

การผลิตน้ำมันตัดแท่งจากผงแอนทราไซต์ด้วยตัวประสานกาน้ำตาล



นาย กษิต แหลมทองมงคล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดมหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

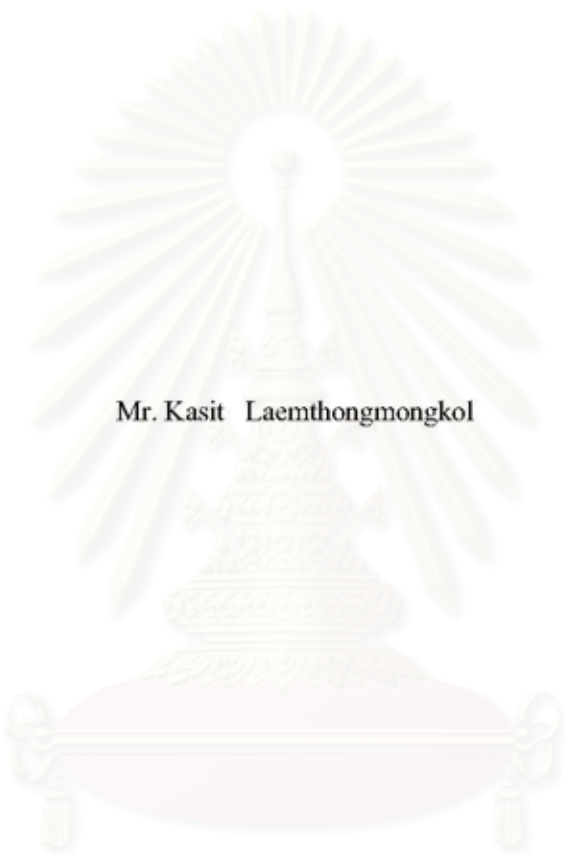
สาขาวิชา เทคโนโลยีเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF EXTRUDED ACTIVATED CARBON
FROM ANTHRACITE POWDER WITH MOLASSES BINDER



Mr. Kasit Laemthongmongkol

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Fuel Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การผลิตถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากผงแอนทราไซต์ด้วยตัวประสาน
กากน้ำตาล

โดย

นายกษิต แผลมทองมงคล

สาขาวิชา

เทคโนโลยีเชื้อเพลิง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์

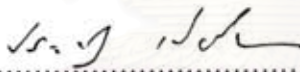
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



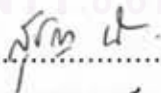
..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์)



..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชญา นิตวิฒนานนท์)



..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.นิชชรี นิลนนท์)

กษิต แหลมทองมงคล : การผลิตถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากผงแอนทราไซต์ด้วยตัวประสาน
กากน้ำตาล (PRODUCTION OF EXTRUDED ACTIVATED CARBON FROM
ANTHRACITE POWDER WITH MOLASSES BINDER.) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รศ.
ดร. ธารพจน์ วิทิตสานต์, 102 หน้า.

ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 20
มิลลิเมตร ทำการผลิตโดยกระบวนการกระตุ้นเพื่อให้ถ่านอัดก้อนมีพื้นที่ผิวสัมผัสในการดูดซับมาก
ที่สุดโดยจุดประสงค์หลักเพื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปทำการดูดซับแก๊สมลภาวะจากกระบวนการทาง
เคมีต่างๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ คาร์บอนไดออกไซด์ ในการศึกษาเราจะทำการพัฒนาการ
ผลิตถ่านกัมมันต์จากผงถ่านแอนทราไซต์โดยใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน และทำการศึกษาถึง
คุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นได้โดยทำการวัดจาก ค่าความแข็งแรงเชิงกล และคุณสมบัติใน
การดูดซับ ตัวแปรที่ทำการทดลองประกอบไปด้วย ผลกระทบของ อุณหภูมิ เวลา และ ปริมาณของ
ตัวประสานกากน้ำตาล ถ่านกัมมันต์ในแต่ละภาวะ ถ่านกัมมันต์ที่ได้ จะนำไปทำการทดสอบถึงค่า
การดูดซับของไอโอดีน ซึ่งค่าในการกระตุ้นที่ให้การดูดซับไอโอดีนดีที่สุดคือ การใช้ตัวประสาน
กากน้ำตาลเป็นปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 850 องศาเซลเซียสเป็นเวลา
2 ชั่วโมง อัตราการป้อนไอน้ำที่ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ผลที่ได้จะได้ค่าพื้นที่ผิวการดูดซับ 671 ตาราง
เมตรต่อกรัม การดูดซับไอโอดีนที่ 843 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู 299 มิลลิกรัมต่อ
กรัม ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.85 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความเค้นของการกดทับ 117.98
นิวตันต่อตารางเซนติเมตร ความทนต่อแรงขูดขีด 35 Shore D และค่าการสูญเสียน้ำขณะทำการ
กระตุ้นอยู่ที่ 74.55 โดยน้ำหนัก

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค..... ลายมือชื่อนิสิต.....ณัฐ แหลมทองมงคล.....
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีเชื้อเพลิง..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....AT.....
ปีการศึกษา.....2551.....

5072586723 : MAJOR FUEL TECHNOLOGY

KEYWORDS: EXTRUDED ACTIVATED CARBON/ MOLASSES BINDER/ PHYSICAL ACTIVATION

KASIT LAEMTHONGMONGKOL : PRODUCTION OF EXTRUDED ACTIVATED CARBON FROM ANTHRACITE POWDER WITH MOLASSES BINDER

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. THARAPONG VITIDSANT, 102 pp.

Extruded activated carbon, cylindrical shaped activated carbon with diameters 10 mm. and 20 mm. length, was produced by activation process to produce a very high surface area coal briquette that use for adsorption of polluted gases from chemical processes, such as H_2S and CO_2 . The studies are developed a capability for the production of activated carbon from anthracite powder by using molasses as a binder. Studies on qualities of extruded activated carbon from anthracite powder show there are several factors affect mechanical strength and adsorption properties. The effects of temperature, time and quantity of molasses on the characteristics of activated carbon were investigated by iodine adsorption. The optimum adsorption was achieved with following conditions 10 ml/min of steam feeding and activation temperature of $850^\circ C$ with holding 2 hours. The surface area adsorption is $671 m^2 g^{-1}$, optimum iodine and methylene blue adsorption were $843 mg g^{-1}$ and $299 mg g^{-1}$, respectively. Bulk density is $0.85 g cm^{-3}$. The stress of EAC is $117.98 N cm^{-2}$, and hardness is 35 Shore D. Weight loss during activation process is 74.55%wt.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department :Chemical Technology...

Student's Signature.....

Kasit Laemthongmongkol

Field of Study :Fuel Technology.....

Advisor's Signature.....

T. Vitidsant

Academic Year :2008.....

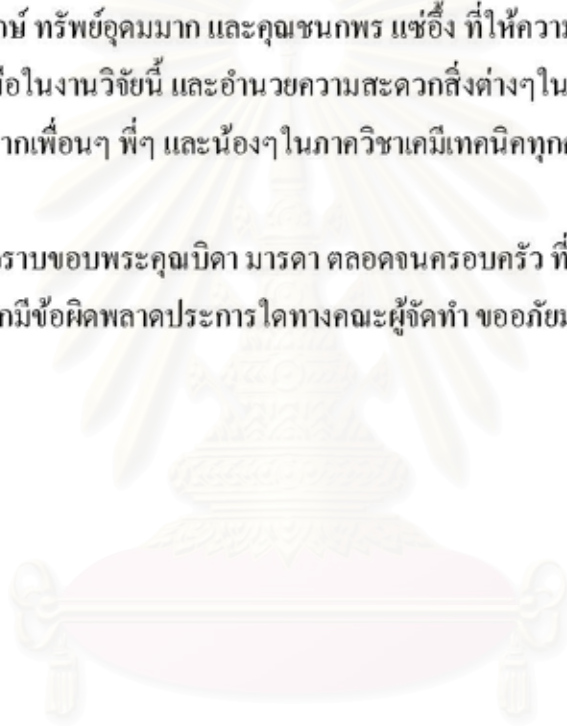
กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของท่านรองศาสตราจารย์ ดร.ชราพงษ์ วิทิตสานต์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และข้อคิดเห็นต่างๆในงานวิจัยมาโดยตลอด

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ , ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชญา นิตวิฒนานนท์ และอาจารย์ ดร.นิชชรี นิลนนท์ ประธาน และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้ความสนใจพร้อมให้คำชี้แนะต่องานวิจัยฉบับนี้ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอนด้านวิชาการตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณประจักษ์ ทรัพย์อุดมมาก และคุณชนกพร แซ่อึ้ง ที่ให้ความช่วยเหลือในการออกแบบ สร้างเครื่องมือในงานวิจัยนี้ และอำนวยความสะดวกสิ่งต่างๆในห้องปฏิบัติงาน และที่ขาดไม่ได้คือ กำลังใจจากเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกคน ที่ให้คำแนะนำ และการช่วยเหลือตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนครอบครัว ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา หากมีข้อผิดพลาดประการใดทางคณะผู้จัดทำ ขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย



กษิต แหลมทองมงคล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
สัญลักษณ์และคำย่อ.....	๓

บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ถ่านหิน.....	5
2.1.1 ความหมายของถ่านหิน.....	5
2.1.2 ลักษณะการเกิดของถ่านหิน.....	5
2.1.3 ชนิดของถ่านหิน.....	6
2.2 ความหมายของถ่านกัมมันต์.....	8
2.2.1 มีพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนสูง.....	9
2.2.2 สามารถทำการบำบัดเพื่อคืนสภาพแล้วนำมาใช้งานซ้ำได้.....	9
2.2.3 สามารถนำไปใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องกำจัดความชื้น.....	9
2.2.4 สามารถผลิตได้จากวัสดุราคาถูกลง.....	9
2.2.5 มีความทนทานสูง.....	10
2.3 วัสดุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์.....	10
2.4 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์.....	11
2.4.1 การคาร์บอนไนเซชัน.....	11
2.4.2 การกระตุ่น.....	12

บทที่ หน้า

2.5	โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์.....	20
2.6	ถ่านกัมมันต์ในทางการค้า.....	24
2.7	การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์.....	28
2.7.1	ไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine Number)	28
2.7.2	โมลาสัมเบอร์ (Molass Number)	28
2.7.3	แทนนิน (Tannin)	28
2.7.4	เมทิลีนบลู (Methylene Blue)	28
2.7.5	ความหนาแน่น (Apparent Density)	28
2.7.6	ค่าความแข็ง/ ค่าการขัดถู (Hardness/ Abrasion Number)	28
2.7.7	ปริมาณเถ้า (Ash Content)	28
2.7.8	ระดับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride Activity).....	28
2.7.9	ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคถ่าน (Particle Size Distribution)....	28
2.8	ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์.....	29
2.8.1	ประเภทใช้กับของเหลว (Liquid phase carbon)	29
2.8.2	ประเภทที่ใช้ในการดูดแก๊สและไอ (Gas Phase Carbon).....	29
2.9	การเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการทำงาน.....	30
2.9.1	ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ใช้ในกระบวนการทางเคมี.....	30
2.9.2	การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon PAC).....	30
	ทำความสะอาดสารละลาย	
2.9.3	การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon GAC).....	31
2.9.4	การดูดซับโลหะหนักด้วยถ่านกัมมันต์.....	32
2.9.5	การดูดซับอินทรีย์สารด้วยถ่านกัมมันต์.....	32
2.10	กากน้ำตาล	33
2.11	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
2.10.1	งานวิจัยต่างประเทศ.....	35
2.10.2	งานวิจัยในประเทศ.....	37
3.	เครื่องมือและการดำเนินงานทดลอง.....	39
3.1	รูปแบบการศึกษา.....	39

บทที่ หน้า

3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย.....	39
3.3	สารเคมีที่ใช้.....	40
3.4	วัตถุดิบ.....	40
3.5	ขั้นตอนการดำเนินงานทดลอง.....	40
4.	ผลและอภิปรายผลงานวิจัย.....	46
4.1	สมบัติของวัตถุดิบ.....	46
4.1.1	สมบัติเบื้องต้นของผงถ่านแอนทราไซต์ จากบริษัทไทยแลนด์แอนทรา ไซต์	46
4.1.2	ลักษณะของผงถ่านแอนทราไซต์ และถ่านกัมมันต์.....	47
4.2	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์.....	48
4.3	เวลาที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์.....	50
4.4	ร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดอัด แท่ง	53
4.4.1	สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณร้อยละกากน้ำตาลค่าต่างๆ.....	53
4.4.2	ค่าพื้นที่ผิวการดูดซับ (BET)	54
4.4.3	ค่าการดูดซับไอโอดีน (IA)	56
4.4.4	ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (MB)	57
4.4.5	ค่าความหนาแน่น (Density and Bulk Density) ที่ปริมาณร้อยละต่างๆ ของตัวประสานกากน้ำตาล	58
4.4.6	ค่าความเค้นของการกดทับ (Compression) ที่ปริมาณร้อยละต่างๆของ ตัวประสานกากน้ำตาล	60
4.4.7	ค่าการทนต่อแรงขูดขีด (Hardness) ที่ปริมาณร้อยละต่างๆของตัว ประสานกากน้ำตาล	62
4.5	ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	63
4.5	การเปรียบเทียบสมบัติของถ่านกัมมันต์กับงานวิจัยอื่นๆ.....	66
4.6	เปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ในงานวิจัย กับมาตรฐานอุตสาหกรรม	67
5.	สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	68
5.1	สรุปผลงานวิจัย.....	68
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	69

หน้า	
รายการอ้างอิง.....	70
ภาคผนวก.....	74
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	102



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1	สถิติการนำเข้่า่านกัมมันต์ในประเทศไทย.....	2
1.2	สถิติการส่งออกถ่านกัมมันต์ในประเทศไทย.....	2
2.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของถ่านหินแต่ละชนิด.....	8
2.2	การนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ในระบบต่างๆ.....	27
2.3	ตัวอย่างสารข้างต้นที่ถ่านกัมมันต์สามารถใช้บำบัดกรณีที่ปนเปื้อนอยู่ในระบบน้ำทิ้ง..	32
	ในอุตสาหกรรม น้ำทิ้งชุมชน โรงกลั่นน้ำมัน โรงเยื่อต่างๆ	
4.1	แสดงค่าวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของผงถ่านแอนทราไซค์ จากบริษัท.....	46
	ไทยแลนด์แอนทราไซค์	
4.2	ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิ	47
	ต่างๆ ในอัตราส่วนกากน้ำตาลร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก อัตราการไหลของไอน้ำที่ 10	
	มิลลิลิตรต่อนาที และการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	
4.3	ผลกระทบของอุณหภูมิในการกระตุ้นทางเคมี โดยใช้สาร โซเดียมไฮดรอกไซด์..	50
	เป็นตัวกระตุ้นถ่านบิทูมินัส (ในอัตราส่วน KOH:Pitch เป็น 3:1) ต่อค่าพื้นที่ผิวดูดซับ	
	ของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิต่างๆ	
4.4	แสดงค่าวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของถ่านอัดแท่งก่อนการกระตุ้นในปริมาณ	53
	ร้อยละกากน้ำตาลต่างๆ	
4.5	ผลของปริมาณร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลต่อค่าพื้นที่ผิวการดูดซับ (BET).....	55
	โดยทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อน	
	ไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่อนาที	
4.6	สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้ กับงานวิจัยอื่นๆ.....	66
4.7	เปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ในงานวิจัย กับมาตรฐานอุตสาหกรรมตาม.....	67

มอก.900-2532

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1	แสดงขั้นตอนการกำเนิดถ่านหินของแหล่งที่มีการสะสมตัวอยู่กับที่.....	6
2.2	แผนภูมิแสดงสัดส่วนของสารองค์ประกอบในกระบวนการแปรสภาพเป็นถ่านหิน....	7
2.3	ตัวอย่างกระบวนการกระตุ้นทางเคมี.....	14
2.4	ตัวอย่างกระบวนการกระตุ้นทางกายภาพ.....	19
2.5	โครงสร้างของกราฟไฟต์.....	20
2.6	โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ (A) electron microscopic view of activated carbon (B) symbolic view of graphite	21
2.7	รูปแสดงลักษณะของรูพรุนในถ่านกัมมันต์ (A) ชนิดรูพรุนของถ่านกัมมันต์..... (B) ภาพรูพรุนของถ่านกัมมันต์โดยใช้ SEM	22
2.8	แสดงกลุ่มฟังก์ชันต่างๆที่ผิวคาร์บอน และอุณหภูมิต่างๆที่สลายตัว โดย TPD.....	24
2.9	องค์ประกอบของกากน้ำตาลที่ได้จากการสกัดน้ำตาลครั้งที่ 3 (Blackstrap)	34
3.1	เครื่องอัดขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง.....	43
3.2	ลักษณะของกระบอที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง.....	43
3.3	ภาพแสดงชุดกระตุ้น.....	44
3.3	เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ.....	44
3.4	เตาให้ความร้อนแบบแนวตั้ง.....	45
3.5	ลักษณะของชุดกระตุ้นถ่านกัมมันต์.....	45
4.1	ลักษณะของผงถ่านแอนทราไซต์ก่อนการขึ้นรูป.....	47
4.2	ลักษณะของผงถ่านแอนทราไซต์อัดแท่งก่อนทำการกระตุ้น (ก)..... และลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นแล้ว (ข)	47
4.3	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นต่อค่าการดูดซับ ไอ โอดีนของถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน กากน้ำตาลร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก	48
4.4	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นต่อร้อยละคงเหลือของถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน..... กากน้ำตาลร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก	49
4.5	ผลของเวลาในการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 850 องศาเซลเซียสต่อค่าการดูดซับ.... ไอ โอดีนของถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วนกากน้ำตาลร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก	51
4.6	ผลของเวลาในการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 850 องศาเซลเซียสต่อค่าร้อยละคง เหลือของถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วนกากน้ำตาลร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก	51

ภาพประกอบ หน้า

- 4.7 ผลของปริมาณร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลต่อค่าพื้นที่ผิวการดูดซับ (BET)..... 54
โดยทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อน
ไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที และอัตราการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่ออนาที
- 4.8 ผลของปริมาณร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลต่อค่าการดูดซับไอ โอดีน (IA)..... 56
โดยทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อน
ไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที และอัตราการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่ออนาที
- 4.9 ผลของปริมาณร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลต่อค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (MB).. 57
โดยทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อน
ไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที และอัตราการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่ออนาที
- 4.10 ผลของปริมาณร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร... 58
ของถ่านกัมมันต์ ชนิดอัดแท่ง โดยทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็น
เวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อนไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที และอัตราการไหลของอากาศ
500 มิลลิลิตรต่ออนาที
- 4.11 ผลของปริมาณร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลต่อค่าความเค้นของการกดทับ 60
(นิวตันต่อตารางเซนติเมตร) ของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง โดยทำการกระตุ้นที่
อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อนไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อ
อนาที และอัตราการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่ออนาที
- 4.12 ผลของปริมาณร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลต่อค่าการทนต่อแรงขูดขีดของ..... 62
ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง โดยทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา
2 ชั่วโมง อัตราการป้อนไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่ออนาทีและอัตราการไหลของอากาศ 500
มิลลิลิตรต่ออนาที
- 4.13 รูปถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของผงถ่านแอนทราไซต์ 63
- 4.14 รูปถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของถ่านกัมมันต์ที่มีกาก 63
น้ำตาลร้อยละ 15 โดยน้ำหนักเป็นตัวประสาน
- 4.15 รูปถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาล 64
ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเป็นตัวประสาน
- 4.16 รูปถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของถ่านกัมมันต์ทางการค้า... 64
(บริเวณขอบนอกของถ่านกัมมันต์)
- 4.17 รูปถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของถ่านกัมมันต์เกรดการค้า.. 65
(บริเวณใจกลางของถ่านกัมมันต์)

สัญลักษณ์และคำย่อ

Ash	= ค่าเถ้า (Ash) มีหน่วยเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก
BD	= ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร (Bulk density) มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
FC	= คาร์บอนคงตัว (Fix carbon) มีหน่วยเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก
HCl	= กรดไฮโดรคลอริก
H ₃ PO ₄	= กรดฟอสฟอริก
IA	= เลขไอโอดีน (Iodine adsorption number) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม ไอโอดีนต่อกรัมของถ่านกัมมันต์
KOH	= โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
M	= ค่าความชื้น (Moisture) มีหน่วยเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก
MB	= เลขเมทิลีนบลู (Methylene blue adsorption number) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมเมทิลีนบลูต่อกรัมของถ่านกัมมันต์
Na ₂ CO ₃	= โซเดียมคาร์บอเนต
S _{BET}	= พื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนทั้งหมดแบบบีอีที (Total specific surface area) มีหน่วยเป็นตารางเมตรต่อกรัมของถ่านกัมมันต์
VM	= ค่าสารระเหย (Volatile matter) มีหน่วยเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก
YD	= ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Yield) มีหน่วยเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ปัจจุบันมีการนำเข้าถ่านหินที่เป็นแอนทราไซต์และซับ-บิทูมินัส เพื่อมาทดแทนน้ำมันที่มีราคาสูง การนำถ่านหินดังกล่าวมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ต้องมีการบดย่อยและคัดเลือกขนาด ในกระบวนการนี้จะเหลือเศษผงถ่านที่มีขนาดเป็นฝุ่นเป็นจำนวนมาก พบปริมาณสะสมฝุ่นถ่านหินดังกล่าวใน 2 บริษัทใหญ่ที่นำเข้ามีมากกว่า 40,000 ตัน มีการนำฝุ่นถ่านหินดังกล่าวบางส่วนมาทำเป็นเชื้อเพลิงโดยการใส่ตัวประสานแล้วมาขึ้นรูปแล้ว นำไปใช้ในครัวเรือน ผลปรากฏว่าไม่เป็นที่นิยมเพราะติดไฟยาก อีกทั้งมีราคาแพงกว่าถ่านไม้หรือถ่านกะลา จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการใช้ผงถ่านหินอัดเป็นรูปแท่งทรงกระบอกแปรให้เป็นถ่านกัมมันต์ใช้ในระบบดักจับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในโรงงานผลิตไฟฟ้าในประเทศญี่ปุ่น เกาหลีและไต้หวัน โดยมีบริษัท อีโตซู เป็นผู้ผลิตส่งจำหน่ายในประเทศดังกล่าว จึงเป็นสาเหตุที่จะผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดดังกล่าวเพื่อแปรรูปผงถ่านที่มีอยู่ให้มีมูลค่าต่อไป

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบโดยวัตถุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ขึ้น วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมคือ พีต ถ่านหิน ลิกไนต์ ไม้ และกะลามะพร้าว เนื่องจากสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูง และมีรูพรุนขนาดเล็กสูง ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ มีปริมาณสารระเหยต่ำ มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง มีราคาถูกและหาได้ง่าย มีสมบัติคงที่

ในปัจจุบันของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากหาได้ง่ายและมีราคาถูก อย่างไรก็ตามปัญหาในการผลิตถ่านกัมมันต์จากของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรคือ วัตถุดิบมีสมบัติไม่คงที่ แม้ว่าเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกัน ทำให้ยากในการควบคุมการกระจายขนาดของรูพรุนในขั้นตอนการผลิต ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยผงถ่านแอนทราไซต์ที่ไม่สามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ และมีมากมาทำการขึ้นรูปด้วยตัวประสาน คือกากน้ำตาล และทำการทดสอบถึงสมบัติทางกายภาพ หรือทางด้านเคมีต่อไป และการศึกษาที่ยังมีส่วนช่วยในการลดต้นทุนในการผลิตทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลง

จากแนวโน้มการนำเข้า และส่งออกถ่านกัมมันต์ในประเทศไทยในช่วงปี 2544-2551 แสดงในตารางที่ 1.1 และ 1.2

ตารางที่ 1.1 สถิติการนำเข้าถ่านกัมมันต์ในประเทศไทย

ปี (พ.ศ.)	ปริมาณการนำเข้า (กิโลกรัม)	มูลค่าการนำเข้า (บาท)	ราคาเฉลี่ย (บาท/กิโลกรัม)
2544	3,120,594	156,116,706	50.03
2545	3,278,957	145,201,933	44.28
2546	3,493,984	145,810,837	41.73
2547	4,162,058	155,816,098	37.44
2548	4,802,834	204,881,304	42.66
2549	5,721,970	267,327,840	46.72
2550	4,435,887	223,121,035	50.30
2551	3,853,152	244,428,846	63.44

ตารางที่ 1.2 สถิติการส่งออกถ่านกัมมันต์ในประเทศไทย

ปี (พ.ศ.)	ปริมาณการส่งออก (กิโลกรัม)	มูลค่าการนำเข้า (บาท)	ราคาเฉลี่ย (บาท/กิโลกรัม)
2544	3,651,904	161,221,372	44.15
2545	3,426,652	139,579,749	40.73
2546	4,752,756	179,769,321	37.82
2547	6,545,707	250,178,784	38.22
2548	8,225,942	320,056,852	38.91
2549	30,587,777	302,584,339	9.89
2550	9,309,014	263,440,875	28.30
2551	10,468,576	374,806,960	35.80

(ที่มา กรมศุลกากร : www.customs.go.th ; คำค้น HS 3802)

จากตารางที่ 1.1 พบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2544-2551 ประเทศไทยมีการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศในปริมาณที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยประมาณ 3-5 ล้านกิโลกรัมต่อปี แต่เมื่อเทียบกับตัวเลขการส่งออกไปยังต่างประเทศในปี 2544-2551 กลับมีแนวโน้มที่สูงขึ้น มากคือตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 ส่งออกได้ 3,651,904 กิโลกรัม จนถึงปี พ.ศ. 2551 มีการส่งออกถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 10,468,576 กิโลกรัม

เมื่อเปรียบเทียบ จากปริมาณการนำเข้าที่เพิ่มขึ้นในปริมาณที่เล็กน้อย และการเติบโตของธุรกิจการส่งออกถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในไทย เพื่อส่งขายไปยังทวีปต่างๆทั่วโลก พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในไทยได้รับความเชื่อถือจากต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น มีมูลค่าจากปริมาณการส่งออกที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อเทียบราคาขายต่อกิโลกรัมของการนำเข้าและการส่งออกถ่านกัมมันต์ อาจแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในประเทศ ยังไม่มีประสิทธิภาพที่ดีเพียงพอกับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากต่างประเทศ ดังนั้นในอนาคตประเทศไทยต้องทำการปรับปรุงคุณภาพของถ่านกัมมันต์ให้มีคุณภาพดี และผลิตได้ในขั้นตอนง่ายๆได้ตามความต้องการของตลาด อาจทำให้ความต้องการถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศลดลง และเริ่มมีแรงจูงใจผู้บริโภคหันมาซื้อของผลิตในประเทศมากขึ้น มูลค่าการนำเข้าของไทยลดลง และช่วยให้เศรษฐกิจไทยดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1 ผลิตถ่านกัมมันต์จากผงถ่านแอนทราไซต์ที่ไม่สามารถนำมาใช้งานได้
- 2 หาภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูง
- 3 ศึกษาผลของปริมาณตัวประสานที่มีต่อความแข็งแรงของถ่านกัมมันต์ขึ้นรูป

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) การวิจัยนี้จะศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ
- 2) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ และทำการเปรียบเทียบในเชิงการดูดซับ และค่าความแข็งแรงเชิงกลของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่เตรียมได้ตามภาวะต่างๆ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. จัดเตรียมวัสดุที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ เช่น ผงถ่านแอนทราไซต์ และกากน้ำตาล
2. เตรียมปฏิกรณ์ที่ใช้ในการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูง
3. สร้างเครื่องอัดขึ้นรูปผงถ่านให้เป็นก้อนรูปทรงกระบอกขนาดรัศมี 10 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร โดยมีการแปร เปลี่ยนร้อยละของตัวประสานและนำตัวอย่างที่ได้ไปทำการ

วิเคราะห์หาค่าประกอบโดยใช้วิธี Proximate Analysis หลังจากนั้นทำการกระตุ้น ด้วย ใช้น้ำร้อนขวดยี่ง

- ที่อุณหภูมิ 700 –900 องศาเซลเซียส
- เวลา 1-3 ชั่วโมง

เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์

4. วิเคราะห์สมบัติต่างๆของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ทางด้านกายภาพ

- วิเคราะห์หาความเค้นต่อการกดทับมากที่สุดด้วยวิธีการ Compression
- วิเคราะห์หาความสามารถในการรับแรงกระแทกของถ่านกัมมันต์แต่ละภาวะ
- วิเคราะห์หาความหนาแน่นปรากฏ
- ถ่ายภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์โดยใช้เทคนิค SEM

การวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ทางเคมี

- วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดและปริมาตรของรูพรุนโดยวิธี BET
- วิเคราะห์ค่าการดูดซับตามความสามารถในการดูดซับ ไอโอดีน และเมทธิลีนบลู

5. สรุปผลการทดลอง

6. วิเคราะห์ สรุปผลการศึกษางานวิจัย และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ จากผงถ่านแอนทราไซต์ ที่เหลือใช้จากโรงงานได้
2. ทราบถึงผลของปริมาณตัวประสานที่มีต่อความแข็งแรงของถ่านกัมมันต์ขึ้นรูป
3. ทราบถึงภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์อัดแท่งที่ผลิตจากผงถ่านแอนทราไซต์ ด้วยตัวประสานกากน้ำตาลโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนขวดยี่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

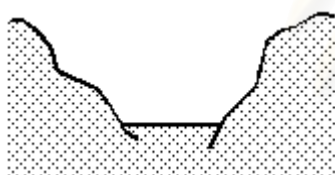
2.1 ถ่านหิน

2.1.1 ความหมายของถ่านหิน^[7]

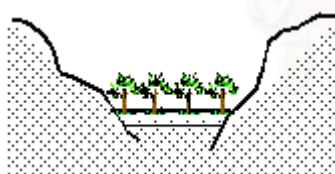
ถ่านหิน คือ หินตะกอน ชนิดหนึ่งและเป็นแร่เชื้อเพลิงสามารถติดไฟได้ มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีดำ มีทั้งชนิดผิวมันและผิวด้าน น้ำหนักเบา ถ่านหินประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ 4 อย่างได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจน นอกจากนั้น มีธาตุหรือสารอื่น เช่น กำมะถัน เจือปนเล็กน้อย ถ่านหินที่มีจำนวนคาร์บอนสูงและมีธาตุอื่น ๆ ต่ำ เมื่อนำมาเผาจะให้ความร้อนมาก ถือเป็นถ่านหินคุณภาพดี

2.1.2 ลักษณะการเกิดของถ่านหิน

ตัวอย่างของขั้นตอนกระบวนการกำเนิดถ่านหินของแหล่งที่มีการ สะสมตัวอยู่กับที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 พร้อมคำอธิบาย



ลำดับแรก ถ่านหินจะเกิดบริเวณที่เป็นหนอง บึง แอ่งน้ำ หรือที่ชื้นแฉะ ริมแม่น้ำ ริมทะเล ที่มีระดับต่ำกว่าบริเวณรอบข้างซึ่งเกิดจากการยุบตัวลง หรือบริเวณ รอบข้างมีการยกตัวสูงขึ้น เนื่องจากการปรับตัวของผิวโลก

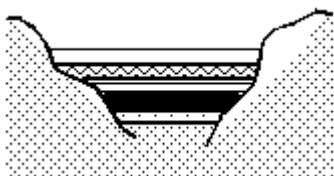


ลำดับที่สอง บริเวณนี้มีสภาพแวดล้อมที่อำนวยให้พืชเกิดขึ้น และอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น มีวงจรชีวิตหลายครั้ง มีทั้งเกิดขึ้นและล้มตายลง ติดต่อกันเป็นช่วงๆ ทำให้มีซากพืชต่างๆ สะสมทับถมกันเป็นจำนวนมาก

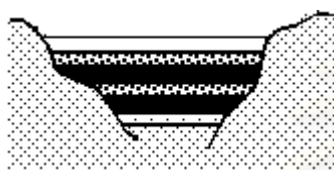


ลำดับที่สาม เมื่อบริเวณนี้มีการสะสมเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของผิวโลก ทำให้มีตะกอนดินมาทับถมซากพืชและซากสิ่งมีชีวิตอื่น รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น ภาวะแห้งแล้ง น้ำท่วม การสะสมทำลาย การเคลื่อนไหวของผิวโลก การแตกแยกของแผ่นดิน เป็นต้น ทำให้ซากต่างๆ ที่สะสมอยู่ได้รับแรงกดดันและได้รับความร้อนจากภายในโลก ส่งผลให้เกิดการ

เปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ ในบริเวณดังกล่าวซากเหล่านี้จึง
แปรสภาพไปเป็นฟิต



ลำดับที่สี่ อิทธิพลจากทั้งแรงกดดันและความร้อนภายในโลกเป็น
เวลานานๆ ทำให้ถ่านฟิตถูกอัดตัวกลายเป็น ถ่านหิน ซึ่งมี
คุณลักษณะแตกต่างกันในแต่ละแห่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและ
ชนิดของพืชพันธุ์ไม้

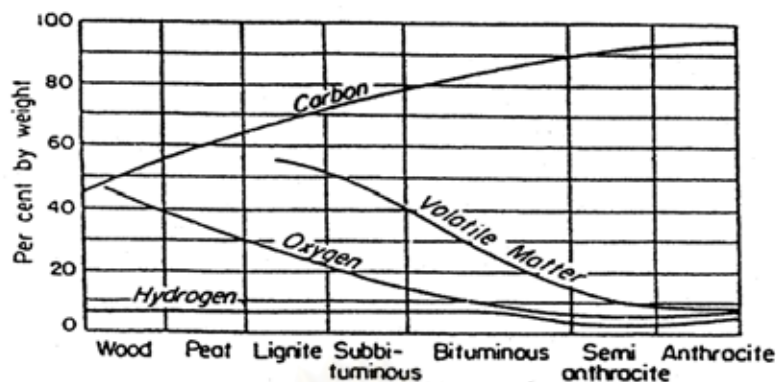


ลำดับที่ห้า เมื่อเวลาผ่านไปนานๆ อาจมีดินและหินมาทับถม
แหล่งซากเหล่านั้น และปกคลุมชั้นถ่านหินเอาไว้จนอยู่ในสภาพ
ปัจจุบัน

รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการกำเนิดถ่านหินของแหล่งที่มีการสะสมตัวอยู่กับที่
ที่มา : (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2547 ก. ออน-ไลน์)

2.1.3 ชนิดของถ่านหิน

การจำแนกถ่านหินมีหลายระบบ ซึ่งแตกต่างกันไปตามจุดประสงค์ของการใช้งาน เช่น
ระบบอังกฤษ (Great Britain) ระบบยุโรป (Europe International) ระบบอเมริกาเหนือ (North
America) และระบบออสเตรเลีย (Australia) เป็นต้น อย่างไรก็ตามระบบต่างๆ เหล่านี้ก็ยังใช้
เกณฑ์แบ่งที่คล้ายคลึงกัน เช่น ใช้ค่าความร้อน (Calorific Value) และผลวิเคราะห์ทางเคมีอื่นๆ
เช่น ปริมาณคาร์บอน (Fixed Carbon) ค่าความชื้น (Moisture Content) และ ความสามารถในการ
ระเหย (Volatile Matter) สำหรับระบบที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ได้แก่ ระบบของสมาคม
ทดสอบและวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials, ASTM) ซึ่ง
เป็นระบบการจำแนกถ่านหินตามลำดับชั้น (Rank) มีความชัดเจนและง่ายต่อการใช้งาน จึงเป็นที่
นิยมใช้กันมากในหลายประเทศ การจำแนกถ่านหินตามลำดับชั้นจะมีการจำแนกโดยพิจารณา
ความสมบูรณ์ในการเปลี่ยนสภาพจากซากพืชไปเป็นถ่านหิน (Degree of Coalification and
Metamorphism) การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณของสารองค์ประกอบในกระบวนการจน
กลายเป็นถ่านหิน แสดงไว้ใน รูปที่ 2.2 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อกระบวนการนี้ดำเนินไปปริมาณของ
คาร์บอนในถ่านหินจะเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณของสารอื่นจะลดลง



รูปที่ 2.2 แผนภูมิแสดงสัดส่วนของสารองค์ประกอบในกระบวนการแปรสภาพเป็นถ่านหิน
ที่มา : (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2547ก. ออนไลน์)

ระบบของสมาคมทดสอบและวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกาได้จำแนกถ่านหินเป็น 4 ลำดับชั้น โดยเรียงจากประเภทที่มีคาร์บอนมากที่สุดไปน้อยที่สุดคือ แอนทราไซต์ บิทูมินัส ซับบิทูมินัส และลิกไนต์ คุณสมบัติทั่วไปของ ถ่านหินที่อยู่ในลำดับสูงคือจะมีปริมาณคาร์บอนมาก ให้ความร้อนสูง มีไฮโดรเจนและออกซิเจนอยู่น้อย ในขณะที่ถ่านหินที่อยู่ในลำดับต่ำจะมีปริมาณคาร์บอนน้อย แต่มีไฮโดรเจนและออกซิเจนมาก ซึ่งแต่ละลำดับชั้นถูกแบ่งย่อยลงไปอีก ตามคุณสมบัติทางเคมีและค่าความร้อนที่ต่างกัน ไป ลักษณะต่างๆ ไปของถ่านหินในแต่ละลำดับชั้น ดังกล่าว สรุปได้ดังนี้คือ

2.1.3.1 ถ่านหินแอนทราไซต์

ถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite) เป็นถ่านหินที่ถูกจัดอยู่ในลำดับสูงสุด ถือว่าเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดีที่สุด มีลักษณะดำเป็นเงามัน มีความวาวสูง มีปริมาณคาร์บอนสูงถึงร้อยละ 90 ขึ้นไป มีปริมาณความชื้นต่ำมากและมีค่าความร้อนสูง มีควันน้อยแต่จุดไฟติดยาก ส่วนใหญ่มักใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนภายในบ้าน และในอุตสาหกรรมแก้ว อุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น

2.1.3.2 ถ่านหินบิทูมินัส

ถ่านหินบิทูมินัส (Bituminous) เป็นถ่านหินเนื้อแน่น มีลักษณะแข็ง และมักจะประกอบด้วยชั้นถ่านหินสีดำสนิทที่มีลักษณะเป็นมันวาว มีปริมาณคาร์บอนประมาณร้อยละ 80-90 และมีความชื้นร้อยละ 2-7 ถ่านหินประเภทนี้สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 กลุ่มตามความสามารถในการระเหย (World Coal Institute, 2004a. On-line) คือประเภทที่มีความสามารถในการระเหยสูง กลาง และต่ำ ถ่านหินชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้เป็นถ่านหินเพื่อการถลุงโลหะ หรืออาจใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าได้ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนและความสามารถในการระเหย

2.1.3.3 ถ่านหินซับบิทูมินัส

ถ่านหินซับบิทูมินัส (Sub-Bituminous) มีลักษณะสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ เนื้อถ่านหินจะมีความอ่อนตัวคล้ายขี้ผึ้ง ไม่แข็งมาก มีปริมาณคาร์บอนประมาณร้อยละ 71-77 และมีความชื้นประมาณร้อยละ 10-20 (World Coal Institute, 2004b, Online) ถ่านหินประเภทนี้มีส่วนมากใช้เพื่อผลิตไฟฟ้า หรือใช้ในอุตสาหกรรม

2.1.3.4 ถ่านหินลิกไนต์

ถ่านหินลิกไนต์ (Lignite) เป็นถ่านหินที่ยังพอมีซากพืชเหลือปรากฏให้เห็นอยู่เล็กน้อย มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ มีปริมาณคาร์บอนค่อนข้างน้อย และมีความชื้นสูงถึงร้อยละ 30-70 ส่วนใหญ่ถูกใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าและถือว่าเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำ

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของถ่านหินแต่ละชนิด

ถ่านหิน	ปริมาณความร้อน	ปริมาณความชื้น	ปริมาณเถ้า	ปริมาณกำมะถัน
1. แอนทราไซต์	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
2. บิทูมินัส	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
3. ซับบิทูมินัส	ปานกลาง-สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
4. ลิกไนต์	ต่ำ-ปานกลาง	สูง	สูง	ต่ำ-สูง

จากตารางที่ 2.1 พบว่าถ่านหินชนิดแอนทราไซต์ และบิทูมินัสจะมีค่าปริมาณความร้อนที่สูงที่สุด และสิ่งเจือปน เช่น ความชื้น ปริมาณเถ้า และกำมะถันในปริมาณที่น้อย จึงมีความเหมาะสมในการใช้ในการให้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม

2.2 ความหมายของถ่านกัมมันต์⁶¹

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon หรือ Activated Charcoal) โดยทั่วไปมันเป็นวัสดุที่ประกอบด้วย คาร์บอน ที่ได้จาก ถ่าน โดยถ่านที่ได้ต้องนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพก่อน เพื่อให้โครงสร้างทางกายภาพของถ่านเกิดรูพรุนหรือรอยแตกขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรจำนวนมาก ซึ่งพื้นที่ผิวภายในผนังรูพรุนหรือรอยแตกเหล่านั้นทำให้เกิดพื้นที่ว่างขนาดใหญ่ ที่อนุภาคสาร และโมเลกุลก๊าซจำนวนมากสามารถเกิดปฏิกิริยาหรือถูกกักอยู่ในถ่าน (ถ่านกัมมันต์น้ำหนักเพียง 1 กรัมจะมีพื้นที่ผิวภายในโดยรวมระหว่าง 500-1,500 ตารางเมตรขึ้นอยู่กับเกรดของถ่าน ชนิดวัตถุดิบ และกระบวนการผลิต โดยถ่านกัมมันต์ถูกระบุว่าเป็นวัสดุที่มี พื้นที่ผิว สูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถในการดูดซับในโตรเจนที่สูงมาก เพราะว่ามันมีรูเล็กๆ (Microporosity) จำนวนมาก

คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติแตกต่างจากตัวดูดซับชนิดอื่น คือ พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ไม่มีขั้ว (Non-polar) หรือมีความเป็นขั้วเล็กน้อย เนื่องจากมีกลุ่มฟังก์ชันของออกไซด์หรือสารอนินทรีย์ (Inorganic) ปัจจุบันถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้เป็นตัวดูดซับอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานอยู่หลายประการดังต่อไปนี้

2.2.1 มีพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนสูง

ถ่านกัมมันต์เป็นโครงสร้างของคาร์บอนที่มีความขรุขระบนพื้นผิวสูง ทำให้มีพื้นที่ผิวที่สามารถสัมผัสกับสารอื่นจากของไหลได้มากพอที่จะเกิดแรงจับทางกายภาพหรือเกิดเป็นพันธะเคมีขึ้นมาได้ภายในอนุภาคของถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากเชื่อมโยงกันเป็นตาข่าย รูพรุนในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์มีขนาดใหญ่เหมาะกับการดูดซับสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีรูพรุนจำนวนมากทำให้มีพื้นที่ผิวภายนอกมาก ซึ่งพบว่าถ่านกัมมันต์เหมาะสำหรับดูดซับสารอินทรีย์มากกว่าสารอื่น ในปัจจุบันสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวตั้งแต่ 500 ตารางเมตรต่อกรัม จนกระทั่งมากกว่า 3000 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงมาก

2.2.2 สามารถทำการบำบัดเพื่อคืนสภาพแล้วนำมาใช้งานซ้ำได้

ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่มีค่าความร้อนในการดูดซับต่ำ (Heat of Adsorption) หรือจะมีความแข็งแรงของการดูดซับต่ำกว่าสารดูดซับชนิดอื่น จึงสามารถดึงเอาสารที่ถูกดูดซับออกมาจากผิวถ่านกัมมันต์ได้ง่าย ทำให้ใช้พลังงานในการบำบัดเพื่อคืนสภาพต่ำ (Regeneration) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่มีโครงสร้างของผิวที่เป็นกลางทางไฟฟ้าจึงเกิดการดูดซับสารไม่มีขั้วด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waals Force) และแรงคาปิลลารี (Capillary Force) เท่านั้น โดยไม่มีแรงเนื่องจากเกิดพันธะเคมี ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับสารจนถึงจุดอิ่มตัวแล้วจึงสามารถนำมากำจัดสารที่ดูดซับออก แล้วนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีกครั้ง

2.2.3 สามารถนำไปใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องกำจัดความชื้น

เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วเล็กน้อย ทำให้ผิวของถ่านกัมมันต์มีลักษณะไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) หรือสามารถดูดซับน้ำได้น้อยเมื่อเทียบกับการดูดซับอินทรีย์และสารที่มีขั้ว ถ่านกัมมันต์จึงเป็นสารดูดซับเพียงชนิดเดียวในท้องตลาดที่เหมาะสมกับการใช้งานในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายและในสภาวะจริงซึ่งมีความชื้น เนื่องจากไม่จำเป็นต้องกำจัดความชื้นออกจากถ่านกัมมันต์ก่อนใช้งาน

2.2.4 สามารถผลิตได้จากวัสดุราคาถูก

วัตถุดิบของการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ สารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด สารที่ถูกใช้ในปัจจุบันนี้ ได้แก่ ถ่านหินบิทูมินัส , ถ่านหินลิกไนต์ , กระจุก , เปลือกถั่ว , กะลามะพร้าว , วัสดุที่เหลือจากการกลั่นปิโตรเลียม , วัสดุที่เหลือจากการผลิตเยื่อกระดาษ , ขี้เลื่อย ไม้ , เมล็ดมะขาม เป็นต้น ส่วนใหญ่แล้วสารเหล่านี้จะเป็นของเหลือจากการเกษตร

และอุตสาหกรรม ซึ่งนอกจากจะมีราคาต่ำแล้วยังอาจสะสมก่อให้เกิดเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ เป็นส่วนใหญ่ วัตถุดิบที่ดีจะต้องมีโครงสร้างภายในที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูพรุนสม่ำเสมอ

2.2.5 มีความทนทานสูง

ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ดี นอกจากมีความสามารถในการดูดซับสูง เนื่องจาก มีรูพรุนจำนวนมากและมีรูพรุนขนาดที่ต้องการแล้วยังต้องมีความแข็งแรง ทนการกัดกร่อนได้ดีและมีความทนเปื้อนต่ำด้วย อย่างไรก็ตาม ถ่านกัมมันต์ยังสามารถใช้เป็นตัวยัดสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรดสูงและอุณหภูมิสูงได้ดี

2.3 วัตถุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์^[1, 20, 21, 26]

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบโดยวัตถุดิบนั้น อาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ขึ้น วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมคือ พีท ถ่านหิน ลิกไนต์ ไม้ และกะลามะพร้าว การผลิตถ่านกัมมันต์ให้มีความสามารถในการดูดซับสูง และมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง
- มีราคาถูกและหาได้ง่าย
- มีคุณสมบัติคงที่

ในปัจจุบันของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากหาได้ง่ายและมีราคาถูก อย่างไรก็ตามปัญหาในการผลิตถ่านกัมมันต์จากของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรคือ วัตถุดิบมีคุณสมบัติไม่คงที่ แม้ว่าเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกัน ทำให้ยากในการควบคุมการกระจายขนาดของรูพรุนในขั้นตอนการผลิต แหล่งของวัตถุดิบที่นำมาศึกษาเพื่อผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้แก่

ชานอ้อย	เมล็ดข้าวโพด	ของเสียจากหนังสือตัว
ของเสียจากการผลิตน้ำตาล	เปลือกเมล็ดงุ่น	ลิกนิน
เลือด	ของเสียจากกระบวนการกลั่น	ลิกไนต์
กระดูก	ปลา	กากน้ำตาล
คาร์โบไฮเดรต	เศษถ่าน	เปลือกถั่ว
ธัญพืช	ยางมะตอย	น้ำมันดิน
ถ่านหิน	กราไฟต์	พีท
กะลามะพร้าว	สาหร่าย	น้ำมันปิโตรเลียม
เมล็ดกาแฟ	เขม่าดำ	ไม้

2.4 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์^[3]

ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จะประกอบด้วยคาร์บอนไนเซชัน และขั้นตอนการกระตุ้นถ่านชาร์

2.4.1 การคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization)

คาร์บอนไนเซชัน เป็นกระบวนการสลายตัวของชีวมวลด้วยความร้อนในสภาพอับอากาศ แบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. การไล่ความชื้น เป็นการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิบรรยากาศจนถึง 180 องศาเซลเซียส ช่วงนี้ชีวมวลจะคายน้ำที่ดูดซับอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (Free water) และน้ำที่อยู่ในผนังเซลล์ (Bound water) ควันที่ออกมาจะมีสีขาวปนน้ำเงินอ่อนซึ่งจะมีแต่ไอน้ำ ไม่มีกลิ่นฉุน ไม่แสบตาและจุก

2. การไล่สารระเหิด เป็นการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิประมาณ 180 - 270 องศาเซลเซียส ช่วงนี้เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) จะสลายตัวออกมาจนไปหมดที่อุณหภูมิประมาณ 270 องศาเซลเซียส เตาเผาถ่านที่ดีจะรักษาอุณหภูมิระดับนี้ไว้นานและใกล้เคียงกันทั่วทุกจุดของเตา ควันที่ออกมาในช่วงนี้จะเริ่มมีสีจาง ๆ เจือปนอยู่ด้วย และจะมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) กรดน้ำส้ม (CH₃COOH) และเมทานอล (CH₃OH) เจือปนออกมากับควันด้วย แต่มีปริมาณต่ำมาก นำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้

3. การเปลี่ยนชีวมวลเป็นถ่าน อุณหภูมิจะอยู่ประมาณ 270 – 400 องศาเซลเซียส ช่วงนี้ชีวมวลสลายตัวด้วยตัวเองจากปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) อันเกิดจากความร้อนที่สะสมไว้ เซลลูโลสจะเริ่มสลายตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 275 องศาเซลเซียส ควันที่ออกมาจะมีสีขาวปนเหลือง มีกลิ่นฉุนจัด สามารถติดไฟได้ การดักเก็บน้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพจะทำได้ในช่วงนี้ ลิกนิน (Lignin) จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 310 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส หลังจากกระบวนการนี้ชีวมวลจะกลายเป็นถ่านทั้งหมดแล้ว

4. การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ แม้ว่าชีวมวลจะกลายเป็นถ่านแล้วที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส แต่ยังคงมีน้ำมันดินในปริมาณที่สูง เมื่อนำไปใช้ปิ้งย่าง น้ำมันดินที่เผาไหม้ในเตาถ่านจะเกิดเป็นสารประกอบ เบนโซไพเร็น (Benzopyrene) และไดเบนซานทราเซน (Dibenzanthracene) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง จึงยังเป็นถ่านที่มีคุณภาพต่ำ ควรอบถ่านต่อไปที่อุณหภูมิในช่วง 500 – 600 องศาเซลเซียส ต่อไปอีกกระยะหนึ่งเพื่อไล่น้ำมันดินให้หมดไป

องค์ประกอบที่เป็นตัวแปรสำคัญในการทำการคาร์บอนไนซ์ คือ

(1) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิจะมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณการเกิดถ่านชาร์จะลดลง ส่วนน้ำมันชาร์และแก๊สที่ได้เพิ่มมากขึ้น และคุณสมบัติของน้ำมันชาร์จะมีกลุ่มโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปด้วย เพราะการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบนั้น

(2) อัตราการให้ความร้อน (Heat of Carbonization)

อัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อคุณสมบัติและปริมาณของน้ำมันชาร์และสารระเหย การเพิ่มอัตราความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมาตรสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็วทำให้ถ่านที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เพราะถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่เมื่อทำการกระตุ้น สารกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

(3) ตัวกลางของปฏิกิริยา (Medium of reaction)

จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยา ถ้าแก๊สและไอที่เกิดขึ้นระหว่างการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยแก๊สที่เป็นตัวกลางเช่น แก๊สไนโตรเจน (เพื่อต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอน) และแก๊สจากการเผาไหม้ ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ปริมาณถ่านที่ได้จะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นแก๊สไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า

(4) ธรรมชาติของวัตถุดิบ (Nature of Material)

วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกันในการคาร์บอนไนซ์ โดยถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีการกระตุ้นที่ต่างกัน เพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีที่สุด ซึ่งจะเหมาะสมกับการนำไปใช้ในระบอบที่เหมาะสมต่อไป

จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการคาร์บอนไนเซชันก็เพื่อผลิตให้ได้ถ่านที่มีรูพรุน และการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมให้เป็นระเบียบมากกว่าวัตถุดิบ

2.4.2 การกระตุ้น (Activation)

ขั้นตอนในการกระตุ้นเป็นขั้นตอนในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของถ่านให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับที่มากขึ้น โดยในขั้นตอนการกระตุ้นจะก่อให้เกิดรูพรุนขึ้นในเนื้อของถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก โดยรูพรุนที่เพิ่มขึ้นนี้จะเป็นส่วนที่ช่วยให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารอื่น ๆ ของถ่านกัมมันต์มากขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการกระตุ้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด เนื่องมาจากวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี และประสิทธิภาพของการกระตุ้นขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบ รวมถึงวิธีการอื่น ๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย

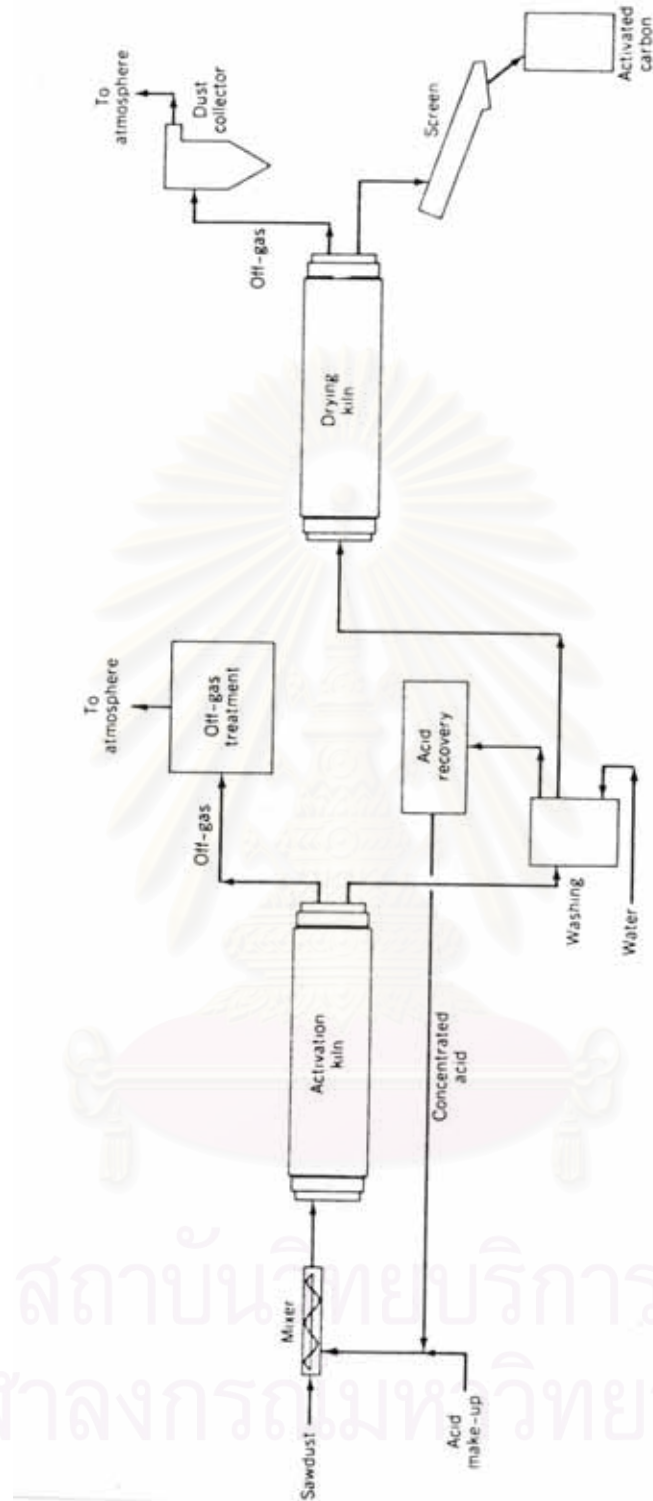
การกระตุ้นโดยทั่วไปมีวิธีการกระตุ้นอยู่ 2 วิธีคือ

1. การกระตุ้นทางเคมี ^[19, 23, 26, 35] (Chemical Activation)

เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้กันมากในการผลิตถ่านกัมมันต์ในทางการค้า โดยปกติแล้ววิธีการกระตุ้นแบบนี้มักใช้กับวัตถุดิบที่เป็นไม้ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 500 – 900 องศาเซลเซียส โดยส่วนใหญ่จะใช้กรด หรือเบสผสมเข้ากับวัสดุเริ่มต้นเพื่อที่จะกัด หรือกำจัดสิ่งสกปรก (Cauterization) ออกจากรูเล็กๆ สารกระตุ้นที่ใช้ กันทั่วไปในทางอุตสาหกรรม คือ ซิงค์คลอไรด์ และกรดฟอสฟอริก การกระตุ้นทางเคมีจะช่วยลดการเกิดทาร์และสารอื่นๆที่เกิดในกระบวนการ ดังนั้นร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงค่อนข้างมีปริมาณสูง วิธีการนี้ยังเป็นที่สงสัยกันอยู่ตัวอย่างเช่นว่าอาจจะมีเศษ สังกะสี ตกค้างอยู่ในผลผลิตสุดท้ายได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างกระบวนการกระตุ้นทางเคมี^[19]

จาก รูปที่ 2.3 เป็นตัวอย่างการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ ซึ่งทำการผลิตถ่านกัมมันต์โดยจะเริ่มต้นด้วยน้ำจืดที่เชื่อมเข้ากับกรดเข้มข้นและป้อนสู่เตาเผาแบบหมุน จะเป็นกระบวนการทำให้แห้งจากนั้นจะเป็นการคาร์บอนไนซ์และทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิปานกลาง ซึ่งแก๊สที่ออกมาจาก

กระบวนการกระตุ้นจะทำการบำบัดก่อนปล่อยออกเพื่อไม่ก่อให้เกิด มลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดครดออกจากเนื้อถ่าน และทำการแยกถ่านที่ได้ออกมา และนำน้ำนั้นไปผ่านกระบวนการนำครดกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งในส่วนนี้บางโรงงานที่ทำการผลิตก็มิได้นำครดกลับมาใช้ใหม่ จากการล้างถ่านที่ได้นั้นควรล้างจนกว่าน้ำ ล้างจะเป็นกลาง (pH=7) และนำถ่านที่ได้ไปอบแห้ง จากนั้นนำถ่านไปแยกขนาดสำหรับการใช้งานแต่ละชนิดต่อไป ถ่านที่ได้จะมีร้อยละผลิตภัณฑสูงด้วยซึ่งเทียบกับน้ำหนักของวัตถุดิบเริ่มต้น

ในการผลิตถ่านกัมมันต์ทางการค้าโดยใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมี โดยทั่วไปจะใช้ซิงค์คลอไรด์ และกรดฟอสฟอริก โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์

กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่ง โดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ผสมกับวัตถุดิบโดยใช้สภาวะที่ อุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส การใช้อุณหภูมิที่ต่ำใน ช่วงนี้มีผลอย่างมากต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ หลังจากนั้นจะนำไปทำการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 600-850 องศาเซลเซียส ซึ่งกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะคำนึงถึงประสิทธิภาพในการนำเอาซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่เป็นอย่างมาก ด้วยประสิทธิภาพการนำซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่ที่ค่อนข้างจำกัด ประกอบกับปัญหาการกัดกร่อนต่อเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้การใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นในระยะหลังจึงลดลงบ้าง

- การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก

กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น จะใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ค่อนข้างต่ำคือ 400-500 องศาเซลเซียส ซึ่งการใช้กรดฟอสฟอริกนั้นสามารถผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่โดยยังได้กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูง พบว่าวัตถุดิบที่เป็นไม้สามารถผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพดีโดยวิธีนี้

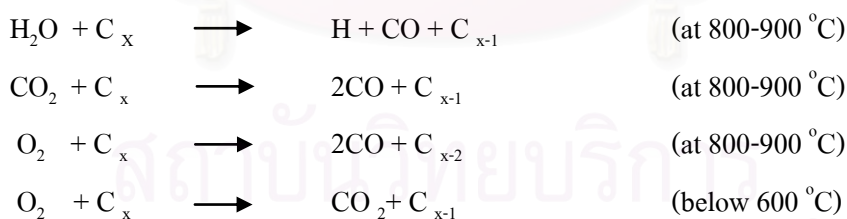
มีงานวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น ซึ่งวัตถุดิบที่ได้ทำการศึกษาคือ เมล็ดถั่ว เปลือกถั่ว เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและไม้ชนิดต่างๆ อย่างไรก็ตามกระบวนการกระตุ้นทางเคมีก็มีหลายกระบวนการที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีขึ้น ซึ่งพบว่าสารกระตุ้นชนิดอื่น ๆ ก็สามารถให้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงได้ เช่น โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ อลูมิเนียมคลอไรด์ หรือ เฟอริกคลอไรด์ ซึ่งเราจะพบว่า มีปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ได้คือ

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

จากการที่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางเคมีนี้ก็จะได้คุณสมบัติของถ่านที่มีปริมาตรรูพรุนสูง และความหนาแน่นปรากฏต่ำ (ประมาณ 0.27 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของถ่านกัมมันต์ผง ซึ่งนำมาใช้งานในการดูดซับสถานะที่เป็นของเหลว เช่น ระบบการทำน้ำให้บริสุทธิ์ คุณสมบัติที่ดีของไม้และสารชีวมวลที่ใช้เป็นวัตถุดิบคือ มีปริมาณเถ้าต่ำ (ร้อยละ 0.3-1.1 โดยน้ำหนัก) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเถ้าในถ่านหินและลิกไนต์จะมีปริมาณสูงกว่า (ร้อยละ 2-15 โดยน้ำหนัก) และในไม้และสารชีวมวลจะมีปริมาณกำมะถันต่ำด้วย

2. การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation)

การกระตุ้นทางฟิสิกส์ หรือการกระตุ้นทางกายภาพเป็นการกระตุ้นด้วยการใช้แก๊ส เช่น CO₂ หรือไอน้ำ ซึ่งใช้ อุณหภูมิในการเผากระตุ้น ค่อนข้างสูงประมาณ 800-1000 องศาเซลเซียส เพราะไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (Superheated Steam) เพื่อให้สารอินทรีย์ต่างๆ สลายไป ทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะรูพรุน (Porous) อยู่ทั่วไป ขนาดของรูพรุนที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมี ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น ด้วยวิธีนี้มีข้อดีที่สามารถนำมาใช้งานได้เลยทันที โดยไม่ต้องล้างสารที่หลุดตกค้างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการกระตุ้นเป็นปฏิกิริยาที่คาร์บอนในถ่านเกิดปฏิกิริยากับแก๊สที่เป็ นตัวออกซิไดซ์ ดังตัวอย่าง^[27]



ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้นคือ^[20, 26]

1. โครงสร้างของคาร์บอนหรือถ่านชาร์ที่นำมากระตุ้น
2. สารอินทรีย์ปนเปื้อนที่อยู่ในเนื้อคาร์บอน
3. ชนิดของแก๊สออกซิไดซ์
4. อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
5. ความดันของแก๊ส
6. เวลาในการเกิดปฏิกิริยา

7. ขนาดอนุภาคของถ่านชาร์

ในกระบวนการกระตุ้น คาร์บอนทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนออกไซด์ แพร่ออกจากผิวของคาร์บอน เกิดแก๊สซิฟิเคชันบางส่วนของเม็ดถ่าน เป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์ประกอบด้วยรูพรุนเล็กๆจำนวนมากเกิดจากช่องว่างระหว่างผลึก ในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้มักจะถูกบรรจุไว้ด้วยทาร์ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อน และถูกขวาง ด้วยคาร์บอนอสัณฐาน การกระตุ้นจึงเป็นทั้งการเปิดรูที่ถูกปิด และการสร้างรูใหม่ขึ้นด้วย

ตัวอย่างการกระตุ้นโดยวิธีทางกายภาพ คือ

- การกระตุ้นด้วยไอน้ำ^[1,26] ไอน้ำนั้นถือได้ว่าเป็นสารกระตุ้นทางกายภาพที่มีการใช้กันมาก เนื่องจากโมเลกุลของน้ำนั้นมีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และในการกระตุ้นด้วยไอน้ำนั้นจะมีข้อดีคือ

1. โมเลกุลของน้ำจะแพร่เข้าไปได้อย่างรวดเร็วในโครงสร้างรูพรุน
2. เนื่องจากโมเลกุลที่เล็กจึงสามารถเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็กได้
3. มีการเกิดปฏิกิริยาที่รวดเร็ว ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถึงสามเท่า ที่สภาวะความดัน 10 กิโลพาสคัลและอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

รูปแบบของปฏิกิริยาในการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำคือ



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน และเป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อน แต่โดยทั่วไปจะสมมุติเป็นปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันของถ่านชาร์ อาจเขียนอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (r) แบบ Langmuir – Hinshellwood ได้ดังนี้

$$r = \frac{k_1 P_{\text{H}_2\text{O}}}{1 + k_2 P_{\text{H}_2\text{O}} + k_3 P_{\text{H}_2}}$$

ซึ่ง $P_{\text{H}_2\text{O}}$ คือ ความดันย่อยของไอน้ำ

P_{H_2} คือ ความดันย่อยของแก๊สไฮโดรเจน

k_1, k_2, k_3 คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

อย่างไรก็ตามในปฏิกิริยาของการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จะมีการยับยั้งปฏิกิริยาเกิดขึ้นอันเกิดจากจะมีไฮโดรเจนไปเกาะติดบนตำแหน่งว่างว่อบนผิวของคาร์บอน ซึ่งจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงได้

- การกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์^[20, 26]

การกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีกลไกในการเกิดคือ



ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน เช่นเดียวกับไอน้ำ ซึ่งอัตราการปฏิกิริยา

$$r = \frac{k_1 P_{CO_2}}{1 + k_2 P_{CO} + k_3 P_{CO_2}}$$

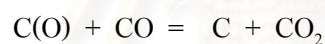
คือ

ซึ่ง P_{CO_2} คือ ความดันย่อยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

P_{CO} คือ ความดันย่อยของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

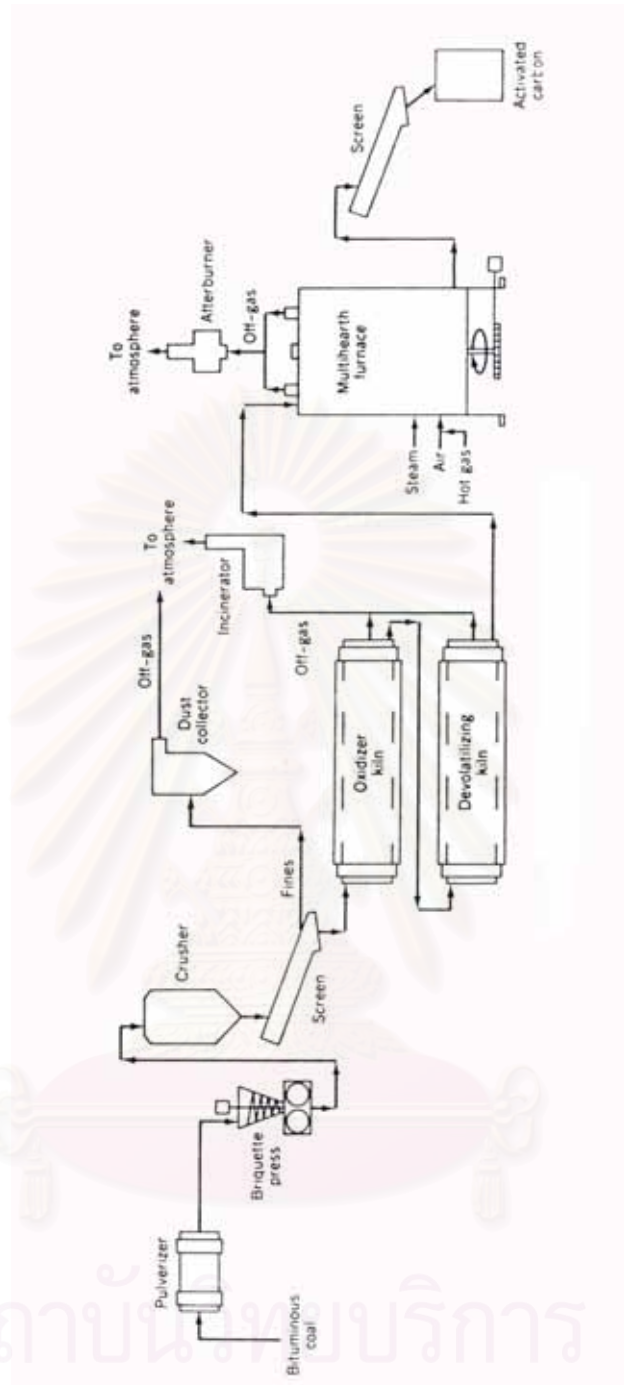
K_1, k_2, k_3 คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

ในปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้อู่ในช่วง 800 – 900 องศาเซลเซียส ซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยานั้นมีการศึกษากันอย่างมากมาย ในปฏิกิริยานี้มีการยับยั้งปฏิกิริยาอันเกิดจาก คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน โดยคาร์บอนมอนอกไซด์จะเกิดจากปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยา



Rand and Marsh ได้กล่าวว่าการเกิดขึ้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์นั้นจะมีผลดีคือ จะมีการกระตุ้นที่ให้อุณหภูมิขนาดเล็กที่ดี แต่ในขณะเดียวกันอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลง จากการทดลองโดยทั่วไปจะพบว่า การกระตุ้นโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะต้องใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นสูงกว่าการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำ แต่โดยทั่วไปมักจะใช้แก๊สผสมระหว่าง ไอน้ำร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างกระบวนการกระตุ้นทางกายภาพ^[19]

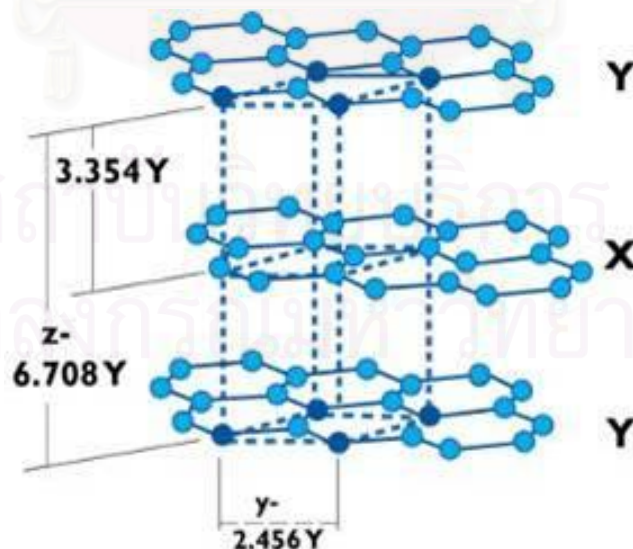
ตัวอย่างของการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ^[19] แสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านหินบิทูมินัส โดยนำถ่านหินบิทูมินัสที่ทำการบดแล้วมาทำการอัดก้อน ในบางครั้งอาจเติมตัวประสานเข้าไปก่อนทำการอัดก้อน จากนั้นจะนำก้อนถ่านหินมาทำการตัดและนำไปผ่านตะแกรงร้อน เพื่อเลือกขนาดก่อนนำไปเข้าสู่เตาเผาที่ทำการออกซิไดซ์ ที่จุดนี้สมบัติการเกิดโค้กของถ่านหินจะถูกทำลายที่จุดนี้โดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยอากาศที่อุณหภูมิปานกลาง จากนั้นสารระเหยจะถูกกำจัดออกไปที่เตาเผาที่สองซึ่งเป็นเตาเผาแบบหมุน โดยจะทำที่อุณหภูมิสูงกว่า

เตาเผาแรก แก๊สที่ออกจากเตาเผาซึ่งมีผงฝุ่นและสารระเหยประกอบอยู่นั้นจะผ่านไปสูเตาเผาที่จะเผาให้เป็นเถ้า (Incinerator) ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ จากนั้นถ่านหินที่ได้จะนำไปเข้าสู่เตาเผาต่อไปเพื่อทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส คุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้จะขึ้นกับการควบคุมอัตราการป้อนถ่านหิน และการควบคุมอุณหภูมิ เช่นเดียวกันแก๊สที่ประกอบ ด้วยฝุ่นผงที่ขั้นตอนนี้จะนำไปเข้าสู่เตาเผาเพื่อเผาให้เป็นเถ้าก่อนทำการปล่อยแก๊สออกสู่บรรยากาศ จากนั้นถ่านกัมมันต์เม็ดที่ได้จะนำไปผ่านตะแกรงร้อนเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ที่ 30-50 โดยน้ำหนัก ซึ่งเทียบกับน้ำหนักของวัตถุดิบเริ่มต้น

กระบวนการกระตุ้นในทางกายภาพนั้น อาจมีกระบวนการผลิตที่ต่างกันไปขึ้นกับลักษณะของวัตถุดิบ ตัวอย่างเช่นการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการอัดก้อนหรือกระบวนการปล่อยให้สารระเหยออกจากวัตถุดิบนั้น ในบางกระบวนการ อาจมีขั้นตอนการนำวัตถุดิบล้างด้วยกรดก่อนเพื่อที่จะให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาณเถ้าต่ำ

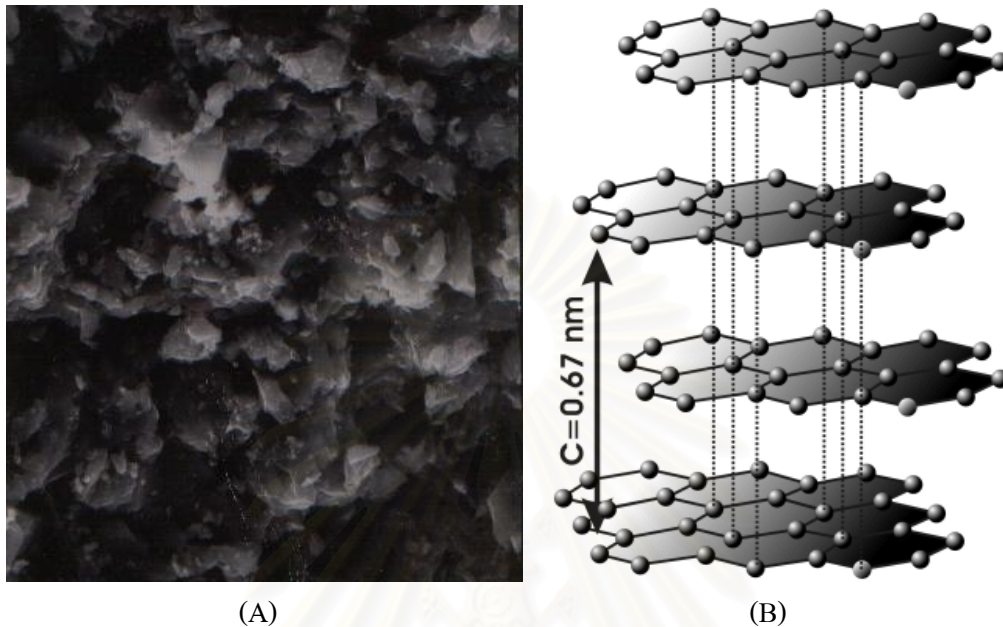
2.5 โครงสร้างรูปพรุนของถ่านกัมมันต์^[27, 28]

ถ่านกัมมันต์ มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายกราไฟต์ (Graphite) แต่แตกต่างกันที่พื้นที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์ซึ่งมีมากมาย กราไฟต์ประกอบด้วยแผ่นชั้นที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนซึ่งเรียงตัวกันแบบหกเหลี่ยมด้านเท่า (Regular Hexagons) ระยะห่างระหว่างอะตอมของคาร์บอนในแต่ละชั้นมีขนาด 3.35 อังสตรอม มี 3 อิเล็กตรอนของคาร์บอนจะสร้างพันธะโควาเลนต์ (Covalent Bond) กับอะตอมที่ติดกัน ขณะที่อิเล็กตรอนอีก 1 ตัวที่เหลือจะเคลื่อนที่ระหว่างโครงสร้างวาเลนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของกราไฟต์^[25]

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์แตกต่างจากกราฟไฟต์ ซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นผลึกที่เล็กมาก (Microcrystallites) ประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์^[22] (A) electron microscopic view of activated carbon (B) symbolic view of graphite

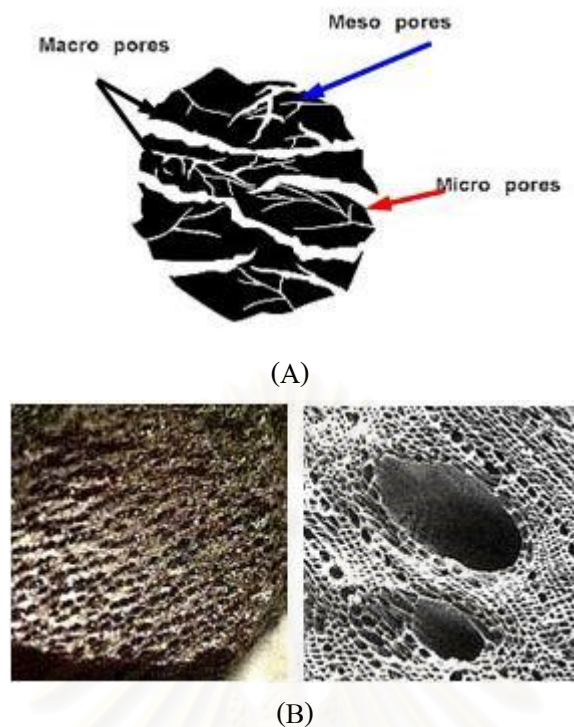
- ความพรุน (Porosity) ^[8, 20]

โดยปกติแล้วถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปมีปริมาณความพรุนอยู่ระหว่าง 0.5-1.5 มิลลิลิตรต่อกรัม จากลักษณะ และขนาดของรูพรุน สามารถแบ่งรูพรุนได้เป็น 3 ขนาด

ก. รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) ขนาดของรูพรุนขนาดใหญ่ที่พบในถ่านกัมมันต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 5,000-20,000 อังสตรอม ปริมาณความพรุนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-0.8 มิลลิลิตรต่อกรัม ส่วนพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดใหญ่นี้มักจะไม่ค่อยสนใจ สามารถตัดทิ้งได้เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า 2 ตารางเมตรต่อกรัม

ข. รูพรุนขนาดกลาง (Transitional Pores or Mesopores) มีรัศมีอยู่ระหว่าง 20-1,000 อังสตรอม มีปริมาณความพรุนอยู่ระหว่าง 0.02-0.1 มิลลิลิตรต่อกรัม มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด

ค. รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) มีรัศมีน้อยกว่า 20 อังสตรอม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6-8 อังสตรอม ปริมาณความพรุนมีอยู่ระหว่าง 0.15-0.5 มิลลิลิตรต่อกรัม และมีพื้นที่ผิวจำเพาะอย่างน้อยที่สุด 95 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด



รูปที่ 2.7 รูปแสดงลักษณะของรูพรุนในถ่านกัมมันต์ (A) ชนิดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ (B) ภาพรูพรุนของถ่านกัมมันต์โดยใช้ SEM^[36]

ในรูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของรูพรุนในถ่านกัมมันต์ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น รูพรุนขนาดใหญ่จะเป็นรอยแตกที่ผิวของคาร์บอน รูพรุนขนาดกลางจะแตกสาขาออกมาจากรูพรุนขนาดใหญ่ และรูพรุนขนาดเล็ก ก็จะแตกสาขาออกมาจากรูพรุนขนาดกลาง

การศึกษาการดูดซับที่เกี่ยวกับเคมีพื้นผิว (Surface Chemistry)^[24, 27]

ความจุของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Adsorption Capacity) จะขึ้นกับ

- พื้นที่ผิวทั้งหมด (Total Surface Area)
- โครงสร้างรูพรุนในเนื้อถ่าน
- การมีฟังก์ชันนัลกรุป (Functional Group) ต่างๆบนผิวรูพรุนของถ่าน

ขนาดรูพรุนบริเวณผิวจะเป็นสิ่งหนึ่งที่กำหนดความจุในการดูดซับ โดยโครงสร้างทางเคมีที่ผิวถ่านกัมมันต์ จะมีผลต่อสารที่ถูกดูดซับในกรณีที่สารนั้นมีขั้วหรือไม่มีขั้ว นอกจากนั้นตำแหน่งที่ว่างบริเวณผิวถ่านกัมมันต์จะเป็นสิ่งกำหนดชนิดของปฏิกิริยาเคมีที่ผิวถ่านกับโมเลกุลอื่น

ดังนั้นในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ จึงไม่ได้ขึ้นกับพื้นที่ผิวอย่างเดียว ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวเท่ากันแต่ได้จากการเตรียมที่มีวิธีต่างกัน อาจจะเป็นวิธีการกระตุ้นที่ต่างกันก็จะให้ลักษณะการดูดซับ (Adsorption Characteristics) ที่ต่างกัน ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่ดีจึงควรมีพื้นที่ผิวมาก และมีขนาดรูพรุนที่เหมาะสมกับสปีชีส์ (Species) ที่ถูกดูดซับ

ที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์ จะมีผลึกคาร์บอนอยู่ที่บริเวณผิวและขอบของผลึกคาร์บอน โดยจะมีตำแหน่งวาเลนซ์ที่เหลืออยู่จึงทำให้บริเวณดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่ว่องไว จะเห็นได้จากการดูดซับทางเคมีที่บริเวณผิวถ่าน ธาตุที่ถูกดูดซับเข้ามาอาจเป็น ออกซิเจน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน คลอรีน โบรมีน ไอโอดีน และซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นการดูดซับแบบจับซ้อนที่บริเวณผิวจึงไม่สามารถเขียนกลไกการดูดซับออกมาในรูปแบบของสมการเคมีได้

เมื่อพิจารณาหมู่ฟังก์ชันนัลที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันนัลที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ มีความสำคัญมากที่สุด เมื่อตรวจสอบที่บริเวณผิวของคาร์บอนโดยใช้เอ็กซ์เรย์ อะตอมของออกซิเจนจะสร้างพันธะกับอะตอมของคาร์บอน ซึ่งจะมีเป็นจำนวนมากที่บริเวณขอบ ของโมเลกุลคาร์บอนที่เกาะตัวเป็นอะโรมาติก โดยพันธะระหว่างออกซิเจนและไฮโดรเจน จะมีอิทธิพลมากที่สุดต่อลักษณะพื้นผิวถ่านกัมมันต์ เช่น ความเป็นกรดที่บริเวณผิว การแลกเปลี่ยนไอออนบวก รวมถึงการดูดซับแก๊สและไอที่มีขั้วและไม่มีขั้ว

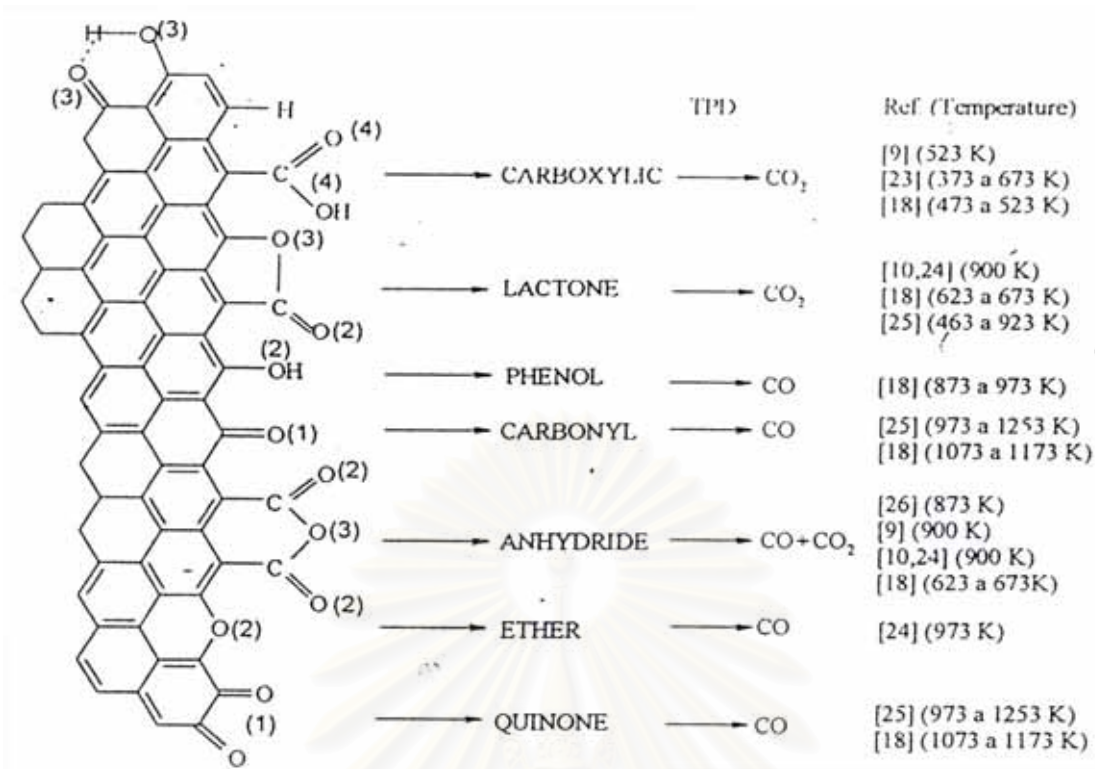
การที่จะให้เกิดหมู่ฟังก์ชันนัลที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่บริเวณผิวถ่านกัมมันต์ ทำได้โดยการออกซิไดซ์ถ่านกัมมันต์ ซึ่งทำได้ทั้งในภาวะแก๊สและภาวะของเหลว จากวิธีการดังกล่าว จะทำให้พื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์เป็นได้ทั้ง กรด เบส และเป็นกลาง ตัวอย่างของพื้นผิวที่เป็นกรดเช่น คาร์บอกซิล ฟีนอลิก ไฮดรอกซิล แล็กโทน และควิโนน ซึ่งจะได้แบบใดนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการออกซิไดซ์

พบว่าเมื่อมีหมู่ที่แสดงความเป็นกรดที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์ จะทำให้มีสมบัติในการชอบคู่น้ำมากขึ้น (Hydrophilic) และจะมีผลต่อพื้นที่ผิว และลักษณะต่างๆของถ่านกัมมันต์ จากการมีหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้จึงมีบทบาทที่สำคัญต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์

เทคนิคต่างๆในการหาลักษณะของหมู่ฟังก์ชันนัลต่างๆบนผิวของถ่านกัมมันต์ ที่ใช้กันโดยทั่วไปเช่น

- Chemical titration method เป็นเทคนิคที่ใช้ร่วมกับเทคนิคแบบอื่น แต่ไม่สามารถใช้ได้เมื่อตัวอย่างมีปริมาณน้อย และถ้ามีหมู่ที่มีออกซิเจนในปริมาณมากก็ไม่สามารถให้ค่าที่ถูกต้องได้
- XPS เป็นเทคนิคที่จะสามารถบอกองค์ประกอบทางเคมีที่ผิวได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 แสดงกลุ่มฟังก์ชันต่างๆที่ผิวคาร์บอน และอุณหภูมิต่างๆที่สลายตัวโดย TPD ^[24]

- Infra-red spectroscopic เป็นวิธีที่ใช้ในกรณีที่ถ่านมีหมู่ออกซิเจนมาก ไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถตรวจสอบได้

- Temperature – programmed methods เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน โดยจะหาหมู่ฟังก์ชันได้จากการหลุดออกมาของ CO, CO₂ เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ โดยงานวิจัยต่างๆบางครั้งจะมีผลไม่สอดคล้องกันทำให้ค่อนข้างสับสน

จากรูปที่ 2.8 จะได้พีคของ CO₂ จากกรดคาร์บอกซิลิกที่อุณหภูมิต่ำ และหมู่แลคโตนที่อุณหภูมิสูงขึ้น หมู่คาร์บอกซิลิกแอนไฮไดรด์ ได้จากพีคทั้ง CO และ CO₂ โดยหมู่ฟีนอล อีเทอร์ และคาร์บอนิล ได้จากพีคของ CO

ในปัจจุบัน ถ่านกัมมันต์จะมีเทคนิคต่างๆในการผลิตที่ต่างกัน เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติต่างกัน โดยเทคนิคที่ใช้ต่างๆในการผลิตพยายามที่จะหาหมู่ฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์

2.6. ถ่านกัมมันต์ในทางการค้า ^[6, 19, 21, 26]

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในทางการค้าแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบคือ

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated Carbon)
2. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon)
3. ถ่านกัมมันต์อัดแท่ง (Extruded Activated Carbon, EAC)

รายละเอียดของถ่านกัมมันต์ทั้งสามชนิดคือ

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ผงเป็นรูปแบบดั้งเดิมของถ่านที่ยังนิยมใช้ในทุกวันนี้ โดยทั่วไปขนาดของผงถ่านจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.15-0.25 มิลลิเมตร ถ่านในรูปผงมีจุดเด่นตรงตัวถ่านมีสัดส่วนของพื้นที่ผิว (นอก) ต่อปริมาตรมาก ถ่านผงเหมาะกับการใช้งานแบบเดิมลงในภาชนะของเหลวโดยตรงมากกว่าการบรรจุในท่อและปล่องของเหลวไหลผ่านผงถ่าน เนื่องจากวิธีหลังจะสูญเสียผงถ่านได้

ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ใช้โดยทั่วไปผลิตจากขี้เลื่อยที่ได้จากไม้ ซึ่งมีขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคในช่วง 0.15 – 0.25 มิลลิเมตร โดยในการออกแบบระบบการดูดซับจะคำนึงถึง

- การเลือกลักษณะของหอดูดซับ
- ลักษณะการผสมเม็ดถ่านกัมมันต์ผงกับของเหลว
- ลักษณะการแยกของถ่านกัมมันต์ผงหลังจากที่ดูดซับแล้ว
- วิธีในการนำกลับมาใช้ใหม่

ในทางอุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ผง โดยส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการกำจัดสีในกระบวนการผลิตอาหารเช่น ใช้ในการผลิตน้ำตาล ผลิตน้ำมัน ผลิตโซเดียมกลูตาเมต และผลิตไวน์

ในภาวะปัจจุบันมีการนำถ่านกัมมันต์ชนิดผงมาใช้กัน อย่างมาก ใช้ในการบำบัดน้ำ ทั้งในการผลิตน้ำดื่มและการบำบัดน้ำเสีย

การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในระบบของเหลวที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ จะพิจารณาถึงประจุที่ผิวของถ่านกัมมันต์ผงเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากประจุที่ผิวจะมีผลต่อขั้นตอนการตกตะกอน ขั้นตอนการกรอง ในการแยกถ่านกัมมันต์ผงออกจากของเหลวหลังจากที่ได้ทำการดูดซับแล้ว โดยขั้นตอนที่นำถ่านกัมมันต์ผงกลับมาใช้ใหม่นั้นค่อนข้างทำได้ยาก จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ทั้งถ่านกัมมันต์ผงมากกว่าที่จะผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่

2. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ในรูปเกล็ดนิยมใช้ในการดูดซับก๊าซหรือ ไอของสาร เนื่องจากขนาดเกล็ดใหญ่กว่าผงทำให้ก๊าซไหลผ่านได้ง่ายกว่า แต่ผิวสัมผัสภายนอกของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดจะมีน้อยกว่าของถ่านกัมมันต์ชนิดผง การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับก็เป็นตัวแปรที่สำคัญอย่างหนึ่ง โดยคาร์บอนชนิดนี้จะยอมให้การดูดซับแก๊ส และไอระเหยมีอัตราการดูดซับรวดเร็วกว่าชนิดของผงมาก

ถ่าน GAC ขนาดโดยทั่วไปจะประมาณ 0.2-0.8 มิลลิเมตร สามารถขึ้นรูปเป็นเม็ด หรือจะ
ทำเป็นแท่งได้ และขนาดที่เหมาะสมกับการแยกในเฟสของเหลวคือ 8x20, 20x40 หรือ 8x30 สำหรับ
เฟสของเหลวคือ และขนาด 4x6, 4x8 หรือ 4x10 สำหรับเฟสของแก๊ส

ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดโดยส่วนมากมักจะนำไปใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย , กำจัดกลิ่น
และ กระบวนการแยกในขั้นตอนการ ซึ่งในสถานะของเหลวนิยมใช้ถ่านกัมมันต์เม็ดในการกำจัดสี
การผลิตน้ำตาล กำจัดสารอินทรีย์ กำจัดกลิ่นและสิ่งเจือปนในร ะบบการผลิตน้ำดื่ม และใช้กันอย่าง
มากที่สุดในการบำบัดน้ำเสีย

ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดมีการใช้งานมากกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงเนื่องจากสามารถนำกลับมา
ใช้ใหม่ โดยนำถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดที่ใช้แล้วผ่านกระบวนการทางความร้อน หรือกระบวนการนำ
กลับมาใช้ใหม่แบบอื่นๆซึ่งสามารถทำได้ง่ายกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผง

ถ่านกัมมันต์เม็ดใช้กันมากในระบบปฏิบัติการที่เป็นเบดนิ่ง เช่นระบบการนำสารละลาย
กลับมาใช้ใหม่ หรือระบบการบำบัดน้ำ ซึ่งความดันลดในเบดสามารถควบคุมโดยการปรับการ
กระจายของอนุภาค ประกอบกับถ่านกัมมันต์เม็ดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยผ่านกระบวนการ
นำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายจึงมีการใช้กันมาก

ราคาขายถ่านกัมมันต์เม็ดโดยประมาณ คือ 1,500 – 4,000 ดอลลาร์ต่อตัน (ราคาในปี
พ.ศ.2539) สำหรับถ่านกัมมันต์ผงราคาโดยประมาณคือ 500 – 1200 ดอลลาร์ต่อตัน (ราคาในปี
พ.ศ.2539) ซึ่งราคาขายอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามพื้นที่ ผิว ความแข็ง และความทนทานต่อการขัดสี
ของถ่านกัมมันต์

3. ถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง (Extruded Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ชนิดแท่งที่ใช้กันทั่วไปนั้นมีหลายขนาด โดยขึ้นกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน
ในการดูดซับระบบที่เป็นแก๊สมักใช้ถ่านกัมมันต์รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.8-
45 มิลลิเมตร ซึ่งการใช้ในระบบที่เป็นแก๊สนั้นคือระบบการนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ (solvent
recovery) การทำอากาศให้บริสุทธิ์ การทำแก๊สให้บริสุทธิ์ การกำจัดกำมะถันออกจากแก๊ส และใช้
ในการแยกระบบแก๊สอื่นๆ

ในระบบที่เป็นของแก๊สนั้นมีการใช้ถ่านกัมมันต์แท่งมากเนื่องจาก

- จัดการระบบได้ง่าย
- ในเครื่องปฏิกรณ์มีการสูญเสียความดันต่ำกว่าสองระบบข้างบนมาก
- มีความแข็งแรงเชิงกลสูง
- ทำการล้างถ่านได้ง่าย

พบว่าใช้มากในระบบการทำอากาศให้บริสุทธิ์ การทำตัวทำละลายให้บริสุทธิ์ และ
กระบวนการบำบัดน้ำ และมีการใช้ในระบบใ หม่ๆซึ่งเกี่ยวกับระบบการป้องกันมลภาวะจาก
สิ่งแวดล้อม ซึ่งระบบใช้ถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ มีดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ในระบบต่างๆ^[21]

<u>ระบบที่เป็นของเหลว</u>	
Decolorization	Industrial water treatment
Potable water treatment	Metals recovery (Gold)
Groundwater treatment	Chemicals and pharmaceutical purification
<u>ระบบที่เป็นแก๊ส</u>	
Solvent recovery	Military : respiratory and suiting
Dechlorination	Gas purification
General air conditioning	Cigarette filters
Air purification	Catalysis

อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้นในตลาดการผลิตถ่านกัมมันต์เม็ด อาจได้รับผลจากการที่ในอุตสาหกรรมบางส่วนได้ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ ในการพิจารณาถึงการที่จะนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่นั้นจะคำนึงถึง ค่าใช้จ่าย ปริมาณของถ่านกัมมันต์ ชนิดของตัวถุกดูดซับ และเกณฑ์ที่บังคับด้านสิ่งแวดล้อม

ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ใช้จากกระบวนการผลิตน้ำดื่มและกระบวนการบำบัดน้ำเสีย มักจะนำถ่านกัมมันต์นั้นมาทำการบำบัดที่อุณหภูมิสูง ซึ่งอาจทำในเตาเผาแบบหมุน ในขณะที่ผ่านกระบวนการบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ถ่านกัมมันต์จะสูญเสียประสิทธิภาพไป 1 – 15 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพระบบให้เท่าเดิมโดยการนำถ่านกัมมันต์ใหม่เข้ามาใส่เพิ่มเติมในระบบ ซึ่งรูปแบบการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่เป็นที่นิยมมากในอุตสาหกรรมเนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายถูกกว่าที่จะซื้อถ่านกัมมันต์ใหม่ ตัวอย่างเช่นการนำถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วมาทำการบำบัดโดยใช้เตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบด จะเสียค่าใช้จ่ายเพียง 35 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายที่จะซื้อถ่านกัมมันต์ใหม่ แต่ถ่านกัมมันต์แบบผงใช้ในปริมาณน้อย จึงมักนำถ่านกัมมันต์แบบผงที่ใช้แล้วนำไปกำจัดทิ้งโดยการฝังกลบ (Landfill) อย่างไรก็ตามการฝังกลบก็มีข้อจำกัดด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่หาวิธีการบำบัดถ่านกัมมันต์แบบผง

2.7 การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์^[6]

เราสามารถแบ่งการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ได้ด้วยวิธีต่อไปนี้

2.7.1 ไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine Number) เป็นค่าสำคัญที่ใช้ออกถึงประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากไอโอดีนถูกถ่านดูดซับได้ดี ดังนั้นค่าการดูดซับไอโอดีนจึงถูกใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของถ่าน โดยวัดเป็นมิลลิกรัม (ของไอโอดีน) / น้ำหนักถ่าน 1 กรัม

2.7.2 โมลาสันัมเบอร์ (Molass Number) เป็นค่าที่บอกปริมาณของรูขนาดใหญ่ (macropore, รูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 20 อังสตรอม (หรือมากกว่า 2 นาโนเมตร) ที่มีอยู่ในถ่านกัมมันต์ โดยถ่านที่มีรูขนาดใหญ่จำนวนมาก (ค่าโมลาสันัมเบอร์สูง) จะดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่อย่าง โมเลกุลสีได้ดีกว่าถ่านที่มีรูขนาดเล็ก (ค่าโมลาสันัมเบอร์ต่ำ)

2.7.3 แทนนิน (Tannin) แทนนินเป็นสารผสมประกอบด้วยสารโมเลกุลขนาดใหญ่และสารโมเลกุลขนาดกลาง เช่นเดียวกับผิวของถ่านกัมมันต์ก็มีทั้งรูขนาดใหญ่ และรูขนาดกลาง ดังนั้นค่าแทนนินจึงใช้ออกความสามารถในการดูดซับสารแทนนินหรือสารโมเลกุลขนาดใหญ่และกลางของถ่าน และระบุในหน่วยพีพีเอ็ม (ppm, part per million = ส่วนในล้านส่วน) ซึ่งถ่านกัมมันต์ควรมีค่านี้อยู่ในช่วง 200-362 พีพีเอ็ม

2.7.4 เมทิลีนบลู (Methylene Blue) ในถ่านกัมมันต์บางชนิด มีรูขนาดไม่ใหญ่มากเหมาะกับการดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดกลางเช่น สารเมทิลีนบลู ทำให้สารให้สีนี้ถูกใช้เป็นตัวแทนของสารที่มีโมเลกุลขนาดกลาง ค่าเมทิลีนบลูจะระบุในหน่วยน้ำหนักกรัม/ 100 กรัม (g/ 100 g)

2.7.5 ความหนาแน่น (Apparent Density) ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูงกว่ามักบ่งว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดีกว่า เนื่องจากสามารถดูดซับสารได้ในปริมาณมากกว่า

2.7.6 ค่าความแข็ง/ ค่าการขัดถู (Hardness/ Abrasion Number) บอกถึงความต้านทานการสึกกร่อนของถ่านกัมมันต์ ค่านี้จะบอกถึงความสามารถในการทนต่อแรงเสียดสี และความสามารถในการคงสภาพของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อกระบวนการล้างวัสดุกรอง (backwashing) ซึ่งค่านี้จะแตกต่างอย่างชัดเจนตามชนิดวัสดุดิบและระดับที่ถ่านถูกกระตุ้น

2.7.7 ปริมาณเถ้า (Ash Content) จะลดประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ และลดประสิทธิภาพการนำถ่าน ไปกระตุ้นซ้ำ

2.7.8 ระดับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride Activity) เป็นการหาความพรุนของถ่านกัมมันต์โดยดูจากค่าการดูดซับไอโอดีนตัวของสารคาร์บอนเตตระคลอไรด์

2.7.9 ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคถ่าน (Particle Size Distribution) เกี่ยวข้องกับความละเอียดของผงถ่าน ยิ่งถ่านมีขนาดอนุภาคละเอียดมากเท่าใดก็จะยิ่งเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านให้มากขึ้น ซึ่งมีผลให้โมเลกุลก๊าซถูกดูดซับเข้าไปในโครงสร้างถ่านได้เร็วขึ้น และทำให้ความดันก๊าซของระบบ ไม่ลดลงมากด้วย ดังนั้นอุตสาหกรรมจะไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมาก เพื่อสร้างแรงดันก๊าซให้ไหลผ่านถ่านกรองด้วยอัตราเร็วที่กำหนด

2.8. ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์^[2, 4]

2.8.1 ประเภทใช้กับของเหลว (Liquid phase carbon) อุตสาหกรรมที่นำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในสารละลายหรือในของเหลว ได้แก่

- อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภคนอกจากใช้ในการฟอกสีแล้ว ยังใช้ในการแยกเอาสบู่และเปอร็อกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันได้ด้วย
- อุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น ดีกว่าการใช้สารเคมีชนิดอื่นเพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร
- อุตสาหกรรมการแยกสารที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังการสกัดจากแร่ด้วยวิธีไซยาไนด์ การแยกไอโอดีนออกจากน้ำเกลือที่เกิดในหลุมน้ำมัน (Petroleum oil – Well Brines) ตลอดจนการผลิตวิตามินและฮอร์โมนอีกหลายชนิด
- อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นและฟอกสีของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการทำให้เครื่องดื่มที่ได้มีรสชาติดีขึ้น
- อุตสาหกรรมเคมีและยา ถ่านกัมมันต์ใช้ในการผลิตสารเคมีและยาหลายชนิด
- อุตสาหกรรมการทำน้ำให้บริสุทธิ์ โดยใช้เป็นตัวดูดกลิ่นและฟอกสี
- กระบวนการที่มีการใช้สารเร่ง (Catalytic Process) ถ่านจะทำหน้าที่เป็นตัวพาสารเร่ง (Catalyst Carrier) ในปฏิกิริยาที่มีการใช้สารเร่งหลายชนิด รวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของตัวเร่งให้ดีขึ้นด้วย

2.8.2 ประเภทที่ใช้ในการดูดแก๊สและไอ (Gas Phase Carbon) ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไปนี้

- อุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษ ทั้งที่ใช้กันในการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษและไอของสารอินทรีย์ได้
 - การนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และจะคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำๆ
 - อุตสาหกรรมปรับอากาศ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดแก๊สพิษในอากาศต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และอะเซทิลีน
 - อุตสาหกรรมบุหรี โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นกั้นกรองบุหรี

2.9 การเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ในประเทศไทยสามารถผลิตจากวัตถุดิบเช่นกะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ไม้ยูคาร์ลิปตัส ไม้ยางพารา วัตถุดิบแต่ละตัวจะให้คุณสมบัติการใช้งานที่ต่างกัน ดังเช่น ถ่านกัมมันต์จากกะลาซึ่งปกติจะใช้ในการบำบัดน้ำ ทั้งน้ำดื่มและน้ำเสีย ดูดซับไอเสีย ดูดสารทองคำ ดูดสารละลายอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่ำ การนำไปใช้ต้องขึ้นกับขนาดของอนุภาคด้วย ในทางปฏิบัติถูกแบ่งตามขนาดเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผง (Powder Activated Carbon, PAC) โดยถือว่ามีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 0.8 มิลลิเมตร ถ้าโตกว่า 0.8 มิลลิเมตร จะถูกคัดให้เป็นชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC) ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดโดยทั่วไปพบว่าจะมีพื้นที่ผิวภายในมากโดยมีขนาดรูที่เล็ก ในขณะที่ชนิดผงจะมีขนาดที่กว้างกว่าจึงทำให้มีพื้นที่ผิวภายในต่ำกว่า

2.9.1 ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ใช้ในกระบวนการทางเคมี

ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาด 100 เมช ผลิตจากวัตถุดิบที่เป็นกะลาและไม้ เหมาะที่จะใช้กับสารละลายเคมีทางธรรมชาติและสังเคราะห์เช่น

- | | |
|--------------------------------|------------------------|
| 1. Glucose Syrup (Dextrose) | 2. Crystalline Glucose |
| 3. Crystalline Fructose | 4. Citric Acid Crystal |
| 5. Starch | 6. Analgin |
| 7. Paracetamol | 8. Fine & Sulf Drugs |
| 9. Insecticides | 10. Crystalline Waxes |
| 11. Liq. Paraffin Oil | 12. Shellac |
| 13. Opium and opiate alkaloids | 14. Pepper extract |
| 15. Rice bran oil | 16. Fine Chemicals |
| 17. Antibiotics | 18. Amyl alcohols |
| 19. Tartaric acid | 20. Petroleum fraction |
| 21. Anti-Leprosy drugs | 22. Sugar Syrup |
| 23. Glycerine | 24. SpI. Applications |
| 25. Light color Liquids | 25. Deep color Liquids |

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการกรองน้ำต้องมีประสิทธิภาพการกรองที่เร็วในการที่จะดูดกลืน รสออกจากน้ำ ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ทำมาจาก กะลามะพร้าว ลิกไนต์และไม้เนื้อแข็ง ลักษณะของตัวกรองสามารถแบ่งเป็น 3 แบบ คือ เป็นม้วนทรงกระบอก เป็นเม็ด และเป็นบล็อก ประสิทธิภาพการดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะการออกแบบและการไหลของของน้ำผ่านตัวกรอง

2.9.2 การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon PAC) ทำความสะอาดสารละลาย

ส่วนใหญ่การทำทำความสะอาดสารละลายเช่น น้ำตาลและกลูโคสในรูปของเหลวหรือผลึก ด้วยการดูดซับสีของสารละลายมักจะใช้ถ่านกัมมันต์ที่ส่วนใหญ่มีรูขนาด 55-70 อังสตรอม (รูขนาดเล็กจะน้อยกว่า 20 อังสตรอม ดังนั้นการใช้วัสดุที่ที่เป็นไม้อยู่คาร์ลิปัสและไม้อย่างจะเหมาะสมกับการเป็นตัวดูดซับสีที่ดีคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ พบว่าจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.32-0.37 กรัมต่อมิลลิกรัม pH 5-8 เมทิลลิบว 220-240 มิลลิกรัมต่อกรัม ไอโอดีน 700-800 มิลลิกรัมต่อกรัม

2.9.3 การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon GAC)

วัสดุที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เป็น กะลามะพร้าว กะลาปาล์มน้ำมัน ถ่านหินเพราะมีความแข็งเมื่อถูกกระตุ่นจะให้พื้นที่ผิวที่สูง ซึ่งจะให้น้ำขนาดรูพรุนที่มีขนาดเล็กถึงเล็กมากที่สามารถจับคลอรีน ไอโซน สารละลายอินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้ตัวอย่างการนำไปใช้

1. Solvent Recovery.
2. Removal of Mercury from Hydrogen in mercury alkali.
3. Removal of Mercury from effluents of alkali industry.
4. Decoiling of hot condensates.
5. Dechlorination of Bottling Plant Process Water.
6. Removal of pesticides from waste water.
7. Removal of organic from waste water.
8. In Portable alcohol Industry to remove higher alcohol, aldehydes and thereby improving the taste of spirits such as Whisky. Gin, and Rum.
9. Protection of Ion Exchange resin (Both cation and anion)
10. Thin layer applications like gas mask and air purification.
11. As the catalyst carrier.
12. Exhaust system of internal combustion engines to reduces pollution.
13. Dechlorination of process water prior to Ion Exchange resin.
14. Gold Recovery
15. Gas purification

คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ พบว่าจะมีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.55-0.60 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร, pH 5-8, ค่าการดูดซับไอโอดีน 750-800 มิลลิกรัมต่อกรัม, พื้นที่ผิว 800-1000 ตารางเมตรต่อกรัม, Hardness 70 นาที, ความชื้นไม่เกินร้อยละ 10

2.9.4 การดูดซับโลหะหนักด้วยถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์สามารถที่ดูดซับอนุภาคที่มีประจุบวกและลบที่ละลายอยู่ในน้ำได้ โดยเฉพาะอนุภาคที่มีประจุบวกพบว่าการดูดซับจะมีค่ามากไปน้อยดังนี้ $H^+ > Al^{+3} > Ca^{+2} > Li^+ > Na^+ > K^+$ และสำหรับอนุภาคที่มีประจุลบ NO_3^- จะถูกดูดซับดีกว่า Cl^- จึงไม่เป็นที่แปลกใจเลยว่าทำไม pH จึงมีผลต่อการดูดซับของอนุภาคที่มีประจุเหล่านี้ เนื่องจากที่ pH ต่ำจะก่อให้เกิด H^+ มากและถูกดูดแทนไอออนตัวอื่นๆ แต่กระนั้นที่ pH เปลี่ยนแปลงไม่มาก สารประกอบอนินทรีย์ก็ถูกดูดซับด้วยค่าที่แตกต่างกันมาก เช่น สารละลายเกลือที่มี KCl และ Na_2SO_4 เกือบจะไม่ถูกดูดเลย ในขณะที่ไอโอดีนเป็นสารที่ถูกดูดมากที่สุด

โดยทั่วไปพบว่าถ่านกัมมันต์จะมีประสิทธิภาพไม่ดีนักต่อการดูดซับโลหะในสารละลายอินทรีย์สารเท่าในสารละลายอนินทรีย์สาร เนื่องจากโลหะจะแตกตัวไม่ดีในสารละลายอินทรีย์สาร โลหะหนักที่ปนอยู่ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีปริมาณน้อยจะถูกถ่านกัมมันต์ดูดซับจนหมดเรียงตามลำดับต่อไปนี้ Cadmium, Chromium, Zinc, Lead, Mercury, Copper Cyanide

2.9.5 การดูดซับอินทรีย์สารด้วยถ่านกัมมันต์

ถึงแม้ว่าถ่านกัมมันต์จะสามารถดูดซับสารเคมีได้หลายชนิด โดยเฉพาะอินทรีย์สารแล้ว แต่โดยความจริงประสิทธิภาพของการดูดซับอินทรีย์สารของถ่านกัมมันต์ฝกผันกับสารประกอบที่ละลายน้ำได้ คือจะดูดซับได้ดีต่อสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ดี และยังพบว่า อินทรีย์สารที่โมเลกุลโตจะถูกดูดซับด้วยแรงที่มากกว่า โมเลกุลเล็ก เช่น เมทิลฟีนอล ถูกดูดด้วยความแรงมากกว่า ฟีนอล และ ไดเมทิลฟีนอลถูกดูดซับแรงที่สุด ตารางที่ 2.3 บอกถึงการดูดซับสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างสารข้างต้นที่ถ่านกัมมันต์สามารถใช้บำบัดกรณีที่ปนเปื้อนอยู่ในระบบน้ำทิ้งในอุตสาหกรรม น้ำทิ้งชุมชน โรงกลั่นน้ำมัน โรงเยื่อต่างๆ

ชนิดของหมู่ฟังก์ชัน	ตัวอย่างสาร
Aromatics	Benzene, Toluene
Ethers	Butyl ether
Ketones	Acetone
Glycols	Ethylene Glycol
Halogenated	Ethylene Dichloride
Esters	Ethyl acetate
Aldehydes	Formaldehyde
Amines	Butyl amine

2.10 กากน้ำตาล

กากน้ำตาล คือของเหลวมีลักษณะเป็นน้ำเชื่อม สีน้ำตาลเข้ม ของเหลวนี้จะถูกแยกออกจากเกล็ดน้ำตาลโดยวิธีปั่น (Centrifuge) ส่วนประกอบของกากน้ำตาลแตกต่างกันไปตามโรงงาน อย่างไรก็ตามส่วนประกอบโดยประมาณคิดเป็นร้อยละตามน้ำหนักของกากน้ำตาลมีดังนี้ คือ

(1) น้ำ 17-25

(2) น้ำตาลซูโครส 30-40, น้ำตาลกลูโคส 4-9, น้ำตาลฟรักโทส 5-12

นอกจากนี้ก็มีสารประกอบคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ สารประกอบไนโตรเจน กรดต่าง ๆ วิตามิน ไช และแร่ธาตุต่าง ๆ อีกเป็นจำนวนมาก ดังนั้นกากน้ำตาลจึงใช้ประโยชน์ ได้กว้างขวางกว่าผลพลอยได้ชนิดอื่น ๆ ทั้งหมด ประโยชน์ที่ได้จากกากน้ำตาลมีมากมาย เช่น ใช้ทำปุ๋ย ใช้เลี้ยงสัตว์ ใช้ผลิตแอลกอฮอล์ ใช้ในอุตสาหกรรมยีสต์ ใช้ทำผลชูรส และใช้ทำกรดน้ำส้ม เป็นต้น แม้ว่าจะใช้ประโยชน์ได้กว้างขวาง แต่ก็ปรากฏว่ากากน้ำตาลส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์ 2 ประการ คือ

1) ใช้เป็นอาหารสัตว์

ใช้เป็นอาหารสัตว์ กากน้ำตาลมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้เป็นอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Ruminant) เช่น โค กระบือ แพะ ฯลฯ ทั้งนี้เพราะว่ากากน้ำตาลนอกจากจะช่วยเพิ่มรสชาติแก่อาหารแล้ว ยังช่วยกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรียในกระเพาะซึ่งจะช่วยย่อยอาหารหยาบ เช่น ยอดอ้อยฟางข้าว และแม้กระทั่งขานอ้อย ทำให้สัตว์พวกนี้ใช้ประโยชน์จากอาหารดังกล่าวได้มากขึ้น ในกรณีที่ใช้ขานอ้อยเป็นอาหารหยาบอาจใช้สูตร คิดเป็นร้อยละดังนี้ คือ กากน้ำตาล 74 ขานอ้อย 14 กากถั่วลิสง 8 ยูเรีย 2 ไคแคลเซียมฟอสเฟต 15 และ โซเดียมคลอไรด์ 0.5

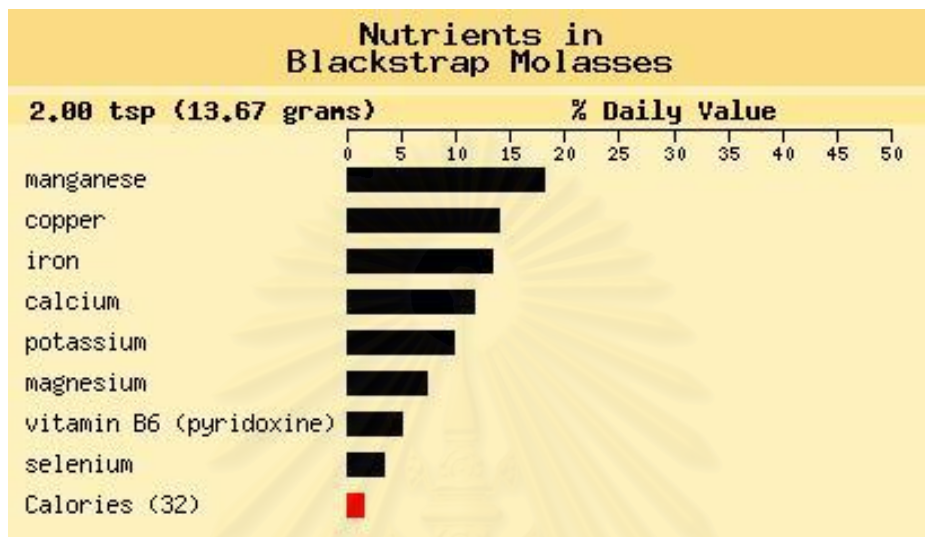
2) ใช้ผลิตแอลกอฮอล์

ใช้ผลิตแอลกอฮอล์ การผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลกระทำได้ โดยนำเอากากน้ำตาลมาทำให้เจือจางด้วยน้ำ แล้วหมักโดยอาศัยเชื้อยีสต์พวก *Saccharomyces cerevisiae* เปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์ จากนั้นก็นำมากลั่นแยกแอลกอฮอล์ออกซึ่งจะได้แอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ประมาณ 95% ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้แตกต่างกันไปตามคุณภาพของกากน้ำตาล ตลอดจนกรรมวิธีการผลิตแอลกอฮอล์ของโรงงานนั้น โดยทั่วไปกากน้ำตาลหนัก 1 ตัน จะให้แอลกอฮอล์ประมาณ 340 ลิตร

กากน้ำตาล สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

1. กากน้ำตาลที่ได้จากการสกัดน้ำตาลครั้งที่ 1 (Mild) กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตครั้งแรกจะมีคุณภาพความหวานดีที่สุดใน น้ำตาลที่ถูกสกัดออกมามีจำนวนน้อย ทำให้ความหวานหลงเหลืออยู่ในกากน้ำตาลมาก
2. กากน้ำตาลที่ได้จากการสกัดน้ำตาลครั้งที่ 2 (Dark) ในกระบวนการผลิตครั้งที่ 2 จะทำให้กากน้ำตาลมีสีที่เข้มขึ้นกว่ากากน้ำตาลที่ได้จากการสกัดน้ำตาลครั้งแรก และคุณภาพความหวานจะลดลงเนื่องจากน้ำตาลในองค์ประกอบของน้ำตาลลดลง

3. กากน้ำตาลที่ได้จากการสกัดน้ำตาลครั้งที่ 3 (Blackstrap) กระบวนการผลิตครั้งที่ 3 จะได้ กากน้ำตาลที่มีสีดำ, เหนียวข้น มีประโยชน์และ, มีมูลค่าทางการค้ามาก โดยสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตแอลกอฮอล์ , อาหารสัตว์และ อุตสาหกรรมอื่นๆ อีกมากมาย



รูปที่ 2.9 องค์ประกอบของกากน้ำตาลที่ได้จากการสกัดน้ำตาลครั้งที่ 3 (Blackstrap)
(ที่มา : <http://mom.exchange.ph/2007/11/22/blackstrap-molasses-wonder-food>)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 งานวิจัยต่างประเทศ

Blesa และคณะ (2003)^[34] ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิในการอบ ต่อตัวประสานที่ใช้ในการเตรียมถ่านหินไร้ควันชนิดก้อน โดยการศึกษาด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) และในการศึกษารั้งนี้จะใช้ humates และ molasses เป็นตัวประสาน ช่วงของ FT-IR spectra ที่สนใจในการศึกษารั้งนี้จะอยู่ในช่วง $1800-1500\text{ cm}^{-1}$ เป็นหลัก เพื่อสังเกตถึงหมู่คาร์บอนิลที่เกิดขึ้น และความสัมพันธ์ในการก่อตัวเป็นโครงสร้างที่มีความเสถียรมากขึ้นหลังจากผ่านการอบที่อุณหภูมิ และตัวประสานต่างๆแล้ว ผลที่ได้จากการทดลองจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบตั้งแต่ 150-200 องศาเซลเซียส หมู่ไฮโดรเจนในสายโซ่ตรงจะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเราใช้ตัวประสานที่เป็น molasses ในทางกลับกันหมู่คาร์บอกซิลิกจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งตัวประสานทั้งสองชนิดคือ humates และ molasses โดยอุณหภูมิที่มีผลเปลี่ยนแปลงตามที่เรากำลังต้องการมากที่สุดคือช่วง 200 องศาเซลเซียส โดยทำการเตรียมด้วยตัวประสานที่เป็น molasses

Blesa และคณะ (2003)^[30] ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของความแข็งแรงเชิงกล กับอุณหภูมิในการอบถ่านหินไร้ควันที่เตรียมจากถ่านหินระดับต่ำและ Olive stone ที่เป็นไบโอแมสผสมเข้ากัน โดยใช้ตัวประสานคือ molasses ในการใช้ตัวประสานเป็น molasses เนื่องมาจากในการศึกษาก่อนๆพบว่า molasses สามารถใช้งานได้หลากหลายทั้งในด้าน การเชื่อมโยงในทางเคมีหรือ ทั้งทางด้านกายภาพ โดยผลกระทบของอุณหภูมิในการอบต่อถ่านหินเชื้อเพลิงชนิดไร้ควันนี้สามารถตรวจสอบได้โดยใช้วิธี Fourier transform infrared spectroscopy, temperature programmed decomposition (TPD) ศึกษาโดยใช้ Mass spectrometry และ Optical microscopy การทดลองโดยวิธี TPD ช่วยในการคำนวณ หรือคาดเดาค่าคุณสมบัติที่หายที่สุดจากการทดลองได้ดีกว่าการใช้ Infrared spectroscopy ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าโครงสร้างที่เป็นแบบสายโซ่ตรง และไฮโดรเจนในหมู่เมทอกซีจะลดลงในระหว่างที่เราทำการอบ และในทางกลับกันนั้น หมู่คาร์บอกซิลิกจะมีแนวโน้มที่จะเกิดมากขึ้น เนื่องจากเกิดการออกซิเดชันภายในโครงสร้างซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิในการอบนั่นเอง ทั้งนี้สภาวะที่เหมาะสมกับการอบที่สุดคือ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะให้ความแข็งแรงเชิงกลที่ดีที่สุด และสภาวะนี้ยังทำให้ถ่านหินไร้ควันมีความสามารถในการกักน้ำได้ดีมากขึ้น เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลิกช่วยให้โครงร่างมีความเสถียรต่อการก่อตัวกับพันธะไฮโดรเจนมากขึ้นนั่นเอง

Blesa และคณะ (2003)^[31] หลังจากที่เราได้ทำการเตรียมถ่านหินไร้ควันโดยใช้ molasses เป็นตัวประสานแล้ว ผู้ทำการทดลองยังได้คิดถึงการเติมสารเติมแต่ง เช่น กรดฟอสฟอริก ลงไปเพื่อดูถึงผลกระทบต่อถ่านไร้ควัน โดยซาร์ที่ได้จากการทำ co-carbonisation ของ low-rank coal และ

olive stones นำมาผสมกันตัวประสานคือ molasses และทำการเติมสารเติมแต่ง กรดฟอสฟอริก ลงไป โดยการเติมกรดฟอสฟอริก ลงไปนั้น จะมีส่วนช่วยให้เกิดการ polymerisation ของตัวประสาน เข้ากับเนื้อของชาร์ที่ได้ดีขึ้นด้วย ผลของอุณหภูมิในการอบต่อโครงสร้างทางด้านกายภาพ และทางเคมีได้ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy และวิธี Temperature Programmed Decomposition โดยการศึกษาด้วยเครื่อง Mass Spectrometry ผลของกรดฟอสฟอริก เมื่อทำการอบที่อุณหภูมิในกระบวนการประมาณ 200 องศาเซลเซียส พบว่าโครงสร้างที่ได้นั้นจะมีโครงสร้างที่เป็นหมู่ carboxylic มากขึ้นซึ่งโครงสร้างเหล่านี้มีส่วนในการเพิ่มแรงทนทานทางกายภาพมากขึ้น และยังมีส่วนช่วยให้ถ่านหินไร้ควันมีความก้นน้ำดีขึ้นด้วย

Blesa และคณะ (2003)^[32] ถ่านหินไร้ควันที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ ทำการเตรียมจากการ co-pyrolysis จากถ่านหินระดับต่ำ และ biomass โดยวัตถุดิบที่นำมาใช้ผสมนั้น จะทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมในระดับต่างๆกัน และนำไปทำการ pyrolysis ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เพื่อทำการแยกเอาสารระเหย และสารประกอบที่มี sulfur เป็นองค์ประกอบออกไป และเพื่อเพิ่มค่า high calorific value (HCV) ซึ่งใน biomass นั้นสารประกอบซัลเฟอร์จะถูกนำออกจากระบบด้วยวิธีการ thermal treatment หลังจากนั้นเราจะนำถ่านไร้ควันอัดก้อนไปทำการทดสอบเพื่อหาคุณลักษณะต่างๆโดยการทดสอบหา แรงกดทับ , ความสามารถในการทนแรงกระแทก และความสามารถในการทนแรงขัดสี รวมทั้งทำการส่องด้วยเครื่อง SEM อีกครั้ง ผลที่ได้คือ การนำเอาขี้เถ้ามาผสมแทน olive stone จะให้สมบัติเชิงกลที่สูงกว่าการผสมด้วย olive stone เนื่องจากโครงสร้างมันเป็นเส้นใยทำให้โครงสร้างมีความสามารถในการรับแรงต่างๆที่มากกว่านั่นเอง

Blesa และคณะ (2003)^[33] ในการทดลองนี้ผู้ทดลองจะนำเอา humates มาผสมเข้ากับ calcium hydroxide เพื่อมาใช้เป็นตัวประสาน และนำมาอัดขึ้นรูปกับชาร์ที่ได้จากการ co-pyrolysis ดังเช่นการทดลองก่อนๆ หลังจากนั้นเราจะนำ briquettes ที่ได้ไปทำการทดสอบด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Microscopy Spectrometers หากตัวอย่างที่นำมาใช้ในการเตรียมมีขนาดเล็กเพียงพอที่ทำให้สเปกตรัมสามารถผ่านเข้าไปในโครงสร้างได้ดีก็จะทำให้สามารถบอกถึงโครงสร้าง และการจัดเรียงตัวของตัวประสานได้ดี ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงน้ำหนักโมเลกุลที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเราให้อุณหภูมิในกระบวนการที่สูงขึ้น เนื่องมาจากการเกิดการสูญเสียของหมู่ hydroxyl และหมู่ methoxy แต่ในทางกลับกันก็ทำให้เกิดหมู่ของ carboxylates มากขึ้นด้วย ซึ่งจากสมบัติที่วัตถุดิบนั้นเป็นลักษณะผงคาร์บอน จึงทำให้ผู้ทดลองต้องทำการเตรียมโดยใช้ตัวประสาน เพื่อทำการเชื่อมโยงระหว่างอนุภาคเข้าด้วยกัน และในการรายงานก่อนหน้านี้ การเติมสารประกอบแคลเซียม ลงในตัว ประสาน และนำมาผสมเข้ากับถ่านชาร์ยังมีส่วนช่วยในการลด พาก sulfur ที่ปลดปล่อยออกมาได้ในขณะเผาไหม้ หรือ โคนความร้อนสูงๆด้วย ทั้งนี้ผลสืบเนื่องที่ได้ตามมาก็คือ โครงสร้างที่ได้จะทำให้ถ่านของเรามีความก้นน้ำได้มากขึ้นด้วย

2.11.2 งานวิจัยในประเทศ

จักริน นิธิจันทร์ (2537)^[2] ได้นำพืคจากพรวาเจาะ จังหวัดนราธิวาส นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ โดยใช้วิธีการคาร์บอนในเซชัน และทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำในปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคซ์เบด แบ่งขั้นตอนในการทำเป็นสองขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่หนึ่ง นำพืคที่ได้จากพรวาเจาะมาทำการคาร์บอนในเซชันในเตา ปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคซ์เบด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 1,100 มิลลิเมตร ตัวแปรที่สนใจคือ อัตราการไหลของอากาศที่ 1.2-2.1 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไคซ์เซชัน หรือ 0.94-1.64 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ทำการคาร์บอนในเซชันเป็นเวลา 3-8 นาที พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการทำการคาร์บอนในเซชันในเตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคซ์เบดคือ ขนาดของเมล็ดพืค 0.5-2.0 มิลลิเมตร อัตราการไหลของอากาศ 0.94 เมตรต่อวินาที หรือ 1.2 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไคซ์เซชัน ปริมาณการป้อนเมล็ดพืค 2 กิโลกรัม อุณหภูมิแรกเริ่ม 400 องศาเซลเซียส เวลาในการคาร์บอนในเซชัน 5 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่านชาร์ร้อยละ 34 โดยน้ำหนัก มีปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 83.6 สารระเหยร้อยละ 10.9 และเถ้าร้อยละ 4.0

ขั้นตอนที่สอง การกระตุ้นด้วยไอน้ำในฟลูอิดไคซ์เบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 120 มิลลิเมตร สูง 770 มิลลิเมตร ตัวแปรที่สนใจคือ ปริมาณร้อยละของสารระเหยในวัตถุดิบ 3.6, 16.2, 31.3, 41.9 และ 61.9 ขนาดถ่านพืค 0.5-1.0, 1.0-1.4 และ 1.4-2.0 มิลลิเมตร เวลาในการกระตุ้นไอน้ำ 3,5,7,9 และ 10 นาที อุณหภูมิของเบดขณะเริ่มป้อนไอน้ำ 700-925 องศาเซลเซียส ปริมาณการป้อนถ่านพืค 2 กิโลกรัม พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ คือ ถ่านพืคขนาด 1-2 มิลลิเมตร ปริมาณการป้อนถ่านพืค 2 กิโลกรัม อัตราการไหลของอากาศ 3.21 เมตรต่อวินาที หรือ 1.4 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไคซ์เซชัน อุณหภูมิเบดขณะเริ่มป้อนไอน้ำ 700 องศาเซลเซียส แก๊สออกซิไคซ์เป็นของผสมระหว่างไอน้ำ และอากาศ โดยมีอัตราส่วนระหว่างไอน้ำและอากาศร้อยละ 7.6 เวลาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ 7 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่านกัมมันต์ร้อยละ 59.1 ของน้ำหนักถ่านพืค หรือร้อยละ 20.1 ของน้ำหนักพืคแห้ง มีพื้นที่ผิวการดูดซับ 1,023 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าไอโอดีนัมเบอร์ 1,053 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 354.5 มิลลิกรัมต่อกรัม

รัชชัย ตันเจริญทรัพย์ (2544)^[3] งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากลิกไนต์โดยการกระตุ้นทางเคมี และทางกายภาพ ในขั้นตอนการทดลองจะแบบออกเป็นสองวิธีคือ ขั้นตอนของการคาร์บอนในเซชัน และขั้นตอนของการกระตุ้น

ขั้นตอนแรกจะเป็นการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมกับการคาร์บอนในเซชันลิกไนต์ ผลที่ได้คือ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาทีจะได้ถ่านที่มีคุณภาพดีที่สุดก่อนการกระตุ้น

ขั้นตอนที่สอง ขั้นตอนในการกระตุ้น ผู้ทำการทดลองได้แบ่งขั้นตอนการกระตุ้นออกเป็นสองวิธีคือ วิธีการกระตุ้นทางเคมี และวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ ในขั้นตอนการกระตุ้นด้วย

สารเคมีจะใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารกระตุ้น พบว่าภาวะที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นทางเคมี คือ อัตราส่วนสารกระตุ้นต่อถ่านชาร์ 0.7 ต่อ 1 อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ขนาดอนุภาคที่ 0.05-0.85 มิลลิเมตร สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้คือ ร้อยละผลิตภัณฑ์ 50.87 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ร้อยละปริมาณเถ้า 14.61 ค่าการดูดซับไอโอดีน 846 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 229 มิลลิกรัมต่อกรัมค่าพื้นที่ผิวการดูดซับ 1,292 ตารางเมตรต่อกรัม วิธีที่สองเป็นวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ โดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ กับไอน้ำเป็นสารกระตุ้น พบว่าภาวะที่เหมาะสมคือ 850 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง ที่ขนาดอนุภาค 0.5-0.85 มิลลิเมตร ได้ร้อยละผลิตภัณฑ์คือ 60.42 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.544 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ร้อยละปริมาณเถ้า 26.87 ค่าการดูดซับไอโอดีน 242 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 41 มิลลิกรัมต่อกรัม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

เครื่องมือและการดำเนินงานทดลอง

3.1 รูปแบบการศึกษา

ขั้นตอนในการทำวิจัยแบ่งออกเป็นสองช่วงคือ การออกแบบเครื่องมือในการอัดขึ้นรูปถ่านอัดเพื่อป้องกันก ารผิดพลาดจากการอัดขึ้นรูปถ่านอัดก้อนด้วยมือ และการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อทำการศึกษากาภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง ทั้งนี้ งานวิจัยได้ศึกษาถึงความสามารถในการ ดูดซับ และความแข็งแรงเชิงกล ของถ่านกัมมันต์ที่ กระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด และอากาศ ในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย

1. เครื่องชั่งละเอียด (Mettler Toledo)
2. เครื่องขึ้นรูปถ่านอัดก้อน
3. ชุดกระตุ้นแบบเบดนิ่ง เป็นเตาให้ความร้อนแบบแนวตั้ง (Vertical) สามารถปรับอุณหภูมิได้สูงถึง 1,200 องศาเซลเซียส ตรงส่วนกลางจะเป็นช่องสำหรับใส่เตาปฏิกรณ์รูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.03 เมตร ยาว 0.40 เมตร
4. เตาปฏิกรณ์แบบท่อ (Tubular reactor) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.02 เมตร ยาว 0.5 เมตร ทำจากสแตนเลสสตีล เบอร์ 304
5. เครื่องผลิตไอน้ำ (Steam generator)
6. เครื่องวัดอัตราการไหล (Mass flow)
7. แลบให้ความร้อน (Heater) แบบพันรอบท่อ
8. ตะแกรงร่อนขนาด 250 μm
9. ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)
10. เตาเผาไฟฟ้า (Muffle furnace) ชนิด ESF 12/23 ยี่ห้อ Carbolite
11. ตู้อบ (Oven)
12. ตัวปรับความดันของแก๊ส (Regulator)
13. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาดต่างๆ
14. ขวดปรับปริมาตร (Round bottom flask)
15. ขวดรูปชมพู่
16. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
17. เครื่องเขย่าตามแนวราบ (Orbital shaker)

18. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV Spectrometer)
19. เครื่องวัดพื้นที่ผิวการดูดซับ ยี่ห้อ Micromeritics รุ่น Flowsorb 2300
20. กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) รุ่น JSM-5410 LV

3.3 สารเคมีที่ใช้

1. กากน้ำตาล (ผลิตจากชานอ้อย)
2. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
3. ไอโอดีน (I_2)
4. เมทิลีนบลู (Methylene Blue)
5. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$)
6. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
7. โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
8. แป้ง (Starch)
9. โปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4)
10. โปแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3)
11. โปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI)

3.4 วัตถุดิบ

ผงถ่านแอนทราไซต์ของบริษัทไทยแลนด์แอนทราไซต์ มีลักษณะของผง เป็นผงละเอียด สีดำ มีความมันวาว ขนาดโดยเฉลี่ยเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร

3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานทดลอง

1. สร้างเครื่องอัดขึ้นรูปถ่านอัดแท่งให้มีลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร โดยแม่พิมพ์ทำจากสแตนเลสสตีล เบอร์ 304
2. ปรับปรุงชุดปฏิบัติการสำหรับการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ ให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น
3. อัดขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง
 - นำผงถ่านที่ได้มาทำการผสมกับกากน้ำตาลที่ร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30
 - ทำการผสมน้ำเล็กน้อยเพื่อให้กากน้ำตาลสามารถทำหน้าที่เป็นตัวประสานได้ดีขึ้น
 - นำถ่านอัดที่ได้ไปอบไล่ความชื้นที่ตู้อบ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง
4. วิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของถ่านอัด และผงถ่านแอนทราไซต์ ตาม ASTM D3172-86
 - ปริมาณความชื้น (Moisture)
 - สารระเหย (Volatile)

- เถ้า (Ash)
- คาร์บอนคงตัว (Fix carbon)

5. การกระตุ้นทางกายภาพ

ทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Super heat steam) แปรเปลี่ยนอุณหภูมิการกระตุ้นระหว่าง 700-900 องศาเซลเซียส เวลาในการกระตุ้น 1-3 ชั่วโมง ทำการปรับอัตราการไหลของอากาศ และไอน้ำที่ 500 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ

5.1 ศึกษาตัวแปรอุณหภูมิในการกระตุ้น

- ชั่งน้ำหนักถ่านอัดก่อนบรรจุลงในเตาปฏิกรณ์ น้ำหนักประมาณ 10 – 15 กรัม
- กระตุ้นในเตาปฏิกรณ์แบบท่อ โดยป้อนไอน้ำที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที และอากาศ 500 มิลลิลิตรต่อนาที
- ปรับอุณหภูมิตั้งแต่ 700, 750, 800, 850 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นแล้วมาชั่งน้ำหนักที่คงเหลือ บันทึกค่า

5.2 ศึกษาตัวแปรเวลาในการกระตุ้น

- ชั่งน้ำหนักถ่านอัดก่อนบรรจุลงในเตาปฏิกรณ์ น้ำหนักประมาณ 10 – 15 กรัม
- กระตุ้นในเตาปฏิกรณ์แบบท่อ โดยป้อนไอน้ำที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที และอากาศ 500 มิลลิลิตรต่อนาที
- ปรับอุณหภูมิตามที่ทดสอบว่าได้ผลดีที่สุดตามข้อ 5.1 และทำการกระตุ้นเป็นเวลา ตั้งแต่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง
- นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นแล้วมาชั่งน้ำหนักที่คงเหลือ บันทึกค่า

6. นำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นแล้วไปล้างเถ้า

- ต้มน้ำให้ร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียสแล้วใส่ถ่านกัมมันต์ลงไป พร้อมกวนด้วย Magnetic Bar จนเถ้าหลุดออกจากถ่านกัมมันต์
- กรองถ่านกัมมันต์ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
- ล้างถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้ง ครั้งละประมาณ 100 มิลลิลิตร จนกระทั่งค่า pH ของน้ำที่ได้ประมาณ 7

7. การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์

ทำการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์เป็น 2 แบบดังนี้

7.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติในเชิงการดูดซับ

- สมบัติการดูดซับไอโอดีน
- สมบัติการดูดซับเมทิลีนบลู
- พื้นที่ผิวการดูดซับ

7.2 การวิเคราะห์หาความแข็งแรงเชิงกล และลักษณะของถ่านกัมมันต์

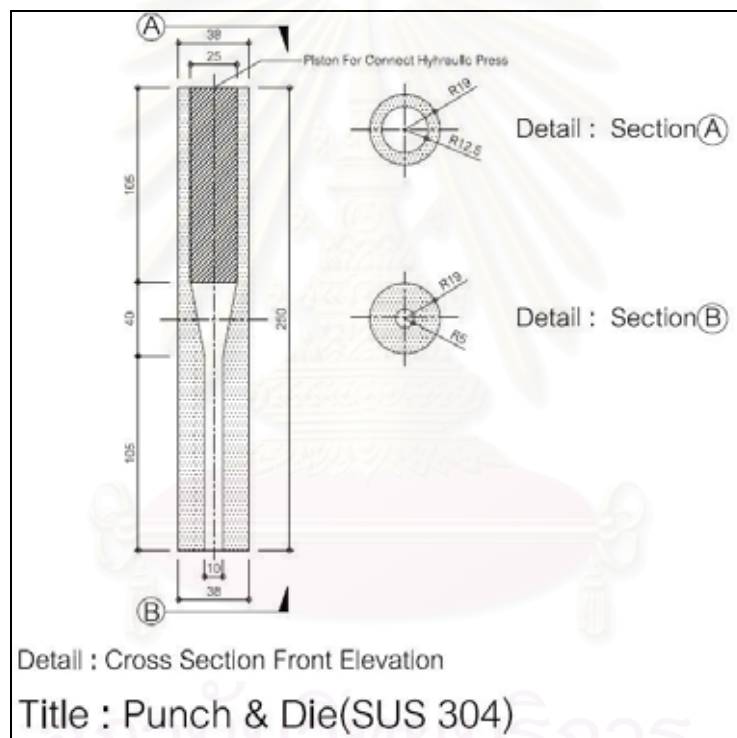
- ความหนาแน่น และความหนาแน่นเชิงปริมาตรของถ่านกัมมันต์
- ค่าความเค้นต่อแรงกดทับของถ่านกัมมันต์
- ค่าการทนต่อแรงขูดขีดของถ่านกัมมันต์
- วิเคราะห์หาลักษณะของถ่านกัมมันต์ด้วย SEM



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 เครื่องขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 3.2 ลักษณะของกระบอกที่ใช้ในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง

รูปที่ 3.1 และ 3.2 แสดงลักษณะของเครื่องขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง และกระบอกที่ใช้ในการขึ้นรูป โดยกระบอกที่ใช้ในการขึ้นรูปจะมีการเปลี่ยนขนาดที่บริเวณกึ่งกลางของกระบอกเพื่อทำการบีบอัดให้ถ่านที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่อัดแน่นขึ้น และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณขาออกเป็น 10 มิลลิเมตรตามต้องการ



รูปที่ 3.3 ภาพแสดงชุดกระตุ้น



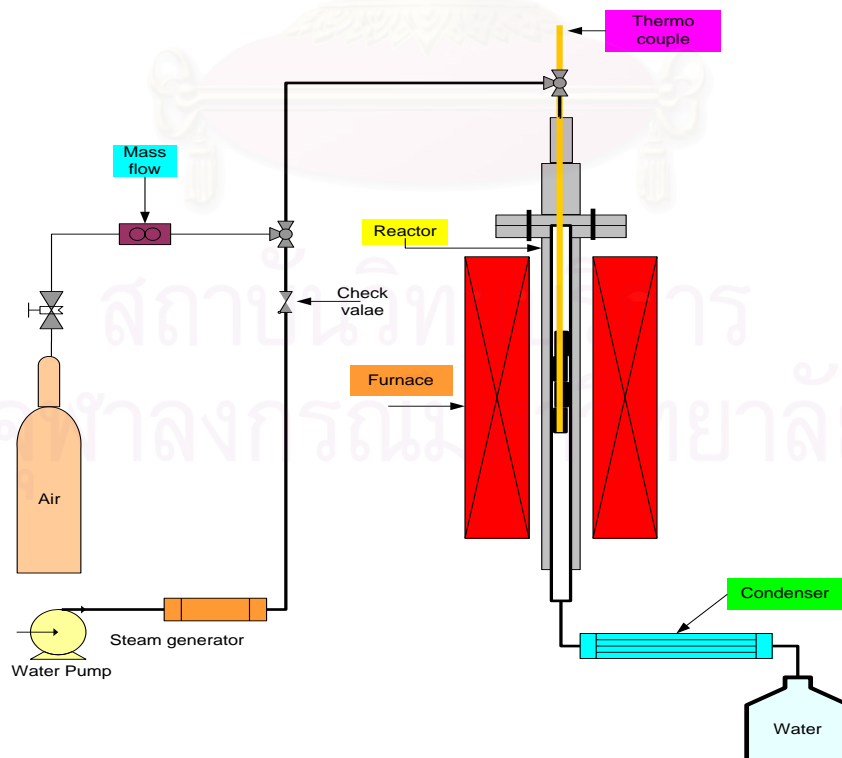
รูปที่ 3.4 เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ



รูปที่ 3.5 เตาให้ความร้อนแบบแนวตั้ง

รูปที่ 3.3, 3.4 และ 3.5 แสดงลักษณะของชุดกระตุ่นที่ประกอบไปด้วยเตาปฏิกรณ์แบบท่อ เตาให้ความร้อนแบบแนวตั้ง และเครื่องผลิตไอน้ำ

ขนาดของเตาปฏิกรณ์แบบท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ยาว 360 มิลลิเมตร ด้านล่าง ต่อเข้ากับตัวดักแก๊สขาออกดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะของชุดกระตุ่นด้านกัมมันต์

บทที่ 4

ผลและอภิปรายผลงานวิจัย

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อ ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ ผงถ่านหินแอนทราไซต์ ผสมตัวประสานกากน้ำตาล เตรียมเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อเพิ่มมูลค่าและก่อให้เกิดประโยชน์ในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม และเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ คือ อุณหภูมิ เวลา ปริมาณร้อยละของกากน้ำตาล ที่มีผลต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกระบวนการกระตุ้น ทางกายภาพด้วยไอน้ำ

จากการดำเนินการทดลองในบทที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทดลอง ได้นำเสนอในรูปแบบของตาราง และกราฟดังต่อไปนี้

4.1 สมบัติของวัตถุดิบ

4.1.1 สมบัติเบื้องต้นของผงถ่านแอนทราไซต์ จากบริษัทไทยแลนด์แอนทราไซต์

วิเคราะห์ผงถ่านแอนทราไซต์ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณได้ค่าดังตารางที่ 4.1

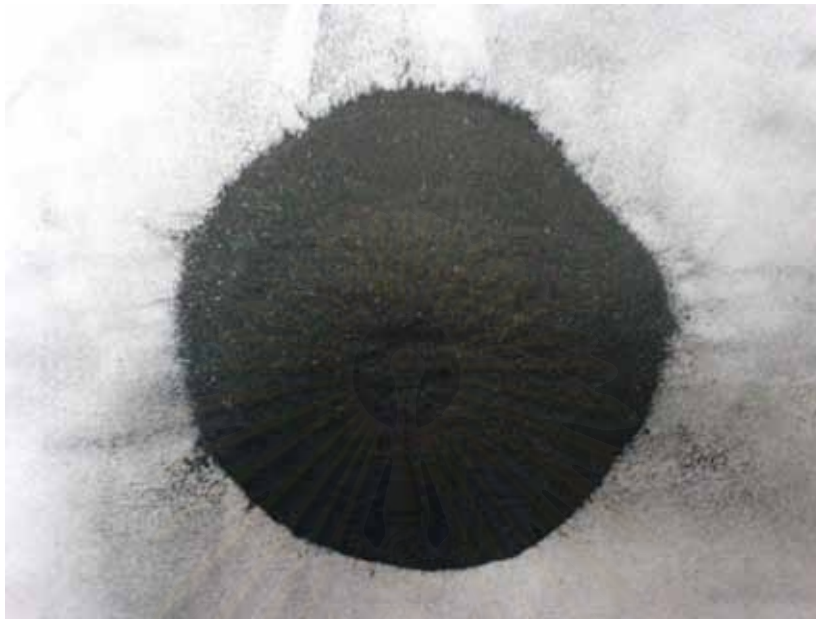
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของผงถ่านแอนทราไซต์ จากบริษัทไทยแลนด์แอนทราไซต์

สมบัติ	ร้อยละขององค์ประกอบ โดยน้ำหนัก
ความชื้น (Moisture)	3.84
สารระเหย (Volatile)	2.72
เถ้า (Ash)	10.98
คาร์บอนคงตัว (Fix Carbon)	82.46

จากสมบัติเบื้องต้นของผงถ่านแอนทราไซต์ พบว่าค่าคาร์บอนคงตัวในปริมาณที่มากถึงร้อยละ 82.46 และมีเถ้าในปริมาณที่น้อยในปริมาณร้อยละ 10.98 ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของถ่านแอนทราไซต์ที่เป็นถ่านที่มีคุณภาพดีที่สุด และจากปริมาณของคาร์บอนคงตัวที่สูงมากนี้จะทำให้ความแข็งของถ่านมีค่าที่สูงมาก ก่อนนำไปอัดขึ้นรูปต้องทำการร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมโครเมตร เพื่อคัดขนาดผงถ่านให้มีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุด

4.1.2 ลักษณะของผงถ่านแอนทราไซต์ และถ่านกัมมันต์

ผงถ่านแอนทราไซต์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นผงละเอียด มีสีดำสนิท (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 ลักษณะของผงถ่านแอนทราไซต์ก่อนการขึ้นรูป

นำผงถ่านแอนทราไซต์ที่ได้จากการคัดขนาดข้างต้น ไปทำการอัดขึ้นรูปที่ความดัน 312 กิโลพาสคาล ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก เพื่อทำการขึ้นรูปผงถ่านเป็นแท่งทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.2 ก) เมื่อทำการขึ้นรูปแล้วนำเข้ากระบวนการกระตุ้นทางกายภาพจะได้ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง โดยถ่านที่ได้จะมีความความแข็งสูงขึ้นจากก่อนการกระตุ้น และจะมีสีดำด้าน (รูปที่ 4.2 ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 ลักษณะของผงถ่านแอนทราไซต์อัดแท่งก่อนทำการกระตุ้น (ก) และลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นแล้ว (ข)

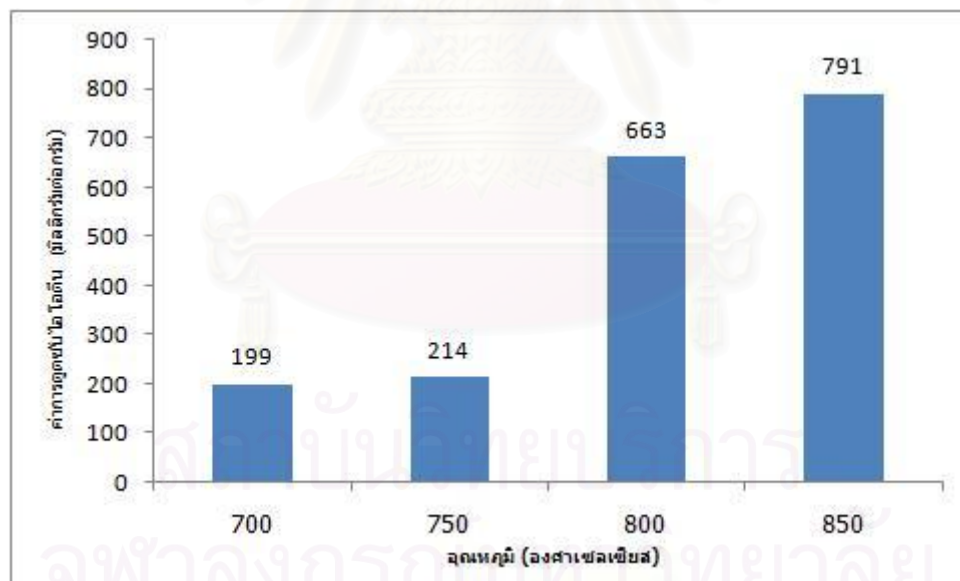
4.2 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการกระตุ้นถ่านอัดแท่งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 700, 750, 800, 850 และ 900 องศาเซลเซียส เพื่อหาภาวะของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกระตุ้น ผลแสดงดังตารางที่ 4.2

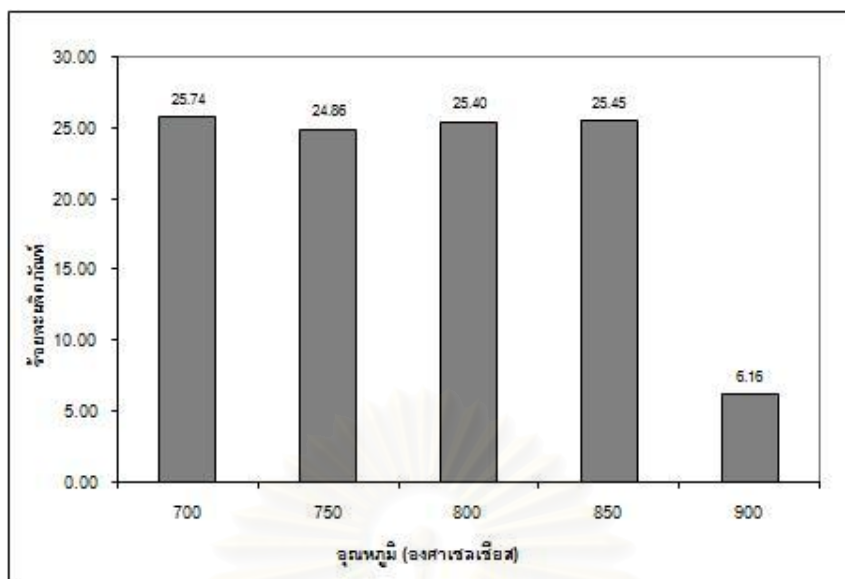
ตารางที่ 4.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิต่างๆ

ในอัตราส่วนกาน้ำตาลร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก อัตราการไหลของไอน้ำที่ 10 มิลลิลิตรต่อนาที และการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ร้อยละผลิตภัณฑ์
700	199	25.74
750	214	24.86
800	663	25.40
850	791	25.45
900	-	6.16



รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นต่อค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วนกาน้ำตาลร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นต่อร้อยละคงเหลือของถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน ถ่านน้ำตาลร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการกระตุ้นต่อค่าการดูดซับ ไอโอดีน และร้อยละผลิตภัณฑ์ พบว่าถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแห้งที่เตรียมจากผงถ่านแอนทราไซต์ ผสมตัวประสานถ่านน้ำตาลร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ทำการกระตุ้นโดยใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำกว่า 800 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซับของไอโอดีนที่ได้มีค่า 199-214 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่าที่ต่ำมาก เนื่องจากภาวะที่ใช้ในการกระตุ้นมีค่าต่ำเกินไป ทั้งยังไม่สามารถทำให้ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแห้งเกิดเป็นรูพรุนที่บริเวณผิวภายนอกได้ ส่งผลให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าที่ต่ำ แต่หากทำการกระตุ้นในช่วงอุณหภูมิ 800 ถึง 850 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มสูงขึ้นจาก 663 เป็น 791 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สาเหตุมาจากภาวะที่ใช้ในการกระตุ้นเพียงพอที่จะทำให้ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแห้งเกิดเป็นรูพรุนที่พื้นผิวมากขึ้น โพร่งที่ได้ เกิดจากการระเหย หรือหลุดออกไปของสารระเหย (Volatile Matter) ภายในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ พื้นที่ที่เหลือจากการระเหยของสารระเหยจึงทิ้งช่องว่างที่แทรกตัวอยู่ในตอนแรกก่อเกิดเป็นโพรงขึ้น และเมื่อทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสพบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแห้งที่ได้ ไม่สามารถคงรูปร่างทรงกระบอกที่ต้องการได้ เนื่องจากเกิดการสลายตัวที่สูงมากถึงร้อยละ 93.84 จึงไม่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแห้งเพื่อนำไปใช้

จากการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ในงานวิจัยนี้ อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 850 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ J. Ganon และคณะ^[29] ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยถึงผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีผลต่อการดูดซับของ ถ่านหินบิทูมินัส โดยพบว่าในช่วงการกระตุ้น 800 – 850 องศาเซลเซียส จะให้ค่าการดูดซับที่ดีที่สุด และจากผลการทดลองดังกล่าวก็จะนำไปเป็นตัวแปรอ้างอิงในการศึกษาตัวแปรอื่นๆที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ต่อไป

4.3 เวลาที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์

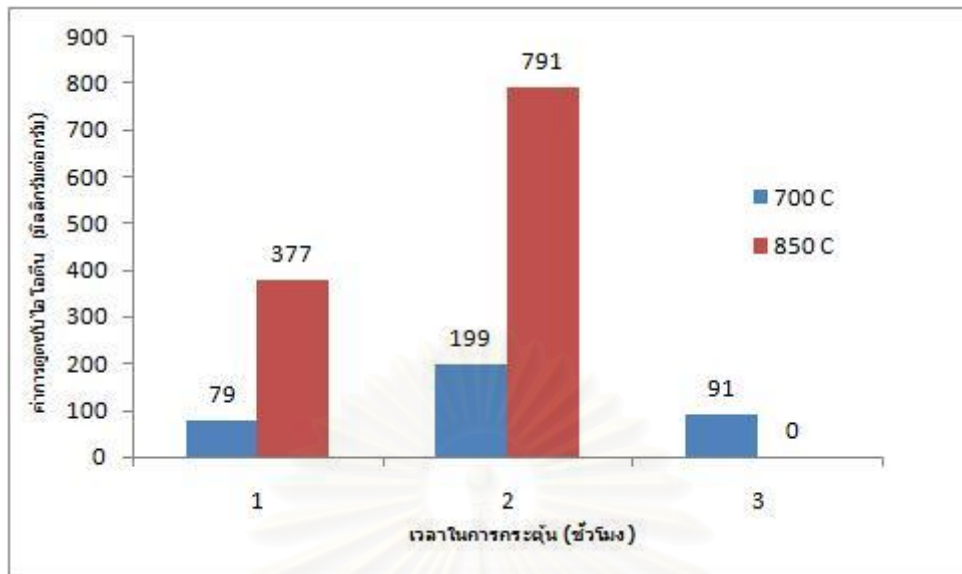
เวลาในการกระตุ้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้ถ่านกัมมันต์เกิดรูพรุน หรือโพรงบริเวณผิววนอกในจำนวนที่มากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มเวลาในการกระตุ้นที่มากขึ้นถ่านกัมมันต์ก็จะเกิดการสัมผัสกับอุณหภูมิ หรือความร้อนในปฏิกิริยาได้ทั่วถึง สารระเหยที่อยู่ในเนื้อของถ่านกัมมันต์ก็สามารถหลุดออกได้มาก จึงเกิดเป็นรูพรุนหรือโพรงในปริมาณที่มากขึ้น การวิจัยในหัวข้อนี้จึงทำการ กระตุ้นถ่านกัมมันต์ในช่วงเวลาดังแต่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง และใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 700 และ 850 องศาเซลเซียสได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่ได้จากการกระตุ้นที่เวลาต่างๆ ในอัตราส่วน

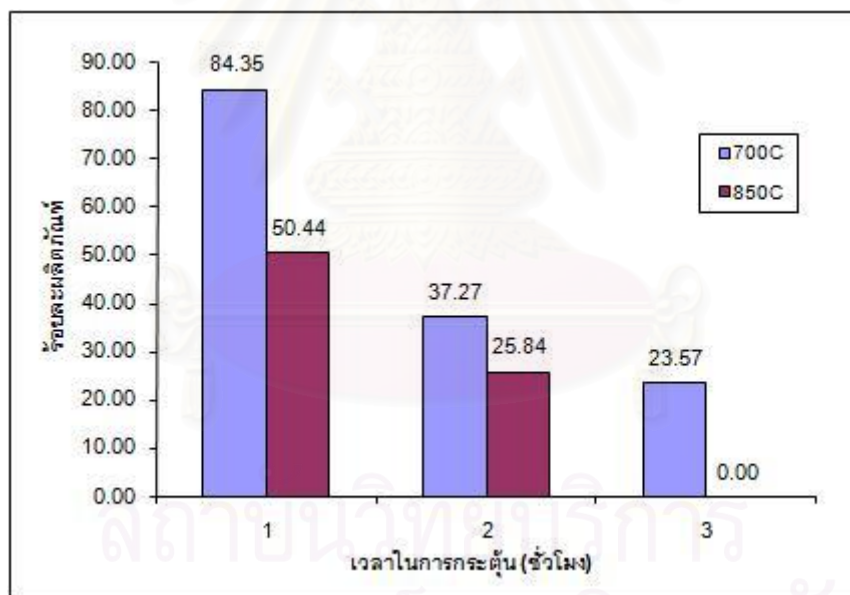
กากน้ำตาลร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนการไหลของไอน้ำที่ 10 มิลลิลิตรต่อนาที และการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 700 และ 850 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ร้อยละผลิตภัณฑ์ (%)
-	0	142	-
700	1	79	84.35
	2	199	37.27
	3	91	23.57
850	1	377	50.44
	2	791	25.84
	3	-	0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 ผลของเวลาในการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 850 องศาเซลเซียสต่อค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วนกากน้ำตาลร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.6 ผลของเวลาในการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 850 องศาเซลเซียสต่อค่าร้อยละคงเหลือของถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วนกากน้ำตาลร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการกระตุ้นต่อค่าการดูดซับไอโอดีน และร้อยละผลตกค้างที่เหลือพบว่าถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่เตรียมจากผงถ่านแอนทราไซต์ผสมตัวประสานกากน้ำตาลร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ทำการกระตุ้นโดยใช้อุณหภูมิในการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมงจะให้ค่าการดูดซับไอโอดีนที่น้อยกว่าการกระตุ้น

ด้วยอุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากถึงแม้ว่าเวลาในการกระตุ้นที่มากขึ้น แต่หากอุณหภูมิยังไม่ถึงจุดที่เหมาะสมให้สารระเหยสามารถหลุดออกไป ค่ารูพรุนที่ได้ก็มีค่าไม่สูงขึ้นมากนัก

เมื่อทำการเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสพบว่า ที่เวลาในการกระตุ้น 2 ชั่วโมงจะได้ค่าการดูดซับไอโอดีน 199 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงที่สุด เนื่องมาจากที่เวลา 2 ชั่วโมงนั้นจะเป็นช่วงที่สารระเหยหลุดออกไปจากโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งได้มาก หรือ ทั้งหมด สังเกตจากเมื่อเราทำการกระตุ้นที่เวลา 3 ชั่วโมงค่าการดูดซับไอโอดีนที่ได้จะมีค่าลดต่ำลงจาก 2 ชั่วโมง สาเหตุมาจากในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งเกิดการสะสมความร้อนในรูพรุนมากขึ้น เมื่อเวลาในการกระตุ้นที่นานจะส่งผลให้รูพรุนนั้นเกิดการเสื่อมสลายลงได้ ทำให้โพรงที่ได้มีขนาดที่ใหญ่มากขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ได้จึงมีขนาดที่ลดลง

การกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจะให้ค่าการดูดซับที่ 791 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็นค่าที่สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ 850 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการกระตุ้น และ อาจเป็นไปได้ที่สารระเหยจะหลุดออกจากโครงสร้างที่เวลา 2 ชั่วโมงได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามเมื่อทำการกระตุ้นที่เวลา 3 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์อัดแท่งจะเกิดการเสื่อมสลายเป็นเข้าไปจนหมด ดังนั้นจึงไม่ควรกระตุ้นที่ช่วงเวลามากกว่า 2 ชั่วโมงขึ้นไป

4.4 ร้อยละของตัวประสานกาน้ำตาลที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง

กาน้ำตาลนอกจากจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้ผงถ่านสามารถขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกได้แล้ว ยังสามารถเป็นตัวกำหนดสารระเหย หรือพื้นที่ผิวในการดูดซับได้ ในการศึกษาร้อยละตัวประสานได้ใช้ภาวะในการกระตุ้นที่ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อนไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งพบว่าเป็นภาวะที่ดีที่สุดที่จะทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุด มาทำการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งโดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณร้อยละกาน้ำตาล และทำการวิเคราะห์ค่าการดูดซับ เช่น ค่าพื้นที่ผิวการดูดซับ (BET), ค่าการดูดซับไอโอดีน (IA), ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (MB) รวมทั้งวิเคราะห์ความแข็งแรงเชิงกลของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่ผลิตขึ้นได้ด้วยวิธี หาค่าความ เค้นต่อการกดทับ
(Compression) และ ความแข็งของถ่านกัมมันต์ (Shore Durometer)

4.4.1 สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณร้อยละกาน้ำตาลค่าต่างๆ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของถ่านอัดแท่งก่อนการกระตุ้นในปริมาณร้อยละกาน้ำตาลต่างๆ

ร้อยละกาน้ำตาล (%)	ความชื้น	สารระเหย	เถ้า	คาร์บอนคงตัว
0	3.84	2.72	10.98	82.46
5	3.55	6.35	10.56	79.54
10	2.59	9.20	10.32	77.89
15	3.51	13.11	10.36	73.02
20	3.48	13.19	10.84	72.49

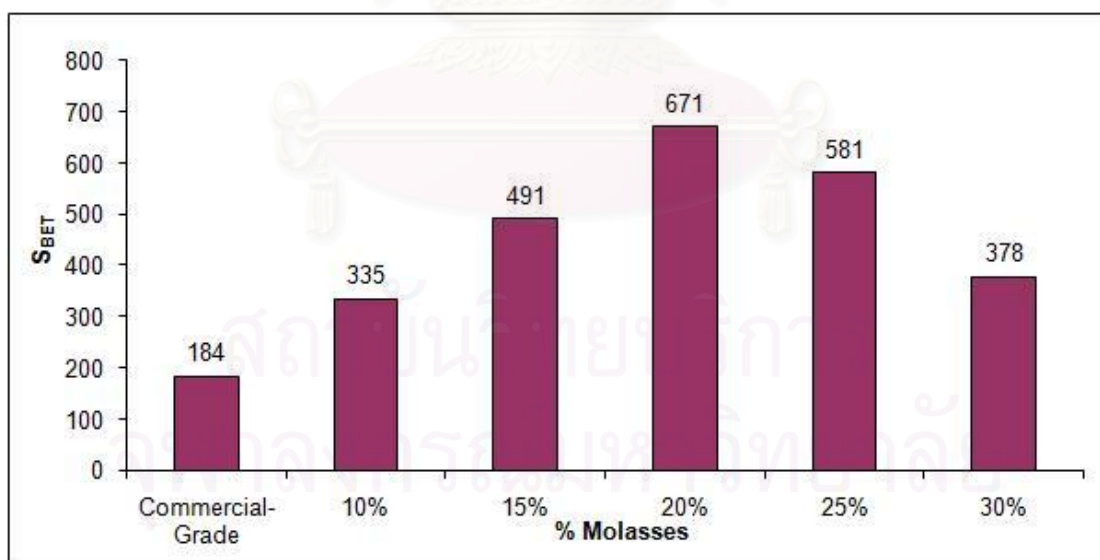
จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกาน้ำตาลตั้งแต่ร้อยละ 0-15 โดยน้ำหนัก ค่าของสารระเหยในองค์ประกอบของถ่านอัดแท่งจะเพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 2.72 – 13.11 ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณกาน้ำตาลเป็นร้อยละ 20 ปริมาณของสารระเหยที่เพิ่มขึ้นจะเริ่มคงตัวเล็กน้อย ในทางกลับกัน ค่าคาร์บอนคงตัวก็จะลดลงจากร้อยละ 82.46 เป็น 72.49 โดยน้ำหนัก เนื่องจากกาน้ำตาลจะเข้าไปแทนที่คาร์บอนในถ่านแอนทราไซต์ส่งผลให้คาร์บอนมีค่าลดลง สรุปได้ว่าการเติมตัวประสานกาน้ำตาลในช่วงร้อยละ 15-20 เป็นปริมาณที่เพียงพอในการผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งเพื่อทำงานวิจัยขั้นตอนอื่นต่อไป

4.4.2 ค่าพื้นที่ผิวการดูดซับ (BET)

ผลของการเติมตัวประสานกากน้ำตาลที่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 30 ต่อค่าพื้นที่ผิวการดูดซับ ผลแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลต่อค่าพื้นที่ผิวการดูดซับ (BET) โดยทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อนไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่อนาที

ร้อยละกากน้ำตาล (%)	พื้นที่ผิวการดูดซับ (ตารางเมตรต่อกรัม)	ปริมาณของรูพรุน (ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อกรัม)	ขนาดของรูพรุน (อังสตรอม)
Commercial Grade	184	0.09	19.97
10	335	0.17	20.12
15	491	0.24	19.78
20	671	0.33	19.63
25	581	0.28	19.52
30	379	0.19	19.75

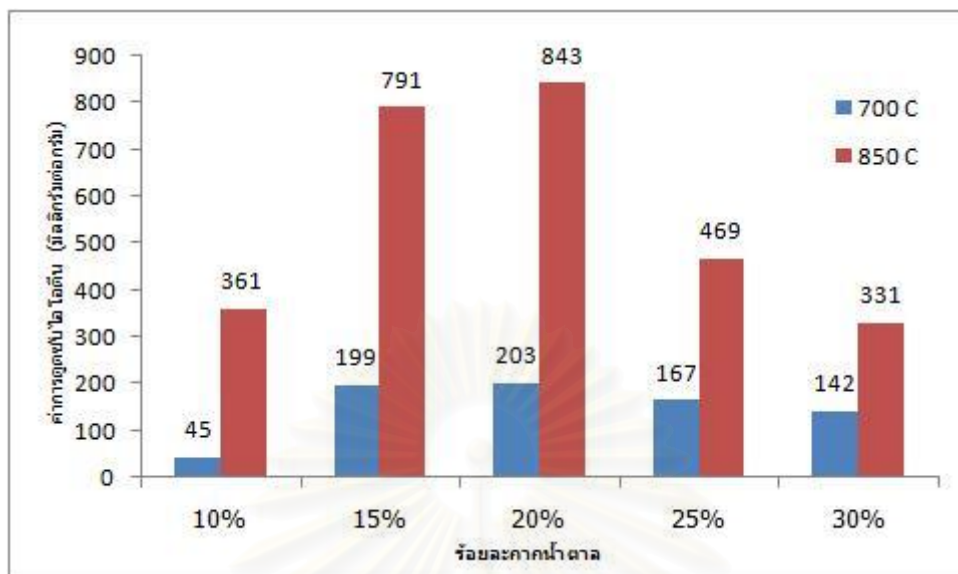


รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลต่อค่าพื้นที่ผิวการดูดซับ (BET) โดยทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อนไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพื้นที่ผิวการดูดซับของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่เตรียมได้ กับปริมาณของตัวประสานกากน้ำตาล พบว่าค่าพื้นที่ผิวในการดูดซับ จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 335 ตารางเมตรต่อกรัม ของปริมาณกากน้ำตาลร้อยละ 10 และเพิ่มมากถึง 671 ตารางเมตรต่อกรัม ที่ปริมาณกากน้ำตาลร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และเมื่อเพิ่มปริมาณกากน้ำตาลขึ้น ตั้งแต่ร้อยละ 25-30 พบว่าค่าพื้นที่ผิวการดูดซับกลับมีค่าน้อยลงจาก 671 ตารางเมตรต่อกรัม เป็น 581 และ 378 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ เนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณของกากน้ำตาลจะเป็นการเพิ่มจำนวนสารระเหยภายในโครงสร้างให้มากขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการกระตุ้น หรือพื้นที่ผิวในการดูดซับ แต่ เมื่อเพิ่มจนเกินปริมาณที่เพียงพอสารระเหยที่เพิ่มจะทำให้เกิดรูพรุนที่มากแต่อาจไม่เสถียร เพราะโครงสร้างที่เกิดจากสารระเหยของกากน้ำตาลจะไม่แข็งแรงจึงทำให้พื้นที่ลดลง ส่งผลให้พื้นที่ที่ใช้ในการดูดซับลดลง

สรุปได้ว่าปริมาณตัวประสานกากน้ำตาลที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับคือร้อยละ 20 ซึ่งจะให้ค่าพื้นที่ผิวดูดซับดีที่สุดคือ 671 ตารางเมตรต่อกรัม

4.4.3 ค่าการดูดซับไอโอดีน (IA)



รูปที่ 4.8 ผลของปริมาณร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลต่อค่าการดูดซับไอโอดีน (IA) โดยทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อนไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่เตรียมได้กับปริมาณของตัวประสานกากน้ำตาล พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกากน้ำตาลในถ่านแอนทราไซต์ ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง ที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มไปถึงช่วงร้อยละ 15 - 20 ของทั้งสองภาวะคือ 700 และ 850 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากคือ 199-203 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 791-843 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เนื่องจากการอิมตัวขององค์ประกอบภายในโครงสร้าง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของค่าการดูดซับพื้นที่ผิว ที่แสดงให้เห็นว่าที่กากน้ำตาลร้อยละ 20 ให้พื้นที่ผิวการดูดซับที่ดีที่สุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของกากน้ำตาลมากขึ้นค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าลดลงดังแสดงในช่วงของร้อยละ 25-30 ค่าการดูดซับไอโอดีนลดลงอย่างมากคืออยู่ในช่วง 469 - 331 มิลลิกรัมต่อกรัม เนื่องมาจากรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เกิดขึ้นที่ปริมาณกากน้ำตาลมากกว่าร้อยละ 20 จะเป็นโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง เมื่อถูกความร้อนขณะกระตุ้น โครงสร้างเหล่านั้นจึงเกิดการสลายตัว พื้นที่ในการดูดซับไอโอดีนจึงลดลง

ดังนั้นร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ให้มีการดูดซับไอโอดีนที่ดีที่สุดคือที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าการดูดซับไอโอดีน หรือ รูพรุนในระดับไมโครที่มากที่สุดที่ 843 มิลลิกรัมต่อกรัม

4.4.4 ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (MB)

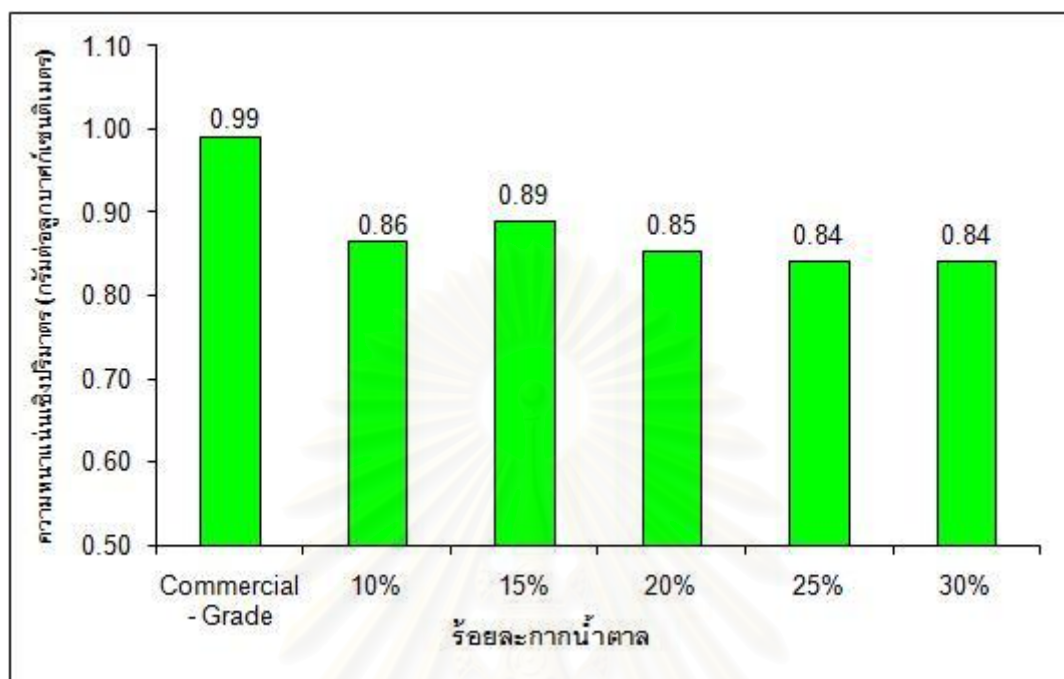


รูปที่ 4.9 ผลของปริมาณร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลต่อค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (MB) โดยทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อนไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่เตรียมได้กับปริมาณของตัวประสานกากน้ำตาล พบว่าที่ปริมาณกากน้ำตาลที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักจะให้ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ที่ 299.32 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าที่ปริมาณกากน้ำตาลมากกว่าร้อยละ 20 ที่ดูดซับเมทิลีนบลูที่ 297.85 มิลลิกรัมต่อกรัม เนื่องมาจาก การวัดด้วยการดูดซับเมทิลีนบลูเป็นการวัดรูพรุน หรือ โพร่งที่มีขนาดกลาง ซึ่งมีขนาดรูพรุนที่ใหญ่กว่าการวัดด้วยวิธีการดูดซับด้วยไอโอดีน ซึ่งเป็นการวัดรูพรุนในขนาด ไมโคร สรุปได้ว่า ที่กากน้ำตาลร้อยละ 15 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ ให้ค่าของรูพรุนขนาดกลางที่มากกว่าของที่ปริมาณกากน้ำตาลร้อยละ 20

เมื่อเพิ่มปริมาณของกากน้ำตาลให้สูงขึ้นที่ร้อยละ 25 และ 30 ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูที่ได้มีค่าลดลงเป็น 296.40 และ 295.81 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สรุปได้ว่าที่ปริมาณกากน้ำตาลร้อยละ 15 และ 20 เพียงพอในการผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งให้มีความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูที่ดีที่สุด

4.4.5 ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร (Bulk Density) ที่ปริมาณร้อยละต่างๆของตัวประสาน กากน้ำตาล



รูปที่ 4.10 ผลของปริมาณร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของ ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง โดยทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อนไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.10 พบว่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรที่กากน้ำตาลร้อยละ 15 จะให้ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรที่มากที่สุดคือ 0.89 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อพิจารณาถึงปริมาณส่วนผสมกากน้ำตาลที่ร้อยละ 10 พบว่าโครงสร้างมีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรต่ำลงที่ 0.86 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจาก โครงสร้างอาจเกิดการจับตัวที่ไม่ดีพอ หรือตัวประสานยังไม่เพียงพอในโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างหลัก หรือคาร์บอนจับตัวกันไม่แน่นหนาพอ ความหนาแน่นที่ได้จึงมีค่าต่ำกว่าของปริมาณกากน้ำตาลที่ร้อยละ 15 จากโครงสร้างที่ร้อยละ 15 นั้นพบว่าจะมีความเสถียรหรือความอึดตัวของโครงสร้างที่สูง กล่าวคือตัวประสานกากน้ำตาลนั้นจะกระจายไปทั่วทั้งโครงสร้าง และยึดจับกับโครงสร้างหลักที่เป็นคาร์บอนอย่างทั่วถึงทำให้ค่าความหนาแน่นสูง แต่หากทำการเพิ่มปริมาณของกากน้ำตาลเข้าไปก็จะเป็นเหมือนการเพิ่มค่าสารระเหย เข้าไปแทนที่คาร์บอนในโครงสร้าง ส่งผลให้ความหนาแน่นเชิงปริมาตรที่ส่วนผสมกากน้ำตาล มากกว่าร้อยละ 20 มีค่าลดลงที่ 0.85 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเริ่มคงที่ที่ 0.84 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากโครงสร้างของถ่านอัดแท่งก่อนการกระตุ้นเริ่มเกิดการอึดตัว ทางโครงสร้าง ส่งผลให้กากน้ำตาลไม่

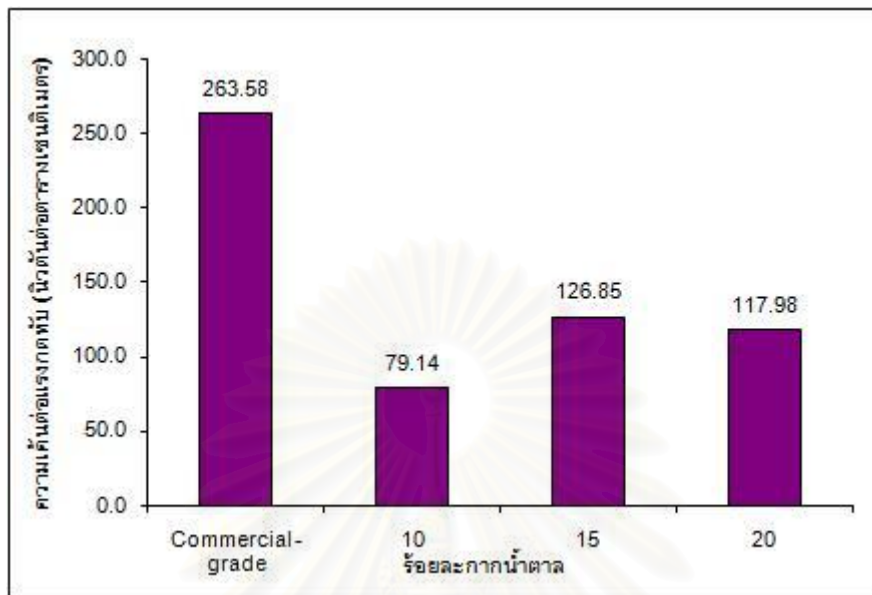
สามารถเข้าไปแทนที่เนื้อคาร์บอนเพิ่มขึ้นได้ ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรจึงเริ่มคงที่ที่ปริมาณ
กากน้ำตาลร้อยละ 25 และ 30

เมื่อเทียบถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่ผลิตได้กับทางการค้าพบว่า มีค่าสูงกว่า เนื่องจากการใช้
ตัวประสานแตกต่างกัน ซึ่งถ่านกัมมันต์ของทางการค้าใช้น้ำมันทาร์ที่มีความหนาแน่นเชิงปริมาตร
ที่สูงกว่ากากน้ำตาลเป็นตัวประสาน ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของเกรดการค้าสูงกว่าที่
ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.6 ค่าความเค้นของการกดทับ (Compressive strength) ที่ปริมาณร้อยละต่างๆของตัวประสานกากน้ำตาล



รูปที่ 4.11 ผลของปริมาณร้อยละของตัวประสานกากน้ำตาลต่อค่าความเค้นของการกดทับ (นิวัตน์ต่อตารางเซนติเมตร) ของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง โดยทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อนไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่อนาที

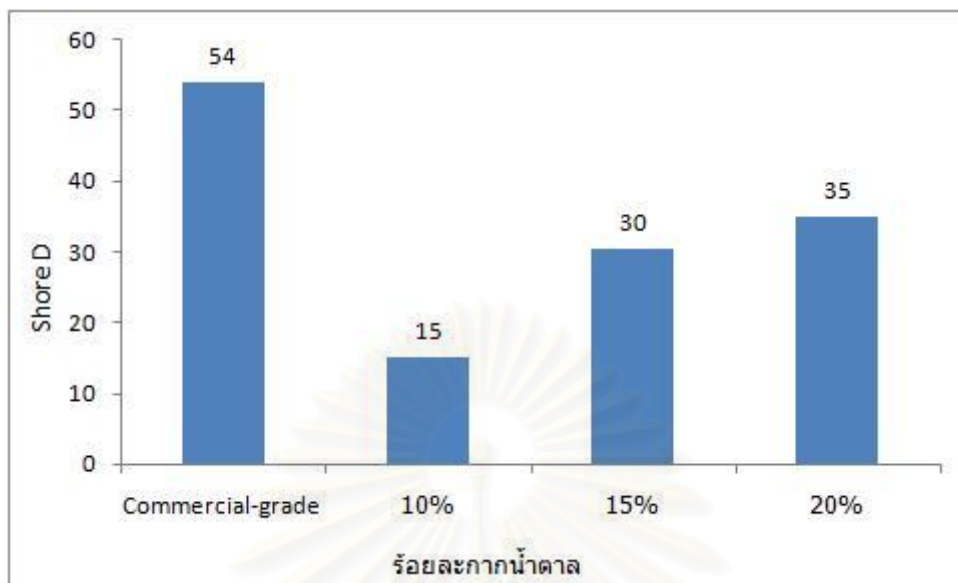
จากรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นของการกดทับ ของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่เตรียมได้กับปริมาณของตัวประสานกากน้ำตาล พบว่าที่ปริมาณกากน้ำตาลที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักจะให้ค่าความเค้นของการกดทับสูงที่สุดที่ 126.85 นิวัตน์ต่อตารางเซนติเมตร โดยจากค่าความเค้นของการกดทับ ที่ได้จะสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร สรุปได้ว่าที่ปริมาณกากน้ำตาลร้อยละ 15 จะมีการกระจายตัวของกากน้ำตาลในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ ได้ดีทำให้โครงสร้างมีความเสถียรสูง ค่าความเค้นของการกดทับต่อพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่วัดได้ จึงมีความสามารถในการทนแรงกดทับมากที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณกากน้ำตาลให้มากขึ้นค่าความเค้นของการกดทับที่ได้กลับมีค่าลดลงสาเหตุมาจากการเพิ่มปริมาณของกากน้ำตาลเข้าไป เปรียบเสมือนการเพิ่ม ปริมาณของสารระเหยเข้าไปแทนที่คาร์บอนในโครงสร้าง ทำให้พันธะคาร์บอนที่เชื่อมโยงกันมีค่าลดลง หรือสารระเหยที่เข้าไปแทนที่ในโครงสร้างทำให้เกิดรูพรุนขึ้นภายในเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ความแข็งแรงเชิงกลลดลงตามไปด้วย สรุปได้ว่าความแข็งแรงเชิงกลที่สูงที่สุดของถ่านกัมมันต์จะอยู่ในช่วงปริมาณตัวประสานกากน้ำตาลที่ร้อยละ 15-20 โดยค่าความเค้นของการกดทับคือ 117.98-126.85 นิวัตน์ต่อตารางเซนติเมตร

แต่เมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าชนิดหนึ่งพบว่าค่าความแข็งแรงหรือค่าความเค้นของการกดทับยังไม่สูงเพียงพอ สาเหตุมาจากตัวประสานที่ใช้คนละชนิดกัน ซึ่งในทางการค้าได้ใช้ตัวประสานที่เป็นน้ำมันทาร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่ากากน้ำตาล ส่งผลให้ค่าความเค้นของการกดทับของถ่านกัมมันต์อัดแท่งที่ได้ในเชิงการค้ามีค่าที่สูงกว่าตัวประสานกากน้ำตาล และการบีบอัดในกระบวนการขึ้นรูปทางการค้ามีค่าสูงกว่าที่ใช้ในการวิจัยมาก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

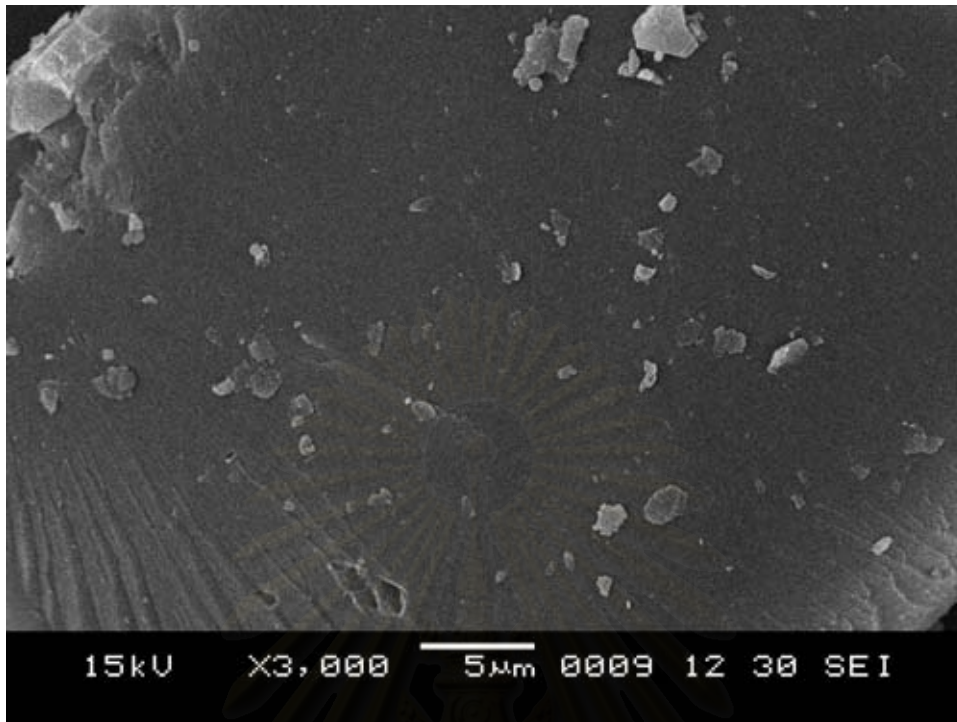
4.4.7 ค่าการทนต่อแรงขูดขีด (Hardness) ที่ปริมาณร้อยละต่างๆของตัวประสานกาน้ำตาล



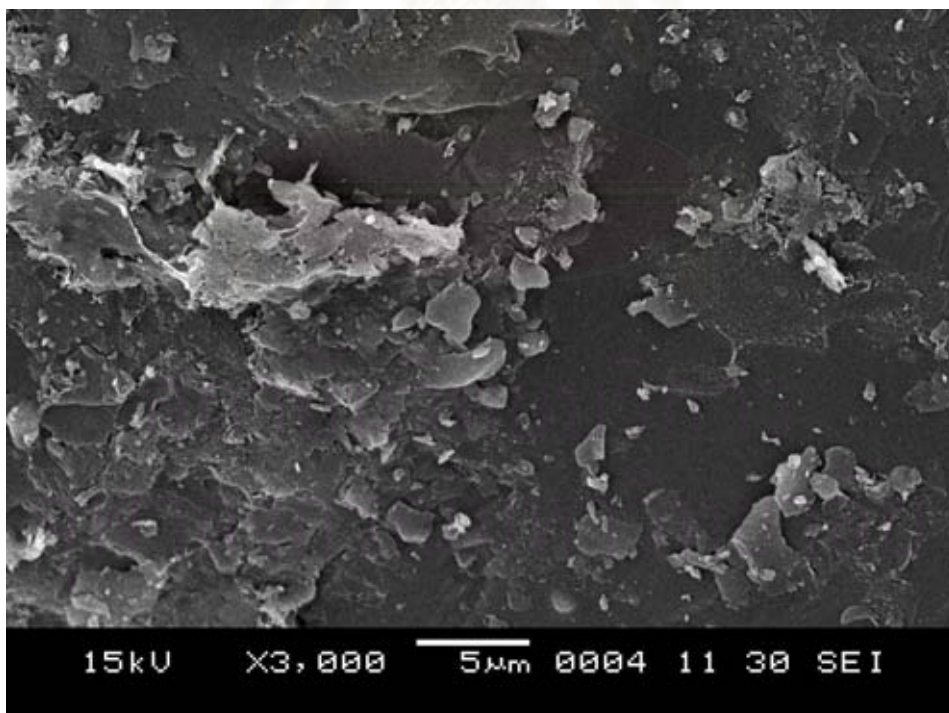
รูปที่ 4.12 ผลของปริมาณร้อยละของตัวประสานกาน้ำตาลต่อค่าการทนต่อแรงขูดขีดของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง โดยทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อนไอน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศ 500 มิลลิลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนแรงขูดขีดของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่เตรียมได้กับปริมาณของตัวประสานกาน้ำตาล พบว่าที่ปริมาณกาน้ำตาลที่ร้อยละ 20 จะให้ค่าการทนแรงขูดขีดที่ทดสอบได้จากเครื่อง Durometer แบบ Shore D ที่สูงที่สุดคือ 35 เนื่องจากปริมาณกาน้ำตาลร้อยละ 20 มีจำนวนตัวประสานในปริมาณที่มากที่สุดจึงส่งผลให้การยึดเกาะที่บริเวณพื้นผิวที่มากที่สุดตามไปด้วย ค่าการทนต่อแรงขูดขีดจึงสูงขึ้น ส่วนที่ร้อยละ 15 ซึ่งมีค่าการทนแรงกดทับได้สูงที่สุดคือ 126.85 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร กลับได้ค่าการทนแรงขูดขีดต่ำคือ 30 เนื่องจากโครงสร้างบริเวณผิวมีตัวประสานที่ช่วยให้เกิดการยึดเกาะตัวน้อยกว่าที่ร้อยละ 20 จึงส่งผลให้การจับตัวที่บริเวณผิวนอกน้อยกว่า ทำให้มีโอกาสหลุดออกเมื่อมีแรงกระทำได้ง่าย ดังนั้นค่าการทนต่อแรงขูดขีดได้จึงมีค่าน้อยกว่า

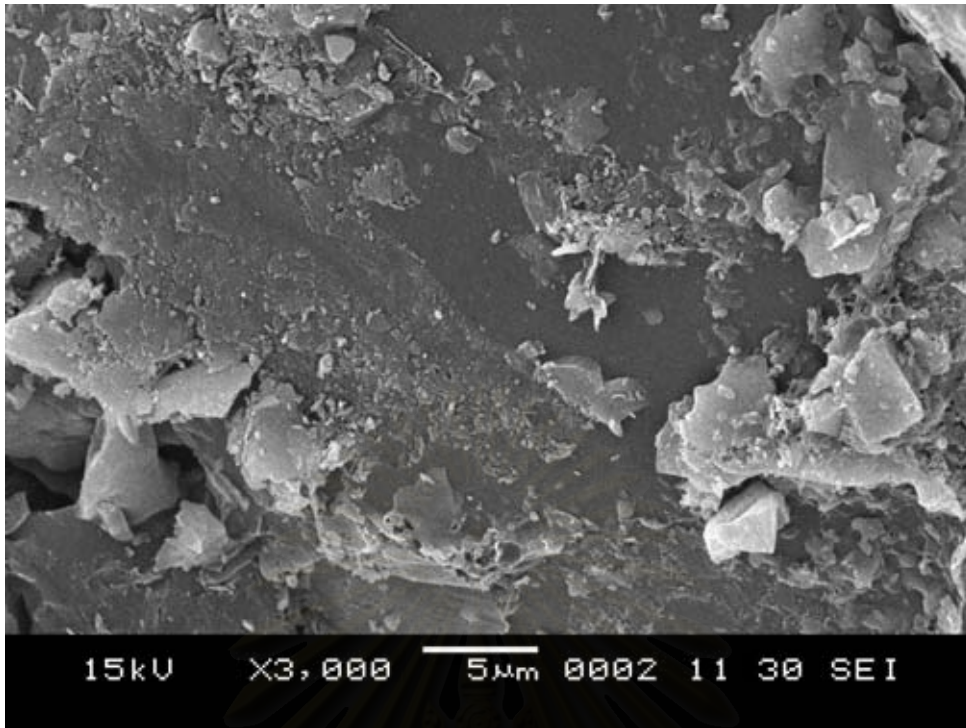
4.5 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



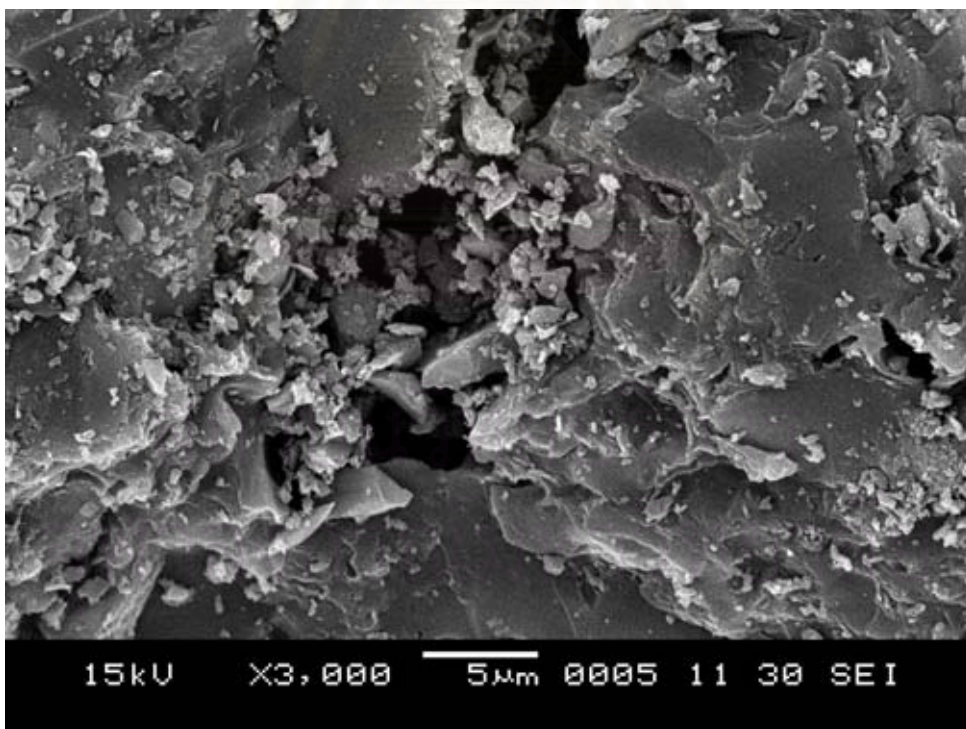
รูปที่ 4.13 รูปถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของผงถ่านแอนทราไซต์



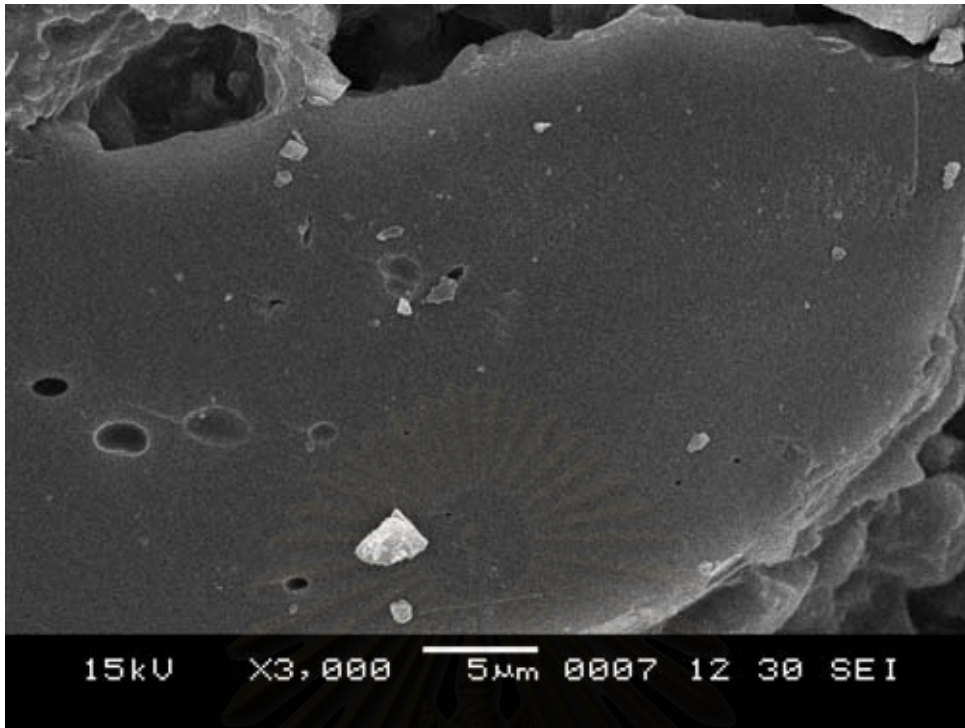
รูปที่ 4.14 รูปถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาล ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักเป็นตัวประสาน



รูปที่ 4.15 รูปถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตา
ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเป็นตัวประสาน



รูปที่ 4.16 รูปถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของถ่านกัมมันต์เกรดการค้า
(บริเวณขอบนอกของถ่านกัมมันต์)



รูปที่ 4.17 รูปถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของถ่านกัมมันต์เกรดการค้า (บริเวณใจกลางของถ่านกัมมันต์)

รูปที่ 4.13 แสดงถึงลักษณะทางพื้นผิวของผงถ่านแอนทราไซต์ก่อนการขึ้นรูป โดย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 3,000 เท่า พบว่าพื้นผิวโดยทั่วไปจะมีความเรียบเนียน และยังไม่เกิดรูพรุนที่บริเวณพื้นผิวของผงถ่าน แต่ เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่ถากน้ำตาลร้อยละ 15 และ 20 กำลังขยาย 3,000 เท่า ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 พบว่าโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่ถากน้ำตาลร้อยละ 15 จะมีรูพรุนขนาดใหญ่กระจายตัวในโครงสร้างมากกว่า ซึ่งรูพรุนชนิดนี้จะทำให้การดูดซับสารพิษต่างๆ เช่น การดูดซับไอโอดีน และ เมทิลีนบลู ที่ได้ทดสอบไว้ในการทดลองข้างต้น ได้ไม่ดีเท่ากับรูพรุนในระดับไมโครหรือรูพรุนขนาดเล็ก โดยที่ถากน้ำตาลร้อยละ 20 มีการกระจายของรูพรุนที่มีขนาดเล็กในปริมาณที่มากกว่า โดยรูพรุนขนาดเล็กมีส่วนช่วยในการดูดซับสารพิษที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก หรือไอแก๊สพิษได้ดี ส่งผลให้การดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ร้อยละ 20 สูงกว่า

รูปที่ 4.16 เป็นภาพถ่ายโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ในเชิงการค้า กำลังขยายที่ 3,000 เท่า พบว่าโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในเชิงการค้ามีรูพรุน ขนาดใหญ่กระจายตัวอยู่เป็นจำนวนมากในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ ส่งผลให้การดูดซับ ไอโอดีน หรือ เมทิลีนบลู ในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์เกรดการค้ามีการดูดซับที่ไม่ดีพอ และเมื่อศึกษาถึงบริเวณใจกลางของถ่านกัมมันต์เกรดการค้าในรูปที่ 4.17 พบว่าความร้อนที่ได้กระจายตัวไม่ถึงบริเวณใจกลาง ส่งผลให้รูพรุนเกิดได้ไม่ดีพอ รูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เกิดขึ้นจึงมีปริมาณน้อย ค่าการดูดซับที่ได้จึงลดลงตามไปด้วย

4.6 การเปรียบเทียบสมบัติของถ่านกัมมันต์กับงานวิจัยอื่นๆ

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้ กับงานวิจัยอื่นๆ

ข้อมูลเปรียบเทียบ	กษิต แหลมทองมงคล (งานวิจัยนี้)	ธวัชชัย ตันเจริญทรัพย์ ^[3] (2001)	E. Stanley Hall และคณะ ^[9] (1995)
วัตถุดิบ	ผงถ่านแอนทราไซต์	ถ่านหินลิกไนต์	ซับบิทูมินัส
ชนิดเครื่องปฏิกรณ์	เบดนิ่ง	เบดนิ่ง	เบดนิ่ง
อุณหภูมิที่ใช้กระตุ้น (องศาเซลเซียส)	850	850	650
เวลาที่ใช้กระตุ้น (ชั่วโมง)	2	4	3
แก๊สที่ใช้กระตุ้น	H ₂ O+Air	H ₂ O+CO ₂	H ₂ O+N ₂
ปริมาณร้อยละ ผลิตภัณฑ์ (%)	25.84	60.42	28
พื้นที่ผิวดูดซับ (ตาราง เมตรต่อกรัม)	671	151	-
เลขไอโอดีน (มิลลิกรัม ต่อกรัม)	843	41	730

จากการเปรียบเทียบผลงานวิจัยของสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยการกระตุ้นทางกายภาพ ดังตารางที่ 4.6 พบว่าในงานวิจัยของ กษิต (2008) ที่ใช้ผงถ่านแอนทราไซต์ในการกระตุ้นทางกายภาพได้ให้ค่าการดูดซับที่ดีที่สุดทั้งทางด้านพื้นที่ผิวดูดซับ และค่าการดูดซับไอโอดีน สาเหตุมาจากถ่านแอนทราไซต์นั้นมีค่าคาร์บอนคงตัวที่สูงกว่าซับบิทูมินัส และลิกไนต์มาก และปริมาณเถ้าของแอนทราไซต์ยังมีน้อยกว่าอีกทั้งสองชนิด ส่งผลให้เกิดเป็นรูพรุนในโครงสร้างถ่านกัมมันต์มีความเป็นไปได้ที่มากกว่า และในงานวิจัยของ ธวัชชัย ที่ได้ร้อยละผลิตภัณฑ์ที่สูงกว่ามาก เนื่องมาจากในการกระตุ้นในงานวิจัยนี้วัตถุดิบที่ใช้มีลักษณะที่ละเอียดมาก เมื่อทำการผสมกับกากน้ำตาล และทำการอัดขึ้นรูปแล้วโครงสร้างที่ได้อาจยังไม่มี ความอัดแน่นเทียบเท่ากับถ่านก่อนในงานวิจัยของ ธวัชชัย ส่งผลให้การสลายตัวมีมากกว่าเนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสกับความร้อนมีสูงกว่า จึงทำให้ร้อยละผลิตภัณฑ์น้อยกว่า

4.7 เปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ในงานวิจัย กับมาตรฐานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ในงานวิจัย กับมาตรฐานอุตสาหกรรมตาม มอก.900-2532^[5]

ข้อมูลเปรียบเทียบ	กษิต แหลมทองมงคล (งานวิจัยนี้)	มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.900-2532 ^[5])	
		ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด
เลขไอโอดีน	843	600	600
ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.85	0.20-0.75	มากกว่า 0.36
ขนาดของอนุภาคที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร	น้อยกว่าร้อยละ 0.01	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99	น้อยกว่าร้อยละ 5
ความชื้น	น้อยกว่าร้อยละ 3	-	น้อยกว่าร้อยละ 8

จากตารางที่ 4.7 เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ในงานวิจัยนี้เป็นแบบชนิดอัดแท่งซึ่งตามมาตรฐานอุตสาหกรรมยังไม่ได้กำหนดไว้ แต่ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผงถ่านแอนทราไซต์โดยใช้กากน้ำตาลร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเป็นตัวประสานจะให้คุณสมบัติที่สูงกว่าที่มาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนด ไว้ทุกข้อ ทั้งในด้านความหนาแน่นเชิงปริมาตร และค่าเลขไอโอดีน สรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรมได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่าน กัมมันต์ชนิดอัดแท่งจากผง ถ่านแอนทราไซต์ผสมด้วยตัวประสานกากน้ำตาลที่ปริมาณต่างๆ และทำการกระตุ้นทางกายภาพ พร้อมทั้งเปรียบเทียบสมบัติของ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเตรียมที่ภาวะต่างๆ และปริมาณ กากน้ำตาลในปริมาณต่างๆ โดยในการกระตุ้นนั้นจะใช้ไอน้ำยิ่งยวดในการกระตุ้นควบคุมอัตราการ ไหลในอัตราส่วน ไอน้ำต่อ อากาศ ที่ 1 ต่อ 50 มิลลิลิตรต่อนาที การกระตุ้นนี้ทำในเครื่องปฏิกรณ์ แบบเบดนิ่ง (Fixed Bed) โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ ชนิดอัดแท่งได้ ดังนี้

ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นในงานวิจัย

1. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลกระทบต่อค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก เนื่องจาก อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดโพรง หรือรูพรุนบริเวณผิวของถ่านกัมมันต์ ผลที่ได้ คือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 850 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะได้ ค่าการดูดซับที่สูงที่สุด แต่เมื่อ กระตุ้นที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสถ่านกัมมันต์ที่ได้จะเกิดการสลายตัว จึงไม่เหมาะกับการ กระตุ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 850 องศาเซลเซียส

2. เวลาในการกระตุ้น

เวลาในการกระตุ้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้ถ่านกัมมันต์เกิดรูพรุน หรือโพรงบริเวณผิว นอกในจำนวนที่มากขึ้น เนื่องมาจากหากทำการเพิ่มเวลาในการกระตุ้นที่มากขึ้นถ่านกัมมันต์ก็จะ เกิดการสัมผัสกับอุณหภูมิ หรือความร้อนในปฏิกิริยาได้ทั่วถึง สารระเหยที่อยู่ในเนื้อของถ่านกัม มันต์ก็สามารถหลุดออกได้มาก

3. ปริมาณของตัวประสานกากน้ำตาล

กากน้ำตาลนอกจากจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้ผงถ่านสามารถขึ้นรูปเป็นทรงกระบอก ได้แล้ว ยังสามารถเป็นตัวกำหนดสารระเหย หรือพื้นที่ผิวในการดูดซับ ได้อีกด้วย เนื่องมาจากการ เพิ่มกากน้ำตาลขึ้นไปเรื่อยๆจะเป็นการเพิ่มค่าสารระเหยภายในโครงสร้าง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ไปเรื่อยๆ สารระเหยก็จะสามารถหลุดออก จากผิวของโครงสร้างเกิดเป็นรูพรุนที่เนื้อถ่านกัมมันต์ หรือโพรงภายในเนื้อถ่านกัมมันต์ ดังนั้นเมื่อ มีการเพิ่มกากน้ำตาลก็เปรียบเสมือนการเพิ่มรูพรุน หรือพื้นที่ผิวในการดูดซับที่มากขึ้น

จากปัจจัยที่มีผลในการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในงานวิจัย สามารถสรุปได้ดังด้านล่าง

ภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นในงานวิจัยนี้	
อุณหภูมิในการกระตุ้น (องศาเซลเซียส)	850
เวลาในการกระตุ้น (ชั่วโมง)	2
อัตราการไหลของไอน้ำ (มิลลิลิตรต่อนาที)	10
อัตราการไหลของอากาศ (มิลลิลิตรต่อนาที)	500
ปริมาณของร้อยละผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	25.84

อัตราส่วนกากน้ำตาลที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง คือ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักให้คุณสมบัติดังนี้

คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ในงานวิจัยนี้	
ค่าพื้นที่ผิวการดูดซับ (ตารางเมตรต่อกรัม)	670.53
ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	843
ค่าการดูดซับเมธิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)	297.85
ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	1.03
ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.85
ค่าการทนต่อแรงกดทับ (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	117.98
ค่าการทนต่อแรงขูดขีด (Shore D)	35

จากการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ พบว่าการเตรียมถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งจากผงถ่านแอนทราไซต์ผสมกับกากน้ำตาลที่ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าการดูดซับที่ดีกว่าถ่านกัมมันต์ในเชิงการค้า แต่หากเทียบในด้านของความแข็งแรงเชิงกลอาจยังเทียบไม่ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นต้นแบบเลือกหนึ่งในการผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่งที่ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม และเป็นแนวทางในการวิจัยเพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีขึ้นเพื่อนำไปใช้ในเชิงการค้าต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ที่เน้นหนักไปทางด้านการดูดซับ ดังนั้นปริมาณของกากน้ำตาลที่ดีที่สุดจึงเป็นที่ร้อยละ 20 แต่หากผู้สนใจเน้นหนักในด้านความแข็งแรงเชิงกล กากน้ำตาลที่ร้อยละ 15 อาจเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่ทำให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลที่ดี

รายการอ้างอิง

- [1] อุตสาหกรรม, กระทรวง. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ กรุงเทพมหานคร : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532.
- [2] จักริน นิธิจันทร์. การผลิตถ่านกัมมันต์ระดับขยายส่วนจากพีตโดยคาร์บอนในเซชันและการกระตุ้น ด้วยไอน้ำในฟลูอิดไคซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต , ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- [3] ธวัชชัย ตันเจริญทรัพย์. สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากลิกไนต์โดยการกระตุ้นทางเคมีและทางกายภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต , ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [4] พงศธร ใค้วชกรณณ์. ถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- [5] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม , สำนักงาน . ถ่านกัมมันต์. กองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, หน้า 2-4, 2532.
- [6] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ . ถ่านปลุกฤทธิ์ [Homepage] [Cited 2009 March 30]. Available from: www.mtec.or.th.
- [7] สำราญ พฤษสุนทร, คัมภีร์เคมี ฉบับสมบูรณ์ ม.4-5-6, สำนักพิมพ์ พ.ศ.พัฒนา, พิมพ์ที่ โรงพิมพ์เพิ่มทรัพย์การพิมพ์, หน้า 313-314, ISBN 978-974-9719-57-2
- [8] อธิชัย นพแก้ว. การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อเก็บกัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [9] Ajay K. Dalai, Jasimuz Zaman, E. Stanley Hall and Eric L. Tollefson. Preparation of activated carbon from Canadian coals using a fixed-bed reactor and a spouted bed-kiln system, Journal of Fuel 75 No.2 (1996) 227-237
- [10] American Standard of Testing Material. Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke ASTM D 3172-89.1993.
- [11] American Standard of Testing Material. Standard Test Method for Apparent Density of Activated Carbon ASTM D 2854-89.1996.
- [12] American Standard of Testing Material. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke ASTM D 3174-93.1993.

- [13] American Standard of Testing Material. Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics ASTM D 695-02a.2002.
- [14] American Standard of Testing Material. Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon ASTM D 4607-94.1995.
- [15] American Standard of Testing Material. Standard Test Method for Determination of Methylene Blue Number of Activated Carbon JIS K 1474-1991.1991.
- [16] American Standard of Testing Material. Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke ASTM D 3173-87.1993.
- [17] American Standard of Testing Material. Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness ASTM D 2240-05.2002.
- [18] American Standard of Testing Material. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke ASTM D 3175-89a.1993.
- [19] Baker, Frederick S., Miller, Charles E., Repik, Albert J. and Tolles, Donald E. Activated Carbon. Ruthven, Douglas M., Encyclopedia of Separation Technology, pp.72-93. USA : John Wiley & Sons, 1997.
- [20] Byrne, Jane F. and Marsh, H. Introductory Overview. In Patrick, John W., Porosity in Carbons: Characterization and Application, pp.227-252. Great Britain : Edward Arnold, 1995.
- [21] Derbyshire, F., Jagtoyen, M., Thwaites, M. Activated Carbons – Production and Application .In Patrick, John W., Porosity in Carbons: Characterization and Application, pp.227-252. Great Britain : Edward Arnold, 1995.
- [22] Desotec Activated carbon. Chemical Structure of activated carbon [Homepage] [Cited 2009 March 30]. Available from: www.desotec.com.
- [23] Faust, Samuel D. and Aly, Osman M. Adsorption Processes for Water treatment .Butter Worth, 1987.
- [24] Figueriedo, J. L., Pereira, M.F.R., Freitas, M.M.A. and Orfao, J.J.M. Modification of The Surface Chemistry of Activated Carbon. Carbon. 37(1999):1,379-1,389.
- [25] GrafTech International. Natural Graphite is Anisotropic [Homepage] [Cited 2009 March 30]. Available from: www.graftechaet.com.
- [26] Jankowska, H., Swiatkowski, A. and Choma, J. Active Carbon . Poland : Ellis Horwood Limited, 1991.

- [27] Johns, Mitchell M. ,Marshall, Wayne E. and Toles, Christopher A. The Effect of Activation Method on the Properties of Pecan Shell Activated Carbon. J.Chem.Tech.Biotechnol . 74(1999): 1,037-1,044.
- [28] John T. Cookson,Jr. Adsorption Mechanisms:The Chemistry of Organic Adsorption on Activated Carbon. In Cheremisinoff,Paul N. and Ellerbusch,F., Carbon Adsorption Handbook, pp.241-279. Michigan:Ann Arbor Science, 1978.
- [29] J. Ganan, C.M. Gonzalez-Garcia, J.F. Gonzalez, E. Sabio, A. Macias-Garcia, M.A. Diaz-Diez, Preparation of activated carbons from bituminous coal pitches, Journal of Applied surface science 238 (2004) 347–354
- [30] M.J. Blesa, J.L. Miranda, R. Moliner, M.T. Izquierdo, Curing temperature effect on mechanical strength of smokeless fuel briquettes prepared with molasses, Journal of Fuel 82 (2003) 943–947
- [31] M.J. Blesa, J.L. Miranda, R. Moliner, M.T. Izquierdo, Curing temperature effect on smokeless fuel briquettes prepared with molasses and H_3PO_4 , Journal of Fuel 82 (2003) 1669–1673
- [32] M.J. Blesa, J.L. Miranda, R. Moliner, M.T. Izquierdo, Low-temperature co-pyrolysis of a low-rank coal and biomass to prepare smokeless fuel briquettes, Journal of Anal. Appl. Pyrolysis 70 (2003) 665- 677
- [33] M.J. Blesa, J.L. Miranda, R. Moliner, M.T. Izquierdo, Micro-FTIR study of the blend of humates with calcium hydroxide used to prepare smokeless fuel briquettes, Journal of Vibrational Spectroscopy 33 (2003) 31–35
- [34] M.J. Blesa, J.L. Miranda, R. Moliner, M.T. Izquierdo, Study of the curing temperature effect on binders for smokeless briquettes by Fourier transform infrared spectroscopy, Journal of Vibrational Spectroscopy 31 (2003) 81–872.
- [35] Rodriguez-Reiniso,F. and Molina-Sabio,M. Activated Carbon from Lignocellulosic Materials by Chemical and/or Physical Activation : An Overview. Carbon. 30(1992) : 1,111-1,118.
- [36] Schaffer S, Arruda A., Bielicki J. And Bugli N., Design Considerations and Characterization Test Method for Activated Carbon Foam Hydrocarbon Traps in Automotive air Induction Systems, Paper presented at the 2007 SAE Conference and Expo, #07PFL-913, Detroit, MI

[37] University of Maryland. Material Hardness [Homepage] [Cited 2009 March 30]. Available from: www.calce.umd.edu.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก (Appendix)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ค่าการดูดซับไอโอดีนของผงถ่านแอนทราไซต์

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
27.8	1.883	261.8142	0.0556	-1.25493	2.417993		
29.9	1.650	263.2451	0.0598	-1.2233	2.42036		
31.2	1.417	280.9121	0.0624	-1.20482	2.44857		
			0.0200	-1.69897	2.168689	IA	147

ตารางที่ ก.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบร้อยละ 10 กระตุ้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
25.5	1.883	295.9228	0.0510	-1.29243	2.471178		
26.7	1.650	317.4019	0.0534	-1.27246	2.50161		
27.7	1.417	349.8861	0.0554	-1.25649	2.543927		
			0.0200	-1.69897	1.653744	IA	45

ตารางที่ ก.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบร้อยละ 10 กระตุ้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
15.3	1.883	447.1873	0.0306	-1.51428	2.650489		
17.1	1.650	479.8723	0.0342	-1.46597	2.681126		
19.6	1.417	509.5115	0.0392	-1.40671	2.707154		
			0.0200	-1.69897	2.555789	IA	361

ตารางที่ ก.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบร้อยละ 15
กระตุ้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
23.6	1.883	324.0995	0.0472	-1.32606	2.510678		
24.4	1.650	356.3271	0.0488	-1.31158	2.551849		
26.0	1.417	383.3877	0.0520	-1.284	2.583638		
			0.0200	-1.69897	1.899248	IA	79

ตารางที่ ก.5 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบร้อยละ 15
กระตุ้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
24.7	1.883	307.7867	0.0494	-1.30627	2.48825		
25.9	1.650	330.9411	0.0518	-1.28567	2.519751		
28.5	1.417	334.1206	0.0570	-1.24413	2.523903		
			0.0200	-1.69897	2.29835	IA	199

ตารางที่ ก.6 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบร้อยละ 15
กระตุ้นเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
19.7	1.883	381.9359	0.0394	-1.4045	2.581991		
20.1	1.650	429.1003	0.0402	-1.39577	2.632559		
21.5	1.417	472.0685	0.0430	-1.36653	2.674005		
			0.0200	-1.69897	1.957034	IA	91

ตารางที่ ก.7 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบร้อยละ 15
กระตุ้นเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
21.5	1.883	355.2422	0.0430	-1.36653	2.550525		
23.8	1.650	366.4815	0.0476	-1.32239	2.564052		
25.3	1.417	397.1825	0.0506	-1.29585	2.59899		
			0.0200	-1.69897	2.331227	IA	214

ตารางที่ ก.8 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบร้อยละ 15
กระตุ้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
6.1	1.883	583.6218	0.0122	-1.91364	2.766132		
8.9	1.650	618.6491	0.0178	-1.74958	2.791444		
10.5	1.417	688.8438	0.0210	-1.67778	2.838121		
			0.0200	-1.69897	2.821248	IA	663

ตารางที่ ก.9 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบร้อยละ 15
กระตุ้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
5.4	1.883	594.0027	0.0108	-1.96658	2.773788		
7.3	1.650	645.7275	0.0146	-1.83565	2.810049		
8.0	1.417	738.1109	0.0160	-1.79588	2.868122		
			0.0200	-1.69897	2.898168	IA	791

ตารางที่ ก.10 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบร้อยละ 20
กระตุ้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
27.2	1.883	270.7121	0.0544	-1.2644	2.432508		
28.7	1.650	283.5539	0.0574	-1.24109	2.452636		
31.1	1.417	282.8828	0.0622	-1.20621	2.451607		
			0.0200	-1.69897	2.306969	IA	203

ตารางที่ ก.11 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบร้อยละ 20
กระตุ้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
3.8	1.883	617.7305	0.0076	-2.11919	2.790799		
5.2	1.650	682.1141	0.0103	-1.98716	2.833857		
7.1	1.417	755.8471	0.0142	-1.84771	2.878434		
			0.0200	-1.69897	2.926572	IA	844

ตารางที่ ก.12 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบร้อยละ 25
กระตุ้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
23.3	1.883	328.5485	0.0466	-1.33161	2.516599		
25.1	1.650	344.4803	0.0502	-1.2993	2.537164		
26.8	1.417	367.6222	0.0536	-1.27084	2.565402		
			0.0200	-1.69897	2.221383	IA	167

ตารางที่ ก.13 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาเป็นองค์ประกอบร้อยละ 25
กระตุ้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
13.1	1.883	479.8129	0.0262	-1.5817	2.681072		
16.9	1.650	483.2571	0.0338	-1.47108	2.684178		
20.3	1.417	495.7167	0.0406	-1.39147	2.695234		
			0.0200	-1.69897	2.671324	IA	469

ตารางที่ ก.14 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาเป็นองค์ประกอบร้อยละ 30
กระตุ้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
27.8	1.883	261.8142	0.0556	-1.25493	2.417993		
29.7	1.650	266.6299	0.0594	-1.22621	2.425909		
31.2	1.417	280.9121	0.0624	-1.20482	2.44857		
			0.0200	-1.69897	2.152519	IA	142

ตารางที่ ก.15 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีกากน้ำตาเป็นองค์ประกอบร้อยละ 30
กระตุ้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส

S	M	X/M	C	LOG C	LOG (X/M)		
14.9	1.883	453.1192	0.0298	-1.52578	2.656212		
16.8	1.650	484.9495	0.0336	-1.47366	2.685697		
18.4	1.417	533.1597	0.0368	-1.43415	2.726857		
			0.0200	-1.69897	2.521473	IA	331

ตารางที่ ก.16 อัตราการหายไปของถ่านอัดแท่ง ก่อนและหลังกระตุ้นที่ปริมาณกากน้ำตาลร้อยละ 15
เวลาในการกระตุ้น 1, 2 และ 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 700 และ 850 องศาเซลเซียส

Temperature (°C)	Time (Hr.)	Before Activated(g)	After Activated (g)	Loss (%)	Yield (%)
700	1	11.7683	9.9267	15.6488	84.3512
	2	10.3658	3.8634	62.7294	37.2706
	3	13.6784	3.2245	76.4263	23.5737
850	1	12.1332	6.1198	49.5615	50.4385
	2	15.7844	4.0781	74.1637	25.8363
	3	10.1131	0	100.0000	0.0000

ตารางที่ ก.17 อัตราการหายไปของถ่านอัดแท่ง ก่อนและหลังกระตุ้นที่ปริมาณกากน้ำตาลร้อยละ 15
เวลาในการกระตุ้น 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 700, 750, 800 และ 850 องศาเซลเซียส

Temperature (°C)	Before Activated (g)	After Activated (g)	Loss (%)	Yield (%)
700	13.5674	3.4918	74.2633	25.7367
750	14.1820	3.5250	75.1445	24.8555
800	15.7580	4.0033	74.5951	25.4049
850	12.1216	3.0851	74.5487	25.4513
900	11.7564	0.7237	93.8442	6.1558

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.18 ตารางแสดงค่าความเค้นแรงกดทับของถ่านกัมมันต์ที่ร้อยละกากน้ำตาลต่างๆ

Molasses (%)	Compression (N)	Area (cm ²)	Compressive strength (N/cm ²)
Commercial -grade	207.10	0.79	263.58
10	62.18		79.14
15	99.67		126.85
20	92.70		117.98

ตารางที่ ก.19 ตารางแสดงค่าการทนต่อการทนต่อแรงดูดซึบของถ่านกัมมันต์ที่ร้อยละต่างๆ

% Molasses	ครั้งที่			เฉลี่ย
	1	2	3	
20%	40	30	35	35
15%	30	33	28	30.33333
10%	15	15	15	15
Ref.	54			54

ตารางที่ ก.20 ตารางแสดงค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของถ่านกัมมันต์ที่ร้อยละต่างๆ

% Molasses	ครั้งที่			Average Bulk Density
	1	2	3	
Commercial - Grade	0.99	0.99	0.99	0.99
10%	0.86	0.86	0.87	0.86
15%	0.89	0.89	0.89	0.89
20%	0.86	0.85	0.85	0.85
25%	0.84	0.84	0.84	0.84
30%	0.84	0.84	0.84	0.84

ภาคผนวก ข.

วิธีการทดสอบคุณสมบัติถ่านกัมมันต์

วิธีวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของถ่านไม้

วิธีวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของถ่านไม้ ตามวิธี ASTM D3172-89^[10] โดยวิเคราะห์สารที่แห้งในอากาศ และคำนวณค่าที่ได้เพื่อรายงานค่าที่ได้เทียบกับน้ำหนักของสารที่ไม่มี水分 (Dry basis) ยกเว้นค่าความชื้นที่รายงานเทียบกับน้ำหนักกับสารที่แห้งในอากาศ (Air dry basis) วิธีวิเคราะห์ครอบคลุมการวิเคราะห์หาค่าความชื้น สารระเหย และเถ้า รายละเอียดการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

การเตรียมสารตัวอย่าง

- บดตัวอย่างอย่างรวดเร็วและคัดขนาดของตัวอย่างให้ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 250 μm (No. 60) โดยการบดต้องใช้เวลาไม่มากนักเพราะอาจทำให้มีความร้อนขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นและสารระเหยได้
- นำตัวอย่างที่บดได้มาผสมรวมกันและเก็บไว้ในภาชนะที่ป้องกันความชื้นได้

1. วิธีหาความชื้น^[16] (Moisture, M)

- เตาด้วยกระบือพร้อมฝาในเตาเผาที่ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในหม้อสุญญากาศเป็นเวลาประมาณ 15 – 30 นาที
- ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของถ้วยกระบือพร้อมฝา จากนั้นใส่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 1 กรัม ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัม) ในถ้วยกระบือพร้อมฝา บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ได้ก่อนอบแห้งรวมน้ำหนักของขวดชั่งและฝา
- นำไปอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในหม้อสุญญากาศ
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ได้หลังอบแห้ง รวมน้ำหนักของถ้วยกระบือพร้อมฝา

คำนวณค่าความชื้นดังนี้

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

เมื่อ M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้เริ่มต้น (กรัม)

B = น้ำหนักของตัวอย่างหลังการอบแห้ง (กรัม)

2. วิธีหาปริมาณร้อยละสารระเหย^[18] (Volatile matter, VM)

- เผาด้วยกระบือพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของด้วยกระบือพร้อมฝา จากนั้นใส่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 1 กรัม ให้ละเอียดถึงเทคนิคตำแหน่งที่ 4 (คือมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัม) ในด้วยกระบือพร้อมฝา และปิดฝา
- นำไปเผาในเตาเผาแบบท่อ โดยวางไว้หน้าเตาเผาเป็นเวลา 2 นาที (อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส) จากนั้นวางไว้ที่ขอบเตาเผาเป็นเวลา 3 นาที (อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส) จากนั้นนำเข้าไปที่กึ่งกลางของเตาเผาเป็นเวลา 6 นาที (อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส)
- นำออกจากเตาเผาทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่ได้หลังการเผา รวมน้ำหนักของด้วยกระบือพร้อมฝา

วิธีการคำนวณหาค่าสารระเหยดังนี้

$$\text{Weight loss, \%} = [(A - B)/A] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้เริ่มต้น (กรัม)

B = น้ำหนักของตัวอย่างหลังการเผา (กรัม)

$$VM = C - D$$

เมื่อ VM = ร้อยละของสารระเหย

C = Weight loss, %

D = ร้อยละของความชื้น

3. ค่าเถ้า^[12] (Ash, A)

- เผาด้วยกระบือพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของด้วยกระบือพร้อมฝา จากนั้นใส่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 1 กรัม ให้ละเอียดถึงเทคนิคตำแหน่งที่ 4 (คือมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัม) ในด้วยกระบือพร้อมฝา
- นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ประมาณ 3 ชั่วโมง
- นำออกจากเตาเผาทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่ได้หลังการเผา รวมน้ำหนักของด้วยกระบือพร้อมฝา

คำนวณค่าเถ้าดังนี้

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

เมื่อ A = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาและตัวอย่างหลังการเผา (กรัม)

B = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา (กรัม)

C = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาและตัวอย่างก่อนการเผา (กรัม)

4. ค่าคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon, FC)

$$\text{FC} = 100 - (\text{M} + \text{A} + \text{VM})$$

เมื่อ FC = ร้อยละของคาร์บอนคงตัว

M = ร้อยละของความชื้น

A = ร้อยละของเถ้า

VM = ร้อยละของสารระเหย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

วิธีวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของถ่านกัมมันต์

วิเคราะห์ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของถ่านกัมมันต์ (Bulk density, BD) ตามวิธี ASTM D 2854-89 ^[11] รายละเอียดการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

- อบอุ่นอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 – 120 องศาเซลเซียส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
 - ชั่งกระบอกตวงที่มีความจุ 10 มิลลิลิตร ให้มีความละเอียดถึงทศนิยม มตำแหน่งที่ 2 (คือมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.01 กรัม บันทึกผล (X_0))
 - ใสตัวอย่างลงไปจนกระบอกตวงจนเกือบเต็ม กระแทกกันกระบอกตวงบนแผ่นยางจนกระทั่งระดับของตัวอย่างในกระบอกตวงคงที่
 - ถ้ำระดับที่คงที่นั้นไม่เท่ากับ 10 มิลลิลิตร ให้ตักตัวอย่างเข้าหรือออกจากกระบอกตวงแล้วกระแทกกันกระบอกตวงใหม่ จนกว่าจะได้ระดับที่คงที่เป็น 10 มิลลิลิตร
 - ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพร้อมกระบอกตวง บันทึกผล (X_1)
- คำนวณค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรได้จากสมการ

$$BD (g/cm^3) = (X_1 - X_0) / 10$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.

วิธีวิเคราะห์ค่าการดูดซับเมทธิลินบูลของถ่านกัมมันต์

วิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับสีน้ำเงินในน้ำตามวิธี JIS 1474-1991^[15] มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

เครื่องมือที่ใช้

1. เครื่องเขย่าตามแนวราบ
2. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง
3. เครื่องเซนติฟิวจ์

วิธีเตรียมสารละลาย

1. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer solution)
 - ออบโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 – 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นนาน 20 นาที
 - ชั่งมา 9.0 กรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวมเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยขวดวัดปริมาตร สารละลายที่ได้นี้คือ A
 - ออบโซเดียมโมโนฟอสเฟต (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 จะได้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7

2. สารละลายเมทธิลินบูล

2.1 การเตรียม ออบสารเมทธิลินบูลให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 – 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 ดูดสารละลายเมทธิลินบูลที่เตรียมได้มา 5.0 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ให้สารละลายนี้คือ M ซึ่งมีความเข้มข้น 0.3000 มิลลิกรัมต่อกรัม เจือจางสารละลาย M ให้มีความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้

ดูคมา 1.0 มล. เจือจางเป็น 100 มล. ความเข้มข้น = 0.00030 มก./มล.

ดูคมา 1.5 มล. เจือจางเป็น 100 มล. ความเข้มข้น = 0.00045 มก./มล.

ดูคมา 2.0 มล. เจือจางเป็น 100 มล. ความเข้มข้น = 0.00060 มก./มล.

ดูคมา 2.5 มล. เจือจางเป็น 100 มล. ความเข้มข้น = 0.00075 มก./มล.

ดูคมา 3.0 มล. เจือจางเป็น 100 มล. ความเข้มข้น = 0.00090 มก./มล.

วัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำไปสร้างกราฟระหว่างแกนราบคือความเข้มข้นในหน่วย 100 มก./มล. แกนตั้งฉากคือค่าการดูดกลืน จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงมีความชันเท่ากับ $\tan \theta$

หมายเหตุ ค่า $\tan \theta$ เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมได้ ในการทดลองนี้กำหนดว่าค่าดังกล่าวต้องอยู่ในช่วง 2.0 ถึง 2.2 เท่านั้น ถ้าไม่ได้ค่าตามนี้ ให้ถือว่าสารละลายที่เตรียมมาใช้ไม่ได้

กรรมวิธีวิเคราะห์

- บดและคัดขนาดตัวอย่างให้ละเอียดน้อยกว่า 250 μm (No. 60)
- อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 – 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นนาน 20 นาที
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักเท่ากับ D ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือมีความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม) 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

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

โดย A = ปริมาตรของสารละลายเมทิลีนบลูที่ใช้ตอนเริ่มต้น, มิลลิลิตร

B = ค่าการดูดกลืนแสง

C = ค่าคงที่ของการเจือจาง = 200 (หรือ 400)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน ซึ่งสมมุติว่าเป็นสารพิษในน้ำตามวิธี ASTM D 4607-86^[14] มีรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

สารเคมีที่ใช้

- สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 70 มิลลิลิตร เทใส่น้ำกลั่นที่มีปริมาตร 550 มิลลิลิตร
- น้ำแข็งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยชั่งแป้ง 1 กรัม ละลายด้วยน้ำร้อนจนมีน้ำหนักเป็น 10 กรัม น้ำแข็งที่เตรียมได้จะใส่ภายในวันที่เตรียมเท่านั้น
- สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 24.820 กรัมในน้ำ 75 มิลลิลิตร เติมโดยโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.1 กรัม และเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ด้วยขวดวัดปริมาตร
- สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยละลายไอโอดีน 12.700 กรัมและโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 19.10 กรัมด้วยน้ำ 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 4 ชั่วโมงจนผลึกไอโอดีนละลายหมด แล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ด้วยขวดวัดปริมาตร
- สารละลายโปแตสเซียมไอโอเดตเข้มข้น 0.100 นอร์มัล เตรียมโดยอบโปแตสเซียมไอโอเดตที่ 110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในหม้อดูดความชื้น แล้วชั่งมา 3.5667 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

กรรมวิธีเทียบมาตรฐานสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

- ปิเปตสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต 25 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2 กรัม เขย่าให้ละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาณ 5 มิลลิลิตร
- ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยใช้แป้งเป็นอินดิเคเตอร์ 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)

กรรมวิธีเทียบมาตรฐานของสารละลายไอโอดีน

- ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตรใส่ในขวดชมพูขนาด 250 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยใช้ น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จู คยุติ 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)

กรรมวิธีวิเคราะห์

- บดและคัดขนาดให้ละเอียดน้อยกว่า 250 μm (No. 60)
- อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 – 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในหม้อสุญญากาศ
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างเท่ากับ M ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือมีมวลละเอียด 0.1 มิลลิกรัม) ในขวดชมพูขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งมีจุกปิด

หมายเหตุ ต้องชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 ค่าต่อตัวอย่าง เพื่อให้ได้ค่า C มีค่าน้อยกว่า เท่ากับและมากกว่า 0.02 น้ำหนักประมาณของตัวอย่าง ดูจากตารางที่ จ.1

- ใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกจำนวน 10 มิลลิลิตร (ตวงด้วยปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดประมาณ 10 วินาที แกว่งขวดเบาๆ เพื่อให้ผงถ่านกัมมันต์ทุกส่วนชุ่มด้วยสารละลาย เพื่อกำจัดเถ้าหรือซัลเฟอร์ออกจากผิวของถ่านกัมมันต์
- ใส่สารละลายไอโอดีน 100 มิลลิลิตรปิดจุกแล้วเขย่าแรงๆเป็นเวลา 30 วินาที
- กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ทิ้งสารละลายที่กรองได้ 20 มิลลิลิตรแรก
- ดูดสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตรด้วยปิเปต

- ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล โดยใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติ คือ จุดที่สารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายไทโอซัลเฟตที่ใช้เป็นมิลลิลิตร (S)

คำนวณค่าการดูดซับจำเพาะ (X/M) และความเข้มข้นที่สมมูลของสารละลายไอโอดีน (C) ได้จาก

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

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

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

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.1 น้ำหนักประมาณของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ไอโอดีนตาม ASTM D 4607-86

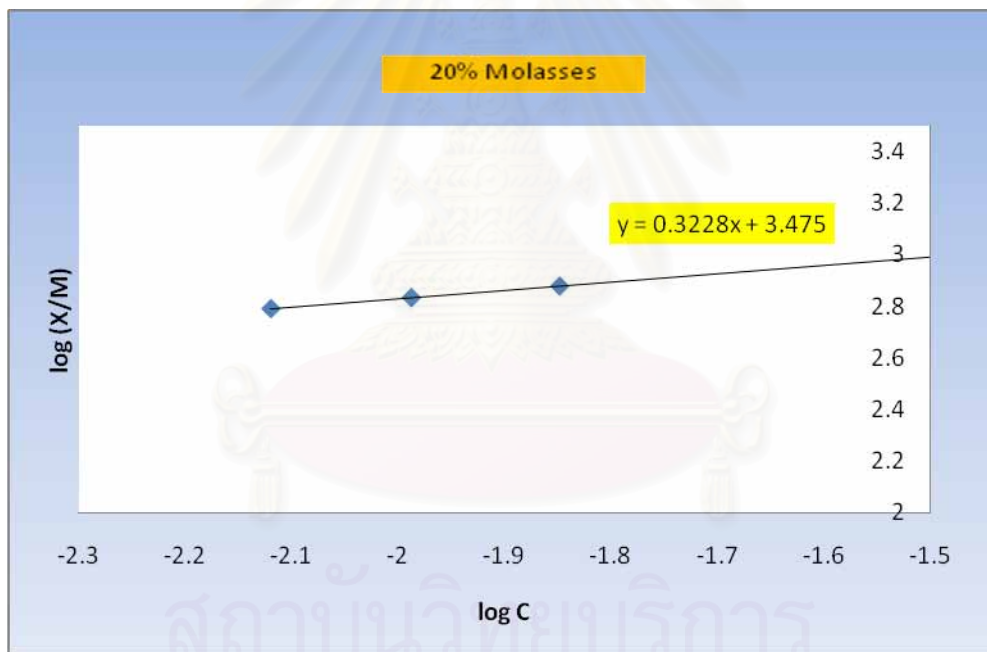
M				M			
E	C = 0.01	C = 0.02	C = 0.03	E	C = 0.01	C = 0.02	C = 0.03
300	3.766	3.300	2.835	1550	0.729	0.639	0.549
350	3.228	2.829	2.430	1600	0.706	0.619	0.531
400	2.824	2.475	2.126	1650	0.684	0.600	0.515
450	2.510	2.200	1.890	1700	0.664	0.582	0.500
500	2.259	1.980	1.701	1750	0.645	0.566	0.486
550	2.054	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

แสดงตัวอย่างการคำนวณเลขไอโอดีน

ถ่านหินแอนทราไซต์ที่ผลิตโดยการผสมกากน้ำตาลปริมาณร้อยละ 20 แล้วทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำ และอากาศที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปผสมกับสารละลายไอโอดีน และทำการไตเตรตด้วยโซเดียมไทโอซัลเฟต และบันทึกผลของปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไป ได้ผลดังตารางที่ ง.2

ตารางที่ ง.2 แสดงปริมาตรการไตเตรตสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

ครั้งที่	น้ำหนักถ่านกัมมันต์ (g)	ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (cm ³)
1	1.883	3.8
2	1.650	5.2
3	1.417	7.1



รูปที่ ง.1 แสดงกราฟที่ได้จากการคำนวณหาค่า $\log(X/M)$ และ $\log C$ แล้วนำมาสร้างกราฟเพื่อหาสมการความชันเพื่อนำไปหาเลขไอโอดีน

จากกราฟจะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C เป็น

$$Y = 0.3228X + 3.475$$

เมื่อ X = ค่า log ของความเข้มข้นเฉลี่ย (log C)

Y = เลขไอโอดีน (Iodine Number)

และจากการทดลองจะได้ C = 0.02 ดังนั้นจะได้

$$Y = (0.3228 \times \log(0.02)) + 3.475 = 843$$

เลขไอโอดีนที่ได้ 843 มิลลิกรัม/กรัม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ.

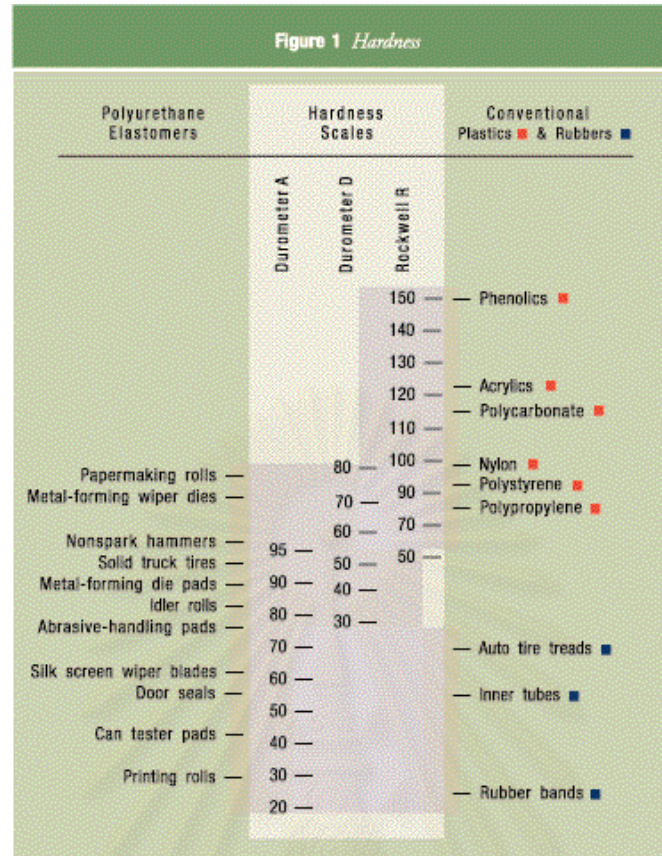
การวิเคราะห์สมบัติความแข็งที่บริเวณผิวของวัสดุ (Hardness)

วิเคราะห์สมบัติความแข็งที่บริเวณผิวของวัสดุ (Durometer Hardness) ตาม ASTM D2240^[17] ใช้สำหรับการอธิบายค่าความสัมพันธ์ของค่าความแข็งที่บริเวณผิวของวัสดุที่นำมาทดสอบ โดยใช้ในการบอกว่าวัสดุชนิดนั้นมีความแข็งเทียบได้กับวัสดุชนิดใด โดยส่วนมากมักใช้ในการวัดกับวัสดุจำพวกพลาสติก และยาง อุปกรณ์ทดสอบความแข็งประกอบด้วยเหล็กแท่งกลมตัน ตรงปลายมีลูกบอลเหล็กกล้าแข็งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร อยู่ในท่อกลวง ซึ่งเป็นลำตัวของอุปกรณ์

วิธีการทดสอบ อุปกรณ์ Shore scleroscope(Model D) ตาม ASTM D2240

1. นำชิ้นทดสอบที่มีผิวเรียบ วางบนแท่นระดับหรือแท่นรองรับ
2. วางอุปกรณ์ Shore scleroscopeลงบนผิวชิ้นงานทดสอบ ให้อยู่ในลักษณะแนวตั้งและสัมผัสกับชิ้นวัสดุตลอดเวลา
3. ดึงเหล็กแท่งกลมไปที่ตำแหน่งที่กำหนดซึ่งจะได้ยินเสียงลือก คู่มือน้ำหนักยกขึ้นประมาณ $\frac{1}{4}$ นิ้ว
4. กดปุ่มปล่อยลือก ให้ตกกระทบผิวชิ้นทดสอบ
5. ภายหลังตกกระทบแท่งเหล็ก สะท้อนกลับในแนวตั้ง แล้วอ่านค่าความสูงของการสะท้อนกลับ
6. นำค่าความสูงที่อ่านได้ ไปเทียบค่าความแข็งแบบ Shore จากตารางเปรียบเทียบความแข็งแล้ว บันทึกผลการทดสอบ
7. ควรทำการทดสอบหลายๆครั้งบนชิ้นทดสอบเดียวกันแล้วหาค่าเฉลี่ย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



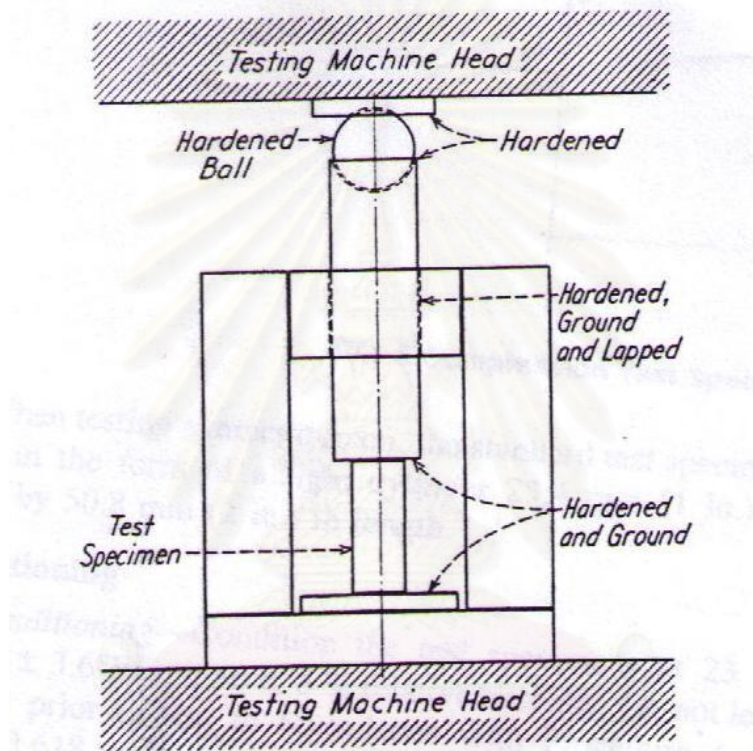
รูปที่ ๑.1 แสดงการเปรียบเทียบ SHORE Hardness^[21] ของวัสดุต่างๆ โดยค่า Durometer A และ Durometer D ในตารางมีค่าเท่ากับ Shore A และ Shore D

ภาคผนวก ข.

วิธีวิเคราะห์ค่าความเค้นต่อแรงกดทับของถ่านกัมมันต์

วิเคราะห์ความทนต่อแรงกดทับของพลาสติกแข็ง (Compressive Properties of Rigid Plastics) ตามวิธี ASTM D 695-02a^[13] รายละเอียดการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

- นำตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอก หรือรูปทรงปริซึม วางลงบนฐานที่อยู่นิ่ง (Stationary base) ดังภาพที่ ข.1



รูปที่ ข.1 แสดงอุปกรณ์ในการทดสอบค่าแรงกดทับ

- ทำการจับยึดชิ้นงานให้แน่นด้วยตัวจับชิ้นงาน กับฐานรองของเครื่องทดสอบ
- เริ่มเดินเครื่องทดสอบด้วยความเร็วสม่ำเสมอ จนเกิดการ Slip จึงทำการหยุดเครื่องทดสอบ แล้วบันทึกค่า Maximum Load ในหน่วย นิวตัน (N)

ภาคผนวก ข.

สมบัติของถ่านกัมมันต์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สมบัติของถ่านกัมมันต์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.900-2532^[5] มีดังต่อไปนี้

1. ชนิดของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1.1 ถ่านกัมมันต์ผง (powdered activated carbon)

1.2 ถ่านกัมมันต์เม็ด (granular activated carbon)

2. ขนาดของถ่านกัมมันต์

2.1 ถ่านกัมมันต์ผง ปริมาณที่ผ่านร่อน 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก

2.2 ถ่านกัมมันต์เม็ด ปริมาณที่ผ่านร่อน 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

3. สมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์

3.1 ถ่านกัมมันต์ผง ต้องมีสมบัติดังนี้
ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600

ความหนาแน่นปรากฏ 0.20 ถึง 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2 ถ่านกัมมันต์เม็ด ต้องมีสมบัติดังนี้
ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600

ความหนาแน่นปรากฏไม่น้อยกว่า 0.36 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ความชื้นไม่เกินร้อยละ 8

ความแข็งไม่น้อยกว่าร้อยละ 70

ภาคผนวก ฉ.

ตัวอย่างคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

ผงถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ฉ.1 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

ชื่อตัวอย่าง	วัตถุดิบ	Ash (โดย น้ำหนัก)	BD (กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร)	S _{BET} (ตารางเมตร ต่อกรัม)	MB (มิลลิกรัม ต่อกรัม)	IA (มิลลิกรัม ต่อกรัม)
UPD CHEMICAL (Thailand)						
MDP1-7325	กะลามะพร้าว	3	0.400-0.55	1200-1300	230	1050
PN3	ขี้เลื่อย	8	0.46	-	-	800
Taiko PKW	ขี้เลื่อย	2	-	-	-	-
Shirasagi KW	-	3	-	-	-	-
900	-	3 - 5	0.37-0.40	-	-	900
Nuchar SN	-	3 - 5	0.37-0.40	-	-	900
PITTSBURGH ACTIVAED CARBONS						
RB	ปิทูนินัส	23	-	1250-1400	-	1200
RC	ปิทูนินัส	21	-	1100-1300	-	1100
BL	ปิทูนินัส	8.5	-	1000-1100	300	1000
C	ปิทูนินัส	14	-	1000-1100	-	900
GW	ปิทูนินัส	12	-	1000-1100	180	700

ที่มา : เอกสารประกอบการประชุมคณะกรรมการร่างมาตรฐานถ่านกัมมันต์ สำนักงานมาตรฐาน
อุตสาหกรรมไทย กระทรวงอุตสาหกรรม

เม็ดถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ๗.2 คุณสมบัติของเม็ดถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

ชื่อตัวอย่าง	วัตถุดิบ	Ash (โดยน้ำหนัก)	BD (กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร)	S _{BET} (ตารางเมตร ต่อกรัม)	MB (มิลลิกรัม ต่อกรัม)	IA (มิลลิกรัม ต่อกรัม)
UPD CHEMICAL (Thailand)						
MDG7746	กะลามะพร้าว	3	0.40-0.45	1100-1200	200	1050
MD-W 7830	กะลามะพร้าว					
SUTLIFFE SPRAKMAN (Eng)						
	ถ่านหิน	6-16	0.40-0.56	600-1250	-	-
	กะลามะพร้าว	1-4	0.40-0.59	700-1500	-	-
NORIT ACTIVAED CARBON						
PK1-3	พีท	6	-	800	-	800
Nuchar 681	บิทูมินัส	-	0.43-0.46	1100	-	-
AG-5	-	6	0.38-0.45	900-1000	-	-
PJAC (JAPAN)						
CG-4X10	กะลามะพร้าว	5	0.42-0.47	1200-1300	170	1050
CG-6X8	กะลามะพร้าว	5	0.42-0.47	1200-1300	170	1100
CW-8X30	กะลามะพร้าว	5	0.45-0.50	1050-1150	170	1050
SYBRON	บิทูมินัส	-	0.50-0.55	900	220	900
IONAC P-50 (USA)						
Calgon Filtrasorb 100-200	บิทูมินัส	-	-	850-900	-	850
CALGON SGL	บิทูมินัส	10	0.48	950-1050	-	900

ชื่อตัวอย่าง	วัตถุดิบ	Ash (โดยน้ำหนัก)	BD (กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร)	S _{BET} (ตารางเมตร ต่อกรัม)	MB (มิลลิกรัม ต่อกรัม)	IA (มิลลิกรัม ต่อกรัม)
PITTSBURGH ACTIVATED CARBON Vapor phase						
-PCB	บิทูมินัส	4.0	0.44	-	-	1200
-SGL	บิทูมินัส	8.0	0.48	-	-	900
Nuchar WV-G	-	-	0.43-0.46	-	-	1050

ที่มา : เอกสารประกอบการประชุมคณะกรรมการร่างมาตรฐานด้านกัมมันต์ สำนักงานมาตรฐาน
อุตสาหกรรมไทย กระทรวงอุตสาหกรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย กษิต แหลมทองมงคล เกิดวันที่ 22 ตุลาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิ ศวกรรมศาสตร บัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนาม จันท์ นครปฐม ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา เทคโนโลยีเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย