สถาบันวิจัยและพัฒนา

เลขที่สัญญา R2560C084

สำนักหอสมุด

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของปริมาณตัวประสานโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีต่อถ่านอัดเม็ดของถ่านกัมมันต์จากเปลือกแมคคาเดเมีย

คณะผู้วิจัย
ผศ.ดร.นุชจิรา ดีแจ้ง
ผศ.ดร.ศิรินุช จินดารักษ์
นางสาวศกลรัตน์ จินดารักษ์

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 20 มิ.ย. 2562
เลขทะเบียน 1023496
เลขเรียกหนังสือ ว TP
ม24ส
2560

สนับสนุนโดย

งบประมาณรายได้มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีงบประมาณ 2560

Executive Summary

แมคคาเดเมียเป็นผลไม้ที่สำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย ปัจจุบันเป็นที่นิยมบริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นที่ต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม และมีพื้นที่เพราะปลูกเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปแมคคาเดเมียหรือการบริโภคก็ตามนั้นจะมีเศษเหลือจากกระบวนการผลิต โดยเฉพาะเปลือกแมคคาเดเมียเกษตรกรนิยมนำมาเผาเป็นเชื้อเพลิงหรือเผาทิ้ง การแปรรูปให้เป็นวัสดุที่มีราคา คือ ถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำมีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ได้มีขนาดเล็กและแตกต่างกัน การเพิ่มมูลค่าอีกวิธีหนึ่ง คือ การขึ้นรูปให้มีลักษณะที่ตอบสนองทางการตลาด หรือการนำไปใช้งาน มีรายละเอียดดังนี้

กระบวนการผลิตถ่านกัมมนต์จากเปลือกแมคคาเดเมียได้จากการการนำมาเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านที่ได้มาบดและคัดขนาด คือ เม็ดถ่านขนาด 150 µm และผงถ่านขนาด 5 - 8 µm แล้วทำการกระตุ้นถ่านด้วยวิธีทางกายภาพด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 90 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นไปอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นปริมาณ 1 กรัม มาเติมจึงเติมตัวประสานโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่ปริมาตร 0.2, 0.4 และ 0.6 ml ทำการอัดขึ้นรูปที่ความดัน 500 และ 1,000 psi เม็ดถ่านกัมมันต์ที่ถูกอัดขึ้นรูปแล้วมีรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ความสูง 1 cm นำถ่านกัมมนต์อัดเม็ดที่ได้มาตากในอุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ได้จากเม็ดและผงถ่านกัมมันต์มาวิเคราะห์เพื่อหาสมบัติของถ่านกัมมันต์อัดเม็ด นำถ่านอัดเม็ดที่ได้มาทดสอบหาสมบัติทางกายภาพของถ่านเพื่อเป็นข้อมูล สำหรับประกอบการเลือกใช้งาน

พบว่าค่าความชื้นของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ความดันทั้งสอง มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดโดยถ่านที่ถูกประสานด้วยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 0.8 - 1.6 เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วยที่ความดันอัดขึ้นรูป 500 และ 1000 psi ความหนาแน่นเฉลี่ยของผงถ่านสูงกว่าเม็ดถ่าน มีค่าลดลงเมื่อมีปริมาตรตัวประสานเพิ่มขึ้นค่าการดูดซับไอโอดีนของผงถ่านและเม็ดถ่านที่ความดันอัดขึ้นรูป 500 psi มีค่าอยู่ระหว่าง 673.08 – 703.26 mg/g และที่ความดันอัดขึ้นรูป 1,000 psi มีค่าอยู่ระหว่าง 732.29 – 805.80 mg/g ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ได้สอดคล้องกับมาตราฐานอุตสาหกรรทที่กำหนดไว้ว่าต้องไม่ต่ำกว่า 600 mg/g ถ่านชนิดเม็ดที่มี PVA เป็นตัวประสานที่ความดันอัด 1,000 psi มีค่าการดูดซับไอโอดีนดีที่สุด ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดเม็ดทั้งสองชนิดมีค่าความอยู่ในระหว่าง 0.68-0.76 g/cm^3 มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 กล่าวได้ว่าถ่านกัมมันต์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้ทั้งในการดูดซับภายในของเหลวและความหนาแน่นน้อยกว่า 1

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลการแปรรูปผลเหลือทางการเกษตรจากเปลือกแมคคาเดเมียให้เป็นถ่านกัมมันต์จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ในงานวิจัยนี้จะสำเร็จไม่ได้หาขาดเงินสนับสนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยนเรศวร (เงินรายได้ของมหาวิทยาลัย) ขอพระขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ และ ศูนย์ปฏิบัติการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ การวิเคราะห์และข้อเสนอแนะการวิจัยนี้ หากมีความผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัย ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย ซึ่งได้จากการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 500 °C นำถ่านจากเปลือกแมคคาแดเมียไปบดและคัดขนาดอนุภาคถ่านออกเป็นสองขนาด คือ เม็ดถ่านขนาด 150 μm และผงถ่านขนาด 5 - 8 μm แล้วทำการกระตุ้นถ่านด้วยวิธีทางกายภาพด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 90 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นไปอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นปริมาณ 1 กรัม มาเติมจึงเติมตัวประสานโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่ปริมาตร 0.2 0.4 0.6 ml ทำการอัดขึ้นรูปที่ความดัน 500 และ 1,000 psi นำมาตากในอุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ได้จากเม็ดและผงถ่านกัมมันต์มาวิเคราะห์เพื่อหาสมบัติของถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

พบว่าค่าความชื้นของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ความดันทั้งสอง มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยถ่านที่ถูกประสานด้วยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 0.8 - 1.6 เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วยที่ความดันอัดขึ้นรูป 500 และ 1000 psi ความหนาแน่นเฉลี่ยของผงถ่านสูงกว่าเม็ดถ่าน มีค่าลดลงเมื่อมีปริมาตรตัวประสานเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนของผงถ่านและเม็ดถ่านที่ความดันอัดขึ้นรูป 500 psi มีค่าอยู่ระหว่าง 673.08 – 703.26 mg/g และที่ความดันอัดขึ้นรูป 1,000 psi มีค่าอยู่ระหว่าง 732.29 – 805.80 mg/g ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ได้สอดคล้องกับมาตราฐานที่กำหนดไว้ ถ่านชนิดเม็ดที่มี PVA เป็นตัวประสานที่ความดันอัด 1,000 psi มีค่าการดูดซับไอโอดีนดีที่สุด ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดเม็ดทั้งสองชนิดมีค่าความอยู่ในระหว่าง 0.68-0.76 g/cm^3 มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1

คำสำคัญ ถ่านกัมมันต์ เปลือกแมคคาเดเมีย ไมโครเวฟ ค่าการดูดซับไอโอดีน

Abstract

In the objective of study, it was fabrication the monolithic activated carbon from macadamia shell by H_2O activation process with combined microwave irradiation.

The macadamia shell was transferred to carbon by confine space at temperature condition 500 $^{\circ}C$ for 1 hr. The char coal was crushed and collected the size of particles separation; that granular and powder carbons had size of particle 150 µm and 5 – 8 µm, following. The two types of charcoal particles were soaked in H_2O and combined microwave activation of power 90 Watt 3 min condition process. There were mixed with sugar and polyvinyl alcohol (PVA) binder 0.2, 0.4 and 0.6 ml w and put in the mold with diameter 1 cm under the pressure compress 500 and 100 psi and drying 103$^{\circ}C$ 24 hr.

It was found that the moisture percentage of monolithic activated carbons of both pressure conditions were passed the industry standard, moisture was in the range of value 0.8 - 1.6 for PVA binder. The PVA binder consideration, the monolithic activated carbon from powder particles was presented higher density than granular particles that similarly resulted both pressure conditions. The density of monolithic activated carbons was similarly decreased with increased the binder value. It was found that the range of iodine number for monolithic carbons ware 673.08 - 703.26 mg/g and 732.29 – 805.80 mg/g at 500 and 1,000 psi respectively.

The density value of powder carbon was higher than granular carbon. The iodine number was in the range of 685.58 – 713.36 mg/g that it was associated the industry standard. In conclusion, the granular carbon of PVA binder at 1,000 psi had the high performance for adsorption. The monolithic from both typical particles were appear the density average 0.68-0.76 g/cm^3 and specific gravity over 1.

Keyword Activated carbon Macadamia shell Microwave Iodine adsorption number

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ ภาษาไทย	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ถ่านกัมมันต์	4
2.1.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์	4
2.1.2 วิวัฒนาการของถ่านกัมมันต์	4
2.1.3 ชนิดของถ่านกัมมันต์	5
2.1.4 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	7
2.1.5 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์	10
2.1.6 สมบัติของถ่านกัมมันต์	11
2.1.7 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ มอก. 900-2547	12
2.1.8 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์	15
2.2 การดูดซับ	15
2.2.1 กลไกการดูดซับ	16
2.2.2 ประเภทการดูดซับของถ่านกัมมันต์	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ	17
2.3.1 ความปั่นป่วน	17
2.3.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์	17
2.3.3 ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์	18
2.3.4 ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์	18
2.3.5 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลาย	18
2.3.6 อุณหภูมิ	18
2.4 เตาอบไมโครเวฟ	19
2.4.1 คลื่นไมโครเวฟ	19
2.4.2 หลักการให้ความร้อน	19
2.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการผลิตถ่านกัมมันต์	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	24
3.2 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	32
3.2.1 การคาร์บอไนซ์เซชั่น	32
3.2.2 การกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ	32
3.2.3 ขั้นตอนการดำเนินการอัดขึ้นรูปเม็ดถ่านกัมมันต์	33
3.2.4 การอัดขึ้นรูปถ่านกัมมันต์	34
3.2.5 การศึกษาปริมาณความชื้น	34
3.2.6 การหาความหนาแน่นบัลล์และความพรุนที่ปรากฏ	35
3.2.7 การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน	37
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การผลิตถ่าน	40
4.2 การวิเคราะห์ค่าความชื้น	41
4.3 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น	44
4.4 ค่าการดูดซับไอโอดีน	53
4.5 การศึกษาลักษณะทางจุลภาคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	56
4.5.1 ที่การเติมตัวประสาน PVA ที่ความดัน 500 psi	56
4.5.1.1 ที่ปริมาตรการเติม PVA 5 หยด หรือ 0.2 ml	56
4.5.1.2 ที่ปริมาตรการเติม PVA 10 หยด หรือ 0.4 ml	60
4.5.1.3 ที่ปริมาตรการเติม PVA 15 หยด หรือ 0.6 ml	64

สารบัญ (ต่อ) หน้า

4.5.2 ที่การเติมตัวประสาน PVA ที่ความดัน 1000 psi 68
4.5.2.1 ที่ปริมาตรการเติม PVA 5 หยด หรือ 0.2 ml 68
4.5.2.2 ที่ปริมาตรการเติม PVA 10 หยด หรือ 0.4 ml 72
4.5.2.3 ที่ปริมาตรการเติม PVA 15 หยด หรือ 0.6 ml 76

บทที่ 5 บทสรุป
5.1 สรุปผลการทดลอง 80
5.2 ข้อเสนอแนะ 80

บรรณานุกรม 95
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก
ภาคผนวก ข
ภาคผนวก ค
อักษรย่อ

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ข้อดีข้อเสียของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี	10
2.2	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดผง	14
2.3	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดเม็ด	14
3.1	อัตราส่วนของการผสมถ่านกัมมันต์อัดเม็ด	34
4.1	ผลการศึกษาค่าความชื้นของเปลือกแมคคาเดเมีย	40
4.2	ผลการศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้	40
4.3	ค่าร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA และอัดด้วยความดัน 500 psi	41
4.4	ค่าร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA และอัดด้วยความดัน 1000 psi	43
4.5	ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกตัวประสานด้วย PVA ที่ความดัน 500 psi	46
4.6	ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกตัวประสานด้วย PVA ที่ความดัน 1000 psi	47
4.7	ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA และอัดที่ความดัน 500 psi	53
4.8	ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA และอัดที่ความดัน 1000 psi	54

สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	ถ่านกัมมันต์ประเภทผง	5
2.2	ถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ด	6
2.3	ถ่านกัมมันต์ประเภทแท่ง	6
2.4	การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์	10
2.5	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	19
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	23
3.2	เปลือกแมคคาเดเมีย	24
3.3	เตาเผาควบคุมอุณหภูมิและเวลา	24
3.4	เครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง	25
3.5	โถดูดความชื้นหรือเดซิเคเตอร์	25
3.6	ตู้อบ	26
3.7	ไมรโคเวฟ	26
3.8	ถ้วยกระเบื้องหรือถ้วยคูซิเบิล	27
3.9	ถ้วยบดสารหรือมอทาร์	27
3.10	ตะแกรงคัดขนาด	28
3.11	บีกเกอร์ขนาดต่างๆ	28
3.12	คีมคีบถ้วยคูซิเบิล	29
3.13	หม้อดินเผา	29
3.14	ฟอยล์อลูมิเนียมสำหรับห่ออาหาร	29
3.15	ชุดไทเทรต	30
3.16	เครื่องอัดระบบไฮโดรลิกมือ	30
3.17	แม่พิมพ์ทองเหลือง	31
3.18	สารเคมี	31
3.19	ขั้นตอนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน	32
3.20	ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยน้ำ	33
3.21	ขั้นตอนการอัดรูปเม็ด	33
4.1	ร้อยละความชื้นเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์ที่ถูกตัวประสานด้วย PVA และถูกอัดด้วยความดัน 500 psi	42
4.2	ร้อยละความชื้นเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์ที่ถูกตัวประสานด้วย PVA และถูกอัดด้วยความดัน 1000 psi	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.3	ค่าเฉลี่ยปริมาตรถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA ที่ความดัน 500 และ 1,000 psi	45
4.4	ค่าเฉลี่ยรูพรุนเปิดของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA ที่ความดัน 50 และ 1,000 psi	48
4.5	ค่าเฉลี่ยความพรุนที่ปรากฏของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA ที่ความดัน 500และ 1,000 psi	49
4.6	ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA ที่ความดัน 500 และ 1,000 psi	50
4.7	ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA ที่ความดัน 500 และ 1,000 psi	51
4.8	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA ที่ความดัน 500 และ 1,000 psi	52
4.9	ค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสาน PVA และอัดด้วยความดัน 500 และ 1000 psi	55
4.10	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x	56
4.11	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x	57
4.12	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000	58
4.13	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x	59
4.14	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.15	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่ กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x	61
4.16	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x	62
4.17	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่ กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x	63
4.18	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x	64
4.19	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่ กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x	65
4.20	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x	66
4.21	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่ กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x	67
4.22	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x	68
4.23	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่ กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x	69
4.24	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x	70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.25	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x	71
4.26	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x	72
4.27	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x	73
4.28	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x	74
4.29	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x	75
4.30	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x	76
4.31	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x	77
4.32	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แมคคาเดเมียเป็นผลไม้ที่สำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย ปัจจุบันเป็นที่นิยมบริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นที่ต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม และมีพื้นที่เพราะปลูกเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปแมคคาเดเมียหรือการบริโภคก็ตามนั้นจะมีเศษเหลือจากกระบวนการผลิต โดยเฉพาะเปลือกแมคคาเดเมียเกษตรกรนิยมนำมาเผาเป็นเชื้อเพลิงหรือเผาทิ้ง [3]

ปัญหามลภาวะทางอากาศ และทางน้ำ ที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมมีมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงในปัจจุบัน เนื่องจากมีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมสูง ปัญหาเหล่านี้ต้องการวิธีแก้ไขเพื่อให้ปัญหาที่เกิดขึ้นลดลง ส่วนใหญ่เกิดจากฝุ่นละออง กลิ่น สารเป็นอันตรายต่างๆ รวมถึงโลหะหนัก ที่มาจากขบวนการผลิตของอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานฟอกย้อม โรงงานเคลือบชุบโลหะ เป็นต้น โดยมีการปล่อยอากาศเสียที่ไม่มีการบำบัด ส่งผลกระทบต่อประชากรและสิ่งแวดล้อมหากได้รับการสะสมที่ในระดับที่เกินมาตรฐานก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพต่อประชาชน ปัจจุบันมีการนำวิธีการ และเทคนิคต่างๆ มาให้บำบัดมลภาวะที่เกิดขึ้น ทั้งกระบวนการทางเคมีและทางธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุทางธรรมชาติหนึ่งที่มีการนำมาใช้เพื่อกรองสารพิษกลิ่นสีหรือฝุ่นละอองและสามารถใช้งานให้ดีและมีประสิทธิภาพ จากที่มาและความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ คือ เปลือกแมคคาเดเมียให้เกิดประโยชน์และเป็นข้อมูลพื้นฐานต่อไป [14]

ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมากซึ่งขนาดรูพรุนก็แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน [1]

เตาอบไมโครเวฟ เป็นอุปกรณ์เครื่องครัวชนิดหนึ่ง คลื่นไมโครเวฟที่ผ่านเข้าไปในอาหารหรือของเหลวจะทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่น ทำให้เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุล ก่อให้เกิดความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เวลาที่ใช้ประกอบอาหารจึงสั้นกว่าการใช้เตาแบบธรรมดา ความร้อนจะเพิ่มขึ้นเร็วหรือช้าจะขึ้นกับปริมาณความชื้น รูปร่าง ปริมาตร และมวลของอาหารที่ใส่เข้าไป[3]

การกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation) เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้แก๊สหรือไอน้ำ อุณหภูมิที่ใช้ในกระตุ้น คือ อุณหภูมิไอน้ำร้อน โมเลกุลของไอน้ำมีขนาดเล็ก (เมื่อเทียบกับน้ำ) ทำให้สามารถแทรกซึมเข้าไปในบริเวณรูพรุนของเนื้อเยื่อได้ดีและทำให้สารอินทรีย์ต่างๆ สลายไป โครงสร้างภายในที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำมีขนาดของรูพรุนที่ได้จะมีขนาดเล็ก วิธีนี้มีข้อดีที่สามารถนำมาใช้งานได้เลย ทันทีโดยไม่ต้องล้างสารที่เหลือตกค้าง [3]

การกระตุ้นทางเคมี (chemical activation) เป็นการนำถ่านที่เผาได้ผสมกับสารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 – 900 °C ข้อดีของการกระตุ้นด้วยวิธีการทางเคมี คือ เป็นวิธีการเพิ่มปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวโดยทำปฏิกิริยากับสารเคมีและสารกระตุ้นที่นิยมใช้ทั่วไปในทางอุตสาหกรรม เช่น ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น ซึ่งสามารถแทรกซึมได้ทั่วถึง ส่งผลให้ส่วนที่ไม่บริสุทธิ์ละลายหมดไปได้เร็วขึ้น [3]

อย่างไรก็ตาม กระบวนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการกระตุ้นมีราคาสูง งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตเม็ดถ่านกัมมันต์จากเปลือกแมคคาร์เดเมีย โดยวิธีกระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ เพื่อที่จะลดระยะเวลาในการผลิตถ่านกัมมันต์จึงได้มีการนำรังสีไมโครเวฟมาทดลองว่าสามารถนำมาใช้ในการผลิตเม็ดถ่านกัมมันต์ได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการอัดเม็ดผงถ่านและเม็ดถ่านกัมมันต์จากเปลือกแมคคาเดเมีย

1.2.2 เพื่อศึกษาหาปริมาณตัวประสานที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปเม็ดถ่าน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 คัดไซต์เม็ดถ่าน ขนาด 150 μm และผงถ่าน ขนาด 0.8 – 5 μm นำไปอัดเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง10 mm สูง 10 mm

1.3.2 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค จะทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

1.3.3 สมบัติของถ่านที่ทำการวิเคราะห์ คือ

- ร้อยละของผลผลิต
- ความชื้น
- ค่าการดูดซับไอโอดีน
- ค่าความหนาแน่น

1.3.4 กระบวนการอัดเม็ด จะใช้วิธีการอัดด้วยความดัน

1.3.5 ปริมาณตัวประสานที่เหมาะสม

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตถ่านกัมมันต์

1.4.2 จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ เช่น เปลือกถั่วแมคคาเดเมีย ไมโครเวฟ ฯลฯ

1.4.3 ผลิตเม็ดถ่านกัมมันต์โดยให้ความร้อนแก่เปลือกแมคคาเดเมียที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นบดให้เป็นผงและทำการคัดขนาดเม็ดถ่านขนาด 150 μm ผงถ่าน ขนาด 0.8 – 5 μm

1.4.4 ทำการกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ โดยใช้น้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ที่เวลา 3 นาที 90 W

1.4.5 ทดสอบคุณสมบัติของเม็ดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นโดยวิเคราะห์ความชื้นและ ค่าดูดซับไอโอดีน ค่าความหนาแน่นของถ่าน

1.4.6 วิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติของเม็ดถ่านกัมมันต์และสรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงสมบัติถ่านกัมมันต์ ที่ผลิตขึ้นในห้องทดลอง และทราบถึงแนวทางการอัดเม็ดผงถ่านเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตถ่านกัมมันต์ อันจะนำไปสู่กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ ในเชิงอุตสาหกรรมได้ต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านกัมมันต์

2.1.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) ชนิดหนึ่ง แต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษโดยกระบวนการก่อกัมมันต์ (activation) ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวภายใน (internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก แต่ถ้าหากศึกษาด้วยเอ็กซเรย์ดิฟเฟรกชัน (x-ray diffraction) หรือศึกษาโครงสร้างจากการสะท้อนและการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อตกกระทบวัตถุ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความแตกต่างจากถ่านชนิดอื่นๆ เช่น ถ่านลิกไนท์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือแกรไฟต์ เป็นต้น [3] ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูง อันเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ผิวโครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (microporous structure) และมีความว่องไวในการดูดซับสูง โดยทั่วไปแล้วผิวหน้าของถ่านกัมมันต์นั้นไม่มีขั้ว แต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์เกิดขึ้นเสมอที่ผิวหน้า และการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮกซะโกนัล (hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงกว่าตัวดูดซับอื่นๆ เช่น ซิลิกาเจล (silica gel) จึงทำให้ดูดซับสารได้มากกว่า [1]

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้รูพรุนหรือโครงสร้างภายในมีเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ รูพรุนนี้มีขนาดตั้งแต่ 20 – 20,000 อังสตรอม (angstrom: Å) (1 อังสตรอมเท่ากับ 10^{-10} m หรือ 10^{-6} mm หรือ 10^{-4} µm หรือ 0.1 nm) ดังนั้นพื้นที่ผิวจึงสูง และมีความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) สูงเช่นเดียวกัน การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์อาจจะกระทำได้โดยการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน (iodine number) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีน ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (size and surface area) ลักษณะของสารดูดซับ (nature of adsorbents) อุณหภูมิ (temperature) และเวลาในการสัมผัส (contract time) [3]

2.1.2 วิวัฒนาการของถ่านกัมมันต์

การดูดซับสีในของเหลวของถ่านกัมมันต์ เริ่มตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 15 แต่คุณสมบัติในการดูดซับแก๊สมีผู้บันทึกไว้ในปี ค.ศ. 1785 แต่ไม่มีผู้ใดสนใจในคุณสมบัติเหล่านี้ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1811 มีนักวิทยาศาสตร์ท่านหนึ่งพบว่าถ่านที่ได้จากการเผากระดูกสัตว์สามารถดูดซับสีได้มากกว่าถ่านที่ได้จากถ่านไม้ จึงนิยมนำถ่านที่ได้จากกระดูกมาใช้ในการฟอกสีน้ำตาลทรายให้ขาวสะอาด และต่อมาได้มีการพัฒนาจนกระทั่งพบว่าถ่านที่ได้จากการเผาของผสมระหว่างเลือดสัตว์กับขี้เถ้า มีสมบัติในการดูดซับสีมากกว่าถ่านที่ได้จากกระดูกประมาณ 20 – 50 เท่า แต่ไม่สามารถที่จะผลิตได้มากเพียงพอที่จะนำไปใช้ในโรงงานได้ [3] ต่อมาในปี ค.ศ. 1900 มีนักวิทยาศาสตร์ชาวโปแลนด์ คิดค้นวิธีผลิต

ถ่านกัมมันต์ขึ้นมาใหม่โดยเผาถ่านในชั้นบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์ และอีกวิธีหนึ่งใช้คลอไรด์ของโลหะผสมกับถ่านแล้วนำไปเผา ซึ่งนับเป็นผู้ริเริ่มให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นในยุโรป และต่อมาได้มีการปรับปรุงไปเรื่อยๆ ถ่านที่ผลิตขึ้นเหล่านี้ได้มีการศึกษาถึงการนำไปใช้ในการดูดสี ฟอกสีในโรงงานผลิตน้ำตาลทรายเป็นส่วนใหญ่

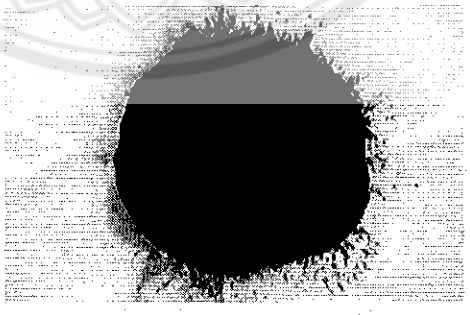
ระหว่างการเกิดสงครามโลกครั้งที่ 1 มีการนำเอาถ่านกัมมันต์ไปใช้ทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษจากจุดนี้เองทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจในสมบัติ การทำแก๊สให้บริสุทธิ์ของถ่านกัมมันต์ ซึ่งจากการทดลองโดยวิธีต่างๆ ได้พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลนั้นไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษเพราะมีลักษณะพองเบา และต้องใช้ในปริมาณมาก ทำให้มีผู้พยายามผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดใหม่ให้มีความหนาแน่นมากขึ้น เพื่อใช้ในการดูดซับแก๊สโดยเฉพาะถ่านกัมมันต์ชนิดใหม่นี้ ผลิตจากกะลามะพร้าว มีสมบัติในการดูดซับแก๊สได้ดี ส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะพอง เบานั้นได้จากไม้ขี้เลื่อย ถ่านหินชนิดร่วน (peat) ถ่านหินลิกไนต์และกากที่เหลือจากการทำเยื่อกระดาษด้วยเซลลูโลส เป็นต้น เหมาะสำหรับการทำน้ำให้บริสุทธิ์ [2]

2.1.3 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งโดยอาศัยหลักต่างๆ มากมาย ขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้ใช้งาน ตัวอย่างการแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์ ได้แก่

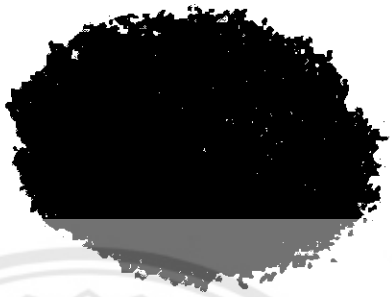
2.1.3.1 การแบ่งตามลักษณะรูปร่าง

ก. ถ่านกัมมันต์ประเภทผง (powder) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ถูกนำมาบดให้ละเอียดและนำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 mm มีลักษณะเป็นผง ใช้สำหรับฟอกสีในของเหลว การฟอกสีในอุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น สีย้อม สารเคมีอัดรูป ถ่านกัมมันต์ประเภทผงจะมีลักษณะดังรูป 2.1



รูป 2.1 ถ่านกัมมันต์ประเภทผง [3]

ข. ถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ด (pellet) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 mm มีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัด หรืออาจทำเป็นเกล็ด ใช้ในการดูดแก๊สและไอ ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษ การปรับอากาศ การผลิตน้ำบริสุทธิ์ ถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ดจะมีลักษณะดังรูป 2.2



รูป 2.2 ถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ด [3]

ค. ถ่านกัมมันต์ประเภทแท่ง (extruded) ใช้ในเบดนิ่งเพื่อการดูดซับสารปนเปื้อนที่ต้องการอัตราการดูดซับสูงๆ ถ่านกัมมันต์ชนิดเกร็ดและแบบขึ้นรูปเป็นแท่งมีการใช้งานมากกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงเนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ [3] ดังรูป 2.3

รูป 2.3 ถ่านกัมมันต์ประเภทแท่ง [3]

2.1.3.2 การแบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ก. ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดเล็ก (micropore) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเล็กกว่า 2 นาโนเมตร มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ นิยมใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการดูดซับแก๊สและไอระเหย

ข. ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดกลาง (mesopore) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนระหว่าง 2 – 50 นาโนเมตร มักนำไปใช้ดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่

ค. ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดใหญ่ (macropore) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคที่ถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็กและมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับ มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสี และการผลิตยา [2]

2.1.3.3 การแบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

ก. ถ่านกัมมันต์ความหนาแน่นต่ำ (น้อยกว่า 0.35 g/ml) ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ในสภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น การฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำน้ำให้บริสุทธิ์ เป็นต้น

ข. ถ่านกัมมันต์ความหนาแน่นสูง (มากกว่า 0.45 g/ml) ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ดูดแก๊สพิษ หรือไอระเหยให้อัตราการดูดซับที่สูง [2]

2.1.4 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

กรรมวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ และคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปประกอบไปด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมวัตถุดิบ การคาร์บอไนเซชัน และการกระตุ้น [2]

2.1.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด วัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบมักเป็นพวกอินทรีย์สารซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่มักเป็นพวกเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้ง และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อย เปลือกผลไม้ ซังข้าวโพด นอกจากนี้ยังมีถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ แอนทราไซต์ และวัตถุดิบที่มาจากสัตว์ เช่น กระดูก หรือ เขาสัตว์ เป็นต้น [4]

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ควรจะมีสมบัติ ดังนี้

- มีสมบัติคงที่
- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีราคาถูกและหาได้ง่าย
- มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง

2.1.4.2 การคาร์บอไนเซชัน (carbonization)

การคาร์บอไนเซชันเป็นการไพโรไลซีส (pyrolysis) ทำโดยการเผาวัตถุดิบในที่อับอากาศในที่อุณหภูมิต่ำกว่า 800 °C ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์สามประเภท ได้แก่ ถ่านที่มีลักษณะสีดำเรียกว่าชาร์ (char) ส่วนที่เป็นของเหลวเรียกว่าทาร์ (tar) และส่วนที่เป็นแก๊ส ขั้นตอนการคาร์บอไนเซชันจัดว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากในการคาร์บอไนเซชันจะมีการเริ่มสร้างของโครงสร้างรูพรุน โดยในระหว่างการคาร์บอไนเซชัน ธาตุและองค์ประกอบต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่างๆ เช่น ไฮโดรเจนออกซิเจน ไนโตรเจนและน้ำ จะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของแก๊สและน้ำมันทาร์จากนั้นจะได้ถ่านคาร์บอนซึ่งมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบ ซึ่งจะมีช่องว่างหรือ รูพรุนระหว่างผลึก โดยจะมีสารอนินทรีย์ที่เป็นทาร์อุดช่องว่างเหล่านั้น ซึ่งในส่วนประกอบของถ่านคาร์บอนที่ได้จะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนและคาร์บอนต่อออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบในตอนแรกด้วย

ขั้นตอนของกระบวนการคาร์บอไนเซชันแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างวัตถุดิบที่ช่วงอุณหภูมิ 27- 197 ^{o}C

ขั้นตอนที่ 2 การไพโรไลซีส โดยเกิดก๊าซและน้ำมันทาร์ในโครงสร้างที่ช่วงอุณหภูมิ 197 - 497 ^{o}C

ขั้นตอนที่ 3 การเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านคาร์บอนโดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงไปมากที่ช่วงอุณหภูมิ 497-847 ^{o}C

จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการคาร์บอไนเซชันก็เพื่อผลิตให้ได้ถ่านที่มีรูพรุนและการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมให้เป็นระเบียบมากกว่าวัตถุดิบ

ตัวแปรสำคัญในการคาร์บอไนเซชัน ได้แก่

ก. อุณหภูมิ อุณหภูมิจะมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณการเกิดถ่านคาร์บอนจะลดลง ส่วนน้ำมันทาร์และแก๊สที่ได้เพิ่มมากขึ้นและคุณสมบัติของน้ำมันทาร์จะมีกลุ่มโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปด้วย เพราะการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบ การจัดเรียงตัวของคาร์บอนจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เผา

ข. อัตราการให้ความร้อน อัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อคุณสมบัติและปริมาณของน้ำมันทาร์และสารระเหย การเพิ่มอัตราความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็วทำให้ถ่านคาร์บอนที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่าเพราะถ่านคาร์บอนที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่าทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อทำการกระตุ้นสารกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

ค. ตัวกลางของปฏิกิริยา (medium of reaction) จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาถ้าแก๊สและไอที่เกิดระหว่างกระบวนการคาร์บอไนเซชันถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยแก๊สที่เป็นตัวกลาง เช่น แก๊สไนโตรเจน (เฉื่อยต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอน) และแก๊สจากการเผาไหม้เป็นต้น ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ปริมาณถ่านที่ได้จะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นแก๊สไนโตรเจนแต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า

ง. ธรรมชาติของวัตถุดิบ วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีสภาวะในการคาร์บอไนเซชันที่เหมาะสมแตกต่างกัน โดยถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกันเพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีที่สุดซึ่งจะเหมาะกับการนำไปใช้ในระบบที่เหมาะสมต่อไป [5]

ถ่านคาร์บอนที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันควรจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

- มีสีดำตลอด
- เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา
- ปลายที่หักจะแหลมคม
- ปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า

2.1.4.3 การกระตุ้น (activation)

การกระตุ้น คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ทั้งนี้อันเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวที่มีความว่องไวมากขึ้น ความหมายของการกระตุ้นมี 3 ลักษณะดังนี้

- เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (active surface area) โดยเกิดปฏิกิริยาทาง เคมี ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไปและเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน

- เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้ว ซึ่งหมายถึงทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้นโดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น

- เป็นการกำจัดสารอินทรียวัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่างๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (active center) [5]

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกวิธีการกระตุ้นที่ใช้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ

- การกระตุ้นทางกายภาพ เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ หรือไอน้ำ ซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นค่อนข้างสูงประมาณ 800 – 1,000 °C เพราะไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (superheated stream) เพื่อให้สารอินทรีย์ต่างๆ สลายไปทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะรูพรุน (porous) การกระตุ้นด้วยไอน้ำเป็นการกระตุ้นทางกายภาพอย่างหนึ่งทำโดยใช้ไอน้ำยิ่งยวด ซึ่งมีอุณหภูมิตั้งแต่ 750 – 950 °C ไอน้ำจึงสามารถทำปฏิกิริยากับผลึกถ่านได้

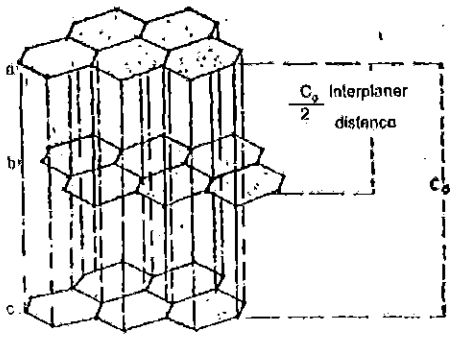
- การกระตุ้นทางเคมี เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้สารเคมี โดยสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นมีหลายชนิด เช่น สารละลายซิงค์คลอไรด์ผสมกับวัตถุดิบโดยใช้สภาวะที่อุณหภูมิประมาณ 130 °C หลังจากนี้จะนำไปทำการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 600 – 850 °C ซึ่งในระดับอุตสาหกรรมจะคำนึงถึงประสิทธิภาพ ในการนำเอาซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่ที่ค่อนข้างจำกัดประกอบกับปัญหาการกัดกร่อน [3]

ตาราง 2.1 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี [3]

วิธีกระตุ้น	ข้อดี	ข้อเสีย
กายภาพ	- ได้ถ่านกัมมันต์ที่รูพรุนขนาดเล็กทำให้มีการดูดซับได้ดี - ไม่มีสารเคมีตกค้าง ไม่เป็นอันตราย - ต้นทุนในการผลิตต่ำ	- วัสดุ อุปกรณ์หายากมีความเฉพาะเจาะจง
เคมี	- สะดวก ง่าย ไม่ยุ่งยากในการทดลอง	- มีสารเคมีตกค้าง ต้องเสียเวลาล้างนาน - ต้นทุนในการผลิตสูง

2.1.5 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

การกระตุ้นจะทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคาร์โบไนซ์ที่มีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากมีการสูญเสียสารประกอบคาร์บอนระหว่างช่องว่างของผลึกคาร์บอน รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสม คือการทำให้มีความพรุนไม่ใช่เป็นการกระตุ้นให้ขนาดของรูใหญ่ ซึ่งเป็นการทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ โดยลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์ จะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก มีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและความลึกไม่สม่ำเสมอ ลักษณะรูปร่างของรูนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอน [3] ดังรูป 2.4



รูป 2.4 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์

2.1.6 สมบัติของถ่านกัมมันต์

ลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพในการนำไปใช้งาน ทั้งในด้านการกำจัดสาร การแยกสาร หรือการทำสารให้บริสุทธิ์ ย่อมมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญของถ่านกัมมันต์ ดังนี้

2.1.6.1 ปริมาณความชื้น

เป็นการหาปริมาณน้ำที่มีในถ่านกัมมันต์ โดยการอบให้แห้งในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 150 °C จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ (ประมาณ 3 ชั่วโมง) โดยสามารถคำนวณปริมาณความชื้นได้จากสมการที่ 2.1

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป}}{\text{น้ำหนักเดิม}} \times 100 \qquad (2.1)$$

2.1.6.2 ความหนาแน่นปรากฏ

เป็นการทดสอบหาน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยปริมาตรโดยปริมาตร ในที่นี้หมายถึงปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาคปริมาตรของรูพรุนของถ่านกัมมันต์และปริมาตรของเนื้อถ่านกัมมันต์ ดังนั้นค่านี้จึงขึ้นกับขนาดและความพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.5 g/cm^3 ในการวิเคราะห์ที่กำหนดให้ขนาดของอนุภาคคงที่ พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรต่ำจะมีปริมาณรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากและยังพบว่าค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรยังขึ้นอยู่กับความชื้นของอนุภาคด้วย นั่นคืออนุภาคที่มีค่าความชื้นสูงจะมีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรลดลงโดยสามารถคำนวณความหนาแน่นปรากฏได้จากสมการที่ 2.2

$$\text{ความหนาแน่นปรากฏ (g)} = \frac{\text{น้ำหนักของคาร์บอน}}{1{,}000} \times \text{ความชื้น} \qquad (2.2)$$

2.1.6.3 ค่าไอโอดีน (Iodine Number)

เป็นค่าสำคัญที่ใช้ในการประเมินค่าความพรุนของรูพรุนขนาดเล็ก (microporosity) จากการดูดซับไอโอดีน (0.04 - 0.1 Å) โดยจะพิจารณาที่ค่าไอโอดีนนัมเบอร์เพื่อบอกถึงประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ซึ่งถ้าค่าไอโอดีนสูงกว่า 1000 จะชี้ให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์มีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ส่งผลให้มีปริมาณพื้นที่ผิวในการดูดซับสูง ดังนั้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจึงถูกใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของถ่าน โดยจะระบุในหน่วยมิลลิกรัม (mg) ของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์ 1 กรัม (g)

2.1.7 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ มอก. 900 - 2547

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ กำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้ประกาศใช้เป็นครั้งแรกตามมาตรฐานเลขที่ มอก. 900-2532 ในราชกิจจานุเบกษา พุทธศักราช 2532 ซึ่งต่อมาได้มีการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมและสอดคล้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ มอก.900 – 2547 ขึ้นใหม่ ซึ่งมาตรฐานนี้ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเคมีและเภสัชกรรม ใช้ฟอกสีในอุตสาหกรรมอาหาร น้ำตาล น้ำมันพืช น้ำอัดลม เป็นต้น โดยอาศัยข้อมูลจากผู้ทำ ผู้ใช้ และเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

- American Water Works Association (AWWA) B600-96 Powered Activated Carbon
- AWWA B604-96 Granular Activated Carbon
- ASTM D 4607-94 Determination of Iodine number of Activated Carbon

มีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้ [6]

2.1.7.1 บทนิยาม

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านที่คุณสมบัติดูดซับสี กลิ่น รส บางชนิดได้เป็นอย่างดี ถ่านชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นรูพรุน ผลิตได้จากถ่านหิน ถ่านไม้ ถ่านกะลามะพร้าว หรือถ่านกระดูก ด้วยกรรมวิธีก่อกัมมันต์

ค่าไอโอดีน (Iodine number) หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับเป็น 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

2.1.7.2 ชนิด และชั้นคุณภาพ

ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

ก. ชนิดผง (powered activated carbon)

ข. ชนิดเม็ด (granular activated carbon) แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ

- ชั้นคุณภาพพิเศษ (premium grade)
- ชั้นคุณรูป 1 (first grade)

ค. ชนิดอัดเม็ด (pelletised activated carbon)

ง. ชนิดแท่ง (block activated carbon)

2.1.7.3 ขนาด

ชนิดผง ปริมาณที่ผ่านแร่ง 150 μm ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก การทดสอบมีดังนี้

นำตัวอย่างประมาณ 25 g ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 140 °C ประมาณ 2 ชั่วโมงจนได้มวลคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ จากนั้นให้รีบชั่งให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.001 g (m_0) เทตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำ 600 cm^3 ถึง 700 cm^3 คนให้เข้ากัน ทำแร่งให้เปียกก่อนแล้วเทตัวอย่างช้าๆ ผ่านแร่ง ในขณะที่เทให้คนตัวอย่างเป็นครั้งคราว ล้างตัวอย่างที่อยู่ในบีกเกอร์ออกให้หมด เมื่อเทตัวอย่างทั้งหมดลงบนแร่งแล้วใช้น้ำล้างตัวอย่างจนกระทั่งมีตัวอย่างผ่านแร่งอีก ถ่ายตัวอย่างที่ค้างบนแร่ง โดยใช้น้ำช่วยใส่ในบีกเกอร์แล้วกรองผ่านกูชครูซิเบิลซึ่งทราบมวลแน่นอนแล้ว นำกูชครูซิเบิลนั้นไปอบที่อุณหภูมิ 140 °C ประมาณ 2 ชั่วโมง จนได้มวลคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วรีบชั่งน้ำหนักทันที (m_1) และคำนวณหาปริมาณที่ผ่านแร่ง จากสูตร

$$\text{ปริมาณที่ผ่านแร่ง ร้อยละโดยน้ำหนัก} = \left(1-\frac{m_1}{m_0}\right)\times 100 \qquad (2.3)$$

เมื่อ m_0 คือ มวลของตัวอย่าง หลังจากอบแห้งที่ 1 เป็น g

m_1 คือ มวลของตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งที่ 2 เป็น g

ชนิดเม็ด และชนิดอัดเม็ด ปริมาณที่ผ่านแร่ง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก การทดสอบมีดังนี้

ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 g ให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.1 ใส่ในแร่งเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (เครื่องเขย่าที่มีอัตราการเขย่า 285 ± 5 รอบต่อนาที มีลักษณะการเขย่าเป็นแบบขึ้นลงและหมุนวนพร้อมกัน) นาน 3 นาที ถ่ายส่วนที่ค้างบนแร่งทั้งหมดลงในภาชนะที่ทราบมวลแน่นอนแล้ว ชั่งและคำนวณส่วนที่ค้างบนแร่งเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

2.1.7.4 คุณลักษณะที่ต้องการ

ถ่านกัมมันต์ทุกชนิดต้องมีลักษณะทั่วไป คือ มีสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้ และมีคุณลักษณะทางฟิสิกส์และเคมี ดังนี้

ตาราง 2.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดผง

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B600
2	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.20 ถึง 0.75	

ตาราง 2.3 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดเม็ด

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		วิธีทดสอบตาม
		ชั้นคุณภาพพิเศษ	ชั้นคุณรูป 1	
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	1000	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน		8	
3	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า		0.20	
4	ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า		70	AWWA B604 Ro-Tap abrasion test

2.1.8 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละอุตสาหกรรมจะแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดซับแก๊สหรือไอ

- ใช้ในอุตสาหกรรมทาหน้ากากป้องกันแก๊สพิษ ทั้งที่ใช้ในการทหาร และที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษและไอของสารอินทรีย์ได้
- ใช้แยกแก๊สโซลีนออกจากแก๊สธรรมชาติ
- ใช้แยกเบนซีน (benzene) ออกจากแก๊สอุตสาหกรรม
- ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้องและคายออกที่ความดันของไอต่ำ เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย การหมัก อุตสาหกรรมพลาสติก ผลิตภัณฑ์ยาง เป็นต้น

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้กับของเหลว (ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น

- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น
- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้วยังใช้ในการแยกเอาสบู่ออกจากน้ำมันและไขมันด้วย
- แยกสิ่งเจือปนจากผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เจลาติน น้ำส้ม เพ็กติน ซ็อกโกแลต น้ำผลไม้ เพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร
- ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ ทำให้ได้รสชาติที่ดีขึ้น
- ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ เป็นการกำจัดสี รส และกลิ่น นอกจากนี้ยังใช้บำบัดน้ำเสีย
- ใช้ในทางการแพทย์ เช่น ให้ยาดูดซับบนถ่านกัมมันต์ ยาจะค่อยๆ ออกฤทธิ์ โดยมีความเข้มข้นสม่ำเสมอ ตัวอย่างคือ ไฮโดรซิลอะมิโนฟีนิลาโซนิคแอซิด (hydroxzl aminophenylarsonic acid) สำหรับรักษาโรคที่เกิดจากการติดเชื้ออะมีบา และพาราไดซ์ และยังใช้ดูดสารพิษจากผู้ที่กินยาเกินขนาด หรือกินยาพิษ นอกจากนี้ยังใช้รักษาอาการมีแก๊สในกระเพาะอาหารมากอีกด้วย [5]

2.2 การดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) หมายถึง การเพิ่มความเข้มข้นของสารที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ หรือในทางกลับกันเป็นการลดลงของความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ สารซึ่งมีพลังงานอิสระที่ผิวต่ำ จะถูกดูดซับได้ดีในขณะที่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงกว่าจะไม่ถูกดูดซับ ซึ่งพลังงานอิสระที่ผิวของตัวถูกซับจะมีความสัมพันธ์กับแรงดึงผิว และพื้นที่ผิว

2.2.1 กลไกการดูดซับ

การดูดซับเป็นการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer) จากก๊าซหรือของเหลวมายังของแข็งหรือของเหลว การดูดติดผิวเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะ

- ระยะที่ 1 โมเลกุลของสิ่งสกปรก (adsorbate) ในน้ำเคลื่อนที่ไปเกาะรอบนอกของถ่าน
- ระยะที่ 2 โมเลกุลของสิ่งสกปรกจะฟุ้งกระจาย (diffusion) เข้าไปในรูพรุนของถ่าน
- ระยะที่ 3 เกิดการดูดซับในรูพรุนนี้ระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นที่ผิวของถ่านซึ่งอาจจะดูดติดด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน

2.2.2 ประเภทการดูดซับของถ่านกัมมันต์ แบ่งได้ 4 ชนิด [3] คือ

- การดูดซับทางกายภาพ
- การดูดซับทางเคมี
- การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน
- การดูดซับแบบเจาะจง

2.2.2.1 การดูดซับกายภาพ

การดูดซับกายภาพ เป็นการดูดซับที่มีแรงกระทำอย่างอ่อนๆ ระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะอยู่ที่ผิวของตัวถูกดูดซับโดยอาศัยแรงแวนเดอร์วาลล์ (Vander Waals force) ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อยกว่า 50 กิโลจูลต่อโมล การดูดซับทางกายภาพนี้ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับไว้เป็นแบบชั้นเดียวที่ความดันต่ำ และเป็นแบบหลายชั้นที่ความดันสูง หรือตัวถูกดูดซับ อาจเกิดการดูดซับในลักษณะของการดูดซับแบบหลายชั้นซ้อนกันบนผิวของตัวดูดซับซึ่งการดูดซับแบบนี้ไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างถาวร จะเกิดการผันกลับได้ง่าย การดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการดูดซับทางเคมีหรือถึงสภาวะสมดุลได้เร็วกว่า เพราะไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานกระตุ้น เหมือนการดูดซับทางเคมี

2.2.2.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับทางเคมี เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยากัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมเป็นสารประกอบใหม่ขึ้นโดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับจะมีค่าสูง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับจะทำได้ยากและการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

2.2.2.3 การดูดซับแลกเปลี่ยน

เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุตรงข้ามกับตัวดูดซับ หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่ที่ผิวของตัวดูดซับด้วยไอออนของตัวถูกดูดซับ

2.2.2.4 การดูดซับแบบเจาะจง

เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่อยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไป พฤติกรรมการดูดซับชนิดนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมี การดูดซับแลกเปลี่ยน หรือการดูดซับแบบเจาะจงขึ้นอยู่กับชนิดของคู่ตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับนั้น

2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

2.3.1 ความปั่นป่วน

ความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการกวนสารละลาย หรือการไหลผ่านคอลัมน์จะมีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีขนาดและคุณลักษณะทางกายภาพต่างกัน ทำการดูดซับของถ่านกัมมันต์ต้องการความปั่นป่วนในระดับที่ต่างกันออกไป เช่น ถ่านกัมมันต์แบบผงต้องการความปั่นป่วนสูงจึงจะเกิดการดูดซับดี เนื่องจากอัตราเร็วของการดูดซับขึ้นอยู่กับการแพร่ผ่านรูพรุนของโมเลกุลที่ถูกดูดซับเข้าสู่โพรงช่องว่างของถ่านกัมมันต์

2.3.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์

ขนาดของถ่านกัมมันต์เป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นถ่าน กัมมันต์แบบผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด ส่วนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์นั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับไอโอดีน (capacity of iodine adsorption) กล่าวคือกรณีที่มีพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ส่วนมากเป็นพื้นที่ผิวของช่องว่างหรือโพลงภายใน ขนาดภายนอกของถ่านกัมมันต์จะไม่ค่อยมีผลต่อการกำหนดพื้นที่ผิว ถ่านกัมมันต์ทั้งแบบผงและแบบเกล็ดจึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักไม่แตกต่างกัน จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกัน แต่ถ่านกัมมันต์แบบผงจะมีอัตราการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด

2.3.3 ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์

เมื่อเกิดการดูดซับโมเลกุลของสารจะถูกดึงออกจากน้ำ และไปเกาะติดบนผิวถ่านกัมมันต์ สารที่สามารถแตกตัวเป็นอิออนจะละลายน้ำได้ ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำอย่างเหนียวแน่นทำให้สารนี้เกิดการดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์ได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามสารที่ละลายน้ำได้บางชนิดสามารถเกาะติดผิวถ่านกัมมันต์ได้

2.3.4 ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์

ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์มีความสำคัญอย่างมากต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในโพรงของถ่านกัมมันต์ จากการวิจัยพบว่า การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อสารที่ถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่าโพรงของถ่านกัมมันต์เพียงเล็กน้อย เนื่องจากจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างสารและถ่านกัมมันต์มากที่สุด จึงทาให้สารขนาดเล็กนี้ถูกดูดเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ก่อน จากนั้นสารขนาดใหญ่จึงจะถูกดูดเข้าสู่รูพรุนตามลำดับ

2.3.5 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลาย

เนื่องจากถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการดูดซับสารออกจากสารละลาย ดังนั้นค่าความเป็นกรดด่างของสารตัวทำละลายจะมีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายจะมีผลต่อการแตกตัวของอิออนของตัวถูกละลาย ถ้าสารละลายเป็นกรด จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ลดลง เนื่องจากไฮโดรเจนอิออน (H^+) จะเกาะติดที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้ดี ทำให้ถ่านมีรูพรุนน้อยลง

2.3.6 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับอย่างมากถ้าอยู่ในสภาวะของเหลว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลาย จะทำให้อัตราการดูดซับสูงขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับลดลง

2.4 เตาอบไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมากถึง 2,450 ล้านรอบต่อวินาที มีลักษณะคล้ายกับคลื่นวิทยุแต่มีความถี่ที่สั้นกว่า หัวใจสำคัญของเตาไมโครเวฟคือ หลอดแม็กนิตรอน (magnetron) ซึ่งเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นไมโครเวฟไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เพราะคลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นความถี่สูงไม่ใช่รังสีจึงไม่กระจายและไม่สะสมในร่างกายมนุษย์

หลักการทำงานของเตาไมโครเวฟนั้นจะเป็นตัวกำเนิดคลื่นจะสร้างคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่อาหารจากทุกทิศทุกทางโดยรอบของผนังเตาด้านในแล้วแผ่กระจายไปสู่อาหาร เมื่อคลื่นความถี่สูงไปกระทบอาหารจะทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่น ๆ ต่อไปจนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานจลน์นี้เองจะกลายสภาพเป็นพลังงานความร้อนจึงทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็ว [3]

2.4.1 คลื่นไมโครเวฟ

- การสะท้อนกลับ (reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อไปกระทบกับภาชนะที่เป็นโลหะหรือมีส่วนผสมของโลหะ คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านภาชนะดังกล่าวได้จะสะท้อนกลับหมด ดังนั้นอาหารที่ใส่ในภาชนะที่เป็นโลหะก็จะไม่สุก

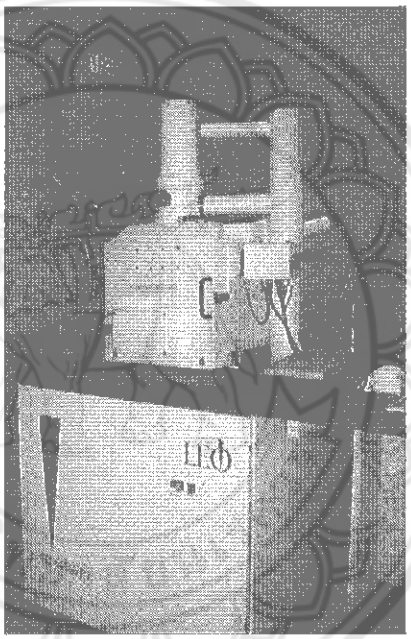
- การส่งผ่าน (transmission) คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระดาษไม้ เซรามิกและพลาสติกได้ เพราะภาชนะดังกล่าวไม่มีส่วนผสมของโลหะ จึงเป็นภาชนะที่ใช้ได้ดีในเตาอบไมโครเวฟ

- การดูดซึม (absorption) ปกติอาหารโดยทั่วไปจะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำในอาหารซึ่งจะดูดซึมคลื่นไมโครเวฟทำให้อาหารร้อนอย่างรวดเร็วและอีกนัยหนึ่งเมื่อโมเลกุลของน้ำดูดซึมคลื่นไมโครเวฟแล้วจะสลายตัวในทันที ไม่สะสมในอาหาร

2.4.2 หลักการให้ความร้อน

การประกอบอาหารด้วยเตาไมโครเวฟนี้ แตกต่างจากการประกอบอาหาร ด้วยเตาอบธรรมดาคือเตาอบธรรมดาให้พลังงานความร้อนโดยเปลวไฟแบบเตา อบแก๊สหรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าซึ่งจะทำให้อาหารสุกโดยการถ่ายเทความ ร้อน คือการนำ การพาและการแผ่รังสี แต่เตาไมโครเวฟทำให้อาหารสุกโดยคลื่น ไมโครเวฟ ที่มีความถี่สูง ทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและ ชนโมเลกุลอื่นๆต่อไปจนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานจลน์นี้เองจะกลาย สภาพเป็นพลังงานความร้อน จึงทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็วและเร็วกว่าประกอบ อาหารด้วยระบบอื่น ๆ โดยไม่เสียพลังงานความร้อน

2.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM))



รูป 2.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

หลักการทำงานกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด คือ อิเล็กตรอนปฐมภูมิ (primary electron) จากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron gun) จะถูกเร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าสูง (1,000 ถึง 3,000 อิเล็กตรอนโวลต์ หรือมากกว่า) ที่สามารถปรับค่าได้ จากนั้นจึงถูกดึงดูดลงสู่เบื้องล่างโดยแผ่นอาโนด (anode plate) ภายใต้ภาวะความดันสุญญากาศ 10-5 – 10-7 ทอร์ และมีชุดคอนเดนเซอร์เลนส์ที่จะปรับลำอิเล็กตรอน (electron beam) ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเป็นการเพิ่มความเข้มของลำอิเล็กตรอน จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะวิ่งลงสู่เบื้องล่างผ่านเลนส์วัตถุ ซึ่งทำหน้าที่ในการปรับลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้มีจุดโฟกัสบนผิวตัวอย่างพอดี และลำอิเล็กตรอนที่ตกกระทบผิววัตถุ หรือตัวอย่างจะมีขนาดในช่วง 5 ถึง 200 นาโนเมตร โดยมีชุดขดลวดควบคุมการส่องกราด (scan coil) ของลำอิเล็กตรอนทำหน้าที่ในการควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของลำอิเล็กตรอนบนผิวตัวอย่าง ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดได้โดยผ่านทางชุดควบคุม (control unit) ขณะที่ลำอิเล็กตรอนกระทบผิวตัวอย่างจะ

เกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับอะตอมธาตุในวัตถุหรือตัวอย่างและเกิดการถ่ายโอนพลังงานที่ชั้นความลึกจากพื้นผิวที่ระดับต่างๆ ทำให้เกิดการปลดปล่อยสัญญาณอิเล็กตรอน (Electron signal) ชนิดต่างๆ ออกมา ซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาลักษณะผิวของตัวอย่างและวิเคราะห์ธาตุที่มีในตัวอย่างได้ตามลักษณะสัญญาณรูปได้จากสัญญาณอิเล็กตรอนชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้น คือ

1. สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron Image, SEI) หรือเป็นอิเล็กตรอนพลังงานต่ำ 3 - 5 อิเล็กตรอนโวลต์ เกิดที่พื้นผิวระดับไม่ลึก (ไม่เกิน 10 นาโนเมตร) โดยเกิดกับธาตุที่มีแรงยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนที่ผิวต่ำ

2. สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Backscattered Electron Image, BEI) หรือเป็นกลุ่มอิเล็กตรอนที่สูญเสียพลังงานให้กับอะตอมในชิ้นงานเพียงบางส่วนและกระเจิงกลับออกมา ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าอิเล็กตรอนทุติยภูมิ เกิดที่พื้นผิวระดับลึกกว่า 10 นาโนเมตร โดยเกิดได้ดีกับธาตุที่มีเลขอะตอมสูง

3. สัญญาณภาพจากรังสีเอกซ์ (X-Ray Image, XRI) ชนิดที่เป็นรังสีเอกซ์เฉพาะตัวเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากอิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่างๆ (K, L, M,...) ถูกกระตุ้น (excited) หรือได้รับพลังงานมากพอจนหลุดออกจากวงโคจรออกมา ทำให้อะตอมต้องรักษาสมดุลของโครงสร้างรวมภายในอะตอม โดยการดึงอิเล็กตรอนจากชั้นวงโคจรถัดไปเข้ามาแทนที่และต้องลดพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อทำให้ตัวเองมีพลังงานเท่ากับชั้นโคจรที่แทนที่ ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีความยาวคลื่นเฉพาะในแต่ละธาตุตามระดับพลังงานของตัวอย่างได้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ

สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนมาเป็นสัญญาณภาพปรากฏบนจอรับภาพได้โดยต้องเลือกใช้อุปกรณ์ในการวัดให้เหมาะสมกับสัญญาณแต่ละชนิด โดยทั่วไปสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิใช้ตัวตรวจวัดชนิดพลาสติกเรืองแสง (plastic scintillation detector) สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนกระเจิงกลับจะใช้ตัวตรวจวัดที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อพีเอ็น (PN junction detector) หรือตัวตรวจวัดชนิดโรบินสัน (robinson detector) และในสัญญาณภาพจากรังสีเอกซ์จะใช้หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนลิเทียม (lithium drifted silicon, Si(Li)) ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ในการวิเคราะห์พลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวซึ่งอุปกรณ์วิเคราะห์นั้นมีทั้งแบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer, SCA) และอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multi Channel Analyzer, MCA) [7]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการผลิตถ่านกัมมันต์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีผู้วิจัยมาแล้วก่อนหน้านี้เกี่ยวกับกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุทางการเกษตรรวมไปถึงการนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่างๆ ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่าถ่าน กัมมันต์นั้นมีความนิยมกันอย่างแพร่หลายทั้งในด้านการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม

การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว โดยกิติโรจน์ หวันตาหลา [8] จากการศึกษาการดูดซับสีย้อมโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินที่นำเข้ามาจากประเทศอเมริกา และจากกะลามะพร้าวที่ผลิตได้ในประเทศไทยโดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ

ได้แก่ เวลาเข้าสู่สมดุลปริมาณถ่านกัมมันต์ ปริมาณสีย้อมเริ่มต้นความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสีย้อมเริ่มต้น การปรับสภาพด้วยเกลือแกงขนาดของถ่านกัมมันต์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินมีอัตราเร็วของการดูดซับสูงกว่า และเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ความสามารถในการดูดซับยิ่งมีค่าสูงขึ้นส่วนการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสีย้อมพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง แม้เพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมความสามารถในการดูดซับ ไม่เพิ่มขึ้นตาม นอกจากนี้ยังพบว่าความสามารถในการดูดซับดีที่สารละลายสีมีค่าเป็นกรดอ่อน ขนาดของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดที่อยู่ในช่วง 125–150 μm เหมาะสมกับการดูดซับสีย้อม การดูดซับสูงสุดของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าวได้เท่ากับ 222.22 และ 158.73 mg/g ตามลำดับเมื่อใช้เกลือแกงในการปรับสภาพถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวจะทำให้ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินในสภาวะที่ดูดซับที่เหมาะสม เมื่อเปรียบเทียบความสามารถ ในการดูดซับสีย้อมของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน และกะลามะพร้าว พบว่าถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมสีเหลืองใกล้เคียงกัน แต่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว เป็นการเพิ่มมูลค่าแก่วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งสามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย และมีราคาถูกกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดที่ทำจากถ่านหินซึ่งนำเข้ามาจากต่างประเทศ แต่ต้องเลือกสภาวะที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาไปใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ ในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) ต่อไป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของถ่านกัมมันต์จากเปลือกแมคคาเดเมียโดยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยบรรพต สารกาญ [9] นำเปลือกแมคคาเดเมียมาเผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 500 °C โดยใช้เวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านจากการเผาเปลือกแมคคาเดเมียมาบดและร่อนให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 μm และ 0.8-5 mm และกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ความดัน 20 psi ระยะเวลาในการกระตุ้น 10 นาที พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนผ่านมาตรฐาน มีค่าดูดซับไอโอดีนของถ่านแบบผงอยู่ที่ 746.73 mg/g

งานวิจัยนี้มีการศึกษาสมบัติและคุณลักษณะของพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกมังคุดโดยภควดี สุขอนันต์ [10] พบว่าเปลือกมังคุดมีความแข็งและปริมาณคาร์บอนที่น่าสนใจในการนำมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ และจากการที่สามารถเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยการกระตุ้นเปลือกมังคุดด้วยสารเคมีแล้วเผาที่อุณหภูมิสูงโดยไม่ต้องทาการเผาเปลือกมังคุดให้เป็นถ่านก่อน และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีพื้นที่ผิวค่อนข้างสูง ทำให้สามารถลดขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ลดค่าใช้จ่าย และเวลาในการวิจัยได้

งานวิจัยนี้มีการศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย โดยพรรณธิดา บรรจง และเดชา ฉัตรศิริเวช [11] พบว่าการใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียช่วยทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวและรูพรุนมากขึ้น และปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์ คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบถ่านกัมมันต์หลังขั้นตอนการล้างซึ่งส่งผลต่อปริมาณน้ำที่อยู่ในถ่านกัมมันต์ที่จะช่วยในการดูดซับ เม

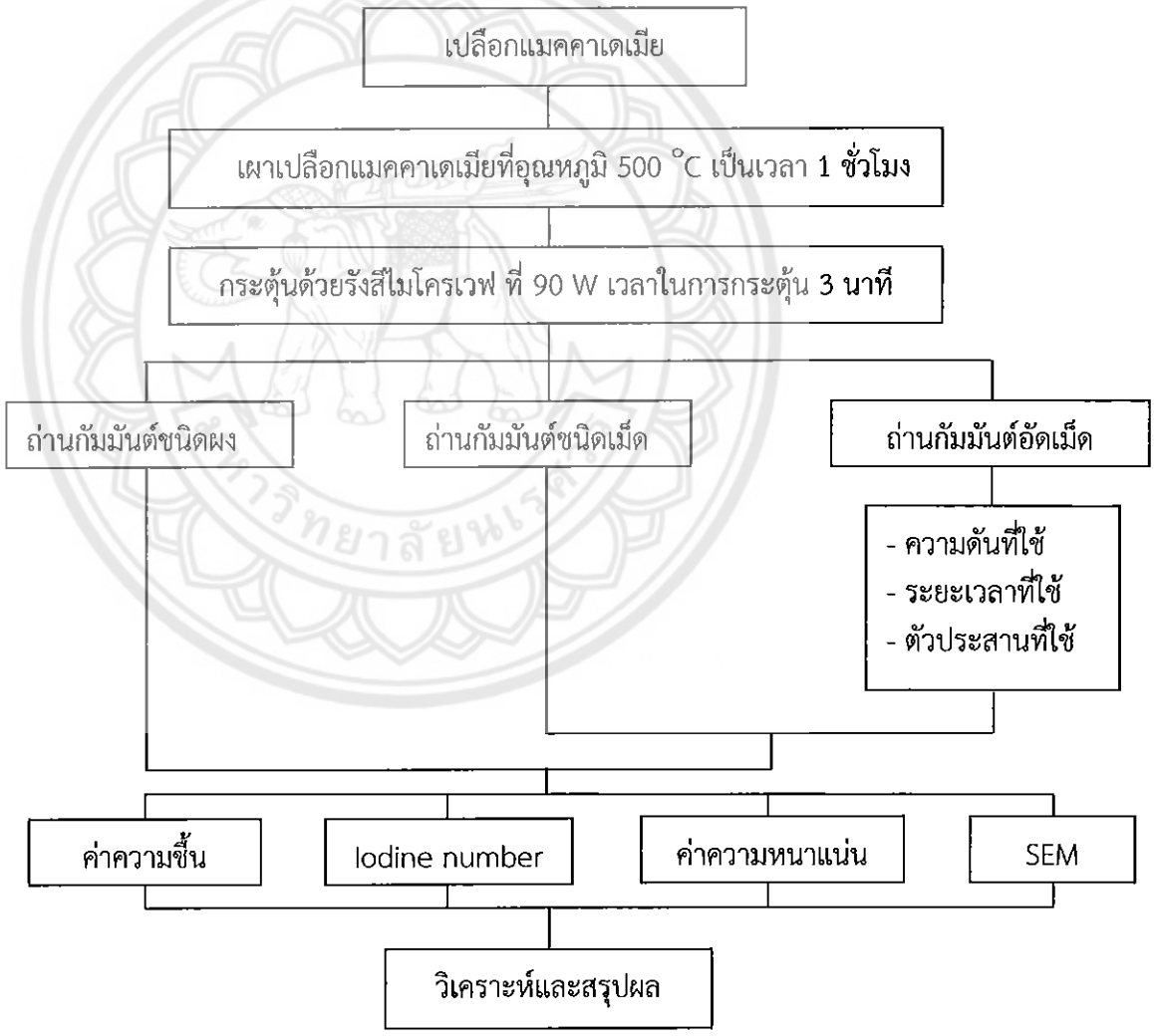
ทานอลในไบโอดีเซลและความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริก โดยการใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นทำให้ถ่านกัมมันต์ เกิดรูพรุนหรือโพรงมากขึ้น ทำให้ปริมาณดูดซับ เมทานอลจำเพาะของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น [11]

งานวิจัยต่างๆ พบว่าความดันที่เหมาะสมในการดูดซับแก๊สธรรมชาติและแก๊สมีเทนด้วยถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ คือ 35 bar แต่จากงานวิจัยของ Bagheri N. and Abedi J. (2011) ได้ศึกษาการดูดซับมีเทนบนถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดที่ความดัน 500, 1000, 1500 และ 2000 psi พบว่าความจุของการดูดซับมีเทนขึ้นอยู่กับความดัน ดังนั้นเมื่อเพิ่มความดันขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 500 psi ไปถึง 1500 psi ความจุของมีเทนจะเพิ่มจาก 120 เป็น 160 v/v แต่เมื่อเพิ่มความดันจาก 1500 psi ไปถึง 2000 psi ความจุของมีเทนลดลงจาก 160 เป็น 110 v/v ดังนั้นงานวิจัยนจึงใช้ความดันในการทดสอบการดูดซับแก๊สไบโอมีเทน ได้แก่ 30, 50, 70 และ 90 barg ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ผ่านมา และอยู่ในช่วง 500 – 1,500 psi (34.47 – 103.42 bar) เพื่อศึกษาอิทธิพลของความดันต่อปริมาณการดูดซับแกสไบโอมีเทนบนถ่านกัมมันต์ [14]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้ได้กล่าวถึงวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย เพื่อทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2547) และ ASTM ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบร้อยละของผลผลิตที่ได้ (ASTM D 1087) ความชื้น (AWWA B 604) สำหรับผงถ่าน (AWWA B600) สำหรับเม็ดถ่าน การดูดซับไอโอดีน สำหรับผงถ่าน (AWWA B600) สำหรับเม็ดถ่าน ตลอดจนศึกษาแหล่งผลิต กระบวนการผลิต ปริมาณการผลิต และค่าความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์อัดเม็ด ตามมาตรฐาน ASTM C20-00 (2014) โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังรูป 3.1

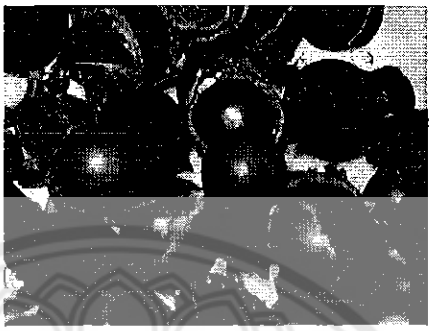


รูป 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 วัสดุเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย

เปลือกถั่วแมคคาเดเมียแห้งที่นำมาทดสอบสมบัติต่างๆ นั้นได้จากสวนของเกษตรกร โครงการหลวงดอยตุง จังหวัดเชียงราย ดังรูป 3.2



รูป 3.2 เปลือกถั่วแมคคาเดเมีย

3.1.2 เตาเผาควบคุมอุณหภูมิ

ใช้เตาเผาแบบปิดที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการเผาได้ จากห้องปฏิบัติการพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ขนาดเตาภายนอก กว้าง 450 mm ลึก 500 mm สูง 530 mm ภายในเตากว้าง 170 mm ลึก 250 mm สูง 160 mm ขนาดไฟป้อน 220 VAC 1 phase 12.5 A ทั้งสองข้างของเตาเผามีขดลวดความร้อนซึ่งทนความร้อนได้สูงถึง 1,200 $^{\circ}$C ขดอยู่และมีเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิภายในเตา ดังรูป 3.3

รูป 3.3 เตาเผาควบคุมอุณหภูมิและเวลา

1023646

สำนักหอสมุด
- 3 ...

3.1.3 เครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง

เครื่องชั่งแบบดิจิตอล ที่ใช้ในการชั่งน้ำหนักของเปลือกถั่วแมคคาเดเมียควรเป็นเครื่องชั่งที่มีความละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น Analytic Ac 210 s ดังรูป 3.4

รูป 3.4 เครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง

3.1.4 โถดูดความชื้นหรือเดซิเคเตอร์

เดซิเคเตอร์หรือโถดูดความชื้น เป็นภาชนะแก้วใช้สำหรับทำสารให้แห้ง เนื่องจากบรรจุสารที่สามารถดูดไอน้ำหรือความชื้นไว้ภายใน เรียกสารนี้ว่า เดซิแคนท์ เดซิแคนท์จะอยู่ทางตอนล่างของ เดซิเคเตอร์ ถ้าสารดังกล่าวมีลักษณะสีชมพูหรือแดงต้องนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงก่อน ส่วนตอนกลางจะมีแผ่นกระเบื้องเคลือบสำหรับวางสารที่ที่ต้องการจะทำให้แห้ง ดังรูป 3.5

รูป 3.5 โถดูดความชื้นหรือเดซิเคเตอร์

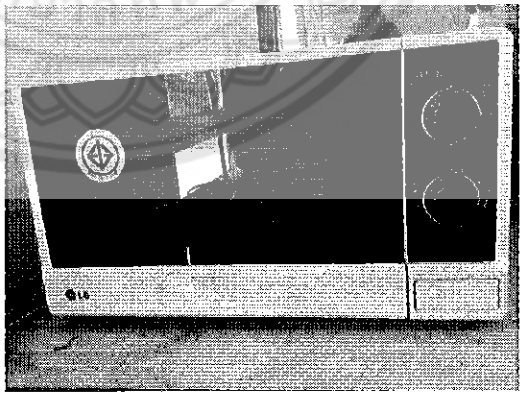
3.1.5 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ

ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ ใช้ตู้อบ ณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สามารถกำหนดอุณหภูมิการอบได้ถึง 300 °C และสามารถตั้งเวลาในการอบ ได้นานถึง 24 ชั่วโมง ภายในตู้อบมีชั้นสำหรับวางสารที่ต้องการอบแห้ง 2 ชั้น ใช้ทดสอบความชื้นโดยทำการอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (AWWA B 604) แล้วนำมาคำนวณค่าน้ำหนักที่หายไป ดังรูป 3.6

รูป 3.6 ตู้อบ

3.1.6 ไมโครเวฟ (microwave)

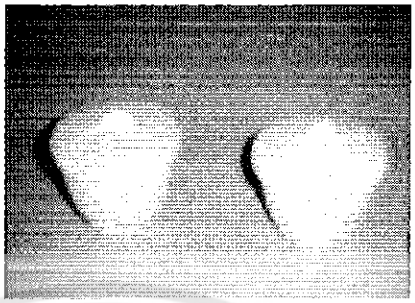
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการกระตุ้นถ่านจากซังข้าวโพดให้เป็นถ่านกัมมันต์โดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปสั่นโมเลกุลของน้ำ เพื่อเพิ่มปริมาณรูพรุนของถ่าน ใช้กำลังไฟฟ้า 90 W และ 360 W ยี่ห้อ LG รุ่น MS2427BW ความถี่คลื่นไมโครเวฟ 2,450 MHz ดังรูป 3.7



รูป 3.7 ไมโครเวฟ

3.1.7 ถ้วยกระเบื้องหรือถ้วยคูซิเบิล

ถ้วยคูซิเบิลหรือถ้วยกระเบื้อง เป็นถ้วยที่มีความจุ 10 cm^3 และสามารถทนความร้อนสูงถึง 1,000 °C ใช้ถ้วยกระเบื้องจากสำหรับทดสอบสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ เช่น ความชื้น ปริมาณ สารระเหย เถ้า และปริมาณคาร์บอนคงที่ ดังรูป 3.8



รูป 3.8 ถ้วยกระเบื้องหรือถ้วยคูซิเบิล

3.1.8 ถ้วยบดสารหรือมอทาร์

ใช้เครื่องบดสารจากห้องปฏิบัติการ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ประกอบด้วย ถ้วยบรรจุสารและแท่งบดสาร สำหรับบดถ่านจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย เพื่อนำไปกระตุ้นทางกายภาพให้กลายเป็นถ่านกัมมันต์ ดังรูป 3.9

รูป 3.9 ถ้วยบดสารหรือมอทาร์

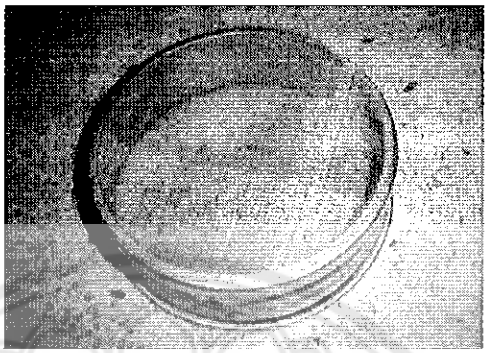
3.1.9 กระดาษกรอง

- กระดาษเบอร์ 1 ใช้สำหรับกรองถ่านในขั้นตอนภายการกระตุ้นถ่าน เพื่อแยกถ่านออกจากน้ำและนำถ่านที่มาทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ

- กระดาษกรอง เบอร์ 42 ใช้ในขั้นตอนการดูดซับไอโอดีน เพื่อนำสารละลายไอโอดีนที่ผ่านการดูดซับจากถ่านมาทดสอบคุณสมบัติการดูดซับไอโอดีน

3.1.10 ตะแกรงคัดขนาด

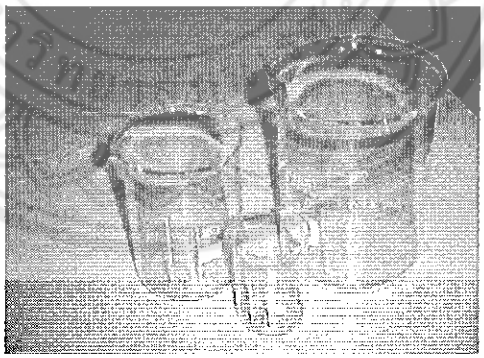
ตะแกรงคัดขนาด 0.8 – 5 mm และ 150 μm ใช้สำหรับร่อนผงถ่านจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดสารหรือมอทาร์ เพื่อคัดผงถ่านให้ได้ขนาดตามต้องการ ก่อนทำการกระตุ้นก่อกัมมันต์ ดังรูป 3.10



รูป 3.10 ตะแกรงคัดขนาด

3.1.11 บีกเกอร์

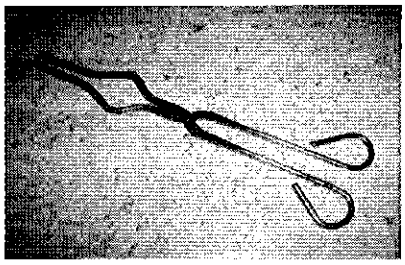
ใช้บีกเกอร์ที่ใช้มีขนาด 50 ml 500 ml และ 1000 ml ใช้บรรจุถ่านจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียในการทดสอบสมบัติทางกายภาพ การอบ การบดและร่อนถ่าน ใช้ตวงปริมาณน้ำกลั่นในกระบวนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยหม้ออัดความดัน รวมทั้งบรรจุสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) ดังรูป 3.11



รูป 3.11 บีกเกอร์ขนาดต่าง

3.1.12 คีมคีบถ้วยคูซิเบิล

ใช้สำหรับคีบถ้วยคูซิเบิลเข้าเตาเผาที่มีอุณหภูมิสูงและคีบถ้วยคูซิเบิลใส่ลงในโถดูดความชื้นหลังออกจากเตาเผา ดังรูป 3.12



รูป 3.12 คีมคีบถ้วยครูซิเบิล

3.1.13 หม้อดินเผา

เป็นหม้อดินเผาขนาดเล็กแบบมีฝาปิด เพื่อใช้เป็นภาชนะในการเผาแบบอับอากาศ โดยฝาปิดต้องแนบสนิทไม่ให้อากาศเข้าไประหว่างเผา ช่วยลดปริมาณเถ้าลง ใช้ในการเผาเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย เนื่องจากทนความร้อนได้ดี ดังรูป 3.13

รูป 3.13 หม้อดินเผา

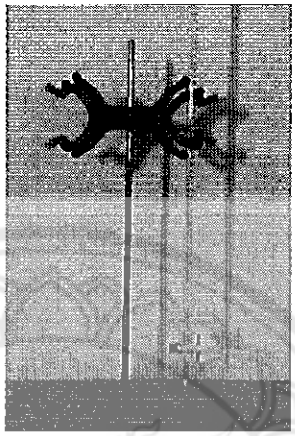
3.1.14 ฟอยล์อลูมิเนียมสำหรับห่ออาหาร

ฟอยล์อลูมิเนียมสำหรับห่ออาหารใช้ทำเป็นภาชนะสำหรับทดสอบสมบัติทากายภาพของถ่านกัมมันต์ เช่น ความชื้น ปริมาณสารระเหย เถ้า และปริมาณคาร์บอนคงที่ ดังรูป 3.14

รูป 3.14 ฟอยล์อลูมิเนียมสำหรับห่ออาหาร

3.1.15 ชุดการไทเทรต

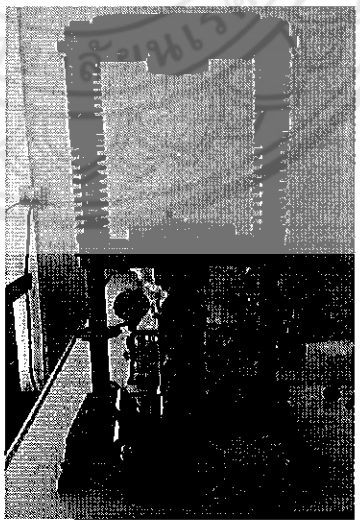
ชุดการไทเทรตใช้สำหรับการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลายที่ยังไม่ทราบความเข้มข้นจากสารละลายที่ทราบความเข้มข้นแล้วหรือที่เรียกว่าสารละลายมาตรฐาน อุปกรณ์ที่ใช้ในการไทเทรต คือ ที่จับและขาตั้งสำหรับยึดบิวเรตต์ซึ่งปลายของบิวเรตต์จะมีก๊อกปิดเปิดสารละลายที่ต้องการหาความเข้มข้นและฟลาสสำหรับบรรจุสารละลายมาตรฐาน ดังรูป 3.15



รูป 3.15 ชุดการไทเทรต

3.1.16 เครื่องอัดแบบระบบไฮโดรลิกมือ

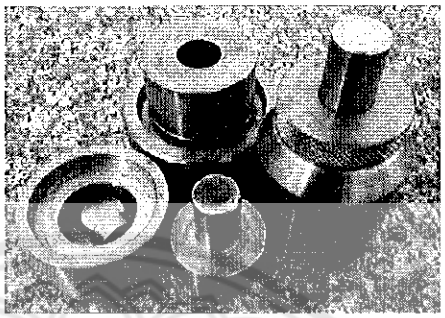
เครื่องอัดไฮโดรลิกมือ เป็นเครื่องมือสำหรับอัดถ่านเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด หน่วยความดันที่สามารถอัดได้คือ 0 - 6000 psi ซึ่งเครื่องอัดไฮโดรลิกนี้เป็นเครื่องอัดแบบเย็นจึงใช้ตัวประสานในการอัดขึ้นรูป ดังรูป 3.16



รูป 3.16 เครื่องอัดระบบไฮโดรลิกมือ

3.1.17 แม่พิมพ์ทองเหลือง

แม่พิมพ์ทองเหลือง คือ อุปกรณ์อัดถ่านให้ขึ้นรูปเป็นเม็ด และแม่พิมพ์ทองเหลืองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.90 mm ความสูง 24.78 mm ถ่านที่อัดจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ชุด คือ ชุดที่ใช้อัดถ่านขึ้นรูปเป็นเม็ด และชุดที่ใช้สำหรับนำถ่านออกจากแม่พิมพ์ทองเหลือง ดังรูป 3.17



รูป 3.17 แม่พิมพ์ทองเหลือง

3.1.18 สารเคมี

3.1.18.1 โปแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3) ยี่ห้อ Univar

3.1.18.2 โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) ยี่ห้อ Univar

3.1.18.3 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ยี่ห้อ Univar

3.1.18.4 ไอโอดีน (I_2) ยี่ห้อ Fluka

3.1.18.5 โปแตสเซียมไอโอไดน์ (KI) ยี่ห้อ Univar

3.1.18.6 สารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) ยี่ห้อ RCI Labscan

3.1.18.7 สารละลาย Polyvinyl Alcohol (PVA) ยี่ห้อ Technical

3.1.18.8 น้ำแป้ง

3.1.18.9 น้ำ DI

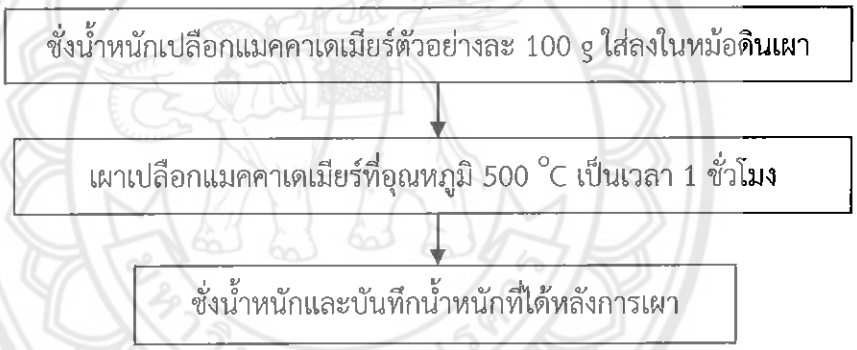
รูป 3.18 สารเคมี

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดและผงจากเปลือกแมคคาเดเมีย วิธีกระตุ้นทางกายภาพด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ วิธีดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนหลักๆ แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ การผลิตถ่าน การก่อกัมมันต์ด้วยวิธีกระตุ้นทางกายภาพโดยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ การอัดขึ้นรูปเม็ดถ่านกัมมันต์ และการตรวจสอบสมบัติถ่านกัมมันต์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900 – 2547) และ ASTM ได้แก่ การทดสอบร้อยละของผลผลิตที่ได้ (ASTM D 1087) ความชื้น (AWWA B 604) สำหรับผงถ่าน (AWWA B600) สำหรับเม็ดถ่าน (AWWA B604) เป็นต้น ขั้นตอนในการดำเนินงานตามลำดับ

3.2.1 การคาร์บอไนซ์เซชั่น

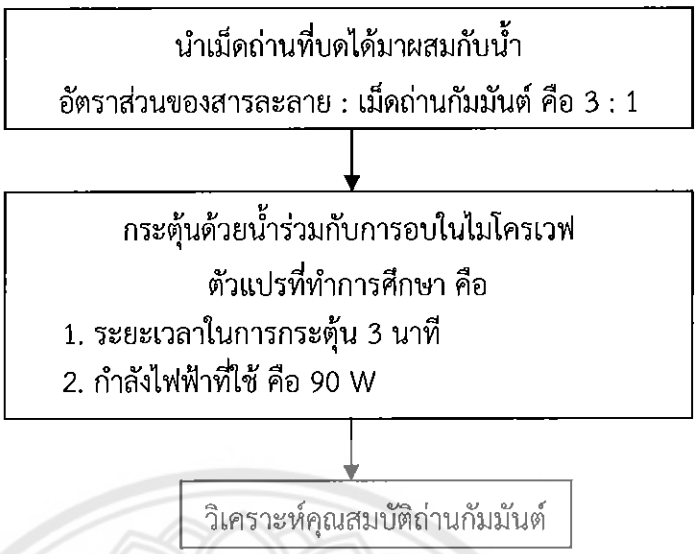
ทำการเผาเปลือกแมคคาเดเมียที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถ่านจากเปลือกแมคคาเดเมีย ขั้นตอนในการคาร์บอไนซ์เซชั่นสามารถสรุปได้ดังรูป 3.19



รูป 3.19 ขั้นตอนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน

3.2.2 การกระตุ้นถ่านด้วยน้ำร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ

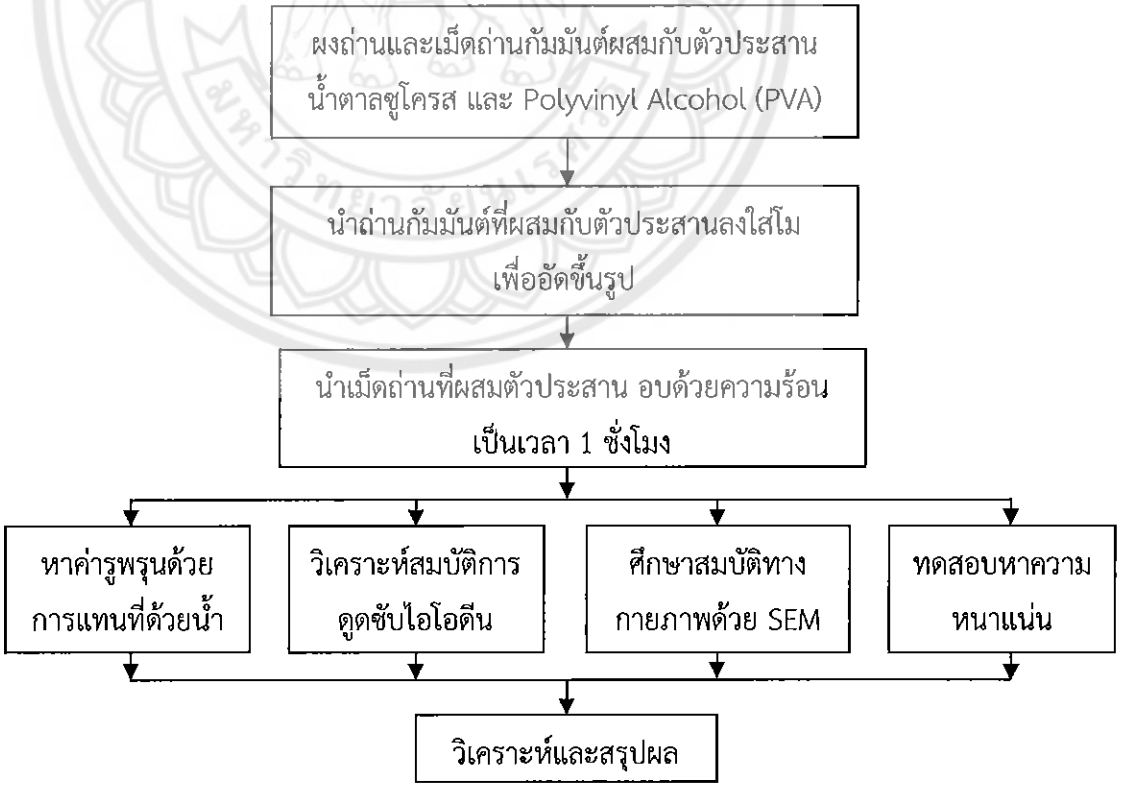
- นำเม็ดถ่านที่ได้บดได้มาแช่ในน้ำ และนำเข้าเตาอบไมโครเวฟที่เวลา 3 นาที กำลังไฟฟ้า 90 W อัตราส่วนของน้ำต่อถ่านกัมมันต์ ที่ใช้ในการทดลองคือ 3 : 1 สามารถสรุปได้ดังรูป 3.20
- นำเม็ดถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยน้ำมาทิ้งไว้ให้เย็น เพื่อเตรียมเข้าสู่ขั้นตอนการทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์



รูป 3.20 ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยน้ำ

3.2.3 ขั้นตอนการดำเนินการขึ้นรูปเม็ดถ่านกัมมันต์

ขั้นตอนการขึ้นรูปเม็ดถ่านมีลายละเอียด ดังนี้



รูป 3.21 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปเม็ดถ่าน

3.2.3 การอัดเม็ดหรือการขึ้นรูปถ่านกัมมันต์

การอัดถ่านกัมมันต์ใช้เครื่องอัดแบบไฮดรอลิกที่มีความดัน 500 และ 1000 psi เวลาในการอัด 1 นาที ขนาดบล็อกที่ใช้ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm สูง 5 mm โดยใช้ตัวประสานในการอัดขึ้นรูปคือน้ำตาลทรายร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ต่อน้ำ 100 ml และ Polyvinyl Alcohol (PVA) ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ต่อน้ำ 100 ml เมื่ออัดขึ้นรูปแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 $^{\circ}$C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีรายละเอียดอัตราส่วนของตัวประสาน อัตราส่วนในการผสม ถ่าน 1 กรัม ต่อ PVA 5 10 และ 15 หยด หรือประมาณ 0.2 0.4 และ 0.6 ml แสดงดังตารางที่ 3.1

ตาราง 3.1 อัตราส่วนของการผสมถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

ชนิดของตัวประสาน	ปริมาตรของสารละลาย		ถ่านกัมมันต์ (g)	อัตราส่วน	
	จำนวนหยด	ปริมาตร (ml)		ถ่าน (g)	ตัวประสาน (g)
PVA	5	0.2	1	1	0.2365
	10	0.4	1	1	0.5210
	15	0.6	1	1	0.7928

3.2.5 การศึกษาปริมาณความชื้น (ตามมาตรฐาน AWWA B 604)

นำเม็ดถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการอัดเม็ดทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเข้าตู้อบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 103 $^{\circ}$C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกมาจากตู้อบ แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

- ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างหลังอบแห้ง
- คำนวณหาค่าความชื้น ดังสมการ 3.1 ดังนี้

$$\text{ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \left[\frac{(L-X)}{L}\times 100\right] \qquad (3.1)$$

เมื่อ L = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ (g)

X = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

3.2.5 การหาความหนาแน่นบัลล์และความพรุนที่ปรากฏ

ในการศึกษาหาค่าความหนาแน่นบัลล์และความพรุนที่ปรากฏ ทำการศึกษาตามมาตรฐาน ASTM C20-00 (2014)

3.2.5.1 ขั้นตอนการทดสอบ

1) อบชิ้นทดสอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 $^{\circ}C$ เพื่อให้น้ำหนักของชิ้นทดสอบคงที่ นำชิ้นงานออก ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และชั่งน้ำหนักชิ้นงาน บันทึกค่าน้ำหนักแห้ง (D) ด้วยเครื่องชั่งความละเอียดสุดที่มีทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2) วางชิ้นทดสอบทั้งหมดลงในบิกเกอร์ที่มีตะแกรงอยู่ภายในเพื่อไม่ให้ชิ้นทดสอบสัมผัสกับก้นและขอบบิกเกอร์ เติมน้ำให้ท่วมชิ้นทดสอบอยู่เสมอในระหว่างการต้ม ต้มจนน้ำเดือดนาน 2 ชั่วโมง จากนั้นแช่ทิ้งทดสอบไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง

3) หลังจากชิ้นทดสอบอิ่มตัวในน้ำแล้ว ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบในน้ำ (S) แต่ละชิ้นด้วยการวางชิ้นทดสอบบนชุดตะกร้าที่จุ่มอยู่ในน้ำซึ่งต่อเข้ากับเครื่องชั่ง บันทึกค่าน้ำหนักที่ไม่เปลี่ยนแปลงในหน่วยกรัมทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4) หลังจากชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบในน้ำ (S) ให้ซับชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นเบาๆ บนกระดาษที่หมาดๆ เพื่อซับน้ำส่วนเกินที่ผิวของชิ้นทดสอบออก อย่าเช็ดมากเกินไปเพราะจะทำให้น้ำในรูพรุนของชิ้นทดสอบออกมาด้วย ชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบเปียก (M) ในหน่วยกรัม ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ทันทีหลังจากซับน้ำ ขั้นตอนนี้ควรทำอย่างรวดเร็วเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากการระเหยของน้ำจากชิ้นทดสอบ

3.2.5.2 ขั้นตอนการคำนวณ

ในการคำนวณต่อไปนี้ขึ้นกับสมมติฐานที่ว่า “น้ำ 1 cm^3 มีค่าเท่ากับน้ำ 1 g”

1) ปริมาตรรวม ดังสมการที่ 3.2 ดังนี้

จากสูตร $$V = M - S \quad (3.2)$$

เมื่อ V = ปริมาตร (cm^3)

M = น้ำหนักชิ้นทดสอบเปียก (g)

S = น้ำหนักชิ้นทดสอบในน้ำ (g)

2) ปริมาตรรูพรุนเปิด (V_{OP}) และปริมาตรที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ (V_{IP}) ดังสมการที่ 3.3 และ 3.4 ดังนี้

จากสูตร $V_{OP} = M - D$ (3.3)

$V_{IP} = D - S$ (3.4)

เมื่อ M = น้ำหนักชิ้นทดสอบเปียก (g)

S = น้ำหนักชิ้นทดสอบแห้ง (g)

D = น้ำหนักชิ้นทดสอบแห้ง (g)

3) ร้อยละความพรุนที่ปรากฏ (P) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรรูพรุนเปิดกับปริมาตรรวม ดังสมการที่ 3.5 ดังนี้

จากสูตร $P = [(M - D) / V] \times 100$

(3.5)

4) ร้อยละการดูดซึมน้ำ (A) แสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักน้ำที่ดูดซึมกับน้ำหนักชิ้นทดสอบแห้ง ดังสมการที่ 3.6 ดังนี้

จากสูตร $A = [(M - D) / D] \times 100$ (3.6)

5) ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (T) แสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักชิ้นทดสอบแห้งกับปริมาตรที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ ดังสมการ 3.7 ดังนี้

จากสูตร $T = D / (D - S)$ (3.7)

6) ความหนาแน่นรวม (B) แสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักชิ้นทดสอบแห้งกับปริมาตรรวม ดังสมการที่ 3.8 ดังนี้

จากสูตร $B = D / V$ (3.8)

3.2.6 การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน (ตามมาตรฐาน AWWA B 604)

3.2.6.1 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

สารเคมี และวิธีเตรียม

1) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

ผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) จำนวน 70.00 ml ลงในน้ำกลั่น 550.00 ml เขย่าให้เข้ากัน

2) สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไอโอเดต 0.100 N (normal, N)

ชั่งโปแตสเซียมไอโอเดต (Primary Standard Grade Potassium Iodate, KIO_3) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จำนวน 3.5667 g ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 ml

3) สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 ± 0.001 N (normal, N)

ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate, $Na_2S_2O_3.5H_2O$) 24.8200 g ในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือด 75.00 ml เติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.1000 g ถ่ายสารละลายลงใน

ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1 ลิตร ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ทิ้งไว้อย่างน้อย 4 วัน ก่อนทำการตรวจสอบความเข้มข้น

4) สารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.1 ± 0.001 N (normal, N)

ชั่งไอโอดีน 12.7000g และโปแตสเซียมไอโอไดน์ (KI) 19.1000 g ผสม ให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 2 - 5 ml คนให้ของแข็งละลาย ค่อยๆ เติมน้ำทีละน้อย (ครั้งละประมาณ 5.00 ml) จนกระทั่งให้สารละลายประมาณ 40 ml ทิ้งสารละลายไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง คนเป็นระยะเพื่อให้แน่ใจว่าของแข็งละลายหมด ถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 1 ลิตร ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ตรวจสอบความเข้มข้น กับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1000 N

5) น้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

สารละลายแป้ง (soluble Starch) 1.0 ± 0.5 g ในน้ำเย็น 5 - 10 ml คนสารละลายพร้อมกับเติมน้ำกลั่นเพิ่มอีก 25 ± 5 ml เทสารละลายลงในน้ำเดือด 1 ลิตร แล้วต้มต่อให้เดือดอีก 4 - 5 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.2.6.2 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย

ก) การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

1. ปิเปตต์สารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3) 25.00 ml ใส่ในขวด รูปชมพู่ขนาด 250 ml เติมโปแตสเซียมไอโอไดน์ (KI) 2.0000 g เขย่าจนละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 ml ลงในขวดรูปชมพู่

2. ไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 N เมื่อสีของสารละลายจางลงจนกระทั่ง เป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุด end point) หยดน้ำแป้ง 2 - 3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไตเตรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการไตเตรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

วิธีการคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ดังสมการที่ 3.9 ดังนี้

จากสูตร $$\square_1 = \frac{\square \times \square}{\square} \qquad (3.9)$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (N)

P = ปริมาตรสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (ml)

R = ความเข้มข้นสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (N)

V = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ (ml)

ข) การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

1.ปิเปตต์สารละลายไอโอดีน 25.00 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml

2. ไตเตรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1000 N เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุด end point) หยดน้ำแป้ง 2-3 หยด

สารละลายจะเป็นสีน้ำเงิน ไตเตรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการไทเทรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

วิธีการคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายไอโอดีน ดังสมการที่ 3.10 ดังนี้

จากสูตร $$\square_2 = \frac{\square \times \square_1}{\square} \quad (3.10)$$

เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (N)

V = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ (ml)

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (N)

L = ปริมาตรสารละลายไอโอดีน (ml)

3.2.6.3 วิธีวิเคราะห์การหาค่า Iodine number

1) ชั่งผงถ่านตัวอย่างละ 1.0000 g โดยให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml

2) เติมสารละลายไอโอดีน 0.1000 N ปริมาตร 50 ml เขย่าประมาณ 1 นาที

3) กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ทิ้งสารละลายที่กรองได้ในช่วงแรก

4) ปิเปตต์สารละลายที่กรองได้มา 25.00 ml ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 125 ml

5) ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1000 N เมื่อสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) หยดน้ำแป้ง 2 - 3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ทำซ้ำ 3 ครั้ง

6) คำนวณหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์

วิธีการคำนวณค่าการดูดซับจำเพาะของไอโอดีน (X/M) ดังสมการที่ 3.11 ดังนี้

จากสูตร $$\frac{\square}{\square} = \frac{\square - (\square\square \times \square \times \square)}{\square} \quad (3.11)$$

เมื่อ X/M = มิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านที่ใช้ดูดซับ

A = $(N_2)(12693.0)$

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (N)

B = $(N_1)(126.93)$

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต(N)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

M = ปริมาณถ่านที่ใช้ (g)

DF = ค่าคงที่ของการเจือจางหาได้ ดังสมการที่ 3.12 ดังนี้

จากสูตร $$\square\square = \frac{\square + \square}{\square} \quad (3.12)$$

เมื่อ I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (ml)

H = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% (ml)

F = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไทเทรต (ml)

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ผลการศึกษาการการอัดเม็ดถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 การผลิตถ่าน

ผลการทดลองหาค่าความชื้น ของเปลือกแมคคาเดเมียก่อนเผา พบว่ามีค่าเฉลี่ยความชื้นมาตรฐานแห้งร้อยละ 12.25 ± 0.28 และค่าเฉลี่ยมาตรฐานเปียกเท่ากับร้อยละ 10.92 ± 0.22 ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเปลือกแมคคาเดเมียพบว่ามีค่าร้อยละของผลผลิต 31.88 ± 0.66 ภายใต้เงื่อนไขการเผาที่อุณหภูมิ 500 °C แสดงดังตาราง 4.1 และ 4.2

ตาราง 4.1 ผลการศึกษาค่าความชื้นของเปลือกแมคคาเดเมีย

ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ความชื้น (%)	
	เริ่มต้น	สุดท้าย	มาตรฐานแห้ง	มาตรฐานเปียก
1	100	89.32	11.95	10.68
2	100	88.87	12.52	11.13
3	100	89.05	12.29	10.95

ตาราง 4.2 ผลการศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้

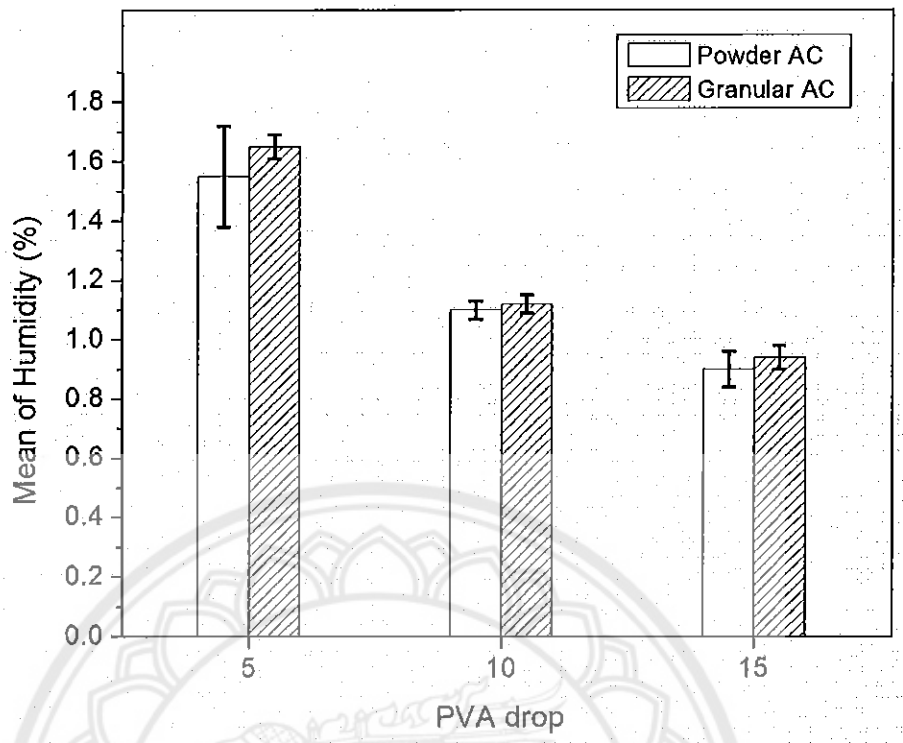
อุณหภูมิ (°C)	ร้อยละที่ผลิตได้			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
500	32.44	31.15	32.07	31.88 ± 0.66

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

เมื่อทำการประสานผงถ่านและเม็ดถ่านกัมมันต์ด้วย PVA จำนวน 5, 10 และ 15 หยด เมื่อนำไปอัดด้วยความดัน 500 และ 1000 psi จากตาราง 4.3 พบว่า ที่ความดันอัด 500 psi เมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ยระหว่างผงถ่านกับเม็ดถ่านกัมมันต์ที่ถูกประสานด้วย PVA ที่มีจำนวนหยดไม่เท่ากัน มีค่าความชื้นแตกต่างกันเล็กน้อย ค่าเฉลี่ยความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 0.9 – 1.6 ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานความชื้น AWWA B600 ทุกเงื่อนไขการใช้ตัวประสานที่กำหนดไว้ ดังตาราง 4.3 และรูป 4.1 อย่างไรก็ตาม ในถ่านกัมมันต์ทั้งสองประเภทจะมีค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ยลดลงเมื่อปริมาตรของ PVA เพิ่มขึ้น

ตาราง 4.3 ค่าร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA และอัดด้วยความดัน 500 psi

ชนิดของถ่าน	จำนวนหยด (PVA)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)		ความชื้น (%)	ค่าเฉลี่ยความชื้น (%)
			ก่อนอบ	หลังอบ		
ผงถ่าน	5	1	1.1295	1.1142	1.3732	1.35 ± 0.05
		2	0.9902	0.9773	1.3027	
		3	0.9942	0.9806	1.3869	
	10	1	0.9782	0.9673	1.1268	1.10 ± 0.03
		2	0.9822	0.9719	1.0598	
		3	1.0036	0.9926	1.1082	
	15	1	0.9869	0.9778	0.9307	0.90 ± 0.06
		2	0.9858	0.9766	0.9420	
		3	0.9865	0.9785	0.8176	
เม็ดถ่าน	5	1	1.0285	1.0117	1.6606	1.65 ± 0.04
		2	1.0312	1.0142	1.6762	
		3	0.9933	0.9776	1.6060	
	10	1	1.0285	1.0167	1.1606	1.12 ± 0.03
		2	1.0400	1.0286	1.1083	
		3	1.1417	1.1293	1.0980	
	15	1	1.0065	0.9966	0.9307	0.94 ± 0.04
		2	1.0042	0.9952	0.9043	
		3	0.9955	0.9865	0.9123	



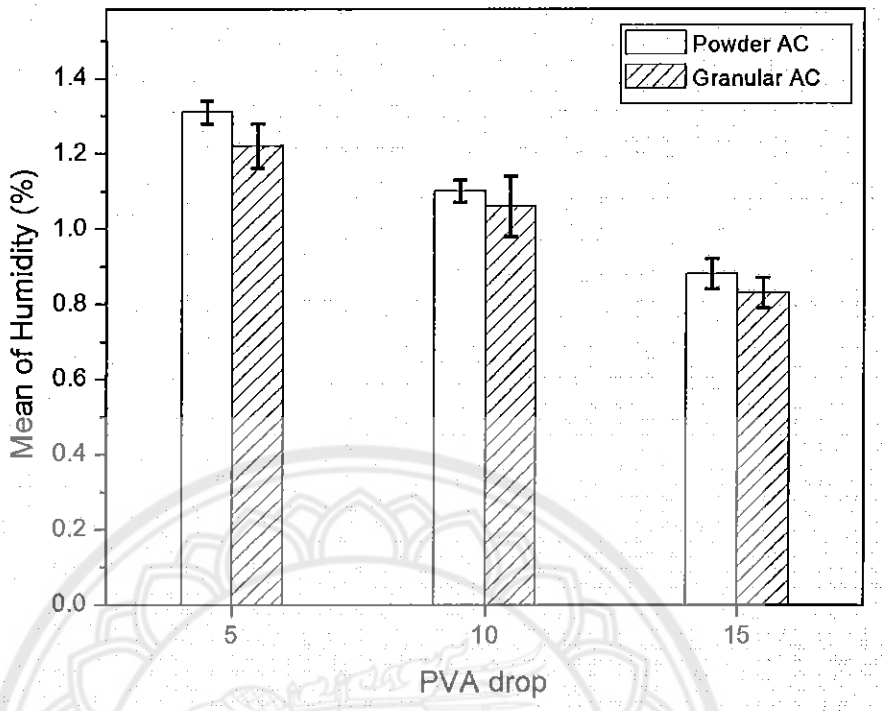
รูป 4.1 ร้อยละความชื้นเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA และถูกอัดด้วยความดัน 500 psi

เมื่อพิจารณาที่ความดัน 1000 psi จากตาราง 4.4 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ยระหว่างผงถ่านกับเม็ดถ่านกัมมันต์ที่ถูกประสานด้วย PVA ที่มีจำนวนหยดไม่เท่ากัน มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ค่าเฉลี่ยความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 0.8 – 1.4 ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานความชื้น AWWA B604 ที่กำหนดไว้ ดังตาราง 4.4 และรูป 4.2 อย่างไรก็ตาม ในถ่านกัมมันต์ทั้งสองประเภทจะมีค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ยลดลงเมื่อปริมาตรของ PVA เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA ในปริมาตรที่ต่างกัน และถูกอัดด้วยความดัน 500 และ 1000 psi ไม่มีผลต่อร้อยละความชื้น แต่มีค่าความชื้นแปรผันตามปริมาณของตัวประสานที่เติม โดยจะมีค่าความชื้นลดลง เมื่อเติมตัวประสานเพิ่มขึ้น

ตาราง 4.4 ค่าร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA และอัดด้วยความดัน 1000 psi

ชนิดของถ่าน	จำนวนหยด (PVA)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)		ความชื้น (%)	ความชื้น (%)
			ก่อนอบ	หลังอบ		
ผงถ่าน	5	1	1.1813	1.1657	1.3382	1.31 ± 0.03
		2	0.9910	0.978	1.3292	
		3	0.9972	0.9847	1.2694	
	10	1	0.9866	0.9759	1.0964	1.10 ± 0.03
		2	0.9804	0.9693	1.1451	
		3	1.0960	1.0845	1.0604	
	15	1	0.9818	0.9728	0.9252	0.88 ± 0.04
		2	0.9927	0.9841	0.8738	
		3	0.9818	0.9737	0.8319	
เม็ดถ่าน	5	1	0.9941	0.9825	1.1806	1.22 ± 0.06
		2	0.9828	0.9703	1.2882	
		3	0.9939	0.9823	1.1809	
	10	1	1.0019	0.9904	1.1611	1.06 ± 0.08
		2	1.0111	1.0006	1.0493	
		3	1.0007	0.991	0.9788	
	15	1	1.0054	0.9966	0.8830	0.83 ± 0.04
		2	1.0153	1.0073	0.7942	
		3	1.0097	1.0016	0.8087	

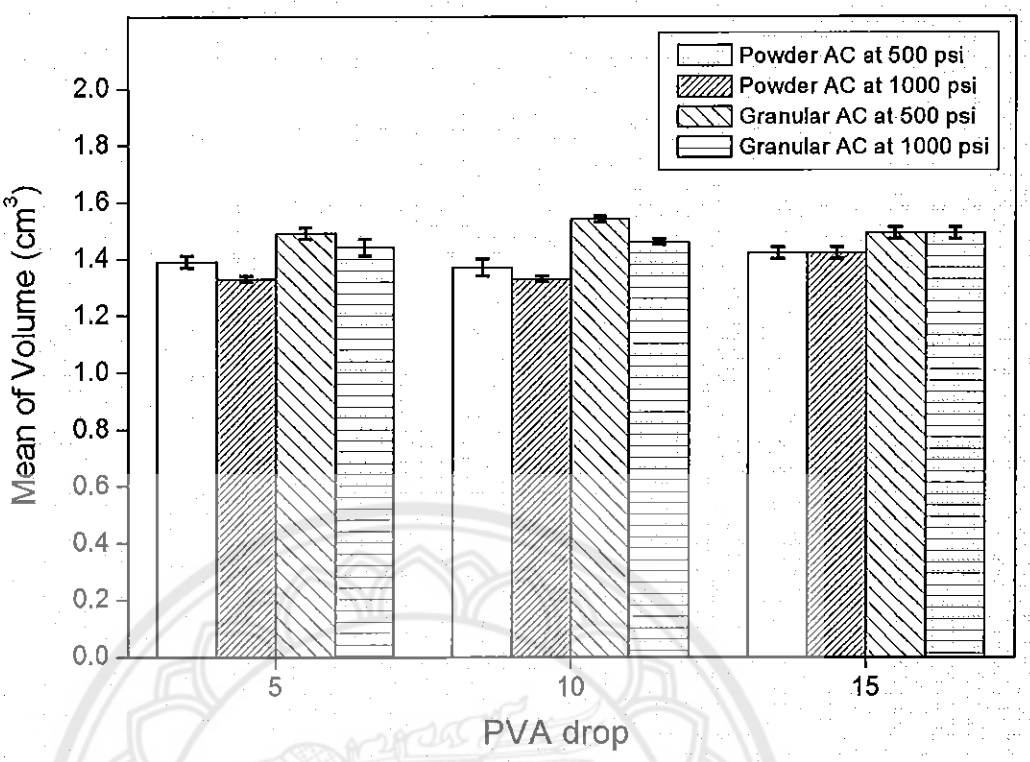


รูป 4.2 ร้อยละความชื้นเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA และถูกอัดด้วยความดัน 1000 psi

4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น

เมื่อทำการหาค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA จำนวน 5 10 และ 15 หยด แล้วนำไปอัดด้วยความดัน 500 และ 1,000 psi

ค่าปริมาตร (cm^3) ของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกอัดด้วยความดัน 500 และ 1,000 psi ที่ใช้ขนาดผงถ่านและเม็ดถ่านที่แตกต่างกัน พบว่ามีค่าปริมาตร อยู่ในช่วงระหว่าง 1.30 – 1.54 cm^3



รูป 4.5 ค่าเฉลี่ยปริมาตรถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA ที่ความดัน 500 และ 1,000 psi

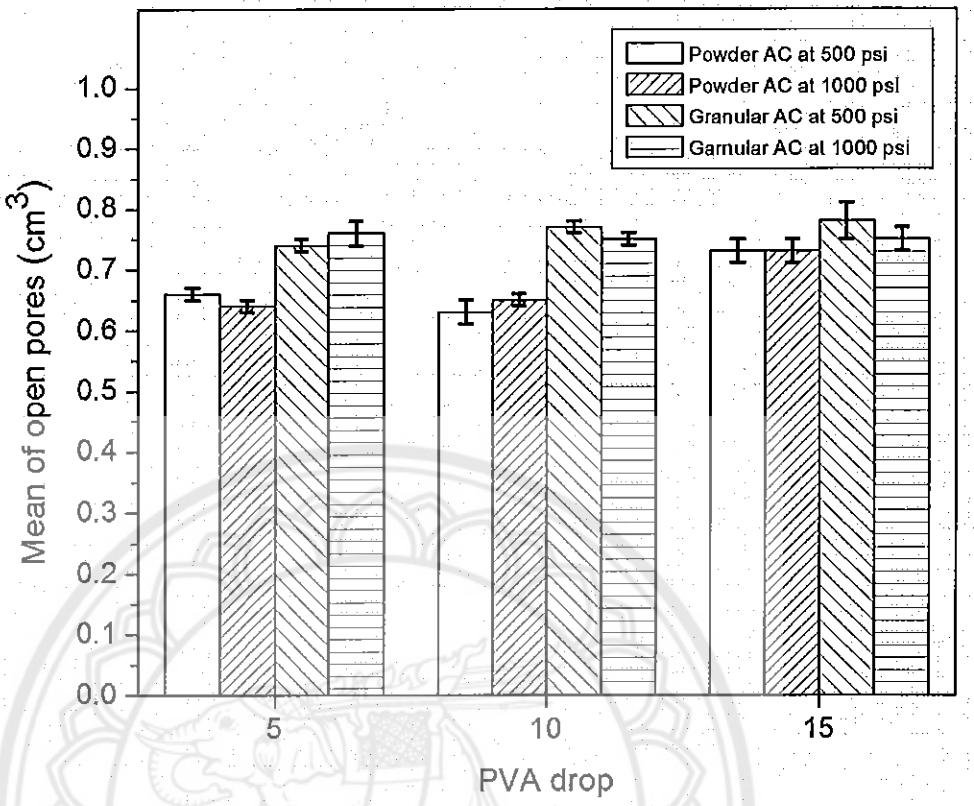
จากข้อมูลที่แสดงในตาราง 4.7 4.8 และรูป 4.5 พบว่า ปริมาตรของเม็ดถ่านสูงกว่าผงถ่านที่ความดันทั้งสองระดับ และเมื่อมีปริมาณตัวประสานเท่ากัน ผงถ่านและเม็ดถ่านมีปริมาตรลดลง เมื่อความดันอัดเพิ่มขึ้น เม็ดถ่านที่ถูกอัดด้วยความดัน 500 psi ให้ค่าปริมาตรสูงสุดและมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.51 cm^3 เม็ดถ่านที่ถูกอัดด้วยความดัน 1,000 psi มีค่าปริมาตรเฉลี่ยอยู่ที่ 1.46 cm^3 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยปริมาตรของผงถ่านที่ถูกอัดด้วยความดัน 500 psi อยู่ที่ 1.39 cm^3 ขณะผงถ่านที่ความดันอัด 1,000 psi ให้ปริมาตรต่ำที่สุด คือ 1.36 cm^3 ซึ่งปริมาตรดังกล่าวสอดคล้องกับขนาดของถ่านและความดันอัด นั่นคือ ผงถ่านที่มีขนาดเล็กสามารถถูกบีบอัดให้มีขนาดเล็กลงได้มากกว่าเม็ดถ่านที่มีขนาดใหญ่ ถูกบีบอัดได้น้อย และกำลังอัดมีผลต่อปริมาตรหรือพื้นที่ว่างภายในก้อนถ่าน

ตาราง 4.7 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA และอัดด้วยความดัน 500 psi

ชนิดของถ่าน	จำนวนหยด PVA	ตัวอย่างที่	ปริมาตร (cm^3)	ค่าเฉลี่ยของปริมาตร (cm^3)	รูพรุนเปิด (cm^3)	ค่าเฉลี่ยรูพรุนเปิด (cm^3)	ความพรุนที่ปรากฏ (%)	ค่าเฉลี่ยความพรุนที่ปรากฏ (%)	การดูดซึมน้ำ (%)	ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำ (%)	ความถ่วงจำเพาะ	ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะ	ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่ (g/cm^3)
ผงถ่าน	5	1	1.3714	1.39 ± 0.01	0.6591	0.66 ± 0.01	48.0604	47.74 ± 0.56	63.4360	63.09 ± 1.30	1.4587	1.45 ± 0.13	0.7576	0.76 ± 0.02
		2	1.3951		0.6649		47.6597		64.3223		1.4156		0.7410	
		3	1.4056		0.6678		47.5010		61.5030		1.4717		0.7725	
	10	1	1.3450	1.37 ± 0.01	0.6070	0.63 ± 0.01	45.1301	46.08 ± 0.26	59.2253	61.35 ± 1.52	1.3888	1.39 ± 0.01	0.7620	0.75 ± 0.01
		2	1.4006		0.6501		46.4158		62.1748		1.3942		0.7465	
		3	1.3693		0.6395		46.7027		62.6408		1.3989		0.7456	
	15	1	1.4416	1.42 ± 0.02	0.7582	0.73 ± 0.02	52.5943	51.76 ± 0.97	76.6013	74.13 ± 2.76	1.4483	1.45 ± 0.01	0.6866	0.70 ± 0.01
		2	1.4093		0.7273		51.6072		73.5910		1.4491		0.7013	
		3	1.3995		0.7149		51.0825		72.1830		1.4467		0.7077	
เม็ดถ่าน	5	1	1.4758	1.49 ± 0.03	0.7235	0.74 ± 0.02	49.0243	49.40 ± 0.72	69.3872	70.36 ± 1.92	1.3860	1.39 ± 0.01	0.7065	0.70 ±0.01
		2	1.5107		0.7419		49.1097		69.2652		1.3932		0.7090	
		3	1.4964		0.7493		50.0735		72.4381		1.3846		0.6913	
	10	1	1.5416	1.54 ± 0.01	0.7688	0.77 ± 0.01	49.8703	50.08 ± 0.20	71.0208	71.75 ± 0.40	1.4008	1.40 ± 0.01	0.7022	0.70 ±0.01
		2	1.5510		0.7797		50.2708		72.1410		1.4013		0.6968	
		3	1.5376		0.7704		50.1041		72.0741		1.3932		0.6952	
	15	1	1.4983	1.49 ± 0.02	0.7815	0.78 ± 0.02	52.1591	52.69 ± 0.71	77.5221	77.80 ± 1.98	1.4064	1.43 ± 0.01	0.6728	0.68 ± 0.01
		2	1.5031		0.8099		53.8820		80.4670		1.4520		0.6696	
		3	1.4607		0.7599		52.0230		75.4168		1.4378		0.6898	

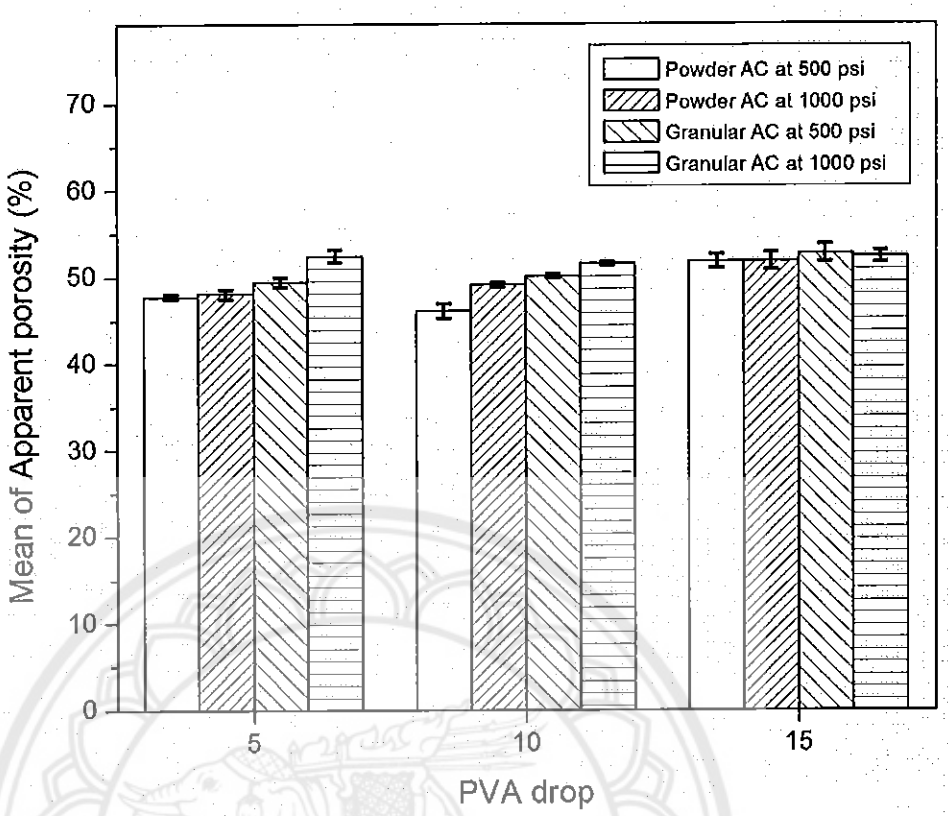
ตาราง 4.8 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA และอัดด้วยความดัน 1000 psi

ชนิดของถ่าน	จำนวนหยด PVA	ตัวอย่างที่	ปริมาตร (cm^3)	ค่าเฉลี่ยของปริมาตร (cm^3)	รูพรุนเปิด (cm^3)	ค่าเฉลี่ยรูพรุนเปิด (cm^3)	ความพรุนที่ปรากฏ (%)	ค่าเฉลี่ยความพรุนที่ปรากฏ (%)	การดูดซึมน้ำ (%)	ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำ (%)	ความถ่วงจำเพาะ	ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะ	ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่ (g/cm^3
ผงถ่าน	5	1	1.3262	1.33 ± 0.02	0.6306	0.64 ± 0.11	47.5494	48.08 ± 0.28	62.1894	63.48 ± 1.44	1.4577	1.45 ± 0.03	0.7646	0.76 ± 0.01
		2	1.3400		0.6434		48.0149		63.4641		1.4554		0.7566	
		3	1.3318		0.6482		48.6708		64.7941		1.4634		0.7512	
	10	1	1.3391	1.33 ± 0.03	0.6606	0.65 ± 0.02	49.3316	49.06 ± 0.84	66.7677	66.02 ± 1.85	1.4582	1.39 ± 0.01	0.7389	0.74 ± 0.01
		2	1.3439		0.6588		49.0215		67.0193		1.4348		0.7315	
		3	1.3161		0.6425		48.8185		64.2693		1.4841		0.7560	
	15	1	1.4416	1.42 ± 0.02	0.7626	0.73 ± 0.02	52.8995	51.80 ± 0.77	77.3898	74.24 ± 2.26	1.4513	1.45 ± 0.01	0.6835	0.70 ± 0.0
		2	1.4093		0.7196		51.0608		72.2490		1.4441		0.7067	
		3	1.3995		0.7201		51.4540		73.0917		1.4501		0.7037	
เม็ดถ่าน	5	1	1.4404	1.44 ± 0.02	0.7534	0.76 ± 0.01	52.3049	52.39 ±0.58	75.7719	76.26 ± 1.80	1.4473	1.44 ± 0.01	0.6903	0.69 ±0.01
		2	1.4207		0.7347		51.7139		74.6267		1.4351		0.6930	
		3	1.4708		0.7817		53.1479		78.3816		1.4473		0.6781	
	10	1	1.4535	1.46 ± 0.01	0.7459	0.75 ± 0.01	51.3175	51.50 ± 0.20	74.2558	74.71 ± 0.63	1.4196	1.42 ± 0.01	0.6911	0.69 ±0.01
		2	1.4695		0.7600		51.7182		75.0024		1.4282		0.6896	
		3	1.4598		0.7513		51.4659		74.8754		1.4162		0.6874	
	15	1	1.4983	1.49 ± 0.02	0.7817	0.78 ± 0.03	52.1724	52.32 ± 1.04	77.5573	76.85 ± 2.54	1.4065	1.43 ± 0.02	0.6727	0.68 ± 0.0
		2	1.5031		0.7981		53.0969		78.3757		1.4444		0.6775	
		3	1.4607		0.7552		51.7012		74.6024		1.4349		0.6930	



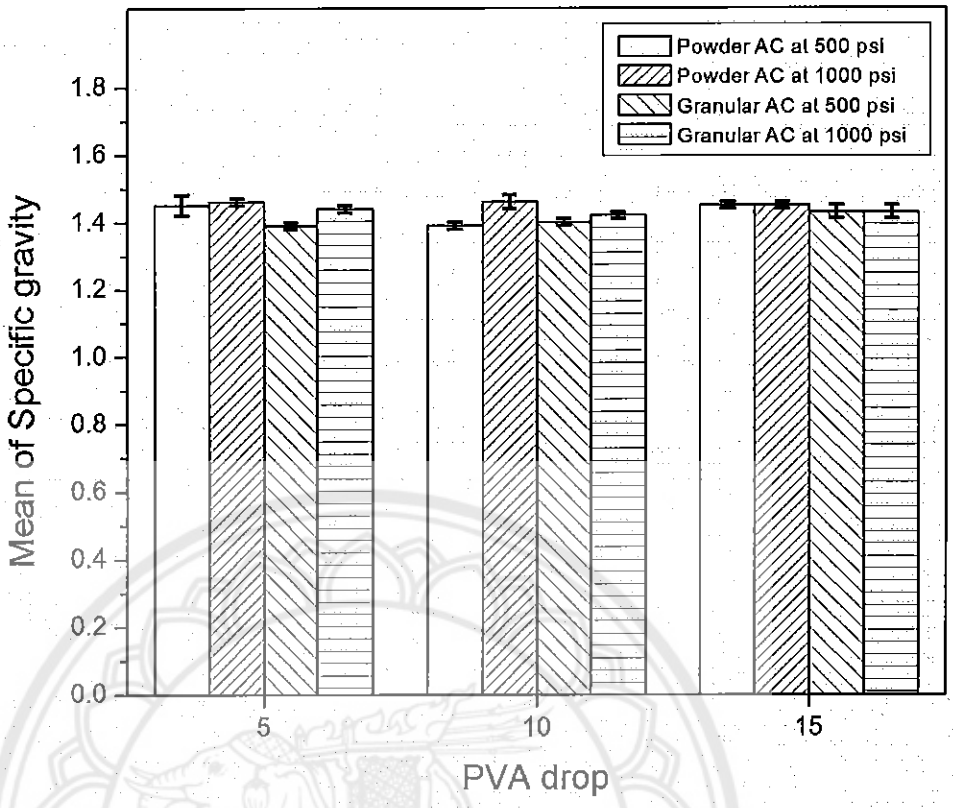
รูป 4.6 ค่าเฉลี่ยรูพรุนเปิดของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA ที่ความดัน 500 และ 1,000 psi

รูพรุนเปิด เป็นรูพรุนที่ผิวติดต่อกับอากาศภายนอก จากตาราง 4.7 4.8 และรูป 4.6 พบว่า ค่าเฉลี่ยรูพรุนของเม็ดถ่านสูงกว่าผงถ่านที่ความดันทั้งสองระดับ ปริมาณรูพรุนของเม็ดถ่านและผงถ่านที่ถูกอัดด้วยความดันต่างกัน มีความน่าสนใจ เนื่องจากมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.7 และ 0.67 cm^3 ตามลำดับจะเห็นได้ว่า ปริมาณ PVA หรือแรงอัด ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยรูพรุนของเม็ดถ่านและผงถ่าน นั่นคือ ค่าเฉลี่ยรูพรุนจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุค่อนข้างมาก แต่ยังมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ PVA ซึ่งเป็นไปได้ว่า ตัวประสานเป็นตัวช่วยยึดเพื่อเพิ่มปริมาณพื้นที่ของรูพรุน และสอดคล้องกับปริมาตรของเม็ดถ่านที่สูงกว่าจึงทำให้มีค่าเฉลี่ยรูพรุนที่สูงกว่าผงถ่าน



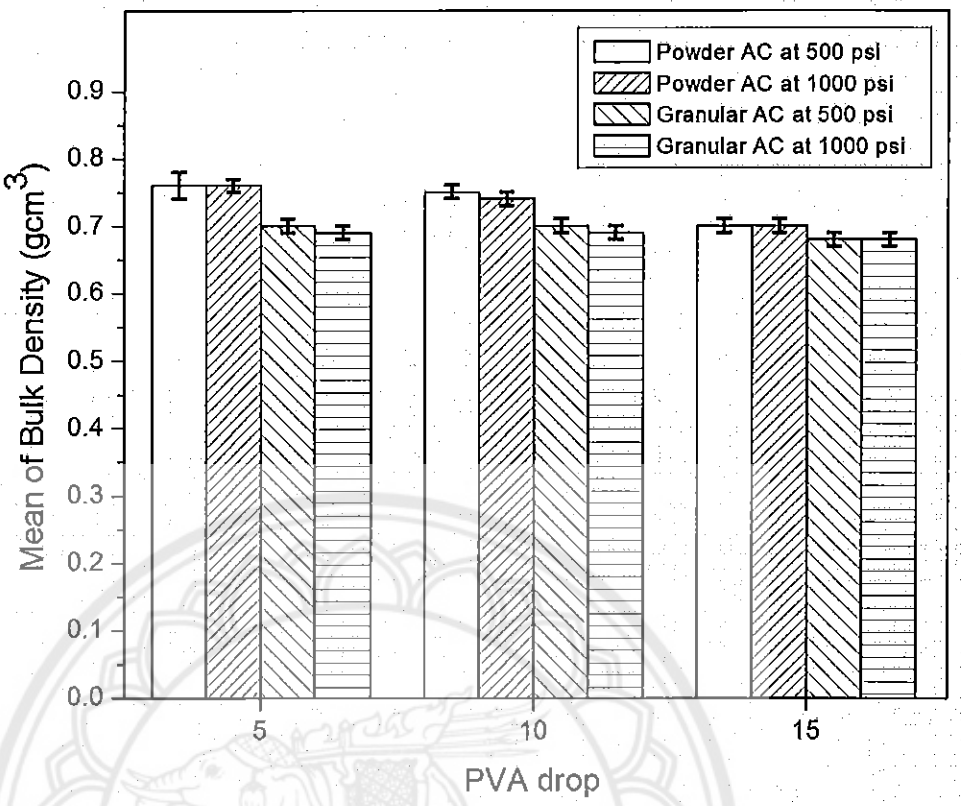
รูป 4.7 ค่าเฉลี่ยความพรุนที่ปรากฏของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA ที่ความดัน 500 และ 1,000 psi

จากรูป 4.7 ที่ความดัน 1,000 psi ค่าเฉลี่ยความพรุนที่ปรากฏของเม็ดถ่านมีค่าเกิน 50% เช่นเดียวกันกับผงถ่านที่มี PVA 15 หยด แต่ 5 และ 10 หยด มีค่าไม่เกิน 50% ซึ่งมีความน่าสนใจว่าตัวประสานช่วยเพิ่มจำนวนรูพรุนให้มากขึ้น เกิดการเชื่อมหรือประสานกันระหว่าง ผงกับผง หรือเม็ดกับเม็ด แล้วสร้างลักษณะพฤติกรรมคล้ายรูพรุนหรือพื้นที่ผิวให้เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความดัน 500 psi ค่าเฉลี่ยความพรุนที่ปรากฏของเม็ดถ่านที่มี PVA 10 และ 15 หยด มีค่าเกิน 50% เช่นเดียวกับผงถ่านที่มี PVA 15 หยด แต่มีค่าน้อยกว่าเม็ดถ่านและผงถ่านที่ความดัน 1,000 psi เล็กน้อย นั่นคือ เมื่อมีแรงดันมาก จะทำให้รูพรุนค่อนข้างดีแต่ไม่ต่างกันมาก



รูป 4.9 ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA ที่ความดัน 500 และ 1,000 psi

จากรูป 4.9 พบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของถ่านอัดขึ้นรูปมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.43 ค่าดังกล่าวนี้บ่งบอกถึงวัสดุที่ปรากฏของก้อนถ่านซึ่งประกอบด้วยวัสดุชนิดเดียวกัน คือ วัสดุถ่านหรือคาร์บอน อย่างไรก็ตาม ค่าความถ่วงจำเพาะของคาร์บอนอยู่ที่ 2.23 (แกรไฟต์) [14] และ 3.52 (เพชร) [14] ซึ่งมีค่ามากกว่าถ่านกัมมันต์ สามารถอธิบายได้ว่า ถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยถ่านและพื้นที่รูพรุน ทำให้มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าคาร์บอนที่ไม่มีรูพรุน



รูป 4.10 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA **ที่ความดัน** 500 และ 1,000 psi

จากตาราง 4.7 4.8 และรูป 4.10 พบว่า ที่ความดันทั้งสองระดับ **ความหนาแน่นเฉลี่ยของ**ผงถ่านมีค่าสูงกว่าเม็ดถ่านและมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่า**ที่ได้สามารถเชื่อถือได้จาก**การสังเกตค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของผงถ่านและเม็ดถ่านกัมมันต์**ที่มีความใกล้เคียงกัน เมื่อพิจา**รณาปริมาตรของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดทั้งสองชนิด พบว่า ปริมาตรของเม็ดถ่า**นสูงกว่าผงถ่าน และมีค่าต่ำ**ลงเมื่อเพิ่มความดันอัด นั่นคือ การอัดด้วยแรงอัดมากๆ จะทำให้ปริมาตร**ลดลง และเมื่อพิจารณา**ค่าเฉลี่ยรูพรุนของผงถ่านของความดันทั้งสองระดับ ค่าเฉลี่ย**มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ** PVA **ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่น นั่นคือ ถ้ารูพรุนมีปริมาณมากขึ้น แสดงว่ามีความพรุนมากขึ้น จึงทำให้ความหนาแน่นมีค่าลดลง**

4.4 ค่าการดูดซับไอโอดีน

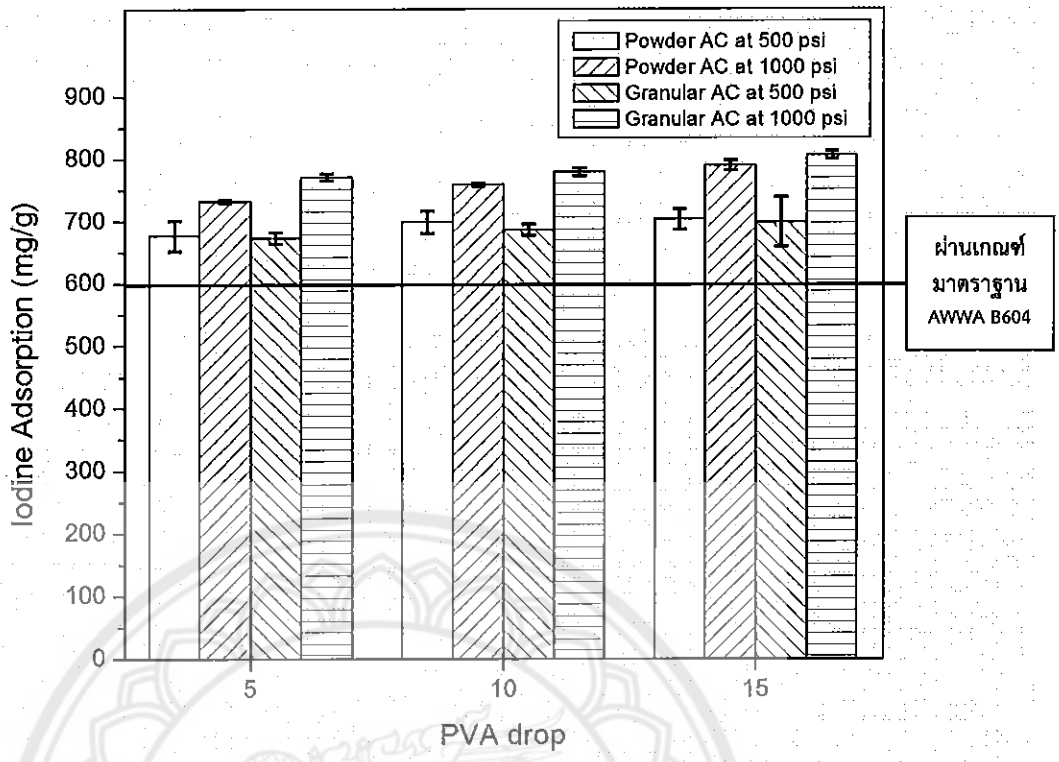
เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนของผงถ่านและเม็ดถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA พบว่า ค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีน มีค่าอยู่ระหว่าง 673.08 – 805.80 mg/g ซึ่งแสดงในตาราง 4.10 และ 4.11 ดังนี้

ตาราง 4.10 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA และอัดที่ความดัน 500 psi

ชนิดของถ่านกัมมันต์	จำนวนหยด PVA	ตัวอย่างที่	ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)	ค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีน (mg/g)
ผงถ่าน	5	1	689.34	676.97 ± 24.19
		2	692.48	
		3	649.1	
	10	1	707.01	698.49 ± 18.18
		2	677.61	
		3	710.85	
	15	1	710.13	703.26 ± 16.92
		2	683.98	
		3	715.66	
เม็ดถ่าน	5	1	670.62	673.08 ± 9.52
		2	665.03	
		3	683.59	
	10	1	681.17	686.08 ± 9.15
		2	680.44	
		3	696.64	
	15	1	659.31	698.28 ± 40.28
		2	695.77	
		3	739.77	

ตาราง 4.11 ค่าการดูดซับไอโอดีนของเม็ดถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA และอัดที่ความดัน 1000 psi

ชนิดของถ่านกัมมันต์	จำนวนหยด PVA	ตัวอย่างที่	ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)	ค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีน (mg/g)
ผงถ่าน	5	1	733.51	732.29 ± 2.14
		2	733.54	
		3	729.82	
	10	1	760.68	758.98 ± 2.46
		2	760.11	
		3	756.16	
	15	1	799.07	789.53 ± 8.28
		2	785.28	
		3	784.25	
เม็ดถ่าน	5	1	774.88	770.91 ± 5.06
		2	772.63	
		3	765.21	
	10	1	774.91	778.97 ± 6.35
		2	775.71	
		3	786.28	
	15	1	810.04	805.80 ± 6.23
		2	798.65	
		3	808.72	



รูป 4.11 ค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสาน PVA และอัดด้วยความดัน 500 และ 1000 psi

จากตาราง 4.10 และ รูป 4.11 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสาน PVA และอัดด้วยความดัน 500 psi พบว่า ค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนไม่แตกต่างกันมาก โดยค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนของผงถ่านสูงกว่าเม็ดถ่านเล็กน้อย และค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวประสาน

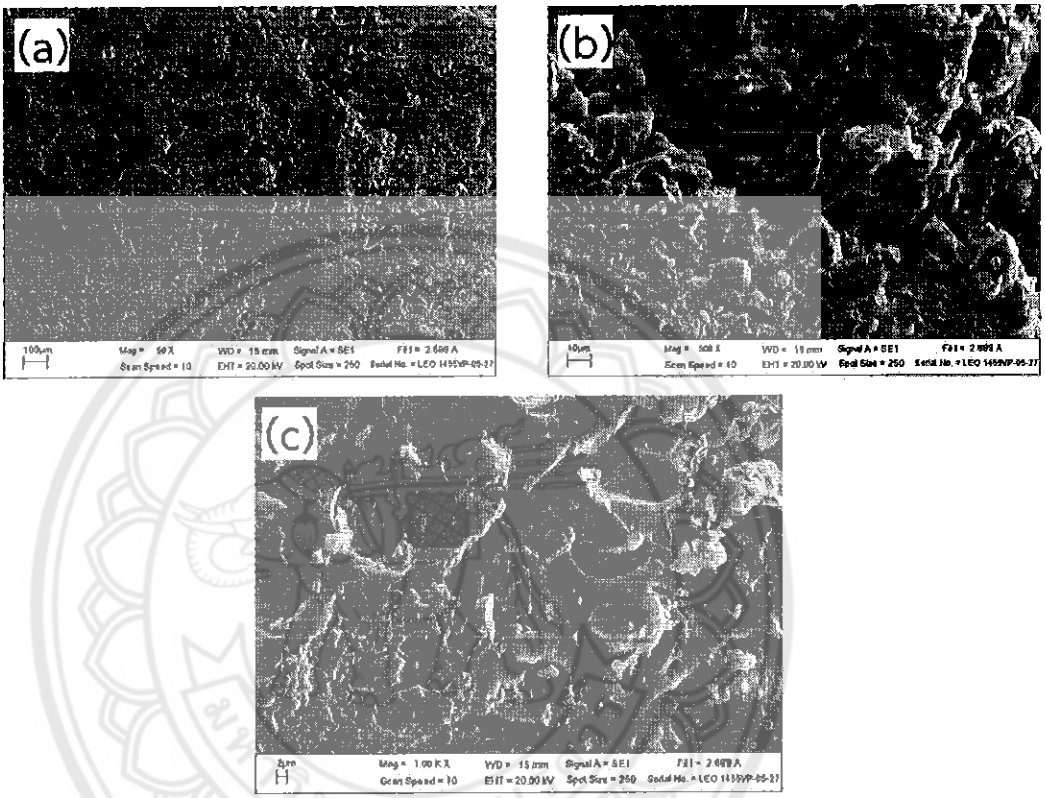
จากตาราง 4.11 และ รูป 4.11 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสาน PVA และอัดด้วยความดัน 1,000 psi พบว่า ค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนไม่แตกต่างกันมาก โดยค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนของเม็ดถ่านสูงกว่าผงถ่านเล็กน้อย และค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวประสาน เช่นเดียวกันกับที่ความดันอัด 500 psi และเมื่อเปรียบเทียบที่ความดันทั้งสองระดับ พบว่า ที่ความดันอัด 1,000 psi ค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนมีค่าสูงกว่าที่ความดันอัด 500 psi

4.5 การศึกษาลักษณะทางจุลภาคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

4.5.1 ที่การเติมตัวประสานด้วย PVA ที่ความดัน 500 psi

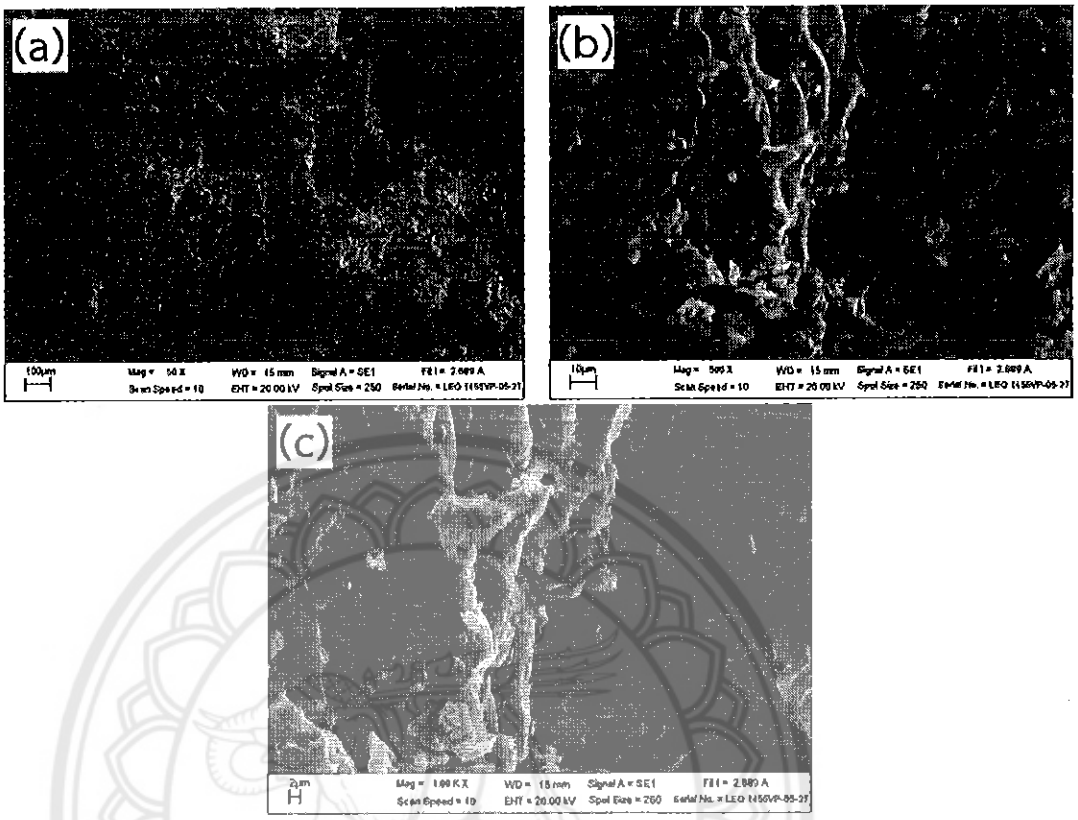
4.5.1.1 ที่ปริมาณการเติม PVA 5 หยด หรือ 0.2 ml

1) ลักษณะสัณฐานทางพื้นผิวของผงถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.12 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย
(a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x
(c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x

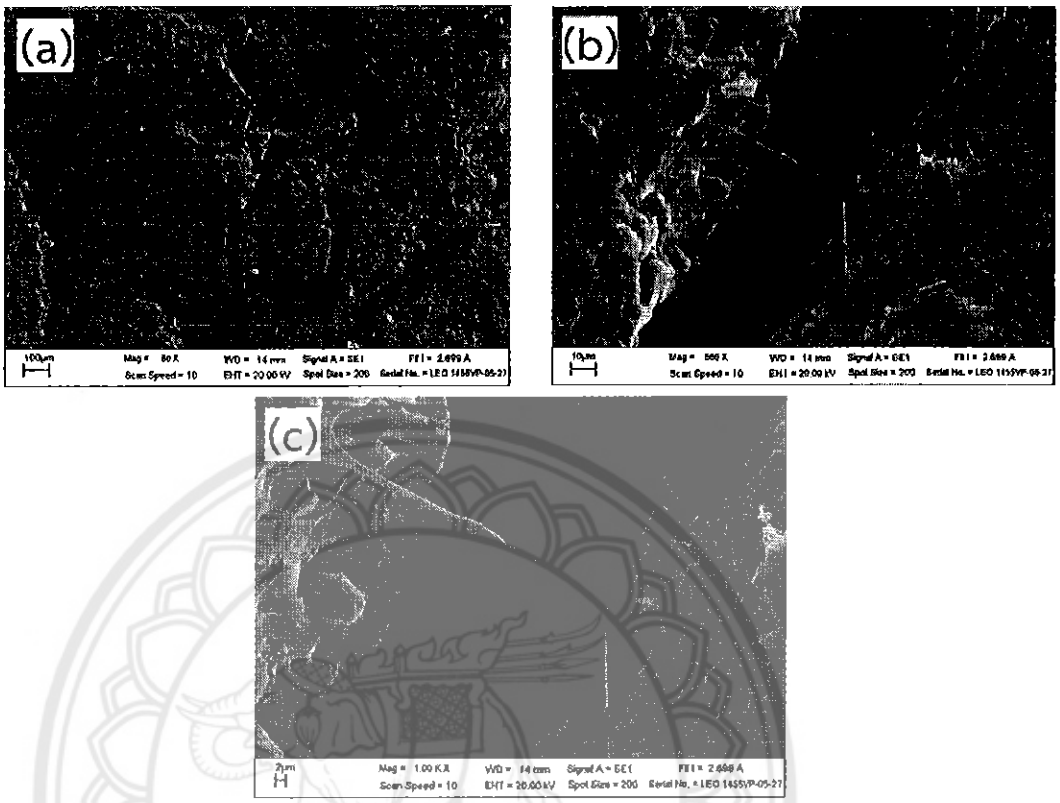
2) ลักษณะสัณฐานทางภาพตัดขวางของผงถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.13 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x

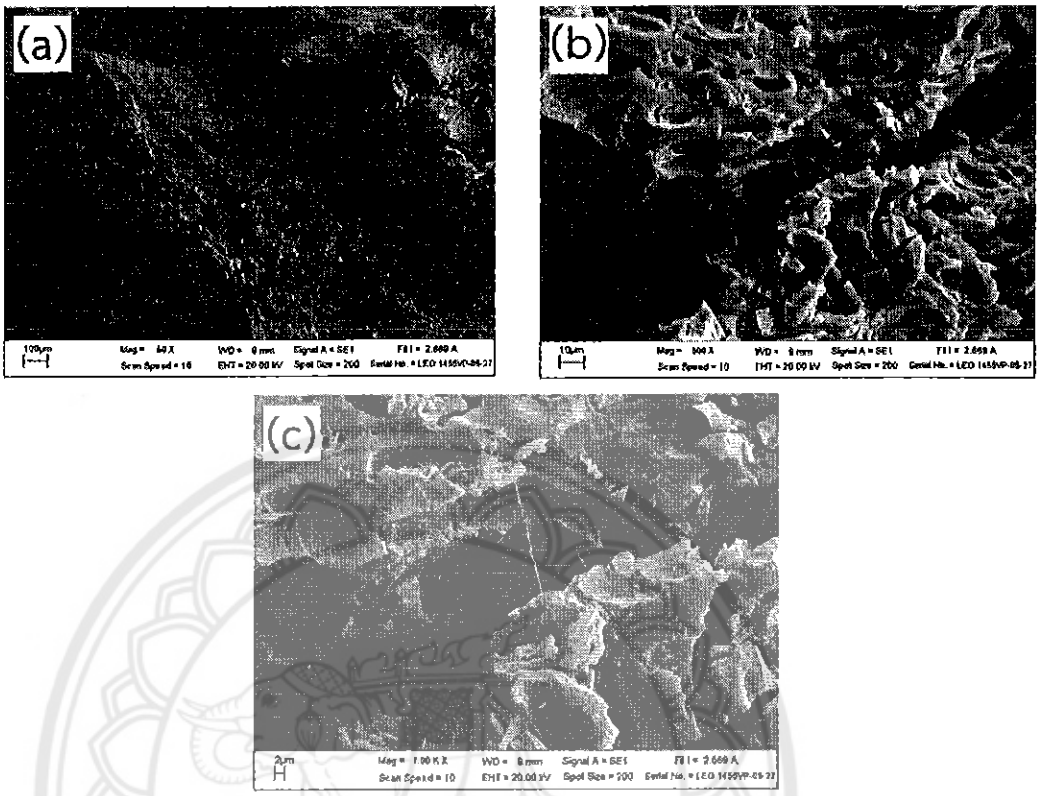
จากรูป 4.12 และ 4.13 แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์เกาะยึดกันด้วยประสาน PVA ระหว่างผงถ่านเชื่อมกับผงถ่านลักษณะในการเกาะยึดของถ่านเหมือนเส้นใย และรูป 4.19 แสดงให้เห็นว่า PVA ไม่ได้ไปอุดรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์อีกด้วย และรูป 4.20 แสดงให้เห็นภาพตัดขวางของเม็ดถ่านกัมมันต์ที่กำลังขยายต่างๆ ว่าลักษณะของผงถ่านจะปรากฏ PVA เกาะยึดผงถ่านอยู่ แต่ก็ยังสามารถเห็นรูพรุนของถ่านขนาด microporous ได้อย่างชัดเจน นั้นก็แสดงว่า PVA ไม่ได้ไปอุดรูพรุนหรือ PVA ไปอุดรูพรุนเพียงเล็กน้อย แต่ที่ไม่เห็นเส้นใยดังรูป 4.19 จากลักษณะ โครงสร้างภาพตัดขวางของถ่านกัมมันต์อัดเม็ด พบว่าที่ PVA 5 หยด สามารถเห็น PVA ได้อย่างชัดเจน

3) ลักษณะสัณฐานทางภาพพื้นผิวของเม็ดถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.14 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย
(a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x
(c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x

4) ลักษณะสัณฐานทางภาคตัดขวางของเม็ดถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



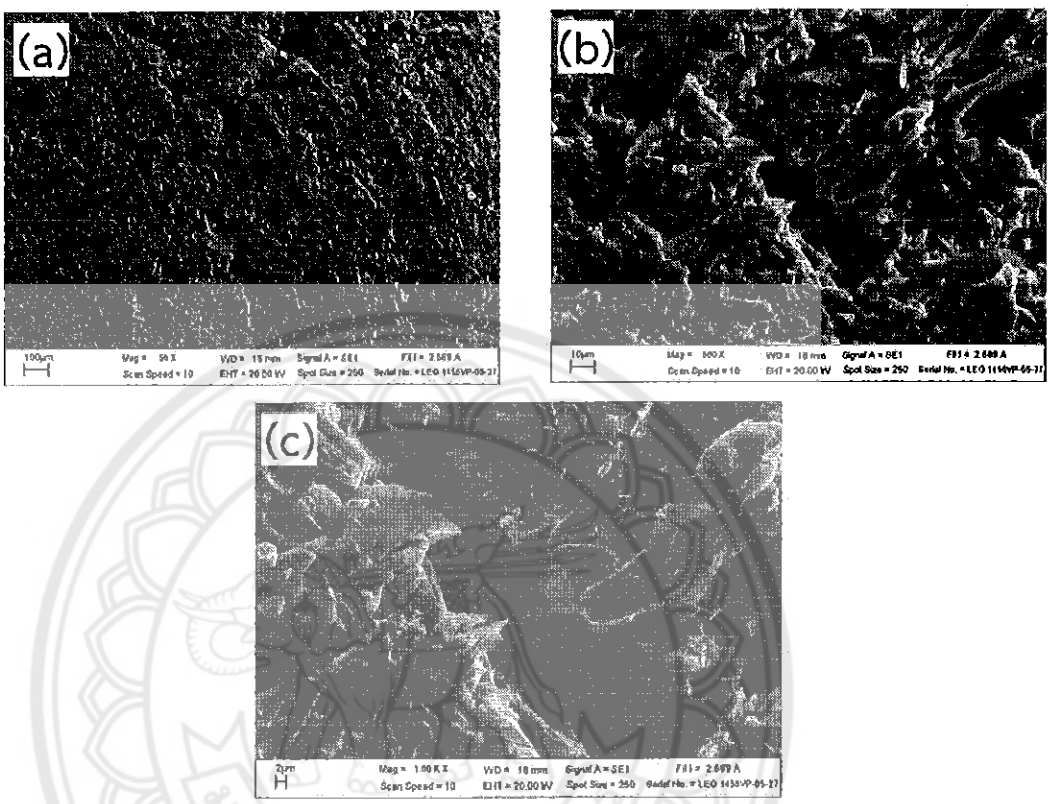
รูป 4.15 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x

จากรูป 4.14 และ 4.15 แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์อัดเม็ดเกาะยึดกันด้วยตัวประสาน PVA ระหว่างเม็ดถ่านเชื่อมกับเม็ดถ่าน ในลักษณะการเชื่อมจะปรากฏผลึกของ PVA เกาะยึดอยู่ที่ถ่าน หรือเป็นเป็นเส้นใยของ PVA ที่เชื่อมกัน และ จากรูป 4.21 จะพบว่ายังสามารถเห็นรูพรุนขนาด microporous ของถ่านกัมมันต์ได้อย่างชัด

จากรูป 4.14 แสดงให้เห็นภาพตัดขวางของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่กำลังขยายต่างๆ ลักษณะของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจะปรากฏผลึกของ PVA เกาะอยู่ แต่ก็ยังสามารถเห็นรูพรุนได้อย่างเจน เสมือนกับรูป 4.15

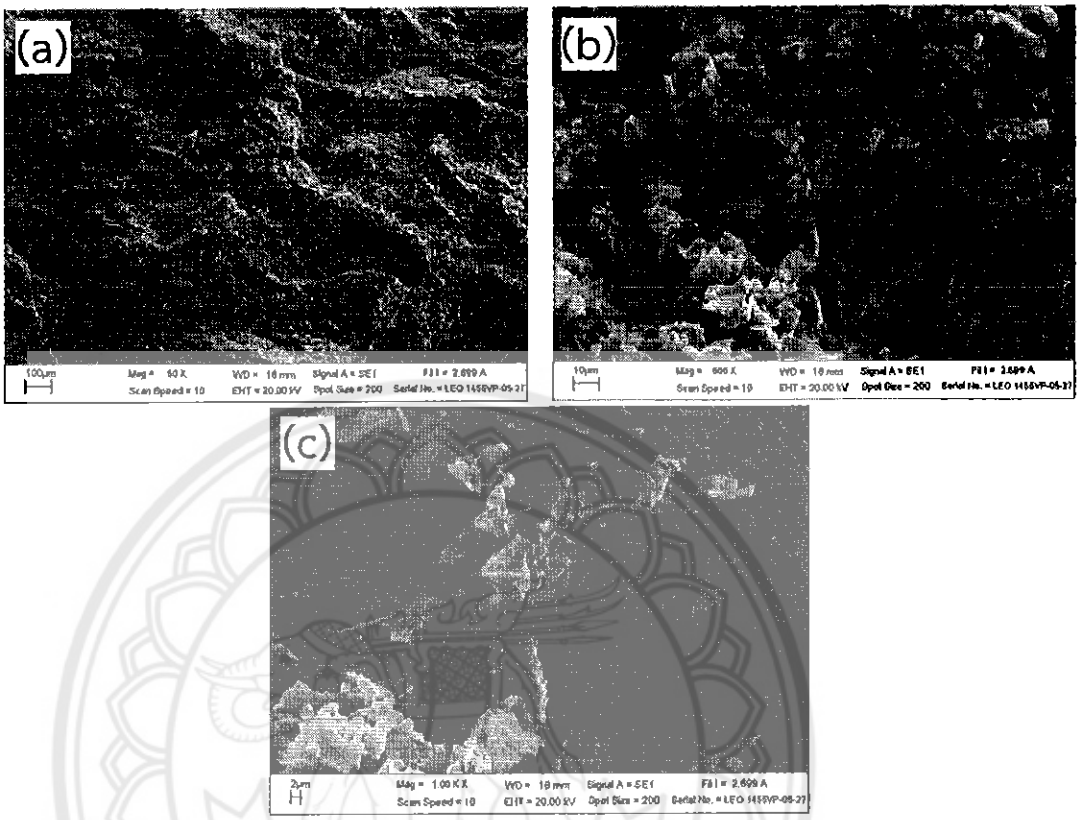
4.5.1.2 ที่ปริมาณการเติม PVA 10 หยด หรือ 0.4 ml

1) ลักษณะสัณฐานทางพื้นผิวของผงถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.16 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย
(a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x
(c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x

2) ลักษณะสัณฐานทางภาพตัดขวางของผงถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

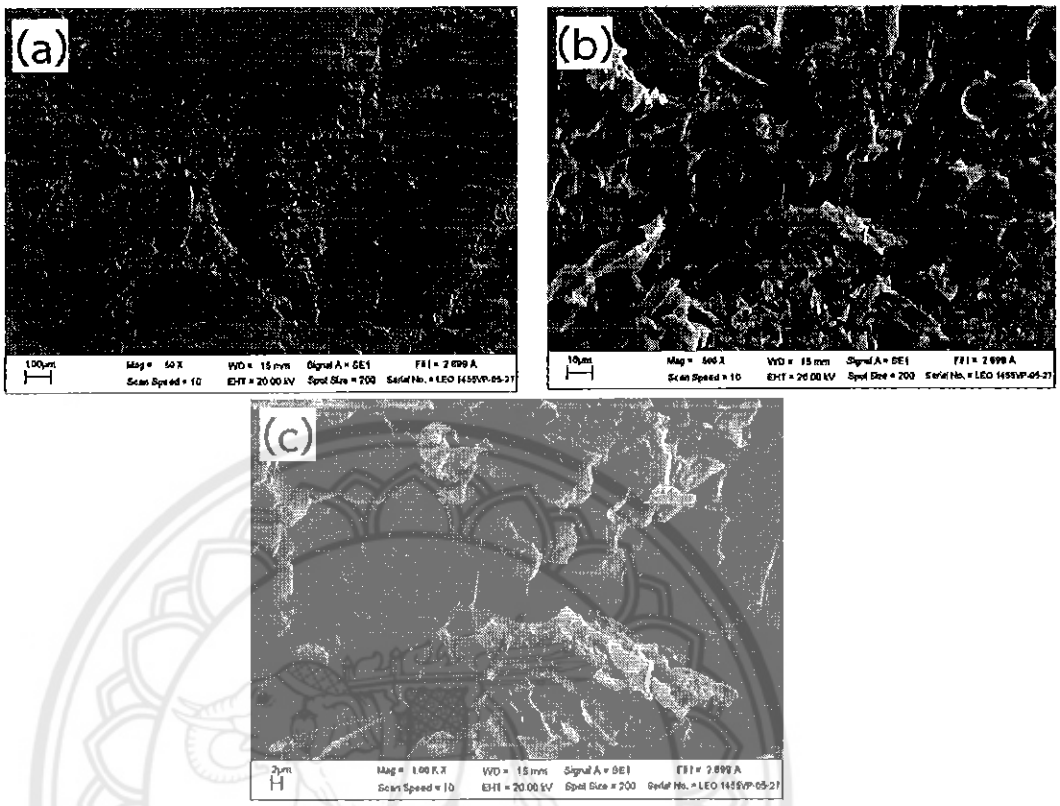


รูป 4.17 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่ กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x

จากรูป 4.16 และ 4.17 แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์เกาะยึดกันด้วยตัวประสาน PVA ระหว่างผงถ่านเชื่อมกับผงถ่าน เป็นการเชื่อมเหมือนเส้นใย และที่ PVA 10 หยด จะพบว่ามีเส้นใยเพิ่มมากขึ้นตามลำดับของจำนวน PVA ที่เพิ่มขึ้นนั้นเอง

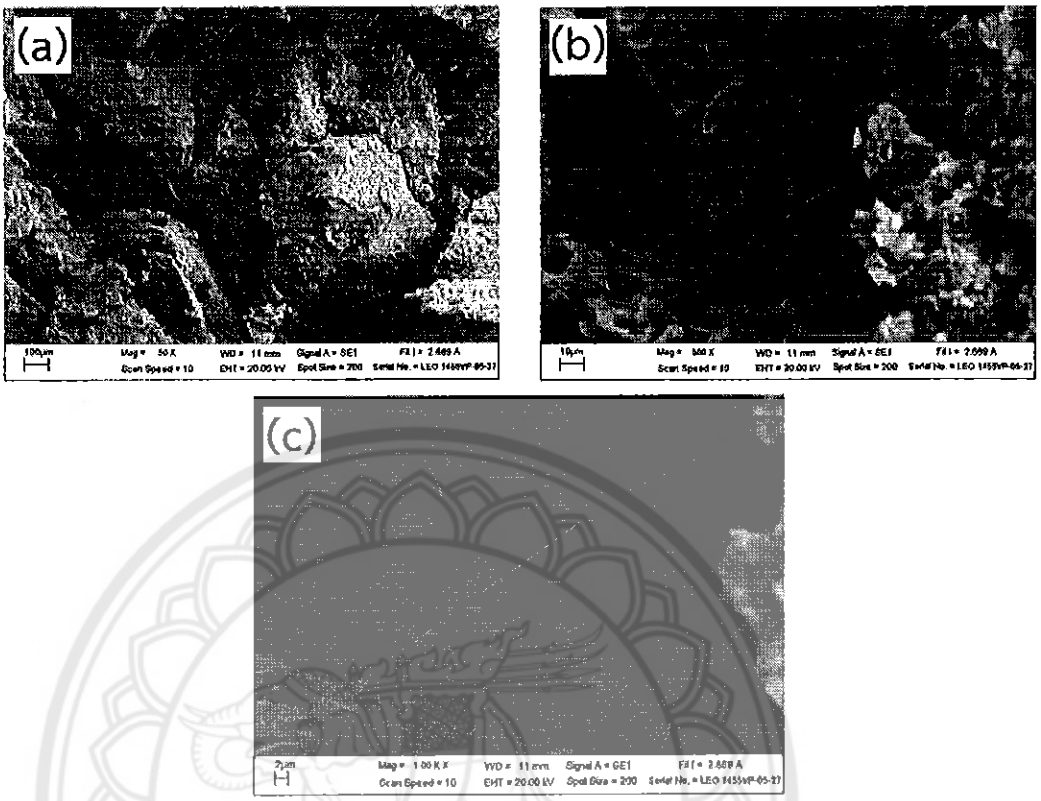
รูป 4.17 แสดงให้เห็นภาพตัดขวางของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่กำลังขยายต่างๆ ว่าลักษณะของผงถ่านจะมีปรากฏผลึกของ PVA เกาะยึดอยู่ และยังสามารถเห็นรูพรุนของถ่านขนาด microporous ได้อีกเช่นกัน แต่อาจจะไม่ชัดแบบที่ PVA 5 หยด แต่ที่ PVA 10 หยด จะพบผลึกของ PVA มากกว่าที่ปริมาตร PVA 5 หยด จะไม่สามารถเห็นเส้นใยได้อย่างชัดเขนเหมือนรูป 4.23 ก็เพราะว่าเราได้ทำการหักเพื่อดูโครงสร้างเป็นอย่างไร และนั้นทำให้ได้ทำลายโครงสร้างอื่นๆอีกด้วย

3) ลักษณะสัณฐานทางพื้นผิวของเม็ดถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.18 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย
(a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x
(c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x

4) ลักษณะสัณฐานทางภาพตัดขวางของเม็ดถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



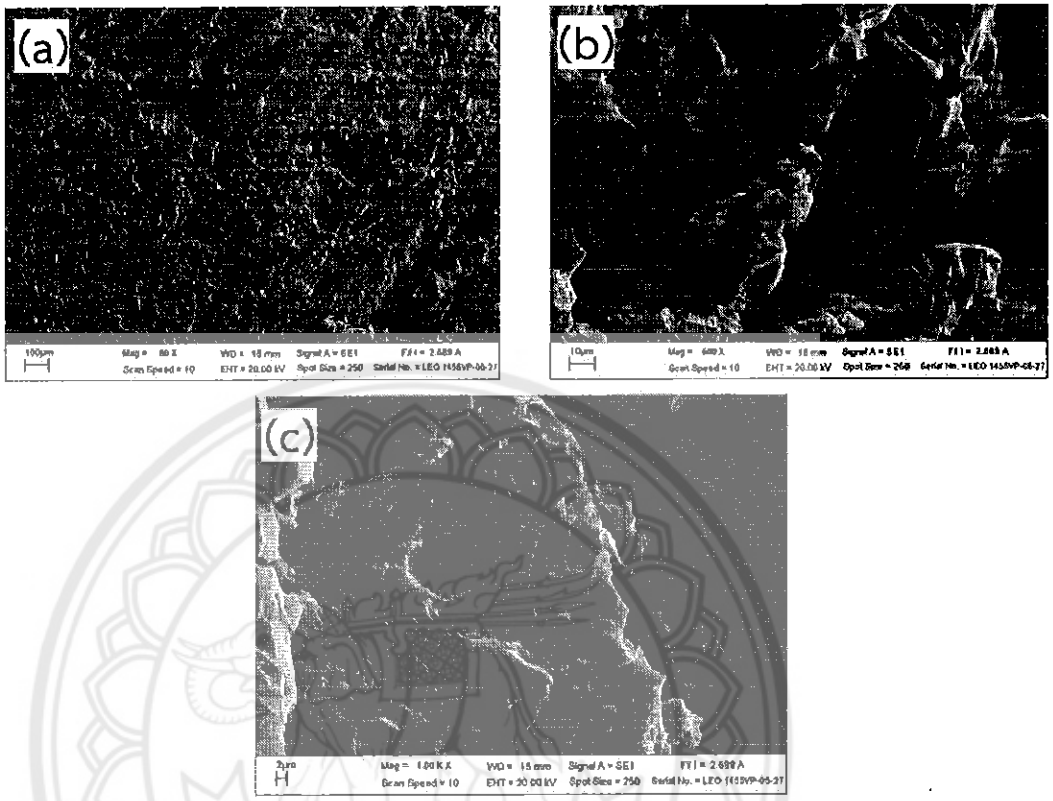
รูป 4.19 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x

จากรูป 4.18 และ 4.19 แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์อัดเม็ดเกาะยึดกันด้วยตัวประสาน PVA ระหว่างเม็ดถ่านเชื่อมเม็ดถ่าน ในลักษณะการเชื่อมจะเป็นเหมือนผลึกของ PVA เกาะยึดอยู่ที่ถ่าน หรือเป็นเป็นเส้นใยของ PVA ที่เชื่อมกัน และก็ยังสามารถเห็นรูพรุนของถ่านได้อีกบางส่วน

จากรูป 4.19 แสดงให้เห็นภาพตัดขวางของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่กำลังขยายต่างๆ ในลักษณะของเม็ดถ่านกัมมันต์จะปรากฏผลึกของ PVA เกาะยึดอยู่เป็นผลึกและเห็นเป็นเส้นใยที่เกาะยึดกันระหว่างเม็ดถ่านกับเม็ด และเห็นรูพรุนของถ่านได้อีกบางส่วน

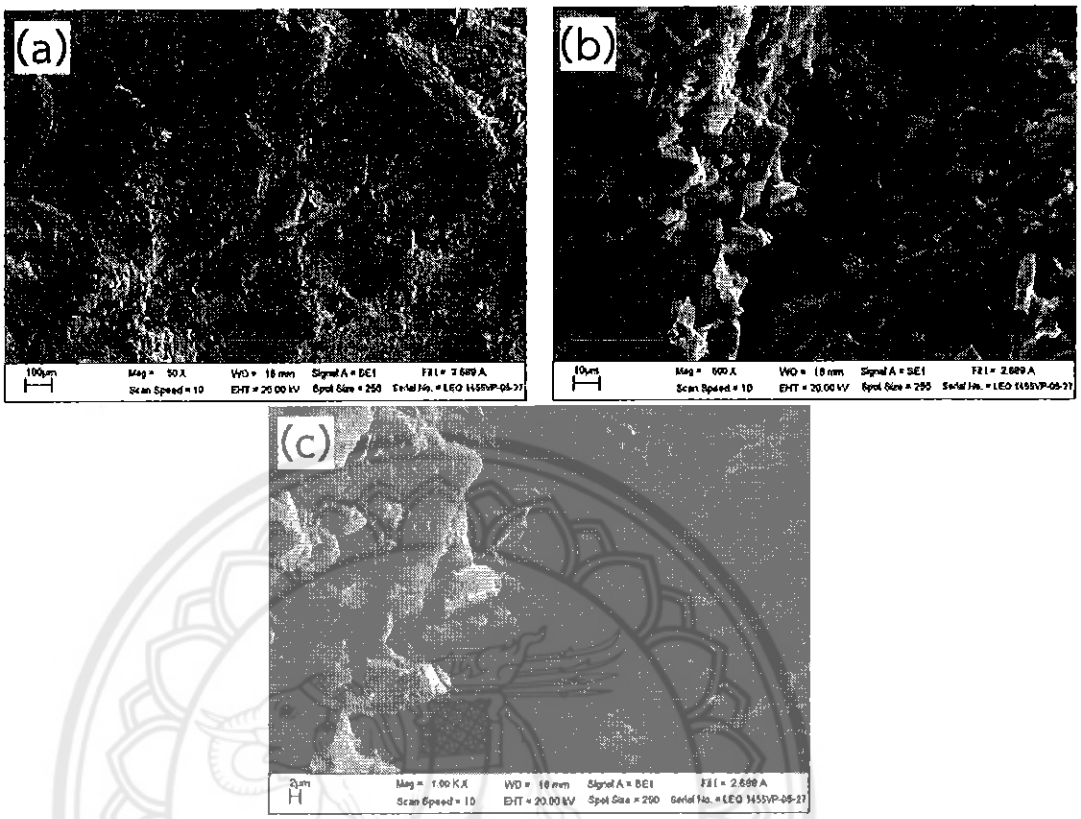
4.5.1.3 ที่ปริมาณการเติม PVA 15 หยด หรือ 0.6 ml

1) ลักษณะสัณฐานทางพื้นผิวของผงถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.20 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย
(a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x
(c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x

2) ลักษณะสัณฐานทางภาพตัดขวางของผงถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

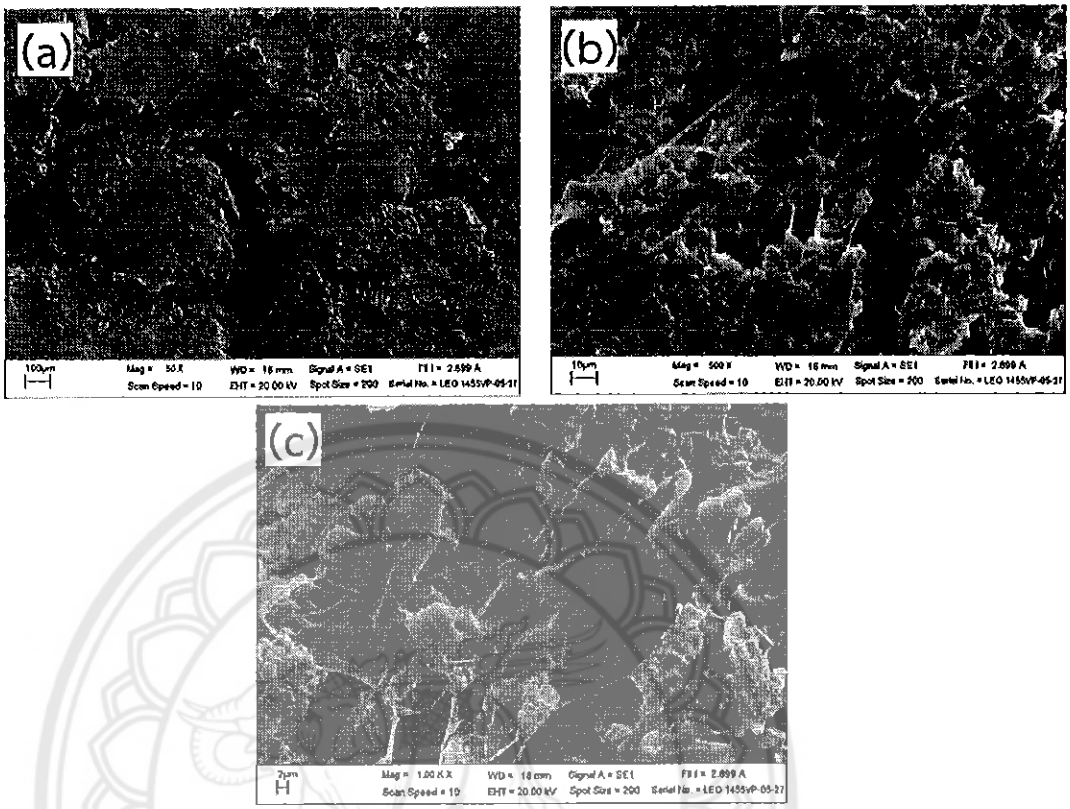


รูป 4.21 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x

จากรูป 4.20 และ 4.21 แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์เกาะยึดกันด้วยประสาน PVA ระหว่างผงถ่านเชื่อมกับผงถ่านเป็นเหมือนเส้นใย ที่ PVA 15 หยด ก็จะพบว่าจะมีเส้นใยเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนของ PVA ที่เพิ่มมากขึ้น จะปรากฏผลึกได้ชัดเจน ดังรูป 4.20

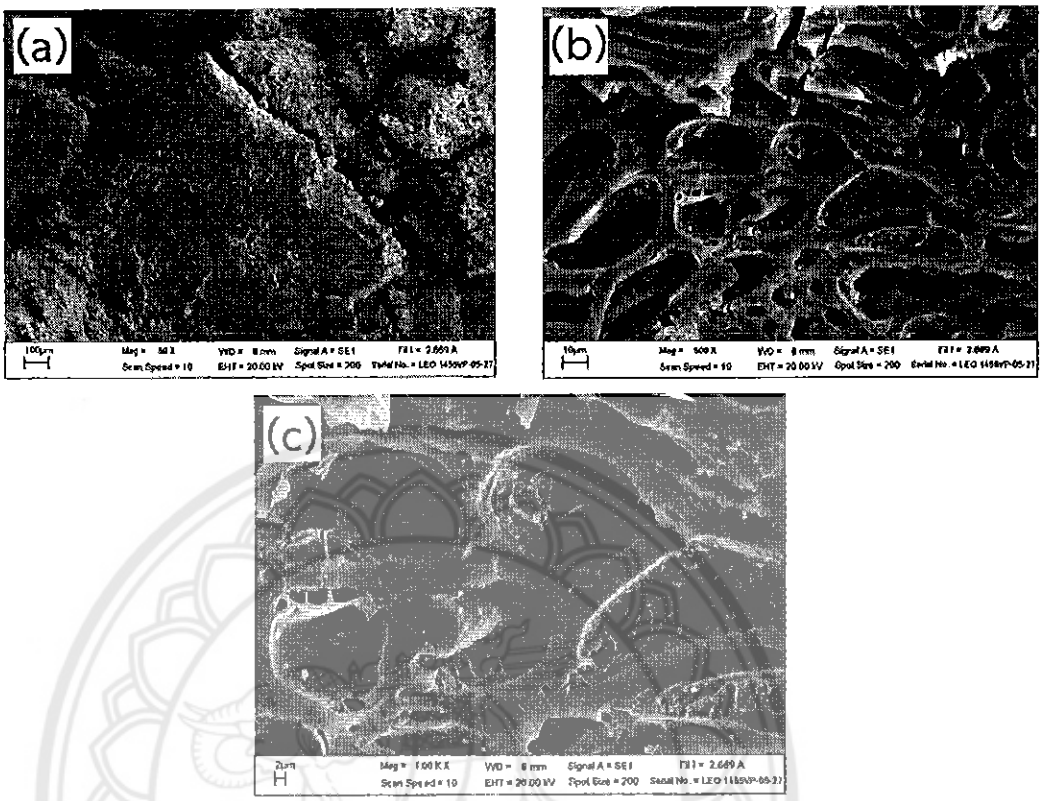
จากรูป 4.21 แสดงให้เห็นภาพตัดขวางของเม็ดถ่านกัมมันต์ที่กำลังขยายต่างๆ ว่าลักษณะของผงถ่านจะปรากฏ PVA เกาะยึดอยู่ และยังสามารถเห็นรูพรุนขนาด microporous แต่ที่ PVA 15 หยด จะปรากฏผลึกเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาตร PVA 10 หยด และ 5 หยดรูป 4.21 สามารถเห็นเส้นใยของ PVA ได้บางส่วน เพราะในถ่านกัมมันต์อัดเม็ดมีตัวประสาน PVA ปริมาตร 0.6 ml ต่อถ่าน 1 กรัม และรูป 4.28 จะพบว่าถึงใส่ PVA เพิ่มมากขึ้นแต่ PVA ก็ไม่ได้ไปอุดรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์แต่ อาจจะอุดเพียงเล็กน้อยเพราะสามารถเห็นรูพรุนของเม็ดถ่านกัมมันต์บางส่วน

3) ลักษณะสัณฐานทางพื้นผิวของเม็ดถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.22 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย
(a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x
(c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x

4) ลักษณะสัณฐานทางภาคตัดขวางของเม็ดถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.22 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x

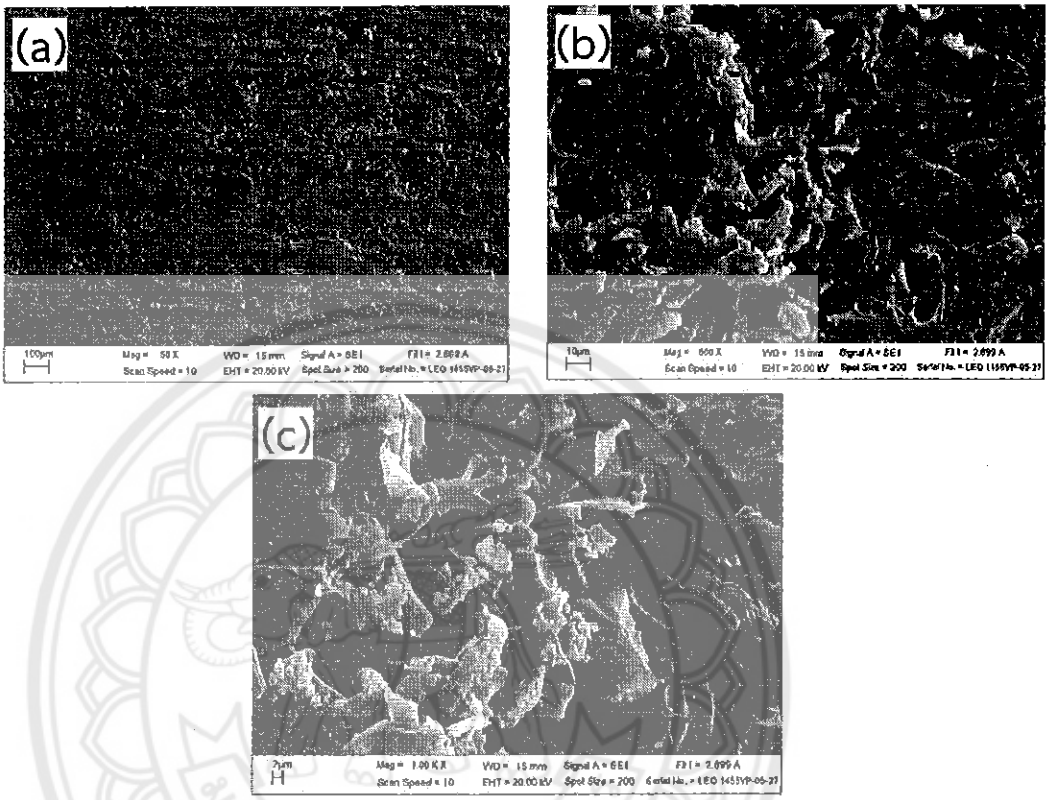
จากรูป 4.21 และ 4.22 แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์อัดเม็ดเกาะยึดกันด้วยตัวประสาน PVA ระหว่างเม็ดถ่านเชื่อมกับเม็ดถ่านเป็นเหมือนเส้นใยและเป็นเหมือนผลึก PVA เกาะยึดอยู่ที่ถ่าน ที่ตัวประสาน PVA 15 หยด พบว่าจะมีเส้นใยเพิ่มมากขึ้นเพราะปริมาตร PVA มากว่าที่ PVA 5 หยดนั้นเอง

จากรูป 4.22 แสดงให้เห็นภาพตัดขวางของเม็ดถ่านกัมมันต์ที่กำลังขยายต่างว่าลักษณะของเม็ดถ่านจะปรากฏของ PVA เกาะตามรูพรุนเป็นจำนวนมาก ถึง PVA จะเกาะยึดถ่านเป็นจำนวนมากนั้นก็ไม่ได้แสดงว่า PVA จะไปปิดรูพรุนของถ่านเพราะก็ยังสามารถเห็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดได้บางส่วนเช่นกัน

4.5.2 ที่การเติมตัวประสาน PVA ที่ความดัน 1000 psi

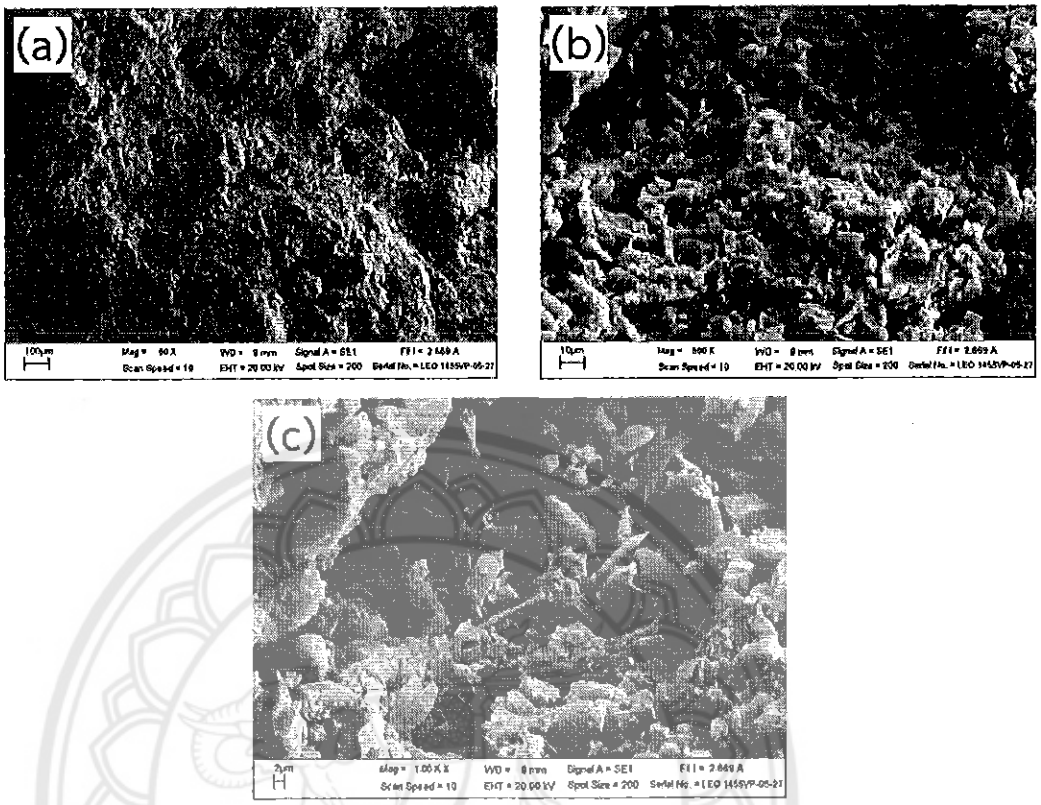
4.5.2.1 ที่ปริมาตรการเติม PVA 5 หยด หรือ 0.2 ml

1) ลักษณะสัณฐานทางพื้นผิวของผงถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.23 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย
(a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x
(c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x

2) ลักษณะสัณฐานทางภาคตัดขวางของผงถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

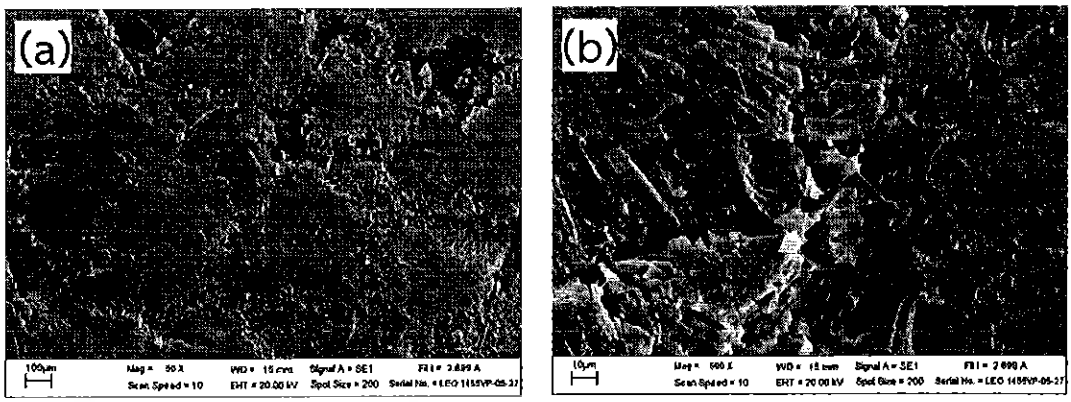


รูป 4.24 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x

จากรูป 4.23 และ 4.24 แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์อัดเม็ดสามารถเกาะยึดกันด้วยตัวประสาน PVA และเกาะยึดกันแบบเส้นใย หรือผลึกของ PVA ที่เกาะยึดอยู่ที่ผงถ่านกัมมันต์อีกเช่นกัน จากรูป 4.23 แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์อัดเม็ดยังคงมีรูพรุนขนาด microporous เหลืออยู่

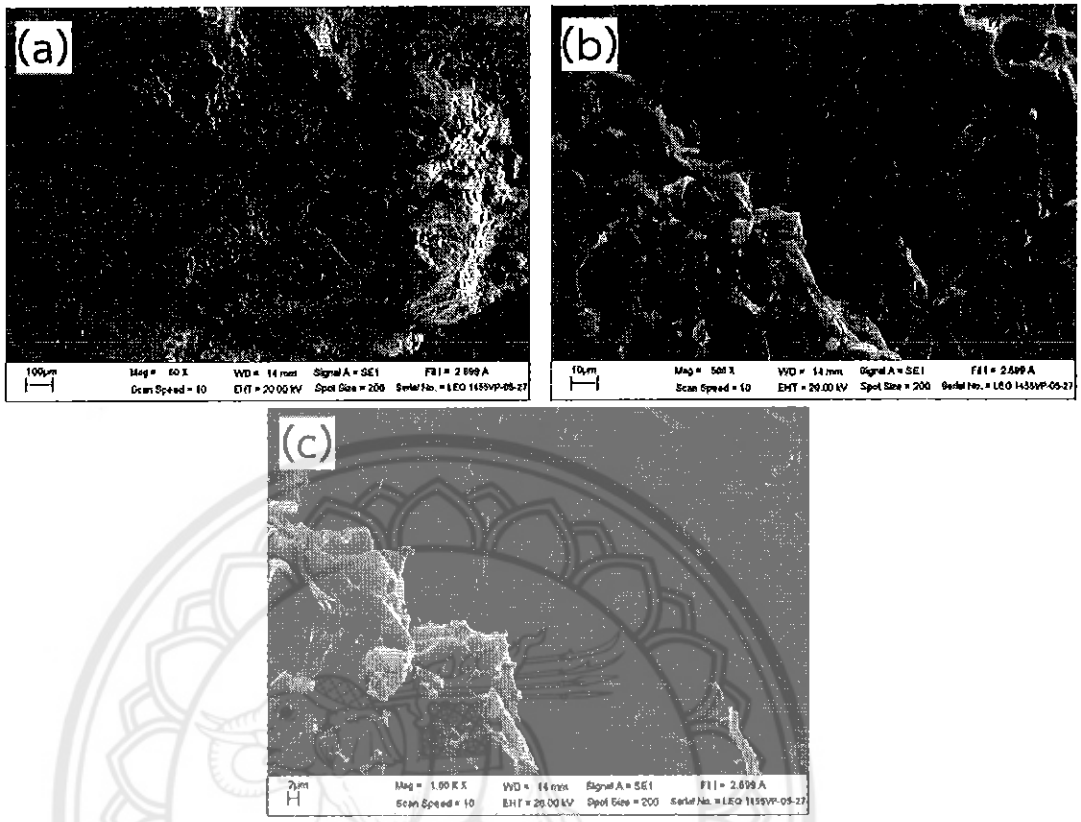
จากรูป 4.24 แสดงให้เห็นภาพตัดขวางของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่กำลังขยายต่างๆ จะพบว่าไม่เห็นเส้นใยในการเกาะยึดของ PVA แต่เห็นเป็นก้อนผลึกของ PVA เกาะตามเม็ดถ่านแทน เพราะได้ทำการหักเม็ดถ่านกัมมันต์ เพื่อดูโครงสร้างภายในของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดว่ามีลักษณะอย่างไร นั้นก็อาจจะไปทำลายโครงสร้างบางส่วนให้หายไป

3) ลักษณะสัณฐานทางพื้นผิวของเม็ดถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.25 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย
(a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x
(c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x

4) ลักษณะสัณฐานของภาพตัดขวางของเม็ดถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

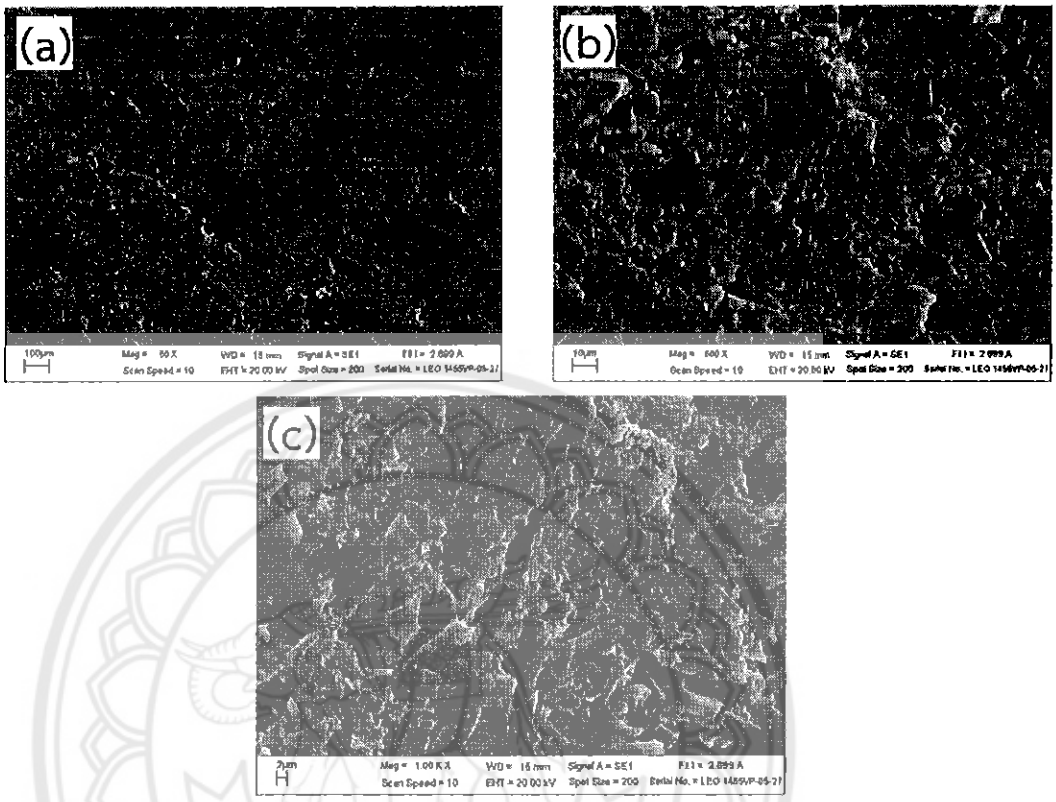


รูป 4.26 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x

จากรูป 4.25 และ 4.26 แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์เกาะยึดกันด้วยประสาน PVA ระหว่างเม็ดถ่านเชื่อมกับเม็ดถ่านเป็นเหมือนเส้นใย สามารถเห็นรูพรุนได้อย่างชัดเจน รูป 4.25 แสดงให้เห็นภาพตัดขวางของเม็ดถ่านกัมมันต์ขนาดต่างๆ ลักษณะเม็ดถ่านกัมมันต์จะปรากฏผลึกของ PVA เกาะอยู่ สามารถเห็นรูพรุนขนาด microporous ของเม็ดถ่านกัมมันต์ได้อย่างชัดเจน

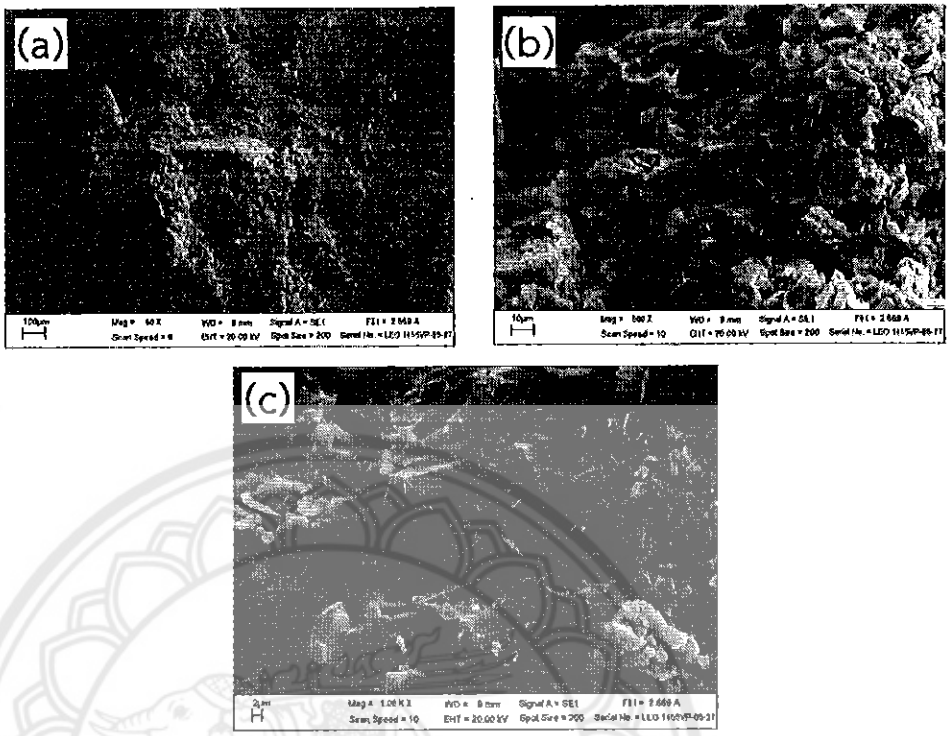
4.5.2.2 ที่ปริมาตรการเติม PVA 10 หยด หรือ 0.4 ml

1) ลักษณะสัณฐานทางพื้นผิวของผงถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.27 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย
(a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x
(c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x

2) ลักษณะสัณฐานทางภาคตัดขวางของผงถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

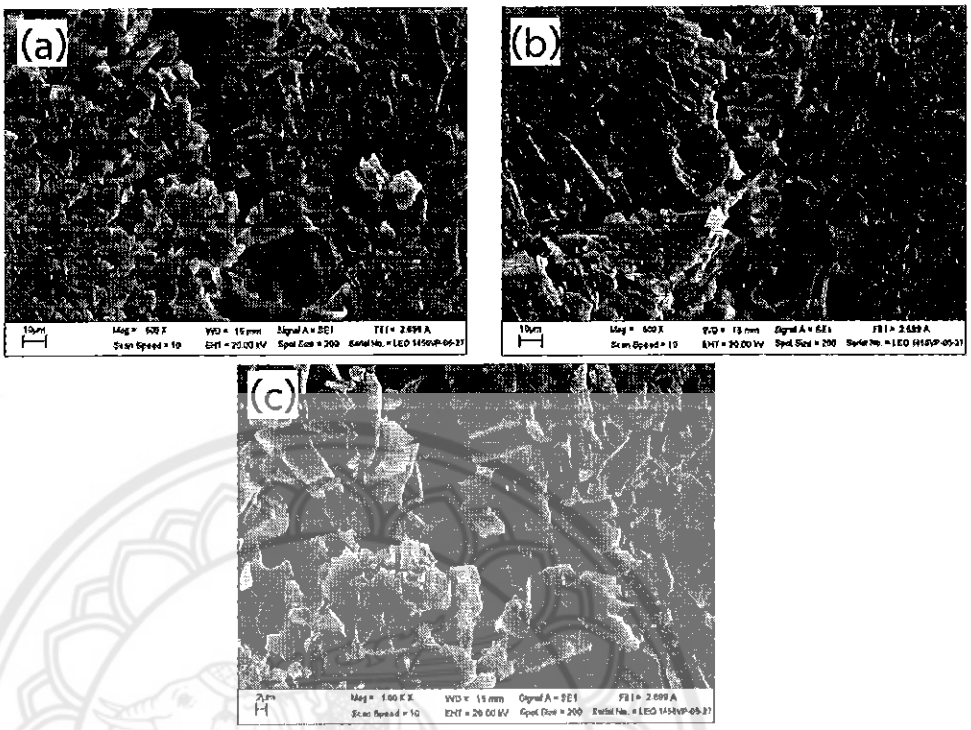


รูป 4.28 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x

จากรูป 4.27 และ 4.28 แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์อัดเม็ดเกาะยึดกันด้วยตัวประสาน PVA ระหว่างผงถ่านเชื่อมกับผงถ่านเป็นเหมือนเส้นใย และมีผลึกของ PVA เกาะยึดถ่านอีกบางส่วน

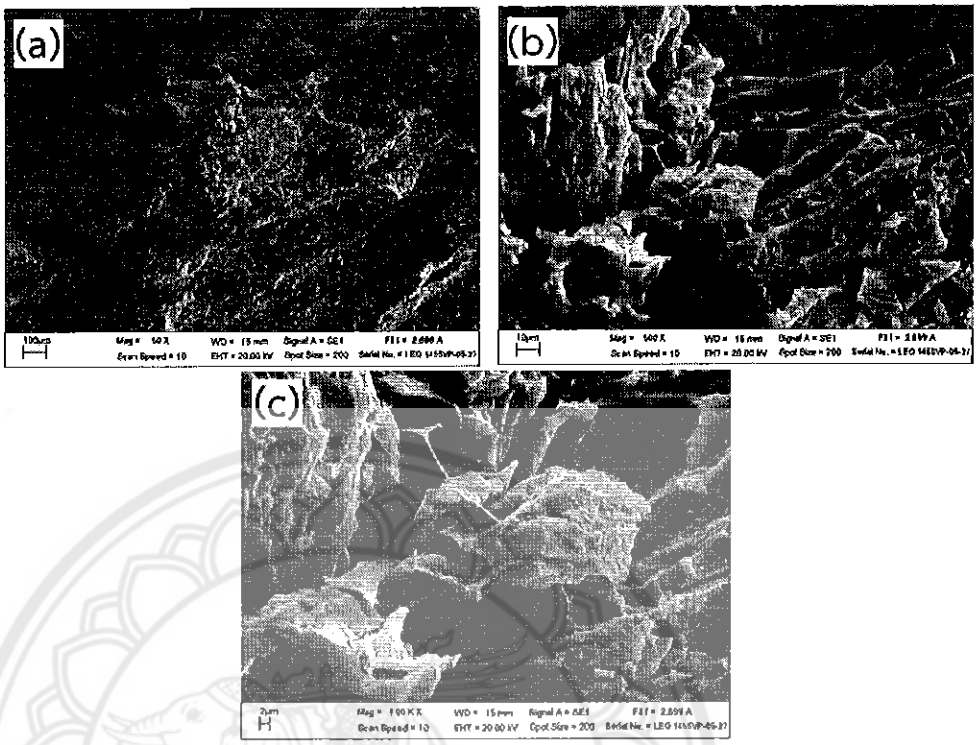
จากรูป 4.28 แสดงให้เห็นภาพตัดขวางของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่กำลังขยายต่างๆ จะพบว่าที่ผงถ่านกัมมันต์จะพบผลึกของ PVA เกาะยึดอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ PVA นั้นก็ไม่ได้ไปอุดรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ เพราะยังสามารถเห็นรูพรุนของถ่านได้บางส่วน

3) ลักษณะสัณฐานทางพื้นผิวของเม็ดถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.29 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือก**แมคคาเดเมีย**
(a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x
(c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x

4) ลักษณะสัณฐานทางภาพตัดขวางของเม็ดถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



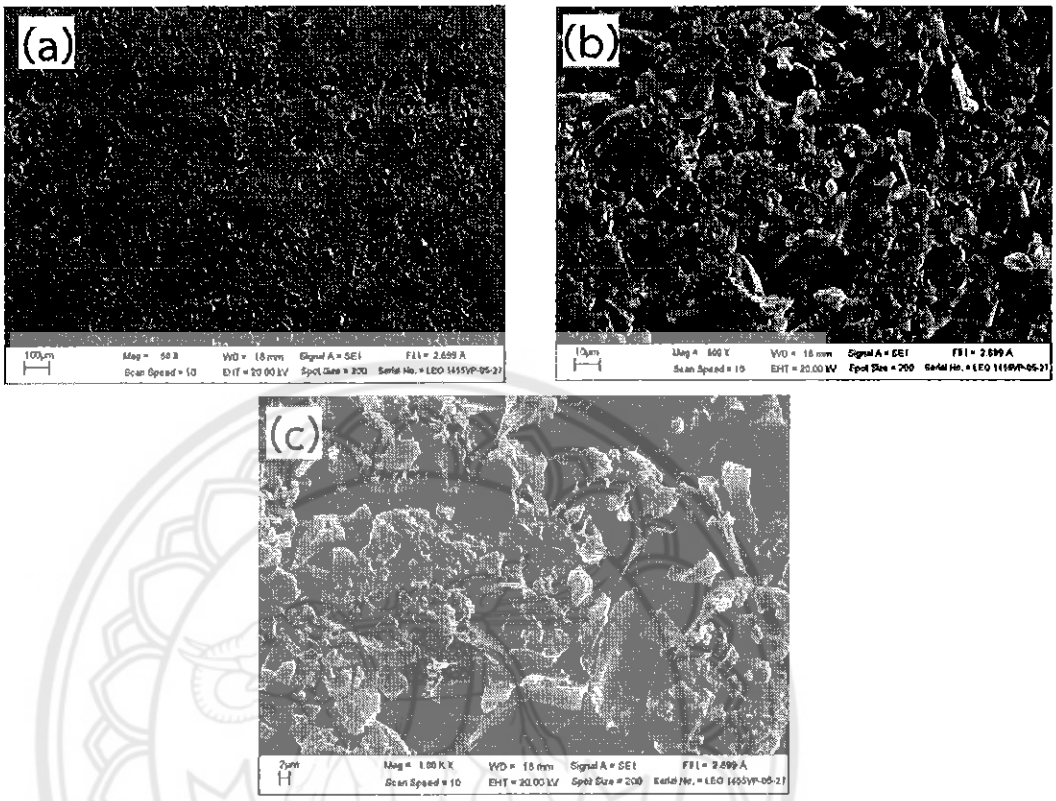
รูป 4.30 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x

จากรูป 4.29 และ 4.30 แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์เกาะยึดกันด้วยตัวประสาน PVA ระหว่างเม็ดถ่านเชื่อมกับเม็ดถ่าน เป็นการเชื่อมเหมือนเส้นใย ที่ PVA 10 พบว่ามีเส้นใยมากกว่า PVA 5 หยด ที่ความดัน 1000 psi จะไม่ค่อยพบเส้นใยมากนั้นเพราะความดันในการอัดสูง

จากรูป 4.30 แสดงว่าให้เห็นว่าภาพตัดขวางของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่กำลังขยายต่างๆ จะมีลักษณะของเม็ดถ่านกัมมันต์ที่มีผลึก PVA เกาะอยู่ที่เม็ดถ่านกัมมันต์

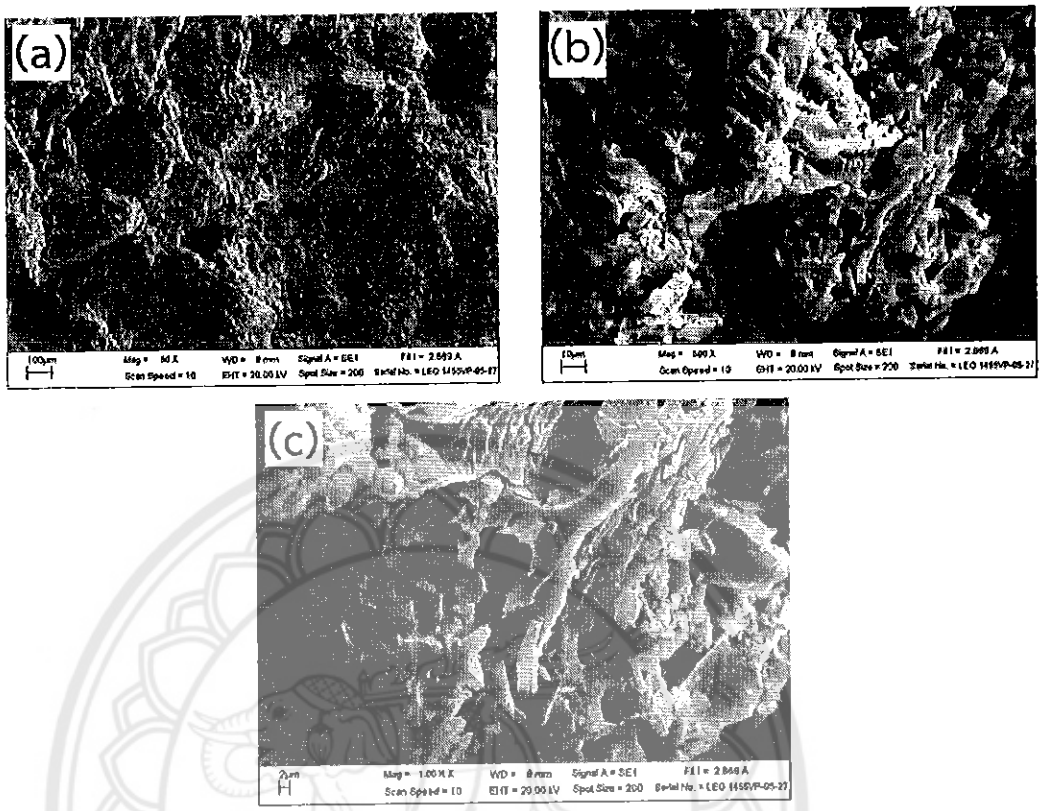
4.5.2.3 ที่ปริมาตรการเติม PVA 15 หยด หรือ 0.6 ml

1) ลักษณะสัณฐานทางพื้นผิวของผงถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.31 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย
(a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x
(c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x

2) ลักษณะสัณฐานทางภาคตัดขวางของผงถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

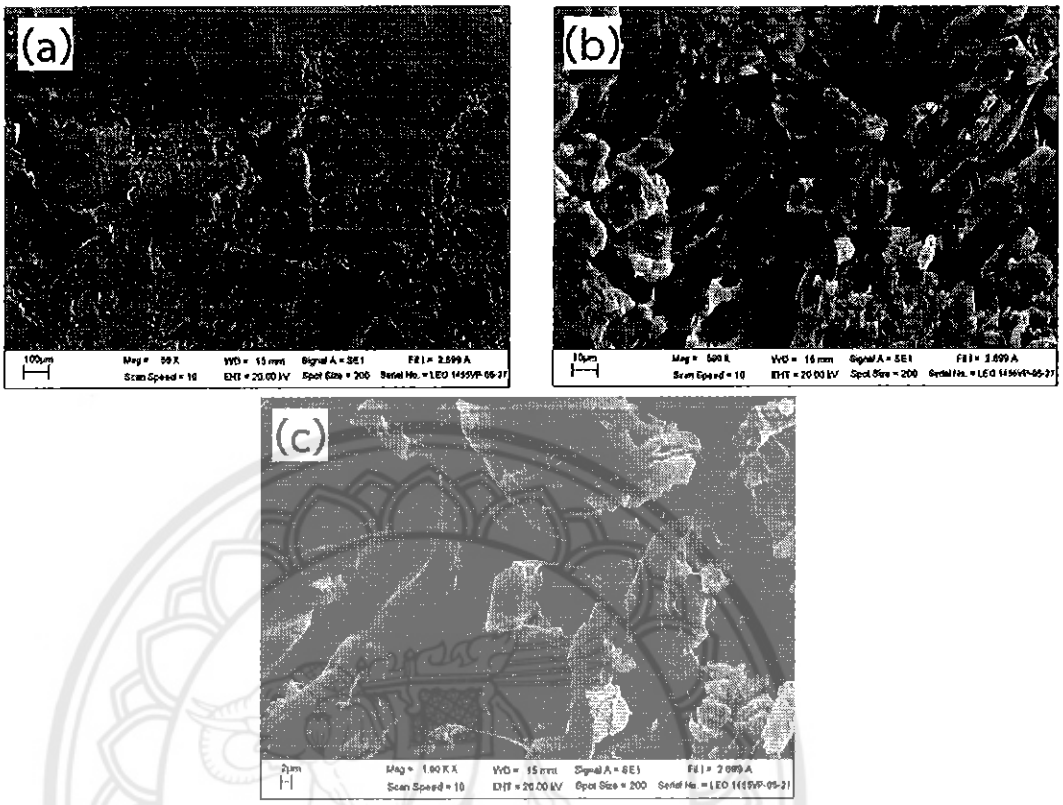


รูป 4.32 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x

จากรูป 4.31 และ 4.32 แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์อัดเม็ดเกาะยึดกันด้วยตัวประสาน PVA ระหว่างผงถ่านเชื่อมกับผงถ่านเป็นการเชื่อมแบบการเกาะยึดกันด้วยผลึกของ PVA มากกว่าเกาะยึดกันแบบเส้นใย นั้นก็เพราะใช้ความดันในการอัดถ่านสูง อาจจะทำให้เส้นใยนั้นเสียหายไปบาง

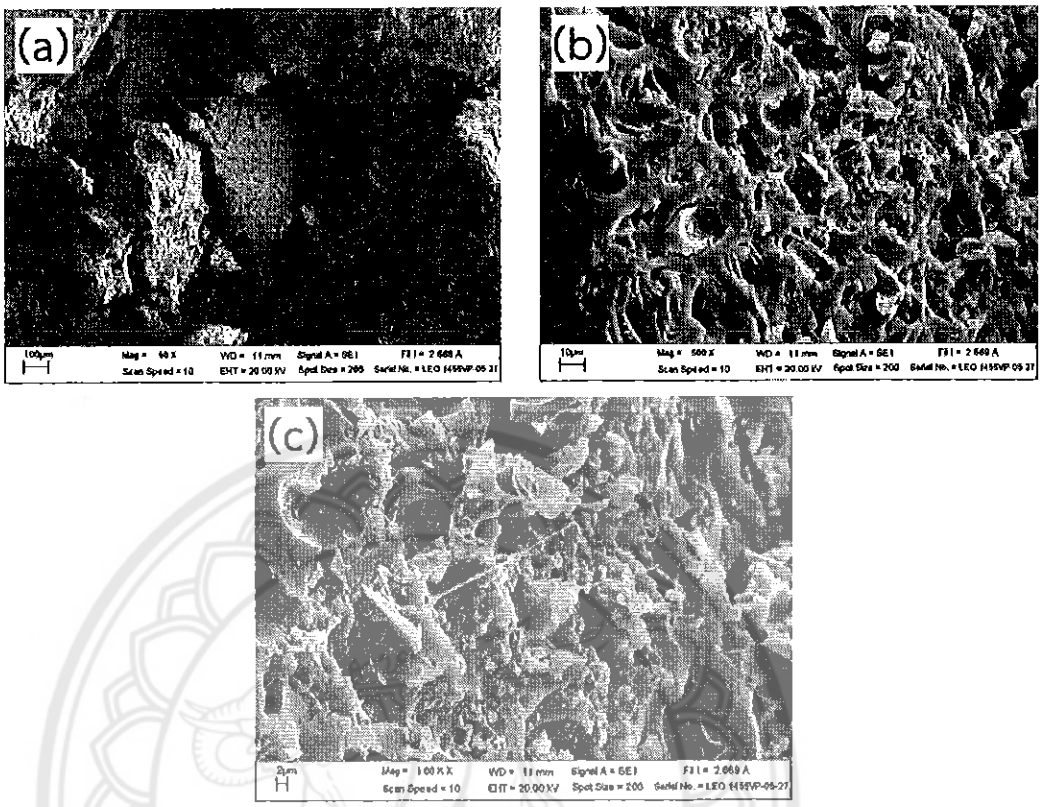
จากรูป 4.32 แสดงให้เห็นภาพตัดขวางของถ่านมันมันต์อัดเม็ดที่กำลังขยายต่างๆ ปรากฏ PVA เกาะถ่านจำนวนมาก แตกต่างจากที่ PVA 5 10 หยด

3) ลักษณะสัณฐานทางพื้นผิวของเม็ดถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.33 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย
(a) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 500x
(c) พื้นผิวถ่านที่กำลังขยาย 1000x

4) ลักษณะสัณฐานทางภาคตัดขวางของเม็ดถ่านกัมมันต์อัดเม็ด



รูป 4.34 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย (a) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 50x (b) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 500x (c) ภาพตัดขวางของถ่านที่กำลังขยาย 1000x

จากรูป 4.33 และ 4.34 แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์อัดเม็ดเกาะยึดกันด้วยตัวประสาน PVA ระหว่างเม็ดถ่านเชื่อมกับเม็ดถ่าน ลักกษณะการเชื่อมของเม็ดถ่าน นั้นจะถูกเชื่อมกันด้วยเส้นใยของ PVA หรือปรากฏผลึกของ PVA และจากรูป 4.33 ไม่ปรากฏรูพรุนของถ่านได้อย่างชัดเจนเพราะว่าผลึกของ PVA เคลือบเม็ดถ่านกัมมันต์อยู่

จากรูป 4.34 จะแสดงให้เห็นภาพตัดขวางของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่กำลังขยายต่างๆได้อย่างชัดเจนและ พบว่าผลึก PVA เกาะยึดอยู่ที่ถ่านและพบเส้นใยของ PVA อีกเช่นกัน และยังสามารถเห็นรูพรุนขนาด mocroporous ได้อย่างชัดเจนอีกด้วย นั้นก็สามารถสรุปได้ว่า PVA ไม่ได้ไปปิดรูพรุนของถ่านกัมมันต์อัดเม็ด นอกจากนี้โครงสร้างของ ในถ่านกัมมันค์อัดเม็ดยังทำหน้าที่ช่วยเพิ่มรูพรุนในกับถ่านกัมมันต์ด้วยเช่นกัน

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการการผลิตถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากเปลือกแมคคาเดเมีย พบว่าวิธีการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ และทำการศึกษาค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้ ค่าร้อยละของความชื้น ค่าความหนาแน่น และค่าการดูดซับไอโอดีน จากเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์กำหนดร้อยละของความชื้นไม่เกิน 8 % และค่าการดูดซับไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600 mg/g

ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเปลือกแมคคาเดเมียมีค่าเฉลี่ยร้อยละของผลผลิตที่ 31.88 ± 0.66 ภายใต้เงื่อนไขการเผาที่อุณหภูมิ 500 °C ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 90 W ที่เวลาการกระตุ้น 3 นาที และนำไปอัดขึ้นรูปเม็ดถ่านกัมมันต์และมีค่าความชื้น โดยถ่านที่ถูกประสานด้วย PVA และน้ำตาล มีค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 0.8 - 1.6 และร้อยละ 2.0 - 3.6 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA พบว่า ที่ความดันทั้งสอง ความหนาแน่นเฉลี่ยของผงถ่านสูงกว่าเม็ดถ่าน และมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาตรตัวประสาน และค่าการดูดซับไอโอดีนของผงถ่านและเม็ดถ่านที่ความดันอัด 500 psi มีค่าอยู่ระหว่าง 673.08 – 703.26 mg/g และที่ความดัน 1,000 psi มีค่าอยู่ระหว่าง 732.29 – 805.80 mg/g จะพบว่าถ่านชนิดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA ที่ความดันอัด 1,000 psi มีค่าการดูดซับดีที่สุด ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดที่ถูกประสานด้วย PVA ที่ความดัน 1,000 psi มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุด

จากความสามารถของการดูดซับถ่านกัมมันต์อัดเม็ดที่มีความสัมพันธ์กับ kinetic adsorption ของแก๊สแต่ละชนิด ผงถ่านกัมมันต์อัดเม็ด PVA 5 หยด ที่ความดันอัด 1000 psi เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในถังแก๊ส (ANG) เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับแก๊สได้ดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุชนิดอื่นๆ เช่น ซังข้าวโพด เปลือกทุเรียน เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

2. ควรใช้ตัวประสานชนิดอื่นๆหรือปริมาตรของตัวประสานที่แตกต่างกัน

3. ควรเลือกใช้วิธีการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ เพราะเป็นวิธีการผลิตถ่านที่ปลอดภัย และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายอีกทางหนึ่งด้วย

4. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการนำเอาถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์จริง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการ เผยแพร่การผลิตและการใช้งานต่อไป

5. ถ้าต้องการดูดซับแก๊สมีเทนบนถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดจะเพิ่มขึ้นตามพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุน โดยชนิดแท่งแบบรังผึ้งมีความจุของการดูดซับแก๊สมีเทนสูงสุด อยู่ที่ 130 v/v ที่อุณหภูมิ 298.15 K ภายใต้ความดัน 30.00 atm

บรรณานุกรม

[1] เพียรพรรค ทัศพร. (2535). **การเตรียมถ่านกัมมันต์จากยางที่เหลือทิ้งโดยการกระตุ้นด้วยซิงคคลอไรด์.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] ปรินทร เต็มญารศิลป์. (2551). **การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู่.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[3] อรไพลิน สมประสิทธิ์. (2557). **การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกแมคคาเดเมียด้วยวิธีกระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ.** รายงานปัญหาพิเศษ ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[4] วิจิตร จินดาพันธ์ไพโรจน์. (2543). **การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส** Euacalyptus camalduensis Dehnh. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] ปานฉัตร กลัดเจริญ. (2554). **การผลิตและทดสอบถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[6] กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ มอก.900-2547.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก www2.rid.go.th (วันที่สืบค้น 11 ตุลาคม 2558).

[7] **กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด scanning electron microscope.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก www.sci.nu.ac.th (วันที่สืบค้น 16 ตุลาคม 2558).

[8] กิติโรจน์ หวันตาหลา.(2542). **การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว.** นครนายก : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[9] บรรพต สารกาญจน์.(2556). **การเปรียบเทียบสมบัติความเป็นถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกแมคคาเดเมีย.** สารนิพนธ์, ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[10] ภควดี สุขอนันต์. (2553). **การศึกษาสมบัติและคุณลักษณะของพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกมังคุด.** สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ต. ประตูชัย ถ. ปรีดีพนมยงค์ อ. พระนครศรีอยุธยา จ. พระนครศรีอยุธยา

[11] พรรณธิดา บรรจง และเดชา ฉัตรศิริเวช. (2554). **การดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย.** ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

[12] วัชรินทร์ พุทรา.(2555) **การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย.** : มหาวิทยาลัยนเรศวร

[14] พิษณุ พิทักษ์. (2558). **การดูดซับแก๊สไบโอมีเทนที่ความดันต่ำโดยถ่านกัมมันต์.** วิทยานิพนธวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน บัณฑิตมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มหาวิทยาลัยนเรศวร

อักษรย่อ

W	=	กำไฟฟ้า (วัตต์)
^{o}C	=	องศาเซลเซียส
Å	=	อังสตรอม
m	=	เมตร
mm	=	มิลลิเมตร
µm	=	ไมโครเมตร
nm	=	นาโนเมตร
g	=	กรัม
mol/dm^3	=	โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
kJ/mol	=	กิโลจูลต่อโมล
SEM	=	Scanning Electron Microscope
mg/g	=	มิลลิกรัมต่อกรัม
C	=	คาร์บอน
H_2O	=	น้ำ
CO_2	=	คาร์บอนไดออกไซด์
O_2	=	ออกซิเจน
m^2/g	=	ตารางเมตรต่อกรัม
cm^3/g	=	ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม
psi	=	Pound per Square Inch หรือ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
M	=	โมลาร์
Normality, N	=	จำนวนกรัมสมมูลของสารละลาย 1 ลิตร
AWWA	=	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์
PVA	=	Polyvinyl Alcohol
cm^3	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
l	=	ลิตร

** American Water Works Association

ภาคผนวก

ภาคผนวก ค.

ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกแมคคาเดเมียในช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุด

ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกแมคคาเดเมีย โดยวิธีการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงระยะเวลาและกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ป้อนให้กับเตาไมโครเวฟ เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ผ่านมาตรฐานการผลิตถ่านกัมมันต์ AWWA B600 จากการศึกษาวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีค่าใช้จ่ายที่ประหยัด ไม่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน และเป็นวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ปลอดภัยที่สุด ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

เตรียมอุปกรณ์ในการผลิตถ่านกัมมันต์ เช่น เปลือกแมคคาเดเมีย หม้อดินที่มีฝาปิด เตาเผาอับอากาศ ถุงมือกันความร้อน ครกสำหรับบดถ่าน ตะแกรงร่อน น้ำ เตาไมโครเวฟ และเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

ขั้นตอนการผลิตถ่าน

1. นำเปลือกแมคคาเดเมียใส่ลงในหม้อดินและปิดฝา จากนั้นนำไปใส่ในเตาเผาอับอากาศ ที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. เมื่อเวลาการเผาครบ 1 ชั่วโมงแล้ว ทำการปิดเตาเผาและปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที โดยไม่มีการเปิดเตาเผา เพื่อให้อุณหภูมิของถ่านจากเปลือกแมคคาเดเมียที่อยู่ในหม้อดินมีอุณหภูมิที่ลดลง ก่อนนำออกจากเตา
3. เมื่อครบ 30 นาทีแล้ว ทำการเปิดเตาเผาและนำถ่านจากเปลือกแมคคาเดเมียที่อยู่ในหม้อดินมาบดให้เป็นผงและทำการคัดขนาดผงถ่านให้มีเส้นผ่าน ศูนย์กลางไม่เกิน 500 ไมครอน โดยใช้ตะแกรงขนาด 1,500 ไมครอน และขนาด 500 ไมครอน ในการคัดขนาดผงถ่าน

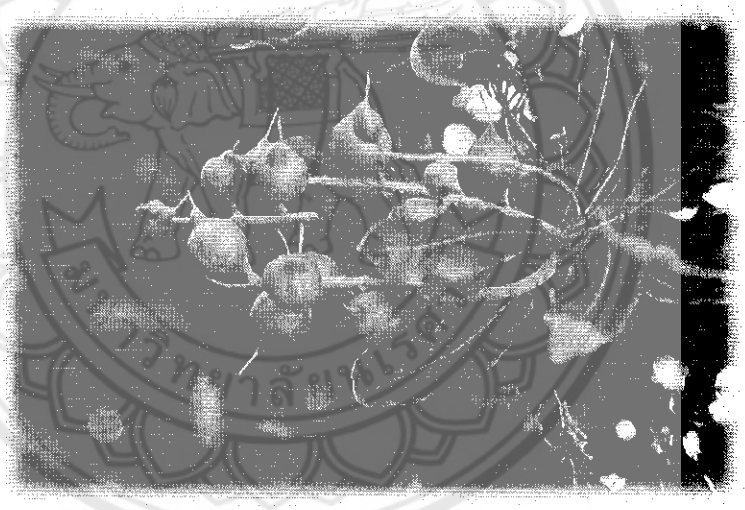
ขั้นตอนการกระตุ้น

1. ผสมน้ำกับผง ด้วยการคนน้ำกับผงถ่านให้เข้ากัน ในอัตราส่วน 3 : 1 โดยน้ำหนัก
2. ทำการกระตุ้นผงถ่านด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้เตาไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 90 W เป็นเวลา 1 นาที
3. นำผงถ่านที่ผ่านการกระตุ้นมาอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นของผงถ่านกัมมันต์
4. ทดสอบค่าความชื้น และค่าการดูดซับไอโอดีน

จากกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกแมคคาเดเมีย โดยวิธีการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟข้างต้นนี้ มาทำการทดสอบค่าความชื้นและค่าการดูดซับไอโอดีน พบว่าค่าความชื้นมีค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 3.70 ± 0.07 และค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าเฉลี่ยที่ 746.30 ± 3.14 mg/g ซึ่งมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน AWWA B600 ที่ค่าความชื้นต้องมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 8 และค่าการดูดซับไอโอดีนต้องมีค่ามากกว่า 600 mg/g

แมคคาเดเมีย

แมคคาเดเมีย แหล่งโปรตีนที่เปี่ยมไปด้วยไขมันที่ดีต่อสุขภาพ และช่วยลดคอเลสเตอรอล ถั่วแมคคาเดเมียมีชื่อเสียงว่าเป็นถั่วมีรสชาติอร่อย แต่ราคาสูง ซึ่งแมคคาในปัจจุบันเดเมียกำลังได้รับความนิยมในการนำมาแปรรูปหรือนำไปเป็นส่วนผสมต่างๆ ในอาหารมากมาย เช่น เค้ก และสลัดเพื่อสุขภาพ แต่เชื่อว่าคงมีอีกหลายคนเช่นกันที่ยังไม่รู้จักเจ้าถั่วเปลือกแข็งชนิดนี้ดีพอ ถั่วที่ได้ขึ้นชื่อว่าเป็นราชาแห่งถั่ว เพราะประโยชน์และสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพของแมคคาเดเมียมีมากมาย ถั่วแมคคาเดเมียมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Macadamia integrifolia เป็นพืชในตระกูลนัท หรือถั่วเปลือกแข็ง เป็นพืชยืนต้นที่มีต้นกำเนิดอยู่ที่ประเทศออสเตรเลีย ถูกค้นพบครั้งแรกตั้งแต่ในปี พ.ศ. 2386 แต่ไม่ได้ถูกขึ้นทะเบียน จนกระทั่งปี พ.ศ. 2400 Boron Sir Ferdinand Jacob Heinrich von Mueller และ Walter Hill ได้ค้นพบแมคคาเดเมียแบบผลเล็ก ทั้งคู่จึงได้ขอจดทะเบียนแมคคาเดเมียเป็นพืชสกุลใหม่ โดยชื่อนี้ถูกตั้งขึ้นเพื่อเป็นเกียรติแก่เพื่อนสนิทที่เคารพรักใคร่ คือ ดร.John Macadam สำหรับแมคคาเดเมียนั้นมีสายพันธุ์ทั้งหมด 10 ชนิด แต่สามารถบริโภคได้ 2 ชนิด ซึ่งสามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิระหว่าง 9 °C และสูงสุดไม่เกิน 32 °C และต้องเป็นพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์ ร่วนซุย ดูดซึม น้ำได้ดี



ที่มา: แมคคาเดเมียร์ ราชาแห่งถั่ว ธัญพืชเพื่อสุขภาพ http://health.kapook.com/view97781.html

ในประเทศไทยแมคคาเดเมียถูกนำเข้ามาครั้งแรกในปี พ.ศ. 2496 โดยองค์การยูซอม (USOM: United state Operation Mission) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้จัดส่งเมล็ดแมคคาเดเมียเข้ามาเพื่อให้ประเทศไทยทำการทดลองปลูก ผ่านทางกรมกสิกรรม (ในปัจจุบันได้รวมกับกรมการข้าวกลายเป็นกรมวิชาการเกษตร) แต่ในสมัยนั้นการทดลองปลูกไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควรเพราะต้นแมคคาเดเมียที่ปลูกส่วนใหญ่ไม่ติดผล ถึงแม้ติดผลแต่ขนาดของผลก็ไม่ได้มาตรฐานสากล หลังจากนั้นก็มีการทดลองอีกหลายครั้งจนกระทั่งประสบความสำเร็จในปี พ.ศ. 2527 และในปัจจุบันแมคคาเดเมียได้กลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่โครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ได้นำมาใช้เพื่อสร้างอาชีพให้แก่ชาวเขา

คุณค่าทางโภชนาการของแมคคาเดเมีย ใน 100 กรัมจะมีคุณค่าทางโภชนาการดังนี้

- พลังงาน 718 กิโลแคลอรี
- โปรตีน 7.91 กรัม
- ไขมัน 75.77 กรัม
- คาร์โบไฮเดรต 13.82 กรัม
- ไฟเบอร์ 8.6 กรัม
- น้ำตาล 4.57 กรัม
- แคลเซียม 85 มิลลิกรัม
- ธาตุเหล็ก 3.69 มิลลิกรัม
- แมกนีเซียม 130 มิลลิกรัม
- ฟอสฟอรัส 188 มิลลิกรัม
- โพแทสเซียม 368 มิลลิกรัม
- โซเดียม 5 มิลลิกรัม
- สังกะสี 130 มิลลิกรัม
- วิตามินซี 12 มิลลิกรัม
- วิตามินบี 1 1.195 มิลลิกรัม
- วิตามินบี 2 0.162 มิลลิกรัม
- วิตามินบี 3 2.743 มิลลิกรัม
- วิตามินบี 6 0.275 มิลลิกรัม
- วิตามินอี 0.54 มิลลิกรัม

นอกจากนี้ยังสามารถนำส่วนอื่นๆ ของแมคคาเดเมียมาแปรรูปผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย ดังนี้

1. ถ่านแมคคาเดเมีย

ถ่านแมคคาเดเมียเป็นถ่านที่ได้จากเปลือกและเมล็ดถั่วแมคคาเดเมียที่เหลือทิ้งจากการผลิตถั่วแมคคาเดเมีย มีราคาสูงกว่าถั่วเปลือกแข็งชนิดอื่นๆ แต่สามารถใช้ดับกลิ่น ช่วยดูดสารพิษต่างๆ ได้ และช่วยทำให้อาหารสุกเร็วขึ้นอีกด้วย ถ่านแมคคาเดเมียมีคุณประโยชน์กว่าถ่านปกติทั่วไป เพราะถ่านแมคคาเดเมียใช้วิธีการผลิตในการเผาด้วยอุณหภูมิต่ำนาน 4 ชั่วโมง แล้วค่อยๆ เพิ่มเป็น 1,000 ^{o}C นาน 1 วัน ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ความชื้นและสารอินทรีย์ต่างๆ ระเหยออกไปจนหมดเหลือแต่คาร์บอนบริสุทธิ์ที่อุดมไปด้วยแร่ธาตุที่มีประโยชน์หลากหลายชนิด

นอกจากนี้ถ่านแมคคาเดเมียยังมีรูพรุนเล็กๆ มากกว่าถ่านปกติช่วยทำให้สามารถดูดซับกลิ่นได้มากขึ้น แต่ที่น่าสนใจไปกว่านั้นคือ ถ่านแมคคาเดเมียสามารถนำไปทำน้ำแร่ได้ เพราะถ่านชนิดนี้มีแร่ธาตุต่างๆ มากมายเช่นเดียวกับน้ำแร่ตามธรรมชาติ โดยการนำถ่านไปต้มในน้ำเดือด 10 - 20 นาที เพื่อฆ่าเชื้อแล้วนำไปแช่ในน้ำดื่มหรืออาบ ถ่านแมคคาเดเมียก็จะช่วยดูดซับคลอรีนและปล่อยแร่ธาตุออกมากแทนที่ ถ่านสามารถใช้ได้นานถึง 3 เดือน ส่วนในเรื่องการประหยัดพลังงาน ถ่านแมคคาเดเมียสามารถให้ความร้อนได้มากกว่าถ่านปกติ จึงทำให้อาหารสุกเร็วขึ้น โดยเฉพาะอาหารหรือเมล็ดพืชเปลือกแข็งที่ต้องนำไปแช่น้ำ และใช้เวลานานในการทำให้สุก ถ่านชนิดนี้สามารถทำให้อาหารเหล่านี้สุกไวขึ้นโดยไม่ต้องแช่น้ำก่อน ตัวอย่างเช่นข้าวเหนียว ข้าว กล้อง หรือข้าวสีนิล สามารถนำถ่านที่ฆ่าเชื้อแล้วใส่ลงไปในหม้อแล้วหุงข้าวได้ตามปกติโดยไม่ต้องแช่ทิ้งเอาไว้ก่อนหุง ซึ่งวิธีนี้สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 20%

2.น้ำมันแมคคาเดเมีย

น้ำมันแมคคาเดเมียผลิตมาจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ถูกนำมาสกัดด้วยความเย็น สามารถนำมาใช้บำรุงให้ผิวนุ่มชุ่มชื้น หรือนำมาบำรุงผมที่เสียให้มีสุขภาพดีขึ้นได้ เพราะในถั่วแมคคาเดเมียนั้นมีกรดไขมันอิ่มตัวเชิงเดี่ยวที่เรียกว่า พาลมิโทเลอิค (palmitoleic) ซึ่งช่วยทำหนังศีรษะไม่แห้ง และช่วยฟื้นฟูเส้นผมที่หยาบและแห้งเสียให้ดูชุ่มชื้นขึ้นโดยการใช้น้ำมันเพียงเล็กน้อยนวดลงไปบนศีรษะ

แล้วล้างออก หรือจะใช้น้ำมันแมคคาเดเมียเพียงไม่กี่หยดช่วยบำรุงผมช่วยสร้างความยืดหยุ่นและกระตุ้นความเจริญเติบโตของเส้นผมได้ โดยไม่ต้องกลัวว่าจะทำให้ผมของคุณมันเยิ้ม

3.น้ำผึ้งแมคคาเดเมีย

น้ำผึ้งจากดอกแมคคาเดเมีย เป็นน้ำผึ้งที่มีรสชาติหวานปานกลาง นุ่ม มีกลิ่นหอม และเป็นสีทองอำพัน แถมน้ำผึ้งยังเปลี่ยนสีจากสีทองเป็นสีน้ำตาลช้ามาก ต่างจากน้ำผึ้งชนิดอื่นๆ ที่จะเปลี่ยนสีกลายเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้น้ำผึ้งดอกแมคคาเดเมียยังมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าน้ำผึ้งอื่นๆ โดยเมื่อเปรียบเทียบน้ำผึ้งแมคคาเดเมีย 100 g กับน้ำผึ้งชนิดอื่นๆ ปริมาณ 100 g ได้ผลดังนี้

น้ำผึ้งแมคคาเดเมีย

- พลังงาน 12 กิโลแคลอรี
- คาร์โบไฮเดรต 83.7 กรัม
- โซเดียม 3 มิลลิกรัม
- วิตามินบี 2 0.06 มิลลิกรัม
- แคลเซียม 4.28 มิลลิกรัม
- แมกนีเซียม 1.36 กรัม

น้ำผึ้งชนิดอื่นๆ

- พลังงาน 64 กิโลแคลอรี
- คาร์โบไฮเดรต 17.64 กรัม
- โซเดียม 0.85 มิลลิกรัม
- วิตามินบี 2 0.01 มิลลิกรัม
- แคลเซียม 1.27 มิลลิกรัม
- แมกนีเซียม 1.36 กรัม 0.42 มิลลิกรัม

นอกจากนี้น้ำผึ้งดอกแมคคาเดเมียมีสรรพคุณทางยา อาทิเช่น แก้อาการท้องเดิน ช่วยเร่งลำไส้ที่อักเสบให้ฟื้นตัวเร็วขึ้น แก้ช่องคลอดอักเสบจากเชื้อรา บำรุงร่างกาย บรรเทาอาการไอ หลอดลมอักเสบ มีเสมหะ ท้องอืด ท้องเฟ้อ ท้องผูก ท้องเสียรุนแรง กล้ามเนื้อเป็นตะคริว และยังช่วยรักษาแผลให้หายเร็วขึ้นอีกด้วย

วิธีการปลูกแมคคาเดเมียร์และเก็บเกี่ยวแมคคาเดเมีย

แมคคาเดเมียเป็นพืชที่มีอยู่รวม 10 ชนิด ทั้งนี้ จำนวน 6 ชนิด มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศออสเตรเลีย หนึ่งชนิดพบอยู่ที่เกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย และอีก 3 ชนิด พบอยู่ที่หมู่เกาะนิวคาลิโดเนีย ในแถบเดียวกับประเทศปาปัวนิวกินี ชนิด หรือ species ที่ใช้บริโภคได้มีเพียง 2 ชนิด พบอยู่ในประเทศออสเตรเลียเท่านั้น

ชนิดแรกมีผิวกะลาเรียบและชนิดที่สองมีผิวกะลาหยาบขรุขระ ในปี พ.ศ. 2524 มีชายหนุ่มชาวสกอตแลนด์ได้นำมะคาเดเมียชนิดผิวกะลาเรียบไปปลูกที่รัฐฮาวาย สหรัฐอเมริกา ต่อมาในปี พ.ศ. 2465 เริ่มมีการปลูกแมคคาเดเมียเพื่อเป็นการค้าขึ้นในออสเตรเลีย ส่วนในประเทศไทยมีการนำมาปลูกทดลองเมื่อปี พ.ศ. 2496 ด้วยความช่วยเหลือขององค์การยูซอม ของสหรัฐอเมริกา โดยกรมกสิกรรม ในขณะนั้น ก่อนรวมกับกรมการข้าว ยกระดับขึ้นเป็น กรมวิชาการเกษตร ได้นำพันธุ์ไปปลูกที่สถานีทดลองกสิกรรมในภาคเหนือหลายแห่ง แต่ไม่ประสบความสำเร็จ ต่อมาในปี 2527 มีการนำกิ่งพันธุ์และเมล็ดพันธุ์แมคคาเดเมีย จำนวน 8 สายพันธุ์ จากรัฐฮาวาย ไปทดลองปลูกที่สถานีทดลองเกษตรที่สูง วาวี จังหวัดเชียงราย สถานีทดลองเกษตรที่สูงแม่จอนหลวง จังหวัดเชียงใหม่ และสถานีทดลองเกษตรที่สูง ภูเรือ จังหวัดเลย ปัจจุบันสถานีทดลองทั้ง 3 แห่ง สามารถกระจายพันธุ์ให้กับเกษตรกรผู้สนใจเฉลี่ยปีละประมาณ 40,000 ต้น ลักษณะนิสัยของแมคคาเดเมีย เป็นพืชต้องการ

อุณหภูมิต่ำสุดที่ 9 °C และสูงสุดไม่เกิน 32 °C ที่อุณหภูมิ 18 °C จะกระตุ้นให้แมคคาเดเมียออกดอกได้ดีที่สุด ในประเทศไทยที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางระหว่าง 800 - 1,300 m ซึ่งมีอุณหภูมิในระดับที่พอเหมาะกับแมคคาเดเมีย นอกจากนี้แมคคาเดเมียยังต้องการปริมาณน้ำฝนไม่น้อยกว่า 1,000 mm ทั้งนี้ ปริมาณฝนจะขาดหายไปในช่วงฤดูแล้ง ในระยะดังกล่าวต้องมีการให้น้ำบ้างมิเช่นนั้นผลแมคคาเดเมีย จะมีขนาดเล็กลง การปลูกไม้กันลม เช่น สนอินเดีย ไผ่ตง หรือไผ่ลวก จะช่วยลดกิ่งฉีกขาด หรือต้นโค่นล้ม เมื่อมีลมพัดแรง ต้องการดินอุดมสมบูรณ์และร่วนซุย ระบายน้ำได้ดี มีความเป็นกรดด่าง 5.6-6.0 จากผลการทดลองมาเป็นเวลานานพบว่า ปลูกได้ผลดีที่ดอยมูเซอ จังหวัดตาก เขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ และภูเรือ จังหวัดเลย พันธุ์ที่ปลูกได้ดีในประเทศไทย มีดังนี้ พันธุ์นัมเบอร์ 788 มีทรงต้นเป็นพุ่มกลม ใบสีเขียวปานกลาง เมื่ออายุ 10 ปี ให้ผลผลิตเฉลี่ย 21 กิโลกรัม ต่อต้น ผลค่อนข้างใหญ่ เฉลี่ย 141 ผล ต่อหนึ่งกิโลกรัม หลังกะเทาะกะลาออกแล้วได้น้ำหนักเนื้อผล 37-40 % พันธุ์นัมเบอร์ 856 มีลักษณะ ใบกว้างสีเขียวเข้ม ขอบใบมีหนามแหลมและแข็ง ผลค่อนข้างเล็ก เฉลี่ย 174 ผล ต่อกิโลกรัม ข้อเสียคือมีกะลาค่อนข้างหนา และให้ผลผลิตไม่สม่ำเสมอ จึงแนะนำให้ปลูกเพื่อนำละอองเกสรตัวผู้ไปใช้ในการผสมพันธุ์เท่านั้น และ พันธุ์นัมเบอร์ 915 เป็นพันธุ์ที่ทนต่อลมพัดแรง และความแห้งแล้งได้ดีกว่าพันธุ์อื่นๆ อีกทั้งให้เปอร์เซ็นต์กะเทาะเนื้อผลสูงถึง 36-40 % ใบมีสีเขียวเกือบตลอดปี และให้ผลผลิตได้ในระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางเพียง 700 เมตรเท่านั้น

สิ่งสำคัญคือ ติดผลดกและผลมีขนาดค่อนข้างใหญ่ เฉลี่ย 134 ผล ต่อกิโลกรัม การปลูก และดูแลรักษา ระยะปลูกที่แนะนำคือ 5x10 เมตร จะได้ 32 ต้น ต่อไร่ แมคคาเดเมียจะให้ผลผลิตดีได้ถึงอายุ 40-50 ปี ส่วนระยะปลูก 8x12 เมตร ใน 1-3 ปีแรก สามารถใช้พื้นที่ว่างระหว่างแถวปลูกพืชแซม เช่น ถั่วแขก ถั่วพุ่ม และพืชล้มลุกอื่นๆ เป็นรายได้เสริมให้เกษตรกรได้อีกทางหนึ่ง กรณีเป็นที่ลาดชันจำเป็นต้องปลูกเป็นแถวตามแนวระดับ หรือแนวคอนทัวร์ (Contour line) และให้ทำแนวกันไฟทุก 200-300 เมตร ขุดหลุมกว้างและลึก 50 เซนติเมตร หรือ 100 เซนติเมตร ตามความเหมาะสม คลุกดินด้วยปุ๋ยคอกเก่าอัตราหลุมละ 1-2 ปุ้งกี๋ ให้เข้ากัน รองก้นหลุมด้วยหินฟอสเฟต เกลี่ยดินผสมกลับลงหลุมปลูก นำต้นกล้าที่เพาะในถุงเพาะชำที่ได้จากการตอนกิ่ง ที่มีอายุ 1-2 ปี ฉีกถุงหรือใช้มีดคมตัดระวังอย่าให้รากฉีกขาด เปิดดินปากหลุมกว้างพอดีกับขนาดราก พร้อมวัสดุเพาะกล้าแมคคาเดเมีย วางลงกลางหลุมกลบดิน กดหรือตบพอแน่น พูนดินที่โคนต้นกล้าเป็นรูปหลังเต่า หากไม่มีฝนต้องรดน้ำตามทันที ดังนั้น ช่วงปลูกที่เหมาะสมจึงควรปลูกในต้นฤดูฝนตั้งแต่ปลายเดือนเมษายนไปจนถึงเดือนพฤษภาคม เริ่มตัดแต่งทรงพุ่มตั้งแต่อายุ 8-12 เดือน ให้สมดุลและสวยงาม ไม่ควรปล่อยให้เอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง เนื่องจากใช้กิ่งตอนในการขยายพันธุ์ ดังนั้น ภายใน 1 ปี มะคาเดเมียร์จะเริ่มให้ดอก อย่างไรก็ตาม ไม่ควรเก็บผลผลิตในระยะนี้ ควรให้มีอายุ 4 ปี ขึ้นไป จึงปล่อยให้ติดผล

เนื่องจากระยะนี้แมคคาเดเมีย จะเจริญเติบโตเต็มที่พร้อมให้ผลผลิตคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ แมคคาเดเมีย ออกดอกเป็นช่อสีขาว มีดอกประมาณ 200 ดอก ต่อหนึ่งช่อ จะออกดอก 2 ช่วง คือ ระหว่างเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ และเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม โดยนิสัยของแมคคาเดเมีย จะติดผลเพียง 4 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น และสามารถเก็บผลได้หลังจากดอกบานแล้ว 6-11 เดือน การให้ปุ๋ย ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แนะนำให้ใช้ปุ๋ย สูตร 15-15-15 แบ่งใส่ 2 ครั้ง ต้นฤดูและปลายฤดูฝน เมื่อมีอายุ 1, 2, 3 และ 4 ปี ในอัตรา 600, 1,200, 1,800 และ 2,400 กรัม ต่อต้น หากดินมีความอุดมสมบูรณ์

สูง ให้ใส่ปุ๋ยคอกเก่า อัตรา 3-4 ปุ้งกี๋ ต่อต้นทุกปี เพียงอย่างเดียวก็ได้ และเมื่อต้นแมคคาเดเมีย ให้ผลแล้ว ควรเปลี่ยนสูตรปุ๋ยเป็น 12-12-12-2 ปุ๋ยตัวสุดท้ายคือ แมกนีเซียม มีสมบัติในการเพิ่มปริมาณน้ำมันในผล การเก็บเกี่ยว อายุเก็บเกี่ยวอาจยืดยาวออกไป ในแหล่งที่มีอากาศหนาวเย็นมากขึ้น วิธีเก็บเกี่ยวใช้วิธีเขย่าต้น หรือใช้ไม้ตะขอสอยผลให้ร่วงลงพื้น หากให้ดีควรรองรับด้วยตาข่ายไนลอน นำผลที่ได้เข้าเครื่องกะเทาะเปลือกนอกออก อาจปรับเครื่องสีข้าวโพดกะเทาะก็ได้ แล้วนำไปผึ่งลม อีก 2-3 วัน จากนั้นนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 38, 42, 46, 48 ^{o}C และ 52 ^{o}C เป็นเวลา 1-2, 1-2, 1-2, 1-2 และ 1-2 วัน ตามลำดับ จนเหลือความชื้นในเนื้อผล 1-1.5 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไปกะเทาะกะลาด้วยเครื่องกะเทาะที่ผลิตขึ้นเฉพาะ โรคแมลงศัตรูสำคัญของมะคาเดเมีย โรคเปือกผุ ที่เกิดจากเชื้อราชนิดหนึ่ง หากระบาดรุนแรงจะทำให้เกิดอาการเดียวกับโรครากเน่า วิธีป้องกันกำจัด ตัดแต่งกิ่งให้โปร่ง ทำทางระบายน้ำ ป้องกันน้ำท่วมขังบริเวณโคนต้นเมื่อมีฝนตกหรือหลังการให้น้ำ ใช้วิธีเฉือนเนื้อไม้ที่บริเวณเกิดแผลเปื่อย ทำความสะอาดแล้วทาด้วยคอปเปอร์ออกซีคลอไรด์ให้ทั่วแผล อาการทุเลาลง แมลงค่อมทอง มักกัดกินใบในช่วงแตกใบอ่อนทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง การป้องกันกำจัด แนะนำให้ฉีดพ่นด้วยคาร์บาริล ตามอัตราแนะนำ การระบาดจะหมดไปในที่สุด ต้องการข้อมูลรายละเอียดเพิ่มเติม ติดต่อสอบถามได้ที่ ศูนย์บริการวิชาการด้านพืช และปัจจัยการผลิตเพชรบูรณ์ 2 อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โทร. (056) 723-056 ในวันเวลาทำการ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 900 – 2547

ถ่านกัมมันต์

ACTIVATED CARBON

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 71.100.80

IBN 974-687-219-2

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ถ่านกัมมันต์

มอก. 900 – 2547

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 3300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 121 ตอนที่ 79ง
วันที่ 30 กันยายน พุทธศักราช 2547

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 581
มาตรฐานคาร์บอนกัมมันต์

ประธานกรรมการ

นายประสม สถาปิตานนท์	ผู้แทนสมาคมมาตรฐานไทย

กรรมการ

นางสาวนงลักษณ์ บรรยงวิจัย	ผู้แทนกรมวิทยาศาสตร์บริการ
นายจ่ายฮก แซ่เฮียบ	ผู้แทนคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นางสาวรุ่งทิพย์ ชัยวัฒนานนท์	ผู้แทนสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
นายพร เดชคณากร	ผู้แทนบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด
นายวัฒนา โสตรแก้ว	ผู้แทนบริษัท อายิโนะโมะโต๊ะ (ประเทศไทย) จำกัด
นางสาวคัชชริยา บูรณวัฒน์	ผู้แทนบริษัท ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
นายประกิจ อิศวรพันธ์	ผู้แทนบริษัท ปราณีภัณฑ์ จำกัด
นายธนัญชัย กาญจนบัตร	ผู้แทนบริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด
นายเบญจะ กาญจนบัตร	
นายสุนธนะ ธวัชวิบูลย์	ผู้แทนบริษัท เอ็มซี อินดัสเทรียลเคมิคอล จำกัด
นางบุษบา นันทสุขเกษม	ผู้แทนบริษัท ไว้ท์กรุ๊ป จำกัด (มหาชน)
นายไพรัช วิวัฒนกุลกิจ	ผู้แทนบริษัท อิ๊สต์เอเชียติ๊ก (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

กรรมการและเลขานุการ

นายกิตติศักดิ์ ณีศะนันท์	ผู้แทนสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
นางอารัมภ์รัตน์ รัชดานุรักษ์	

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ ได้ประกาศใช้เป็นครั้งแรกตามมาตรฐานเลขที่ มอก.900-2532 ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับพิเศษ เล่ม 106 ตอนที่ 226 วันที่ 22 ธันวาคม พุทธศักราช 2532

ต่อมาได้พิจารณาเห็นสมควรแก้ไขปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ เพื่อให้เหมาะสมและสอดคล้องกับการพัฒนาของผลิตภัณฑ์นี้ จึงได้แก้ไขปรับปรุงโดยยกเลิกมาตรฐานเดิมและกำหนดมาตรฐานนี้ขึ้นใหม่

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากผู้ทำ ผู้ใช้ และเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

American Water Works Association(AWWA) B600-96	Powdered Activated Carbon
AWWA B604-96	Granular Activated Carbon
ASTM D 4607-94	Determination of Iodine Number of Activated Carbon

มหาวิทยาลัยนเรศวร

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตามมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 3274 (พ.ศ. 2547)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง ยกเลิกและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ถ่านกัมมันต์

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ มาตรฐานเลขที่ 900-2532 อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1550 (พ.ศ. 2532) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ.2511 เรื่อง กำหนด มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ ลงวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ.2532 และออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ มาตรฐานเลขที่ มอก.900-2547 ขึ้นใหม่ ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด 60 วัน นับแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2547

พินิจ จารุสมบัติ

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ถ่านกัมมันต์

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมถ่านกัมมันต์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายประเภท เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและเภสัชกรรม ใช้ฟอกสีในอุตสาหกรรมอาหาร น้ำตาล น้ำมันพืช น้ำอัดลม โมโนโซเดียม แอล-กลูตาเมต (Monosodium L-Glutamate) ใช้ดูดก๊าซในก้นกรองบุหรี่ เครื่องทำให้อากาศบริสุทธิ์ในโรงงาน และใช้ในการกรองน้ำ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านที่มีคุณสมบัติดูดซับสี กลิ่น รส บางชนิดได้เป็นอย่างดี ถ่านชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นรูพรุน ผลิตได้จากถ่านหิน ถ่านไม้ ถ่านกะลามะพร้าว หรือถ่านกระดูก ด้วยกรรมวิธีก่อกัมมันต์

2.2 ค่าไอโอดีน (Iodine number) หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับเป็น 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

3. ชนิด และชั้นคุณภาพ

3.1 ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

3.1.1 ชนิดผง (powdered activated carbon)

3.1.2 ชนิดเม็ด (granular activated carbon) แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ

3.1.2.1 ชั้นคุณภาพพิเศษ (premium grade)

3.1.2.2 ชั้นคุณภาพที่ 1 (first grade)

3.1.3 ชนิดอัดเม็ด (pelletised activated carbon)

3.1.4 ชนิดแท่ง (block activated carbon)

4. ขนาด

4.1 ชนิดผง

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านแร่ง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2.1

4.2 ชนิดเม็ด และชนิดอัดเม็ด

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านแร่ง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2.2

4.3 ชนิดแท่ง

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

5.1.1 ชนิดผง

ต้องเป็นผงสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

5.1.2 ชนิดเม็ดและชนิดอัดเม็ด

ต้องเป็นเม็ดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

5.1.3 ชนิดแท่ง

ต้องเป็นแท่ง ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

5.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

5.2.1 ชนิดผง

ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดผง

(ข้อ 5.2.1)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B600
2	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.20 ถึง 0.75	

5.2.2 ชนิดเม็ด

ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดเม็ด

(ข้อ 5.2.2)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		วิธีทดสอบตาม
		ชั้นคุณภาพพิเศษ	ชั้นคุณภาพที่ 1	
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	1 000	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8		
3	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.20		
4	ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70		AWWA B 604 Ro-Tap abrasion test

5.2.3 ชนิดอัดเม็ด

ให้เป็นไปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดอัดเม็ด

(ข้อ 5.2.3)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8	
3	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.20	
4	ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70	AWWA B 604 Ro-Tap abrasion test

5.2.4 ชนิดแท่ง

ให้เป็นไปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดแท่ง

(ข้อ 5.2.4)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8	

6. การบรรจุ

6.1 ให้บรรจุถ่านกัมมันต์ในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท

6.2 น้ำหนักสุทธิของถ่านกัมมันต์ในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1 ที่ภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์ทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชื่อผลิตภัณฑ์ตามชื่อมาตรฐาน

(2) ชนิด และชั้นคุณภาพ

(3) น้ำหนักสุทธิ เป็นกิโลกรัม

(4) เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ

(5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

8.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

9. การทดสอบ

9.1 ข้อกำหนดทั่วไป

9.1.1 ให้ใช้วิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานนี้ หรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในมาตรฐานนี้

9.1.2 หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น น้ำกลั่นและสารเคมีที่ใช้ต้องมีความบริสุทธิ์เหมาะสำหรับใช้ในการวิเคราะห์

9.2 การทดสอบขนาด

9.2.1 ถ่านกัมมันต์ผง

9.2.1.1 เครื่องมือ

(1) แร่ง 150 ไมโครเมตร

(2) กูชครูซิเบิล

9.2.1.2 วิธีทดสอบ

นำตัวอย่างประมาณ 25 กรัม ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมงจนได้มวลคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ จากนั้นให้รีบชั่งให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.001 กรัม (m_0) เทตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำ 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถึง 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน ทำแร่งให้เปียกก่อนแล้วเทตัวอย่างช้า ๆ ผ่านแร่ง ในขณะที่เทให้คนตัวอย่างเป็นครั้งคราว ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ออกให้หมด เมื่อเทตัวอย่างทั้งหมดลงบนแร่งแล้วใช้น้ำล้างตัวอย่างอีกจนกระทั่งไม่มีตัวอย่างผ่านแร่งอีก ถ่ายตัวอย่างที่ค้างบนแร่ง โดยใช้น้ำช่วยใส่ลงในบีกเกอร์แล้วกรองผ่านกูชครูซิเบิลซึ่งทราบมวลแน่นอนแล้ว นำกูชครูซิเบิลนั้นไปอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมงจนได้มวลคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วรีบชั่งน้ำหนักทันที (m_1)

9.2.1.3 วิธีคำนวณ

คำนวณหาปริมาณที่ผ่านแร่ง จากสูตร

$$\text{ปริมาณที่ผ่านแร่ง ร้อยละโดยน้ำหนัก} = \left[1 - \frac{m_1}{m_0} \right] \times 100$$

เมื่อ m_0 คือ มวลของตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งแรก เป็นกรัม

เมื่อ m_1 คือ มวงของตัวอย่าง หลักจากอบแห้งครั้งที่ 2 เป็นกรัม

9.2.2 ถ่านกัมมันต์เม็ดและถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

9.2.2.1 เครื่องมือ

(1) แร่ง 150 ไมโครเมตร

(2) เครื่องเขย่า ที่มีอัตราการเขย่า 285 รอบต่อนาที ± 5 รอบต่อนาที มีลักษณะการเขย่าเป็นแบบขึ้นลงและหมุนวนพร้อมกัน

9.2.2.2 วิธีทดสอบ

ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม ใส่ในแร่ง เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 3 นาที ถ่ายส่วนที่ค้างบนแร่งทั้งหมดลงในภาชนะที่ทราบมวลแน่นอนแล้ว ชั่งและคำนวณส่วนที่ค้างบนแร่งเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

9.3 น้ำหนักสุทธิ

ชั่งตัวอย่างทั้งหมดพร้อมภาชนะบรรจุ แล้วเทตัวอย่างออก ชั่งภาชนะเปล่า แล้วเฉลี่ยผลต่างของมวลที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักสุทธิต่อภาชนะบรรจุ

ภาคผนวก ก.

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 8.1)

ก.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง ถ่านกัมมันต์ชนิดและชั้นคุณภาพเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน บรรจุในภาชนะบรรจุชนิดและขนาดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

ก.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบการบรรจุ

ก.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.1

ก.2.1.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 6. จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ ก.1 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ

(ข้อ ก.2.1.1)

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ
ไม่เกิน 25	3
26 ถึง 50	4
51 ถึง 100	5
101 ถึง 300	6
301 ถึง 500	7
501 ถึง 800	8
801 ถึง 1 000	9
เกิน 1 001	10

ก.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบเครื่องหมายและฉลาก

ก.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.2

ก.2.2.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 7. ในแต่ละรายการ ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ ก.2 จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ ก.2 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบเครื่องหมายและฉลาก

(ข้อ ก.2.2)

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 280	2	0
281 ถึง 500	8	1
เกิน 500	13	2

ก.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ

ก.2.3.1 ให้ชักตัวอย่าง จากตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบเครื่องหมายและฉลากแล้วมาภาชนะบรรจุละเท่า ๆ กัน ให้ได้ตัวอย่าง รวมกันไม่น้อยกว่า 1 500 กรัม ผสมตัวอย่างทั้งหมดเข้าด้วยกัน แล้วแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน บรรจุแต่ละส่วนลงในภาชนะที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท พร้อมทั้งบันทึกรายละเอียดที่จำเป็นไว้ ตัวอย่างส่วนหนึ่งนำไปใช้ในการวิเคราะห์ อีก 2 ส่วนที่เหลือให้ผู้ที่เกี่ยวข้องเก็บไว้เป็นหลักฐาน

ก.2.3.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4. และข้อ 5. ทุกรายการ จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ต้องเป็นไปตามข้อ ก.2.1.2 ข้อ ก.2.2.2.2 และข้อ ก.2.3.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้