



รายงานโครงการวิจัย

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากซับบิทูมินัสโดยกระบวนการกระตุ้นด้วย
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต

Preparation of activated carbon from Subbituminous by activation
with Potassium Hydroxide and Calcium Magnesium Carbonate

โดย

นางสาว ฤทัยวรรณ	พฤตบวรสกุล	รหัสนิสิต 5932956523
นาย สุทธิภาคย์	จุลานุพันธ์	รหัสนิสิต 5932968023

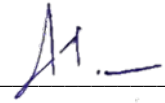
อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร. ธีราพงษ์ วิทิตสานต์

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2562
ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHEMICAL TECHNOLOGY

ลงชื่อรับรอง



(ศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย



รายงานโครงการวิจัย

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากซับบิทูมินัสโดยกระบวนการกระตุ้น

ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต

Preparation of activated carbon from Subbituminous by activation
with Potassium Hydroxide and Calcium Magnesium Carbonate

โดย

นางสาว ฤทัยวรรณ พฤตนิบวรสกุล รหัสสนិត 5932956523

นาย สุทธิภาคย์ จุฬานุพันธ์ รหัสสนិត 5932968023

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์

โครงการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2562

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ การเตรียมถ่านกัมมันต์จากซบิพูนินส์โดยกระบวนการกระตุ้นด้วย
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต

ชื่อผลิตภัณฑ์ร่วมในโครงการ นางสาว ฤทัยวรรณ พฤตบวรสกุล รหัสนิต 5932956523
นาย สุทธิภาคย์ จุลานพันธ์ รหัสนิต 5932968023

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ศาสตราจารย์ ดร. ธรพวงษ์ วิทิตสานต์
ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

ในการทำเหมืองแร่จะมีการถลุงถ่านหินขนาดใหญ่ออกมาใช้ในงานอุตสาหกรรมหรือการผลิตกระแสไฟฟ้าแต่จะมีถ่านหินขนาดเล็กซึ่งก็คือเศษซบิพูนินส์ที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จำนวนมากส่งผลให้เกิดแนวความคิดเพิ่มมูลค่าด้วยการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาวิธีการและภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากซบิพูนินส์ด้วยกระบวนการกระตุ้นทางเคมี โดยใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) เป็น 1:2 โดยน้ำหนักและเวลาในการกระตุ้น 3 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น (700, 750 และ 800 องศาเซลเซียส) จากนั้นนำถ่านกัมมันต์มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้น (Proximate analysis) เพื่อหาค่าความชื้น ปริมาณซีเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และเครื่องวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวรูพรุน (BET) เพื่อให้ได้ค่าพื้นที่ผิวสูงสุดพบว่าสถานะที่กระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ดีที่สุดคือกระบวนการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โดยอัตราส่วนซบิพูนินส์ต่อสารเคมีเป็น 1:2 โดยน้ำหนักทั้งสองสาร เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสซึ่งให้ค่าพื้นที่ผิว 960.4472 ตารางเมตรต่อกรัม

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่อนิต.....ฤทัยวรรณ พฤตบวรสกุล.....
สาขาวิชา.....เคมีวิศวกรรม.....ลายมือชื่อนิต.....สุทธิภาคย์ จุลานพันธ์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

Title Preparation of activated carbon from Subbituminous by activation with Potassium Hydroxide and Calcium Magnesium Carbonate

Student name Miss. Ruetaiwan Phruetthibowonsakun
Mr. Suttipark Julanuphan

Advisor Prof. Dr. Tharapong Vitidsant

Department of Chemical Technology, Faculty of science, Chulalongkorn University,
Academic year 2019

ABSTRACT

In mining, large-sized coal smelting is used for industrial applications or electricity generation. But there are a lot small coals, which are a fraction of bituminous waste, cannot be utilized. The result activated carbon Potassium Hydroxide (KOH) and Calcium Magnesium Carbonate ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) production are 1:2 by weight with 3 hours The temperature of activating are 700, 750 and 800 degrees Celsius. The next step is the analysis of chemical and physical properties with a Proximate analysis (Volatile Matter, Ash, Moisture and Fixed Carbon). BET analysis is an analysis technique for measurement of the maximum surface area of materials. The best condition for activated carbon in this project is activated by KOH with 1:2 by weight of sub-bituminous for 3 hours at 850 degrees Celsius, giving the surface area 960.4472 square meters per gram.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนระดับปริญญาตรีเพื่อสร้างเสริมประสบการณ์ ประจำปีการศึกษา 2562 ของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการดำเนินโครงการการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซับบิทูมินัสโดยกระบวนการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนตนิสิตผู้ดำเนินโครงการได้รับความอนุเคราะห์ และความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

โครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักของโครงการที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงโครงการให้สำเร็จลุล่วง เื่อใจใส่ด้วยดีเสมอมา รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้มอบคำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดมา คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งอย่างยิ่ง จึงขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบุคลากรในศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานชีวะมวลที่ อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี และภาควิชาเคมีเทคนิคได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและกรุณาช่วยเหลือพร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่าง ๆ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำงานวิจัยเสมอมาและขอขอบพระคุณเพื่อนๆและพี่ๆที่ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยและสนับสนุนในด้านต่าง ๆ งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณดีทั้งหลายของงานวิจัยนี้ให้แก่ทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้นและผู้ที่ยังไม่ได้เอ่ยนามมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 สมมติฐาน	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.5 ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 วิธีการดำเนินการศึกษา	3
1.8 วิธีการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)	5
2.2 วิวัฒนาการของถ่านกัมมันต์	5
2.3 ชนิดของถ่านกัมมันต์	6
2.4 การผลิตถ่านกัมมันต์ (processing of activated carbon)	8
2.5 โครงสร้างรูพรุนถ่านกัมมันต์	17
2.6 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์	20
2.7 การประเมินการเลือกใช้ถ่าน	20

2.8	ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์	21
2.9	ถ่านหิน	23
2.10	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3	วิธีดำเนินงานวิจัย	30
3.1	สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	30
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	31
3.3	วิธีดำเนินการทดลอง	31
บทที่ 4	อภิปรายผลการวิจัย	34
4.1	ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์	34
4.2	การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ	35
4.3	การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์หลังจากผ่านกระตุ่น	36
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย	38
5.1	สรุปผลการทดลอง	38
5.2	ข้อเสนอแนะ	39
	เอกสารอ้างอิง	40

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในการเตรียมถ่าน	14
ตารางที่ 2 คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์บางชนิดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	19
ตารางที่ 3 การจำแนกประเภทของถ่านหินด้วยวิธีการทดสอบวัสดุของสมาคมอเมริกัน	24
ตารางที่ 4 การจำแนกประเภทของถ่านหินตามมาตรฐานระบบระหว่างประเทศ	25
ตารางที่ 5 ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์จากซับพิทูนีสโดยกระบวนการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) โดยอัตราส่วนซับพิทูนีสต่อสารเคมีเป็น 1:2 โดยน้ำหนักทั้งสองสาร เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	34
ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate Analysis) ของถ่านกัมมันต์จากซับพิทูนีส โดยกระบวนการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ที่สภาวะต่าง ๆ	35
ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ KOH) อัตราส่วน 2:1	36
ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) อัตราส่วน 2:1	36

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	8
รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของชีวมวล	9
รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมตามอุณหภูมิที่เผา	11
รูปที่ 4 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี	14
รูปที่ 5 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ	16
รูปที่ 6 ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินที่ใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด	28

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติหรืออินทรีย์วัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์(activation process) จนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมีความสามารถในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่าง ๆ มากมาย เช่น การบำบัดน้ำ ตัวดูดซับกลิ่น ตัวดูดซับสีและสารกรอง ตัวเร่งหรือตัวรองรับตัวเร่งและวัสดุเก็บพลังงาน เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรม วัสดุชีวมวลและอุตสาหกรรมการเกษตรในอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์นั้นมีปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบและ มีราคาสูง ส่งผลทำให้ราคาของถ่านกัมมันต์มีราคาสูง ดังนั้นจำเป็นต้องหาวัตถุดิบที่มี ราคาถูกและหาได้ง่ายโดยทั่วไป วัตถุดิบที่นำมาเตรียมถ่านกัมมันต์ควรมีสสมบัติดังนี้ คือ มีคาร์บอนเป็น องค์ประกอบในปริมาณสูง (โดยปกติสูงกว่า 45%) และมีปริมาณสารระเหยต่ำ วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิต ถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ ถ่านหิน กะลามะพร้าวและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เป็นต้น

จากข้อมูลทำให้ทราบว่าในการทำเหมืองแร่จะมีการถลุงถ่านหินขนาดใหญ่ออกมาใช้ในงานอุตสาหกรรมหรือการผลิตกระแสไฟฟ้า แต่จะมีถ่านหินขนาดเล็กซึ่งก็คือเศษซบปีทิวินัส ซึ่งเหลือทิ้งจากการถลุงที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จำนวนมาก ส่งผลให้เกิดแนวความคิดการนำเศษซบปีทิวินัสมาเพิ่มมูลค่าโดยจะนำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์

โดยกรรมวิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์ในปัจจุบันมีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบและสมบัติที่ต้องการ โดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การคาร์บอนไนซ์ (carbonization) เป็นการใช้ความร้อนทำให้สารระเหยแตกตัวและแทรกออกจากวัตถุดิบทำให้เกิดเป็น ผลิตภัณฑ์ของแข็งเรียกว่า ถ่าน (charcoal) ส่วนขั้นตอนที่สองเรียกว่า การก่อกัมมันต์ (activation) เป็นการทำให้ผิวถ่านเกิดรูพรุนขนาดต่างๆ ในขั้นตอนการก่อกัมมันต์โดยทั่วไปมี 2 วิธี ได้แก่ การก่อกัมมันต์ทางกายภาพ (physical activation) และการก่อกัมมันต์ทางเคมี (chemical activation) การก่อกัมมันต์ทางกายภาพจะทำในสถานะแก๊ส เช่น ใช้ไอน้ำ CO_2 จะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมแต่ต้องใช้เวลานานและใช้อุณหภูมิสูง ส่งผลให้ได้ผลผลิตต่ำและมีค่าใช้จ่ายพลังงานสูง

ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การก่อกัมมันต์ทางเคมีใช้ สารเคมีเป็นสารก่อกัมมันต์(activator) ใช้เวลาไม่นานและอุณหภูมิในการก่อกัมมันต์ต่ำ ได้โครงสร้างรูพรุนที่ดีกว่า ในงานวิจัยนี้จึงสนใจนำ KOH และ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

มาใช้เป็นสารก่อกัมมันต์และเลือกใช้ซบิพุมินัสมาเป็นวัสดุตั้งต้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์ เนื่องจากซบิพุมินัสมีค่าความชื้น (moisture content) ต่ำ มีค่าคาร์บอนเสถียร (fixed carbon) สูงและ ปริมาณสารระเหยน้อย แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับขนาดของรูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะที่ต่ำ งานวิจัยนี้จึงสนใจการเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยกระบวนการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบใหม่แทนการก่อกัมมันต์แบบดั้งเดิมที่นำวัสดุตั้งต้นเข้าในสารละลายของสารก่อกัมมันต์แล้วทำให้แห้งโดยการให้ความร้อน เรียกว่า การก่อกัมมันต์แบบเปียกชุ่ม (impregnation) ซึ่งสิ้นเปลืองสารเคมีและพลังงาน งานวิจัยนี้จึงใช้สารก่อกัมมันต์ในสถานะของแข็งผสมโดยตรงกับวัตถุดิบ ที่เรียกว่า การก่อกัมมันต์แบบแห้ง (dry activation) โดยการให้ความร้อนโดยตรงจะทำให้เกิดการผสมกันได้อย่างสมบูรณ์ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาวิธีและสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยวิธีการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้งด้วยสารกระตุ้น KOH และ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเศษถ่านหินซบิพุมินัสที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
2. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

1.3 สมมติฐาน

การผลิตถ่านกัมมันต์จากเศษซบิพุมินัสที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ แคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูงขึ้นและอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อเป็นการพัฒนาความรู้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุที่เหลือทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) โดยศึกษาตัวแปรที่ศึกษาคือ อัตราส่วนวัตถุดิบต่อสารเคมี อุณหภูมิและเวลา

1.5 ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย

1. สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น
2. อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากซบิพูมินัสเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมได้
2. ทราบถึงภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซบิพูมินัสโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ แคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)
4. สามารถนำไปเป็นข้อมูลในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงเทียบเท่าหรือมากกว่าในทางการค้า

1.7 วิธีการดำเนินการศึกษา

1. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมการผลิตถ่านกัมมันต์
2. จัดเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
3. จัดเตรียมวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์
4. วิเคราะห์องค์ประกอบถ่านหินซบิพูมินัส
5. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ แคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) เพื่อให้ได้มาซึ่งภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทดลองคือ
 - 5.1 อัตราส่วนวัตถุดิบต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็น 1:2 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนวัตถุดิบต่อแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) เป็น 1:2 โดยน้ำหนัก
 - 5.2 อุณหภูมิในการกระตุ้น 700, 750 และ 850 องศาเซลเซียส
 - 5.3 เวลาในการกระตุ้น 3 ชั่วโมง

6. ศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของถ่านกัมมันต์
 - 6.1 วิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของถ่านหินซับบิทูมินัส
 - 6.2 วิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวรูพรุน (BET surface area)
7. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการศึกษางานวิจัย

1.8 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการใช้งาน เตรียมเครื่องปฏิกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัย
3. เตรียมสารตั้งต้นและสารเคมี
4. ออกแบบการทดลองโดยมีตัวแปรที่ต้องศึกษา
5. ดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์
6. สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์และบทความทางวิชาการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน(amorphous carbon) ชนิดหนึ่งแต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษโดยกระบวนการก่อกัมมันต์(activation) ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวภายใน(internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมากแต่ถ้าหากศึกษาด้วยเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน(X-ray diffraction) หรือศึกษาโครงสร้างจากการสะท้อนและการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อตกกระทบวัตถุโครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความเป็นผลึกอยู่บ้างแต่ไม่สมบูรณ์เหมือนกับแกรไฟต์จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ถ่านกัมมันต์แตกต่างจากถ่านชนิดอื่น ๆ เช่นถ่านลิกไนท์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือ แกรไฟต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูงอันเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวมากมีความจุในการดูดซับสูง โครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก(microporousstructure) และมีความว่องไวในการดูดซับสูง โดยทั่วไปแล้วผิวหน้าของถ่านกัมมันต์นั้นไม่มีขั้วแต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์เกิดขึ้นเสมอที่ผิวหน้าและการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮกซะโกนัล(hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์พื้นที่ผิวสูงกว่าตัวดูดซับอื่น ๆ เช่น ซิลิกาเจล (silicagel) จึงทำให้ดูดซับสารได้มากกว่า

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุดซึ่งทำได้โดยการทำให้รูพรุนหรือโครงสร้างภายในเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้รูพรุนนี้มีขนาดตั้งแต่ 20 อังสตรอม ถึง 20,000 อังสตรอม ดังนั้นพื้นที่ผิวจึงสูงและมีความสามารถในการดูดซับ(adsorption capacity) สูงด้วยเช่นกัน การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ทำได้โดยการหาสมรรถนะของถ่านกัมมันต์อาจกระทำได้โดยการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน(iodinenumber) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (size and surface area) ลักษณะของสารดูดซับ(natureofadsorbate) ค่าความเป็นกรดต่าง(pH) อุณหภูมิ(temperature) และเวลาในการสัมผัส(contact time)

2.2 วิวัฒนาการของถ่านกัมมันต์

คุณสมบัติในการดูดสีในของเหลวของถ่านเป็นที่ทราบกันมาตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 15 แต่คุณสมบัติในการดูดแก๊ส เพิ่งมีผู้บันทึกไว้ในปี ค.ศ. 1785 แต่ก็ไม่มีผู้สนใจในคุณสมบัติเหล่านี้จนกระทั่งในปี ค.ศ.1811 มีนักวิทยาศาสตร์ท่านหนึ่งพบว่าถ่านที่ได้จากการเผากระดูกสัตว์สามารถดูดติดสีได้มากกว่าถ่านซึ่งได้มาจากถ่านไม้ จึงนิยมนำถ่านกระดูกมาใช้ในการฟอกสีน้ำตาลทรายให้ขาวสะอาดบริสุทธิ์กันมากและได้มีการพัฒนาต่อมา

จนกระทั่งปี ค.ศ.1822มีผู้พบว่าถ่านที่ได้จากการเผาของผสมระหว่างเลือดสัตว์กับขี้เถ้า(potash) มีคุณสมบัติในการดูดสีมากกว่าถ่าน กระตุกประมาณ 20 – 50 เท่า แต่ไม่สามารถจะผลิตได้มากเพียงพอที่จะนำไปใช้ในโรงงานได้ ต่อมาประมาณ ค.ศ. 1900 มีนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Ostreyko ชาวโปแลนด์ คิดค้นวิธีผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นใหม่ โดยเผาถ่านในบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์และอีกวิธีหนึ่งใช้คลอไรด์ ของโลหะผสมกับถ่านแล้วนำไปเผาซึ่งนับเป็นผู้ริเริ่มให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์ชื่อต่างๆเช่นชื่อเอพโพนิท(Eponit) ผลิตขึ้นในยุโรปในปี ค.ศ. 1909, นอริท(Norit) ผลิตในปี ค.ศ. 1911 และ คาร์โบราฟฟิน(Carboraffin) ผลิตในปี ค.ศ. 1915 และในอเมริกาได้ผลิต ฟิลทาร์(Filtchar) ขึ้นในปี ค.ศ. 1913และได้มีการปรับปรุงและเปลี่ยนชื่อเรียกใหม่ๆไปเรื่อยๆถ่านที่ผลิตขึ้นเหล่านี้ได้มีการศึกษาถึงการนำไปใช้ในการดูดสีฟอกสีในโรงงานผลิตน้ำตาลทรายเป็นส่วนใหญ่ซึ่งใช้ได้ดีกว่าถ่านกระตุกมาก

คุณสมบัติในการดูดกลิ่นและแก๊สของถ่านกัมมันต์เริ่มเป็นที่สนใจนักในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 ซึ่งมีการนำไปใช้ในการทำหน้าที่กักป้องกันแก๊สพิษจากจุดนี้ทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจในคุณสมบัติการทำแก๊สให้บริสุทธิ์ของถ่านกัมมันต์ซึ่งจากการทดลองโดยวิธีต่าง ๆ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตใช้ในการฟอกสีน้ำตาลนั้นไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการทำหน้าที่กักป้องกันแก๊สพิษเพราะมีลักษณะพองและเบาและจำเป็นต้องใช้เป็นจำนวนมากทำให้มีผู้ พยายามผลิตถ่านชนิดใหม่ให้มีความหนาแน่นมากขึ้นสำหรับใช้ดูดแก๊สโดยเฉพาะ ซึ่งต่อมาเมื่อสงครามสิ้นสุดลง การค้นคว้าก็บรรลุผลสำเร็จและมีผู้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การดูดไอของสารละลาย(solvent) ดูดไอเบนซิน(benzene) จากแก๊สอื่น ๆ โดยถ่านที่ผลิตจากไม้ขี้เลื่อย พีท ลิกไนท์

2.3 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์แบ่งตามเกณฑ์ต่าง ๆ คือ

ก. แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- เคมี (chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอนมักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดใหญ่
- ฟิสิกส์ (physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ได้จากการใช้แก๊สออกซิไดส์ มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

ข. แบ่งตามขนาดรูพรุนบนผิวคาร์บอน

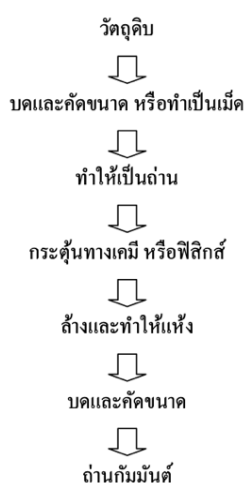
- ขนาดเล็ก (micropores) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนไม่เกิน 15 นาโนเมตร (nm) มักใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย
- ขนาดกลาง (transitional pores or mesopores) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 15 -100 นาโนเมตร มักใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reaction)

- ขนาดใหญ่ (macropores) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร มักใช้ในการฟอกสีและผลิตยา
- ค. แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ที่ได้
- ความหนาแน่นต่ำ ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ในสภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น การฟอกสีน้ำดิบ หรือการทำให้บริสุทธิ์เป็นต้น
 - ความหนาแน่นสูง ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ดูดแก๊สพิษหรือไอระเหย
- ง. แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ
- สำหรับดูดซับแก๊ส(gasadsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับสารพิษกลิ่นและไอของสารอินทรีย์ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ได้จากการเผาถ่านประเภท hard artificial char ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้หรือถ่านไม้ที่เผาที่ความดันสูง
 - สำหรับดูดซับสี(colouradsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวฟอกสีส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผาถ่านประเภท soft artificial char ซึ่งเป็นถ่านได้จากถ่านไม้ ถ่านขานอ้อย ถ่านจากแกลบถ่านจากถ่านหินน้ำมันและถ่านจากกากน้ำตาล
 - สำหรับดูดซับโลหะ (metal adsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่เป็นตัวแยกพวกโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น ถ่านที่ใช้ในการแยก ทอง เงิน แพลทินัม และแร่
- จ. แบ่งตามรูปร่างลักษณะ
- ประเภทเป็นผง (powder) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร (μm) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผง ใช้สำหรับฟอกสีในของเหลว ดูดกลิ่นในสารละลายได้หลายชนิด
 - ประเภทเป็นเม็ด (pellet) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็น 2 แบบได้แก่
 - 1) Pellet activated carbon มีรูปร่างขึ้นอยู่กับการอัดผ่านเครื่องอัดใช้สำหรับทำแก๊สให้บริสุทธิ์ หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์และใช้ทำหน้าที่ปกป้องกัน แก๊ส และไอพิษต่างๆ
 - 2) Granular activated carbon มีรูปร่างไม่แน่นอน ใช้สำหรับทำแก๊สให้บริสุทธิ์หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์
- ฉ. แบ่งตามค่าความเป็นกรดต่าง เมื่อละลายน้ำ
- ถ่านกัมมันต์ชนิดแอล (L type) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีสมบัติเป็นกรดโดยส่วนใหญ่หมู่ฟังก์ชันที่อยู่บนพื้นผิว เป็นอนุพันธ์ของหมู่คาร์บอกซิล(carboxyl)

- ถ่านกัมมันต์ชนิดเอช (H type) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีสมบัติเป็นต่างโดยส่วนใหญ่หมู่ฟังก์ชันที่อยู่บนพื้นผิวได้แก่ควินิน(quinine) ฟีนอล(phenol) และคาร์บอกซิเลท(carboxylate)

2.4 การผลิตถ่านกัมมันต์ (processing of activated carbon)

ในปัจจุบันกรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุดิบลักษณะ และคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการแต่โดยทั่วไปกระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอน ใหญ่ๆ 3 ขั้นตอนดังนี้คือขั้นเตรียมวัตถุดิบให้เป็นถ่านหรือการคาร์บอนไนซ์เซชัน และขั้นการกระตุ้น ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

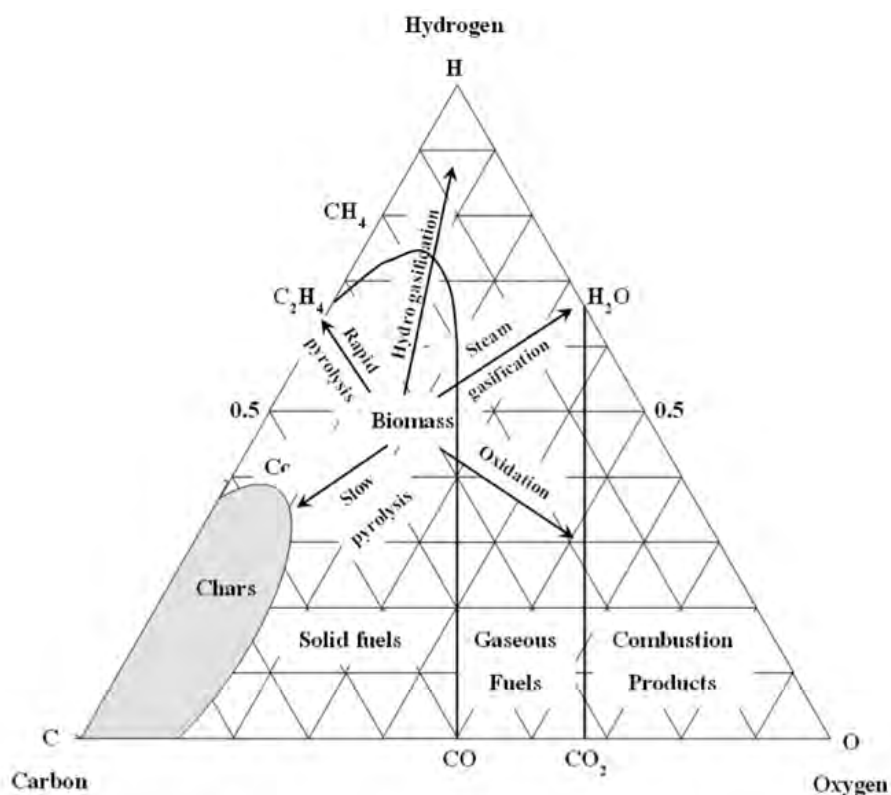
1. การเตรียมวัตถุดิบ

ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเช่น ชี้อเลื้อย กะลามะพร้าว แกลบ เปลือกถั่วเมล็ด ผลไม้ ยางพลาสติก ถ่านหิน และพีท เป็นต้น ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรงหรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ ขึ้นอยู่กับการผลิตแต่โดยทั่วไปจะนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดก่อนที่จะนำไปคาร์บอนไนซ์เซชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแต่บางครั้งวัตถุดิบอาจมีความแข็งและเหนียวทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยาก อาจนำวัตถุดิบนั้นไปคาร์บอนไนซ์เซชันก่อนแล้วจึงนำมาบดคัดขนาดก็ได้ นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการใช้ตัวประสานเช่น แป้ง น้ำมันเตา หรือทาร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการคาร์บอนไนซ์มาผสมกับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผงหรือฟุ้งกระจายได้ง่ายแล้วทำการอัดให้เป็นเม็ดก่อนที่จะนำไปทำการคาร์บอนไนซ์เซชันเป็นขั้นตอนต่อไป

2. การทำให้เป็นถ่านหรือการคาร์บอนไนซ์เซชัน (carbonization)

การคาร์บอนไนซ์เซชัน เป็นกระบวนการไพโรไลซิส(pyrolysis) รูปแบบหนึ่งที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปของชาร์(char) ที่เป็นของแข็งมากกว่าน้ำมันทาร์(tar) และแก๊สออก กล่าวได้ว่าการคาร์บอนไนซ์เซชันเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้สูงขึ้นทำได้ง่ายโดยการเผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 200–500 องศาเซลเซียส

ปฏิกิริยาไพโรไลซิสต้องการความร้อนทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ได้จากการ ออกซิเดชัน เพียงบางส่วนหรือจากปฏิกิริยาอื่นๆที่เกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งในปัจจุบัน กระบวนการสลายตัวทางความร้อนในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อย หรือ ในที่มีการถ่ายเทความร้อนให้ เกิดการไพโรไลซิสโดยตรงจากการเผาไหม้บางส่วนของชาร์ และแก๊ส กระบวนการแปรรูปโดยความร้อนได้แก่ไพโรไลซิสแก๊สซิฟิเคชัน (gasification)และการเผาไหม้โดยแผนภาพอธิบายกระบวนการเหล่านี้ไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของชีวมวล

คาร์บอนซีเซชัน เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์เพราะเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของการทำให้โครงสร้างมีรูพรุนโดยทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมีของสาร ที่ไม่ใช่คาร์บอน (เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน) ออกมาในรูปของแก๊ส คาร์บอนอิสระที่มี อยู่จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของถ่านชาร์ ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอนซีเซชันควรมีลักษณะ ดังต่อไปนี้

- มีสีดำตลอด (uniformly black)
- เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา (shiny surface)
- ปลายที่หักจะแหลมคม (sharp)
- ปราศจากผงฝุ่นและซีเถ้า

ถ่านชาร์ที่ได้จากขั้นตอนการคาร์บอนซีเซชันนี้มีความสามารถในการดูดซับต่ำเพราะว่าการทำให้เกิดถ่านชาร์จะใช้อุณหภูมิประมาณ 400–500 องศาเซลเซียส ซึ่งยังคงมีน้ำมันทาร์ตกค้างอยู่ในช่องว่าง (pore) หรือเกาะอยู่ตามผิวจึงจำเป็นต้องนำถ่านนี้ไปผ่านกระบวนการพัฒนาโครงสร้างไปในทิศทางเดียวกับการเกิดคาร์บอนซีเซชันหรือก็คือการทำการกระตุ้นนั่นเอง

วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยเฉพาะวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำนั้นต้องการคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

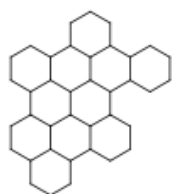
- สารระเหยต่ำ
- ค่าคาร์บอนคงตัวสูง
- มีความพรุนสูง
- มีความแข็ง ไม่เปราะ ทนต่อการขัดสี

ซึ่งในธรรมชาติไม่พบคุณสมบัติที่ต้องการทั้งหมดดังนั้นการทำการคาร์บอนซีให้เกิดการสลายตัวด้วยความร้อนเป็นการไล่ทาร์แล้วเป็นโค้ก การคาร์บอนซีเซชันให้ได้ถ่านที่มีคุณสมบัติที่ต้องการทำได้โดยปรับสถานะของปฏิกิริยาไพโรไลซิสให้เหมาะสมโดยมีตัวแปรที่สำคัญคือ

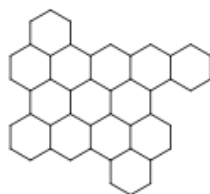
ก. อุณหภูมิของการคาร์บอนซีเซชัน

กระบวนการคาร์บอนซีเซชัน เป็นการกลั่นสลายของสารอินทรีย์เพื่อเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนของสารอินทรีย์ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและแก๊สออกมาด้วยโดยจะเกิดการหักออกตรงบริเวณที่มีพันธะอ่อนหรือหมู่ที่หลุดออกง่ายทำให้กลุ่มโมเลกุลวงแหวนแตกออกจากกันเป็นกลุ่มๆ จำนวนมากโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือกลายเป็นโครงสร้าง

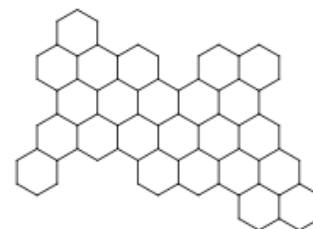
ของถ่านชาร์โดยการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เผา ดังภาพที่ 3 ส่วนโครงสร้างโมเลกุลหรือหมู่ที่มีขนาดเล็กกว่าจะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เช่น น้ำแอมโมเนีย น้ำมันทาร์ และแก๊สต่างๆ



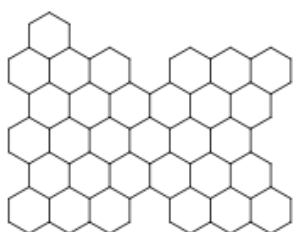
(a) 400 °C



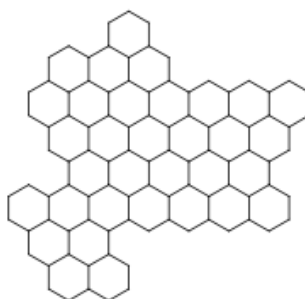
(b) 510 °C



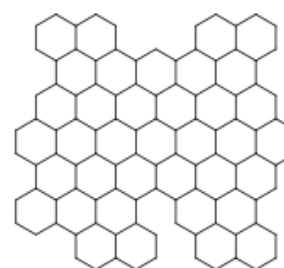
(c) 610 °C



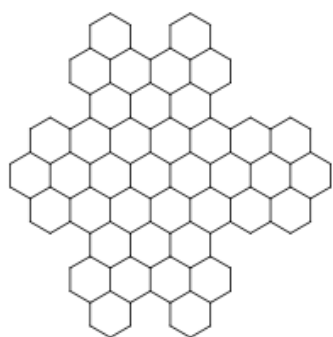
(d) 700 °C



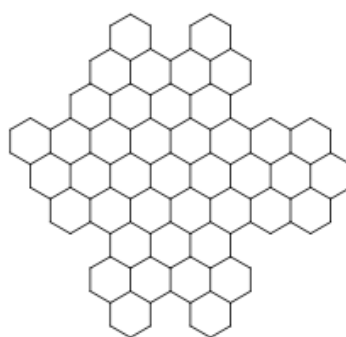
(e) 800 °C



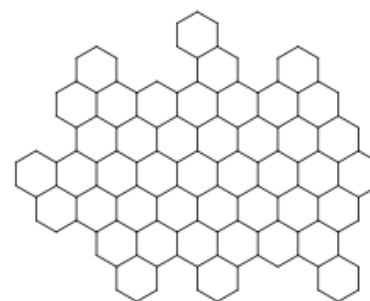
(f) 900 °C



(g) 1,000 – 1,100 °C



(h) 1,200 °C



(i) 1,300 °C

รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมตามอุณหภูมิที่เผา

สิ่งสำคัญที่สุดของกระบวนการนี้คืออุณหภูมิสุดท้ายของการคาร์บอไนซ์เซชันเพราะมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะเคมีในวัสดุที่ออกมา เป็นสารระเหยที่อุณหภูมิสูง ถ่านชาร์จะมีการจัดระเบียบของโครงสร้างมากกว่า เช่น ถ่านหินเกรดสูงจะหดตัวมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการคาร์บอไนซ์เซชันเป็นผลทำให้ปริมาตรทั้งหมดของรูพรุนเล็กๆ ที่เกิดขึ้นในชั้นแรกของการคาร์บอไนซ์ลดลงและเม็ดถ่านหินมีความแข็งมากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่า ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เซชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เซชันที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งการลดลงของความว่องไวในการทำปฏิกิริยาจะมากขึ้นเมื่อค่าคาร์บอนคงตัวลดลง

ข. อัตราการให้ความร้อน

ผลกระทบของอัตราการให้ความร้อนเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อปริมาณและองค์ประกอบของสารระเหยที่ได้จากการไพโรไลซิสแต่เดิมสภาวะในการให้ความร้อนถูกแบ่งด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียสต่อวินาทีอันเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารระเหยอย่างรวดเร็ว ถ้าอัตราการให้ความร้อนสูงปริมาณสารระเหยจะถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็วผลก็คือจะได้ถ่านที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่าเนื่องจากถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เซชันด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูงคาร์บอนจะเรียงตัวกันเป็นระเบียบน้อยทำให้เกิดช่องว่างมากเป็นรูพรุนขนาดใหญ่เมื่อทำปฏิกิริยากระตุ้น ตัวกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

ค. ตัวกลางของปฏิกิริยา (medium of reaction)

ตัวกลางของปฏิกิริยาจะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาถ้าแก๊สและไอที่เกิดระหว่างการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็วโดยแก๊สที่เป็นตัวกลาง เช่น แก๊สไนโตรเจน(เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเผาไหม้ของคาร์บอน)และแก๊สจากการเผาไหม้ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ปริมาณที่เป็นถ่านจะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่าพบว่าการคาร์บอไนซ์เซชัน โดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในเตาเผาแบบฟลูอิดไธซ์เบดจะใช้พลังงานต่ำเพราะความร้อนจากการเผาไหม้ของสารระเหยจะให้ความร้อนกับเตาฟลูอิดไธซ์เบดจุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการคาร์บอไนซ์เซชันก็เพื่อให้ได้ถ่านที่มีรูพรุนและการจัดเรียงของคาร์บอนอะตอมให้เป็นระเบียบมากกว่าวัสดุซึ่งปัจจัยทั้งสองมีผลต่อความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้น

การคาร์บอไนซ์เซชันจะมีการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ 2 ช่วง คือ ช่วงอ่อนตัว(softening period) และช่วงหลังการอ่อนตัว(after softening period) ในช่วงการอ่อนตัวควรให้ความร้อน

ด้วยอัตราที่ต่ำ เพื่อให้แก๊สหลุดออกมาจากโพรงภายในได้โดยไม่สลายตัวหรือ เปลี่ยนรูปเป็นของแข็งอุดแน่นภายในโพรง

3. การกระตุ้น (activation)

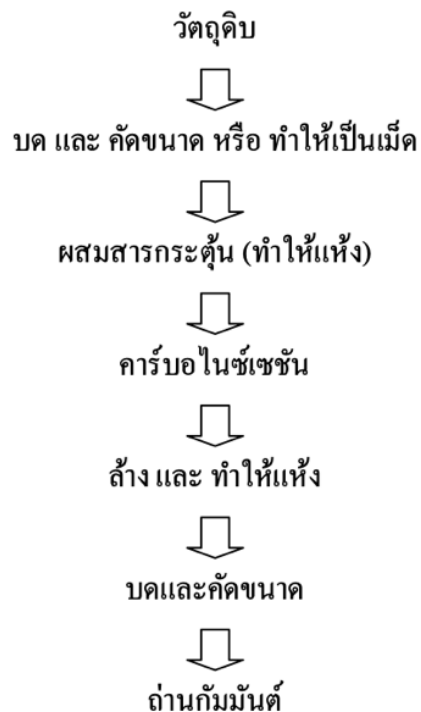
การกระตุ้นคือการทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวมีความว่องไวมากขึ้น โดยกำหนดความหมายของการถูกกระตุ้นไว้ 3 ความหมาย คือ

- เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (active surface area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไปและเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน
- เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้วซึ่งหมายถึงทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้นโดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น
- เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่างๆซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ(activecenters)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากว่าวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธีและประสิทธิภาพในการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการอื่น ๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 ประเภท คือ

1) วิธีการกระตุ้นทางเคมี (chemical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอนโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมีนั้นแสดงดังรูปที่ 4 และ ข้อดีของวิธีนี้คือใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก (400-600 °C) แต่มีข้อเสียคือมีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวออกเพิ่มขึ้นรวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อนตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นแสดงในตารางที่ 1 สารเคมีที่นิยมใช้เป็นตัวกระตุ้นส่วนใหญ่เป็นสารดูดน้ำ (dehydrating agent) ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl₂) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นต้น

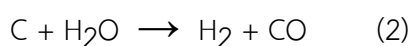
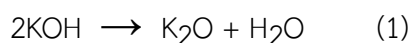


รูปที่ 4 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี

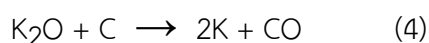
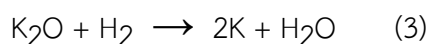
ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในการเตรียมถ่าน

ชนิดที่เป็นกรด	ชนิดที่เป็นด่าง	ชนิดที่เป็นเกลือ
กรดบอริก (H_3BO_3)	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	เฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_3$)
กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)	แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($CaCl_2$)	ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)
กรดไนตริก (HNO_3)	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	โพแทสเซียมซัลไฟด์ (K_2S)
กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)		โพแทสเซียมไทโอไซยาเนต (KSCN)
		แคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$)
		แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)

- การกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เมื่อนำเอาวัตถุดิบที่ต้องการทำเป็นถ่านกัมมันต์มาผสมกับสารละลายที่มีไอออนของโพแทสเซียมไอออนของธาตุดังกล่าวจะแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของวัตถุดิบเมื่อให้ความร้อนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนในวัตถุดิบกลไกของการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์พื้นที่ผิวสูงแสดงดังนี้



สมการ 1 และ 2 เป็นการสลายตัวของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นโพแทสเซียมออกไซด์(K₂O)และน้ำซึ่งเป็นสารทำให้คาร์บอนในถ่านหินเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน จากนั้นโพแทสเซียมออกไซด์ถูกรีดิวซ์ด้วยไฮโดรเจนหรือคาร์บอนกลายเป็นโลหะโพแทสเซียมดังสมการ 3 และ 4 ตามลำดับ



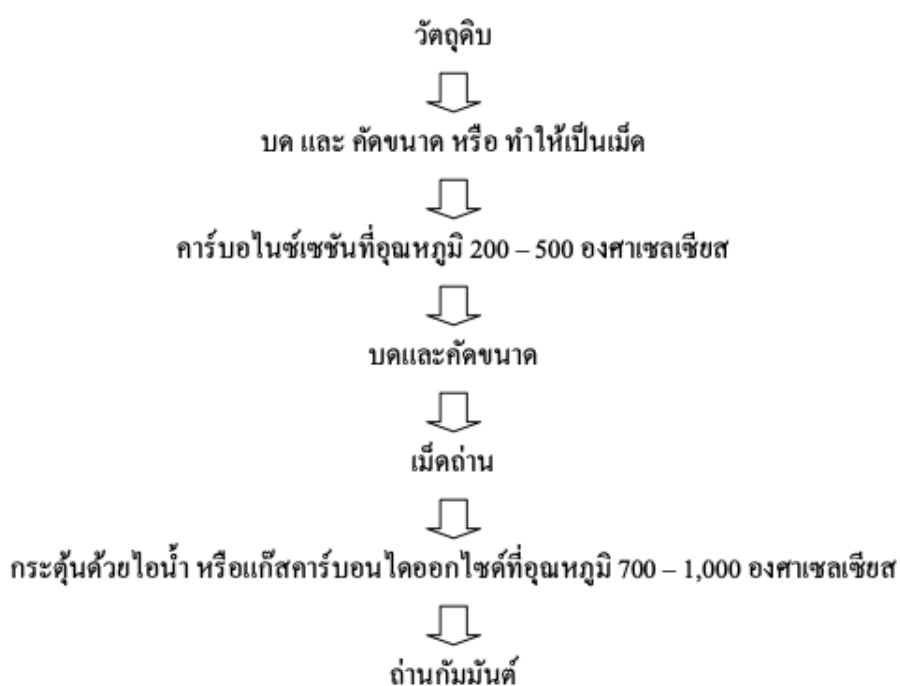
ที่อุณหภูมิสูงโพแทสเซียมเป็นโลหะที่อ่อนตัวจึงทำให้แทรกเข้าไปในชั้นของอะตอมคาร์บอนทำให้เกิดรูพรุนได้มากขึ้น

2) วิธีกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ฯลฯ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้นนิยมใช้แก๊สออกซิไดซ์ต่างๆ เช่น ไอน้ำอิมตัวยิ่งยวด(steam) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์(CO₂) แก๊สออกซิเจน(O₂) และอากาศ(air) เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อนปฏิกิริยาการกระตุ้นอาจเกิดจากความร้อนเพียงอย่างเดียวก็ได้แต่ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากถึง 1,200 องศาเซลเซียสแต่พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดซ์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ คือ

- ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ
- คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของแก๊สที่ใช้
- อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
- ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา

สำหรับข้อดีของการกระตุ้นทางกายภาพคือไม่มีสารเคมีตกค้างแต่มีข้อเสียคือต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าการกระตุ้นด้วยสารเคมี (700–1200 องศาเซลเซียส) ขั้นตอนการกระตุ้นทางกายภาพแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ

กระบวนการกระตุ้นคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิไดส์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ แพร่ออกจากผิว คาร์บอนเกิดแก๊สซิฟิเคชันบางส่วนของเม็ดถ่านเป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านจากการคาร์บอนไอซ์เซชัน ประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็ก ๆ จำนวนมากเกิดช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมรูพรุนนี้มักจะถูกบรรจุไว้ด้วยทาร์ ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนและถูกขวางด้วยคาร์บอนอสัณฐาน(amorphous carbon) การกระตุ้นจึงเป็นการเปิดรูที่ถูกปิดและสร้างรูใหม่ขึ้นมาด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอน

เป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ตัวทำปฏิกิริยาจะถูกส่งเข้ามาอบผิวของอนุภาคและแพร่เข้าไปในรู ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงขึ้นกับความเข้มข้นของตัวออกซิไดซ์ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิก็คือปัจจัยที่สำคัญของกระบวนการออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่ำอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างคาร์บอนกับตัวออกซิไดซ์จะต่ำ เป็นผลให้ได้รับรูพรุนที่ต้องการช้า ที่อุณหภูมิสูงเกินกว่าอัตราการแพร่ของตัวออกซิไดซ์เข้าไปในอนุภาคปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะเกิดที่ผิวนอกของอนุภาคทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนโดยไม่ทำให้เกิดรูพรุน

อัตราเร็วของกระบวนการออกซิเดชันถูกกำหนดโดยความว่องไวในการทำปฏิกิริยาของถ่านกับตัว ออกซิไดซ์ ถ้าความว่องไวสูงก็จะทำให้อุณหภูมิต่ำพบกว่าถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ถ่านหินซับพิทูนินส์ใช้อุณหภูมิต่ำกว่าถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์แอนทราไซต์ เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการออกซิไดซ์ของคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และออกซิเจน พบว่าออกซิเจนจะมีความสามารถสูงที่สุด โดยที่คาร์บอนไดออกไซด์มีความสามารถต่ำที่สุด

2.5 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์เซชันมีความพรุนมากขึ้นเนื่องจากการสูญเสียสารประกอบระหว่างช่องของผลึกคาร์บอนรูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับการกระตุ้นที่เหมาะสมคือการทำเพิ่มความพรุนมากขึ้นไม่ใช่ขนาดของรูใหญ่ขึ้นเมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์จะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแตกต่างกันรูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและความลึกไม่สม่ำเสมอลักษณะของรูปร่างของรูนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอน บางรูมีลักษณะเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง บางครั้งเป็นรูปตัววี ได้จำแนกชนิดของรูพรุนตามขนาดรัศมีของรูพรุนออกเป็น

- ก. แมคโครพอร์(macropores) รัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 1,000– 2,000 อังสตรอมปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2–0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมพื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัมซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่นดังนั้นแมคโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับเป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูที่เล็กกว่า

- ข. มีโซพอร์(mesopores) หรือทรานซิชันนัลพอร์ (transitional pores) ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 15–2,000 อังสตรอมปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1–0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20–100 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นมีโซพอร์ได้แก่ ซิลิกาเจล (silica gels) อะลูมินาเจล (alumina gels) อะมิโนซิลิเกตคะตะลิสต์ (aminosilicate catalyst)
- ค. ไมโครพอร์(micropores) ขนาดรัศมีรูน้อยกว่า 15–16 อังสตรอม ปริมาตร 0.2–0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมพื้นที่ผิวจำเพาะมากโดยมีค่าหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัมไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับเนื่องจากพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับ(adsorption energy) มากที่สุดทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นมากที่ความดันต่ำ ๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ซึ่งเชื่อว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาดหรือที่เรียกกันว่า การกระจายขนาดของรูพรุน (pore size distribution) จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และวิธีการกระตุ้นตัวอย่างของตัวดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นไมโครพอร์คือซีโอไลต์ (zeolite)

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ส่วนมากประกอบด้วยรูพรุนกระจายกระจาย โครงสร้างที่มีแมโครพอร์ มีโซพอร์ และไมโครพอร์ เรียกว่า โครงสร้างผสม(mixed structure type) พบว่าแมโครพอร์เป็นเพียงทางเปิดสู่ผิวภายนอกอนุภาคมีโซพอร์เป็นกิ่งออกมา จากไมโครพอร์อีกทีหนึ่ง

โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 200 – 300 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม สำหรับรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีผลต่อการดูดซับจะมีประมาณร้อยละ 90– 95 ของพื้นที่ทั้งหมดนอกจากนี้ยังพบว่าความจุในการดูดซับยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวด้วยกล่าวคือถ้าบริเวณผิวของถ่านเป็นเพียงระนาบพื้นฐาน(bisalplanes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ การดูดซับจะเกิดแรงแวนเดอร์วาลส์ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่ค่อนข้างอ่อน แม้ว่าจะดูดซับได้ แต่ก็มีโอกาสที่จะหลุดออกง่าย แต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชันการดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแรง โอกาสที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่าหมู่ฟังก์ชันบริเวณผิวถ่านกัมมันต์มี 2 ชนิด คือ พวกออกไซด์ของกรดซึ่งพบมากในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตที่อุณหภูมิต่ำกว่า 400 – 500 องศาเซลเซียส และพวกออกไซด์ของด่าง ซึ่งพบมากในถ่านที่ผลิตที่อุณหภูมิประมาณ 800 – 1,000 องศาเซลเซียส

ลักษณะสมบัติ	ชื่อการค้า			
	Darco	Calgon	Westvaco	Witco
	GAC	Filtrisorb	Nuclar	517
	20 - 40	300	WV-L	517
	mesh	(8 x 30)	(8 x 30)	(12 x 30)
พื้นที่ผิว, m ² /g (BET)	650	950 – 1,050	1,000	1,050
ความหนาแน่นปรากฏ, g/cm ³	0.40	0.48	0.48	0.48
ความหนาแน่นของการไหลย้อนกลับ, lb/Cu.ft	22.5	26	26	30
ความหนาแน่นจริง, g/cm ³	*	2.1	2.1	2.1
ความหนาแน่นของอนุภาค, g/cm ³	*	1.3 – 1.4	1.4	0.92
ขนาดประสิทธิภาพ	0.5	0.8 – 1.0	0.85 – 1.05	0.89
สัมประสิทธิ์ความคงตัว	1.3	< 1.9	< 1.8	1.44
ปริมาตรโพรง	0.95	0.85	0.85	0.60
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย, mm	0.7	1.5 – 1.7	1.5 – 1.7	1.2
ร้อยละสูงสุดเมื่อผ่านตะแกรงร่อน				
ใหญ่กว่าเบอร์ 8 (%)	-	15	8	-
ใหญ่กว่าเบอร์ 12 (%)	10	-	-	5
เล็กกว่าเบอร์ 30 (%)	-	4	5	5
เล็กกว่าเบอร์ 40 (%)	5	-	-	-
ไอโอดีนนัมเบอร์ (mg/g)	600	900	950	1,000
แอมบราชันนัมเบอร์	*	78	70	85
เถ้า (%)	0.4	8	7.5	0.5
ความชื้นสูงสุด (%)	12	2	2	1

* = ไม่มีข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

- = ไม่มีถ่านที่ผ่านตะแกรงร่อน

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์บางชนิดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

2.6 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์

จากกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชันอะตอมต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนเช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จะถูกกำจัดออกในรูปของแก๊สอะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงหกเหลี่ยม(aromaticring) เชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบและเกิดช่องว่างหรือโพรงซึ่งจะเป็นที่อยู่ของพวกทาร์และสารอื่นที่ได้จากการเผาผลาญช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การกระตุ้น โดยการล้างพวกทาร์และสารต่าง ๆ ที่ได้จากการเผาผลาญออกจากช่องว่างหรือโพรง และ สร้างหมู่ฟังก์ชันนัล ขึ้นมาแทนความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จึงเป็นผลสืบเนื่องมาจากโครงสร้างทางเคมีด้วย

ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เกิดจากอิเล็กตรอนอิสระซึ่งอยู่ในสภาพที่ไม่เสถียร คือ วาเลนซ์ไม่อิ่มตัว(unsaturated valencies) จึงพยายามที่จะเกาะกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่น เช่น ออกซิเจนในอากาศหรืออะตอมต่าง ๆ ที่อยู่ในสารตั้งต้น กระบวนการกระตุ้นจะช่วยให้การเกาะของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมอื่นกลายเป็นพันธะเคมีที่แข็งแรงมักจะเกิดกับอะตอมคาร์บอนที่อยู่ที่ขอบของวงหกเหลี่ยม ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแบบทางเคมี (chemisorption) กับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400–500 องศาเซลเซียสและกลายเป็นสภาพเป็นออกไซด์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นนอกจากนี้พบว่ายังสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับอะตอมไฮโดรเจนซึ่งจะไม่หลุดออกมาแม้จะใช้อุณหภูมิสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส และสามารถดึงอะตอมไนโตรเจนออกจากโมเลกุลแอมโมเนียและซัลเฟอร์ออกจากโมเลกุลไฮโดรเจนซัลไฟด์และดึงอะตอมกลุ่มฮาโลเจน (halogen) ออกจากโมเลกุลฮาโลเจนทั้งที่อยู่ในสภาพแก๊สหรือของเหลวก็ได้จึงเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันนัลต่าง ๆ บนผิวของถ่านกัมมันต์แต่ที่สำคัญคือผิวที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนและออกซิเจน หรือที่เรียกว่าผิวออกไซด์

2.7 การประเมินและการเลือกใช้ถ่าน

ในการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจำเป็นที่จะต้องมีการเลือกถ่านที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานแต่ละประเภทโดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียหรือน้ำทิ้งตลอดจนความสะดวกในการควบคุมระบบบำบัด ฯลฯ ลักษณะสมบัติของถ่านที่เป็นตัวกำหนดการใช้งาน ได้แก่

- พื้นที่ผิว (surface area)
- ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density)
- ความหนาแน่นหลวม (bulk density)
- ขนาดการใช้งาน (effective size)
- เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (mean particle diameter)
- สัมประสิทธิ์ของความเสมอกัน (uniformity coefficient)
- ปริมาตรรูพรุน (porevolumn)
- การวิเคราะห์ขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อน (sieve analysis)
- ค่าความคงทนต่อการขัดสี (abrasion number)
- ปริมาณร้อยละของเถ้า (%ash)
- ความชื้น (moisture)
- ไอโอดีนัมเบอร์ (iodine number)
- โมลาสนัมเบอร์ (molass number)
- ขนาดของรูพรุน (poresize)

2.8 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละอุตสาหกรรมจะแตกต่างกันไปตัวอย่าง เช่น

- ก. ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดซับแก๊สหรือไอ
- ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้าที่ปกป้องกันแก๊สพิษ ทั้งที่ใช้ในการทหารและที่ใช้กันทั่วไปทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษและไอของสารอินทรีย์ได้
 - ใช้แยกแก๊สโซลีนออกจากแก๊สธรรมชาติ
 - ใช้แยกเบนซีน (benzene) ออกจากแก๊สอุตสาหกรรม

- ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้องและคายออกที่ความดันของไอต่ำ ๆ เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย การหมักอุตสาหกรรมพลาสติก ผลิตภัณฑ์ยาง เป็นต้น
- กำจัดสิ่งเจือปนออกจากแก๊ส เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีน แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น
- กำจัดสารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ (organic sulfur) เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์และสิ่งเจือปนอื่น ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม
- กำจัดกลิ่นในอากาศ ในเครื่องปรับอากาศ ทำให้กลิ่นเหม็นลดน้อยลง
- ใช้ดูดกัมมันต์ภาพรังสีออกมาจากปฏิกริยานิวเคลียร์

ข.ประเภทที่ใช้กับของเหลว (ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น

- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาลเพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น
- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภคนอกจากใช้ในการฟอกสีแล้วยังใช้ในการแยกเอาสบู่และเปอร์ออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันด้วย
- แยกสิ่งเจือปนจากผลิตภัณฑ์อาหารเช่น เจลาติน น้ำส้มเพ็กติน ซีอิกโกแลต น้ำผลไม้ เพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร
- ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องตีแม่เหล็กอลกอฮอล์ เช่น ไวนิล วิสกี มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ เช่น เอสเทอร์ทำให้ได้เครื่องตีแม่เหล็กที่ดีขึ้น
- ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและยาเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนในยาและเคมีภัณฑ์ อื่น ๆ เช่น สเตรปโตมัยซิน (streptomycin) คาเฟอีน (caffeine) โซเดียมอะซิเตท (sodium acetate) รวมทั้งกรดต่าง ๆ ในการบำบัดน้ำเสีย
- ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์เป็นการกำจัดสีรสและกลิ่นนอกจากนี้ยังใช้
- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือพาสารเร่งปฏิกิริยา(catalyst carrier) เช่นตัวพาสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน(hydrogenation) เป็นตัวรองรับสารเร่งปฏิกิริยา(catalyst support) สำหรับซิงค์อะซิเตท(zinc acetate) ในโรงงานผลิตไวนิลคลอไรด์ (vinyl acetate)
- ใช้ในทางการแพทย์ เช่น ให้อาณูดูดซับบนถ่านกัมมันต์ ยาจะค่อยๆ ออกฤทธิ์โดยมีความเข้มข้นสม่ำเสมอ ตัวอย่าง คือ ไฮโดรซิลอะมิโนฟีนิลาโซนิคแอซิด(hydroxyl aminophenylarsonic acid)

สำหรับรักษาโรคที่เกิดจากการติดเชื้ออะมีบา และพาราไซต์ และยังใช้ดูดสารพิษจากผู้ที่กินยาเกินขนาด หรือกินยาพิษ นอกจากนี้ยังใช้รักษาอาการมีแก๊สมากในกระเพาะอาหารอีกด้วย

2.9 ถ่านหิน

2.9.1 ประเภทของถ่านหิน

เกณฑ์ในการจำแนกประเภทของถ่านหินนั้นมีความสัมพันธ์กันกับลำดับขั้นของกระบวนการเกิดถ่านหินซึ่งทำให้ถ่านหินแต่ละประเภทมีช่วงเวลาในการเกิดและคุณภาพที่แตกต่างกันการกำหนดคุณสมบัติที่ใช้ในการจำแนกประเภทของถ่านหินนั้นพิจารณาได้จากปริมาณหรือค่าความเข้มข้นของค่าความร้อน (Calorific Value) ความชื้น (Moisture) เถ้า (Ash) สารระเหย (Volatile matter) และค่าคาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) ดังนี้

- 1) พีต เป็นถ่านหินที่เกิดขึ้นในกระบวนการแรกของการเกิดถ่านหิน พีตเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำที่สุดพีตประกอบด้วยซากพืชและซากสัตว์ซึ่งสลายตัวไปแล้วบางส่วนมีลักษณะเป็นสีน้ำมัน มีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ มีปริมาณออกซิเจนและน้ำค่อนข้างสูงและใช้เป็นเชื้อเพลิงได้แต่ให้ค่าความร้อนต่ำและเมื่อเกิดการเผาไหม้(Combustion)แล้วจะเกิดควันมากจึงมักใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับคริวเรือในบางประเทศ
- 2) ลิกไนต์เป็นถ่านหินที่มีวิวัฒนาการมาจากพีต ลิกไนต์จึงยังคงมีซากพืชและ ซากสัตว์ หลงเหลืออยู่เล็กน้อยและอาจมีร่องรอยของเนื้อไม้อยู่บ้าง ลิกไนต์จึงจัดเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำมีปริมาณออกซิเจนและความชื้นค่อนข้างสูงทำให้ค่าความร้อนต่ำแต่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดีกว่าพีตเก็บไว้ไม่ได้นานและสามารถเกิดการเผาไหม้และติดไฟได้เอง(Self-ignition)จึงนิยมใช้ในโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม
- 3) ซับบิทูมินัสเป็นถ่านหินที่มีลักษณะสีดำคล้ายขี้ผึ้งให้ค่าความร้อนสูงกว่าลิกไนต์ สามารถที่จะแปรรูปไปเป็นเชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซได้และเกิดการเผาไหม้ติดไฟได้เองจึงนิยมใช้ ในโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรมเช่นเดียวกับลิกไนต์
- 4) บิทูมินัส เป็นถ่านหินที่มีคุณภาพสูงจึงใช้เวลาในการแปรสภาพค่อนข้างนานเนื้อแน่นแข็งและมีสีดำสนิทเป็นมันวาวไม่มีร่องรอยของเนื้อไม้ มีเถ้าต่ำเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วมีควันน้อยแต่ให้ค่าความร้อนสูงจึงเหมาะสำหรับนำไปผลิตเป็นถ่านโค้กและใช้ในอุตสาหกรรม ถลุงเหล็ก

- 5) แอนทราไซต์เป็นถ่านหินที่มีสีดำเป็นมันวาวมีความแข็งมากมีรอยแตกเว้าแบบก้อนหอย มีค่าคาร์บอนคงที่สูง ความชื้นต่ำ เกิดการเผาไหม้ติดไฟได้ยาก แต่ให้ค่าความร้อนสูงสุด ให้ระยะเวลาในการเผาไหม้ยาวนานและเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วมีควันน้อยมากจึงเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดีที่สุดในโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม

การจำแนกประเภทของถ่านหินตามลักษณะดังกล่าวข้างต้นนั้นพิจารณาได้จากชั้นของถ่านหินด้วยวิธีการทดสอบวัสดุของสมาคมอเมริกันASTM (American Society for Testing and Materials) ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับในระดับสากลโดยเป็นการพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ขีดจำกัดของค่าคาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon Limits: %) เปอร์เซ็นต์ของสารระเหย (Volatile matter: %) และค่าบี ทียู ต่อปอนด์ของขีดจำกัดของค่าความร้อน (Calorific Value Limits: Btu/lb) (ASTM International, 2015) ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3

ประเภทของถ่านหิน	ขีดจำกัดของค่าคาร์บอนคงที่ (%)	สารระเหย (%)	ขีดจำกัดของค่าความร้อน (Btu/lb)
แอนทราไซต์	86-98	2-14	-
บิทูมินัส	69-86	22-31	10,500-14,000
ซับบิทูมินัส	น้อยกว่า 69	มากกว่า 31	8,300-10,500
ลิกไนต์	น้อยกว่า 69	มากกว่า 31	6,300-8,300
พีต	ต่ำ	สูง	ต่ำ

ตารางที่ 3 การจำแนกประเภทของถ่านหินด้วยวิธีการทดสอบวัสดุของสมาคมอเมริกัน

นอกจากนี้ยังมีการจำแนกประเภทของถ่านหินตามมาตรฐานระบบระหว่างประเทศ (International system) โดยพิจารณาจากคุณลักษณะทางกายภาพของถ่านหิน ได้แก่ ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Moisture: %) ค่าความร้อนเป็นกิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (Calorific value: KCal/Kg) ค่าเปอร์เซ็นต์ของสารระเหย (Volatile matter: %) และค่าเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจากฐานที่ไม่คิดค่าความชื้นของปริมาณธาตุคาร์บอน (C: %) ออกซิเจน (O: %) และไฮโดรเจน (H: %) (สถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และส่งเสริมเทคโนโลยี, 2555) ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4

ประเภทของ ถ่านหิน	ความชื้น (%)	ค่าความร้อน (KCal/Kg)	สารระเหย (%)	ปริมาณธาตุ (% โดยน้ำหนักจากฐานที่ไม่คิดค่าความชื้น)		
				คาร์บอน	ออกซิเจน	ไฮโดรเจน
แอนทราไซต์	2-5	7,200-8,300	5-7	90-95	2-3	2-3
บิทูมินัส	5-10	5,830-8,300	20-40	80-90	10-15	4-5
ซับบิทูมินัส	28-30	5,500-6,500	40-45	75-80	15-20	5-6
ลิกไนต์	50-70	2,200-4,600	45-55	60-75	20-30	5-6

ตารางที่ 4 การจำแนกประเภทของถ่านหินตามมาตรฐานระบบระหว่างประเทศ

2.9.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหิน

การที่จะทราบว่าถ่านหินมีคุณสมบัติเป็นอย่างไรนั้นจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหินจึงถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของถ่านหินและการควบคุมคุณภาพของถ่านหิน การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหิน มี 2 วิธีคือ

1) การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis)

การวิเคราะห์โดยประมาณเป็นการวิเคราะห์แบบง่ายด้วยวิธีการเผาถ่านหินภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันเพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้น สารระเหย เถ้า และค่าคาร์บอนคงที่ ในถ่านหินโดยมุ่งเน้นคุณสมบัติในการเผาไหม้ การติดไฟได้เอง และการเกิดปริมาณเถ้าของถ่านหิน ดังนี้

2) ความชื้น (Moisture) ในถ่านหินจะมีความชื้นอิสระ (Free moisture) และ ความชื้นที่ติดแน่นอยู่ในเนื้อถ่านหิน (Inherent moisture) ซึ่งความชื้นอิสระเป็นความชื้นที่บอกให้ทราบว่าถ่านหินนั้นชื้นเกาะติดภาชนะหรือเครื่องมือทำให้การไหลโดยน้ำหนักของถ่านหินไม่ดี ในขณะที่ความชื้นที่ติดแน่นอยู่ในเนื้อถ่านหินเป็นความชื้นที่ยังคงเหลืออยู่หลังจากไล่ความชื้นอิสระออกไปแล้ว จึงเป็นความชื้นที่ไม่มีคุณค่าทางความร้อนและการเผาไหม้

3) สารระเหย (Volatile matter) เป็นร้อยละของน้ำหนักของถ่านหินที่สูญเสียไปหลังจากหักค่าความชื้นของถ่านหินออกไปแล้วองค์ประกอบของถ่านหินที่สลายตัวง่ายจะระเหย ออกมา ดังนั้นเมื่อถ่านหินได้รับความร้อนแล้วสลายตัวจะต้องประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ ก๊าซ น้ำมัน ทาร์ และของเหลวใสที่มีแอมโมเนีย (Ammonia liquor) รวมถึงน้ำจากการแตกตัวของ

โมเลกุลที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ(Hydrate) ซึ่งไม่ใช่ความชื้นอิสระ สารระเหยนี้จึงมีความสำคัญมากในการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหินเนื่องจากส่วนประกอบของสารระเหยจะมีปริมาณ แตกต่างกันไปตามประเภทและอายุของถ่านหิน

- 4) เถ้า (Ash) เป็นแร่ธาตุต่างๆที่เหลือจากการเผาไหม้ถ่านหินหลังจากส่วนที่เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้หมดไปแล้วดังนั้นปริมาณของเถ้าที่เหลือจึงมีความสำคัญต่อการพิจารณาซื้อขายถ่านหิน เนื่องจากค่าความร้อนที่ได้จากถ่านหินสามารถประมาณได้จากปริมาณเถ้า(Ash content) ที่เหลือสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าทำได้โดยนำถ่านหินไปบดให้ละเอียด แล้วส่งเข้าเตาเผาไหม้ที่มีอากาศเพียงพอซึ่งการเผาไหม้จะเกิดได้อย่างสมบูรณ์ ความร้อนในเตาเผาไหม้จะช่วยทำให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ทางเคมีเปลี่ยนสภาพของแร่ธาตุ (Mineral matter) ที่มีอยู่ในถ่านหินให้เป็นแร่ธาตุในรูปออกไซด์ของโลหะหลายๆชนิดดังนั้นคุณภาพของถ่านหินจึงอาจพิจารณาได้จากองค์ประกอบของธาตุต่างๆที่มีอยู่ในเถ้าซึ่งประกอบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาหรืออะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ไอออนออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) โพแทสเซียมออกไซด์(K_2O)และซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO_3) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบ เถ้าของถ่านหินนั้นปัจจุบันใช้เครื่องวัดการเรืองแสงของรังสีเอกซ์ (X-rayfluorescence spectrometer) ในการคำนวณส่วนประกอบของธาตุต่าง ๆ ออกมาเป็นร้อยละ
- 5) ปริมาณค่าคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon content) เป็นของแข็งที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่โดยเหลืออยู่ในถ่านหินหลังจากการเผาไหม้ซึ่งจะประมาณได้จากร้อยละที่เหลืออยู่หลังจากหักค่าความชื้นสารระเหยและปริมาณเถ้าออกไป
- 6) ปริมาณกำมะถัน (Sulfurcontent)และค่าความร้อน(Heatingvalueหรือ Calorific value) เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วกำมะถันจะติดไฟได้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) พร้อมกับให้ค่าความร้อนออกมาก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นมลสารที่จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารกัดกร่อนหากถ่านหินมีปริมาณกำมะถันสูงแล้วอาจทำให้เกิดการอุดตันและการกัดกร่อนของทางเดินก๊าซของเตานอกจากนี้ไอเสียที่มีกำมะถันมากยังก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมทางอากาศ สำหรับค่าความร้อนที่ได้มาจากการเผาไหม้ของถ่านหินมี 2 ชนิด คือ ค่าความร้อนรวม(Gross HeatingValue:GHV)เป็นความร้อนแฝงของน้ำที่เรียกว่าค่าความร้อนสูง

(High Heating Value: HHV) และค่าความร้อนที่ไม่รวมค่าความร้อนแฝงของน้ำ เรียกว่า ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value: LHV)

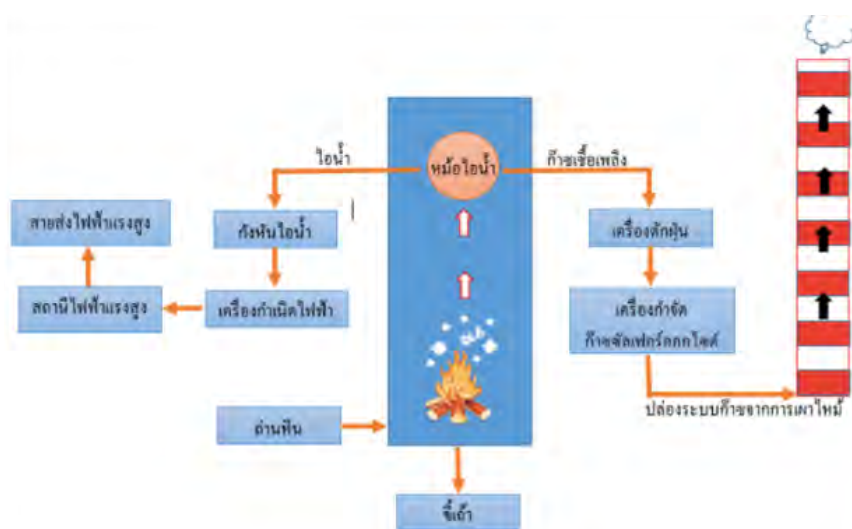
2.9.3 แหล่งถ่านหินในประเทศไทย

ประเทศไทยมีปริมาณถ่านหินสำรองภายในประเทศมากกว่า 2,000 ล้านตันซึ่งเป็นปริมาณสำรองที่ประเมินแล้ว (Measured reserve) ประมาณ 1,000 ล้านตัน แหล่งถ่านหินส่วนใหญ่ของประเทศไทยอยู่ที่ภาคเหนือซึ่งเป็นแหล่งถ่านหินที่มีลำดับชั้นของถ่านหินประเภทถ่านหินลิกไนต์จนถึงบิทูมินัส ส่วนถ่านหินประเภทแอนทราไซต์มีปริมาณอยู่เพียงเล็กน้อยมาก และพบได้ในพื้นที่จังหวัดเลยเท่านั้น ส่วนใหญ่แหล่งถ่านหินที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ของประเทศไทยจากอดีตจนถึงปัจจุบันนั้นมาจากเหมืองแม่เมาะ ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปางโดยจัดเป็นถ่านหินลิกไนต์ที่มีคุณภาพต่ำค่าความร้อนไม่สูงมากนอกจากนี้ยังมีแหล่งถ่านหินที่ดำเนินการผลิตโดยบริษัทเอกชนซึ่งส่วนใหญ่เป็นถ่านหินที่มีคุณภาพที่ดีกว่าแต่ปัจจุบันปริมาณสำรองถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ ของบริษัทเอกชนเหลือน้อยมาก การผลิตถ่านหินจากภาคเอกชนในประเทศจึงมีน้อยมาก ส่วนใหญ่แล้วจึงเป็นการผลิตเพื่อใช้ประโยชน์ในกิจการของตนเองเท่านั้น แหล่งถ่านหินที่สำคัญของประเทศไทยมีทั้งหมด 7 แหล่ง ได้แก่

- 1) แหล่งแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- 2) แหล่งแม่ตึบ อำเภอองาว จังหวัดลำปาง
- 3) แหล่งบ้านป่าคา อำเภอเถิน จังหวัดลำพูน
- 4) แหล่งบ้านปู้ อำเภอเถิน จังหวัดลำพูน
- 5) แหล่งเวียงแหง อำเภอเวียงแหง จังหวัด เชียงใหม่
- 6) แหล่งกระบี่ อำเภอเหนือคลอง จังหวัดกระบี่
- 7) แหล่งสะบาย้อย อำเภอสะบาย้อย จังหวัดสงขลา

การใช้ถ่านซบิทูมินัสของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ส่วนที่เหลือจำนวนเล็กน้อยจึงจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งการเลือกใช้เชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้านั้นจะคำนึงถึงความคุ้มค่าที่มีต่อระบบเศรษฐกิจสังคม สุขภาพอนามัย และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นถ่านหินจึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า เนื่องจากมีปริมาณสำรองมากกว่าเชื้อเพลิงอื่นทำให้มีเสถียรภาพด้านราคาถึงแม้ว่าถ่านหินจะมีความสะอาดน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นแต่ก็มีการพัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัยโดยใช้เทคโนโลยีถ่านหิน

สะอาด (Clean coal technology) ซึ่งช่วยลดมลพิษ จากกระบวนการเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินซึ่งใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดนั้นแสดงดังภาพที่ 6



รูปที่ 6 ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินที่ใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐวิภา และคณะ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำเอาเมล็ดลำไยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง จากโรงงานผลิตลำไยอบแห้งในประเทศไทย มาศึกษาเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและลดปัญหาในการกำจัดทิ้ง ด้วยการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น เพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาวิธีการและภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยด้วยกระบวนการกระตุ้นทางเคมีแบบขั้นตอนเดียว โดยใช้อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อสารกระตุ้น คือ ซิงค์คลอไรด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผลการทดลอง พบว่า ภาวะการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่เหมาะสม คือ ที่ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเมล็ดลำไยต่อซิงค์คลอไรด์ เท่ากับ 1:2 และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที และที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเมล็ดลำไยต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1:3 และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด เท่ากับ 826.95 และ 839.62 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูสูงสุด เท่ากับ 225.65 และ 243.37 มิลลิกรัมต่อ กรัม และมีค่าพื้นที่ผิวสัมผัส เท่ากับ 1032.75 และ 1098.62 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพุนดลิส พบว่า ประสิทธิภาพในการ กำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่สามารถกำจัดได้สูงสุด ที่

ค่าพีเอช เท่ากับ 7 ซึ่งมีค่า เท่ากับ 67.08 และ 67.85 ตามลำดับ และค่าคงที่ความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดติดผิว โครเมียม (K) ของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ และโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 2.917 และ 3.144 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และค่า $1/n$ เท่ากับ 0.45 และ 0.47 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า

Hardianti และคณะ ได้ทำการศึกษาการนำถ่านหินแอนทราไซต์และถ่านหินซับบิทูมินัสมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยเฉพาะการใช้เป็นตัวดูดซับของโลหะหนักอันตรายในน้ำที่ทิ้งที่ออกมาจากเหมืองแร่ ถ่านหินจะถูกกระตุ้นทางกายภาพ และทางเคมีในอุณหภูมิและขนาดอนุภาคที่ต่างกันโดยทำเพื่อผลิตให้ได้ตัวดูดซับที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้จริง การวิเคราะห์แบบ proximate และ ultimate ได้ผลว่าแอนทราไซต์มีปริมาณคาร์บอนคงที่ 88.91% ในขณะที่ซับบิทูมินัส 49.05% ในการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กระตุ้น ที่อุณหภูมิ 400-500 °C และในการกระตุ้นทางกายภาพที่อุณหภูมิ 800-1000 °C จากการผลการวิเคราะห์ Iodine number ยืนยันว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีความสามารถในการดูดซับสูง ผลการวิเคราะห์ SEM ยืนยันว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีคุณภาพตามมาตรฐาน SNI และสามารถเป็นตัวดูดซับในการบำบัดน้ำที่มีฤทธิ์กรดได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในงานวิจัย

1. ถ่านหินซับบิทูมินัสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-5 มิลลิเมตร

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
2. แคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)
3. แก๊สไนโตรเจน
4. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
5. น้ำกลั่น

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องปฏิกรณ์ชนิดเบตนิ่ง (Fixed Bed Tubular Reactor)
2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller)
3. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ชนิด K
4. แผ่นแรย์ยีนความหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร
5. เครื่องบดละเอียด
6. ชุดเครื่องกรองสุญญากาศและกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40
7. เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง
8. เครื่องแก้วอื่น ๆ ในห้องปฏิบัติการ
9. ตะแกรงร่อนเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว ขนาด 250 ไมโครมิลลิเมตร (60 Mesh) ตามมาตรฐาน ASTM E11
10. ตู้อบสารควบคุมอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส
11. ตู้ดูดควัน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. Thermo Gravimetric Analyzer (TGA) สำหรับ Proximate analysis
2. Surface area and Porosity analyzer ด้วยวิธี (BET)

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นซับบิทูมินัสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-5 มิลลิเมตร นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปบดด้วยเครื่องบดละเอียด จากนั้นนำไปคัดขนาดในตะแกรงร่อนเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว ขนาด 250 ไมโครมิลลิเมตร (60 Mesh) ก่อนจะนำผงซับบิทูมินัสที่ผ่านตะแกรงไปวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณต่าง ๆ จากเครื่อง TGA และก่อนทำการทดลองในขั้นตอนต่อไปจะต้องนำซับบิทูมินัสดังกล่าวมาอบแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.3.2.1 วิเคราะห์สมบัติโดยประมาณ (Proximate Analysis) ของซับบิทูมินัสเพื่อหาค่าดังต่อไปนี้

1. ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)
2. ปริมาณเถ้า (Ash)
3. ปริมาณความชื้น (Moisture)
4. ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3172-89

3.3.2.2 การกระตุ้น

สำหรับการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH)

1. ผสมซับบิทูมินัสผงละเอียดที่ได้จากข้อ 3.3.1 ปริมาณ 30 กรัมและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) บดละเอียดจากครกบดสาร 60 กรัม (อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก) ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. นำไปบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีตะแกรงรองอยู่ด้านล่างจากนั้นนำแผ่นใยหินมารองด้านบนตะแกรงเพื่อป้องกันการร่วงหล่นของสาร นำสารจากข้อ 1 ใส่เข้าไปใน

เครื่องปฏิกรณ์ แล้วต่อเทอร์โมคัปเปิลชนิดK เข้าทางด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ จากนั้นนำเครื่องปฏิกรณ์ไปใส่ลงในเตาเผาแบบท่อ ทำการต่อสายทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อเป็นทางเข้าของไนโตรเจนแก๊ส

3. เปิดการให้ความร้อนของเตาเผาแบบท่อด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที จากอุณหภูมิห้องไปจนถึงอุณหภูมิที่ศึกษาคือ 700, 750 และ 850 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจนไหลผ่านด้วยอัตราการไหล 200 มิลลิลิตรต่อ นาที เมื่อถึงอุณหภูมิที่จะศึกษาแล้วทำการจับเวลา 3 ชั่วโมง
4. เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วทำการปิดเครื่องเตาเผาแบบท่อแล้วทิ้งไว้ให้เย็น เพื่อทำการเก็บถ่านกัมมันต์ที่ได้ต่อไป
5. ต้มสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เมื่อสารละลายกรดเดือดปิดอุปกรณ์ให้ความร้อน นำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาล้างโดยการแช่ลงในสารละลายกรดตั้งทิ้งไว้ 15 นาที
6. ทำการแยกถ่านกัมมันต์ออกจากสารละลายกรดด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศและกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40 จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาล้างด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดหลายๆครั้งจนมีค่า pH เป็นกลาง แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงจากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มาเก็บไว้ให้เรียบร้อยรอการนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆต่อไป

สำหรับการกระตุ้นทางเคมีด้วยแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต(CaMg(CO₃)₂)

7. เตรียมซัพบิโทมินัสผงละเอียดที่ได้จากข้อ 3.3.1 ปริมาณ 30 กรัมและแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต (CaMg(CO₃)₂) 60 กรัม (อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก) ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
1. นำไปบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งที่มีตะแกรงรองอยู่ด้านล่างจากนั้นนำแผ่นใยหินมารองด้านบนตะแกรงเพื่อป้องกันการร่วงหล่นของสารนำสารจากข้อ 1 ใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์ แล้วต่อเทอร์โมคัปเปิลชนิดK เข้าทางด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ จากนั้นนำเครื่องปฏิกรณ์ใส่ลงในเตาเผาแบบท่อ ทำการต่อสายทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อเป็นทางเข้าของไนโตรเจนแก๊ส

1. เปิดการให้ความร้อนของเตาเผาแบบท่อด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที จากอุณหภูมิห้องไปจนถึงอุณหภูมิที่ศึกษาคือ 700, 750 และ 850 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจนไหลผ่านด้วยอัตราการไหล 200 มิลลิลิตรต่อ นาที เมื่อถึงอุณหภูมิที่จะศึกษาแล้วทำการจับเวลา 3 ชั่วโมง
 2. เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วทำการปิดเครื่องเตาเผาแบบท่อแล้วทิ้งไว้ให้เย็น เพื่อทำการ เก็บถ่านกัมมันต์ที่ได้ต่อไป
 2. ต้มสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เมื่อสารละลายกรดเดือดปิดอุปกรณ์ให้ความร้อน นำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาล้าง โดยการแช่ลงในสารละลายกรดตั้งทิ้งไว้ 15 นาที
 3. ทำการแยกถ่านกัมมันต์ออกจากสารละลายกรดด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศและ กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40 จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาล้างด้วยน้ำกลั่นต้ม เดือดหลายๆครั้งจนมีค่า pH เป็นกลาง แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มาเก็บไว้ให้เรียบร้อยรอ การนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆต่อไป
- 3.3.2.3 ทำการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ ดังนี้
1. นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปหาลอยละผลผลิตที่ได้ของผลิตภัณฑ์
 2. นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปหาสมบัติโดยประมาณด้วยเครื่อง Thermo Gravimetric Analyzer (TGA)
 3. นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิวรูพรุน Surface area and Porosity analyzer ด้วยวิธี BET และนำไปเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า

บทที่ 4

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเศษถ่านหินซบิพูมินัสที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและเพื่อศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยได้ทำการศึกษาถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมงภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนไหลผ่านด้วยอัตราเร็ว 200 มิลลิเมตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 700 750 และ 850 องศาเซลเซียส โดยจะวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้ดังนี้

1. ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์
2. องค์ประกอบโดยประมาณโดยเครื่อง Proximate Analysis
3. ค่าพื้นที่ผิว (Surface Area), ปริมาตรรูพรุน (Pore Volume), ขนาดของรูพรุนโดยเฉลี่ย (Average Pore Size) จะวัดค่าด้วยเครื่อง Specific surface area analyzer (BET)

4.1 ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 5 ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์จากซบิพูมินัสโดยกระบวนการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) โดยอัตราส่วนซบิพูมินัสต่อสารเคมีเป็น 1:2 โดยน้ำหนักทั้งสองสาร เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	ร้อยละผลผลิตถ่านกัมมันต์จากซบิพูมินัส	
	กระตุ้นด้วย KOH	กระตุ้นด้วย $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
700	31.17	60.83
750	29.33	58.33
850	21.83	49.17

ตารางที่ 5 แสดงร้อยละผลได้ (yield) ของถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ พบว่าร้อยละผลได้ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจากประมาณร้อยละ 30

เป็นร้อยละ 20 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่วนถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจากประมาณร้อยละ 60 เป็นร้อยละ 50 จาก 700 เป็น 850 องศาเซลเซียส เนื่องจากสารกระตุ้นชนิดเบสคือ โพแทสเซียมไดออกไซด์ และ แคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ที่จับกับ โครงสร้างถ่านชาร์ระหว่างการกระตุ้นสามารถระเหยได้อย่างรวดเร็วเมื่อทำการคาร์บอไนซ์ (เกศศิริ เหล่าวิชระ สุวรรณ,2552) การใช้สารกระตุ้นในปริมาณมากและทำการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียสาร กระตุ้นและสารระเหยได้จากโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ร้อยละที่ได้จึงลดลง

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate Analysis) ของถ่านกัมมันต์จากซับบิทูมินัส โดยกระบวนการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH)และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ที่ สภาวะต่าง ๆ

องค์ประกอบ	Subbituminous coal	กระตุ้นด้วย KOH อัตราส่วน 2:1			กระตุ้นด้วย $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ อัตราส่วน 2:1		
		700 °c	750 °c	850 °c	700 °c	750 °c	850 °c
ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)	33.94	11.7232	11.1718	8.6761	2.7667	7.9505	9.8319
ปริมาณเถ้า (Ash)	2.73	14.6036	9.2484	10.2853	16.0168	49.8950	40.5200
ปริมาณความชื้น (Moisture)	31.49	7.2735	8.9730	6.1193	2.7667	1.6534	1.7942
ปริมาณคาร์บอนคง ตัว (Fixed Carbon)	31.84	66.40	70.61	74.92	65.21	40.50	47.85

ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกระบวนการทางเคมี พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จะมีความชื้น และสารระเหย ได้ต่ำกว่าซับบิทูมินัส และมีคาร์บอนคงตัวและเถ้าสูงกว่าซับบิทูมินัส เนื่องจากการกระตุ้นซับบิทูมินัสด้วยกระบวนการทางเคมีจะทำให้อินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ใน โครงสร้างของซับบิทูมินัส หลุดออกหรือสลายตัวไปซึ่งเป็นการเพิ่มโครงสร้างรูพรุนให้กับถ่านกัมมันต์ เมื่อพิจารณา ถึงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ พบว่าความชื้น เถ้า และสารระเหยที่ได้ในถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแต่คาร์บอนคงตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

4.3 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์หลังจากผ่านกระตุ้น

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) อัตราส่วน 2:1

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	Surface Area (m ² /g) P/P0 =0.30	Pore Volum (cm ³ /g) P/P0=0.95	Average Pore Size (A°) 4v/A by BET
700	180	539.6069	0.304877	23.0027
750	180	315.9878	0.184260	23.9627
850	180	960.4472	0.532156	22.6837

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต (CaMg(CO₃)₂) อัตราส่วน 2:1

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	Surface Area (m ² /g) P/P0 =0.30	Pore Volum (cm ³ /g) P/P0=0.95	Average Pore Size (A°) 4v/A by BET
700	180	94.1699	0.077494	33.5349
750	180	198.5632	0.166909	34.4055
850	180	203.7493	0.154343	31.1117

ตารางที่ 7 และ 8 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต(CaMg(CO₃)₂) ที่อัตราส่วน 2:1 ตามลำดับ จากตารางจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพื้นที่ผิวจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมันจะทำให้มีความร้อนในการทำลายพันธะสูงบวกกับระยะเวลาที่ยาวนานให้กลายเป็นโครงสร้างที่มีรูพรุนมากขึ้น จากตารางจะสังเกตได้ว่าเมื่อกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH)และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต(CaMg(CO₃)₂) ที่ 850 องศาเซลเซียสจะให้ค่าพื้นที่ผิวมากที่สุดคือ 960.4472 m²/g และ 203.7493 m²/g ตามลำดับซึ่งถ้าถ่านกัมมันต์มีค่าพื้นที่ผิวมาก

จะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับสิ่งเจือปนต่าง ๆ ได้สูงเพราะว่าการดูดซับสารต่างๆจะผ่านตำแหน่งกัมมันต์ (Active site) บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นเมื่อถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมากจะทำให้มีตำแหน่งกัมมันต์มากส่งผลให้สามารถดูดซับสิ่งเจือปนได้มาก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากซบิพูมินัส โดยการกระตุ้นทางเคมีและสารเคมีที่กระตุ้นคือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ที่อัตราส่วนของซบิพูมินัสต่อสารเคมีเป็น 2:1 โดยทำการกระตุ้นในเครื่องปฏิกรณ์เบดนิ่ง (Fixed bed) เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมงภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนไหลผ่านด้วยอัตราเร็ว 200 มิลลิเมตรต่อนาที่ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากซบิพูมินัสโดยการกระตุ้นด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

จากการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากซบิพูมินัสโดยการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) พบว่าภาวะที่เหมาะสมคืออัตราส่วนของซบิพูมินัสต่อสารกระตุ้น KOH เป็น 2:1 ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ ปริมาณแฉ่ำร้อยละ 10.2853 และมีพื้นที่ผิวสัมผัสเป็น 960.4472 ตารางเมตรต่อกรัมและถ่านกัมมันต์ที่ได้นี้นั้นยังมีคุณสมบัติเพียงพอที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงเพื่อที่จำหน่ายในท้องตลาดเนื่องจากมีค่าพื้นที่ผิวสัมผัสอยู่ในช่วง 950-1050 ตารางเมตรต่อกรัม ตามคุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดดังแสดงในตารางที่ 2

5.1.2 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากซบิพูมินัสโดยการกระตุ้นด้วยแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)

จากการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากซบิพูมินัสโดยการกระตุ้นด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) พบว่าภาวะที่เหมาะสมคืออัตราส่วนของซบิพูมินัสต่อสารกระตุ้น $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ เป็น 2:1 ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ ปริมาณแฉ่ำร้อยละ 40.5200 และมีพื้นที่ผิวสัมผัสเป็น 203.7493 ตารางเมตรต่อกรัม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาและพิจารณาภาวะในการหาอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อสารเคมี อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการวิจัย เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย และเพื่อเป็นการพัฒนากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ให้มีต้นทุนต่ำ
2. ควรมีการศึกษาหารทดลองนำถ่านกัมมันต์จากซบิพูมินัสโดยการกระตุ้นทางเคมีไปใช้ประโยชน์ในการดูดติดพิวสารอื่น ๆ เช่น โลหะหนักที่อยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็น แคดเมียม ตะกั่ว หรือนิกเกิล หรือแม้กระทั่งก๊าซพิษเช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น
3. ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซบิพูมินัสด้วยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ เช่น การกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำ หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น เพื่อช่วยลดปัญหาในการล้างสารเคมีที่ตกค้างซึ่งอาจเป็นอันตรายได้
4. ควรศึกษาวิธีทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์อื่น ๆ เพิ่มเติมเช่น การทดสอบการดูดซับของไอโอดีน หรือแม้กระทั่งการดูลักษณะของถ่านกัมมันต์ผ่านเครื่อง scanning electron microscope (SEM)

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน. (ม.ป.ป.). พลังงานถ่านหินสะอาด.
[http://www.dede.go.th/ewt_w3c/ewt_news.php?nid=494&filename=.](http://www.dede.go.th/ewt_w3c/ewt_news.php?nid=494&filename=)
- [2] กระทรวงพลังงาน, กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ. (ม.ป.ป.). ถ่านหิน.
[https://dmf.go.th/public/list/data/index/menu/630/mainmenu/630/.](https://dmf.go.th/public/list/data/index/menu/630/mainmenu/630/)
- [3] ธารพงษ์ วิจิตรสานต์, ถ่านกัมมันต์การผลิตและการนำไปใช้, พิมพ์ครั้งที่ 2, ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, 2554
- [4] อนุรักษ์ จงรัก, การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย โดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์, วิทยานิพนธ์ (วท.ม.)--จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554
- [5] L. Yan, G.A. Sorial., Chemical activation of bituminous for hampering oligomerization of organic contaminants, Journal of hazardous materials, 197, (2011), 311-319
- [6] P. Yumee., Preparation of activated carbons with high surface area from wood charcoal powder by dry chemical activation, KCU Sci, 43, (2015), 788-798.
- [7] T. Kopac, Y. Kirca, A. Toprak., Synthesis and characterization of KOH/boron modified activated carbons from coal and their hydrogen sorption characteristics, International journal of hydrogen energy, 37, (2017), 23606-23616
- [8] Y. Sun, P.A. Webley., Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage, Chem Eng J, 162, (2010), 883-892.