อภินันทนาการ

เลขที่สัญญา R2560B100

สำนักหอสมุด

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตเม็ดถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดเพื่อการดูดซับแก๊ส

ส่วนที่ 1 การผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ

คณะผู้วิจัย
ผศ.ดร.ศิรินุช จินดารักษ์
ผศ.ดร.นุชจิรา ดีแจ้ง
นางสาวประภัสสร รัตนไพบูลย์
นางสาวนิศาชล จันทโชติ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 1 ส.ค. 2562
เลขทะเบียน 102040
เลขเรียกหนังสือ ว QC 152 ส414ง 2561

สนับสนุนโดย

งบประมาณรายได้มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีงบประมาณ 2560

Executive summary

งานวิจัยนี้ได้นำซังข้าวโพดเป็นผลเหลือทิ้งจากกระบวนการทางการเกษตร ซังข้าวโพดที่เหลือจากการกระเทาะเมล็ดข้าวโพดมักถูกนำมาใช้เป็นตัวให้ความร้อนหรือชีวมวล เมื่อนำมาเผาให้ความร้อนจะให้ค่าความร้อนทั้งนี้ซังข้าวโพดมีมวลซัง หรือความหนาแน่นของซังข้าวโพดน้อยเมื่อเทียบกับชีวมวลที่เหลือกจากการเกษตรอื่นๆ อย่างไรก็ตาม โครงสร้างของซังข้าวโพดมีความเบาหรือความพรุนภายในโครงสร้างสูง การนำมาแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อเพิ่มมูลค่าแก่วัสดุเหลือทางการเกษตร ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 เล่ม คือ เล่มที่ 1 การนำซังข้าวโพดมาเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นถ่านกัมมันต์สำหรับการดูดซับแก๊ส และ เล่มที่ 2 มาสร้างเป็นขั้วไฟฟ้ารูพรุนสูง ที่มีสมบัติในการดูดซับสารละลายเกลือ (Na^+ และ Cl^-) ภายใต้สนามไฟฟ้า มีรายละเอียดดังนี้

เล่มที่ 1 การนำซังข้าวโพดมาเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นถ่านกัมมันต์สำหรับการดูดซับแก๊ส นำซังข้าวโพดมาเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 500-800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยวิธีการเผาแบบอับอากาศ ถ่านซังข้าวโพดที่ได้จากการเผามีค่าร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วงระหว่าง 23.47-31.69 นำถ่านที่ได้มาบดและตัดขนาดให้ไม่เกิน 150 ไมครอน เมื่อทำการกระตุ้นด้วยน้ำและซิงค์คลอไรด์ ร่วมด้วยคลื่นไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 90 และ 360 W ที่เวลา 1 3 และ 5 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นมีร้อยละความชื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 900-2547 ที่กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 8 ทุกเงื่อนไขการกระตุ้น ถ่านที่กระตุ้นด้วยน้ำ และซิงค์คลอไรด์ ร่วมกับคลื่นรังสีไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 90 W มีค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วงระหว่าง 610-988 mg/g และที่กำลังไฟฟ้า 360 W มีค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วงระหว่าง 598-1,041 mg/g พบว่าการกระตุ้นถ่านด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่ามากกว่า 600 mg/g ระยะเวลาการกระตุ้น กำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ 360 W ที่ 1 นาที ให้ค่าการดูดซับสูงที่สุดคือ 1,041.58 mg/g อย่างไรก็ตาม ถ่านที่อุณหภูมิ 500 °C ที่กระตุ้นด้วย ซิงค์คลอไรด์ มีค่าการดูดซับไม่ผ่านตามมาตรฐาน จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยการดูดซับแก๊สไนโตรเจน (BET) ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกำลังไฟฟ้า 90 และ 360 W มีค่าอยู่ในช่วง 249.23- 466.91 m^2/g มีลักษณะกราฟการดูดซับและคายไนโตรเจนเป็นแบบ Type I และปริมาตรรูพรุนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.1039-0.2253 cm^3/g ที่เงื่อนไขการเผาอุณหภูมิ 700-800°C ทั้งสองเงื่อนไขการกำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้กระตุ้น มีพื้นที่ผิวมากกว่า 400 m^2/g และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเผาถ่าน จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของผงถ่านกัมมันต์มีรูพรุนขนาดมาโครและไมครอนอย่างชัดเจนที่กระจายทั่วก้อนถ่านกัมมันต์ เมื่ออุณหภูมิเผาสูงกว่า 600°C ลักษณะของผิวถ่านที่ไม่เสถียรหลุดออก สอดคล้องกับค่าร้อยละผลผลิตที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิเผาสูงขึ้น จากผลการทดลองกล่าวได้ว่า วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยรังสีไมโครเวฟที่อุณหภูมิเผา 700-800°C เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับแก๊ส ผงถ่านกัมมนต์จากซังข้าวโพดด้วยวิธีการนี้สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 900 - 2547

เล่มที่ 2 น้ำกร่อยเป็นน้ำที่มีการเจือปนเกลืออยู่ในน้ำ วัดจากความเข้มข้นของเกลือ 0.05-3% ดดยเฉพาะแหล่งชุมชนที่อยู่ติดทะเล หรือพื้นที่บางส่วนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีความเค็มเจือปนในแหล่งน้ำบาดาล ส่งผลต่อการประกอบอาชีพและสุขภาพของประชาชนชุมชนนั้นๆ การแยกเกลือด้วยเทคนิค capacitive deionization (CDI) ดดยใช้ขั้วไฟฟ้าที่มีรูพรุนสูงทำการดูดซับไอออนเกลือหรือโลหะที่แตกตัวเป็นไอออนที่ละลายอยู่ในน้ำภายใต้สนามไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์พบว่ารูพรุนสูงที่ทนต่อ

การกัดกร่อนได้ดี งานวิจัยนี้นำถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟมาผลิตเป็นขั้นไฟฟ้า ที่ได้จากการนำซังข้าวโพดมาเผาแบบอับอากาศภายใต้อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านซังข้าวโพด

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการผลิตขั้วไฟฟ้ารูพรุนสูงที่ทำจากถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพด สำหรับการแยกเกลือออกจากน้ำ นำซังข้าวโพดที่เหลือจากการเกษตรมาเปลี่ยนให้เป็นถ่านด้วยวิธีการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิเผาถ่าน 500, 600, 700 และ 800°C พบว่าค่าร้อยละผลผลิตมีค่าเฉลี่ย 26.83 และมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเผาเพิ่มขึ้น บดและคัดขนาดถ่านซังข้าวโพดไม่เกิน 150 µm นำผงถ่านที่ได้มาแช่ในน้ำในอัตราส่วน ผงถ่านต่อน้ำ 12:1 ทำการกระตุ้นถ่านด้วยวิธีทางกายภาพด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 360 W เป็นเวลา 3 นาที ผงถ่านที่ผ่านการกระตุ้นนำมาทดสอบการดูดซับไอโอดีนและองค์ประกอบหมู่ฟังก์ชั่นถ่านด้วยเทคนิคสเปกโทรมิเตอร์ FT-IR พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนของผงถ่านก่อนและหลังการกระตุ้นทุกช่วงอุณหภูมิเผามีค่าอยู่ระหว่าง 644.67 – 973.80 mg/g และ 733.26–1,158.70 mg/g ตามลำดับ ทำการขึ้นรูปผงถ่านกัมมันต์ให้เป็นขั้วไฟฟ้ารูพรุนสูงถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพดที่มีตัวประสานโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) อัตราส่วน 1 g ต่อ PVA 0.4 mL ที่ความดันอัด 500 psi ทดสอบความชอบน้ำของขั้วไฟฟ้าด้วยการวิเคราะห์มุมสัมผัส (CAA) บนพื้นที่ผิวขั้วไฟฟ้ารูพรุนสูง พบว่าถ่านซังข้าวโพดมีสมบัติไม่ชอบน้ำมุมสัมผัสมากกว่า 56 องศาแสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำ ขณะที่ถ่านที่ผ่านการกระตุ้นเมื่อหยดน้ำทดสอบน้ำจะถูกดูดซับลงไปอย่างรวดเร็วแสดงสมบัติการชอบน้ำ จากพฤติกรรมดังกล่าวของขั้วไฟฟ้ารูพรุนจากถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับหรือแพร่น้ำเข้าไปภายในเนื้อวัสดุได้เป็นอย่างดี นำขั้วไฟฟ้าที่สร้างได้ต่อเป็นขั้วแอโนดและคาโทดที่มาทดสอบการดูดซับเกลือแบบระบบน้ำนิ่งและน้ำไหลวนสู่เซลล์ไฟฟ้าเคมี ที่ป้อนไฟฟ้าให้แก่เซลล์ 1 V สมบัติการดูดซับไอออนเกลือมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเผา ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่ผ่านการกระตุ้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน องค์ประกอบของหมู่ฟังชั่นคาร์บอนที่ปรากฏพบว่าการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันบนพื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพด จากการวิเคราะห์มุมสัมผัสพบว่าขั้วไฟฟ้าที่ทำจากถ่านกัมมันต์แสดงสมบัติการชอบน้ำอย่างชัดเจน ส่วนขั้วไฟฟ้าที่ทำจากผงถ่านปรากฏมุมสัมผัสอยู่ระหว่าง 58-96 องศา ผลทดสอบดูดซับเกลือด้วยการวัดค่าความเค็มจากสารละลายที่ถูกดูดซับด้วยขั้วไฟฟ้ารูพรุนสูงปริมาณ 60 ml มีค่าความเค็มตั้งต้น 5.84 Psu พบว่ามีค่าลดลงทั้งในระบบน้ำนิ่งและน้ำไหลวนสามารถดูดซับเกลือได้ต่ำสุดในช่วง 4.48-4.87 และ 4.13-4.97 Psu อย่างไรก็ตาม ระบบน้ำวนใช้เวลาในการดูดซับเกลือน้อยกว่าระบบน้ำนิ่งและมีค่าลดลงจนอิ่มตัวเมื่อเวลาผ่านไป จากผลการทดลองกล่างได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตั้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่ได้จากการเผาอุณหภูมิ 700-800°C เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำเป็นขั้วไฟฟ้ารูพรุนสูงเพื่อการดูดซับสารละลายไอออนเกลือในน้ำ

บทคัดย่อ

การศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด โดยการเผาถ่านที่อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 500- 800 °C ด้วยวิธีการเผาแบบอับอากาศ ถ่านที่ได้จากการเผามีค่าร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วงระหว่าง 23.47-31.69 เมื่อทำการกระตุ้นด้วยน้ำ และซิงค์คลอไรด์ ร่วมด้วยคลื่นไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 และ 360 W ที่เวลา 1 3 และ 5 นาที

ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นมีร้อยละความชื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 900 - 2547 ที่กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 8 ทุกเงื่อนไขการกระตุ้น ถ่านที่กระตุ้นด้วยน้ำ และซิงค์คลอไรด์ ร่วมกับคลื่นรังสีไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 90 W มีค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วงระหว่าง 610 - 988 mg/g และที่กำลังไฟฟ้า 360 W มีค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วงระหว่าง 598 - 1,041 mg/g พบว่าการกระตุ้นถ่านด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่ามากกว่า 600 mg/g ระยะเวลาการกระตุ้น กำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ 360 W ที่ 1 นาที ให้ค่าการดูดซับสูงที่สุดคือ 1,041.58 mg/g อย่างไรก็ตาม ถ่านที่อุณหภูมิ 500 oC ที่กระตุ้นด้วย ซิงค์คลอไรด์ มีค่าการดูดซับไม่ผ่านตามมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ความเป็นรูพรุนด้วยการดูดซับแก๊สไนโตรเจน (BET) พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวอยู่ในช่วง 219.55 - 470.27 m2/g และปริมาตรรูพรุนอยู่ในช่วง 0.1039 - 0.2253 cm3/g ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์มีรูพรุนอย่างชัดเจนและกระจายทั่วก้อนถ่านกัมมันต์ กล่าวได้ว่า วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด ที่ด้วยวิธีดังกล่าว สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะรูพรุนสูง และมีคุณสมบัติผ่านตามาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 900 – 2547

คำสำคัญ ถ่านกัมมันต์ ซังข้าวโพด รังสีไมโครเวฟ BET การดูดซับไอโอดีน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 จุดมุ่งหมายของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินงาน	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 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์	5
2.1.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์	6
2.1.5 แบ่งตามลักษณะรูปร่าง	6
2.1.6 แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์	7
2.1.7 การทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์	7
2.1.8 การวัดสมบัติของถ่านกัมมันต์	8
2.1.9 มาตรฐานของถ่านกัมมันต์	8
2.1.10 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	9
2.2 การดูดซับ	9
2.2.1 กลไกการดูดซับ	10
2.2.2 ประเภทการดูดซับของถ่านกัมมันต์	10

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
2.3	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ	11
	2.3.1 ความปั่นป่วน	11
	2.3.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์	11
	2.3.3 ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์	11
	2.3.4 ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์	11
	2.3.5 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลาย	12
	2.3.6 อุณหภูมิ	12
2.4	เตาอบไมโครเวฟ	12
2.5	การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุดูดซับ	13
2.6	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM))	17
2.7	ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์	18
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการผลิตถ่านกัมมันต์	19
บทที่ 3	**วิธีการดำเนินการวิจัย**	
3.1	เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	24
3.2	การคาร์บอไนซ์เซชั่น	32
3.3	การกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ	33
3.4	การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ	34
3.5	การศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้	35
3.6	การศึกษาปริมาณความชื้น	36
3.7	การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน	37
บทที่ 4	**ผลการวิจัยและอภิปรายผล**	
4.1	ร้อยละความชื้นของซังข้าวโพด	41
4.2	ร้อยละผลผลิตของถ่านซังข้าวโพด	41
4.3	การดูดซับไอโอดีนของถ่านซังข้าวโพด	42
4.4	การศึกษาลักษณะทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM)	43

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
4.5	ความเป็นรูพรุนของถ่านด้วยเครื่องมือ Brunauer-Emmertt-Teller (BET)	47
4.6	ผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกำลังไฟฟ้า 90 W	48
	4.6.1 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 W	48
	4.6.2 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 W	57
4.7	ผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกำลังไฟฟ้า 360 W	66
	4.7.1 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W	66
	4.7.2 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W	74
4.8	ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการกระตุ้นถ่าน ที่กำลังไฟฟ้า 90 W และ 360 W	83
บทที่ 5	**สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**	
5.1	สรุปผลการวิจัย	88
5.2	ข้อเสนอแนะ	88
บรรณานุกรม		89
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก		92
ภาคผนวก ข		97

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ข้อดีข้อเสียของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี	9
4.1	ร้อยละความชื้นของซังข้าวโพด	41
4.2	ร้อยละผลผลิตของถ่านซังข้าวโพด	42
4.3	การดูดซับไอโอดีนของถ่านจากซังข้าวโพด	42
4.4	ความเป็นรูพรุนของถ่านซังข้าวโพด	47
4.5	ร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W	49
4.6	การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W	50
4.7	ความเป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W	56
4.8	ร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W	57
4.9	การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W	59
4.10	ความเป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W	65
4.11	ร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 360 W	66
4.12	การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 360 W	68
4.13	ความเป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 360 W	73
4.14	ร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W	75
4.15	การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W	76
4.16	ความเป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W	82
4.17	การเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่กระตุ้นด้วยน้ำ และซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 W	84
4.18	การเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่กระตุ้นด้วยน้ำ และซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W	86

สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกแกรไฟต์	5
2.2	ถ่านกัมมันต์ประเภทผง	6
2.3	ถ่านกัมันต์ประเภทเม็ด	7
2.4	แสดงการดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุ	14
2.5	แสดงการดูดซับโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนของวัสดุเป็นชั้นๆ	14
2.6	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าปริมาณแก๊สที่ถูกดูดซับกับความดันสัมพัทธ์	14
2.7	แสดงเครื่องวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน	16
2.8	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	17
3.1	ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	23
3.2	ซังข้าวโพด	24
3.3	เตาเผาควบคุมอุณหภูมิและเวลา	24
3.4	เครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง	25
3.5	โถดูดความชื้นหรือเดซิเคเตอร์	25
3.6	ตู้อบ	26
3.7	ฟอยล์อลูมิเนียมสำหรับห่ออาหาร	26
3.8	ครกและสาก	27
3.9	ตะแกรงคัดขนาด	27
3.10	บีกเกอร์ขนาดต่างๆ	28
3.11	ไมโครเวฟ	28
3.12	หม้อดินเผา	29
3.13	ขวดรูปชมพู่และกรวยกรองแก้ว	29
3.14	ชุดการไทเทรต	30
3.15	สารเคมี	30
3.16	กระดาษกรอง	31
3.17	เครื่องวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน	31
3.18	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	32
3.19	ขั้นตอนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน	33
3.20	ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยน้ำ	34
3.21	ขั้นตอนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยซิงค์คลอไรด์	35
3.22	ขั้นตอนการศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
3.23	ขั้นตอนการศึกษาปริมาณความชื้น	37
4.1	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 500 °C	43
4.2	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 °C	44
4.3	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700 °C	45
4.4	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 800 °C	46
4.5	ปริมาตรการดูดซับแก๊สไนโตรเจนของถ่านซังข้าวโพด	48
4.6	ร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W	49
4.7	การดูดซับไอโอดีนของถ่านที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 90 W	51
4.8	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 500 °C กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W	52
4.9	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 °C กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W	53
4.10	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700 °C กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W	54
4.11	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 800 °C กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W	55
4.12	ปริมาตรการดูดซับแก๊สไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W	57
4.13	ร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W	58
4.14	การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W	60
4.15	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 500 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W	61
4.16	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W	62
4.17	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W	63
4.18	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 800 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W	64
4.19	ปริมาตรการดูดซับแก๊สไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W	65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.20	ร้อยละความชื้นถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 360 W	67
4.21	การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 360 W	68
4.22	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 500 °C กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 360 W	69
4.23	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 °C กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 360 W	70
4.24	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700 °C กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 360 W	71
4.25	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 800 °C กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 360 W	72
4.26	ปริมาณการดูดซับแก๊สไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 360 W	74
4.27	ร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W	75
4.28	การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์กำลังไฟฟ้า 360 W	77
4.29	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 500 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W	78
4.30	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W	79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.31	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W	80
4.32	แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 800 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W	81
4.33	ปริมาตรการดูดซับแก๊สไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W	82
4.34	การเปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่กระตุ้นด้วยกำลังไฟฟ้า 90 W	84
4.35	การเปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่กระตุ้นด้วยกำลังไฟฟ้า 360 W	87

Abstract

In this study of production activated carbon from corncob, it was changed the structure form inorganic to carbon using confine space under temperature 500 - 800 $^{\circ}C$ in 1 hr. There were presented the range carbon yield 23.47 - 31.69. The activated carbon moistures using H_2O and $ZnCl_2$ activation process with 1, 3 and 5 min for combined microware power 90 and 360 W conditions passed the Thai Industrial Standard (ITS) No. 900 - 2547 which the values were lower than 8%. The iodine absorption number for carbon activation by H_2O and $ZnCl_2$ with microwave power 90 and 360 Watt were shown the value 610 - 988 mg/g and 598 - 1,041 mg/g. For the activated carbon by activation H_2O with both microwave power had iodine number over than 600 mg/g all of time process that the condition microwave power 360 W 1 min of activation was highest value 1,041.58 mg/g. However, the condition 500 $^{\circ}C$, the activation by $ZnCl_2$ and microwave power 360 W 1 and 3 min condition didn't passed the ITS. The characteristic of porosity from N_2 isotherm and calculated by BET equation, it was shown the surface area and volume porosity of activated carbon 219.55 - 470.27 m^2/g and 0.1039 - 0.2253 cm^3/g, following. It was clearly the activated carbon morphology that presented the distribution porosity all of the particles. Finally, it was successful produced the activated carbon from corncob by this process.

Keywords: Activated carbon, Corn cob, Microwave irradiation, BET, Iodine absorption number

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหามลภาวะทางอากาศและน้ำ จากโรงงานอุตสาหกรรมมีการปล่อยอากาศเสียโดยไม่มีการบำบัด ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชนที่อาศัยใกล้แหล่งมลพิษ จึงต้องมีวิธีการและเทคนิคต่างๆ มาบำบัดมลภาวะที่เกิดขึ้น ทั้งกระบวนการทางกายภาพและทางเคมี ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุหนึ่งที่นำมาใช้เพื่อกรองสารพิษ กลิ่น สีหรือฝุ่นละออง สามารถใช้งานได้ดีและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งเป็นการนำผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือใช้มาทำให้เกิดมูลค่า

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบทางธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ ซึ่งกระบวนการก่อกัมมันต์มีด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธีทางกายภาพ (Physical Activation) โดยใช้อุณหภูมิน้ำร้อน ที่มีโมเลกุลไอน้ำขนาดเล็ก (เมื่อเทียบกับน้ำ) ทำให้สามารถแทรกเข้าไปในเนื้อถ่านได้ดี และทำให้สารอินทรีย์ต่างๆ สลายหายไป โครงสร้างภายในของถ่านจึงมีรูพรุนขนาดเล็ก วิธีทางเคมี (Chemical Activation) ทำได้โดยนำถ่านที่เผาได้ผสมกับสารเคมี เป็นวิธีการเพิ่มปริมาตรรูพรุนและเพิ่มพื้นผิวโดยการทำปฏิกิริยากับสารเคมี สารที่นิยมใช้ทั่วไป เช่น ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ถ่านกัมมันต์จึงมีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งปริมาณรูพรุนมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิต และวัสดุตั้งต้น การใช้ประโยชน์ส่วนมากมักนำไปใช้กรองน้ำบาดาลหรือกรองน้ำประปาชุมชน การกรองสีจากกระบวนการย้อมผ้า เป็นต้น การพัฒนากระบวนการการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนของโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านกัมมันต์ในกระบวนการบำบัดมลภาวะต่างๆ [1]

ข้าวโพดจัดเป็นพืชเศรษฐกิจลำดับต้นของประเทศไทย ข้าวโพดส่วนใหญ่ที่ผลิตได้ส่วนมากถูกแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ อีกทั้งการประกอบเกษตรกรรมปลูกข้าวโพดมีความต้องการใช้น้ำน้อย และมีอายุการผลิตระยะสั้นภายหลังจากการกะเทาะนำเม็ดข้าวโพดออกจากฟัก มักพบว่าส่วนที่เหลือจากการผลิตคือซังข้าวโพด เกษตรกรมักนิยมกำจัดด้วยการเผาทิ้งส่งผลให้เกิดหมอกควันและกระจายของฝุ่นละอองเถ้าถ่าน ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น การเกิดหมอกควันในจังหวัดเชียงใหม่ที่มีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการทางการเกษตรด้วยการเผาซังข้าวโพด และต้นข้าวโพด ดังนั้นการส่งเสริมการแปรรูปเพื่อให้เกิดมูลค่าจึงเป็นอีกหนทางหนึ่งในการลดปัญหามลพิษและนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จากลักษณะของซังข้าวโพดที่มีความเบาและมีรูพรุนเหมาะแก่การประยุกต์ใช้

งานวิจัยนี้จึงนำซังข้าวโพดมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ เนื่องจากซังข้าวโพดเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร สามารถหาได้ง่ายตามท้องถิ่น โดยนำถ่านที่ผลิตจากซังข้าวโพดมากระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ และซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ เพื่อลดระยะเวลาในการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์จึงนำรังสีไมโครเวฟมาใช้ในการทดลอง และเป็นวิธีการที่จะพัฒนากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ต่อไป

1.2 จุดมุ่งหมายของการศึกษา

1.2.1 เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบสมบัติความเป็นถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดที่ได้จากกระบวนการผลิตด้วยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพร่วมกับรังสีไมโครเวฟ และทางเคมีร่วมกับรังสีไมโครเวฟ

1.3 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

1.3.1 สังเคราะห์ถ่านจากซังข้าวโพดด้วยขบวนการเผาแบบอับอากาศ

1.3.2 กระบวนการกระตุ้นถ่านให้เป็นถ่านกัมมันต์ ด้วยการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมด้วยรังสีไมโครเวฟ และการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมด้วยรังสีไมโครเวฟ ระยะเวลาในการกระตุ้นได้แก่ 1 3 และ 5 นาที กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับรังสีไมโครเวฟ 90 และ 360 W

1.3.3 การทดสอบสมบัติความเป็นถ่านกัมมันต์ จะทำการทดสอบสมบัติดังต่อไปนี้

- หาค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 1087
- ความชื้น อ้างอิงตามมาตรฐาน AWWA B 604
- ทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน อ้างอิงตามาตรฐาน AWWA B 604
- ศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM))
- หาค่าความเป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์ใช้เทคนิคการดูดซับไนโตรเจน (N_2 absorption isotherm) และทำการคำนวณหารูพรุนด้วยเทคนิค Brunauer-Emmertt-Teller (BET)

1.4 วิธีดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการผลิตถ่านกัมมันต์

1.4.2 จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ เช่น ซังข้าวโพด ซิงค์คลอไรด์ ไมโครเวฟ ฯลฯ

1.4.3 ผลิตถ่านต์กัมมันต์โดยเผาซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 300 $^{\circ}$C เพื่อไล่ของเหลวทาร์ และกรดไพโรลิกเนียส ซึ่งเป็นขั้นตอนการเกิดถ่าน และเผาที่ 500 600 700 และ 800 $^{\circ}$C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงตัว จากนั้นบดและทำการคัดขนาดเม็ดถ่านให้มีเส้นผ่าศูนย์ไม่เกิน 150 μm

1.4.4 ทำการกระตุ้นถ่านให้ก่อกัมมันต์ โดยใช้น้ำร่วมกับไมโครเวฟ และซิงค์คลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟ ที่เวลา 1 3 และ 5 นาที กำลังไฟฟ้าที่ใช้ คือ 90 และ 360 W

1.4.5 ทดสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้น ดังนี้

- หาค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 1087
- ความชื้น อ้างอิงตามมาตรฐาน AWWA B 604
- ทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน อ้างอิงตามาตรฐาน AWWA B 604
- ศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM))

- หาค่าความเป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์ใช้เทคนิคการดูดซับไนโตรเจน (N_2 absorption isotherm) และทำการคำนวณหารูพรุนด้วยเทคนิค Brunauer-Emmertt-Teller (BET)

1.4.6 วิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์และสรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการผลิตผงถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด ด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ และซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ

1.5.2 เพื่อใช้เป็นแนวทางการพัฒนาการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบชนิดอื่นๆ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านกัมมันต์

2.1.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) ผลิตด้วยกระบวนการก่อกัมมันต์ (activation) ทำให้พื้นที่ผิวภายใน (internal surface area) เพิ่มขึ้น เมื่อศึกษาด้วยเอ็กซเรย์ดิฟเฟรกชัน (x-ray diffraction) หรือศึกษาโครงสร้างจากการสะท้อนและการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ของถ่านกัมมันต์มีความแตกต่างจากถ่านชนิดอื่นๆ เช่น ถ่านลิกไนท์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือแกรไฟต์ เป็นต้น [1] ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูง อันเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ผิวโครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (microporous structure) และมีความว่องไวในการดูดซับสูง โดยทั่วไปแล้วผิวหน้าของถ่านกัมมันต์นั้นไม่มีขั้ว แต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์เกิดขึ้นเสมอที่ผิวหน้า และการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮก-ซะโกนัล (hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงกว่าตัวดูดซับอื่นๆ เช่น ซิลิกาเจล (silica gel) จึงทำให้ดูดซับสารได้มากกว่า [2]

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้รูพรุนหรือโครงสร้างภายในมีเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ รูพรุนนี้มีขนาดตั้งแต่ 20 – 20,000 Å (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) [1]

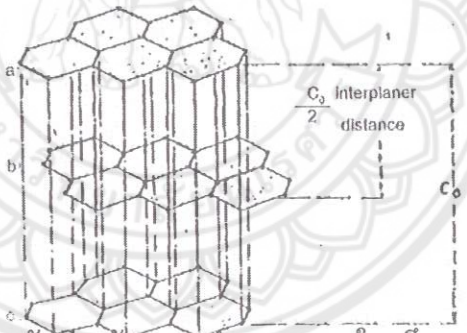
2.1.2 วิวัฒนาการของถ่านกัมมันต์

การดูดซับสีในของเหลวของถ่านกัมมันต์ เริ่มตั้งแต่คริสต์ศวรรษที่ 15 แต่คุณสมบัติในการดูดซับแก๊สมีผู้บันทึกไว้ในปี ค.ศ. 1785 แต่ไม่มีผู้ใดสนใจในคุณสมบัติเหล่านี้ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1811 มีการค้นพบว่าถ่านที่ได้จากการเผากระดูกสัตว์สามารถดูดซับสีได้มากกว่าถ่านที่ได้จากถ่านไม้ จึงนิยมนำถ่านที่ได้จากกระดูกมาใช้ในการฟอกสีน้ำตาลทรายให้ขาวสะอาด ต่อมาได้มีการพัฒนาจนกระทั่งพบว่าถ่านที่ได้จากการเผาของผสมระหว่างเลือดสัตว์กับขี้เถ้า มีสมบัติในการดูดซับสีมากกว่าถ่านที่ได้จากกระดูกประมาณ 20 – 50 เท่า แต่ไม่สามารถที่จะผลิตได้มากเพียงพอที่จะนำไปใช้ในโรงงานได้ [3] ต่อมาในปี ค.ศ. 1900 มีนักวิทยาศาสตร์ชาวโปรแลนด์ คิดค้นวิธีผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นมาใหม่โดยเผาถ่านในชั้นบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์ และอีกวิธีหนึ่งใช้คลอไรด์ของโลหะผสมกับถ่านแล้วนำไปเผา ซึ่งนับเป็นผู้ริเริ่มให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นในยุโรป และได้มีการปรับปรุงไปเรื่อยๆ ถ่านที่ผลิตขึ้นเหล่านี้ได้มีการศึกษาถึงการนำไปใช้ในการดูดสี ฟอกสีในโรงงานผลิตน้ำตาลทรายเป็นส่วนใหญ่

ระหว่างการเกิดสงครามโลกครั้งที่ 1 มีการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษ จากจุดนี้เองทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจในสมบัติ การทำแก๊สให้บริสุทธิ์ของถ่านกัมมันต์ ซึ่งจากการทดลองโดยวิธีต่างๆ ได้พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลนั้นไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษเพราะมีลักษณะพองเบา และต้องใช้ในปริมาณมากทำให้มีผู้พยายามผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดใหม่ให้มีความหนาแน่นมากขึ้นเพื่อใช้ในการดูดซับแก๊สโดยเฉพาะถ่านกัมมันต์ชนิดใหม่นี้ผลิตจากกะลามะพร้าว มีสมบัติในการดูดซับแก๊สได้ดี ส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะพอง เบานั้นได้จากไม้ ขี้เลื่อย ถ่านหินชนิดร่วน (Peat) ถ่านหินลิกไนต์และกากที่เหลือจากการทำเยื่อกระดาษด้วยเซลลูโลส เป็นต้น เหมาะสำหรับการทำน้ำให้บริสุทธิ์ [4]

2.1.3 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

การกระตุ้นจะทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคาร์โบไนซ์ที่มีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากมีการสูญเสียสารประกอบคาร์บอนระหว่างช่องว่างของผลึกคาร์บอน รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสม คือ การทำให้มีความพรุนไม่ใช่เป็นการกระตุ้นให้ขนาดของรูใหญ่ ซึ่งเป็นการทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ โดยลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์ พบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก มีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและความลึกไม่สม่ำเสมอ ลักษณะรูปร่างของรูนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอน



รูป 2.1 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์ [1]

2.1.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

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

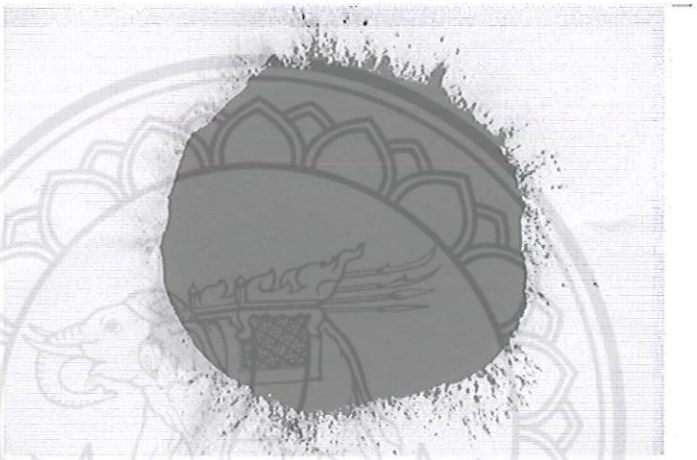
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ควรจะมีสมบัติ ดังนี้

- มีสมบัติคงที่
- มีปริมาณสารระเหยต่ำ

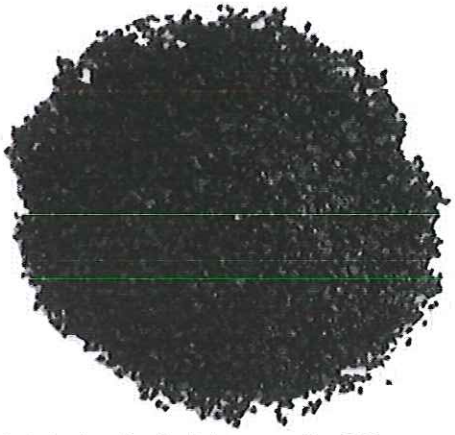
- มีราคาถูกและหาได้ง่าย
- มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง

2.1.5 แบ่งตามลักษณะรูปร่าง

ก. ถ่านกัมมันต์ประเภทผง (Powder) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ถูกนำมาบดให้ละเอียดและนำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 mm มีลักษณะเป็นผง ใช้สำหรับฟอกสีในของเหลว การฟอกสีในอุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น สีย้อม สารเคมีอัดรูป ถ่านกัมมันต์ประเภทผงจะมีลักษณะดังรูป 2.2



ข. ถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ด (pellet) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 mm มีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัด หรืออาจทำเป็นเกล็ด ใช้ในการดูดก๊าซและไอ ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ การปรับอากาศ การผลิตน้ำบริสุทธิ์ ถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ดจะมีลักษณะดังรูป 2.3



รูป 2.3 ถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ด [1]

2.1.6 แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ก. ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดเล็ก (micropore) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเล็กกว่า 2 nm มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ นิยมใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการดูดซับแก๊สและไอระเหย

ข. ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดกลาง (mesopore) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนระหว่าง 2 – 50 nm มักนำไปใช้ดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น การฟอกสี

ค. ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดใหญ่ (macropore) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนใหญ่กว่า 50 nm โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคที่ถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็กและมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับ มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสีและการผลิตยา

2.1.7 การทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์

การทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบถ่านกัมมันต์ในสภาพทั่วๆ ไปซึ่งไม่ว่าจะใช้งานในสภาพของเหลวหรือก๊าซก็ตาม สำหรับสมบัติที่จะทดสอบและวิธีทดสอบมีดังสมการ 2.1 และ 2.2

- การทดสอบความชื้น

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

- ความหนาแน่นปรากฏ

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

2.1.8 การวัดสมบัติของถ่านกัมมันต์

การวัดสมบัติของถ่านกัมมันต์ทำได้โดยการวัดความสามารถในการดูดติดผิวคาร์บอน (Adsorptive Capacity) ซึ่งมีการใช้ adsorbate ที่มีความเข้มข้นชนิดต่างๆ ได้แก่ Phenol, Tannin และ Iodine การดูดซับ Phenol เป็นดัชนีชี้วัดความสามารถของคาร์บอนในการกำจัดรสและกลิ่นทางเคมี ส่วนการดูดซับ Tannin ใช้เป็นดัชนีวัดความสามารถในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ในน้ำที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของพืชผัก การดูดซับ Iodine และ Molasses ใช้แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนนี้ใช้เป็นถ่านกัมมันต์ได้

พื้นที่ผิวเป็นปัจจัยสำหรับในการกำหนดสมรรถนะของคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง (มีหน่วยเป็น m^2/g) จะมีอำนาจหรือขีดความสามารถในการดูดติดผิวสูงตามไปด้วย การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะของคาร์บอนทำได้โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกคาร์บอนดูดเก็บไว้ วิธีวัดสมรรถนะของคาร์บอนอาจกระทำได้โดยการวัด Iodine number (ค่าการดูดซับไอโอดีน) หรือ Molasses number

(ค่าการดูดซับ Molasses) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวคาร์บอน Iodine number แสดงถึงสมรรถนะของคาร์บอนในการกำจัดสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก [1]

2.1.9 มาตรฐานของถ่านกัมมันต์

มาตรฐานของถ่านกัมมันต์ที่กำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐาน มอก.900 – 2547 เป็นมาตรฐานของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและเภสัชกรรม ใช้ในการฟอกสีอุตสาหกรรมอาหาร น้ำตาล น้ำมันพืช น้ำอัดลม เป็นต้น ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านมาตรฐานต้องมีคุณสมบัติดังนี้ เป็นถ่านที่มีคุณสมบัติในการดูดซับสี กลิ่น รส บางชนิดได้เป็นอย่างดี ถ่านจะต้องมีโครงสร้างเป็นรูพรุน ผลิตได้จากถ่านหิน ถ่านไม้ ถ่านกะลามะพร้าว หรือกระดูก ด้วยกรรมวิธีก่อกัมมันต์ มีจำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ 1 g เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากการดูดซับเป็น 0.01 mol/dm^3 ขนาดที่ผ่านมาตรฐานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผงและชนิดเม็ด โดยชนิดผงต้องมีปริมาณที่ผ่านการร่อนโดยตะแกรงขนาด 150 μm ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก ชนิดเม็ดต้องมีปริมาณที่ผ่านการร่อนโดยตะแกรงขนาด 150 μm ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก [5]

2.1.10 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

การกระตุ้น (Activation) แบ่งได้เป็น 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 หลังจากนี้จะนำไปทำการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 – 850 °C ซึ่งในระดับอุตสาหกรรม จะคำนึงถึงประสิทธิภาพ ในการนำเอาซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่ที่ค่อนข้างจำกัดประกอบกับปัญหาการกัดกร่อน

ตารางที่ 2.1 ข้อดีข้อเสียของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี

วิธีกระตุ้น	ข้อดี	ข้อเสีย
กายภาพ	- ได้ถ่านกัมมันต์ที่รูพรุนขนาดเล็กทำให้มีการดูดซับได้ดี - ไม่มีสารเคมีตกค้าง ไม่เป็นอันตราย - ต้นทุนในการผลิตต่ำ	- วัสดุ อุปกรณ์หายากมีความเฉพาะเจาะจง - ใช้เวลานานในการกระตุ้น

เคมี	- สะดวก ง่าย ไม่ยุ่งยากในการทดลอง	- มีสารเคมีตกค้าง ต้องเสียเวลาล้างนาน - ต้นทุนในการผลิตสูง

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 คือ

- การดูดซับทางกายภาพ
- การดูดซับทางเคมี
- การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน
- การดูดซับแบบเจาะจง

2.2.2.1 การดูดซับกายภาพ

การดูดซับกายภาพ เป็นการดูดซับที่มีแรงกระทำอย่างอ่อนๆ ระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะอยู่ที่ผิวของตัวถูกดูดซับโดยอาศัยแรงแวนเดอร์วาลล์ (Vander Waals force) ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อยกว่า 50 kJ/mol การดูดซับทางกายภาพนี้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับไว้เป็นแบบชั้นเดียวที่ความดันต่ำ 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 การดูดซับแลกเปลี่ยนหรือการดูดซับแบบเจาะจงขึ้นอยู่กับชนิดของคู่ตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับนั้น

2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

2.3.1 ความปั่นป่วน

ความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการกวนสารละลาย หรือการไหลผ่านคอลัมน์จะมีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีขนาดและคุณลักษณะทางกายภาพต่างกัน ทำการดูดซับของถ่านกัมมันต์ต้องการความปั่นป่วนในระดับที่ต่างกันออกไป เช่น ถ่านกัมมันต์แบบผง ต้องการความปั่นป่วนสูงจึงจะเกิดการดูดซับดี เนื่องจากอัตราเร็วของการดูดซับขึ้นอยู่กับการแพร่ผ่านรูพรุนของโมเลกุลที่ถูกดูดซับเข้าสู่โพรงช่องว่างของถ่านกัมมันต์

2.3.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์

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

2.3.3 ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์

เมื่อเกิดการดูดซับโมเลกุลของสารจะถูกดึงออกจากน้ำ และไปเกาะติดบนผิวถ่านกัมมันต์ สารที่สามารถแตกตัวเป็นอิออนจะละลายน้ำได้ ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำอย่างเหนียวแน่น ทำให้สารนี้เกิดการดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์ได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามสารที่ละลายน้ำได้บางชนิดสามารถเกาะติดผิวถ่านกัมมันต์ได้

2.3.4 ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์

ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์มีความสำคัญอย่างมากต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในโพรงของถ่านกัมมันต์ จากการวิจัยพบว่า การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อสารที่ถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่าโพรงของถ่านกัมมันต์เพียงเล็กน้อย เนื่องจากจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างสารและถ่านกัมมันต์มากที่สุด จึงทำให้สารขนาดเล็กนี้ถูกดูดเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ก่อน 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

ไมโครเวฟเป็น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมากถึง 2,450 ล้านรอบต่อวินาที มีลักษณะคล้ายกับคลื่นวิทยุแต่มีความถี่ที่สั้นกว่า หัวใจสำคัญของเตาไมโครเวฟคือ หลอดแม็กนิตรอน (Magnetron) ซึ่งเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นไมโครเวฟไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เพราะคลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นความถี่สูงไม่ใช่รังสีจึงไม่กระจายและไม่สะสมในร่างกายมนุษย์

หลักการทำงานของเตาไมโครเวฟนั้นจะเป็นตัวกำเนิดคลื่นจะสร้างคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่อาหารจากทุกทิศทุกทางโดยรอบของผนังเตาด้านในแล้วแผ่กระจายไปสู่อาหาร เมื่อคลื่นความถี่สูงไปกระทบอาหารจะทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่น ๆ ต่อไปจนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานจลน์นี้เองจะกลายสภาพเป็นพลังงานความร้อนจึงทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็ว

คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ มีรายละเอียดดังนี้

- การสะท้อนกลับ (Reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อไปกระทบกับภาชนะที่เป็นโลหะ หรือมีส่วนผสมของโลหะ คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านภาชนะดังกล่าวได้จะสะท้อนกลับหมด ดังนั้นอาหารที่ใส่ในภาชนะที่เป็นโลหะก็จะไม่สุก

- การส่งผ่าน (Transmission) คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระดาษไม้ เซรามิกและพลาสติกได้ เพราะภาชนะดังกล่าวไม่มีส่วนผสมของโลหะ จึงเป็นภาชนะที่ใช้ได้ดีในเตาอบไมโครเวฟ

- การดูดซึม (Absorption) ปกติอาหารโดยทั่วไปจะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำในอาหารซึ่งจะดูดซึมคลื่นไมโครเวฟทำให้อาหารร้อนอย่างรวดเร็ว และอีกนัยหนึ่งเมื่อโมเลกุลของน้ำดูดซึมคลื่นไมโครเวฟแล้วจะสลายตัวในทันทีไม่สะสมในอาหาร

การประกอบอาหารด้วยเตาไมโครเวฟนี้ แตกต่างจากการประกอบอาหาร ด้วยเตาอบธรรมดาคือเตาอบธรรมดาให้พลังงานความร้อนโดยเปลวไฟแบบเตา อบแก๊สหรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าซึ่งจะทำให้อาหารสุกโดยการถ่ายเทความ ร้อน คือการนำ การพาและการแผ่รังสี แต่เตาไมโครเวฟทำให้อาหารสุกโดยคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่สูง ทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและ ชนโมเลกุลอื่นๆต่อไปจนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานจลน์นี้เองจะกลาย สภาพเป็นพลังงานความร้อน จึงทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็วและเร็วกว่าประกอบ อาหารด้วยระบบอื่น ๆ โดยไม่เสียพลังงานความร้อน

2.5 การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุดูดซับ

บรูนัวร์, เอ็มเมทท์และเทลเลอร์ (Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett and Edward Teller) ได้ศึกษาการดูดซับแก๊สไนโตรเจนทั้งบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุ แสดงดังรูป 2.4 พบว่าแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับนั้นจะมีส่วนหนึ่งที่เคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียวจนเต็มพื้นที่ผิวก่อน จากนั้นแก๊สไนโตรเจนที่เหลือแพร่กระจายไปเคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลหลายชั้น แสดงดังรูป 2.5 จากผลการศึกษานี้สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแก๊สที่ถูกดูดซับ (W) กับความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) ของวัสดุที่เพิ่มขึ้นเป็นสมการที่เรียกว่า "สมการของ BET" ได้ดังนี้

$$\frac{1}{W\left[\left(\frac{P_0}{P}\right)-1\right]} = \frac{1}{W_m C} - \frac{C-1}{W_m C}\left(\frac{P}{P_0}\right) \qquad (2.3)$$

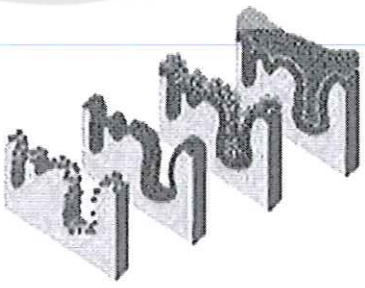
เมื่อ W = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ความดันสัมพัทธ์ P/P_0

W_m = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับเคลือบบนผิวของสารในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียว

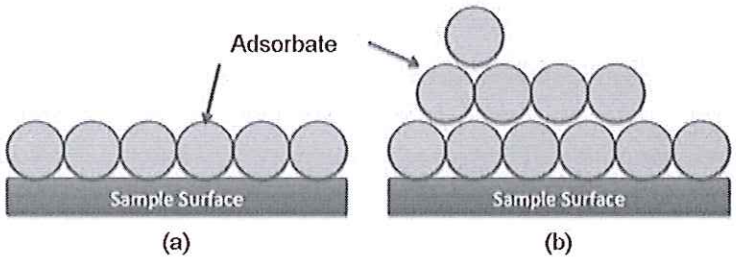
P = ความดันของแก๊สไนโตรเจนที่ใช้ในขณะทำการทดลอง (mmHg)

P_0 = ความดันอิ่มตัวของแก๊สไนโตรเจน (mmHg)

C = ค่าคงตัวที่ขึ้นกับพลังงานที่ใช้ในการดูดซับ



รูป 2.4 แสดงการดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุ [13]



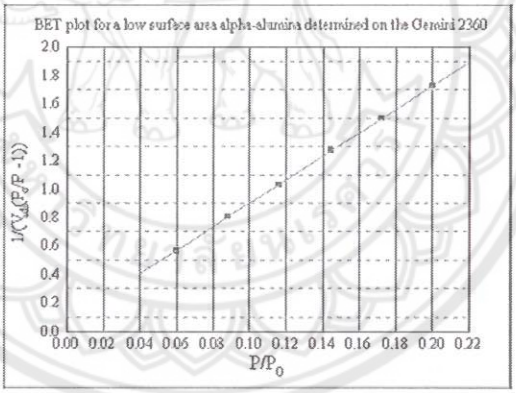
รูป 2.5 แสดงการดูดซับโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนของวัสดุเป็นชั้นๆ [13]

จากความสัมพันธ์สมการ BET เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/W[(P_0/P)-1]$ กับ P/P_0 จะได้กราฟเส้นตรงดังสมการ รูป 2.6 มีความชัน (slope, s) ดังสมการ

$$S = \frac{C-1}{W_m C} \tag{2.4}$$

และจุดตัดแกน y (y-intercept, i) ดังสมการ

$$i = \frac{1}{W_m C} \tag{2.5}$$



รูป 2.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สที่ถูกดูดซับกับความดันสัมพัทธ์ [13]

ปริมาณขอแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดี่ยว (W_m) คำนวณโดยนำ s และ i แทนค่าในสมการ

$$W_m = \frac{1}{s+i} \tag{2.6}$$

พื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุ คำนวณโดย W_m แทนค่าในสมการ

$$S_t = \frac{W_m N A_{cs}}{M} \tag{2.7}$$

เมื่อ S_t = พื้นที่ผิวของวัสดุ (m^2)

N = เลขอาโวกาโดร (6.023×10^{23} molecule/mol)

M = น้ำหนักโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน (28 g/mol)
A_{sc} = พื้นที่หน้าตัดของโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (16.2×10^{-23} m^2)

ค่า S_t ที่ได้ เมื่อหารด้วยปริมาณตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทดสอบ (W) จะได้ค่าพื้นที่จำเพาะ (m^2/g)

$$S = \frac{S_t}{W} \tag{2.8}$$

ปริมาณรูพรุนรวม (V_p) และขนาดรูพรุนเฉลี่ย ($\bar{r_p}$) ของวัสดุ คำนวณได้จากความสัมพันธ์ของสมการ

$$V_p = \frac{W_s}{\rho} \tag{2.9}$$

$$\bar{r_p} = \frac{2V_p}{S_t} \tag{2.10}$$

เมื่อ W_s = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุที่ความดันสัมพัทธ์ $(P/P_0) \approx 1$
ρ = ความหนาแน่นของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุที่ความดันสัมพัทธ์ $(P/P_0) \approx 1$
S_t = พื้นที่ผิวของวัสดุที่ทดสอบ

ในการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรรูพรุน ดังแสดงในรูป 4 ใช้เซลล์สำหรับใส่ ตัวอย่าง (sample cell) จำนวน 2 เซลล์ เซลล์หนึ่งบรรจุวัสดุ ตัวอย่างที่ต้องการทดสอบพื้นที่ผิวจำเพาะ ส่วนอีกเซลล์ไม่ใส่ วัสดุตัวอย่างแต่ทำหน้าที่เป็นเซลล์อ้างอิง ก่อนการทดสอบต้องให้ความร้อนแก่เซลล์ที่บรรจุวัสดุตัวอย่างเพื่อไล่ความชื้น และโมเลกุลของสารถูกดูดซับชนิดอื่นให้ออกจากผิวหน้าของวัสดุตัวอย่าง จากนั้นทำให้เซลล์ทั้งสองเป็นสุญญากาศ เพื่อให้ภายในเซลล์ไม่มีโมเลกุลของแก๊สชนิดอื่น ก่อนจุ่มเซลล์ทั้ง 2 ลงในภาชนะที่บรรจุไนโตรเจนเหลวเพื่อให้เซลล์ทั้งสองอยู่ในภาวะอุณหภูมิต่ำ จากนั้นผ่านแก๊สไนโตรเจนเข้ามาในเซลล์ทั้ง 2 โดยแก๊สไนโตรเจนที่เข้ามาในเซลล์ที่มีวัสดุตัวอย่างจะถูกดูดซับบนผิวของวัสดุทำให้ความดันภายในเซลล์ที่บรรจุวัสดุตัวอย่างลดลงจนกระทั่งคงที่ (P) ในขณะที่เซลล์ที่ไม่มีวัสดุตัวอย่างความดันของแก๊สไนโตรเจนจะคงที่ (P_0) ข้อมูลที่เครื่องบันทึกผลคือค่าความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) และปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (W) โดยวัสดุตัวอย่าง จากนั้นเครื่องจะปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้ามาอีกเช่นเดียวกับครั้งแรก และแก๊สไนโตรเจนถูกดูดซับจนความดันคงที่อีกเป็นเช่นนี้จนกระทั่งความดันภายในเซลล์ที่มีวัสดุตัวอย่างไม่ลดลง ($P/P_0 \approx 1$) แสดงว่าไม่เกิดการดูดซับแก๊สไนโตรเจนอีกแล้ว จากข้อมูลค่าความดันสัมพัทธ์และปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ได้ เครื่องทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมตามสมการของ BET แสดงผลออกมาเป็น ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรของรูพรุน [13]

รูป 2.7 แสดงเครื่องวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน

2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM))

รูป 2.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

หลักการทำงานกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน คือ อิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary electron) จากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron gun) จะถูกเร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าสูง (1,000 ถึง 3,000 อิเล็กตรอนโวลต์ หรือมากกว่า) ที่สามารถปรับค่าได้ จากนั้นจึงถูกดึงดูดลงสู่เบื้องล่างโดยแผ่นอาโนด (Anode plate) ภายใต้ภาวะความดันสุญญากาศ 10-7 ทอร์ และมีชุดคอนเดนเซอร์เลนส์ที่จะปรับลำอิเล็กตรอน (Electron beam) ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเป็นการเพิ่มความเข้มของลำอิเล็กตรอน จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะวิ่งลงสู่เบื้องล่างผ่านเลนส์วัตถุ ซึ่งทำหน้าที่ในการปรับลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้มีจุดโฟกัสบนผิวตัวอย่างพอดี และลำอิเล็กตรอนที่ตกกระทบผิววัตถุ หรือตัวอย่างจะมีขนาดในช่วง 5 ถึง 200 นาโนเมตร โดยมีชุดขดลวดควบคุมการส่องกราด (Scan coil) ของลำอิเล็กตรอนทำหน้าที่ในการควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของลำอิเล็กตรอนบนผิวตัวอย่าง ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดได้โดยผ่านทางชุดควบคุม (Control unit) ขณะที่ลำอิเล็กตรอนกระทบผิวตัวอย่างจะเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับอะตอมธาตุในวัตถุหรือตัวอย่างและเกิดการถ่ายโอนพลังงานที่ชั้นความลึกจากพื้นผิวที่ระดับต่างๆ ทำให้เกิดการปลดปล่อยสัญญาณอิเล็กตรอน (Electron signal) ชนิดต่างๆ ออกมา ซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาลักษณะผิวของตัวอย่างและวิเคราะห์ธาตุที่มีในตัวอย่างได้ตามลักษณะสัญญาณรูปได้จากสัญญาณอิเล็กตรอนชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้น คือ

1. สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron Image, SEI) หรือเป็นอิเล็กตรอนพลังงานต่ำ 3 - 5 eV เกิดที่พื้นผิวระดับไม่ลึก (ไม่เกิน 10 nm) โดยเกิดกับธาตุที่มีแรงยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนที่ผิวต่ำ
2. สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Backscattered Electron Image, BEI) หรือเป็นกลุ่มอิเล็กตรอนที่สูญเสียพลังงานให้กับอะตอมในชิ้นงานเพียงบางส่วนและกระเจิงกลับออกมา ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าอิเล็กตรอนทุติยภูมิ เกิดที่พื้นผิวระดับลึกกว่า 10 nm โดยเกิดได้ดีกับธาตุที่มีเลขอะตอมสูง
3. สัญญาณภาพจากรังสีเอกซ์ (X-Ray Image, XRI) ชนิดที่เป็นรังสีเอกซ์เฉพาะตัวเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากอิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่างๆ (K, L, M,...) ถูกกระตุ้น (Excited) หรือได้รับพลังงานมากพอจนหลุดออกจากวงโคจรออกมา ทำให้อะตอมต้องรักษาสมดุลของโครงสร้างรวมภายในอะตอม โดยการดึงอิเล็กตรอนจากชั้นวงโคจรถัดไปเข้ามาแทนที่และต้องลดพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อทำให้ตัวเองมีพลังงานเท่ากับชั้นโคจรที่แทนที่ ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีความยาวคลื่นเฉพาะในแต่ละธาตุตามระดับพลังงานของตัวอย่างได้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ

สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนมาเป็นสัญญาณภาพปรากฏบนจอรับภาพได้ โดยต้องเลือกใช้อุปกรณ์ในการวัดให้เหมาะสมกับสัญญาณแต่ละชนิด โดยทั่วไปสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิใช้ตัวตรวจวัดชนิดพลาสติกเรืองแสง (Plastic scintillation detector) สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนกระเจิงกลับจะใช้ตัวตรวจวัดที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อพีเอ็น (PN junction detector) หรือตัวตรวจวัดชนิดโรบินสัน (Robinson detector) และในสัญญาณภาพจากรังสีเอกซ์จะใช้หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนลิเทียม (lithium drifted silicon, Si(Li)) ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ในการวิเคราะห์พลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวซึ่งอุปกรณ์วิเคราะห์นั้นมีทั้งแบบ ช่อง

เดี่ยว (Single Channel Analyzer, SCA) และอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multi Channel Analyzer, MCA) [14]

2.6 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละอุตสาหกรรมจะแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดซับแก๊สหรือไอ

- ใช้ในอุตสาหกรรมทาหน้ากากป้องกันแก๊สพิษ ทั้งที่ใช้ในการทหาร และที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษและไอของสารอินทรีย์ได้
- ใช้แยกแก๊สโซลีนออกจากแก๊สธรรมชาติ
- ใช้แยกเบนซีน (benzene) ออกจากแก๊สอุตสาหกรรม
- ใช้แยกไอระเหยของตัวทาละลายที่ใช้แล้วเพื่อนากลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้องและคายออกที่ความดันของไอต่ำ เช่น การสกัดด้วยตัวทาละลาย การหมัก อุตสาหกรรมพลาสติก ผลิตภัณฑ์ยาง เป็นต้น [6]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการผลิตถ่านกัมมันต์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีผู้วิจัยมาแล้วก่อนหน้านี้เกี่ยวกับกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุทางการเกษตรรวมไปถึงการนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์นั้นมีความนิยมกันอย่างแพร่หลายทั้งในด้านการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม

งานวิจัยนี้มีการศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว โดยกิติโรจน์ หวันตาหลา [3] จากการศึกษาการดูดซับสีย้อมโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินที่นำเข้ามาจากประเทศอเมริกา และจากกะลามะพร้าวที่ผลิตได้ในประเทศไทยโดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ เวลาเข้าสู่สมดุลปริมาณถ่านกัมมันต์ ปริมาณสีย้อมเริ่มต้นความเป็นกรด – ด่าง ของสารละลายสีย้อมเริ่มต้น การปรับสภาพด้วยเกลือแกงขนาดของถ่านกัมมันต์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินมีอัตราเร็วของการดูดซับสูงกว่า และเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ความสามารถในการดูดซับยิ่งมีค่าสูงขึ้นส่วนการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสีย้อม พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง แม้เพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมความสามารถในการดูดซับ ไม่เพิ่มขึ้นตาม นอกจากนี้ยังพบว่าความสามารถในการดูดซับดีที่สารละลายสีมีค่าเป็นกรดอ่อน ขนาดของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดที่อยู่ในช่วง 125 – 150 μm เหมาะสมกับการดูดซับสีย้อม การดูดซับสูงสุดของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าวได้เท่ากับ 222.22 และ 158.73 mg/g ตามลำดับเมื่อใช้เกลือแกงในการปรับสภาพถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวจะทำให้ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินในสภาวะที่ดูดซับที่เหมาะสม เมื่อเปรียบเทียบความสามารถ ในการดูดซับสีย้อม ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน และกะลามะพร้าว พบว่าถ่านกัมมันต์ ทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม สีเหลืองใกล้เคียงกัน แต่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว เป็นการเพิ่มมูลค่าแก่วัสดุ เหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งสามารถหาได้ง่ายใน ประเทศไทย และมีราคาถูกกว่า

บรรพต สารกาญ [4] 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

ภควดี สุขอนันต์ [5] พบว่าเปลือกมังคุดมีความแข็งและปริมาณคาร์บอนที่น่าสนใจในการนำมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ และจากการที่สามารถเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยการกระตุ้นเปลือกมังคุดด้วยสารเคมีแล้วเผาที่อุณหภูมิสูงโดยไม่ต้องทาการเผาเปลือกมังคุดให้เป็นถ่านก่อน และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีพื้นที่ผิวค่อนข้างสูง ทำให้สามารถลดขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ลดค่าใช้จ่าย และเวลาในการวิจัยได้

พรรณธิดา บรรจง และ เดชา ฉัตรศิริเวช [7] พบว่าการใช้สารละลายกรด ฟอสฟอริก สังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียช่วยทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวและ รูพรุนมากขึ้น และปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์ คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบถ่านกัมมันต์หลังขั้นตอนการล้างซึ่งส่งผลต่อปริมาณน้ำที่อยู่ในถ่านกัมมันต์ที่จะช่วยในการดูดซับ เมทานอลในไบโอดีเซลและความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริก โดยการใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นทำให้ถ่านกัมมันต์ เกิดรูพรุนหรือโพรงมากขึ้น ทำให้ปริมาณดูดซับ เมทานอลจำเพาะของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น

พงศธร โควัคชาภรณ์ [9] พบว่าซังข้าวโพดจะเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์เมื่อถูกกระตุ้นด้วยซิงค์-คลอไรด์ ปริมาณร้อยละของผลผลิต และคุณสมบัติขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบ:ซิงค์คลอไรด์ ที่อัตราส่วน 1:2 อุณหภูมิ 400 °C เวลาการเผา 3 ชั่วโมง มีปริมาณร้อยละของผลผลิตคือ 62.82 ค่าไอโอดีนอยู่ในเกณฑ์ 800 - 900 mg/g ค่าการฟอกสีเมธิลลีนบลู 120 - 180 mg/g พื้นที่ผิว 1,000 m^2/g ประสิทธิภาพการฟอกสีปานกลาง สำหรับอุณหภูมิการกระตุ้น 600 และ 800 °C จะได้ถ่านที่มีคุณสมบัติดีกว่าถ่านที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 400 °C แต่ปริมาณร้อยละของผลผลิตต่ำกว่าที่ 400 °C การเผาที่อุณหภูมิ 800 °C จะสิ้นเปลืองเวลาพลังงานมากกว่าที่ 600 °C เมื่อกระตุ้นถ่านด้วยอุณหภูมิ 600 °C อัตราส่วนวัตถุดิบ:ซิงค์คลอไรด์ 1:4 ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าไอโอดีน 960 - 1,075 mg/g ค่าการฟอกสีเมธิลลีนบลู 230 - 300 mg/g พื้นที่ผิว 1,140 - 1,300 m^2/g ประสิทธิภาพการฟอกสีดีกว่าที่ 400 °C ปริมาตรร้อยละผลผลิต 52.41

รุจิรา ปิ่นแก้ว [8] พบว่าการดูดซับมีเทนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีนั้น ใช้เวลาที่น้อยที่สุดที่ในการดูดซับเข้าสู่สมดุลคือ 60 นาที และสภาวะในการดูดซับมีเทนที่ดีที่สุดคือ สภาวะการกระตุ้นด่างที่ความเข้มข้น 0.1 M KOH อุณหภูมิห้อง เวลา 120 นาที ค่าการดูดซับมีเทนเท่ากับ 0.21 mg/g ถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพดและปริมาณการดูดซับมีเทนที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับการดูดซับมีเทนของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า

นภารัตน์ จิวาลักษณ์ และคณะ [10] พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมสังเคราะห์ของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จากถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด 1.0 g ถ่านชาร์ 2.5 g และ ซังข้าวโพด 5.0 g มีความสามารถในการดูดซับคิดเป็นร้อยละ 81, 71 และ 69 ตามลำดับ การศึกษาการเตรียมถ่านกัม-

มันต์จากซังข้าวโพด พบว่าวิธีการเพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดี ทำได้โดยการแช่ซังข้าวโพดในสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เผาที่อุณหภูมิ 600 $^{\circ}$C เป็นเวลา 120 นาที ได้ร้อยละของผลผลิตเท่ากับ 24 โดยน้ำหนัก ถ่านกัมมันต์ขนาด 1 mm มีพื้นที่ผิวในการดูดซับสูงสุด 579 m^2/g ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมธรรมชาติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ พบว่าถ่านกัมมันต์ 10 g สามารถดูดซับสีย้อมได้อย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก ทั้งนี้มีค่าร้อยละของการดูดซับเท่ากับ 81 เมื่อปรับ pH ของสารละลายก่อนการดูดซับเป็น 10 และใช้เวลาในการดูดซับ 120 นาที ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงและเหล็กของถ่านกัมมันต์ พบว่าอัตราส่วนของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณโลหะไอออน (C/M) ให้ประสิทธิภาพของการดูดซับมากกว่าร้อยละ 90 สำหรับทองแดงและเหล็กมีค่าเท่ากับ 13,333 และ 6,667 ตามลำดับ ทั้งนี้ถ่านกัมมันต์ 5 g ขนาด 1 mm สามารถดูดซับทองแดง 0.125 mg ได้อย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก ในขณะที่เหล็ก 0.25 mg ถูกดูดซับได้อย่างรวดเร็วใน 10 นาที โดยมีค่าร้อยละของการดูดซับทองแดงและเหล็กเท่ากับ 80 และ 57 ตามลำดับ เมื่อทำการดูดซับที่อุณหภูมิ 35 $^{\circ}$C เป็นเวลา 30 นาที จากการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในการดูดซับสีย้อมและโลหะหนักในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ พบว่าถ่านกัมมันต์ 10 g สามารถดูดซับโลหะได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดโดยทองแดง 0.25 mg ถูกดูดซับมากถึงร้อยละ 96 ในขณะที่เหล็ก 0.50 mg ถูกดูดซับร้อยละ 72 เมื่อใช้เวลาในการดูดซับ 120 นาที สำหรับการดูดซับสีย้อมธรรมชาติจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่าร้อยละ 90 เมื่อมีการปรับสภาพของน้ำตัวอย่าง ก่อนการดูดซับเป็นกลาง-เบส จากการทดลองใช้ดูดซับสีย้อมจากโรงงานผลิตกระดาษสา พบว่าถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดสามารถใช้เป็นสารดูดซับที่มีประสิทธิภาพและราคาถูก

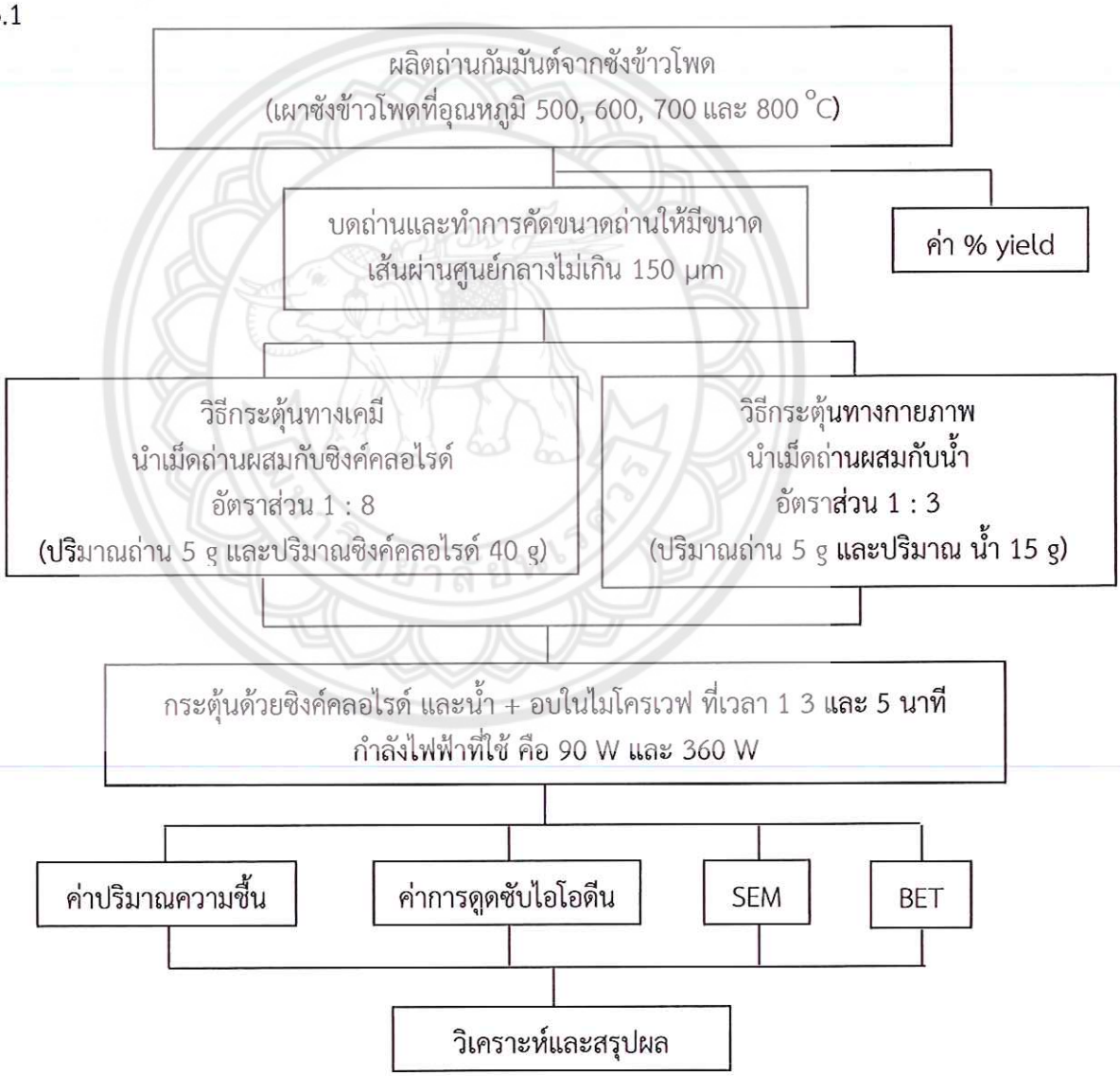
สิริลักษณ์ ตาตะยานนท์ และคณะ [11] พบว่าการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากชีวมวล มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากชีวมวล ศึกษาความสามารถในการดูดซับไอโอดีนหรือ ค่าไอโอดีน ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทดสอบกับน้ำทิ้งจากครัวเรือน ชุมชน และอุตสาหกรรม โดยนำตัวอย่างชีวมวล คือ กะลามะพร้าว และซังข้าวโพด มาเผาเป็นถ่านใน เตาถังน้ำมัน 200 l แล้วนำไปเผากระตุ้นกับสารละลายน้ำเกลือเข้มข้น 4 ระดับ คือร้อยละ 0 20 40 และ 60 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 500 – 800 $^{\circ}$C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปทดสอบกับน้ำทิ้งจากชุมชน ร้านอาหาร และโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อดูดซับสีและกลิ่นของน้ำทิ้ง พบว่าความเข้มข้นของน้ำเกลือที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากกะลามะพร้าว คือ ร้อยละ 20 โดยกระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 $^{\circ}$C และซังข้าวโพด ร้อยละ 0 คือ ไม่ใส่น้ำเกลือแต่นำถ่านไปกระตุ้นต่อที่อุณหภูมิ 800 $^{\circ}$C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะทำให้ถ่านกัมมันต์มีค่าไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 367 และ 374 mg/g ตามลำดับ และปริมาณ ที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทดสอบกับน้ำทิ้งจากครัวเรือน ชุมชน และอุตสาหกรรม คือ ถ่านกัมมันต์ จากกะลามะพร้าว 1 - 5 g และถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด 0.5 - 2.0 g ต่อน้ำทิ้ง 20 l และตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จะทำให้น้ำทิ้งใสขึ้น และมีกลิ่นลดลง หรือไม่มีกลิ่น

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการนำซังข้าวโพดที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นตัวดูดซับด้วยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โดย W.T. Tsai, C.Y. Chang และ S.L. Lee [12] พบว่าซังข้าวโพดมีร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วง 27.0-30.4% ร้อยละผลผลิตมีการลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิส เป็นผลมา

จากการระเหยของทาร์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของลิกนินเซลลูโรส เมื่อทำการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดด้วยเครื่องมือ BET พบว่าที่อุณหภูมิการเผาที่ 773 K แช่ถ่านในสารละลายซิงค์คลอไรด์ในอัตราส่วน 175 %wt เป็นเวลา 30 นาที มีพื้นที่ผิวประมาณ 1,400 m^2/g ซึ่งมีพื้นผิวที่สูงเหมาะแก่การศึกษา พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์มีการลดลงตามอัตราส่วนความเข้มข้นของสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น การกระตุ้นทางกายภาพของซังข้าวโพดโดยทำการเผาที่ 2 อุณหภูมิ คือ 1073 และ 1173 K ภายใต้บรรยากาศคาร์บอนไดออกไซด์ พื้นผิวมีการเพิ่มขึ้น จาก 437 เป็น 777 m^2/g จากการทดลองแนวโน้มของพื้นที่รูพรุนมีการเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ 1073 และ 1173 K

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด ด้วยวิธีกระตุ้นทางกายภาพด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ และวิธีกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ โดยวิธีดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนหลักๆ แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การผลิตถ่าน การก่อกัมมันต์ด้วยวิธีกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี และการตรวจสอบสมบัติถ่านกัมมันต์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900 – 2547) และการทดสอบร้อยละของผลผลิตที่ได้ (ASTM D 1087) ความชื้น (AWWA B 604) ค่าการดูดซับไอโอดีน (AWWA B 604) โดยขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังรูป 3.1



รูป 3.1 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 วัสดุซังข้าวโพด

ซังข้าวโพดที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นได้จากสวนของเกษตรกร

รูป 3.2 ซังข้าวโพด

3.1.2 เตาเผาควบคุมอุณหภูมิ

ใช้เตาเผาแบบปิดที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการเผาได้ 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 °C ขดอยู่และมีเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิภายในเตา เพื่อให้เตาเผาสามารถทำงานตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนดไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

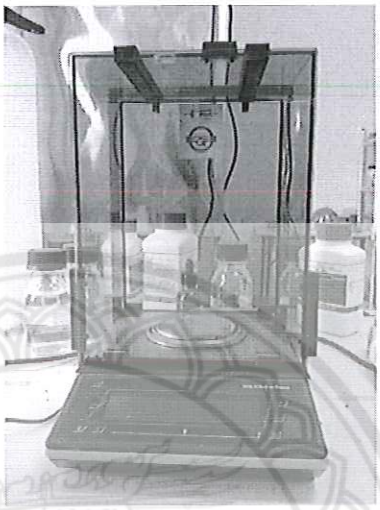
รูป 3.3 เตาเผาควบคุมอุณหภูมิและเวลา

ว GC
152
ต๘๑๑๕
2561
1020240

สำนักหอสมุด
13 มิ.ย. 2562

3.1.3 เครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง

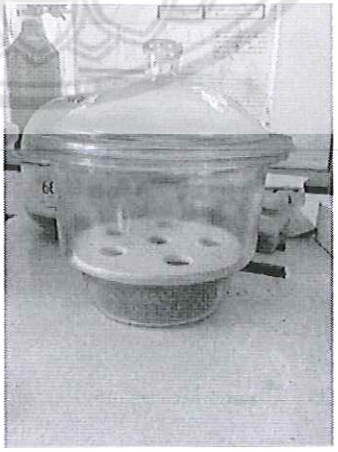
เครื่องชั่งแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Satorius รุ่น Analytic AC 210 S ใช้ในการชั่งน้ำหนักของชังข้าวโพดควรเป็นเครื่องชั่งที่มีความละเอียดสูง (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ควรเป็นเครื่องที่มีฝาครอบปิดทุกด้านเนื่องจากผงถ่านที่จะนำมาชั่งมีขนาดเล็กมากและต้องการความแม่นยำสูง



รูป 3.4 เครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง

3.1.4 โถดูดความชื้นหรือเดซิเคเตอร์

โถดูดความชื้นหรือเดซิเคเตอร์ เป็นภาชนะแก้วใช้สำหรับทำสารให้แห้ง เนื่องจากบรรจุสารที่สามารถดูดไอน้ำหรือความชื้นไว้ภายใน เรียกสารนี้ว่า เดซิแคนท์ เดซิแคนท์จะอยู่ทางตอนล่างของเดซิเคเตอร์ สารดังกล่าวมีลักษณะสีส้ม ส่วนตอนกลางจะมีแผ่นกระเบื้องเคลือบสำหรับวางสารที่ที่ต้องการจะทำให้แห้ง



รูป 3.5 โถดูดความชื้นหรือเดซิเคเตอร์

3.1.5 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ

ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ ใช้ตู้อบจากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก สามารถกำหนดอุณหภูมิการอบได้ถึง 300 °C และสามารถตั้งเวลาในการอบ ได้นานถึง 24 ชั่วโมง ภายในตู้อบมีชั้นสำหรับวางสารที่ต้องการอบแห้ง 2 ชั้น ใช้ทดสอบความชื้นโดยทำการอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน AWWA B 604 แล้วนำมาคำนวณค่าน้ำหนักที่หายไป

รูป 3.6 ตู้อบ

3.1.6 ฟอยล์อลูมิเนียมสำหรับห่ออาหาร

ฟอยล์อลูมิเนียม ใช้ทำเป็นภาชนะสำหรับทดสอบสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ เช่น ความชื้น ปริมาณสารระเหย เถ้า และปริมาณคาร์บอนคงที่

รูป 3.7 ฟอยล์อลูมิเนียมสำหรับห่ออาหาร

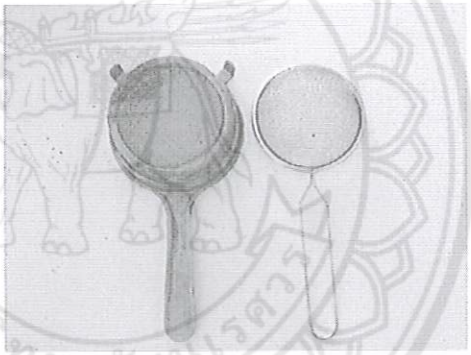
3.1.7 ครกและสาก

ใช้สำหรับบดถ่านจากซังข้าวโพด ก่อนนำไปกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมีให้กลายเป็นถ่านกัมมันต์

รูป 3.8 ครกและสาก

3.1.8 ตะแกรงคัดขนาด

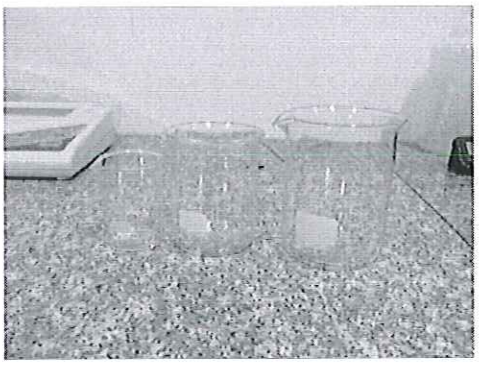
ตะแกรงคัดขนาด 0.8 – 5 mm และ 150 μm ใช้สำหรับร่อนผงถ่านจากชังข้าวโพดที่ผ่านการบดด้วยครกและสาก เพื่อคัดถ่านให้ได้ขนาดตามต้องการ และยังช่วยแยกสารอินทรีย์ที่เจือปนในถ่านอันเป็นอุปสรรคในกระบวนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์อีกด้วย



รูป 3.9 ตะแกรงคัดขนาด

3.1.9 บีกเกอร์

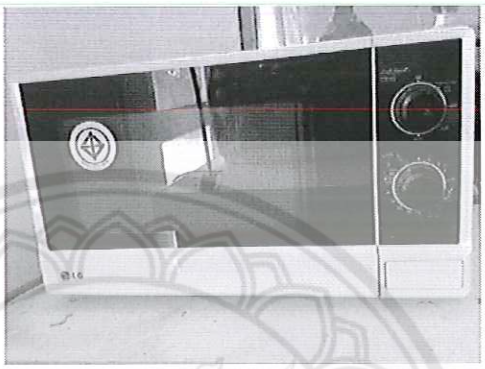
บีกเกอร์ที่ใช้ขนาด 100, 150 และ 250 ml ใช้บรรจุถ่านจากชังข้าวโพดในการทดสอบสมบัติทางกายภาพ การอบ การบด และร่อนถ่าน ใช้ตวงปริมาณน้ำกลั่นในกระบวนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยไมโครเวฟ รวมทั้งบรรจุสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number)



รูป 3.10 บีกเกอร์ขนาดต่างๆ

3.1.10 ไมโครเวฟ (Microwave)

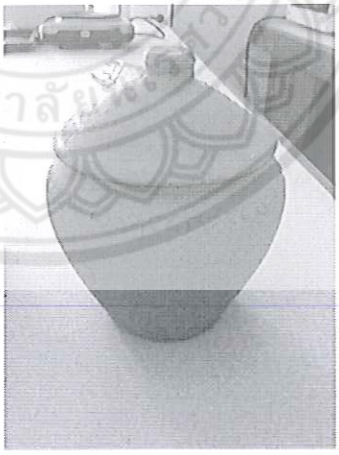
ไมโครเวฟ ยี่ห้อ LG รุ่น MS2427BW ความถี่คลื่นไมโครเวฟ 2,450 MHz เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการกระตุ้นถ่านจากซังข้าวโพดให้เป็นถ่านกัมมันต์ โดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปสั่นโมเลกุลของน้ำ เพื่อเพิ่มปริมาณรูพรุนของถ่าน ใช้กำลังไฟฟ้า 90 W และ 360 W



รูป 3.11 ไมรโครเวฟ

3.1.11 หม้อดินเผา

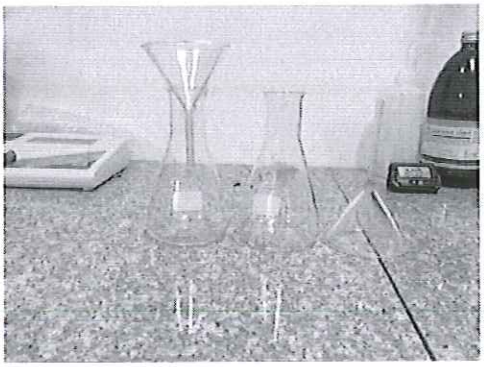
เป็นหม้อดินเผาขนาดเล็กแบบมีฝาปิด เพื่อไม่ให้อากาศเข้าไประหว่างเผา ช่วยลดปริมาณเถ้าลง ใช้ในการเผาซังข้าวโพด เนื่องจากทนความร้อนได้ดี



รูป 3.12 หม้อดินเผา

3.1.12 ขวดรูปชมพู่และกรวยแก้ว

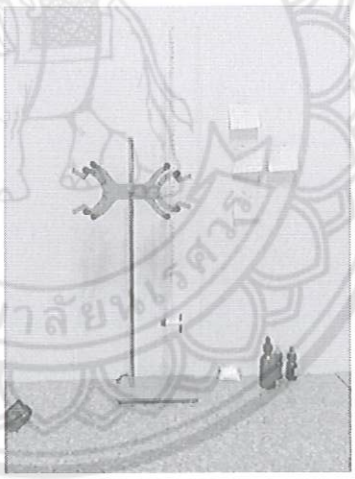
ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml และกรวยแก้ว ใช้ในขั้นตอนการกรองถ่านกัมมันต์ภายหลังการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี รวมถึงการกรองถ่านกัมมันต์ออกในขั้นตอนการทดสอบการดูดซับไอโอดีน



รูป 3.13 ขวดรูปชมพู่และกรวยกรองแก้ว

3.1.13 ชุดการไทเทรต

ชุดการไทเทรตใช้สำหรับการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลาย**ที่ยังไม่ทราบความเข้มข้น**จากสารละลายที่ทราบความเข้มข้นแล้วหรือที่เรียกว่าสารละลายมาตรฐาน **อุปกรณ์ที่ใช้ในการไทเทรตคือ** ที่จับและขาตั้งสำหรับยึดบิวเรตต์ปลายของบิวเรตต์จะมีก๊อกปิดเปิดสา**รละลายที่ต้องการหาความ**เข้มข้นและฟลาสสำหรับบรรจุสารละลายมาตรฐาน



รูป 3.14 ชุดการไทเทรต

3.1.14 สารเคมี

3.1.14.1 โปแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3) ยี่ห้อ Univar

3.1.14.2 โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot H_2O$) ยี่ห้อ Univar

3.1.14.3 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ยี่ห้อ Univar

3.1.14.4 ไอโอดีน (I_2) ยี่ห้อ Univar

3.1.14.5 โปแตสเซียมไอโอไดน์ (KI) ยี่ห้อ Univar

3.1.14.6 สารละลายกรดไฮโรคลอริก (HCl) ยี่ห้อ RCI Labscan

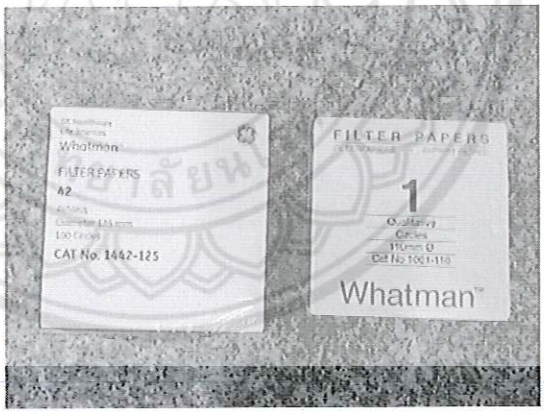
3.1.14.7 น้ำแป้ง

3.1.14.8 น้ำ DI

รูป 3.15 สารเคมี

3.1.15 กระดาษกรอง

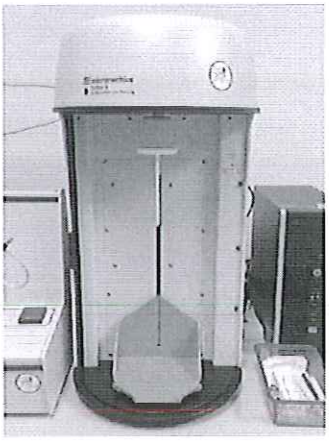
- กระดาษกรอง เบอร์ 1 ใช้สำหรับกรองถ่านในขั้นตอนภายการก**ระตุ้นถ่าน เพื่อแยกถ่านออก**จากน้ำและนำถ่านที่มาทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ
- กระดาษกรอง เบอร์ 42 ใช้ในขั้นตอนการดูดซับไอโอดีน เพื่อนำ**น้ำไอโอดีนที่ผ่านการดูดซับจา**กถ่านมาทดสอบคุณสมบัติการดูดซับไอโอดีน



รูป 3.16 กระดาษกรอง

3.1.16 เครื่องวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน (The Brunauer, Emmett and Teller (BET))

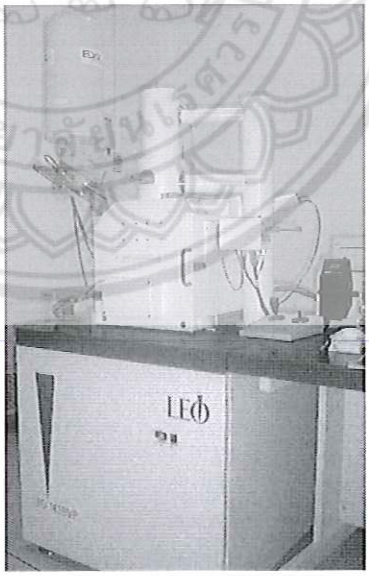
เครื่องวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน ยี่ห้อ Micromeritics รุ่น TriStar II 3023 เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิวปริมาตรรูพรุนของสารตัวอย่าง โดยอาศัยเทคนิคการแทนที่พื้นที่ผิว หรือรูพรุนด้วยแก๊สไนโตรเจน



รูป 3.17 เครื่องวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน

3.1.17 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM))

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ ZEISS รุ่น LEO 1455 VP ใช้ในศึกษาสัณฐานทางจุลภาค และรายละเอียดลักษณะพื้นผิวของถ่าน อาศัยหลักการการสร้างภาพโดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่าง ซึ่งรูปได้มาจากสัญญาณอิเล็กตรอนจะปรากฏภาพบนจอรับภาพ

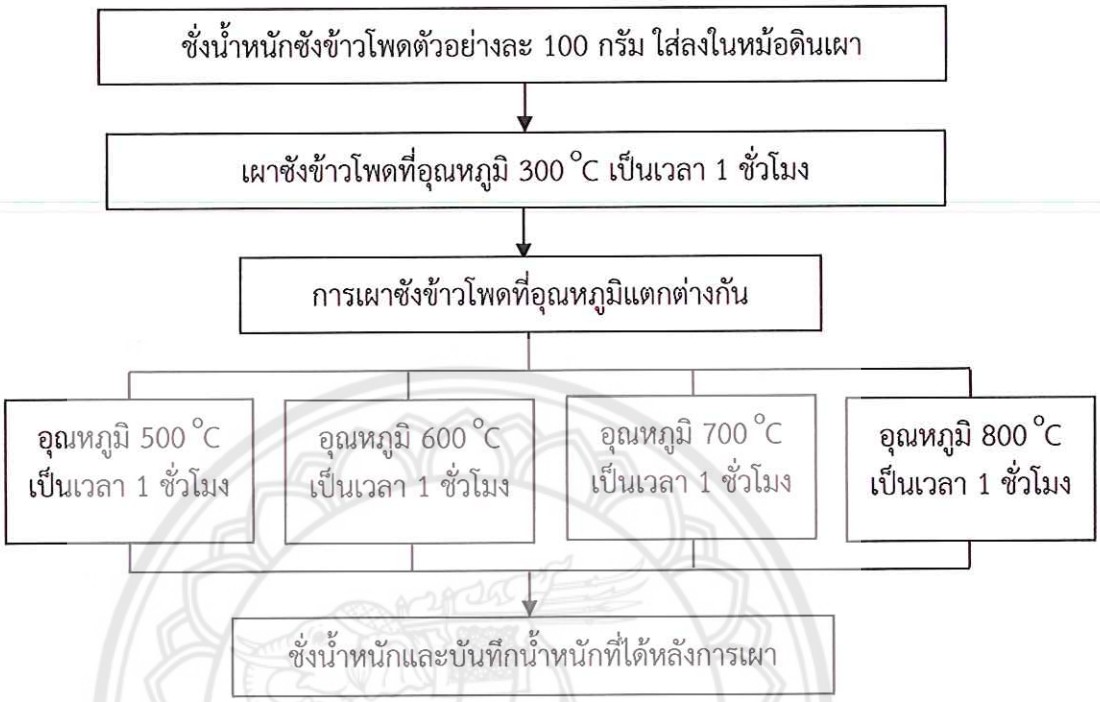


รูป 3.18 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.2 การคาร์บอไนซ์เซชั่น

ทำการเผาซังข้าวโพดโดยใช้อุณหภูมิเริ่มที่ 300 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่สารระเหยทาร์ จากนั้นทำการเผาอุณหภูมิที่แตกต่างกัน คือ 500, 600, 700 และ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่ง

น้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถ่านจากซังข้าวโพด ขั้นตอนในการคาร์บอไนซ์เซชั่นสามารถสรุปได้ดังรูป 3.19



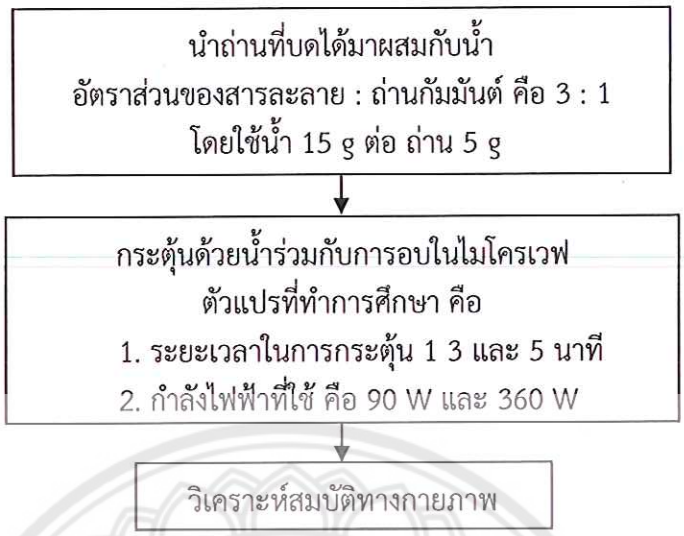
รูป 3.19 ขั้นตอนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน

3.3 การกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ

1. นำถ่านที่ได้บดได้มาแช่ในน้ำ และนำเข้าเตาไมโครเวฟที่เวลา 1 นาที กำลังไฟฟ้า 90 W อัตราส่วนของน้ำต่อถ่านกัมมันต์ ที่ใช้ในการทดลอง คือ 3 : 1 โดยน้ำหนัก

2. นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยน้ำมาทิ้งไว้ให้เย็น เพื่อเตรียมเข้าสู่ขั้นตอนการทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์

3. ทำซ้ำตามที่กล่าวขั้นต้น โดยเปลี่ยนระยะเวลาที่นำเข้าเตาไมโครเวฟ เป็น 3 และ 5 นาที จากนั้นเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าที่ใช้เป็น 360 W ที่ระยะเวลาการนำเข้าตู้อบเป็น 1 3 และ 5 นาที สามารถสรุปได้ดังรูป 3.20



รูป 3.20 ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยน้ำ

3.4 การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ

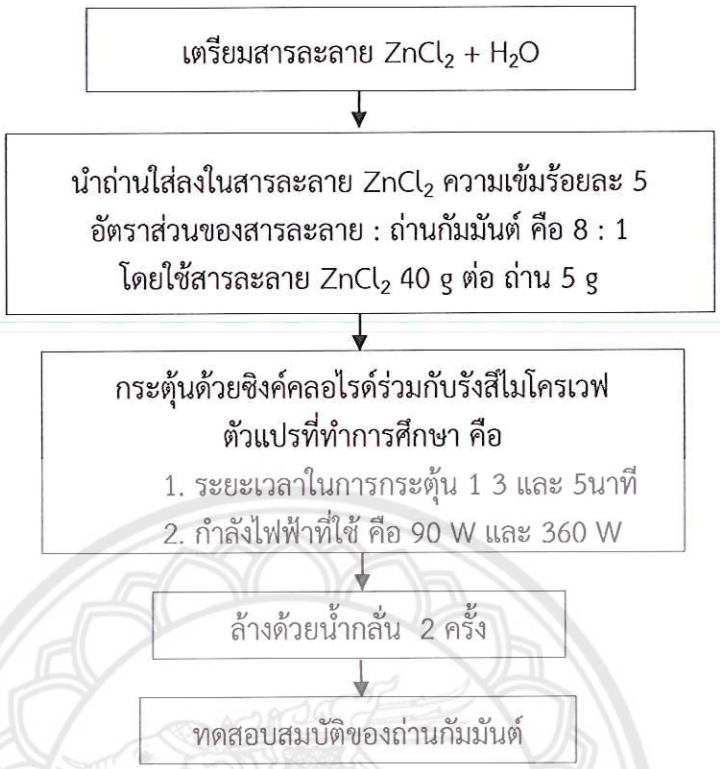
1. เตรียมสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 การศึกษานี้ใช้ซิงค์คลอไรด์น้ำหนัก 2.00 g ผสมน้ำกลั่น 38.00 g ซึ่งจะได้สารละลายปริมาณ 40 g

2. นำถ่านที่บดได้ขนาดแล้วมาแช่ในสารละลายซิงค์คลอไรด์ และนำเข้าเตาไมโครเวฟ ที่เวลา 1 นาที กำลังไฟฟ้าที่ใช้ คือ 90 W อัตราส่วนของซิงค์คลอไรด์ต่อถ่านกัมมันต์ ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 8 : 1

3. นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง เพื่อเตรียมเข้าสู่ขั้นตอนการทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์

4. ทำซ้ำตามขั้นตอนดังกล่าว โดยเปลี่ยนระยะเวลาที่นำเข้าเตาอบไมโครเวฟ เป็น 3 และ 5 นาที

5. ทำการเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟที่ 360 W แล้วทำซ้ำเช่นเดียวกับขบวนการกระตุ้นที่ 90 W ภายใต้เงื่อนไขเวลาเช่นเดียวกัน สามารถสรุปได้ดังรูป 3.21



รูป 3.21 ขั้นตอนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยซิงค์คลอไรด์

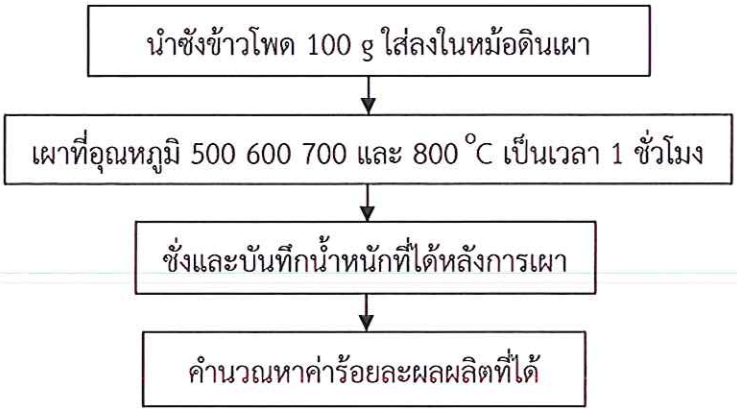
3.5 การศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้

การศึกษาร้อยผลผลิตของถ่านซังข้าโพด ตามมาตรฐาน ASTM D 1087 **โดยนำซังข้าวโพดมาเผาในเตา**เผาควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน คือ 500 600 700 **และ** 800 °C **เป็นเวลา** 1 **ชั่วโมง** ชั่งน้ำหนักก่อนเผาและหลังเผา นำค่าน้ำหนักที่ได้มาการคำนวณหาค่า**ร้อยละผลผลิตที่ได้โดยคำนวณ**จากสมการ

$$Y = \left\{\frac{B}{A} \times 100\right\} \qquad (3.1)$$

เมื่อ Y = **ร้อยละของผลผลิตที่ได้** (%)
A = **น้ำหนักของซังข้าวโพดก่อนเผา** (g)
B = **น้ำหนักของซังข้าวโพดหลังเผา** (g)

สามารถสรุปได้ดังรูป 3.22



รูป 3.22 ขั้นตอนการศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้

3.6 การศึกษาปริมาณความชื้น

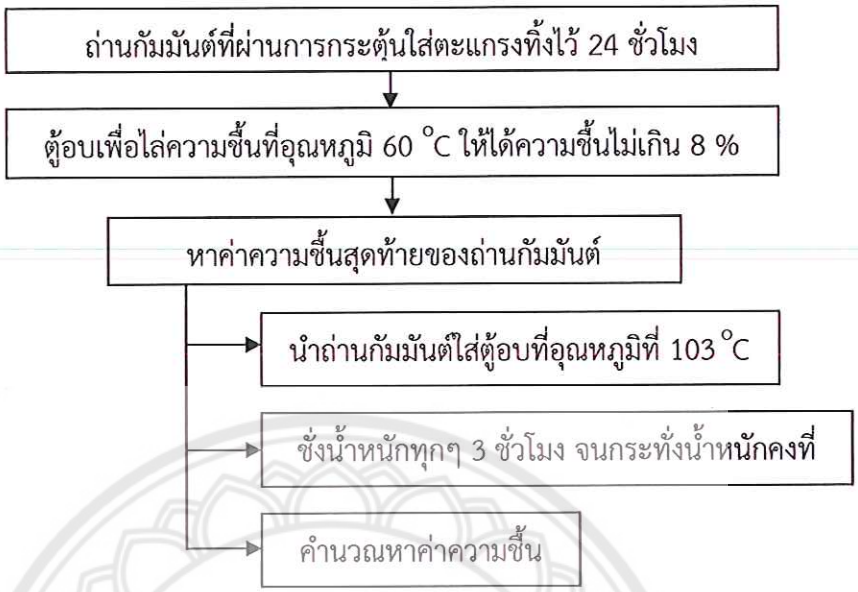
การศึกษาปริมาณความชื้น ตามมาตรฐาน AWWA B 604 โดยนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นใส่ตะแกรงทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเข้าตู้อบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 °C จนกระทั่งได้ความชื้นประมาณร้อยละ 5 จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความชื้นสุดท้ายของถ่านกัมมันต์ดังนี้

- นำถ่านกัมมันต์ใส่ตู้อบที่อุณหภูมิที่ 103 °C
- ชั่งน้ำหนักทุกๆ 3 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่
- คำนวณหาค่าความชื้น ดังสมการ

$$X = \left[\frac{W-D}{D}\right] \times 100 \qquad (3.2)$$

เมื่อ X = ความชื้น (%)
W = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ (g)
D = น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (g)

สามารถสรุปได้ดังรูป 3.23



รูป 3.23 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณความชื้น

3.7 การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน

การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน ตามมาตรฐาน AWWA B 604 ดังต่อไปนี้

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 แล้วทิ้งให้เย็นในโถ ดูดความชื้น จำนวน 3.5667 g ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 ml

3) สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 N (normal, N)

ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate, $Na_2S_2O_3.5H_2O$) 24.8200 g ในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือด 75.00 ml เติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.1000 g ถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 1 l ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ทิ้งไว้อย่างน้อย 4 วัน ก่อนทำการตรวจสอบความเข้มข้น

4) สารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.1 $\pm$ 0.001 N (normal, N)

ชั่งไอโอดีน 12.7000 g และโปแตสเซียมไอโอไดน์ (KI) 19.1000 g ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 2-5 ml คนให้ของแข็งละลาย ค่อยๆ เติมน้ำทีละน้อย (ครั้งละประมาณ 5.00 ml) จนกระทั่ง

ให้สารสารละลายประมาณ 40 ml ทิ้งสารละลายไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง คนเป็นระยะเพื่อให้แน่ใจว่าของแข็งละลายหมด ถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flatk) ขนาด 1 l ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ตรวจสอบความเข้มข้น กับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 N

5) น้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

สารละลายแป้ง (soluble Starch) 1.0 $\pm$ 0.5 g ในน้ำเย็น 5 - 10 ml คนสารละลายพร้อมกับเติมน้ำกลั่นเพิ่มอีก 25 $\pm$ 5 ml เทสารละลายลงในน้ำเดือด 1 l แล้วต้มต่อให้เดือดอีก 4-5 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

- 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

จากสูตร

$$N_1 = \frac{P \times R}{V} \qquad (3.3)$$

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

จากสูตร

$$N_2 = \frac{V \times N_1}{l} \quad (3.4)$$

เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน, N
V = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้, ml
N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต, N
l = ปริมาตรสารละลายไอโอดีน, ml

- วิธีวิเคราะห์การหาค่า Iodine number

1) ชั่งผงถ่านตัวอย่างละ 1.0000 g โดยให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml

2) เติมสารละลายไอโอดีน 0.1 N ปริมาตร 50 ml เขย่า ประมาณ 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)

จากสูตร

$$\frac{X}{M} = \frac{A-(DF \times B \times S)}{M} \quad (3.5)$$

เมื่อ $\frac{X}{M}$ = 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 = ค่าคงที่ของการเจือจางหาได้จากสูตร

$$DF = \frac{I+H}{F} \quad (3.6)$$

เมื่อ I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (ml)

H = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% (ml)

F = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไทเทรต (ml)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการกระตุ้นถ่านด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ และซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ร้อยละความชื้นของซังข้าวโพด

ผลการทดลองหาค่าความชื้นของซังข้าวโพดก่อนเผา พบว่ามีค่าเฉลี่ยความชื้นมาตรฐานแห้งร้อยละ 11.62 ± 0.28 และค่าเฉลี่ยมาตรฐานเปียกร้อยละ 10.41 ± 0.22 ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ร้อยละความชื้นของซังข้าวโพด

ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ความชื้น (%)	
	เริ่มต้น	สุดท้าย	มาตรฐานแห้ง	มาตรฐานเปียก
1	100	89.42	11.83	10.58
2	100	89.50	11.73	10.50
3	100	89.84	11.31	10.16
	ค่าเฉลี่ย		11.62 ± 0.28	10.41 ± 0.22

4.2 ร้อยละผลผลิตของถ่านซังข้าวโพด

จากตาราง 4.2 ร้อยละของถ่านซังข้าวโพดที่เผาในช่วงอุณหภูมิ 500 – 800 °C พบว่าร้อยละผลผลิตมีค่าอยู่ในช่วง 23 – 32 และมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้น ร้อยละผลผลิตของถ่านที่ 500 °C มีค่าร้อยละ 31.69 ± 0.39 ในขณะที่ 800 °C มีค่าร้อยละผลผลิตน้อยที่สุดที่ 23.47 ± 0.95 ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้นทำให้เกิดการหลุดของอินทรีย์สารและองค์ประกอบคาร์บอนที่ไม่เสถียร ภายในถ่านเกิดการหลุดออก ส่งผลให้น้ำหนักถ่านมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามน้ำหนักถ่านที่ลดมีปริมาณลดลงน้อยๆ

ตาราง 4.2 ร้อยละผลผลิตของถ่านซังข้าวโพด

อุณหภูมิ (°C)	ร้อยละผลผลิตที่ได้			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
500	31.32	31.67	32.09	31.69 ± 0.39
600	27.17	26.44	27.99	27.20 ± 0.78
700	25.19	25.18	24.88	25.08 ± 0.18
800	23.59	22.46	24.35	23.47 ± 0.95

จากตาราง 4.2 พบว่าร้อยละผลผลิตของถ่านซังข้าวโพดมีปริมาณลดลง เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Thermogravimetric Analysis (TGA) พบว่าซังข้าวโพดมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 300 – 500 °C (ภาคผนวก ข.) เป็นผลมาจากการเปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นคาร์บอน จากตารางพบว่า อุณหภูมิ 500 °C มีร้อยละผลผลิตสูงที่สุด ในขณะที่ช่วงอุณหภูมิ 600 – 800 °C มีร้อยละผลผลิตที่ใกล้เคียงกัน และจากการวิเคราะห์ TGA พบว่า ถ่านซังข้าวโพดมีเปลี่ยนแปลงเฟสเพียงเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากการหลุดออกของคาร์บอนที่ไม่เสถียรทำให้ถ่านซังข้าวโพดมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเพียงเล็กน้อย

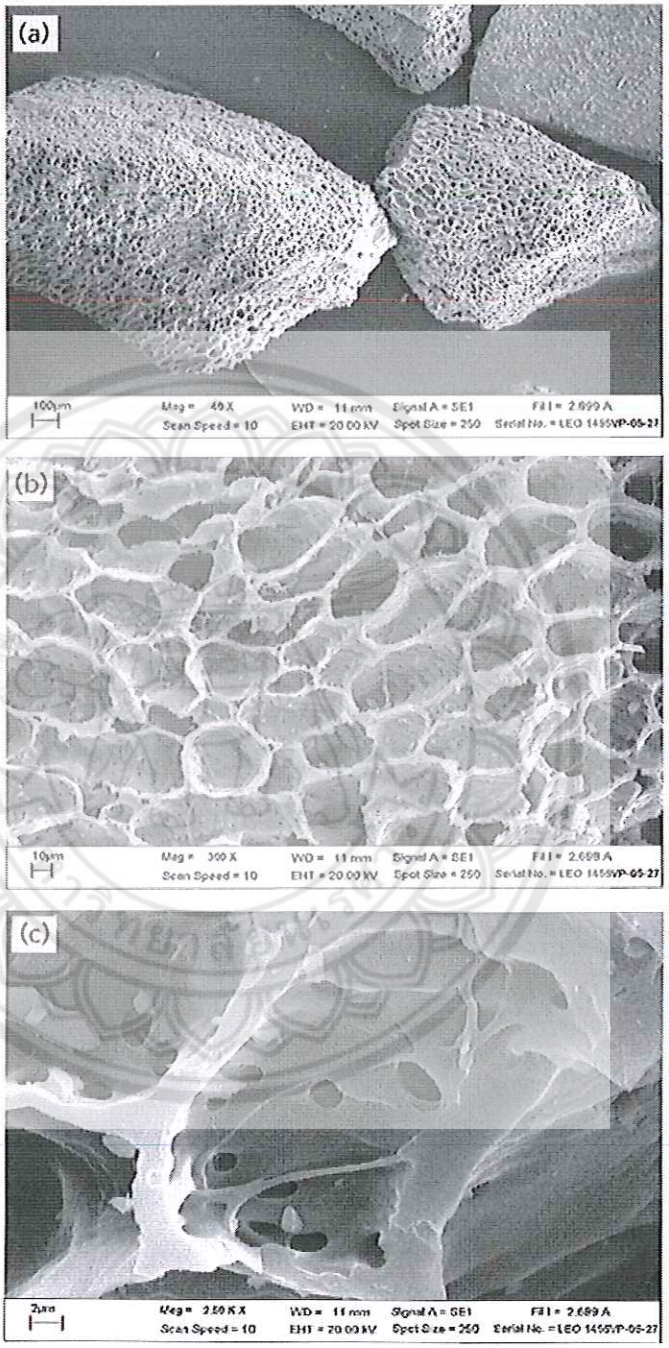
4.3 การดูดซับไอโอดีนของถ่านซังข้าวโพด

ผลการทดสอบการดูดซับไอโอดีนของถ่านซังข้าวโพด มีค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา ถ่านที่อุณหภูมิ 500 °C มีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย 589.10 ± 1.73 mg/g ขณะที่อุณหภูมิ 800 °C มีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย 765.80 ± 17.34 mg/g ดังตาราง 4.3

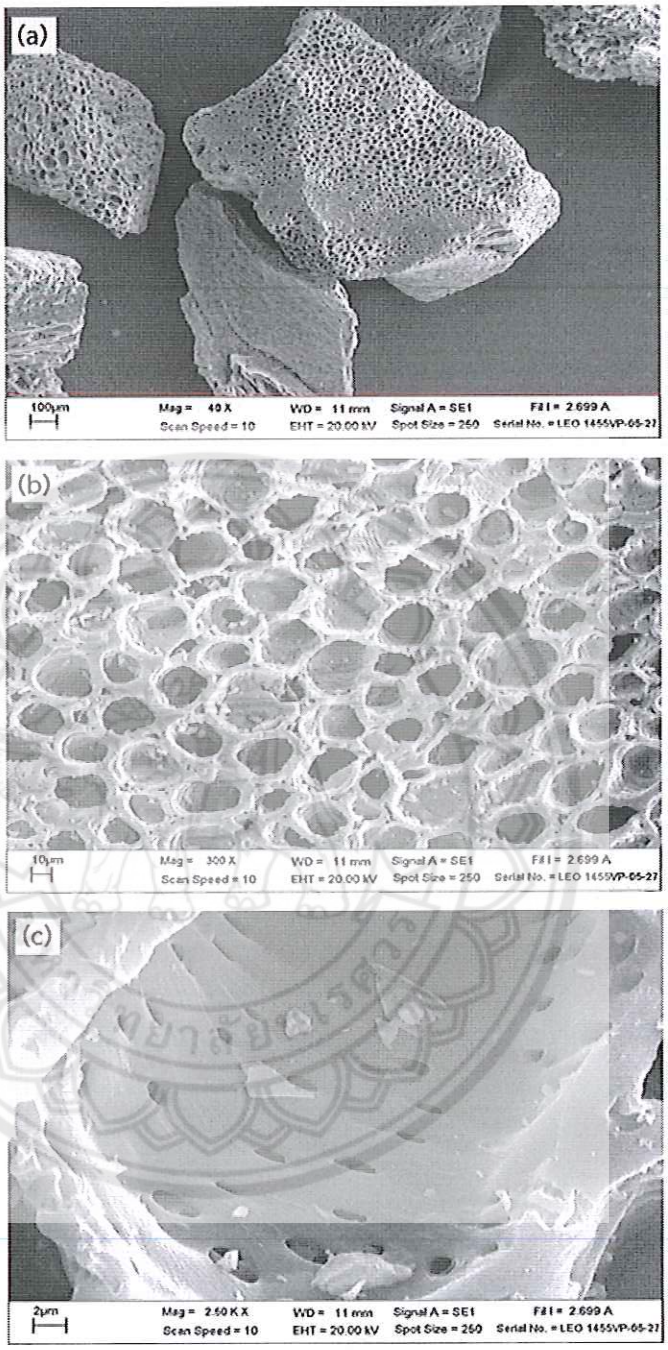
ตาราง 4.3 การดูดซับไอโอดีนของถ่านจากซังข้าวโพด

อุณหภูมิ (°C)	ค่าดูดซับไอโอดีน (mg/g)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
500	587.11	590.22	589.98	589.10 ± 1.7 3
600	619.23	615.88	626.50	620.54 ± 5.43
700	695.01	660.93	682.73	679.56 ± 17.26
800	745.88	774.03	777.49	765.80 ± 17.34

4.4 การศึกษาลักษณะทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM)

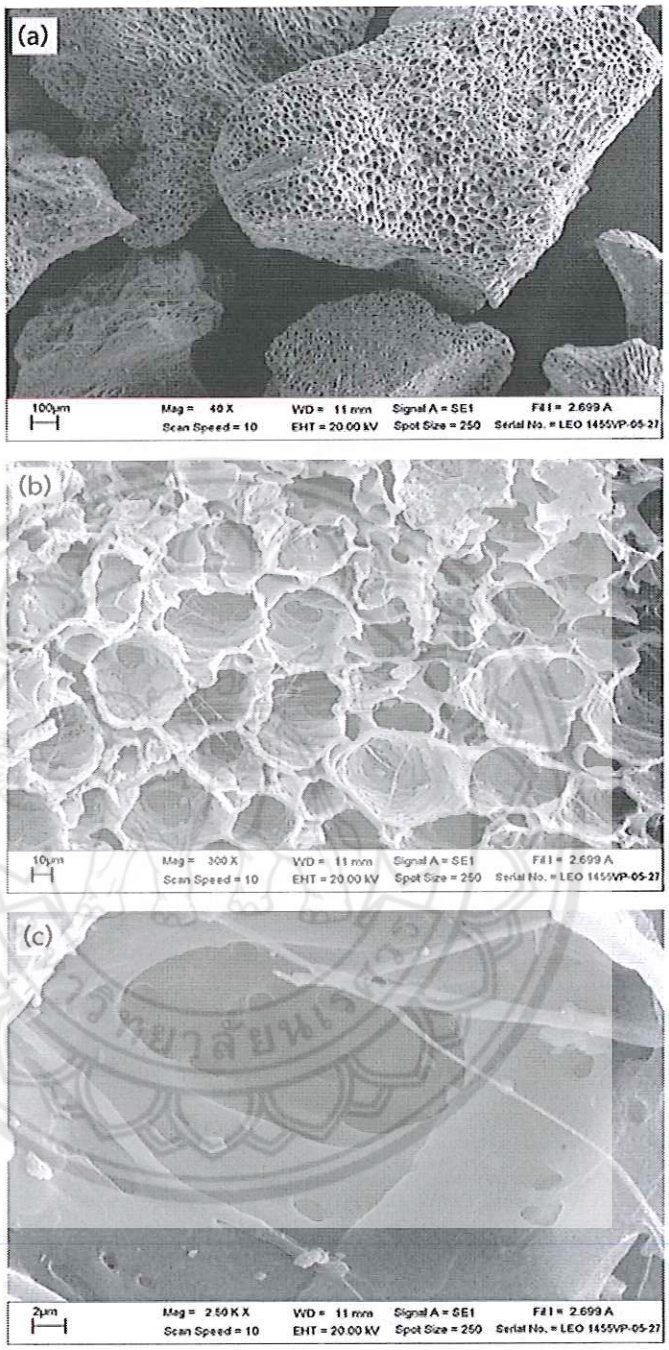


รูป 4.1 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 500 $^{\circ}$C (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า

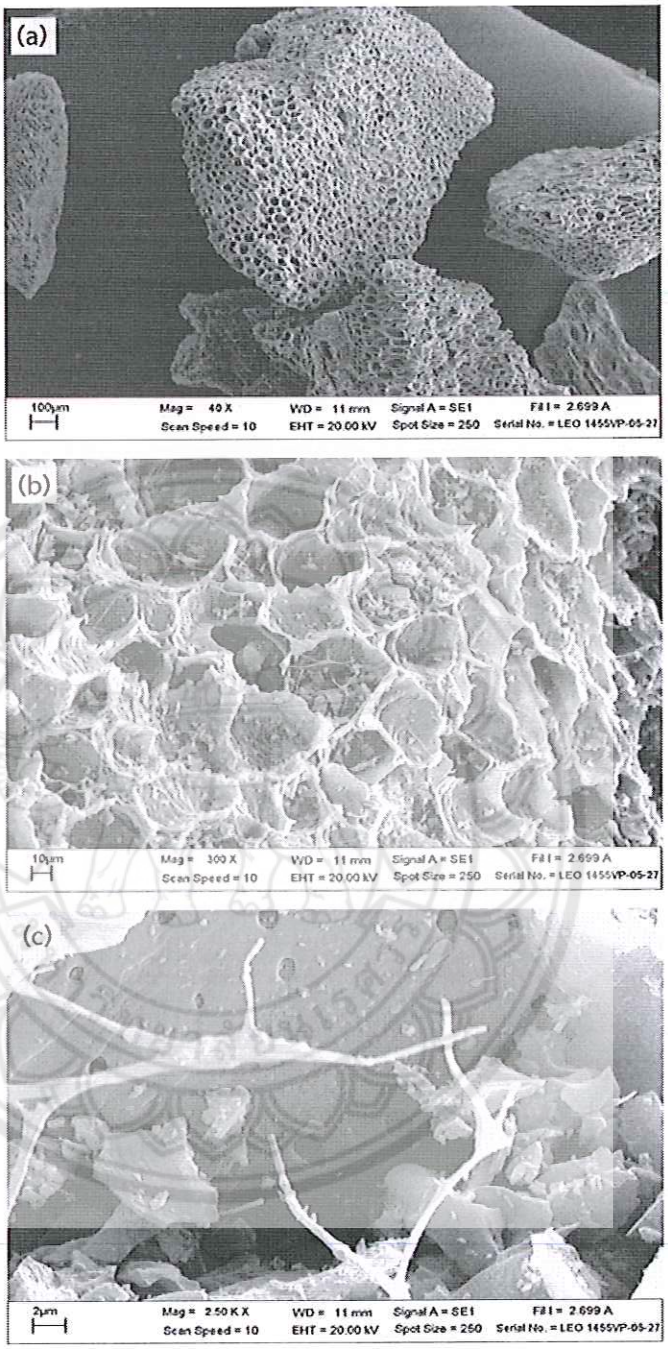


รูป 4.2 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 °C (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า

จากลักษณะถ่านที่ 500 – 600 °C ลักษณะถ่านมีรูพรุนที่มีขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 – 40 µm เมื่อทำการขยายรูปที่มีกำลังขยาย 2,500 เท่า พบว่าปรากฏรูพรุนระดับ micropore ที่ผิวผนังของรูพรุนระดับ mesopore มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ≈2 µm รูพรุนนั้นปรากฏอย่างชัดเจน



รูป 4.3 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700 $^{\circ}$C (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า



รูป 4.4 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 800 °C (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า

เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิการเผาสูงขึ้น 700 - 800 °C ที่รูพรุนระดับ mesopore ปรากฏเส้นใยภายในรูพรุนและมีปริมาณเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 800 °C พบเส้นใย และเศษผงถ่านอุดตามรูพรุน

ที่อุณหภูมิ 800 °C สารประกอบอินทรีย์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟส หรือเกิดสารประกอบใหม่ได้แก่ C, H_2O, CO_2 เป็นต้น ภายในถ่านซังข้าวโพด คาร์บอนที่ไม่เสถียรหรือมีองค์ประกอบที่ไม่สมบูรณ์ จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารอื่น (เช่น O_2) ทำให้น้ำหนักของถ่านซังข้าวโพดมีการเปลี่ยนแปลง

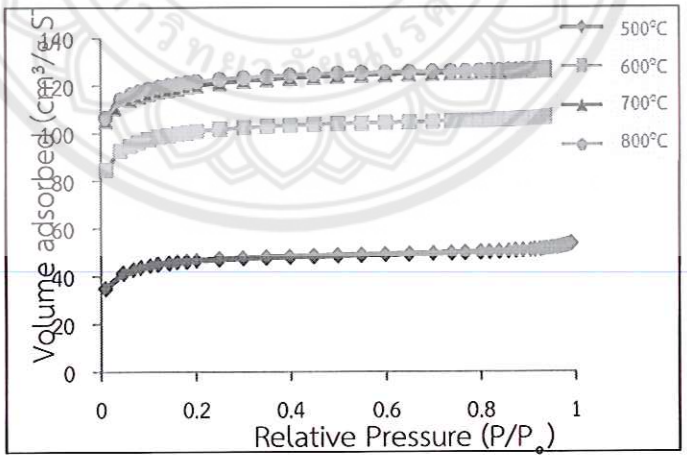
อย่างไรก็ตาม จากลักษณะความหนาของผนังผิวรูพรุนระดับ mesopore มีความหนาเฉลี่ยอยู่ที่ ≈2 μm แต่ที่อุณหภูมิ 700 – 800 °C ความหนาผนังของถ่านมีการลดลงและขนาดรูพรุนมีความกว้างกว่าจากเดิม ≈20 μm ไปสู่ 40 μm

4.5 ความเป็นรูพรุนของถ่านด้วยเครื่องมือ Brunauer-Emmertt-Teller (BET)

จากการทดสอบความเป็นรูพรุนของถ่านซังข้าวโพดด้วยเทคนิคดูดซับด้วยแก๊สไนโตรเจน พบว่าถ่านที่อุณหภูมิ 500 °C มีพื้นที่ผิว 162.0626 m^2/g และปริมาตรรูพรุน 0.0821 cm^3/g แต่ถ่านที่ 800 °C มีพื้นที่ผิว 423.2475 m^2/g และปริมาตรรูพรุน 0.1977 cm^3/g เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาทำให้พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนของถ่านเพิ่มมากขึ้น ดังตาราง 4.4 และจากรูป 4.5 พบว่า เป็นรูปการดูดซับแก๊สไนโตรเจนแบบ Type I ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้งไม่ทั้งหมด ลักษณะดังกล่าวเป็นการดูดซับที่พื้นที่ผิวรูพรุนภายนอกของถ่าน ซึ่งรูพรุนภายนอกจะมีปริมาณรูพรุนมากกว่ารูพรุนภายใน

ตาราง 4.4 ความเป็นรูพรุนของถ่านซังข้าวโพด

อุณหภูมิ (°C)	พื้นที่ผิว (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g)
500	162.0626	0.0821
600	350.4731	0.1668
700	417.1288	0.1968
800	423.2475	0.1977



รูป 4.5 ปริมาตรการดูดซับแก๊สไนโตรเจนของถ่านซังข้าวโพด

4.6 ผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกำลังไฟฟ้า 90 W

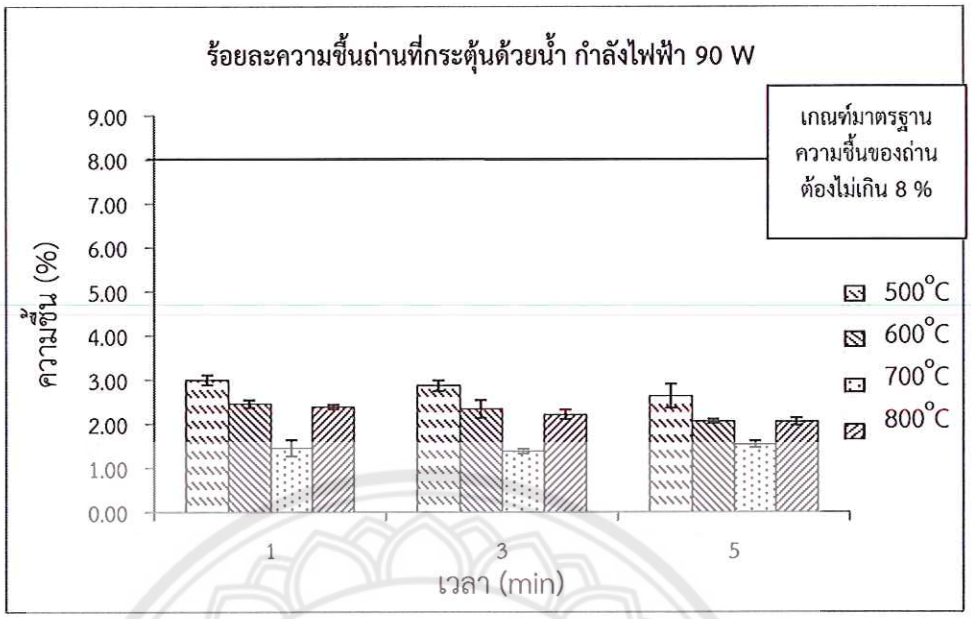
4.6.1 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 W

4.6.1.1 ร้อยละความชื้น

เมื่อทำการกระตุ้นถ่านด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 W จากตาราง 4.4 พบว่า ถ่านกัมมันต์มีความชื้นไม่แตกต่างกัน ร้อยละความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1 – 3 เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้น ค่าความชื้นมีค่าลดลงในช่วงอุณหภูมิ 500 600 และ 800 °C ในขณะที่อุณหภูมิ 700 °C มีค่าความชื้นที่แตกต่างกันเมื่อเวลาการกระตุ้น กล่าวได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟมีค่าไม่เกินมาตรฐานความชื้น AWWA B 604

ตาราง 4.5 ร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W

อุณหภูมิ (°C)	เวลาการกระตุ้น (นาที)	ร้อยละความชื้น			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
500	1	3.10	3.02	2.88	3.00 ± 0.11
	3	2.87	2.99	2.75	2.87 ± 0.12
	5	2.59	2.39	2.92	2.63 ± 0.27
600	1	2.45	2.55	2.37	2.46 ± 0.09
	3	2.44	2.47	2.11	2.34 ± 0.20
	5	2.11	2.06	2.01	2.06 ± 0.05
700	1	1.29	1.41	1.65	1.45 ± 0.18
	3	1.44	1.34	1.36	1.38 ± 0.05
	5	1.51	1.48	1.62	1.54 ± 0.07
800	1	2.39	2.43	2.33	2.38 ± 0.05
	3	2.27	2.28	2.09	2.21 ± 0.11
	5	2.08	1.96	2.12	2.05 ± 0.08



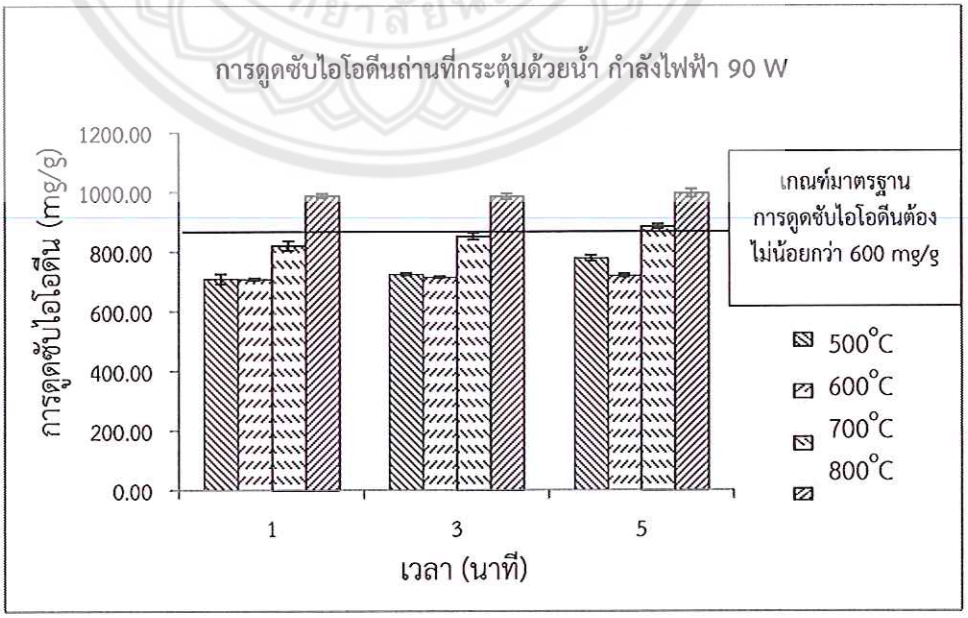
รูป 4.6 ร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W

4.6.1.2 การดูดซับไอโอดีน

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 90 W มีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ที่ 995.50 mg/g ที่อุณหภูมิ 800 °C เวลาการกระตุ้น 5 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ได้ พบว่าทุกอุณหภูมิและระยะเวลาการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนผ่านตามมาตรฐาน AWWA B 604 ซึ่งค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 708.69 – 995.50 mg/g

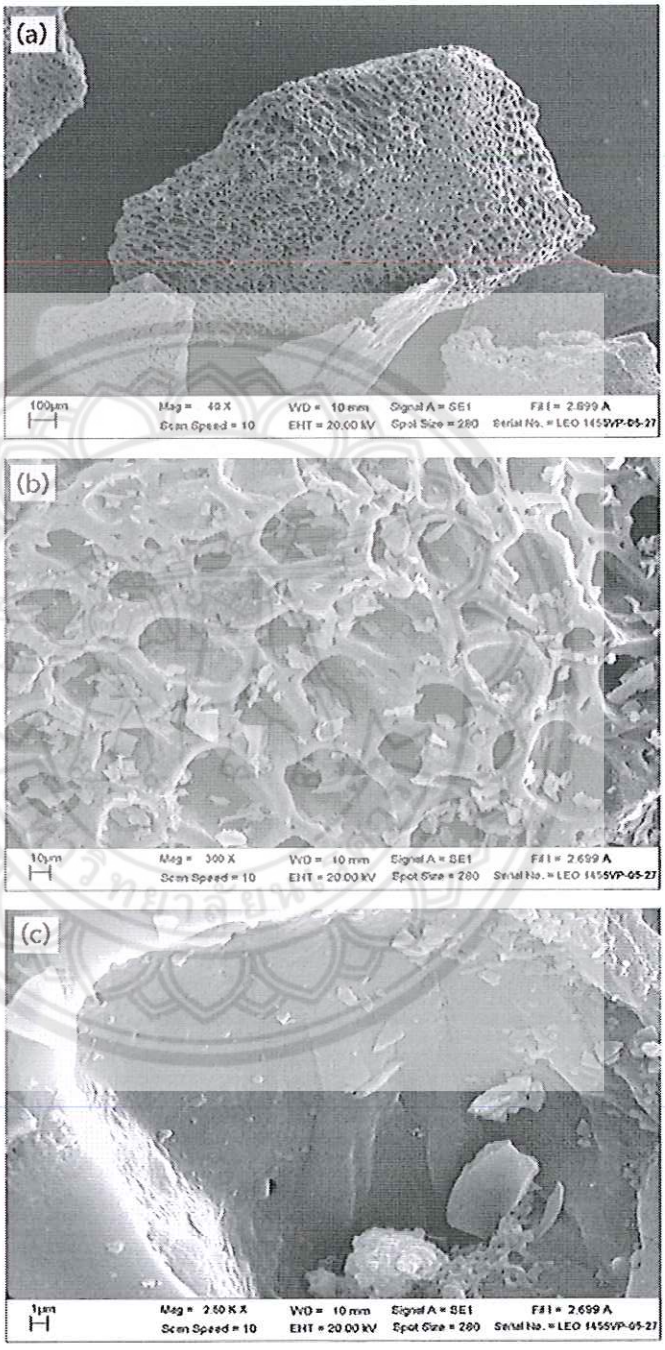
ตาราง 4.6 การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W

อุณหภูมิ (°C)	เวลาการกระตุ้น (นาที)	ค่าดูดซับไอโอดีน (mg/g)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
500	1	717.46	719.37	689.23	708.69 ± 16.88
	3	721.31	729.72	722.25	724.43 ± 4.61
	5	788.98	774.01	770.47	777.82 ± 9.83
600	1	708.06	711.75	704.29	708.03 ± 3.73
	3	712.89	714.87	716.87	714.88 ± 1.99
	5	713.74	720.93	724.27	719.65 ± 5.38
700	1	801.88	833.41	823.63	819.64 ± 16.14
	3	838.65	855.37	861.16	851.73 ± 11.69
	5	883.91	890.86	876.39	883.72 ± 7.24
800	1	993.13	979.15	989.08	987.12 ± 7.19
	3	981.34	977.10	996.00	984.81 ± 9.92
	5	981.34	996.30	1008.87	995.50 ± 13.78

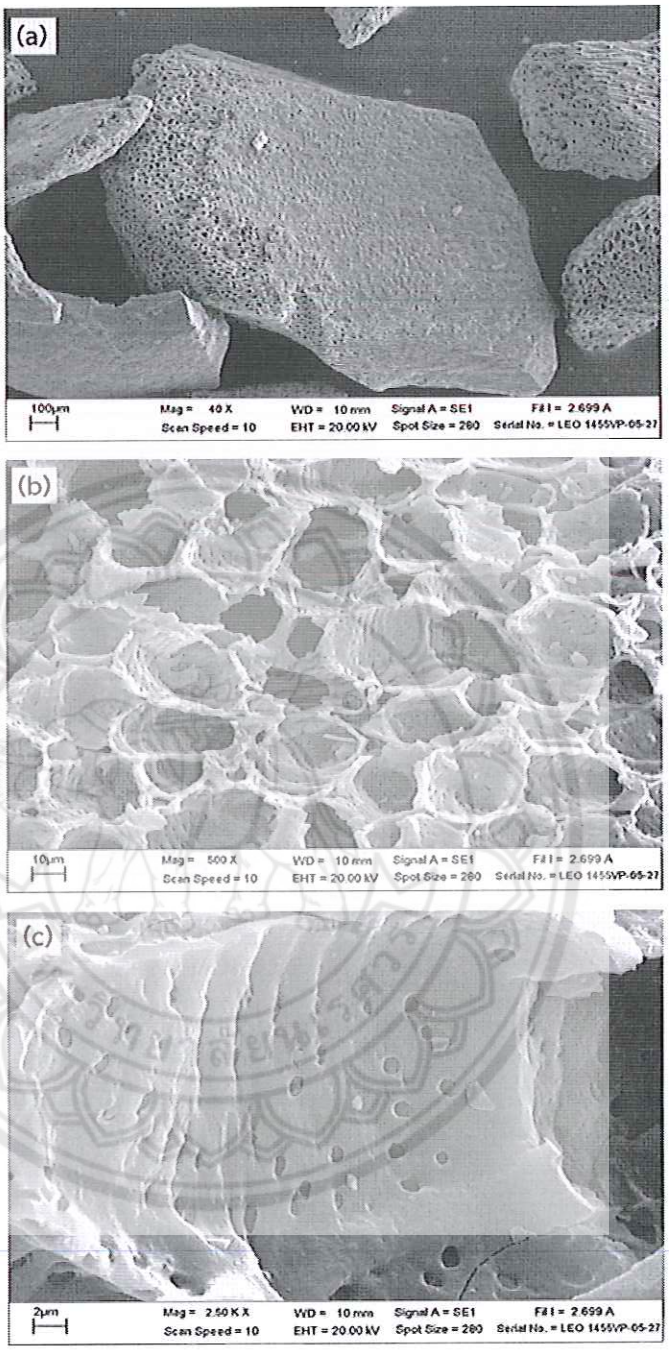


รูป 4.7 การดูดซับไอโอดีนของถ่านที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W

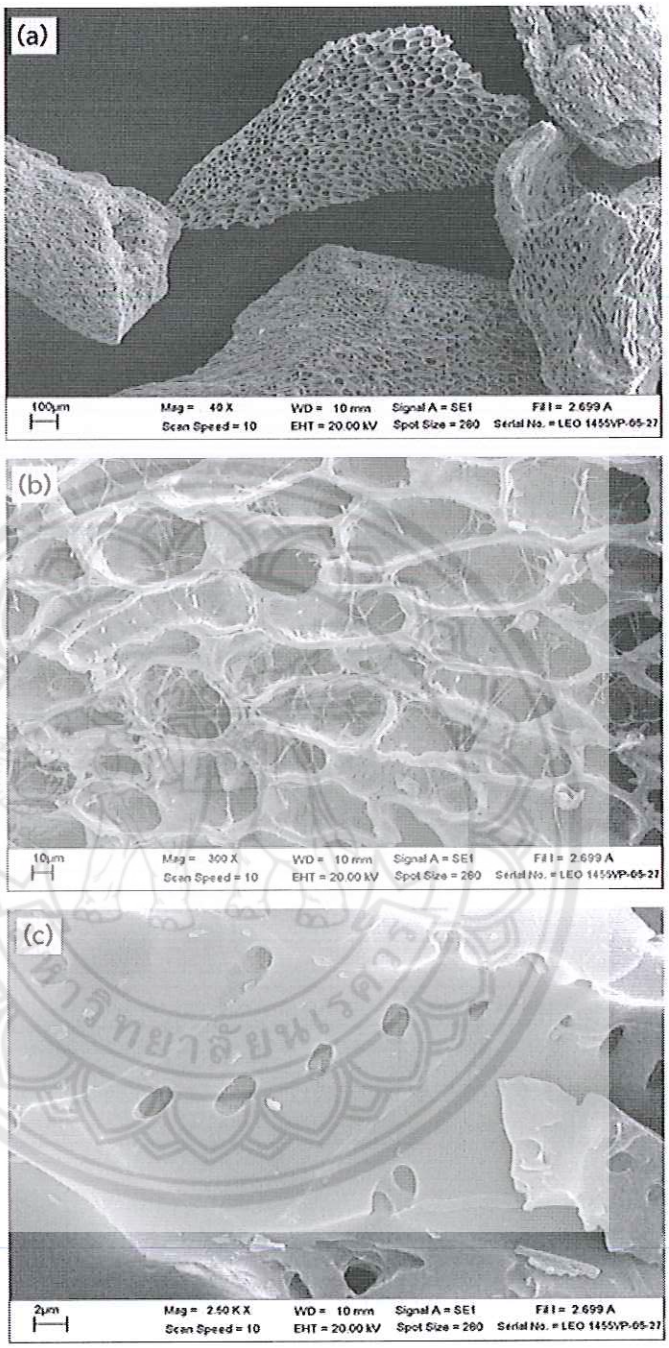
4.6.1.3 การศึกษาลักษณะทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM)



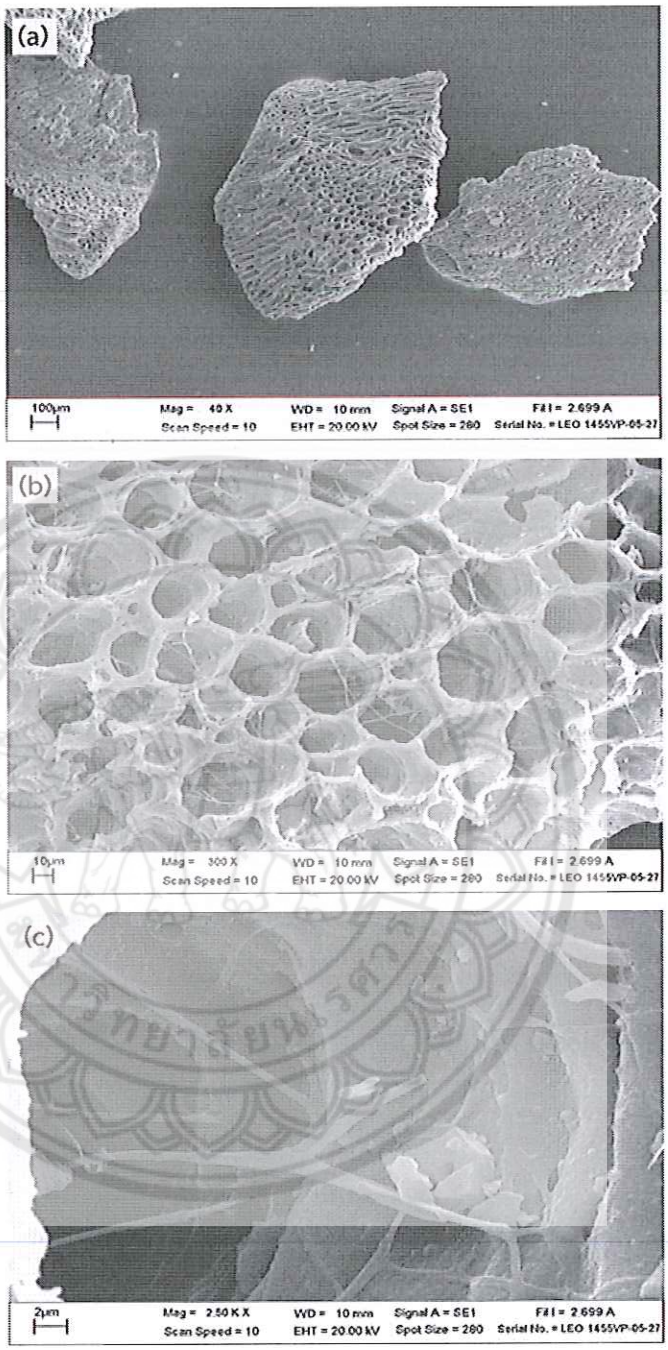
รูป 4.8 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 500 $^{\circ}$C กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า



รูป 4.9 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 $^{\circ}$C กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า



รูป 4.10 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700 °C กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า



รูป 4.11 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 800 °C กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า

ถ่านที่อุณหภูมิ 500 °C ทำการกระตุ้นด้วยน้ำ พบว่ามีเศษผงถ่านขนาดเล็กเกาะอยู่ภายในรูพรุนระดับ mesopore เศษอนุภาคนั้นมีขนาด ≈500 nm เกาะอยู่ที่ผิวผนัง ทั้งนี้ขนาดอนุภาคนี้มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับผิวผนังรูพรุน และเมื่อนำถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 700 และ 800 °C ที่ผ่านการกระตุ้น พบว่าลักษณะถ่านปรากฏเศษผงถ่านในรูพรุนลดลง ที่ผิวผนังของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600, 700 และ 800 °C พบรูพรุนระดับ micropore โดยมีขนาดเฉลี่ย ~1.5 µm กระจายอยู่ภายใน

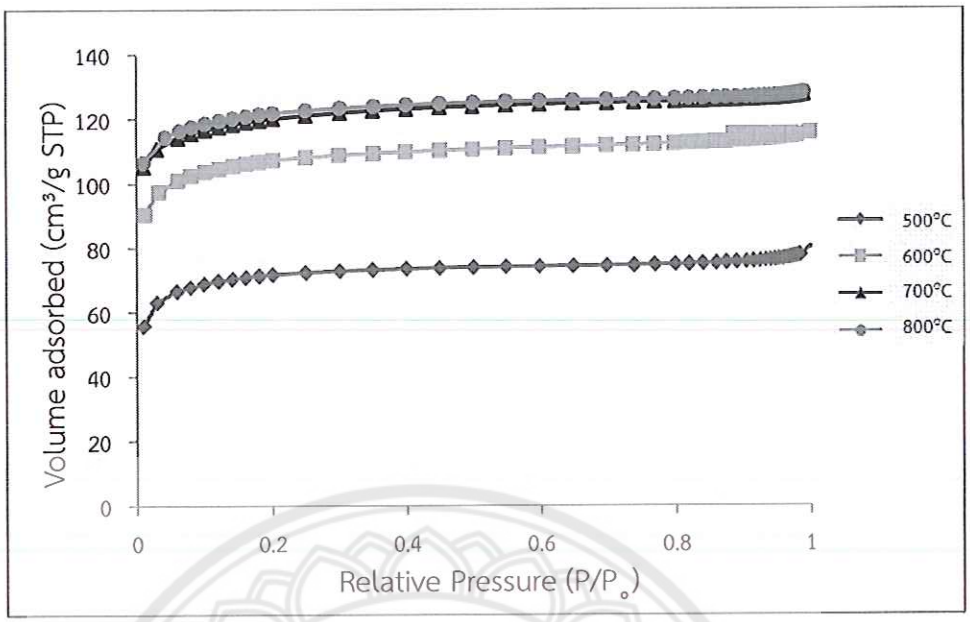
ผิวผนังเห็นอย่างชัดเจน รูพรุนระดับ micropore มีขนาด ~500 nm ซึ่งรูพรุนระดับ micropore จะปรากฏในถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 และ 700 °C ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟถ่านที่ 700 และ 800 °C รูปกำลังขยาย 2,500 เท่า ปรากฏเส้นใยเกาะที่ผิวผนัง อาจกล่าวได้ว่าเส้นใยที่เกาะผิวผนังคือโครงสร้างของซังข้าวโพดนั่นเอง เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูงคาร์บอนไม่เสถียรจะหลุดออกทำให้เหลือเพียงคาร์บอนที่มีความเสถียร ก็คือเส้นใยที่ปรากฏในรูปถ่านที่ทำการเผาอุณหภูมิสูงนั่นเอง

4.6.1.4 ความเป็นรูพรุนของถ่านด้วยเครื่องมือ Brunauer-Emmertt-Teller (BET)

จากตาราง 4.7 และรูป4.13 ทำการกระตุ้นถ่านด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 W พบว่า เมื่ออุณหภูมิการเผาถ่านเพิ่มมากขึ้นความเป็นรูพรุนของถ่านมีค่าเพิ่มมากขึ้น สังเกตได้จากถ่านที่ 500 °C มีพื้นที่ผิว 249.2345 m^2/g มีปริมาตรรูพรุน 0.1201 cm^3/g ในขณะถ่านที่อุณหภูมิ 800 °C มีพื้นที่ผิว 423.2475 m^2/g และมีปริมาตรรูพรุน 0.1977 cm^3/g

ตาราง 4.7 ความเป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W

อุณหภูมิ (°C)	พื้นที่ผิว (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g)
500	249.2356	0.1201
600	372.3565	0.1326
700	417.1318	0.1968
800	423.2535	0.1977



รูป 4.12 ปริมาตรการดูดซับแก๊สไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 90 W

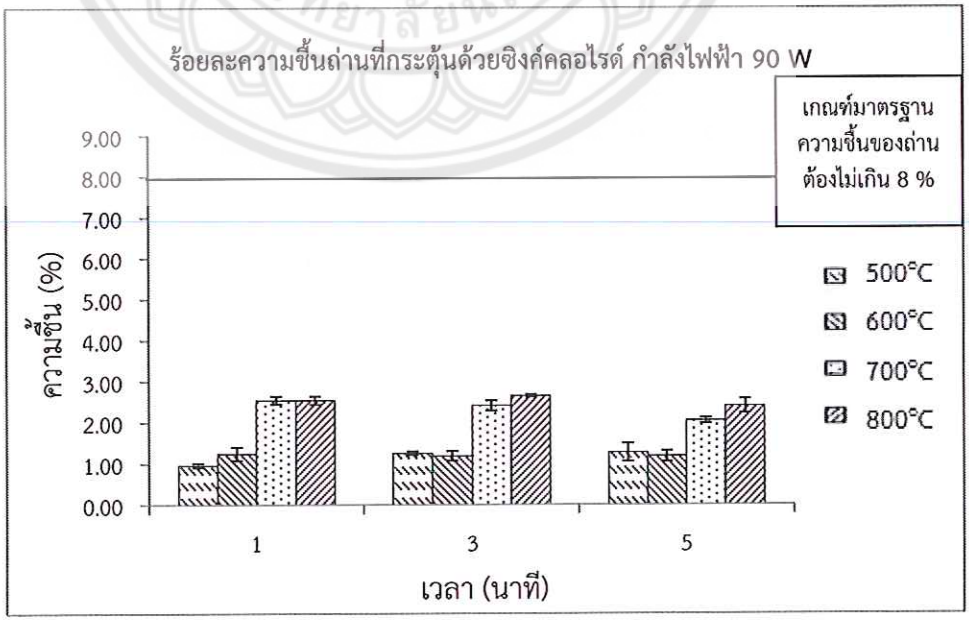
4.6.2 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 W

4.6.2.1 ร้อยละความชื้น

ค่าความชื้นถ่านที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 W มีร้อยละความชื้นอยู่ในช่วง 1 – 3 ถ่านกัมมันต์มีความชื้นไม่แตกต่างกัน เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้น ถ่านที่อุณหภูมิ 500 และ 800 °C พบว่ามีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ในขณะถ่านที่อุณหภูมิ 600 และ 700 °C เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้นถ่านมีค่าความชื้นลดลง อย่างไรก็ตาม ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟมีค่าความชื้นไม่เกินมาตรฐาน AWWA B 604 ดังตาราง 4.6

ตาราง 4.8 ร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W

อุณหภูมิ (°C)	เวลาการกระตุ้น (นาที)	ร้อยละความชื้น			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
500	1	0.94	1.02	0.92	0.96 ± 0.05
	3	1.23	1.30	1.22	1.25 ± 0.04
	5	1.46	1.32	1.03	1.27 ± 0.22
600	1	1.14	1.43	1.16	1.24 ± 0.16
	3	1.17	1.08	1.31	1.19 ± 0.12
	5	1.13	1.09	1.33	1.18 ± 0.13
700	1	2.56	2.44	2.63	2.54 ± 0.10
	3	2.30	2.40	2.54	2.41 ± 0.12
	5	2.12	2.02	1.99	2.04 ± 0.07
800	1	2.43	2.55	2.64	2.54 ± 0.11
	3	2.67	2.66	2.61	2.65 ± 0.03
	5	2.57	2.40	2.24	2.40 ±0.17



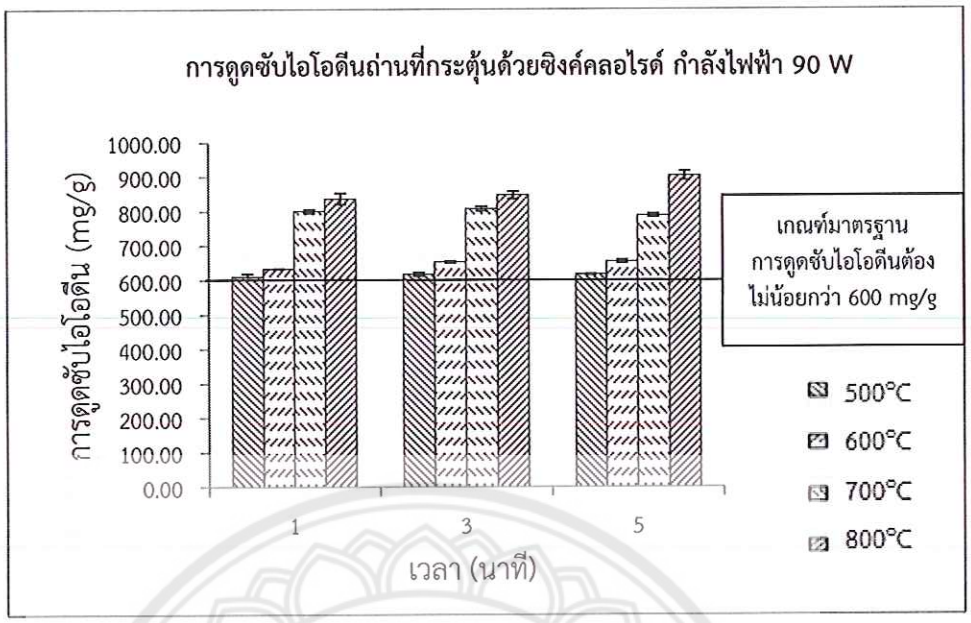
รูป 4.13 ร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W

4.6.2.2 การดูดซับไอโอดีน

เมื่อทำการกระตุ้นถ่านด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 W พบว่ามีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยมากที่สุด คือ 902.73 ± 13.34 mg/g ที่อุณหภูมิ 800 °C ระยะเวลาในการกระตุ้น 5 นาที ในแต่ละช่วงอุณหภูมิ พบว่ามีค่าการดูดซับไม่แตกต่างกันเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 W มีค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วงระหว่าง 610.32 – 902.73 mg/g ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน AWWA B 604

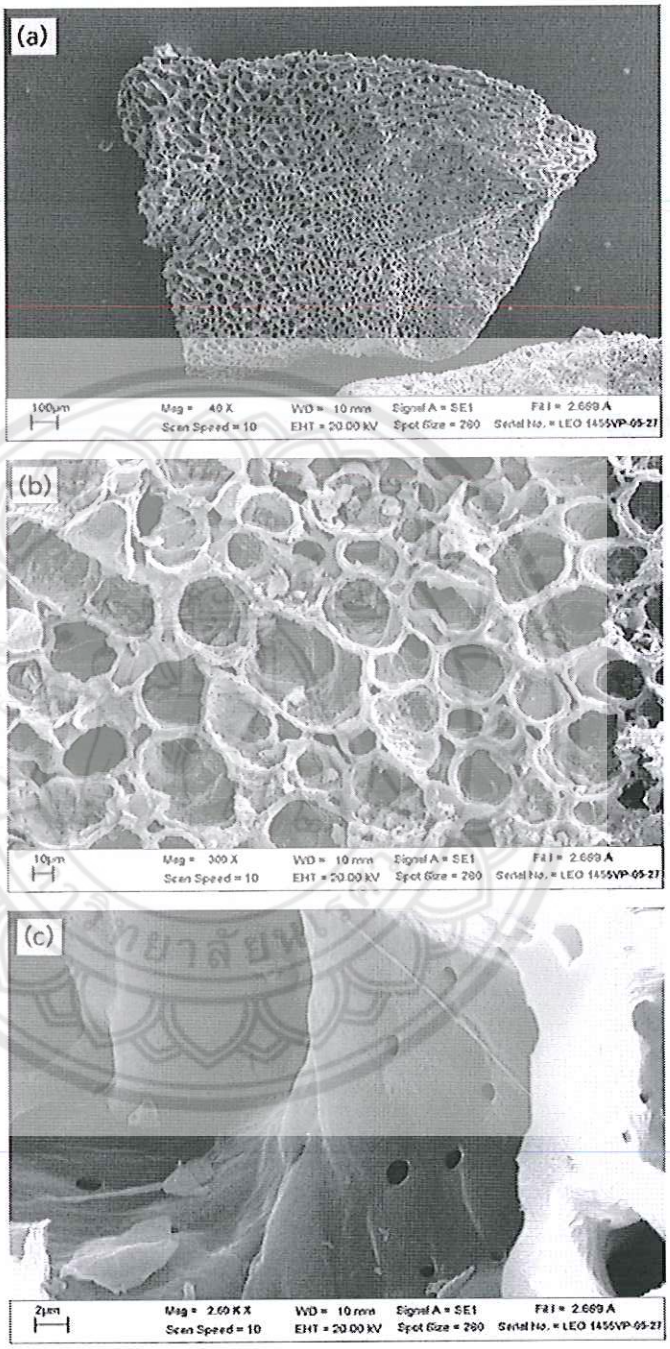
ตาราง 4.9 การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W

อุณหภูมิ (°C)	เวลาการกระตุ้น(นาที)	ค่าดูดซับไอโอดีน (mg/g)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
500	1	604.56	605.58	620.82	610.32 ± 9.11
	3	620.45	618.95	611.62	617.01 ± 4.72
	5	615.80	617.69	616.77	616.75 ± 0.95
600	1	633.04	633.35	631.87	632.75 ± 0.78
	3	651.14	655.95	652.44	653.18 ± 2.49
	5	659.53	649.78	653.74	654.35 ± 4.90
700	1	794.87	800.93	804.28	800.03 ± 4.77
	3	800.93	814.11	805.38	806.81 ± 6.70
	5	782.10	790.25	790.73	787.69 ± 4.85
800	1	847.07	844.22	817.24	836.18 ± 16.46
	3	834.41	853.37	852.60	846.79 ± 10.73
	5	913.93	906.29	887.98	902.73 ± 13.34

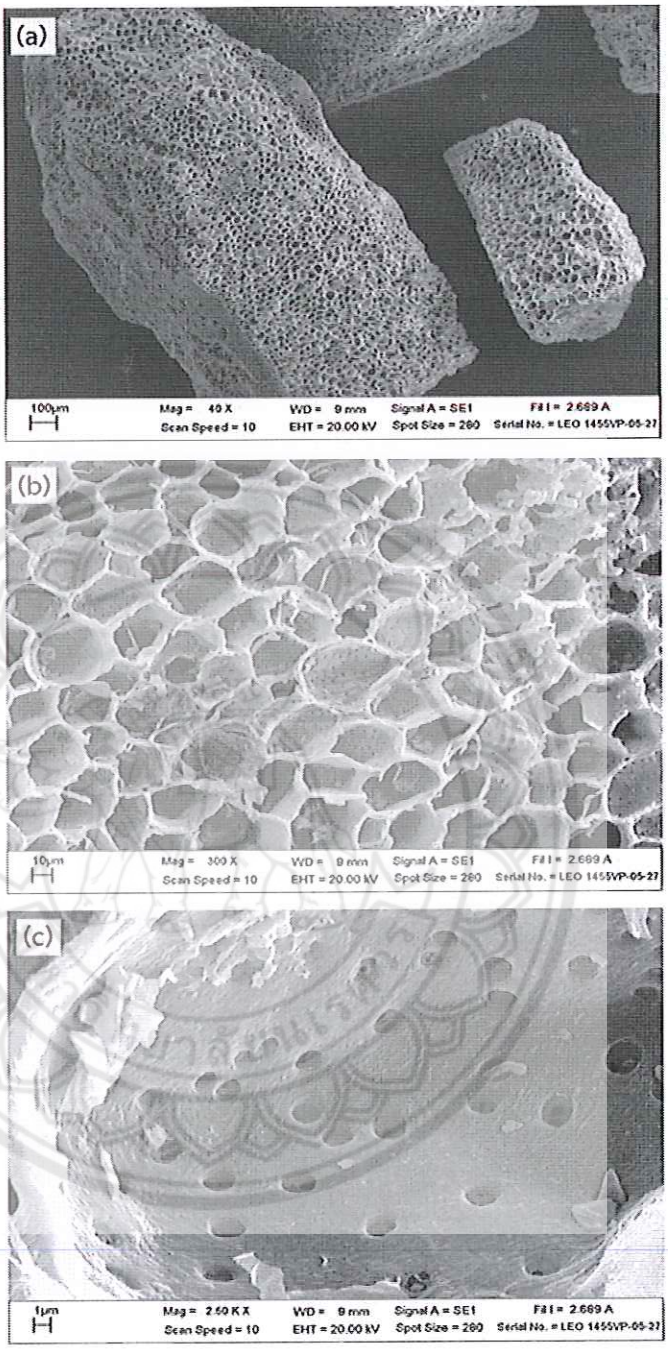


รูป 4.14 การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W

4.6.2.3 การศึกษาลักษณะทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM)



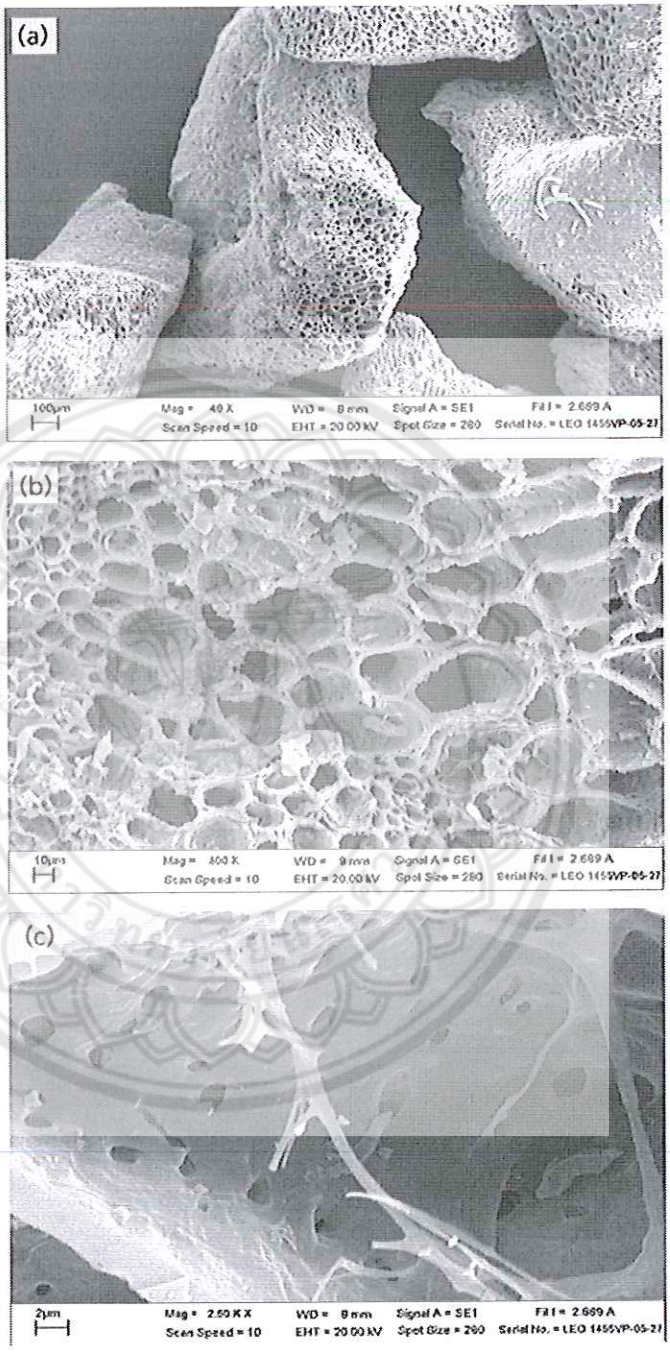
รูป 4.15 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 500 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า



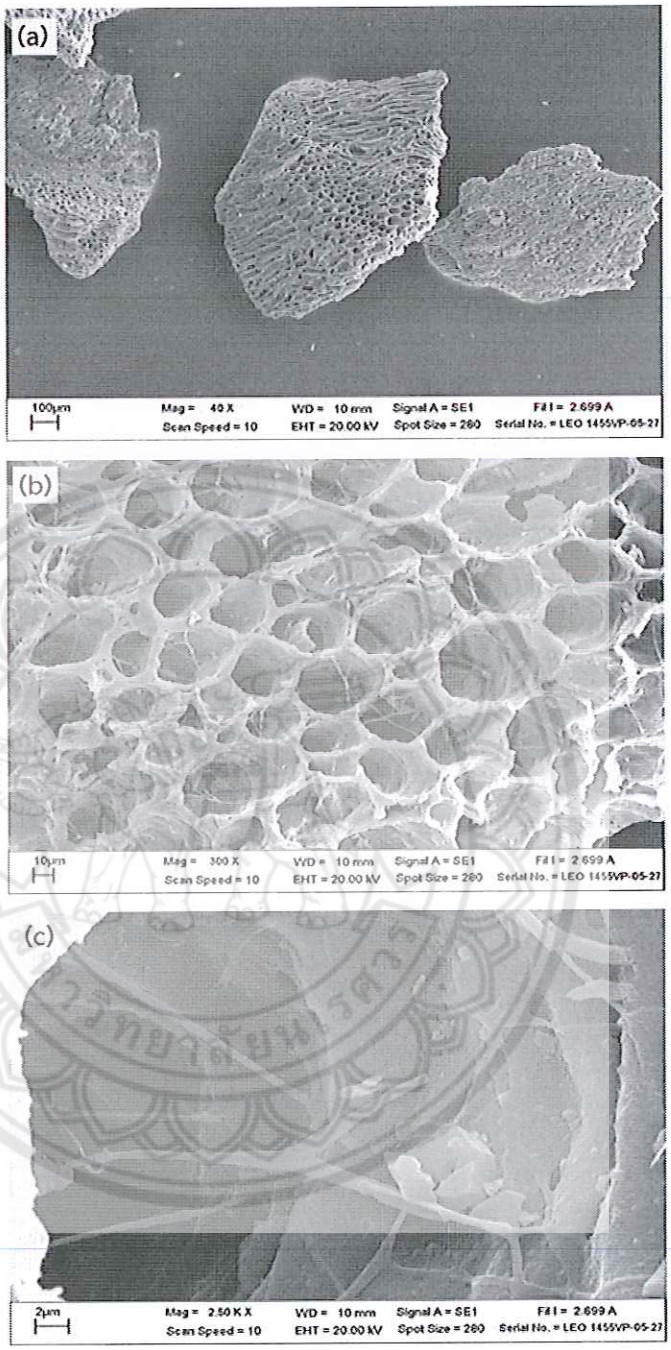
รูป 4.16 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า

เมื่อทำการกระตุ้นถ่านที่ 500 °C ด้วยซิงค์คลอไรด์ พบว่าถ่ามกัมมันต์มีปริมาณรูพรุนมากกว่าการกระตุ้นถ่านด้วยน้ำ แต่ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์นั้นมีซิงค์คลอไรด์เกาะที่ผิวผนัง ทำให้ถ่านที่ได้ไม่บริสุทธิ์ ถ่านที่อุณหภูมิ 600 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ที่กำลังไฟฟ้า 90 W

ปรากฏรูพรุนระดับ micropore ภายในรูพรุนระดับ mesopore เป็นจำนวนมาก ผิวผนังมีลักษณะขรุขระ เห็นได้ชัดจากรูปกำลังขยาย 2,500 เท่า



รูป 4.17 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า, (B) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า



รูป 4.18 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 800 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า, (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า

ลักษณะรูพรุนของถ่านที่อุณหภูมิ 700 °C ทำการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ที่กำลังไฟฟ้า 90 W มีรูพรุนปริมาณมาก และพบเส้นใยเกาะที่ผิวผนัง ภายในรูพรุนระดับ mesopore พบรูพรุนระดับ micropore ซึ่งมีลักษณะเป็นรูตัน และรูพรุนที่ปรากฏมีขนาดที่แตกต่างกัน เมื่อทำการกระตุ้นถ่านอุณหภูมิ 800 °C พบว่าผิวผนังของถ่านกัมมันต์มีลักษณะเป็นคลื่น รูพรุนระดับ micropore มี

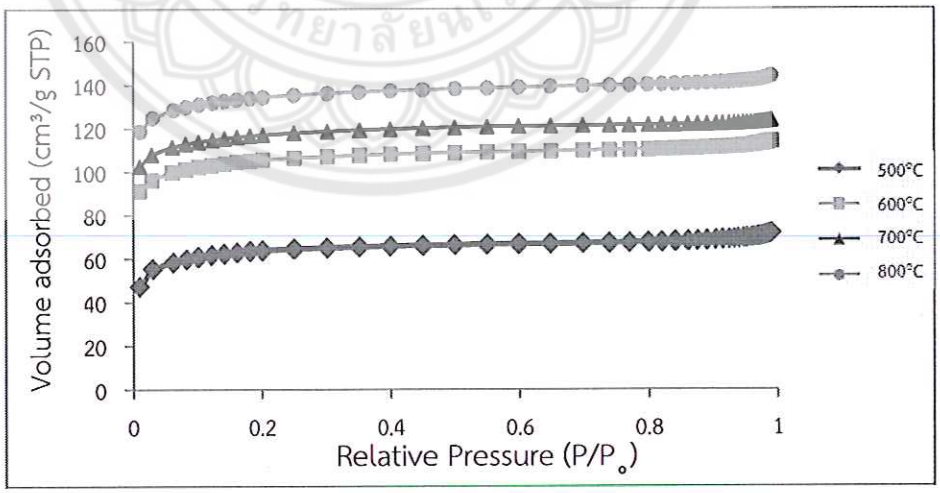
ลักษณะเป็นรูตัน ปริมาณรูพรุนมีปริมาณลดลงเมื่อเทียนกับถ่านที่อุณหภูมิ 700 °C และภายในรูพรุนยังมีเศษผงถ่านลดลงจากเดิม สังเกตได้จากรูปกำลังขยาย 2,500 เท่า

4.6.2.4 ความเป็นรูพรุนของถ่านด้วยเครื่องมือ Brunauer-Emmertt-Teller (BET)

ถ่านที่กระตุ้นด้วยซิงคลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 W มีพื้นที่ผิวของถ่าน 221.7364 – 466.9138 m^2/g และมีปริมาตรรูพรุน 0.1098 – 0.2216 cm^3/g จากตาราง 4.10 และรูป 4.20 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังอุณหภูมิการเผาที่ 500 °C มีพื้นที่ผิว 221.7364 m^2/g และมีปริมาตรรูพรุน 0.1098 cm^3/g .ในขณะที่อุณหภูมิ 800 °C มีพื้นที่ผิว 466.9138 m^2/g และปริมาตรรูพรุน 0.2216 cm^3/g

ตาราง 4.10 ความเป็นรูพรุนของถ่านของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W

อุณหภูมิ (°C)	พื้นที่ผิว (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g)
500	221.7364	0.1098
600	366.9806	0.1756
700	406.8361	0.1909
800	466.9138	0.2216



รูป 4.19 ปริมาตรการดูดซับแก๊สไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 90 W

4.7 ผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกำลังไฟฟ้า 360 W

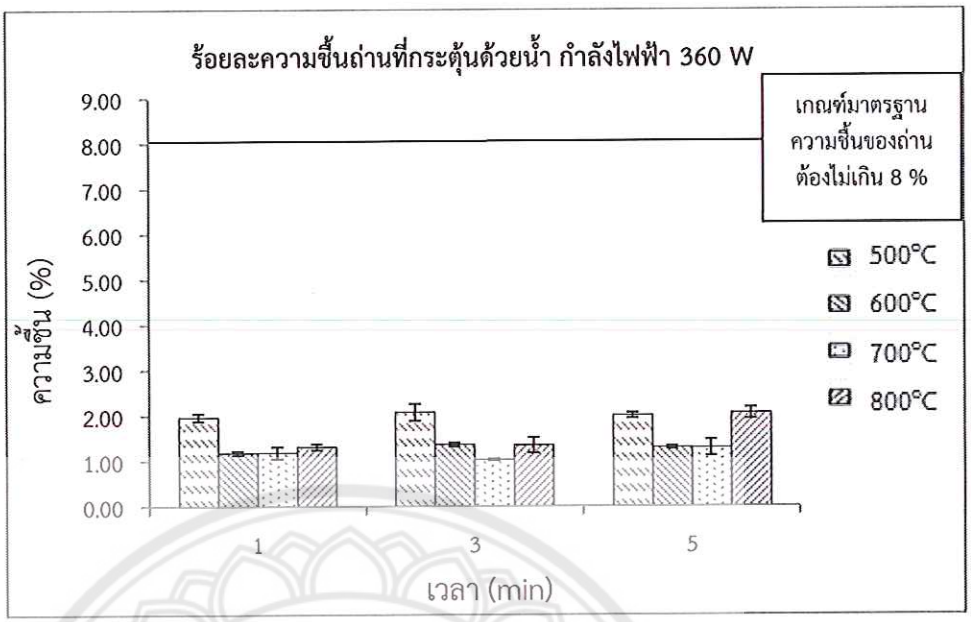
4.7.1 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W

4.7.1.1 ร้อยละความชื้น

เมื่อทำการกระตุ้นถ่านด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W จากตาราง 4.8 พบว่า ถ่านกัมมันต์มีความชื้นไม่แตกต่างกัน ร้อยละความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1 – 2 กล่าวได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟมีค่าไม่เกินมาตรฐานความชื้น AWWA B 604

ตาราง 4.11 ร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 360 W

อุณหภูมิ (°C)	เวลาการกระตุ้น (นาที)	ร้อยละความชื้น			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
500	1	1.98	1.87	2.04	1.96 ± 0.09
	3	1.95	1.98	2.29	2.07 ± 0.19
	5	2.01	2.06	1.94	2.00 ± 0.06
600	1	1.13	1.18	1.22	1.18 ± 0.05
	3	1.41	1.36	1.32	1.36 ± 0.05
	5	1.26	1.32	1.31	1.30 ± 0.03
700	1	1.03	1.27	1.25	1.18 ± 0.13
	3	1.04	1.01	1.04	1.03 ± 0.02
	5	1.09	1.39	1.40	1.29 ± 0.18
800	1	1.28	1.39	1.26	1.31 ± 0.07
	3	1.29	1.54	1.22	1.35 ± 0.17
	5	1.91	2.12	2.13	2.05 ± 0.12



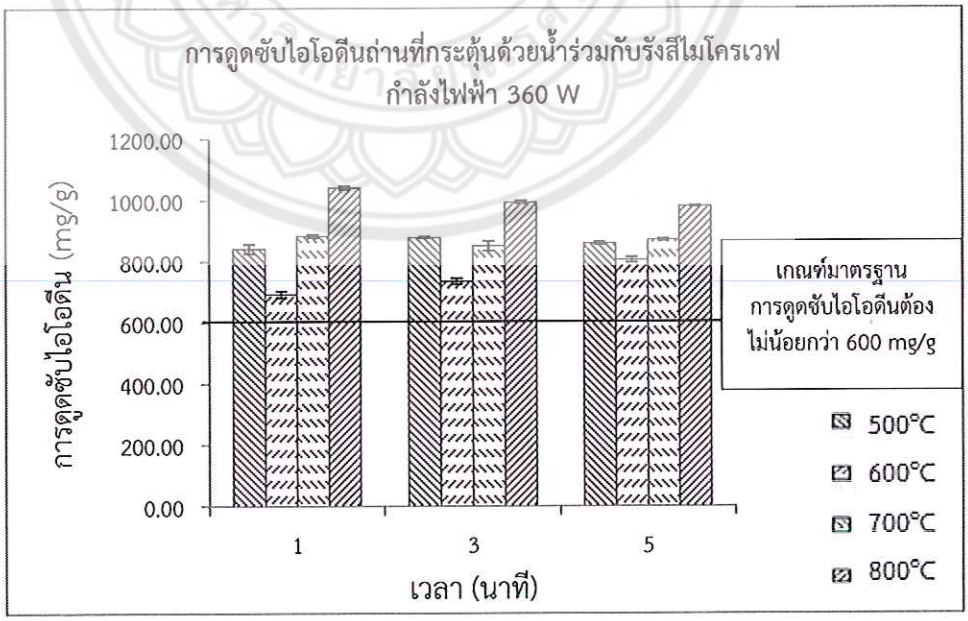
รูป 4.20 ร้อยละความชื้นถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 360 W

4.7.1.2 การดูดซับไอโอดีน

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 360 W มีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ที่ 1,041.58 mg/g ที่อุณหภูมิ 800 °C เวลาการกระตุ้น 1 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ได้ พบว่าทุกอุณหภูมิและระยะเวลาการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนผ่านตามมาตรฐาน AWWA B 600 ซึ่งค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 735.56 – 1,041.58 mg/g ถ่านกัมมันต์มีแนวโน้มการดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้น ดังตาราง 4.9

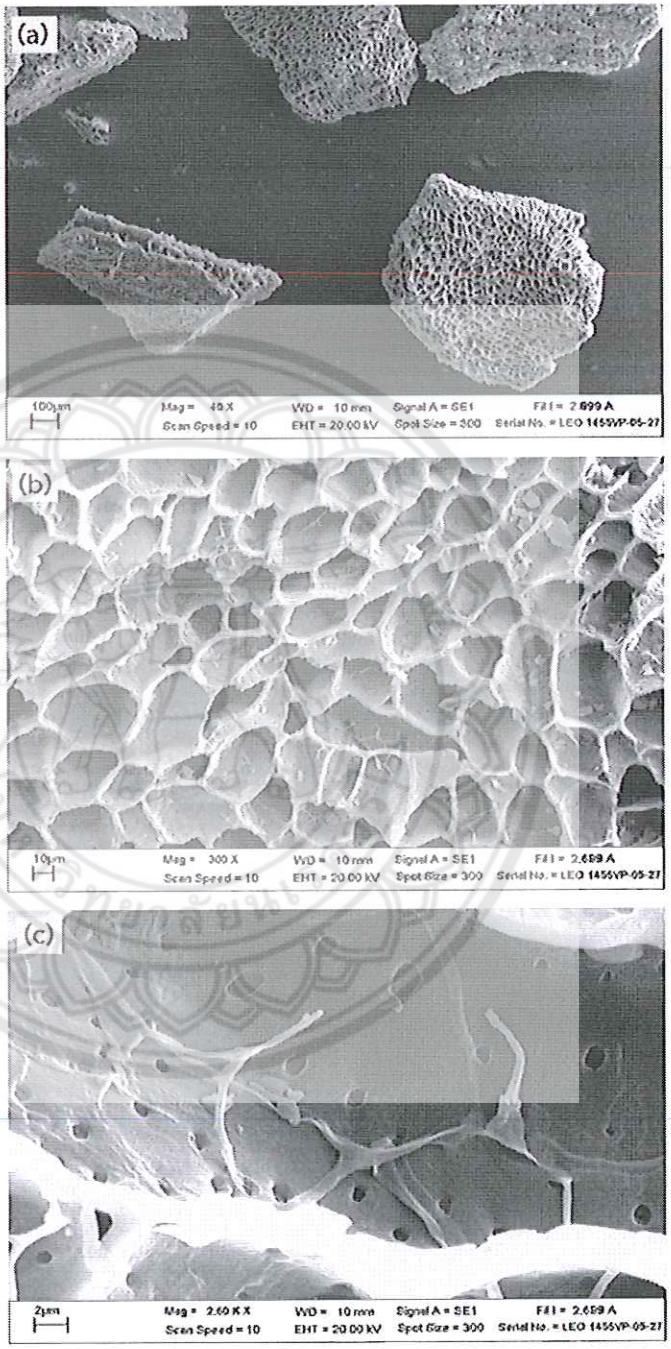
ตาราง 4.12 การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 360 W

อุณหภูมิ (°C)	เวลาการกระตุ้น (นาที)	ค่าดูดซับไอโอดีน (mg/g)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
500	1	839.75	826.90	857.18	841.28 ± 15.20
	3	880.50	875.76	879.71	878.66 ± 2.54
	5	858.64	864.30	855.56	859.50 ± 4.43
600	1	700.45	697.52	680.66	692.88 ± 10.68
	3	746.27	734.84	725.57	735.56 ± 10.37
	5	809.25	812.44	795.15	805.61 ± 9.20
700	1	881.39	889.42	878.69	883.17 ± 5.58
	3	851.10	866.98	835.48	851.19 ± 15.75
	5	874.41	868.83	868.92	870.72 ± 3.20
800	1	1,037.89	1,047.92	1,038.93	1,041.58 ± 5.52
	3	997.69	994.72	988.18	993.53 ± 4.87
	5	979.05	982.26	982.26	981.19 ± 1.85

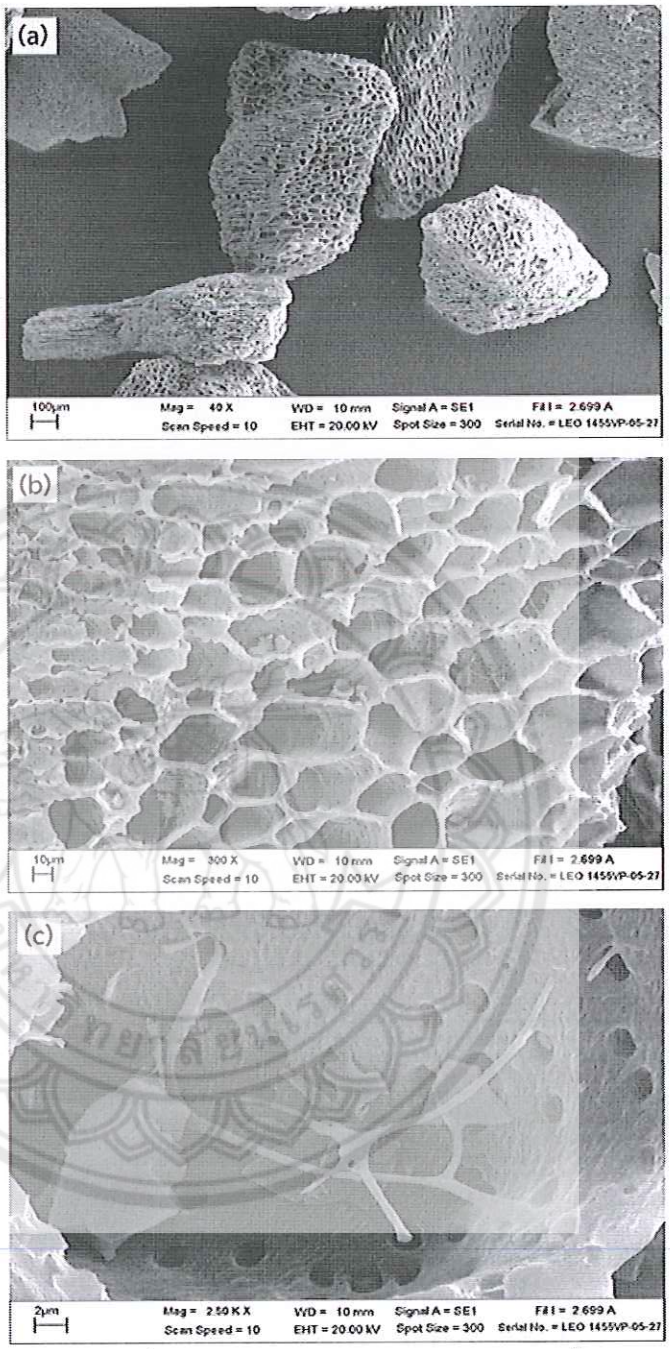


รูป 4.21 การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 360 W

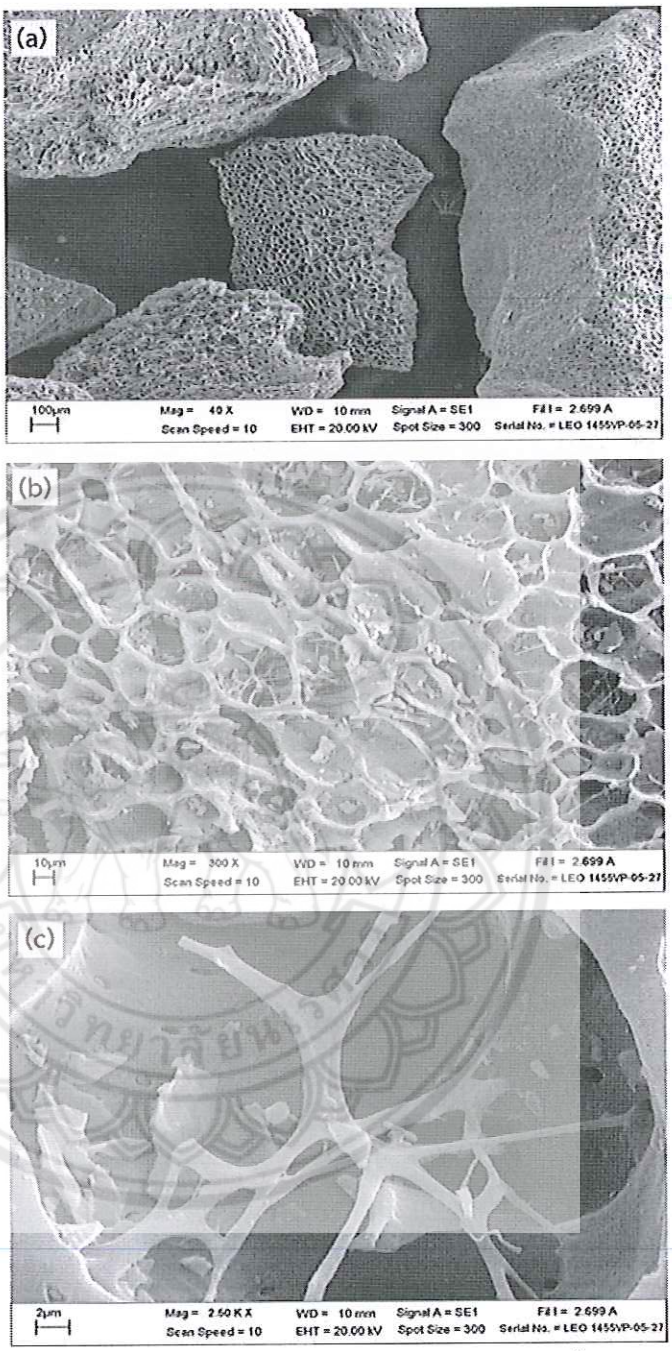
4.7.1.3 การศึกษาลักษณะทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM)



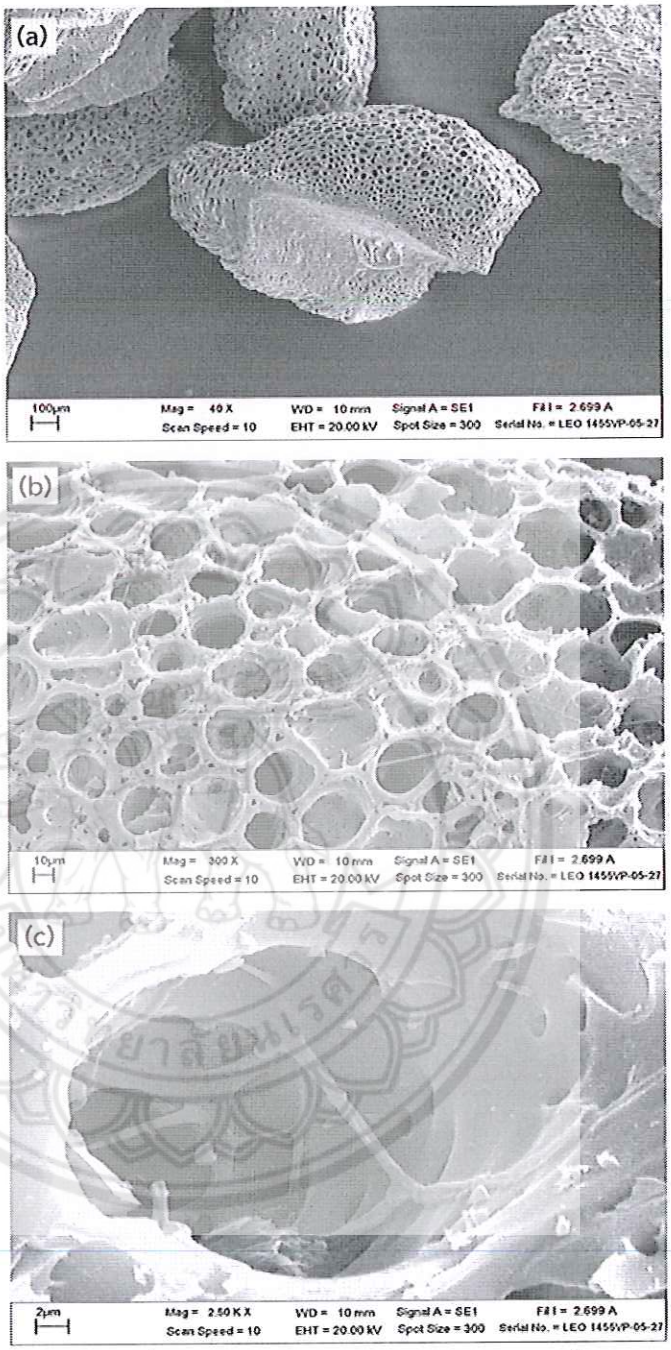
รูป 4.22 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 500 ^{o}C กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 360 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า



รูป 4.23 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 °C กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 360 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า



รูป 4.24 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700 $^{\circ}$C กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 360 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า



รูป 4.25 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 800 °C กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 360 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า

ลักษณะถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด ปรากฏลักษณะรูพรุนของถ่านอย่างชัดเจนที่อุณหภูมิการเผาที่ 600 °C ที่ทำการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ด้วยกำลังไฟฟ้า 360 W ลักษณะผิวผนังของถ่านที่อยู่ภายในรูพรุนระดับ mesopore มีลักษณะขรุขระ เมื่อเทียบกับผิวภายในถ่านที่อุณหภูมิ 500 °C ของกำลังขยาย 2,500 เท่า ขณะที่อุณหภูมิการเผาที่ 700 และ 800 °C ปรากฏ

อนุภาคขนาดเล็กอยู่ภายในรุพรุนระดับ mesopore รวมถึงเส้นใยโครงสร้างทางธรรมชาติของซังข้าวโพดที่กลายเป็นถ่าน โดยเฉพาะถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 800 °C

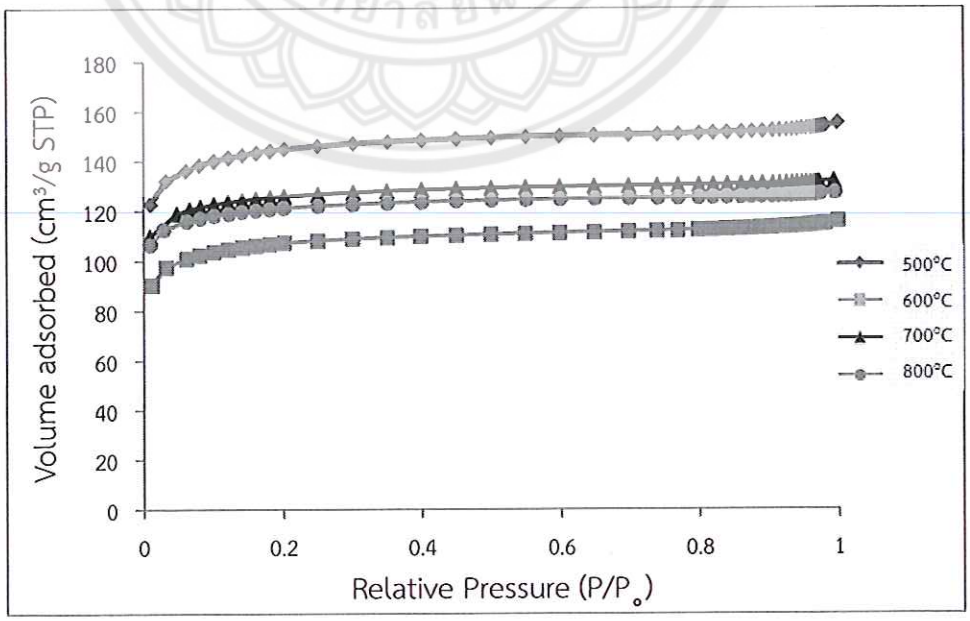
ลักษณะสัณฐานของถ่านกัมมันต์ที่เผาด้วยอุณหภูมิ 500, 600, 700 และ 800 °C พบว่ามีลักษณะรูพรุนสูงกระจายตัวทั่วทั้งก้อนถ่าน

4.7.1.4 ความเป็นรูพรุนของถ่านโดยเครื่องมือ Brunauer-Emmertt-Teller (BET)

เมื่อทำการกระตุ้นถ่านด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W พบว่าถ่านที่อุณหภูมิ 500 °C มีความเป็นรูพรุนสูงที่สุด โดยมีพื้นที่ผิว 503.6763 m^2/g ปริมาตรรูพรุน 0.1792 cm^3/g ถ่านที่อุณหภูมิ 600 °C มีความเป็นรูพรุนน้อยกว่าอุณหภูมิการเผาอื่นๆ ในขณะที่อุณหภูมิที่ 700 และ 800 °C มีค่าความเป็นรูพรุนที่ใกล้เคียงกัน ดังตาราง 4.13 และรูป 4.27

ตาราง 4.13 ความเป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 360 W

อุณหภูมิ (°C)	พื้นที่รูพรุน (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g)
500	503.6763	0.1792
600	372.3565	0.1326
700	437.4561	0.1648
800	421.4170	0.1590



รูป 4.26 ปริมาณการดูดซับแก๊สไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ กำลังไฟฟ้า 360 W

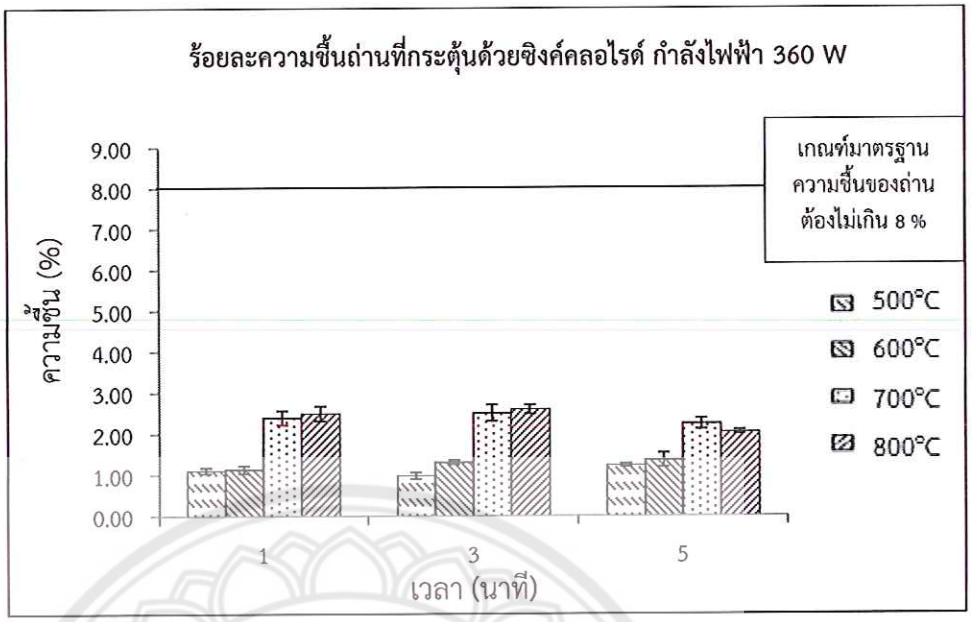
4.7.2 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W

4.7.2.1 ร้อยละความชื้น

จากตาราง 4.10 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W มีร้อยละค่าความชื้นเฉลี่ย อยู่ในช่วง 1 – 2 ค่าความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาของถ่านซังข้าวโพด อย่างไรก็ตาม ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟมีค่าไม่เกินมาตรฐานความชื้น AWWA B604 และกำหนดเกณฑ์ มอก. 900 - 2547

ตาราง 4.14 ร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W

อุณหภูมิ (°C)	เวลาการกระตุ้น (นาที)	ร้อยละความชื้น			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
500	1	1.18	1.04	1.09	1.10 ± 0.07
	3	0.92	0.96	1.07	0.98 ± 0.08
	5	1.25	1.19	1.26	1.23 ± 0.04
600	1	1.13	1.18	1.19	1.17 ± 0.03
	3	1.25	1.31	1.35	1.30 ± 0.05
	5	1.28	1.55	1.23	1.35 ± 0.17
700	1	2.43	2.54	2.21	2.39 ± 0.17
	3	2.59	2.63	2.27	2.50 ± 0.20
	5	2.19	2.14	2.39	2.24 ± 0.13
800	1	2.65	2.29	2.53	2.49 ± 0.18
	3	2.70	2.57	2.49	2.59 ± 0.11
	5	2.05	1.98	2.08	2.04 ± 0.05



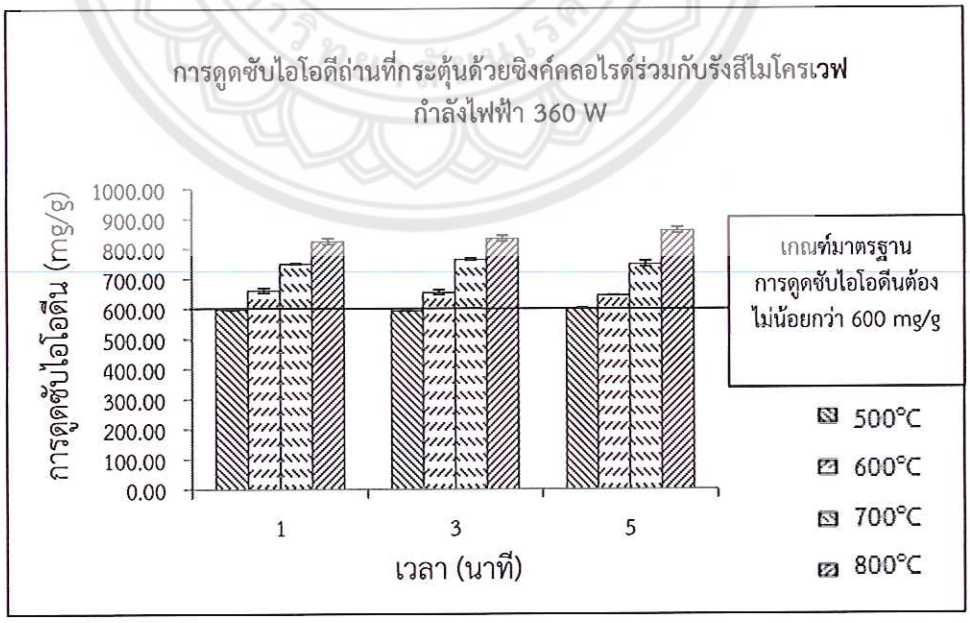
รูป 4.27 ร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W

4.7.2.2 การดูดซับไอโอดีน

เมื่อทำการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ พบว่ามีค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วงระหว่าง 594.33 - 763.93 mg/g ค่าการดูดซับไอโอดีนในแต่ละช่วงอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน อุณหภูมิกาเผาที่ 500 °C พบว่าถ่านที่ทำการกระตุ้นนั้นมีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน AWWA B 604 ในขณะที่อุณหภูมิ 600 – 800 °C ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W มีค่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน AWWA B 604 คือ 600 mg/g ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยมากที่สุด คือ 763.93 mg/g ดังตาราง 4.11

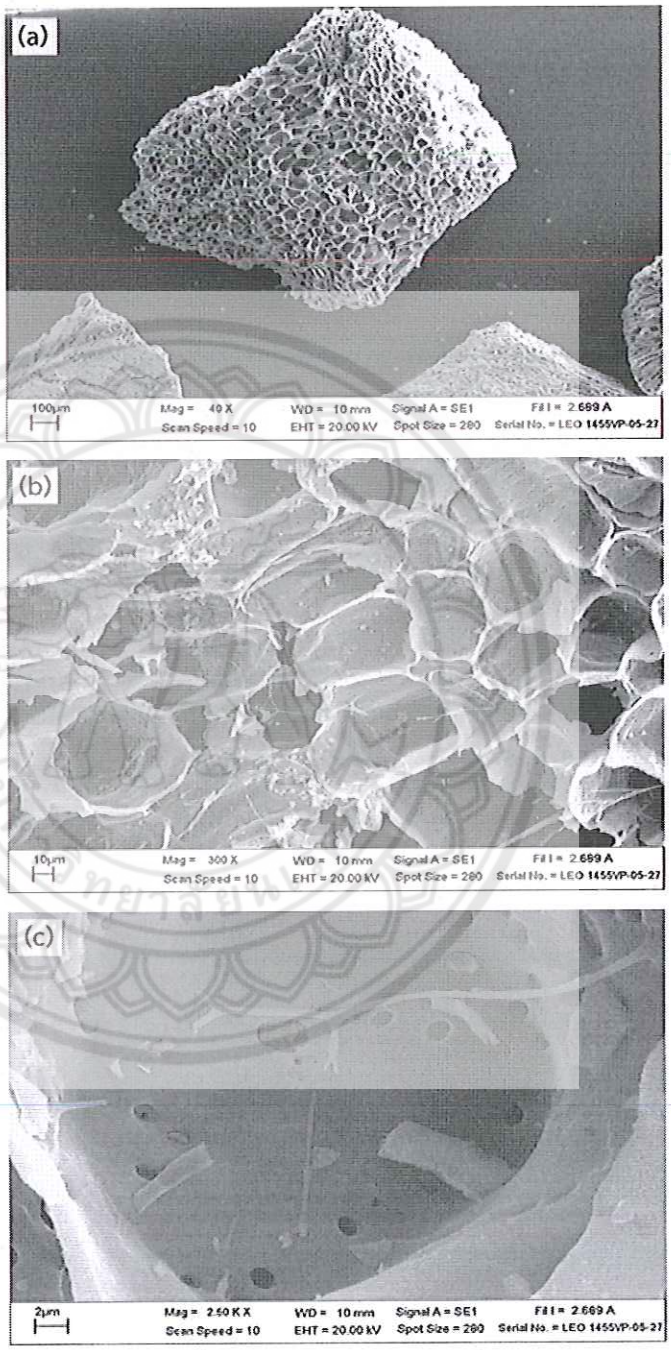
ตาราง 4.15 การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W

อุณหภูมิ (°C)	เวลาการกระตุ้น(นาที)	ค่าดูดซับไอโอดีน (mg/g)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
500	1	595.14	598.08	602.11	598.44 ± 3.50
	3	595.61	591.84	595.55	594.33 ± 2.16
	5	601.72	602.32	599.14	601.06 ± 1.69
600	1	659.85	669.75	653.74	661.11 ± 8.08
	3	649.84	663.44	650.04	654.44 ± 7.79
	5	643.92	643.92	644.89	644.24 ± 0.56
700	1	751.02	748.07	750.27	749.79 ± 1.53
	3	767.31	764.13	760.34	763.93 ± 3.49
	5	752.78	737.19	755.35	748.44 ± 9.83
800	1	834.72	825.50	814.30	824.84 ± 10.23
	3	842.71	835.93	823.77	834.14 ± 9.60
	5	850.09	870.26	861.47	860.61 ± 10.11

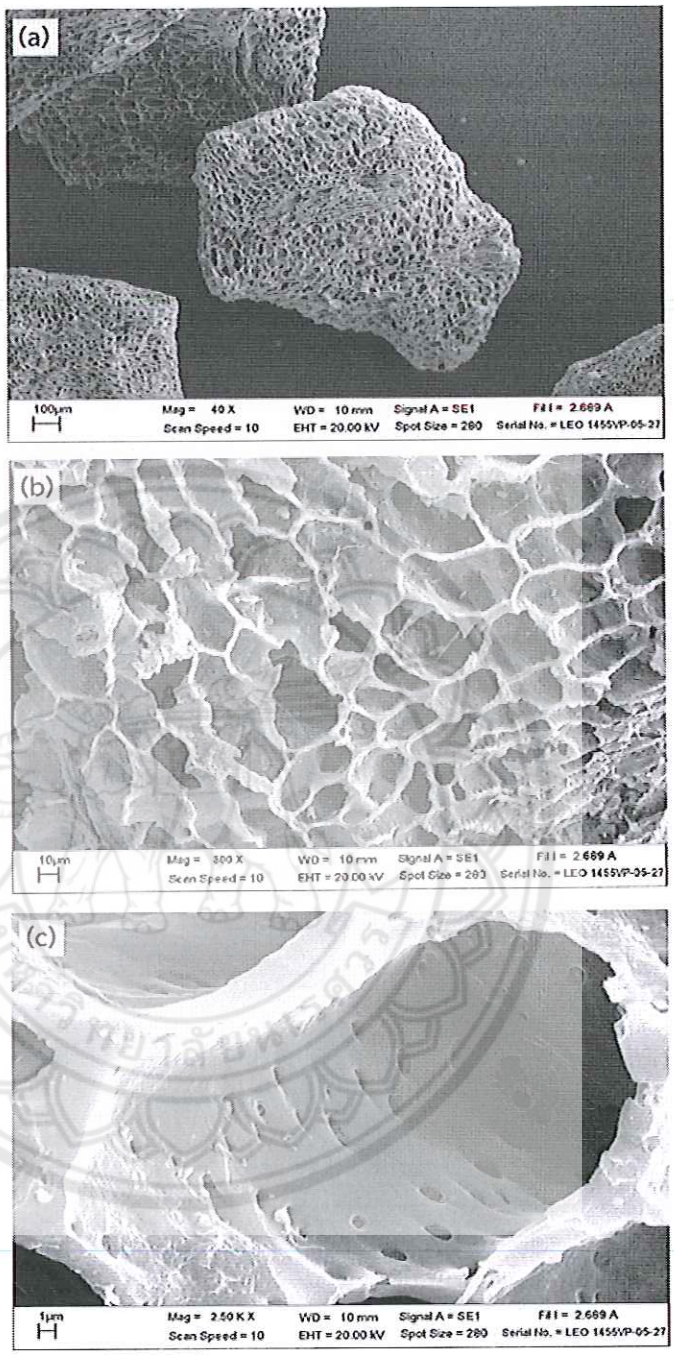


รูป 4.28 การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W

4.7.2.3 การศึกษาลักษณะทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM)

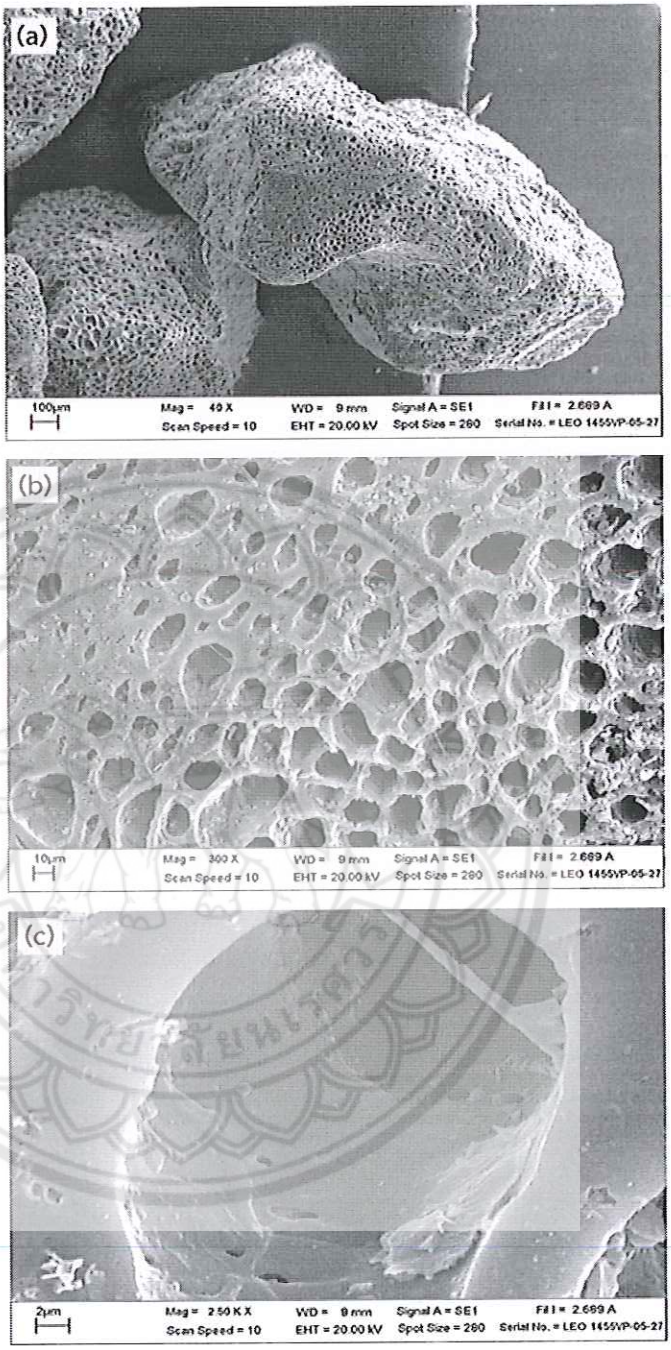


รูป 4.29 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 500 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า



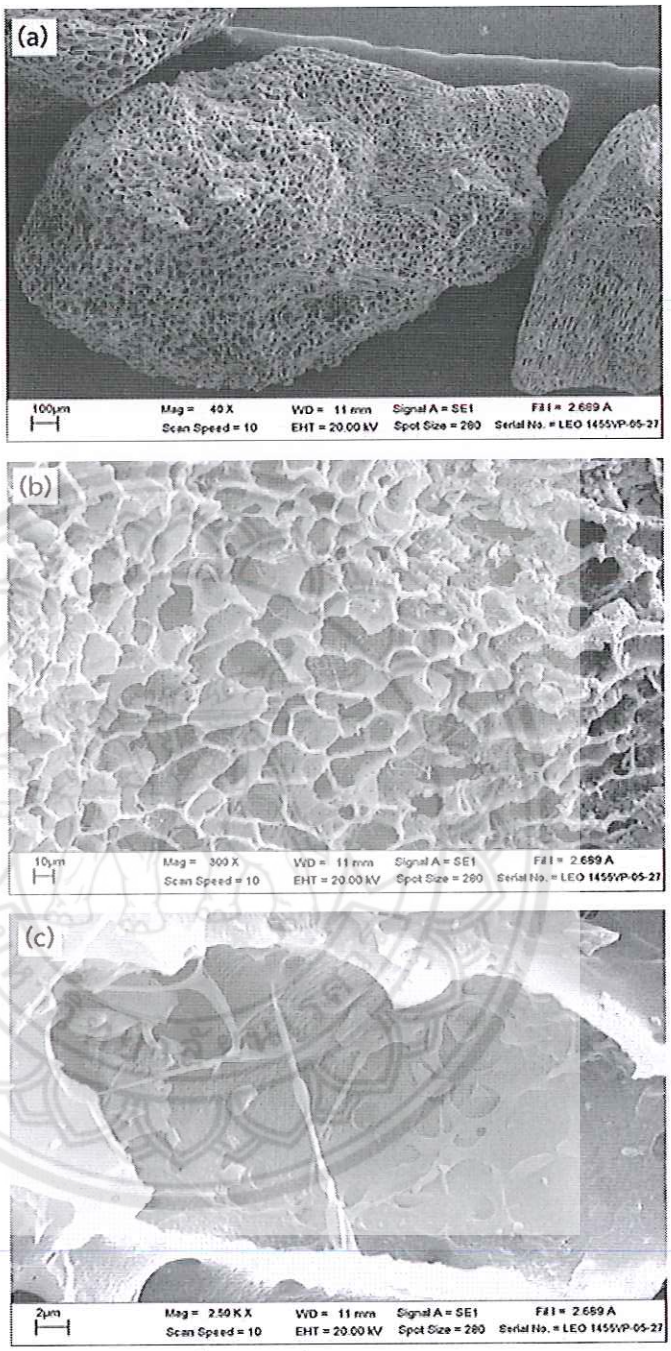
รูป 4.30 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า

ลักษณะถ่านที่อุณหภูมิ 500 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W พบว่ามีเส้นใยเกาะที่ผิวผนัง และมีปริมาณรูพรุนระดับ micropore น้อยกว่าถ่านที่อุณหภูมิ 600 °C ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W รูพรุนของถ่านที่ 600 °C นั้นมีขนาดที่แตกต่างกัน ที่ผิวผนังมีลักษณะขรุขระ



รูป 4.31 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ (c) กำลังขยาย 2,500 เท่า

ถ่านที่ 700 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ มีปริมาณรูพรุนลดลง และยังพบซิงค์คลอไรด์เกาะที่รูพรุนขนาดเล็ก ทำให้ถ่านไม่บริสุทธิ์



รูป 4.32 แสดงลักษณะสัณฐานของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 800 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 300 เท่า และ(c) กำลังขยาย 2,500 เท่า

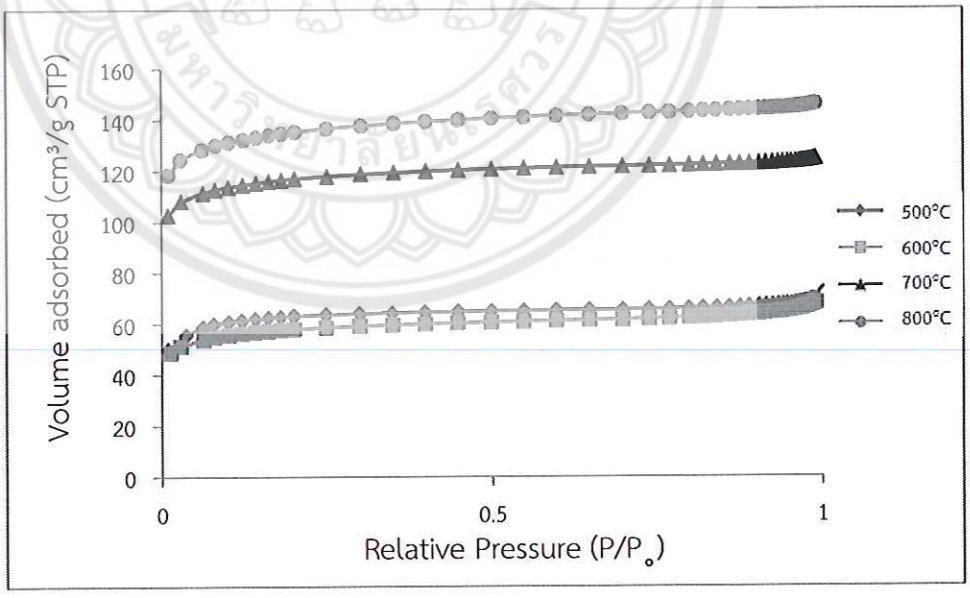
ถ่านที่อุณหภูมิ 800 °C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W พบว่าผิวผนังของถ่านกัมมันต์มีเศษผงถ่านอุดตามรูพรุน และยังพบเส้นใยเกาะที่ผิวผนังเป็นจำนวนมาก รูพรุนระดับ micropore มีลักษณะเป็นรูตัน และยังพบซิงค์คลอไรด์เกาะตามผิวผนังเป็นจำนวนมาก

4.7.2.4 ความเป็นรูพรุนของถ่านด้วยเครื่องมือ Brunauer-Emmertt-Teller (BET)

เมื่อทำการกระตุ้นถ่านด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W พบว่าถ่านที่อุณหภูมิ 500 และ 600 °C มีค่าความเป็นรูพรุนใกล้เคียงกัน และยังมีค่าความเป็นรูพรุนน้อยกว่าถ่านที่อุณหภูมิ 700 และ 800 °C ถ่านที่ทำการเผาด้วยอุณหภูมิ 800 °C มีความเป็นรูพรุนสูงที่สุด โดยมีพื้นที่ผิว 219.5502 m^2/g และมีปริมาตรรูพรุน 0.1071 cm^3/g ในขณะที่อุณหภูมิ 600 °C มีความเป็นรูพรุนน้อยที่สุด คือ มีพื้นที่ผิว 201.5700 m^2/g และมีปริมาตรรูพรุน 0.1039 cm^3/g ดังตาราง 4.16 และรูป 4.33

ตาราง 4.16 ความเป็นรูพรุนของถ่านถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W

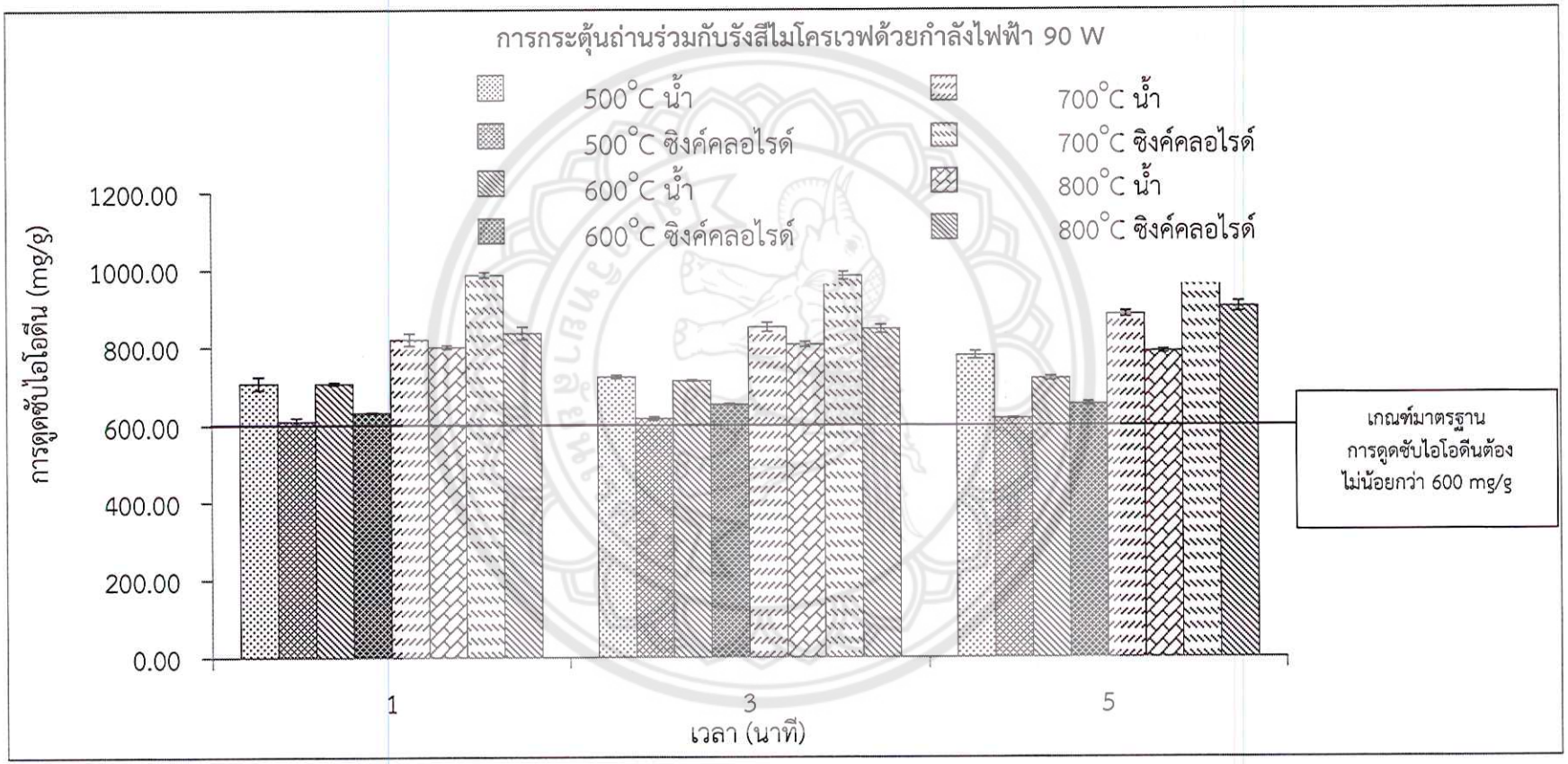
อุณหภูมิ (°C)	พื้นที่ผิว (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g)
500	219.5502	0.1071
600	201.5700	0.1039
700	406.5626	0.1924
800	470.2744	0.2253



รูป 4.33 ปริมาตรการดูดซับแก๊สไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W

4.8 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการกระตุ้นถ่านที่กำลังไฟฟ้า 90 W และ 360 W

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่กำลังไฟฟ้า 90 W พบว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำ มีร้อยละความชื้นอยู่ในช่วง 1.38 – 3.00 และค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วง 708.03 – 995.50 mg/g ซึ่งผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 900 – 2547 และยังพบรูพรุนกระจายทั่วทั้งก้อนถ่านดังรูปการศึกษาลักษณะสัณฐานของถ่าน ซึ่งรูพรุนของถ่านนั้นมีทั้งรูพรุนระดับ mesopore และ micropore ในขณะเดียวกันการกระตุ้นถ่านด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟมีร้อยละความชื้นอยู่ในช่วง 0.69 – 2.65 ค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วง 610.32 – 902.73 mg/g ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเช่นเดียวกับถ่านที่กระตุ้นด้วยน้ำ แต่จากการศึกษาพบว่ามีค่าการดูดซับไอโอดีนที่น้อยกว่าการกระตุ้นด้วยน้ำ สังเกตได้จากตารางการเปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนของการกระตุ้นด้วยน้ำ และซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 W ดังตาราง 4.17 จากการศึกษาลักษณะสัณฐานของถ่านพบว่ามีซิงค์คลอไรด์เกาะที่ผิวผนังของถ่าน จึงอาจกล่าวได้ว่าการเกาะของซิงค์คลอไรด์ทำให้ปริมาณการดูดซับไอโอดีนลดลง และจากการศึกษาการดูดซับแก๊สไนโตรเจน โดยเครื่องมือ BET พบว่าถ่านที่กระตุ้นด้วยน้ำนั้นมีความเป็นรูพรุนที่มากกว่า

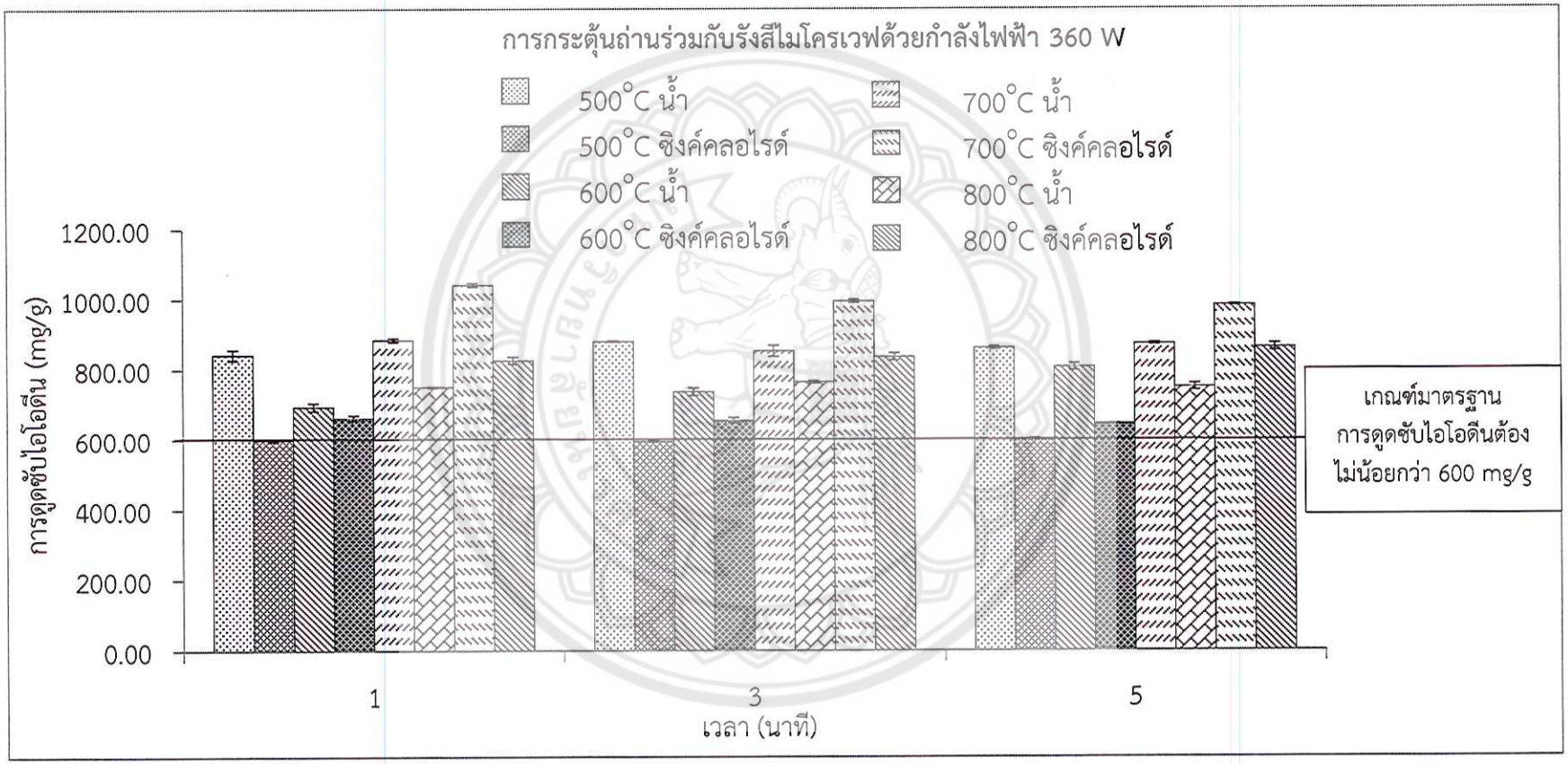


รูป 4.34 การเปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่กระตุ้นด้วยกำลังไฟฟ้า 90 W

ตาราง 4.17 การเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่กระตุ้นด้วยน้ำ และซิงค์คลอไรด์ ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 W

การกระตุ้น	อุณหภูมิ (°C)	เวลาการกระตุ้น (นาที)	ค่าดูดซับไอโอดีน (mg/g)			
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
น้ำ	500	1	717.46	719.37	689.23	708.69 ± 16.88
		3	721.31	729.72	722.25	724.43 ± 4.61
		5	788.98	774.01	770.47	777.82 ± 9.83
	600	1	708.06	711.75	704.29	708.03 ± 3.73
		3	712.89	714.87	716.87	714.88 ± 1.99
		5	713.74	720.93	724.27	719.65 ± 5.38
	700	1	801.88	833.41	823.63	819.64 ± 16.14
		3	838.65	855.37	861.16	851.73 ± 11.69
		5	883.91	890.86	876.39	883.72 ± 7.24
	800	1	993.13	979.15	989.08	987.12 ± 7.19
		3	981.34	977.10	996.00	984.81 ± 9.92
		5	981.34	996.30	1008.87	995.50 ± 13.78
ซิงค์คลอไรด์	500	1	604.56	605.58	620.82	610.32 ± 9.11
		3	620.45	618.95	611.62	617.01 ± 4.72
		5	615.80	617.69	616.77	616.75 ± 0.95
	600	1	633.04	633.35	631.87	632.75 ± 0.78
		3	651.14	655.95	652.44	653.18 ± 2.49
		5	659.53	649.78	653.74	654.35 ± 4.90
	700	1	794.87	800.93	804.28	800.03 ± 4.77
		3	800.93	814.11	805.38	806.81 ± 6.70
		5	782.10	790.25	790.73	787.69 ± 4.85
	800	1	847.07	844.22	817.24	836.18 ± 16.46
		3	834.41	853.37	852.60	846.79 ± 10.73
		5	913.93	906.29	887.98	902.73 ± 13.34

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่กำลังไฟฟ้า 360 W พบว่าถ่านที่กัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำร้อยละความชื้นอยู่ในช่วง 1.03 – 2.07 ค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วง 692.88 – 1041.58 mg/g จากการศึกษาพบว่า ถ่านที่อุณหภูมิ 800 °C กระตุ้นถ่านด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ เป็นเวลา 1 นาที ทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุด คือ 1041.58 mg/g ลักษณะสัณฐานของถ่านพบรูพรุนกระจายทั่วทั้งก้อน อีกทั้งยังพบรูพรุนระดับ mesoproe และ micropore เป็นจำนวนมาก ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ มีร้อยละความชื้นอยู่ในช่วง 0.98 – 2.59 ค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วง 594.33 – 860.61 mg/g จากการศึกษาพบว่า ถ่านที่ 500 °C เมื่อกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์กำลังไฟฟ้า 360 W ที่เวลา 1 และ 3 นาที มีค่าการดูดซับไอโอดีนไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่อุณหภูมิ 600 – 800 °C มีค่าการดูดซับไอโอดีนผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 400 – 2547 ดังตาราง 4.18 การเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่กระตุ้นด้วยน้ำ และซิงค์คลอไรด์ ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W ลักษณะสัณฐานของถ่านพบซิงค์คลอไรด์เกาะที่ผิวผนัง ซึ่งอาจทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนลดลง และทำให้ความเป็นรูพรุนของถ่านลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ BET พบว่าการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำมีความเป็นรูพรุนมากกว่าการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์



รูป 4.35 การเปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่กระตุ้นด้วยกำลังไฟฟ้า 360 W

ตาราง 4.18 การเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่กระตุ้นด้วยน้ำ และซิงค์คลอไรด์ ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W

อุณหภูมิ (°C)	เวลาการกระตุ้น(นาที)	ค่าดูดซับไอโอดีน (mg/g)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
500	1	839.75	826.90	857.18	841.28	15.20
	3	880.50	875.76	879.71	878.66	2.54
	5	858.64	864.30	855.56	859.50	4.43
600	1	700.45	697.52	680.66	692.88	10.68
	3	746.27	734.84	725.57	735.56	10.37
	5	809.25	812.44	795.15	805.61	9.20
700	1	881.39	889.42	878.69	883.17	5.58
	3	851.10	866.98	835.48	851.19	15.75
	5	874.41	868.83	868.92	870.72	3.20
800	1	1037.89	1047.92	1038.93	1041.58	5.52
	3	997.69	994.72	988.18	993.53	4.87
	5	979.05	982.26	982.26	981.19	1.85
500	1	595.14	598.08	602.11	598.44	3.50
	3	595.61	591.84	595.55	594.33	2.16
	5	601.72	602.32	599.14	601.06	1.69
600	1	659.85	669.75	653.74	661.11	8.08
	3	649.84	663.44	650.04	654.44	7.79
	5	643.92	643.92	644.89	644.24	0.56
700	1	751.02	748.07	750.27	749.79	1.53
	3	767.31	764.13	760.34	763.93	3.49
	5	752.78	737.19	755.35	748.44	9.83
800	1	834.72	825.50	814.30	824.84	10.23
	3	842.71	835.93	823.77	834.14	9.60
	5	850.09	870.26	861.47	860.61	10.11

เมื่อเปรียบเทียบการกระตุ้นถ่านที่กำลังไฟฟ้า 90 W และ 360 W พบว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำนั้น มีคุณสมบัติความเป็นถ่านกัมมันต์ที่มากขึ้นเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการกระตุ้น แต่ในขณะเดียวกันเมื่อทำการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ พบว่าถ่านกัมนต์มีคุณสมบัติความป็นถ่านกัมมันต์ลดลงเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการกระตุ้น อีกทั้งถ่านที่ได้นั้นยังไม่บริสุทธ์ จึงไม่เหมาะแก่การนำมาใช้ประโยชน์ในการดูดซับสารต่างๆ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม โดยวิธีการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ และซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ และทำการศึกษาค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้ ค่าร้อยละของความชื้น และค่าการดูดซับไอโอดีน จากเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์กำหนดค่าการดูดซับไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600 mg/g และร้อยละของความชื้นไม่เกิน 8 %

พบว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่ และซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 90 W ที่เวลาการกระตุ้น 1, 3 และ 5 นาที พบว่ามีร้อยละค่าความชื้นอยู่ในช่วง 0.96 -3.00 และมีค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ระหว่าง 610.32 - 995.50 mg/g การกระตุ้นถ่านด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ และการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 360 W พบว่ามีร้อยละความชื้นอยู่ในช่วง 0.98 – 2.59 ค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วง 594.33 – 1,041.58 mg/g จากการศึกษาพบว่าการกระตุ้นถ่านด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการกระตุ้น มีผลทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับลักษณะสัณฐานของถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาณรูพรุนเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การกระตุ้นถ่านด้วยซิงค์คลอไรด์ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการกระตุ้นมีผลทำให้ค่าการดูดซับลดลง กล่าวได้ว่า ถ่านกัมมันต์ได้จากการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับคลื่นไมโครเวฟมีค่าผ่านมาตรฐาน มอก. 400 - 2547 อีกทั้งยังมีค่าคุณภาพของถ่านมากกว่ามาตรฐานที่กำหนด อย่างไรก็ตาม ถ่านที่อุณหภูมิ 500 $^{\circ}$C กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ กำลังไฟฟ้า 360 W ที่เวลา 1 และ 3 นาที มีค่าการดูดซับไอโอดีนไม่ผ่านเกณฑ์อุตสาหกรรม และเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการผลิตถ่านกัมมันต์ ให้สอดคล้องกับการประหยัดพลังงานคือ การกระตุ้นถ่านที่อุณหภูมิ 500 $^{\circ}$C ด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 360 W เป็นเวลา 3 นาที เนื่องจากมีค่าการดูดซับไอโอดีนใกล้เคียงกับถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิสูง ปรากฏรูพรุนระดับ micropore อย่างชัดเจน อีกทั้งยังมีพื้นที่ผิวสูงอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนกระตุ้นถ่าน ควรกำหนดอัตราส่วนของน้ำ หรือสารระลายในปริมาณที่มากกว่าถ่านเพื่อป้องกันการแตกของบีกเกอร์ในระหว่างทำการทดลอง
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการนำเอาถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์จริง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเผยแพร่การผลิตและการใช้งานต่อไป

บรรณานุกรม

[1] อรไพลิน สมประสิทธ์. (2557). **การผลิตผงถ่านกัมมันต์จากเปลือกแมคคาเดเมีย.** การศึกษาปัญหาพิเศษสำหรับฟิสิกส์ประยุกต์ 2. สาขาฟิสิกส์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยนเรศวร

[2] รณชัย พรเจริญ. (2546). **การผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยกระบวนการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี.** ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

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

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

[5] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม (2547). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสหกรรมถ่านกัมมันต์ มอก 900 – 2547.** กระทรวงอุตสาหกรรม

[6] สุพรรณี จันทร์ภิรมณ์.(2549). **ถ่านกัมมันต์จากเม็ดลำไย: แบบจำลองการกระตุ้นและการดูดซับไอน้ำและเบนซีน.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[7] พรรณธิดา บรรจง และเดชา ฉัตรศิริเวช. (2554). **การดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย.** ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ 10330

[8] รุจิรา ปิ่นแก้ว (2556). **การผลิตและการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดเพื่อใช้ในการดูดซับมีเทน.** สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

[9] นภารัตน์ จิวาลักษณ์ และ คณะ (2555). **การเตรียมและการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร.** มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

[10] สิริลักษณ์ ตาตะยานนท์ และคณะ (มปป.). **การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากชีวมวล.** สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้.

[11] W. T. Tsai, C. Y. Chang and S. L. Lee. **A low cost adsorbent from agricultural wastecorn cob by zinc chloride activation.** Bioresource Technology. 1998, 64, 211-217

[12] สุพะไชย์ จินดาวุฒิกุล (มปป.). **การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุดูดซับ.** วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 186, 22-24.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ข้าวโพด

รูป ข้าวโพด ที่มา: http://puechkaset.com/ข้าวโพดหวาน

ชื่อสามัญ	Corn
ชื่อพฤกษศาสตร์	Zea mays L.
ชื่อวงศ์	POACEAE
แหล่งกำเนิดและการกระจายพันธุ์	อเมริกากลาง

ข้าวโพดเป็นธัญพืชสำคัญชนิดหนึ่ง อยู่ในวงศ์เดียวกับไผ่ (ดูไผ่ตง) ตะไคร้ หญ้าและธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวบาร์เลย์ และข้าวสาลี ข้าวโพดมีถิ่นกำเนิดในเม็กซิโกและอเมริกากลาง ชาวโปรตุเกสเป็นผู้นำข้าวโพดมาปลูกในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เมื่อประมาณ 400 ปีมาแล้ว

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

พืชพวกหญ้า ไม้ล้มลุกอายุหนึ่งปี ดอกแยกเพศร่วมต้น มักไม่แตกกอ ใบเดี่ยว เรียงสลับเป็น 2 แถว กาบใบซ้อนทับกัน มีเขี้ยว แผ่นใบรูปใบหอกแกมรูปแถบ ช่อดอกเพศผู้ออกที่ปลายยอด ช่อดอกเพศเมียแบบช่อเชิงลด ช่อผลถูกใบประดับห่อหุ้มมิดชิด รูปทรงกระบอก ผลแบบผลธัญพืช มี 30-100 ผลในแต่ละช่อ เรียงเป็นแถวยาวเป็นระเบียบ ผลรูปสามเหลี่ยมหรือรูปไข่กลับ แบน สีขาว เหลือง ม่วงแดง ม่วงดำ หรือมีสีปนกัน [1]

ชนิดของข้าวโพด โดยทั่วไปข้าวโพดจัดออกเป็น 5 กลุ่ม คือ

1. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หรือข้าวโพดไร่ (Field Corn) ที่รู้จักในปัจจุบัน เช่น ข้าวโพดหัวบุ๋ม (Dent Corn) และข้าวโพดหัวแข็ง (Fint Corn) ซึ่งเป็นการเรียกตามลักษณะเมล็ดข้าวโพดหัวบุ๋มหรือหัวบุบ ข้าวโพดชนิดนี้เมื่อเมล็ดแห้งแล้วตรงส่วนหัวบนสุดจะมีรอยบุ๋มลงไป ซึ่งเป็นส่วนของแป้งสีขาว ข้าวโพดชนิดนี้สำคัญมากและนิยมปลูกกันมากใน ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะทางแถบคอร์นเบลท์ สีของเมล็ดมีตั้งแต่ขาวไปจนถึงเหลือง เนื่องจากมีหลายสายพันธุ์มีโปรตีนน้อย กว่าพวกข้าวโพดหัวแข็ง ข้าวโพด

หัวแข็ง ข้าวโพดพันธุ์นี้ส่วนขนสุดของเมล็ดมักมีสีเหลืองจัดและเมื่อแห้งจะแข็งมาก ภายในเมล็ดมีสารที่ทำให้ข้าวโพดมีสีเหลืองจัดเป็นสารให้สีที่ชื่อ คริปโตแซนทีน (Cruptoxanthin) สารนี้เมื่อสัตว์ได้รับร่างกายสัตว์จะเปลี่ยนสารนี้ให้เป็นไวตามินเอ นอกจากนี้สารนี้ยังช่วยให้ไข่แดงมีสีแดงเข้ม ช่วยให้ไก่มีผิวหนัง ปาก เนื้อ และแข้งมีสีเหลืองเข้มขึ้น เป็นที่นิยมของตลาดโดยเฉพาะแถบอเมริกาส่วนอังกฤษนั้นนิยมใช้ข้าวโพดขาว

2. ข้าวโพดหวาน (Sweet Corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน ไม่มีการแปรรูป เมล็ดมักจะใสและเหี่ยวเมื่อแก่เต็มที่ เพราะมีน้ำตาลมาก ก่อนที่จะสุกจะมีรสหวานมากกว่าชนิดอื่น ๆ จึงเรียกข้าวโพดหวาน มีหลายสายพันธุ์

3. ข้าวโพดคั่ว (Pop Corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน ไม่มีการแปรรูป เมล็ดค่อนข้างแข็ง สีดีและขนาดแตกต่างกัน สำหรับต่างประเทศ ถ้าเมล็ดมีลักษณะแหลมเรียกว่า ข้าวโพดข้าว (Rice Corn) ถ้าเมล็ดกลม เรียกว่า ข้าวโพดไข่มุก (Pearl Corn)

4. ข้าวโพดแป้ง (Flour Corn) เมล็ดมีสีหลายชนิด เช่น ขาว (ขุ่น ๆ หรือปนเหลืองนิด ๆ) หรือสีน้ำเงินคล้ำ หรือมีทั้งสีขาวและสีน้ำเงินคล้ำในฝักเดียวกัน เนื่องจากกลายพันธุ์ พวกที่มีเมล็ดสีคล้ำและพวกกลายพันธุ์เรียกว่าข้าวโพดอินเดียนแดง (Squaw Corn) หรือเรียกได้อีกชื่อว่าข้าวโพดพันธุ์พื้นเมือง (Native Corn) พวกข้าวโพดสีคล้ำนี้จะมีไนอาซีน สูงกว่าข้าวโพดที่มีแป้งสีขาว

5. ข้าวโพดเทียน (Waxy Corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน จะมีแป้งที่มีลักษณะเฉพาะคือ นุ่มเหนียว เพราะในเนื้อแป้งจะประกอบด้วยแป้งพวกแอมมิโลเปคติน (Amylopectin) ส่วนข้าวโพดอื่น ๆ มีแป้งแอมมิโลส (Amylose) ประกอบอยู่ด้วย จึงทำให้แป้งค่อนข้างแข็ง [2]

ประวัติของข้าวโพดในประเทศไทย

ปัจจุบันนี้ไม่ทราบแน่ชัดว่าบรรพบุรุษของไทยเรา รู้จักปลูกข้าวโพดกันมาตั้งแต่เมื่อใด ถึงแม้จะมีการค้นคว้าว่า ชนชาติไทยอาจรู้จักปลูกข้าวโพดกันมาก่อนที่จะอพยพมาตั้งถิ่นฐานอยู่ในแหลมทอง บางท่านสันนิษฐานว่าได้รับข้าวโพดมาจากอินเดีย แต่ทั้งนี้ไม่มีหลักฐานยืนยันได้แน่ชัด ซึ่งเอกสารเก่าแก่ที่พบเป็นจดหมายเหตุของลูแบร์ (Monsieur De La Loubere) ชาวฝรั่งเศสที่เข้ามาเมืองไทยในสมัยแผ่นดินสมเด็จพระนารายณ์มหาราชระหว่างปี พ.ศ. 2230 - 2231 โดยได้เขียนไว้ว่า "คนไทยปลูกข้าวโพดแต่ในสวนเท่านั้น และต้มกินหรือเผากินทั้งฝักโดยมิได้ปอกเปลือก หรือกะเทาะเมล็ดเสียก่อน" เขายังได้อธิบายถึงข้าวโพดสาลี (kaou-possali) ว่าเป็นอาหารเฉพาะพระเจ้าแผ่นดิน จดหมายเหตุฉบับนี้ ทำให้ทราบว่าข้าวโพดมีปลูกในประเทศไทยมาตั้งแต่สมัยนั้นแล้ว หากแต่ปลูกกันไม่มากและเป็นพืชหายาก หรือพืชแปลกที่นำมาจากที่อื่น

ข้าวโพดในสมัยโบราณของไทย อาจเป็นพืชหลวง หรือพืชหายากดังกล่าวมาแล้ว ราษฎรสามัญอาจไม่ได้ปลูกกันมาก แต่เนื่องจากข้าวโพดเป็นพืชที่มีความเหมาะสมกับสภาพดินฟ้าอากาศของไทย และปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ง่าย ในระยะต่อมาจึงได้ขยายพันธุ์ออกไปในหมู่ประชาชนอย่างแพร่หลาย และมีการปลูกกันไม่มากนัก เพราะไม่ใช่อาหารหลักเหมือนข้าวเจ้า ส่วนมากจะปลูกในสวน ในที่ดอน หรือในที่ที่น้ำไม่ท่วม เพื่อรับประทานแทนข้าวในยามเกิดทุพภิกขภัย เมื่อทำนาไม่ได้ผล การปลูกข้าวโพดในสมัยก่อนๆ นั้นจึงไม่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ

ในสมัยหลังสงครามโลกครั้งที่ 1 นับว่าเป็นยุคต้นๆ ของการกสิกรรมสมัยใหม่ของประเทศไทย หรือที่เรียกกันว่า "การกสิกรรมบนดอน" โดยมีนักเกษตรรุ่นแรกหลายท่านที่ได้ไปศึกษาการเกษตรแผนใหม่มาจากต่างประเทศ และได้เห็นความสำคัญของการปลูกพืชไร่ หรือพืชดอน เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์และเพื่อการทำไร่นาผสม เป็นการบุกเบิกกสิกรรมแนวใหม่ในประเทศไทย ซึ่งแต่เดิมเคยปลูกข้าวเพียงอย่างเดียว และมีข้าวโพดรวมอยู่ด้วย แต่เดิมข้าวโพดที่มีปลูกกันในประเทศไทยขณะนั้น เป็นชนิดหัวแข็ง (flint corn) และมีสีเหลืองเข้มแต่เมล็ดมีขนาดเล็กมาก เป็นพันธุ์ที่นำมาจากอินโดจีน ต่อมา ม.จ. สิทธิพร กฤดากร อดีตอธิบดีกรมเพาะปลูก (กรมวิชาการเกษตรในปัจจุบัน) ซึ่งได้ลาออกไปทำฟาร์มส่วนตัวที่ตำบลบางเบิด อำเภอสะพานใหญ่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2463 ได้ทดลองสั่งพันธุ์ข้าวโพดไร่ชนิดหัวบุบ (dent corn) มาจากสหรัฐอเมริกา และทดลองปลูกเป็นครั้งแรกในประเทศไทยจำนวน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์นิโคลสันเยลโลเดนต์ (nicholson's yellow dent) ซึ่งมีเมล็ดสีเหลือง และพันธุ์เม็กซิกันจูน (mexican june) ซึ่งมีเมล็ดสีขาว โดยได้ทดลองปลูกที่ฟาร์มบางเบิด เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2467 เพื่อใช้เมล็ดเลี้ยงไก่ไข่ขายส่งตลาดกรุงเทพฯ และเลี้ยงสุกรขายตลาดปีนัง นอกจากนี้ ท่านยังได้ส่งไปขายเป็นอาหารไก่ในประเทศญี่ปุ่นอีกด้วย

ต่อมาเมื่อปี พ.ศ. 2469 โรงเรียนฝึกหัดครูประถมกสิกรรมของกระทรวงศึกษาธิการ ภายใต้การควบคุมของพระยาเทพศาสตร์สถิตย์ ตั้งอยู่ตำบลบางสะพานใหญ่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ได้นำไปทดลองปลูกที่โรงเรียนก็ได้ผลดีมาก เมื่อโรงเรียนย้ายมาอยู่ทับกวาง ได้นำข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์มาปลูกแบบการค้าเป็นการใหญ่ โดยใช้เครื่องมือทุ่นแรงต่างๆ ทำให้ ได้ฝักใหญ่และงามดีมาก เพราะดินเป็นดินใหม่ หลวงชุณห์กสิกรได้รายงานว่า ข้าวโพดพันธุ์เม็กวิกันจูน ซึ่งทดลองปลูกที่โรงเรียนฝึกหัดครูกสิกรรรทับกวางได้ผลเฉลี่ย 2,300 ฝัก/ไร่ หรือเมล็ดแก่ 825 ปอนด์/ไร่ โดยพืชที่ปลูกระหว่างหลุมข้าวโพดมีถั่วฝักยาว ส่วนระหว่างแถวมีถั่วลิสง และพริกขี้หนู ดินที่ปลูกไม่ได้รับการบำรุงจากปุ๋ยเลย และขณะนั้นขายได้ราคาปอนด์ละ 10 สตางค์ ปรากฏว่าได้กำไรไร่ละ 30 บาท ต่อมาโรงเรียนฝึกหัดครูกสิกรรมแห่งนี้ได้ทำการปลูกข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์เป็นการค้าเรื่อยมาเป็นเวลาหลายปี และเมล็ดพันธุ์ก็ได้แพร่หลายไปในหมู่กสิกรจังหวัดใกล้เคียง เช่น ลพบุรี สระบุรี นครราชสีมา โดยกสิกรได้คัดเลือก และเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ใช้เอง และได้รู้จักกันในนามของข้าวโพดฟันม้า หรือข้าวโพดพันธุ์ปากช่อง ซึ่งต่อมาได้แพร่หลายไปตามแหล่งต่างๆ

ถึงแม้จะได้มีการส่งเสริมการปลูกพืชไร่ และข้าวโพดกันในระยะก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 แต่ปริมาณการปลูกข้าวโพดในระยะนั้น ก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมาก ต่อมาเมื่อหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้ยุติลงในปี พ.ศ. 2486 ปริมาณการปลูกข้าวโพดจึงได้ค่อยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในระยะหลังจากปี พ.ศ. 2498 เป็นต้นมา เนื้อที่และผลิตผลของข้าวโพดได้เพิ่มขึ้นจากในปี พ.ศ. 2488 หลายร้อยเท่า และในปี พ.ศ. 2508 เป็นปีแรกที่ผลิตผลข้าวโพดได้เพิ่มขึ้นถึงระดับ 1 ล้านเมตริกตัน และผลิตผลยังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แม้ในปัจจุบันนี้ [3]

ที่มา: [1] http://www.sc.mahidol.ac.th/wiki/doku.php?id=ข้าวโพด
[2] http://www.mof.or.th/web/agriculture.php?id=52&cat=23
[3] http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book

การเผาถ่านหรือคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization)

การเผาถ่านหรือคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) การแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) ซึ่งเป็นการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบที่อุณหภูมิสูงในสภาพไร้ออกซิเจนหรือมีปริมาณออกซิเจนจา กัด เพื่อป้องกันไม่ให้วัตถุดิบเกิดการลุกไหม้และกลายสภาพเป็นเถ้า โดยในระหว่างการคาร์บอไนซ์นั้นธาตุที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจนและออกซิเจน จะถูกขจัดออกไปอยู่ในสถานะแก๊ส [1]

การเผาถ่านหรือคาร์บอนไนเซชัน แบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนการอบแห้ง เป็นขั้นตอนการไล่น้ำออกจากไม้ เป็นกระบวนการดูดความร้อน (Endothermic) อุณหภูมิไม่เกิน 200 °C

2. ขั้นตอนก่อนกระบวนการคาร์บอไนเซชั่น (Pre – carbonization) เป็นขั้นตอนการดูดความร้อน ที่อุณหภูมิอยู่ในช่วง 170 – 300 °C ในขั้นตอนนี้ได้ผลิตภัณฑ์ คือ ของเหลวไพโรลิกเนียสบางชนิด ได้แก่ เมทานอล และกรดอะซีติก และแก๊สบางชนิด คือ คาร์บอนมอนออกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เล็กน้อย

3. ขั้นตอนการเกิดถ่าน เป็นขั้นตอนการคายความร้อน ที่อุณหภูมิ 250 – 300 °C เป็นขั้นตอนที่ไล่ของเหลวทาร์ และกรดไพโรลิกเนียสออกจากไม้ ทำให้ได้ถ่าน

4. ขั้นตอนการเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงตัว เป็นกระบวนการการคายความร้อน ขั้นตอนสุดท้ายที่มีอุณหภูมิสูงสุดกว่า 300 °C เพื่อไล่สารระเหยที่เหลืออกจากไม้ ทำให้ได้ปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านมากขึ้น [2]

ที่มา: [1] นางสาวเจือจันทน์ เกตษา (2556). ผลของอุณหภูมิคาร์บอไนเซชันต่อสมบัติของถ่านชาร์และถ่านกัมมันต์จากะลามะพร้าว. สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[2] ศิรินุช จินดารักษ์.(ม.ป.ป.). การผลิตถ่านไม้และกระบวนการไพโรไลซิส.เอกสารประกอบการเรียนรายวิชาการเปลี่ยนรูปชีวมวลเป็นพลังงาน 262361, พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร

Thermogravimetric Analysis (TGA)

เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน หรือ Thermogravimetric Analysis (TGA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของวัตถุต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยใช้การวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวและความละเอียดสูง ในสภาวะแวดล้อมที่ผู้ทดลองกำหนด สมารถใช้ในการศึกษาสมบัติของตัวอย่างได้หลากหลายชนิด ทั้งตัวอย่างในกลุ่ม Ceramic, Polymer หรือสาร inorganic ต่างๆ ได้ สามารถวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลว การสูญเสียน้ำหนัก หาสารเจือปนในตัวอย่าง รวมไปถึงการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง Phase ของตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อน

ที่มา: http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/thermal-analysis-instrument-menu.html

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ (มอก 900 – 2547)

คุณลักษณะทางฟิสิกส์และเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด จะต้องมีคุณสมบัติดังตารางต่อไปนี้

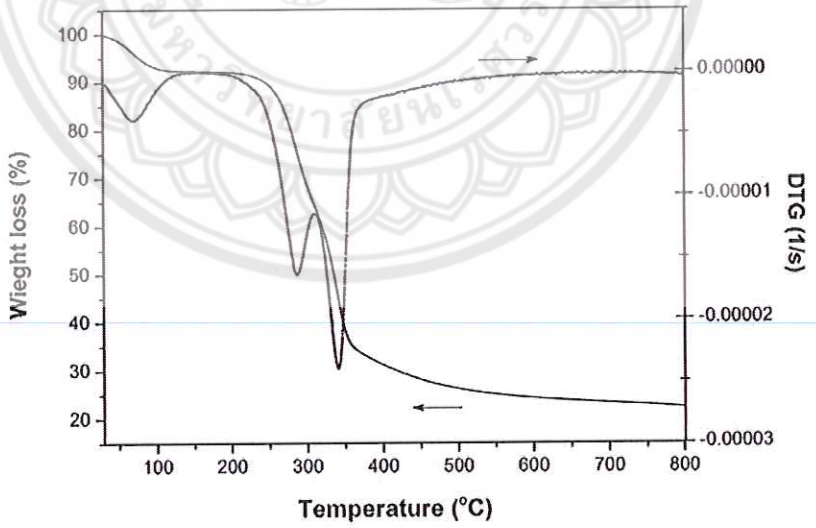
ตาราง คุณลักษณะทางฟิสิกส์และเคมีของชนิดเม็ด

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		วิธีทดสอบตาม
		ชั้นคุณภาพพิเศษ	ชั้นคุณภาพที่ 1	
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	1 000	600	AWWA B 604
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8		
3	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลุกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.2		
4	ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละไม่น้อยกว่า	70		AWWA B 604 Ro – Tap Abrasion test

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม (2547)

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ Thermogravimetric Analysis (TGA)



รูป การวิเคราะห์ Thermogravimetric Analysis (TGA)

จากภาพกการวิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของซังข้าวโพด พบว่ามีการใช้พลังงานในการไล่ความชื้นในช่วงอุณหภูมิ 100 °C สังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงเฟสในแกนของ DTG และมีการสูญเสียน้ำหนักเพียงเล็กน้อย จากการกระบวนไล่ความชื้น ในช่วงอุณหภูมิ 300 – 500 ° C มีการ

เปลี่ยนแปลงเฟสอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบเป็นไฮโดรคาร์บอน ได้เปลี่ยนเฟสเป็นคาร์บอนทำให้มวลของซังข้าวโพดลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมินี้ และในช่วงอุณหภูมินี้ยังพบว่ามีการใช้พลังงานอย่างมากในการไล่ของเหลวทาร์ และกรดไพโรลิกเนียส ที่เป็นโครสร้างเซลลูโลสทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเฟสของ DTG อย่างรวดเร็ว ในขณะที่อุณหภูมิตั้งแต่ 500 - 800 °C เป็นช่วงอุณหภูมิของการหลุดออกของคาร์บอนที่ไม่เสถียร จึงมีการเปลี่ยนเฟสเพียงเล็กน้อย และไม่มีการใช้พลังงานในการไล่สารต่างๆ ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ DTG ดังรูป ในช่วงอุณหภูมินี้จึงพบว่าเป็นช่วงอุณหภูมิการเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงตัว

ผลการศึกษาการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ

จากการศึกษาการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยหม้อไอน้ำความดัน ที่ความดัน 20 psi อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 20 นาที ของถ่านที่ 500 °C พบว่ามีค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วง 576.04 mg/g ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 900 – 2547) และยังพบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนนั้นมีค่าที่น้อยกว่าถ่านที่ยังไม่ทำการกระตุ้น ซึ่งค่าการดูดซับไอโอดีนที่ลดลงนี้อาจเกิดจากการอุดตันของเศษผงถ่านภายในรูพรุน ทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าที่ลดลงดังตารางต่อไปนี้

ตาราง ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ

อุณหภูมิ (°C)	ค่าดูดซับไอโอดีน (mg/g)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
500	577.61	578.43	572.08	576.04 ± 3.45

อักษรย่อ

W	= กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
^{o}C	= องศาเซลเซียส
K	= องศาเคลวิน
Å	= อังสตรอม
m	= เมตร
mm	= มิลลิเมตร
µm	= ไมโครเมตร
nm	= นาโนเมตร
g	= กรัม
M	= ความเข้มข้นสารละลาย (โมลาร์)
mol/dm^3	= โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
kJ/mol	= กิโลจูลต่อโมล
molecule/mol	= โมเลกุลต่อโมล
pH	= ค่าความเป็นกรด – ด่าง
M	= โมลาร์
BET	= Brunauer-Emmertt-Teller
P/P_0	= ความดันสัมพัทธ์
SEM	= Scanning Electron Microscope
psi	= Pound per Square Inch หรือ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
eV	= อิเล็กตรอนโวลต์
N	= จำนวนกรัมสมมูลของสารละลาย 1 ลิตร
l	= ลิตร
ml	= มิลลิลิตร
mg/g	= มิลลิกรัมต่อกรัม
$ZnCl_2$	= ซิงคคลอไรด์
KOH	= โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
H_3PO_4	= กรดฟอสฟอริก
NaOH	= โซเดียมไฮดรอกไซด์
C	= คาร์บอน

อักษรย่อ (ต่อ)

H_2O	= น้ำ
CO_2	= คาร์บอนไดออกไซด์
O_2	= ออกซิเจน
m^2/g	= ตารางเมตรต่อกรัม

cm^3/g	= ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม
≈	= ค่าประมาณ