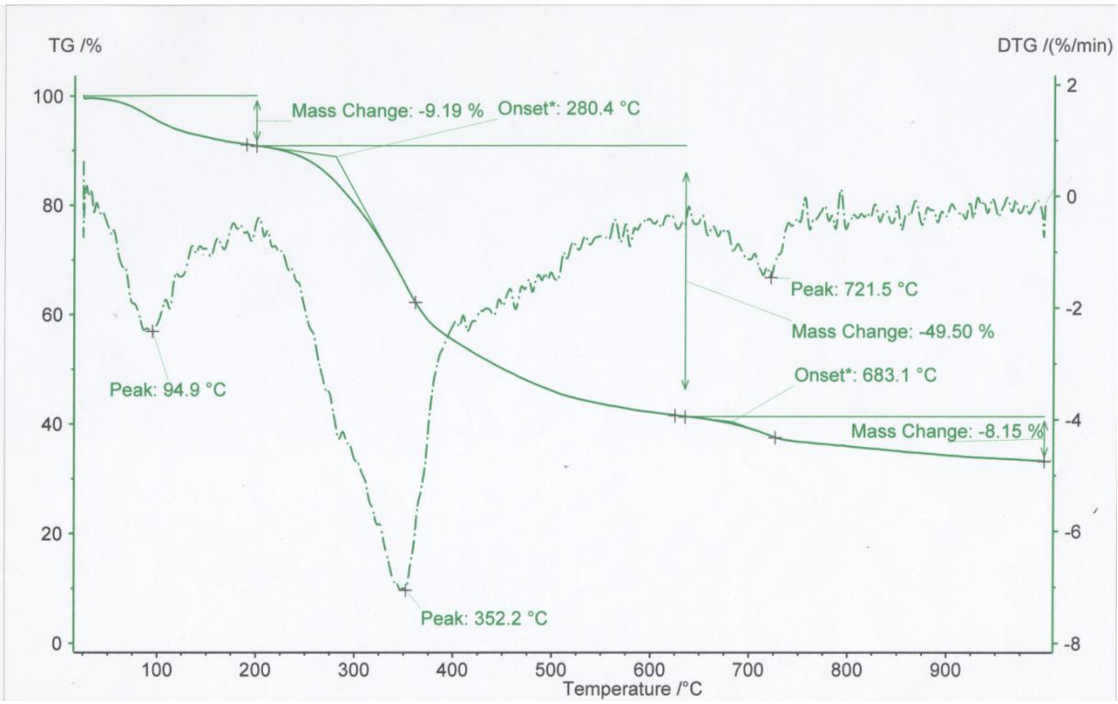
ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติเบื้องต้นของกะลามะเยาหินที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง จากผลการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) กะลามะเยาหินมีร้อยละสารระเหย 54.10 ร้อยละความชื้น 9.12 ร้อยละเถ้า 8.80 และร้อยละคาร์บอนคงตัว 27.98 เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) กะลามะเยาหินประกอบไปด้วยร้อยละคาร์บอน 44.30 ร้อยละไฮโดรเจน 6.03 ร้อยละไนโตรเจน 1.41 และร้อยละออกซิเจน 48.26 จากข้อมูลการวิเคราะห์เบื้องต้นของกะลามะเยาหิน พบว่ากะลามะเยาหินมีสมบัติที่น่าสนใจสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ได้ เนื่องจากกะลามะเยาหินมีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูง มีปริมาณความชื้น และเถ้าที่ต่ำ ซึ่งเป็นข้อดีของวัตถุที่ใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์ แต่กะลามะเยาหินมีปริมาณสารระเหยที่สูง จึงต้องผ่านขั้นตอนการกำจัดสารระเหยออกโดยเข้าสู่กระบวนการคาร์บอไนเซชันก่อนเข้าสู่กระบวนการกระตุ้น (ถ่านกัมมันต์, 2553)

4.1.2 การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของกะลามะเยาหินด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก (Thermogravimetric analysis, TGA)

เมื่อนำกะลามะเยาหินมาวิเคราะห์การสลายตัวทางความความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 50 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ดังภาพที่ 4.1

เมื่อนำกะลามะเยาหินมาวิเคราะห์การสลายตัวทางความความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 50 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ดังภาพที่ 4.1 พบว่ากะลามะเยาหินมีการสลายตัว 3 ช่วง โดยช่วงแรกเป็นช่วงการสลายตัวของโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น น้ำ ที่ช่วงอุณหภูมิ 100 ถึง 180 องศาเซลเซียส ช่วงที่สอง เป็นช่วงการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส โดยการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสอยู่ช่วง 220 ถึง 315 องศาเซลเซียส และเซลลูโลสมีการสลายตัวช่วง 315 ถึง 400 องศาเซลเซียส และช่วงที่สาม เป็นการสลายตัวของลิกนินในช่วง 160 ถึง 900 องศาเซลเซียส (Yang และคณะ, 2007) ลิกนินมีการสลายตัวในช่วงกว้าง เนื่องจากลิกนินมีโครงสร้างเป็นสารอะโรมาติกเชิงซ้อน ทำให้ลิกนินเกิดการสลายตัวได้ช้า ดังนั้นองค์ประกอบหลักที่อยู่ในโครงสร้างของถ่านชาร์คือลิกนิน จากภาพที่ 4.1 ช่วงแรกกะลามะเยาหินมีการสลายตัวทางความ

ร้อนร้อยละ 9.19 โดยน้ำหนัก มีอุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้น (Initial decomposition temperature) ประมาณ 70 ถึง 200 องศาเซลเซียส และอัตราการสลายตัวสูงสุด (Maximum decomposition temperature) ที่อุณหภูมิ 94.9 องศาเซลเซียส ช่วงที่สองมีการสลายตัวทางความร้อนร้อยละ 9.19 โดยน้ำหนัก มีอุณหภูมิการสลายตัวประมาณ 200 ถึง 650 องศาเซลเซียส และอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 352.2 องศาเซลเซียส และช่วงที่สามมีการสลายตัวทางความร้อนร้อยละ 8.15 โดยน้ำหนัก มีอุณหภูมิการสลายตัวประมาณ 650 ถึง 900 องศาเซลเซียส และอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 721.5 องศาเซลเซียส จากทั้งสามช่วงพบว่าอัตราการสลายตัวสูงสุดของกะลามะเยาหินอยู่ในช่วงที่สองคืออุณหภูมิ 352.5 องศาเซลเซียส และอัตราการสลายตัวเริ่มคงที่ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสมีการสลายตัวจนเหลือแต่ลิกนินที่เป็นองค์ประกอบในถ่านชาร์ ดังนั้นอุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์ที่ใช้ศึกษาคือ 350 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.1 การสลายตัวทางความร้อนของกะลามะเยาหินภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก

4.2 การคาร์บอไนซ์กะลามะเยาหิน

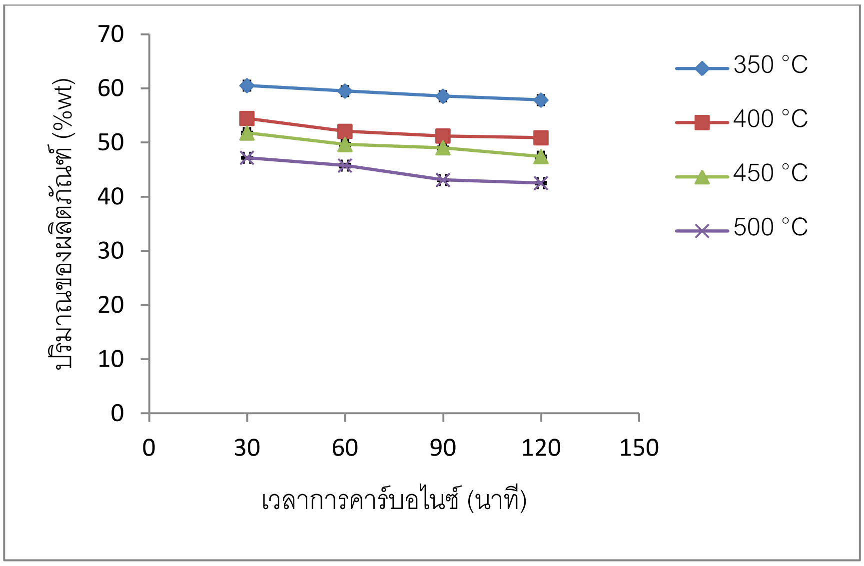
จากการศึกษาการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านชาร์ ได้แก่ ปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณสารระเหย (VM) และปริมาณคาร์บอนคงตัว (FC) โดยคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 350 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 90 และ 120 นาที โดยแสดงผลดังตารางที่ 4.2 และจากข้อมูลในตารางนำมาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ผลของอุณหภูมิและเวลา ดังภาพที่ 4.2-4.7

ตารางที่ 4.2 ค่าการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านชาร์จากกะลามะเยาหินจากการคาร์บอไนซ์ ณ ภาวะต่างๆ

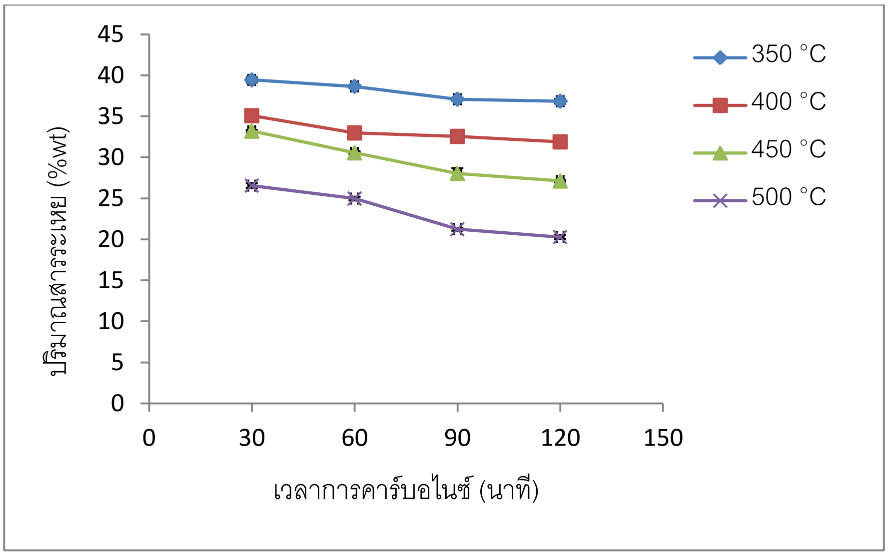
ภาวะการณ์เตรียมวัตถุดิบ		Y	On dry basis		
อุณหภูมิ (^{o}C)	เวลา (min)	(%wt)	Ash (%wt)	VM (%wt)	FC (%wt)
350	30	60.51	4.28	39.44	56.28
	60	59.50	4.86	38.64	56.50
	90	58.55	5.65	37.08	57.27
	120	57.84	5.28	36.84	57.88
400	30	54.45	8.73	35.07	56.20
	60	52.07	9.80	32.97	57.23
	90	51.21	10.79	32.55	56.66
	120	50.88	12.13	31.88	55.99
450	30	51.76	10.47	33.19	56.34
	60	49.64	12.17	30.54	57.29
	90	49.04	13.00	28.03	58.97
	120	47.40	13.54	27.11	59.35
500	30	47.20	11.54	26.55	61.91
	60	45.75	13.18	24.97	61.85
	90	43.08	14.27	21.23	64.50
	120	42.51	16.38	20.28	63.34

หมายเหตุ Y คือผลิตภัณฑ์, Ash คือปริมาณเถ้า, VM คือปริมาณสารระเหย, FC คือคาร์บอนคงตัว

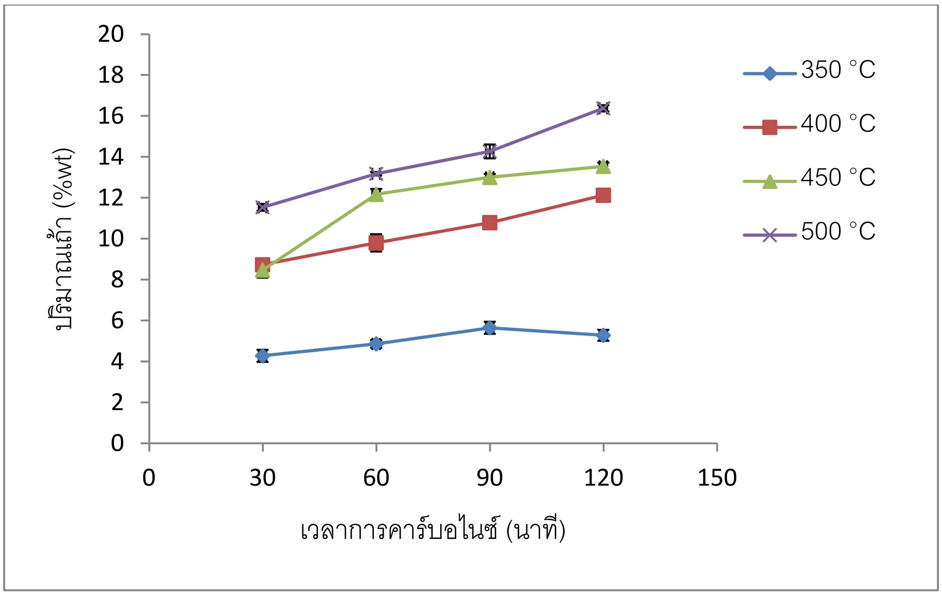
4.2.1 ผลของเวลาในการคาร์บอไนซ์ของกะลามะเยาหิน



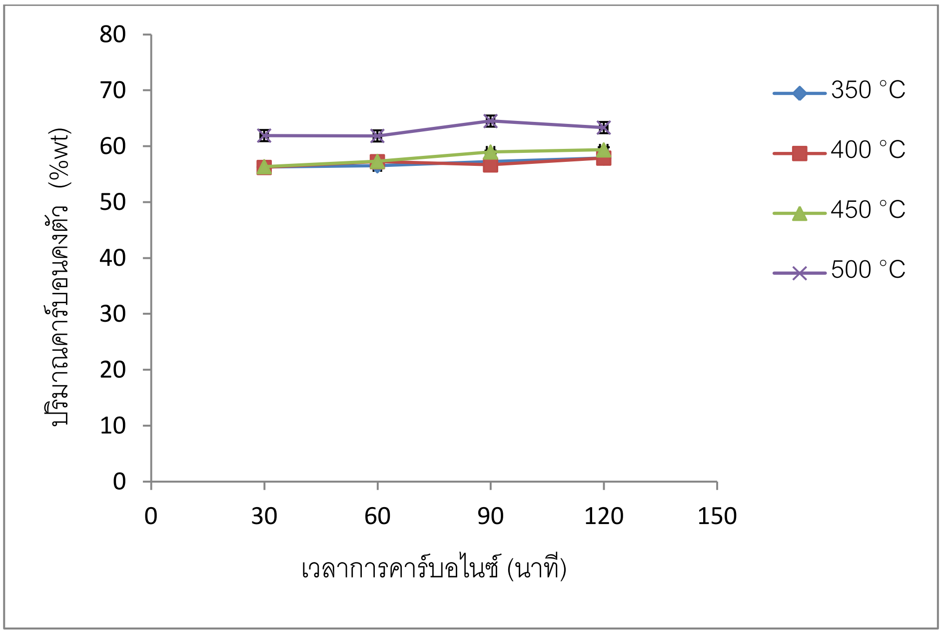
ภาพที่ 4.2 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณของผลิตภัณฑ์ ณ อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 4.3 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณสารระเหย ณ อุณหภูมิต่างๆ



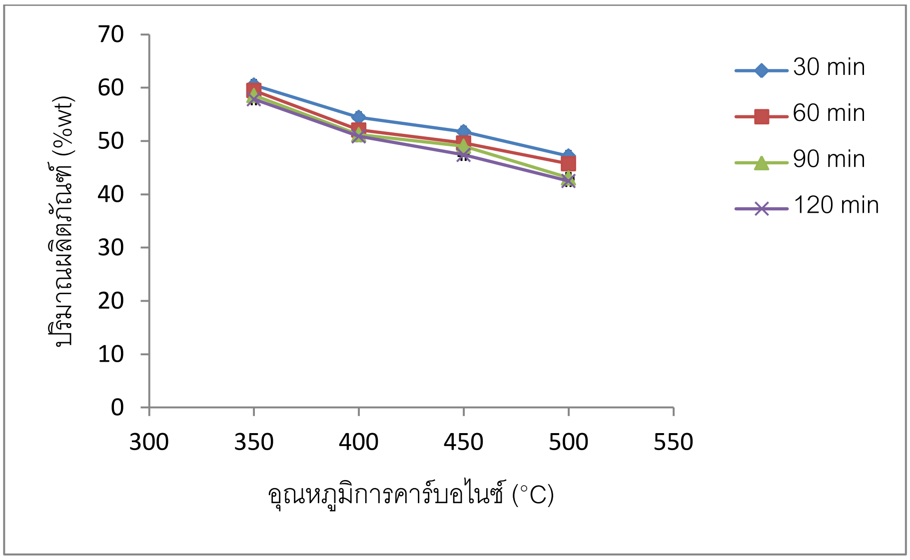
ภาพที่ 4.4 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณเถ้า ณ อุณหภูมิต่างๆ



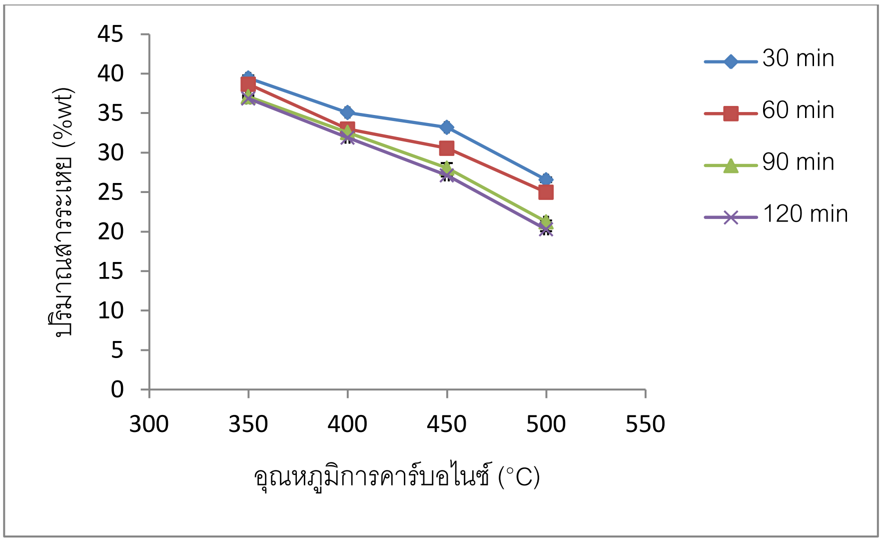
ภาพที่ 4.5 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของคาร์บอนคงตัว ณ อุณหภูมิต่างๆ

เวลาของการคาร์บอไนซ์ จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2 - 4.5 เมื่อเพิ่มเวลาการคาร์บอไนซ์ พบว่าสมบัติการวิเคราะห์แบบประมาณมีการเปลี่ยนแปลง ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละสารระเหยลดลงจาก 39.44 เป็น 36.84 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละสารระเหยลดลงจาก 35.07 เป็น 31.88 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละสารระเหยลดลงจาก 33.19 เป็น 27.11 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละสารระเหยลดลงจาก 26.55 เป็น 20.28 เนื่องมาจากเวลามากขึ้นกะลามะเยาหินมีความร้อนเพิ่มขึ้น สารระเหยที่อยู่ในโครงสร้างของกะลามะเยาหินจะออกมาได้มากขึ้น ทำให้ร้อยละสารระเหยที่ได้มีค่าลดลงจากร้อยละสารระเหยดังกล่าวมีผลทำให้ร้อยละคาร์บอนคงตัวมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละคาร์บอนคงตัวเพิ่มจากจาก 56.78 เป็น 57.88 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละคาร์บอนคงตัวลดลงจาก 56.20 เป็น 55.99 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละคาร์บอนคงตัวเพิ่มจาก 56.34 เป็น 59.35 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละคาร์บอนคงตัวเพิ่มจาก 61.91 เป็น 63.34 ส่วนร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากเวลาคาร์บอไนซ์ที่เพิ่มขึ้นจะได้ค่าลดลง ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ลดลงจาก 60.51 เป็น 57.84 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จาก 54.45 เป็น 50.88 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ลดลงจาก 51.76 เป็น 47.40 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ลดลงจาก 47.20 เป็น 42.51

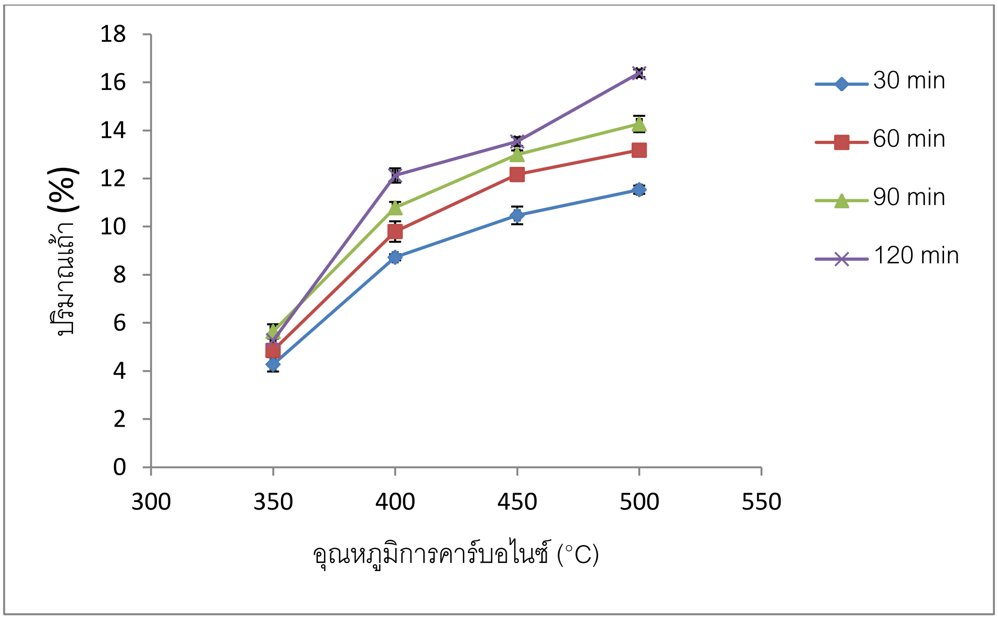
4.2.2 ผลของอุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์ของกะลามะเยาหิน



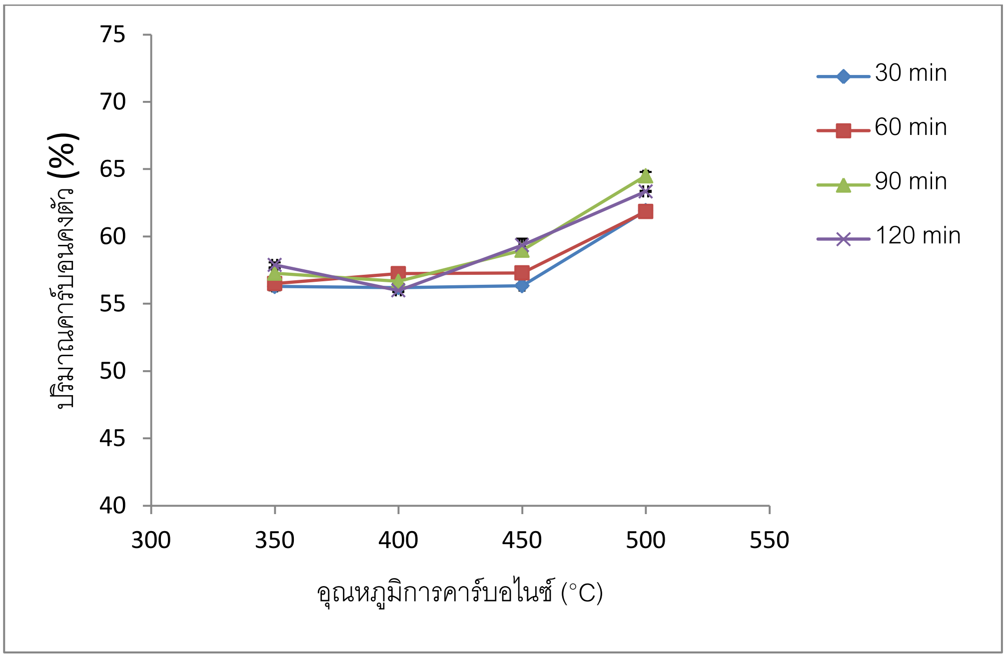
ภาพที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณสารระเหย ณ เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.8 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณเถ้า ณ เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.9 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของคาร์บอนคงตัว ณ เวลาต่างๆ

ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.6 - 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์แบบประมาณและร้อยละผลได้ของถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์กะลามะเยาหินปริมาณ 50 กรัม ภายในเตาเผาความร้อนสูง อุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์ 375 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส เวลาในการคาร์บอไนซ์ 30 60 90 และ 120 นาที และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์ ปริมาณสารระเหยจะมีค่าลดลง เนื่องจากเพิ่มอุณหภูมิสารระเหยที่อยู่ในโครงสร้างของถ่านชาร์จากกะลามะเยาหินจะหลุดออกจากโครงสร้าง ทำให้ปริมาณสารระเหยที่ได้มีค่าลดลง ปริมาณผลิตภัณฑ์จึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น เนื่องจากเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความร้อนทำให้เกิดการเผาไหม้เกิดเป็นเถ้าและสารระเหยหลุดออกจากโครงสร้างของถ่านชาร์ และมีการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชั่น ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น (นิชชรี นิลนนท์, 2540) จึงทำให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง และร้อยละของเถ้ามีปริมาณมากขึ้น ร้อยละของคาร์บอนคงตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิโดยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงที่อุณหภูมิสูงสุดจะมีค่าลดลงเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากว่าเกิดการอุดตันในโครงสร้างทำให้สารระเหยภายในไม่สามารถหลุดออกจากโครงสร้างได้ (ถ่านกัมมันต์, 2553)

เมื่อพิจารณาภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ของถ่านชาร์ จะพิจารณาจากค่าร้อยละสารระเหย ควบคู่ไปกับร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์กับร้อยละคาร์บอนคงตัว คือควรมีค่าร้อยละสารระเหยไม่มากไม่น้อยเกินไปคืออยู่ในช่วง 20-25 (บุญชัย ตระกูลมหชัย, 2536) นอกจากนี้ยังพิจารณาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์และร้อยละคาร์บอนคงตัวประกอบควบคู่ไปด้วยกัน จากตารางที่ 4.1 พบว่าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่เวลา 60 90 และ 120 นาที มีค่าร้อยละสารระเหย 24.97, 21.23 และ 20.28 ตามลำดับ มีค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ 45.75, 43.08 และ 42.51 ตามลำดับ และมีค่าร้อยละคาร์บอนคงตัว 61.85, 64.50 และ 63.34 ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่เวลา 90 นาที มีค่า ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ 43.08 ร้อยละสารระเหย 21.23 และร้อยละคาร์บอนคงตัว 64.50 เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุด

4.3 การกระตุ้นถ่านชาร์จากกะลามะเยาหิน

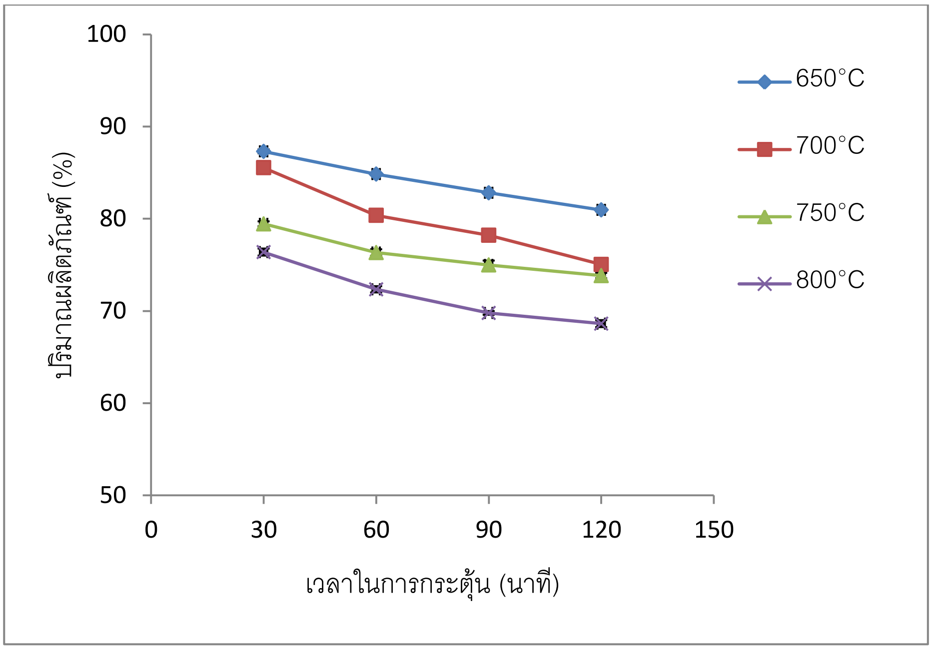
ศึกษาผลของขนาดอนุภาคถ่านชาร์ อุณหภูมิและเวลาในการกระตุ้นโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพต่อสมบัติต่างๆของถ่านกัมมันต์จากถ่านชาร์จากกะลามะเยาหิน โดยพิจารณาสมบัติต่างๆถ่านกัมมันต์ที่วิเคราะห์ ได้แก่ ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ค่าการดูดซับไอโอดีน ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ความหนาแน่นเชิงปริมาตร พื้นที่ผิวรูพรุน และลักษณะสัณฐานวิทยา

4.3.1 การกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

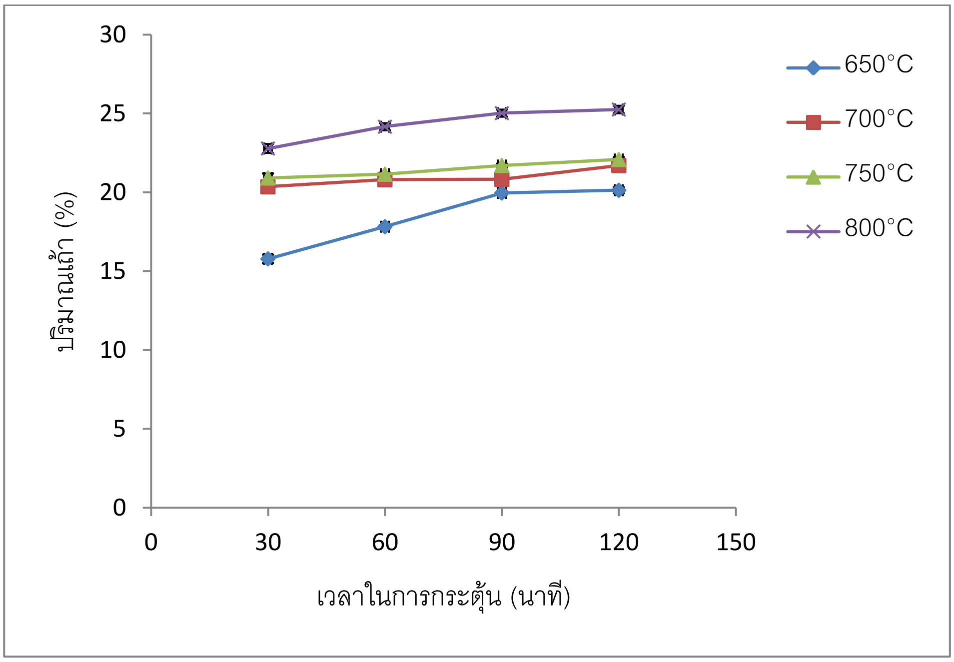
ตารางที่ 4.3 สมบัติของถ่านกัมมันต์จากกะลามะเยาหิน ขนาดอนุภาค 2.36-4.75 มิลลิเมตร ด้วยอัตราการไหลของไอน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

ภาวการณ์กระตุ้น		Y	On dry basis			
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	(%wt)	BD (g/cm^3)	Ash (%wt)	IA (mg/g)	MB (mg/g)
650	30	87.30	0.6188	15.78	221.06	140.81
	60	84.84	0.6140	17.82	263.74	141.67
	90	82.81	0.5998	19.96	283.35	140.60
	120	80.96	0.5984	20.13	310.92	137.94
700	30	85.54	0.6122	20.35	355.40	148.95
	60	80.37	0.6108	20.80	367.13	139.52
	90	78.21	0.5996	20.82	353.90	145.36
	120	75.04	0.5980	21.70	409.48	150.43
750	30	79.44	0.6045	20.91	401.58	136.07
	60	76.33	0.6001	21.15	403.30	137.31
	90	74.99	0.5983	21.70	448.41	144.44
	120	73.83	0.5976	22.08	468.77	158.21
800	30	76.38	0.5956	22.78	528.91	137.75
	60	72.34	0.5940	24.16	579.67	139.70
	90	69.78	0.5842	25.02	595.40	152.18
	120	68.62	0.5831	25.25	568.15	155.86

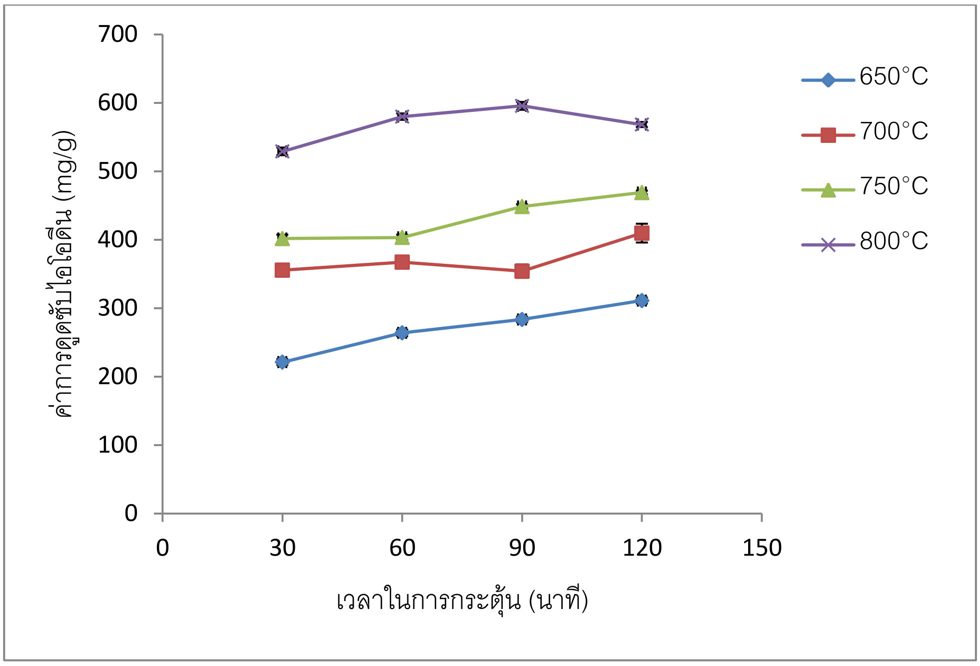
4.3.1.1 **ผลของเวลาในการกระตุ้น**



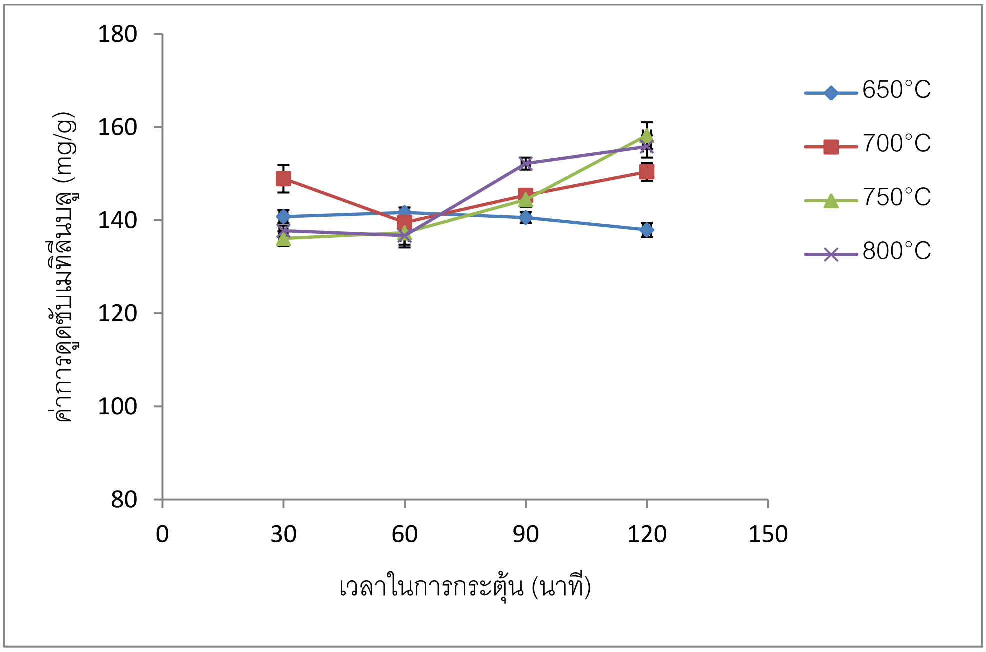
รูปที่ 4.10 ผลของเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ณ อุณหภูมิต่างๆ



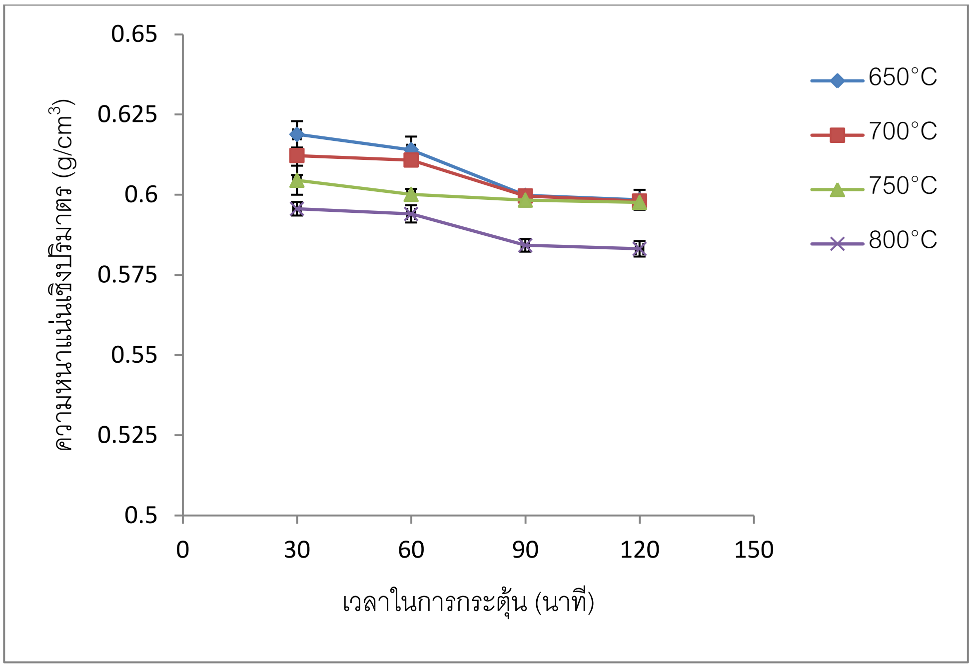
ภาพที่ 4.11 ผลของเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อร้อยละของปริมาณเถ้า ณ อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 4.12 ผลของเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน ณ อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 4.13 ผลของเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ณ อุณหภูมิต่างๆ

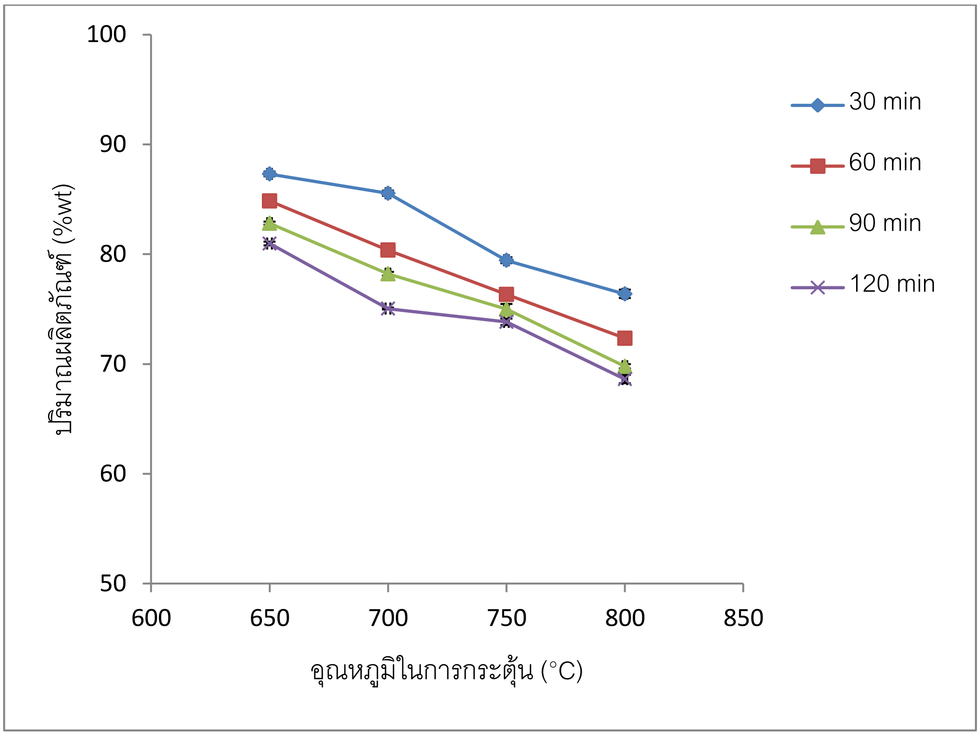


ภาพที่ 4.14 ผลของเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิต่างๆ

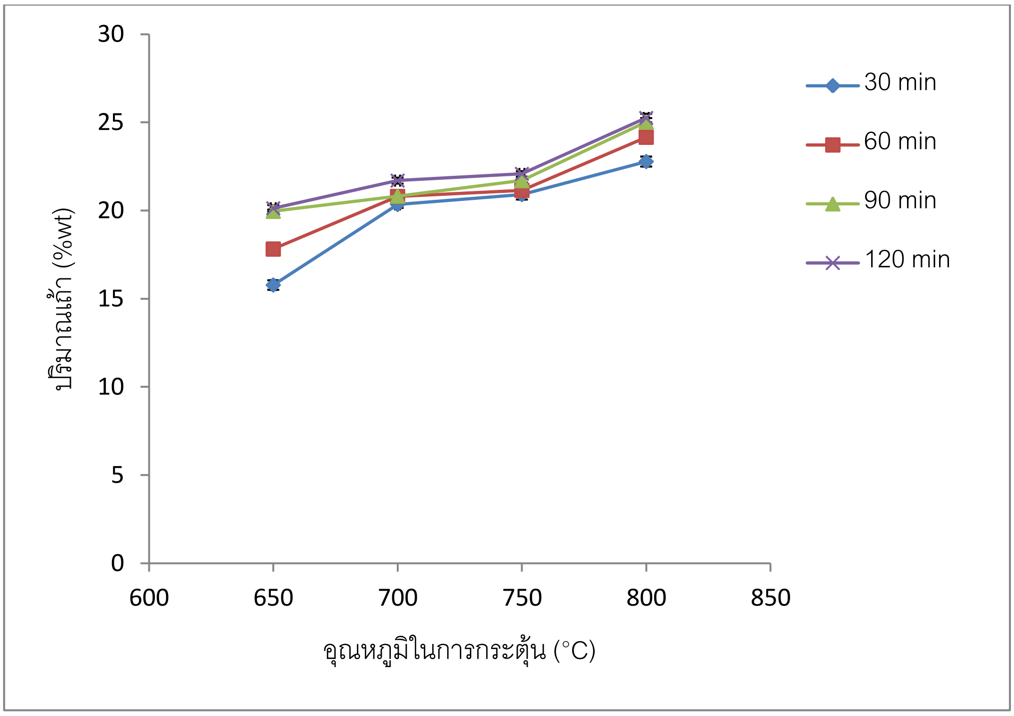
จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.10 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการกระตุ้น ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง เนื่องจากเวลาในการกระตุ้นนานขึ้นถ่านชาร์ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้สารระเหยที่อยู่ภายในโครงสร้างหลุดออกไปมากขึ้น และโครงสร้างของถ่านชาร์บางส่วนถูกเผาไหม้กลายเป็นเถ้า ทำให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงและทำให้ร้อยละของเถ้ามีค่าเพิ่มมากขึ้นดังภาพที่ 4.11 จากภาพที่ 4.12 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการกระตุ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเพิ่มเวลาในการกระตุ้นเป็นการเพิ่มพลังงานความร้อนสารระเหยที่อยู่ในโครงสร้างถูกกำจัดออกไปมากขึ้น และไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เป็นแก๊สออกซิไดซ์เกิดปฏิกิริยากับผิวถ่าน ($C + H_2O \rightarrow H_2 + CO$) ทำให้มีการขยายรูพรุนและเกิดรูพรุนใหม่ๆขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่จากภาพที่ 4.12 พบว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่เวลา 90 นาทีไปเป็น 120 นาที มีค่าการดูดซับไอโอดีนลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงและเวลาในการกระตุ้นนาน ทำให้ผนังระหว่างรูพรุนเกิดการเผาไหม้และถูกทำลายมากขึ้นรูพรุนขนาดเล็กจะขยายกลายเป็นรูพรุนขนาดกลางและรูพรุนขนาดใหญ่ (Suzuki และคณะ, 2007) ทำให้ค่าการดูดซับ

ไอโอดีนมีค่าลดลง เพราะการดูดซับไอโอดีนเป็นการดูดซับของรูพรุนขนาดเล็ก จากภาพที่ 4.13 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการกระตุ้น ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเมื่อเพิ่มเวลามากขึ้นถ่านชาร์มีความร้อนเพิ่มขึ้นสารระเหยที่อยู่ในโครงสร้างถูกกำจัดออกไปได้มากขึ้นและแก๊สออกซิไดซ์เข้าไปทำปฏิกิริยาในรูพรุนทำให้รูพรุนขยายใหญ่ขึ้น ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูจึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรมีค่าลดลงดังภาพที่ 4.14

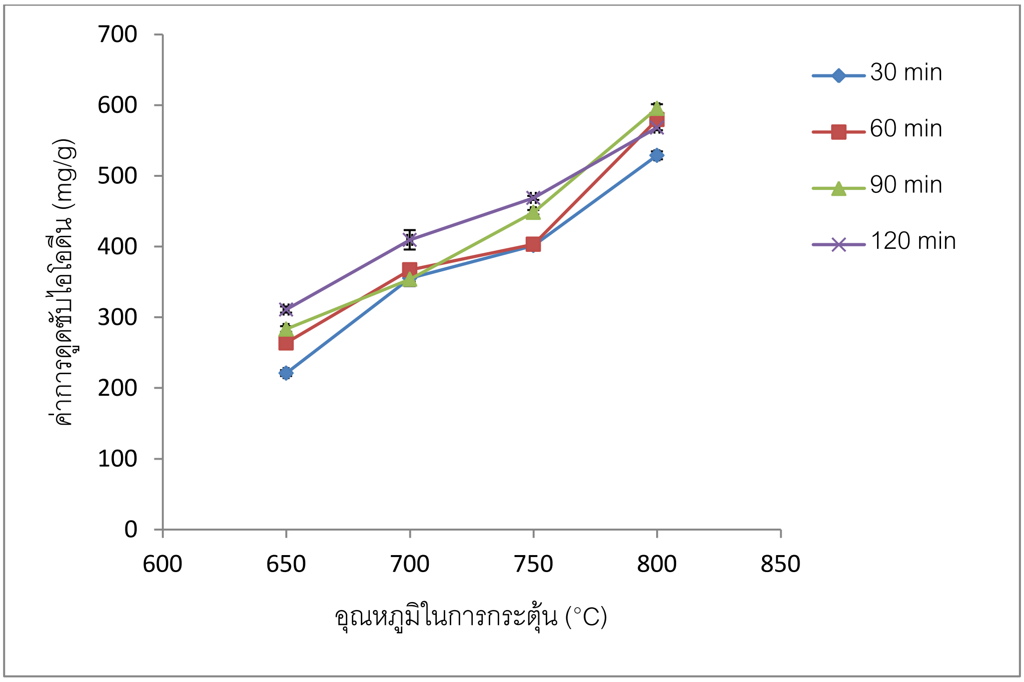
4.3.1.2 **ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้น**



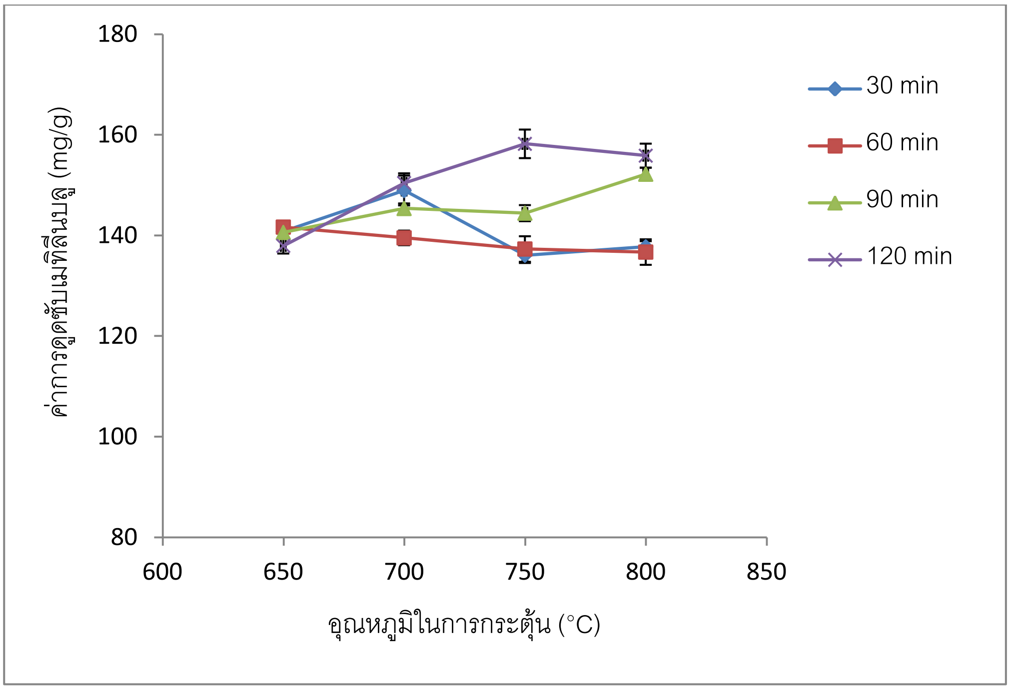
ภาพที่ 4.15 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆ



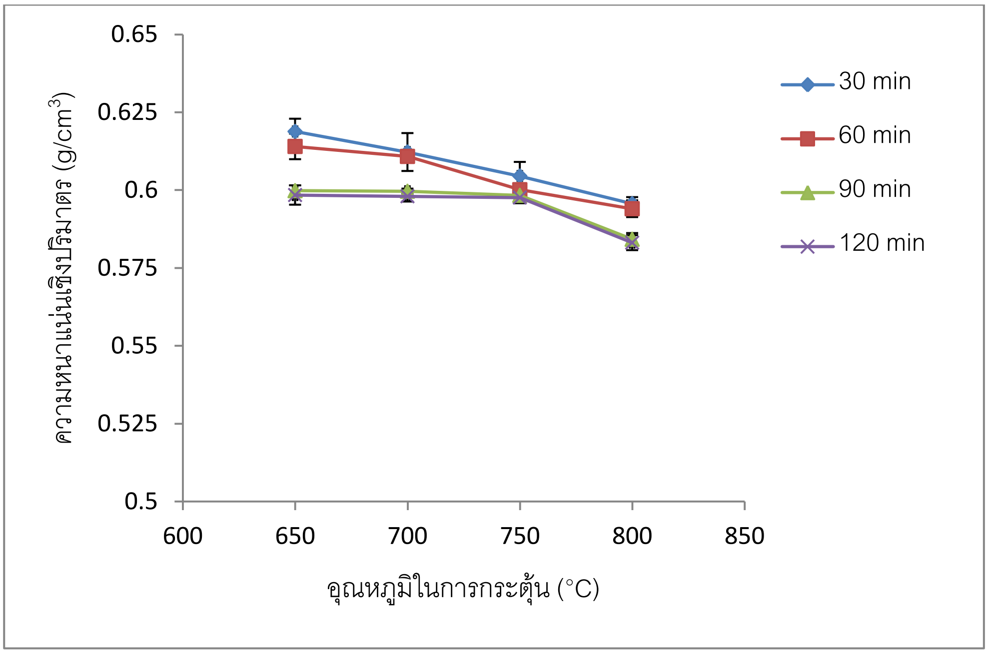
ภาพที่ 4.16 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อร้อยละของปริมาณเถ้า ณ เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.17 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน ณ เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.18 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ณ เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.19 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ณ เวลาต่างๆ

จากภาพที่ 4.15 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการกระตุ้น ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง เนื่องจากอุณหภูมิในการกระตุ้นเพิ่มขึ้น สารระเหยที่อยู่ภายในโครงสร้างของถ่านชาร์จะหลุดออกไป ทำให้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เป็นแก๊สออกซิไดซ์แพร่เข้าไปในโครงสร้างของถ่านชาร์ได้มากขึ้น ทำให้ถ่านชาร์ถูกเผาไหม้กลายเป็นเถ้า ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จึงมีค่าลดลง และทำให้ร้อยละของเถ้าเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 4.16 จากภาพที่ 4.17 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความร้อนทำให้สารระเหยหลุดออก จากโครงสร้างของถ่านชาร์ ส่งผลให้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เป็นแก๊สออกซิไดซ์แพร่เข้าไปในโครงสร้างของถ่านได้ดีขึ้น ทำให้เกิดการสร้างรูพรุนขึ้นใหม่และขยายรูพรุนเดิมให้ใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 650-800 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงมากขึ้นทำให้รูพรุนขนาดเล็กรวมตัวกลายเป็นรูพรุนขนาดกลางและขนาดใหญ่ และจากการที่ผนังรูพรุนขนาดเล็กบางส่วนถูกเผาไหม้กลายเป็นรูพรุนขนาดกลาง (Kang และคณะ, 2010) ส่งผลให้ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องดังภาพที่ 4.18 และจากภาพที่ 4.19 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของถ่านกัมมันต์มีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็นการไล่สารระเหยออกจากโครงสร้างและเป็นการสร้างรูพรุนใหม่ขึ้นทำให้ถ่านกัมมันต์มีความพรุนมากขึ้น ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรจึงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

4.3.2 กระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งผสมอากาศ

ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูงสุด โดยต้องการศึกษาถึงแก๊สออกซิไดซ์ที่เหมาะในการกระตุ้น จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.10 และ 4.19 พบว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากกว่าอุณหภูมิอื่น จึงทำการทดลองที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส แต่เปลี่ยนแก๊สออกซิไดซ์จากไอน้ำเป็นแก๊สออกซิไดซ์ที่ผสมระหว่างไอน้ำกับอากาศ โดยแสดงผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบสมบัติต่างๆของถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในภาวะแก๊สออกซิไดซ์ต่างชนิดกัน

ชนิด	แก๊สออกซิไดซ์ไอน้ำ				แก๊สออกซิไดซ์ไอน้ำผสมอากาศ			
อุณหภูมิ	800 (°C)				800 (°C)			
เวลา (min)	30	60	90	120	30	60	90	120
Y (%wt)	76.38	72.34	69.78	68.62	70.56	68.81	67.14	66.22
Ash (%wt)	22.78	24.16	25.02	25.25	23.01	24.35	25.23	25.40
IA (mg/g)	528.90	579.67	595.40	568.15	548.63	973.28	898.26	785.93
MB (mg/g)	137.74	139.70	152.18	155.86	202.30	227.03	231.00	236.44
BD (g/cm^3)	0.5956	0.5940	0.5842	0.5831	0.5972	0.5953	0.5877	0.5853

จากตารางที่ 4.4 พบว่าการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำผสมอากาศจะมีค่าเถ้ามากกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว เนื่องจากอากาศที่ผสมเข้าไปจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น และช่วยเพิ่มการเผาไหม้ในเนื้อถ่าน ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสจะเห็นว่า การกระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศจะให้ค่าการดูดซับไอโอดีนดีกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว

เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน พบว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศจะให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้อยกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว เพราะการกระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศนั้นอากาศที่ผสมเข้าไปมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นแก๊สออกซิไดซ์ที่มีความว่องไว ทำให้เข้าไปเกิดปฏิกิริยากับอะตอมคาร์บอนในโครงสร้างได้มากขึ้น และทำให้อะตอมคาร์บอนในโครงสร้างเกิดการสลายตัวมากขึ้น ($C + O_2 \rightarrow CO_2$ หรือ $2C + O_2 \rightarrow 2CO$) ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จึงมีค่าลดลง และค่าร้อยละของเถ้ามีค่ามากขึ้น เนื่องจากถ่านชาร์จากกะลามะเยาหินที่จะนำมากระตุ้นมีค่าเถ้าสูง และองค์ประกอบเถ้าในถ่านชาร์จากกะลามะเยาหินเป็นสารประกอบออกไซด์ของแอลคาไลด์ สารประกอบพวกนี้จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัว (เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล, 2553, Carrott และคณะ, 2008, Yang และคณะ, 2010) จาก

ตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าค่าการดูดซับไอโอดีนของการกระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศจะมีค่ามากกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว เนื่องจากอากาศมีออกซิเจนที่เป็นแก๊สออกซิไดซ์ที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา ($C + O_2 \longrightarrow CO_2$ หรือ $2C + O_2 \longrightarrow 2CO$) ทำให้เกิดรูพรุนใหม่ๆขึ้นจำนวนมาก สารระเหยที่อยู่ในโครงสร้างหลุดออกจากโครงสร้างและเกิดการสลายตัวได้มากกว่าการกระตุ้นแบบไอน้ำเพียงอย่างเดียว จากตารางที่ 4.4 พบว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลาในการกระตุ้น 60 นาที มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่สูงสุดคือ 973.28 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งค่าการดูดซับไอโอดีนนี้มีค่ามากว่าที่มาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ คือ มากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อพิจารณาค่าการดูดซับเมทิลีนบลู พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการกระตุ้นจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอะตอมคาร์บอนกับแก๊สออกซิไดซ์เพิ่มขึ้น เกิดการเผาไหม้ในโครงสร้างมากขึ้น ทำให้เกิดรูพรุนใหม่ๆขึ้น และรูพรุนขนาดเล็กที่มีอยู่แล้วในโครงสร้างเกิดเป็นรูพรุนขนาดกลางและขนาดใหญ่ จึงทำให้ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน พบว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศมีค่าการดูดซับเมทิลีนบลูมากกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เกิดจากอากาศที่ผสมเข้าไปนั้นเป็นแก๊สออกซิไดซ์ที่ดีเกิดปฏิกิริยากับอะตอมคาร์บอนในโครงสร้าง ทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กเกิดเป็นรูพรุนขนาดกลางมากขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศจะมีแนวโน้มคล้ายกันกับการกระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียวคือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการกระตุ้น ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรที่กระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศจะมีค่ามากกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรที่ได้อยู่ในช่วง 0.5-0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ซึ่งอยู่ในช่วงของถ่านกัมมันต์ในอุตสาหกรรม จากตารางที่ 4.4 พบว่า อุณหภูมิละเวลาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศมีผลต่อค่าร้อยละของเถ้าคือ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการกระตุ้น โดยกระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศนั่น จะเป็นการเพิ่มค่าร้อยละของเถ้า เพราะอากาศมีออกซิเจนซึ่งเป็นแก๊สออกซิไดซ์ที่ว่องไวไปเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบของโลหะที่อยู่ในถ่านชาร์เปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะซึ่งคือเถ้า สารประกอบออกไซด์จากโลหะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Carrott และคณะ, 2008, Yang และคณะ, 2010) ทำให้อะตอมคาร์บอนในโครงสร้างเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ร้อยละของเถ้าที่ได้จึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น และจากตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลาในการกระตุ้น 60 นาที ที่กระตุ้นด้วยไอ

น้ำเพียงอย่างเดียวกับกระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศมาวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิวแบบบีอีทีมีค่า 992 ตารางเมตรต่อกรัม และ 1245 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

4.3.3 ขนาดอนุภาค

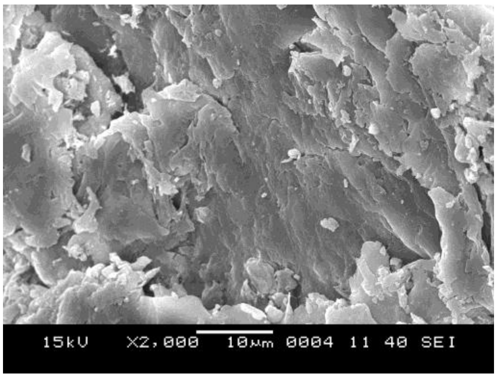
ตารางที่ 4.5 สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศ โดยขนาดอนุภาคถ่านชาร์ต่างๆกัน

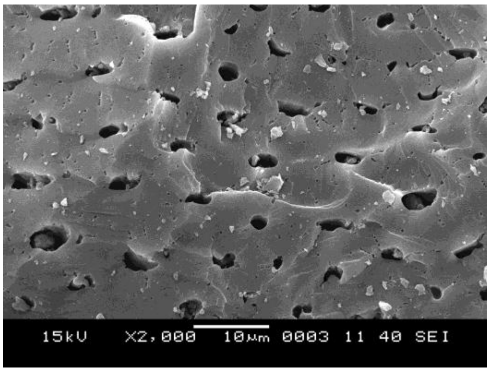
สมบัติของถ่านกัมมันต์	ขนาดอนุภาคของถ่านชาร์ (มิลลิเมตร)		
	0.6-1.18	1.18-2.36	2.36-4.75
ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์	68.12	68.55	68.81
ร้อยละเถ้า	25.08	24.72	24.35
ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	889.65	930.85	973.28
ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)	243.02	232.87	227.03
ค่าการดูดซับแบบบีอีที (ตารางเมตรต่อกรัม)	1063.08	1178.57	1245.76
ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.5541	0.5764	0.5894

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อขนาดอนุภาคของถ่านชาร์ที่แตกต่างกัน คือ 2.36-4.75 1.18-2.36 และ 0.60-1.18 มิลลิเมตร ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศมีค่าแตกต่างกัน จาก 973.28 เป็น 930.85 และ 889.65 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ แต่ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากถ่านชาร์ขนาดอนุภาค 0.60-1.18 มิลลิเมตร มีค่าการดูดซับเมทิลีนบลูมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากถ่านชาร์ขนาดอนุภาค1.18-2.36 และ 2.36-4.75 มิลลิเมตร เพราะถ่านชาร์ขนาดเล็กจะถูกแก๊สออกซิไดซ์เข้าทำปฏิกิริยากับอะตอมคาร์บอนในโครงสร้างได้ง่ายกว่าขนาดใหญ่เพราะถ่านชาร์ขนาดอนุภาคเล็กมีสัดส่วนของพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าถ่านชาร์ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ และอะตอมคาร์บอนในโครงสร้างของถ่านชาร์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กจึงเกิดปฏิกิริยากับไอน้ำและอากาศได้อย่างรวดเร็วกว่าถ่านชาร์ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ทำให้อะตอมคาร์บอนในโครงสร้างของถ่านชาร์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กเกิดการเผาไหม้ เป็นผลให้

ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ มีรูพรุนขนาดกลางและขนาดใหญ่มากกว่าขนาดเล็ก ทำให้ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูมีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรมีค่าลดลง และพื้นที่ผิวแบบบีอีทีมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อขนาดอนุภาคลดลง

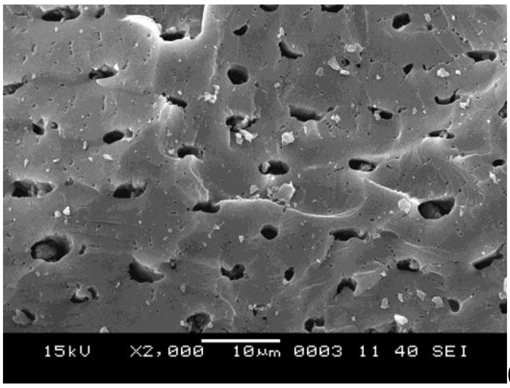
4.4 ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

(ก) 

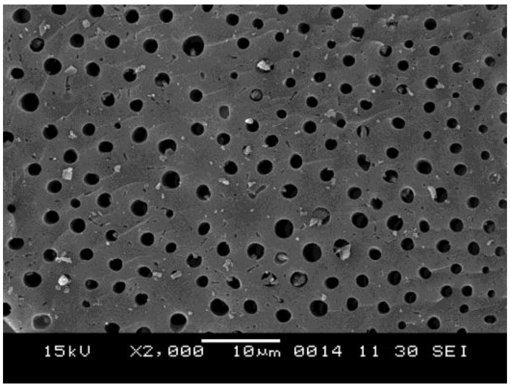
(ข) 

ภาพที่ 4.20 ลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวอย่าง ที่กำลังขยาย 2000 เท่า (ก) กะลามะเยาหิน และ (ข) ถ่านชาร์จากกะลามะเยาหิน

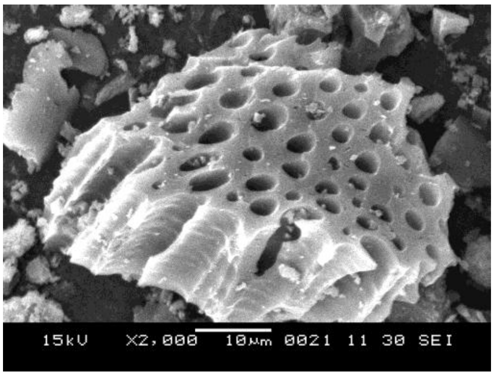
จากภาพที่ 4.20 (ก) และ (ข) จะเห็นว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของกะลามะเยาหินและถ่านชาร์จากกะลามะเยาหินจากขั้นตอนการคาร์บอไนเซชัน ที่อุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์ 500 องศาเซลเซียส เวลาในการคาร์บอไนซ์ 90 นาที แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนการคาร์บอไนเซชันเป็นขั้นตอนแรกที่ทำให้เกิดรูพรุนและช่องว่างภายในโครงสร้างของวัตถุดิบ แต่อย่างไรก็ตามรูพรุนที่เกิดขึ้นบนถ่านชาร์กะลามะเยาหินยังมีจำนวนน้อย โดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นช่องว่างที่มีรูปร่างไม่แน่นอน เพราะกะลามะเยาหินมีการปลดปล่อยสารระเหยจำนวนมากออกมาระหว่างขั้นตอนการคาร์บอไนเซชัน ดังนั้นถ่านชาร์จากกะลามะเยาหินจำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการกระตุ้น เพื่อพัฒนาโครงสร้างรูพรุนและเพิ่มพื้นที่ผิวของรูพรุนบนถ่านกัมมันต์



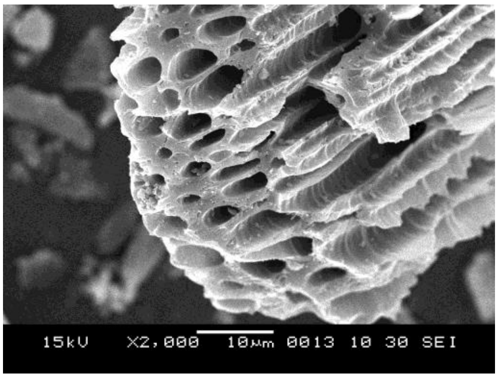
(ก)



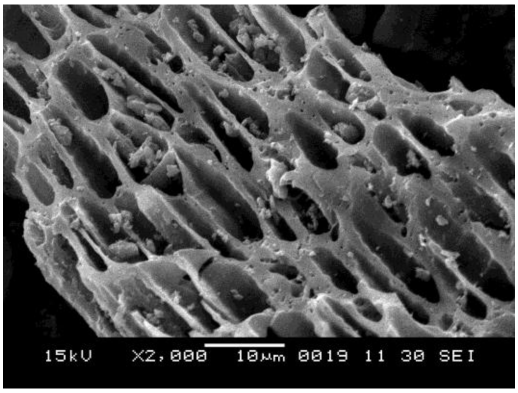
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 4.21 ลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์ ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

(ก) ถ่านชาร์ 500/90

(ข) ถ่านกัมมันต์ 800/90 กระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว

(ค) 800/60 ขนาดอนุภาค 2.36-4.75 มิลลิเมตร กระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศ

(ง) 800/60 ขนาดอนุภาค 1.18-2.36 มิลลิเมตร กระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศ

(จ) 800/60 ขนาดอนุภาค 0.60-1.18 มิลลิเมตร กระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศ

เมื่อพิจารณาลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการกระตุ้น 60 นาที ดังภาพที่ 4.21 (ข) พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียวมีความพรุนเพิ่มขึ้นและมีรูพรุนเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านชาร์กะลามะเยาหินดังภาพที่ 4.21 (ก) โดยรูพรุนที่เกิดขึ้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว จะมีขนาดเล็กและมีลักษณะไม่แน่นอนกระจายตัวทั่วถ่านกัมมันต์ ดังนั้นจึงทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศเพราะการใช้อากาศผสมไอน้ำจะช่วยให้เกิดรูพรุนเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 4.21 (ค) (ง) และ(จ) แต่ขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้เกิดรูพรุนที่แตกต่างกัน เพราะขนาดอนุภาค 2.36-4.75 มิลลิเมตร จะมีพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาน้อยกว่าขนาดอนุภาค 1.18-2.36 มิลลิเมตร และขนาดอนุภาค 0.60-1.18 มิลลิเมตร ทำให้ขนาดอนุภาคเล็กมีรูพรุนขนาดใหญ่เกิดขึ้น ดังภาพที่ 4.21 (จ) และทำให้ค่าเถ้าเพิ่มขึ้น เถ้าที่เกิดขึ้นจะไปขัดขวางการแพร่ของไอน้ำและอากาศซึ่งเป็นแก๊สออกซิไดซ์ ทำให้รูพรุนมีขนาดใหญ่ จากภาพที่ 4.21 (ค) และ(ง) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำผสมอากาศ อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส เวลาในการกระตุ้น 60 นาที ขนาดอนุภาค 1.18-2.36 และ 0.60-1.18 มิลลิเมตร ตามลำดับ รูพรุนที่พบมีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ขนาดอนุภาคที่ 0.60-1.18 มิลลิเมตร เกิดปฏิกิริยากับแก๊สออกซิไดซ์ได้ดีกว่า ขนาดอนุภาคที่ 1.18-2.36 มิลลิเมตร ทำให้มีลักษณะรูพรุนขนาดใหญ่มากกว่ารูพรุนขนาดเล็ก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านชาร์จากกะลามะเยาหิน

การคาร์บอไนซ์กะลามะเยาหินให้เป็นถ่านชาร์ อุณหภูมิและเวลาในการคาร์บอไนซ์มีผลต่อสมบัติของถ่านชาร์ พบว่าภาวะที่เหมาะสมของถ่านชาร์จากกะลามะเยาหินคือ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที โดยให้สมบัติถ่านชาร์ดังนี้ ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ 43.08 ร้อยละสารระเหย 21.23 ร้อยละของเถ้า 14.27 และร้อยละคาร์บอนคงตัว 64.50

5.1.2 ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลามะเยาหิน

การกระตุ้นถ่านชาร์จากกะลามะเยาหินด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งโดยใช้ไอน้ำเพียงอย่างเดียวเป็นตัวกระตุ้น พบว่าภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราการไหลของไอน้ำที่ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ 69.78 ร้อยละของเถ้า 25.02 ค่าการดูดซับไอโอดีน 595.40 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 152.18 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.58 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และกระตุ้นถ่านชาร์จากกะลามะเยาหินด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งโดยใช้ไอน้ำผสมอากาศเป็นตัวกระตุ้น พบว่าภาวะที่เหมาะสมคืออุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราการไหลของไอน้ำที่ 5 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ 68.81 ร้อยละของเถ้า 24.35 ค่าการดูดซับไอโอดีน 973.28 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 227.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.59 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ขนาดอนุภาคที่เหมาะสมสำหรับถ่านกัมมันต์จากกะลามะเยาหินคือ 2.36-4.75 มิลลิเมตร โดยให้อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราการไหลของไอน้ำที่ 5 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ 68.81 ร้อยละของเถ้า 24.35 ค่า

การดูดซับไอโอดีน 973.28 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 227.03 มิลลิกรัมต่อกรัม พื้นที่ผิวBET 1245.76 ตารางเมตรต่อกรัม และค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.59 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ของเสียจากขั้นตอนการคาร์บอไนซ์ เช่น แก๊ส และสารระเหยต่างๆ ควรจะมีการศึกษาของเสียดังกล่าวเพื่อมาใช้ประโยชน์ต่อไป

2. นำวิธีการกระตุ้นแบบไอน้ำผสมอากาศมาใช้กับชีวมวลชนิดอื่นๆ เพื่อลดต้นทุนในการผลิต

3. เนื่องจากการกระตุ้นกะลามะเยาหินด้วยวิธีทางกายภาพให้ร้อยละของเถ้ามากกว่าร้อยละของเถ้าที่เกรดการค้ากำหนดไว้ จึงน่าจะลดร้อยละของเถ้าด้วยสารเคมีก่อนนำไปใช้งาน

4. ข้อสังเกตขั้นตอนการกระตุ้นช่วงเวลาที่ให้ความร้อนระหว่างอุณหภูมิห้องไปจนถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น จะเป็นการคาร์บอไนซ์อีกรอบ แต่เนื่องจากถ่านชาร์เป็นตัวนำความร้อนที่เลว ทำให้ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาภายในโครงสร้างถ่านชาร์

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสหกรรมถ่านกัมมันต์. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

นคร ทิพยาวงศ์. 2553. เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

จิระพงษ์ คูหากาญจน์. 2550. เศรษฐกิจพอเพียงด้วยถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: อักษรสยามการพิมพ์.

ธราพงษ์ วิทิตศานต์. 2553. ถ่านกัมมันต์ การผลิตและการนำไปใช้.พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศ.วิจิตรา. 2551. นักวิจัยชูพืชพลังงานชนิดใหม่ "มะเยาหิน" พืชพลังงานจากประเทศลาว ปลูกได้ดีในไทย ให้น้ำมันมาก.http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=hoonvi&date=21-04-2008&group=8&gblog=80

บุญชัย ตระกูลมหาชัย. 2537. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนดในฟลูอิไดซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิชชรี นิลนนท์. 2540. การผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและคาร์บอนไดออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีระชัย สุรวัฒนสกุล. 2541. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยไพโรไลซิสและการกระตุ้นด้วยไอน้ำในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต,

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิจิตร จินดาพันธ์ไพโรจน์. 2543. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส Eucalyptus camaldulensis Dehnh โดยการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อลิสรา นิติวัฒนะ. 2553. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาแมคาเดเมียโดยการกระตุ้นทางกายภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Suzuki, R.M. and Andrade A.D. 2007. Preparation and characterization of activated carbon from rice bran. Journal of Bioresource Technology 98: 1985-1991.

Kang Sun and Jian chun Jiang. 2010. Preparation and characterization of activated carbon from rubber-seed shell by physical activation with steam. Journal of Biomass and Bioenergy 34: 539-544.

Kunbin Yang and Jinhui Peng. 2010. Textural characteristics of activated carbon by single step CO_2 activation from coconut shells. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 41: 367-372.

Wei Li and Kunbin Yang. 2008. Effect of carbonization temperatures on characteristics of porosity in coconut shell chars and activated carbons derived from carbonized coconut shell chars. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 28: 190-198.

Diana C.S. Azevedo. 2007. Microporous activated carbon prepared from coconut shells using chemical activation with zinc chloride. Journal of Microporous and Mesoporous Materials 100: 361-364.

W.C. Lim, Srinivasakannan and N. Balasubramanian. 2010. Activation of palm shells by phosphoric acid impregnation for high yielding activated carbon. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 88: 181-186.

M. Turmuzi, W.R.W. Daud, S.M. Tasirin, M.S. Takriff and S.E. Iyuke. 2004. Production of activated carbon from candlenut shell by CO_2 activation. Journal of Carbon 42: 453-454.

Juan Yang and Keqiang Qiu. 2010. Preparation of activated carbons from walnut shells via vacuum chemical activation and their application for methylene blue removal. Journal of Carbon 165: 209-217.

Kunbin Yang, Jinhui Peng, C. Srinivasakannan, Libo Zhang, Hongying Xia and Xinhui Duan. 2010. Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating. Journal of Bioresource Technology 101: 6163-6169.

A. Zabaniotou, G. Stavropoulos and V. Skoulou. 2008. Activated carbon from olive kernels in a two-stage process: Industrial improvement. Journal of Bioresource Technology 99: 320–326.

J. Pastor-Villegas and C.J. Dura´n-Valle. 2002. Pore structure of activated carbons prepared by carbon dioxide and steam activation at different temperatures from extracted rockrose. Journal of Carbon 40: 397–402.

Piotr Nowicki, Robert Pietrzak and Helena Wachowska. 2010. Sorption properties of active carbons obtained from walnut shells by chemical and physical activation. Journal of Catalysis Today 150: 107–114.

A.M. Puziy, O.I. Poddubnaya, A. Mart´ınez-Alonso, F. Sua´rez-Garc´ıa and J.M.D. Tasco´n. 2003. S ynthetic carbons activated with phosphoric acid III. Carbons prepared in air. Journal of Carbon 41: 1181–1191.

J. Gan˜a´n, J.F. Gonza´lez, C.M. Gonza´lez-Garcı´a, A. Ramiro, E. Sabio and S. Roma´n. 2006. Air-activated carbons from almond tree pruning: Preparation and characterization. Journal of Applied Surface Science 252: 5988–5992.

R.M. Suzuki, A.D. Andrade, J.C. Sousa and M.C. Rollemberg. 2007. Preparation and characterization of activated carbon from rice bran. Journal of Bioresource Technology 98: 1985–1991.

C. Namasivayam and K. Kadirvelu. 1997. Activated carbons prepared from coir pith by physical and chemical activation methors. Journal of Bioresource Technology 62: 123-127.

WANG Yan-su, WANG Cheng-yang and CHEN Ming-ming. 2009. New mesoporous carbons prepared from pitch by simul-taneous templating and carbonization. Journal of New Carbon Materials 24(2):187–190.

M. João, Valente Nabaisa, Pedro Nunesa, Peter J.M. Carrotta and M. Manuela L. 2008. Production of activated carbons from coffee endocarp by CO_2 and steam activation. Journal of Fuel Processing Technology 89: 262-268.

A. Ould-Idriss, M. Stitou, E.M. Cuerda-Correa, Fernández-González and A. Macías-García. 2011. Preparation of activated carbons from olive-tree wood revisited. I. Chemical activation with H_3PO_4. Journal of Fuel Processing Technology 92: 261–265

A. Ould-Idriss, M. Stitou, E.M. Cuerda-Correa, Fernández-González and A. Macías-García. 2011. Preparation of activated carbons from olive-tree wood revisited. II. Physical activation with air. Journal of Fuel Processing Technology 92: 266–270.

.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของกะลาและถ่านชาร์

1. การวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณ (Proximate Analysis)

วิธีวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณตามมาตรฐาน ASTM D3172-89 โดยวิเคราะห์สารตัวอย่างที่แห้งในอากาศ และคำนวณ เพื่อเทียบกับน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ไม่มีความชื้น (Dry basis) ยกเว้นค่าความชื้นที่รายงานเทียบกับน้ำหนักของสารตัวอย่างที่แห้งในอากาศ (Air dry basis) วิธีวิเคราะห์มีรายละเอียดการหาค่าความชื้น สารระเหย และเถ้า ดังต่อไปนี้

<u>การเตรียมสารตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์</u>

- บดและคัดขนาดของตัวอย่างโดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 250 μm (No. 60) การบดจะต้องใช้เวลาไม่มากเพราะจะทำให้เกิดความร้อนขึ้น ทำให้มีการสูญเสียความชื้นและสารระเหยออกจากสารตัวอย่างได้
- นำสารตัวอย่างที่บดและคัดขนาดแล้วมาเก็บไว้ในภาชนะที่มามารถป้องกันความชื้น

1. <u>วิธีหาค่าความชื้น</u> (Moisture, M)
    - เผาถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นเป็นเวลา 15 ถึง 30 นาที
    - ชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา จากนั้นใส่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 1 กรัม ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (0.0001 กรัม) ในถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา ทำการบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ได้ก่อนอบแห้งรวมกับน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา
    - จากนั้นนำไปอบแห้งในเตาเผาที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
    - ชั่งและบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ได้หลังอบแห้ง รวมกับน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา

คำนวณค่าความชื้นดังนี้

$$M = [(A - B)/A] \times 100$$

เมื่อ M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้เริ่มต้น (กรัม)

B = น้ำหนักของตัวอย่างหลังการอบแห้ง (กรัม)

2. <u>วิธีหาปริมาณร้อยละสารระเหย</u> (Volatile matter, VM)

- เผาถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา จากนั้นใส่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 1 กรัม ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (0.0001 กรัม) ในถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา
- นำไปเผาในเตาเผาแบบท่อ โดยวางก้นถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาไว้ขอบเตาเผาเป็นเวลา 2 นาที (อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส) จากนั้นเลื่อนถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาลงมาโดยให้ฝาอยู่ที่ขอบเตาเผาเป็นเวลา 3 นาที (อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส) จากนั้นเลื่อนถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาลงมาให้มาอยู่ที่กึ่งกลางของเตาเผาเป็นเวลา 6 นาที (อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส)
- นำออกจากเตาเผาแล้วทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ได้หลังการเผา โดยรวมน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา

คำนวณหาค่าสารระเหยดังนี้

Weight loss, % = [(A – B)/A] x 100

เมื่อ A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้เริ่มต้น (กรัม)

B = น้ำหนักของตัวอย่างหลังการเผา (กรัม)

VM = C – D

เมื่อ VM = ร้อยละของสารระเหย

C = Weight loss, %

D = ร้อยละของความชื้น

3. <u>ค่าเถ้า</u> (Ash)

- เผาถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา จากนั้นใส่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 1 กรัม ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (0.0001 กรัม) ลงในถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา

- นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ประมาณ 3 ชั่วโมง
- นำออกจากเตาเผาทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่ได้หลังการเผา รวมน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา

คำนวณค่าเถ้าดังนี้

Ash = [(A – B)/C] x 100

เมื่อ A = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาและตัวอย่างหลังการเผา (กรัม)

B = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา (กรัม)

C = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาและตัวอย่างก่อนการเผา (กรัม)

4. ค่าคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon, FC)

FC = 100 – (M + A + VM)

เมื่อ FC = ร้อยละของคาร์บอนคงตัว

M = ร้อยละของความชื้น

A = ร้อยละของเถ้า

VM = ร้อยละของสารระเหย

ภาคผนวก ข
วิธีวิเคราะห์ค่าเถ้าของถ่านกัมมันต์

วิเคราะห์ปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์ตามวิธี ASTM D 2866-83 โดยวิเคราะห์และรายงานค่าที่ได้เทียบกับน้ำหนักของตัวอย่างที่ไม่มีความชื้น (Dry basis) รายละเอียดการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

- บดและคัดขนาดตัวอย่างให้ละเอียดให้ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 250 μm (No. 60)
- เผาถ้วยกระเบื้องที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่
- นำออกมาตั้งทิ้งไว้บนอิฐทนไฟ 10 นาที แล้วทำให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งถ้วยกระเบื้อง และบันทึกน้ำหนักที่คงที่ไว้ (X_0)
- ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 150$\pm$5 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักที่คงที่ ประมาณ 3 ชั่วโมง ใส่ถ้วยกระเบื้องให้มีน้ำหนักประมาณ 1 กรัม ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (0.0001 กรัม) บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ได้รวมกับน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องกับตัวอย่าง (X_1)
- นำไปเผาที่อุณหภูมิ 650$\pm$25 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง
- นำออกมาตั้งทิ้งไว้บนอิฐทนไฟ 10 นาที แล้วทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ค่อยๆเปิดฝาหม้อดูดความชื้นเพื่อป้องกันไม่ให้เถ้าฟุ้งกระจาย ชั่งและบันทึกตัวอย่างที่ได้ของตัวอย่างหลังเผารวมกับน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องทนความร้อน (X_2)

คำนวณค่าเถ้าดังนี้

$$\text{เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = [(X_2 - X_0) / (X_1 - X_0)] \times 100$$

ภาคผนวก ค
วิธีวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของถ่านกัมมันต์

วิเคราะห์ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของถ่านกัมมันต์ (Bulk density, BD) ตามวิธี ASTM D 2854-89 รายละเอียดการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

- อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ถึง 120 องศาเซลเซียส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งกระบอกตวงที่มีปริมาตรความจุ 10 มิลลิลิตร ให้มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 2 (0.01 กรัม) ทำการบันทึกผล (X_0)
- ใส่ตัวอย่างลงไปในกระบอกตวงจนเกือบเต็ม จากนั้นกระแทกก้นกระบอกตวงบนแผ่นยางจนระดับของตัวอย่างในกระบอกตวงคงที่
- เมื่อระดับคงที่นั้นไม่เท่ากับ 10 มิลลิลิตร ให้เต็มตัวอย่างเข้าหรือออกจากกระบอกตวง แล้วกระแทกก้นกระบอกตวงใหม่ จนมีระดับคงที่เป็น 10 มิลลิลิตร
- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพร้อมกระบอกตวง บันทึกผล (X_1)

คำนวณค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรได้จาก

ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) = $(X_1 – X_0) / 10$

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน โดยสมมุติว่าไอโอดีนเป็นสารพิษในน้ำ ตามวิธี ASTM D 4607-86 มีรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

<u>สารเคมีที่ใช้</u>

- สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 70 มิลลิลิตร เทใส่น้ำกลั่นที่มีปริมาตร 550 มิลลิลิตร
- น้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยชั่งแป้ง 1 กรัม ละลายด้วยน้ำร้อนจนมีน้ำหนักเป็น 10 กรัม น้ำแป้งที่เตรียมได้จะใช้ภายในวันที่เตรียมเท่านั้น
- สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 24.820 กรัมในน้ำ 75 มิลลิลิตร เติมโดยโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.1 กรัม และเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร
- สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยละลายไอโอดีน 12.700 กรัมกับโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 19.10 กรัมด้วยน้ำ 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 4 ชั่วโมงจนผลึกไอโอดีนละลายหมด แล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร
- สารละลายโปแตสไอโอเดตเข้มข้น 0.100 นอร์มัล เตรียมโดยอบโปแตสเซียมไอโอเดตที่ 110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในหม้อดูดความชื้น แล้วชั่งมา 3.5667 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

<u>กรรมวิธีเทียบมาตรฐานสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต</u>

- ปิเปตสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต 25 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดรูปชมพูขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2 กรัม เขย่าให้ละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาณ 5 มิลลิลิตร

- ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติ คือ จุดที่สารละลายไม่มีสี

คำนวณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจาก

$$N_1 = (P \times R) / S$$

โดย N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

P คือ ปริมาตรของสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)

R คือ ความเข้มข้นของสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (นอร์มัล)

S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรต (มิลลิลิตร)

<u>กรรมวิธีเทียบมาตรฐานของสารละลายไอโอดีน</u>

- ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตรใส่ในขวดชมพูขนาด 250 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติ คือ จุดที่สารละลายไม่มีสี

คำนวณความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนได้จาก

$$N_2 = (P \times R) / S$$

โดย N_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มัล)

P คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

R คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

S คือ ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไตเตรต (มิลลิลิตร)

<u>กรรมวิธีวิเคราะห์</u>

- บดและคัดขนาดให้ละเอียดน้อยกว่า 250 μm (No. 60)
- อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ถึง 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งและบันทึกนำหนักตัวอย่างเท่ากับ M ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (0.01 กรัม) ในขวดชมพูขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งมีจุกปิด

<u>หมายเหตุ</u> ต้องชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 ถึง 3 ค่าต่อตัวอย่าง เพื่อให้ได้ค่า C มีค่าน้อยกว่าเท่ากับและมากกว่า 0.02 น้ำหนักประมาณของตัวอย่าง ดูจากตารางที่ ก

- ใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกจำนวน 10 มิลลิลิตร ตวงด้วยปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดประมาณ 10 วินาที แกว่งขวดเบาๆเพื่อให้ผงถ่านกัมมันต์ทุกส่วนชุ่มด้วยสารละลาย เพื่อกำจัดเถ้าหรือซัลเฟอร์ออกจากผิวของถ่านกัมมันต์
- ใส่สารละลายไอโอดีน 100 มิลลิลิตรปิดจุกแล้วเขย่าแรงๆเป็นเวลา 30 วินาที
- กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ทิ้งสารละลายที่กรองได้ 20 มิลลิลิตรแรก
- ดูดสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตรด้วยปิเปต
- ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติ คือ จุดที่สารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายไทโอซัลเฟตที่ใช้เป็นมิลลิลิตร (S)

คำนวณค่าการดูดซับจำเพาะ (X/M) และความเข้มข้นที่สมดุลย์ของสารละลายไอโอดีน (C) ได้จาก

$$X/M\ (mg/g) = [A - (2.2 \times B \times S)] / W$$

$$C = (N_2 \times S) / 50$$

โดย X/M คือ มิลลิลิตรของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านที่ใช้ดูดซับ

N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

N_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

A คือ $N_1 \times 1269.30$

B คือ $N_2 \times 12.693$

C คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่กรองได้

W คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้

S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

- นำค่า X/M ที่ได้ทั้งสามค่ามาสร้างกราฟระหว่างแกนราบคือ log C แกนตั้งฉากคือ log X/M จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

- จากเส้นความสัมพันธ์ที่ตำแหน่ง C = 0.02 หรือ log C = -1.639 จะทราบค่าบนแกนตั้งฉาก สมมุติเท่ากับ Y นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า IA ดังนี้

$$IA\ (\text{มิลลิกรัม/กรัม}) = 10^{Y}$$

ตารางที่ ก น้ำหนักประมาณของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ไอโอดีน ASTM D 4607-86

M				M			
E	C = 0.01	C = 0.02	C = 0.03	E	C = 0.01	C = 0.02	C = 0.03
300	3.766	3.300	2.835	1550	0.729	0.639	0.549
350	3.228	2.829	2.430	1600	0.706	0.619	0.531
400	2.824	2.475	2.126	1650	0.684	0.600	0.515
450	2.510	2.200	1.890	1700	0.664	0.582	0.500
500	2.259	1.980	1.701	1750	0.645	0.566	0.486
550	2.054	1.800	1.546	1800	0.628	0.550	0.472
600	1.883	1.650	1.417	1850	0.610	0.535	0.460
650	1.738	1.523	1.308	1900	0.594	0.521	0.447
700	1.614	1.414	1.215	1950	0.579	0.508	0.436
750	1.506	1.320	1.134	2000	0.565	0.495	0.425
800	1.412	1.237	1.063	2050	0.551	0.483	0.415
850	1.329	1.164	1.000	2100	0.538	0.471	0.405
900	1.255	1.100	0.945	2150	0.525	0.460	0.396
950	1.189	1.042	0.895	2200	0.513	0.450	0.388
1000	1.130	0.990	0.850	2250	0.502	0.440	0.378
1050	1.076	0.943	0.810	2300	0.491	0.430	0.370
1100	1.027	0.900	0.773	2350	0.481	0.421	0.362
1150	0.982	0.861	0.739	2400	0.471	0.412	0.354
1200	0.941	0.825	0.709	2450	0.461	0.404	0.347
1250	0.904	0.792	0.680	2500	0.452	0.396	0.340
1300	0.869	0.761	0.654	2550	0.443	0.388	0.333
1350	0.837	0.733	0.630	2600	0.434	0.381	0.327
1400	0.807	0.707	0.607	2650	0.426	0.374	0.321
1450	0.779	0.683	0.586	2700	0.418	0.367	0.315
1500	0.753	0.666	0.567	2750	0.411	0.360	0.309

ภาคผนวก จ
การวิเคราะห์ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์

วิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับสีน้ำเงินในน้ำตามวิธี JIS 1470-1975 มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

<u>เครื่องมือที่ใช้</u>

1. เครื่องเขย่าตามแนวราบ
2. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง
3. เครื่องเซนติฟิวจ์

<u>วิธีเตรียมสารละลาย</u>

1. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer solution)
   - อบโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ให้แห้งที่อุณหภูมิ 110–120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นนาน 20 นาที
   - ชั่งมา 9.0 กรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวมเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยขวดวัดปริมาตร สารละลายที่ได้นี้คือ A
   - อบโซเดียมโมโนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) ให้แห้งที่อุณหภูมิ 110–120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นนาน 20 นาที
   - ชั่งมา 23.88 กรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวมเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยขวดวัดปริมาตร สารละลายที่ได้นี้คือ B
   - นำสารละลาย A จำนวน 400 มิลลิลิตรผสมกับสารละลาย B จำนวน 600 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากัน จะได้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7
2. สารละลายเมทิลีนบลู

2.1 การเตรียมอบสารเมทิลีนบลูให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ถึง 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นนาน 20 นาที ชั่งมา 1.2060 กรัม (สมมุติว่ามีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5) ละลายด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ในข้อ 1 จนมีปริมาตรเป็น 4,000 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้นี้มีความเข้มข้น 0.3000 มิลลิกรัมต่อกรัม กวนสารละลายอย่างน้อย 3 วัน ก่อนนำไปใช้

2.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน ดูดสารละลายเมทิลีนบลูที่เตรียมได้มา 5.0 มิลลิลิตรเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ให้สารละลายนี้คือ M ซึ่งมีความเข้มข้น 0.3000 มิลลิกรัมต่อกรัม เจือจางสารละลาย M ให้มีความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้

ดูดมา	1.0 มล.	เจือจางเป็น	100 มล.	ความเข้มข้น	=	0.00030 มก./มล.
ดูดมา	1.5 มล.	เจือจางเป็น	100 มล.	ความเข้มข้น	=	0.00045 มก./มล.
ดูดมา	2.0 มล.	เจือจางเป็น	100 มล.	ความเข้มข้น	=	0.00060 มก./มล.
ดูดมา	2.5 มล.	เจือจางเป็น	100 มล.	ความเข้มข้น	=	0.00075 มก./มล.
ดูดมา	3.0 มล.	เจือจางเป็น	100 มล.	ความเข้มข้น	=	0.00090 มก./มล.

วัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 663 นาโนเมตรบันทึกค่าการดูดกลืนแสงแล้วนำไปสร้างกราฟระหว่างแกนราบคือความเข้มข้นในหน่วย 100 มก./มล. แกนตั้งฉากคือค่าการดูดกลืน จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงมีความชันเท่ากับ tan θ

<u>หมายเหตุ</u> ค่า tan θ เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมได้ ในการทดลองนี้กำหนดว่าค่าดังกล่าวต้องอยู่ในช่วง 2.0 ถึง 2.2 เท่านั้น ถ้าไม่ได้ค่าตามนี้ ให้ถือว่าสารละลายที่เตรียมมาใช้ไม่ได้

<u>กรรมวิธีวิเคราะห์</u>

- บดและคัดขนาดตัวอย่างให้ละเอียดน้อยกว่า 250 μm (No. 60)
- อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ถึง 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นนาน 20 นาที
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักเท่ากับ D ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (0.01 กรัม) ในขวดชมพูขนาด 300 มิลลิลิตร ซึ่งมีจุกปิด
- ใส่สารละลายเมทิลีนบลู 50 มิลลิลิตร ปิดจุกแล้วเขย่าแรงๆ 10 วินาที สังเกตดูว่าสีของสารละลายเจือจางหรือไม่ ถ้าเจือจางให้ใส่สารละลายเมทิลีนบลูลงไปอีกครั้งละ 50 มิลลิลิตร
- เมื่อสีของสารละลายไม่เจือจาง ให้ใส่สารละลายเพิ่มอีก 50 มิลลิลิตร เพื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายที่จุดสมดุลของการดูดซับเท่ากับ 0.3 มก./ก. แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที นาน 30 นาที

- เทสารละลายส่วนบนลงในหลอดเซนติฟิวจ์ แล้วนำไปเซนติฟิวจ์ด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที
- ดูดสารละลายส่วนบนมา 0.5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร (ค่าคงที่ของการเจือจาง, C = 100/0.5 = 200) ถ้าวัดการดูดกลืนแสงแล้วอยู่นอกช่วงของกราฟมาตรฐาน ให้เพิ่มปริมาตรหลังการเจือจาง เช่น เจือจางเป็น 200 มิลลิลิตร (C = 400) เป็นต้น
- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร

ค่าการดูดกลืนแสง (Methylene blue adsorption, MB) (มิลลิกรัมต่อกรัม) คำนวณได้จาก

$$MB\ (mg/g) = [0.3000A/D] - [ABC/100D\tan\theta]$$

โดย A = ปริมาตรของสารละลายเมทิลีนบลูที่ใช้ตอนเริ่มต้น, มิลลิลิตร

B = ค่าการดูดกลืนแสง

C = ค่าคงที่ของการเจือจาง = 200 (หรือ 400)

ภาคผนวก ฉ
สมบัติถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

ตารางที่ ข คุณสมบัติถ่านกัมมันต์ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 900-2547)

คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	ค่ามาตรฐาน
ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	
- ค่าการดูดซับไอโอดีน	>600
- ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.20-0.75
ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด	
- ค่าการดูดซับไอโอดีน	>600
- ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	≤8
- ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	>0.20
- ความแข็ง (abrasion resistance)	>70
ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดเม็ด	
- ค่าการดูดซับไอโอดีน	>600
- - ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	≤8
- ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	>0.20
- ความแข็ง(abrasion resistance)	>70
ถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง	
- ค่าการดูดซับไอโอดีน	>600
- ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	≤8

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวจตุรภัทร เลิศวิภาภัทร เกิดเมื่อวันที่ 13 กันยายน 2530 ที่จังหวัดลำปาง สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2552