

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์
จากเปลือกหมากและเมล็ดหมาก



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY OF OPTIMUM CONDITION FOR PREPARATION OF ACTIVATED CARBON
FROM SHELL AND NUT BETEL**



**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING,
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรเรื่อง

การศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์
จากเปลือกหมากและเมล็ดหมาก

โดย

นางสาวนิภาพร บุญครอง

นางสาวมลิสสา นวลเสื่อ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์

ปริญญาบัตรนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาบัตร



พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์

.....ประธานกรรมการ

(ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์)

ดวงกมล ธรรมนง

.....กรรมการ

(พศ.ดร.ดวงกมล ธรรมนง)

อ.บุญชัย โชติวิริยาณิชย์

.....กรรมการ

(อ.บุญชัย โชติวิริยาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์
จากเปลือกหมากและเมล็ดหมาก

โดย นางสาวนิภาพร บุญครอง รหัสประจำตัว 47010392
นางสาวมลิสสา นวลเสื่อ รหัสประจำตัว 47010589

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้ศึกษาการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกหมากและเมล็ดหมาก โดยการคาร์บอนไนซ์ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิระหว่าง 450-650 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เป็นเวลา 60 90 และ 120 นาที พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์เปลือกหมาก คือ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ในเวลา 120 นาที และพบว่าที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ในเวลา 90 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ถ่านชาร์จากเมล็ดหมาก จากการศึกษาภาวะที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวด ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 120 และ 180 นาที และวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ด้วยวิธีบีอีที พบว่า ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นถ่านชาร์จากเปลือกหมากและเมล็ดหมากให้ผลสอดคล้องกัน คือ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในเวลา 180 นาที คาร์บอนกัมมันต์จากเมล็ดหมากให้พื้นที่ผิวสูงถึง 500 ตารางเมตรต่อกรัม ขณะที่พื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกหมากไม่เกิน 408 ตารางเมตรต่อกรัม อาจเป็นผลมาจากเปลือกหมากมีปริมาณเถ้าสูงและมีปริมาณคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบน้อยกว่าเมล็ดหมาก

Report title Study of Optimum Condition for Preparation of Activated Carbons from shell and nut Betel

By Miss Nipaporn Boonkrong ID. 47010392
Miss Malisa Nuansuea ID. 47010589

Advisor Dr.Pornsawan Assawasangrat

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

Activated carbon is generated from shell and nut Betel. After drying the biomass via carbonization under nitrogen atmosphere in temperature range of 450-650 °C at heating rate of 10 °C/min, and in period of 60, 90 and 120 minutes. The results exhibited the most suitable condition for Betel shells at 600 °C in period of 120 minutes and Betel nuts at 650 °C in 90 minutes. The activation of the chars is performed as steam activation at temperature 800 °C and in period of 60, 120 and 180 minutes. The surface area of the activated carbons are determined by using BET method. The results exhibited the most suitable condition for shell and nut Betel at 800 °C in period of 180 minutes. It is shown that Betel nuts provides high surfaces area of 500 m²/g whereas the surface of Betel shells is less than 408 m²/g which might be a result of high ash content of shells and slightly higher carbon content of the Betel nuts.

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ก
สารบัญรูป	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 คาร์บอนกัมมันต์	
2.1.1 ความหมายของคาร์บอนกัมมันต์	3
2.1.2 ลักษณะ โครงสร้างของคาร์บอนกัมมันต์	3
2.1.3 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์	6
2.1.4 ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์	7
2.1.5 ประโยชน์ของคาร์บอนกัมมันต์	10
2.1.6 กระบวนการผลิตคาร์บอนกัมมันต์	12
2.1.7 การวิเคราะห์คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์	16
2.2 หมาก	18
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 การคาร์บอนไนซ์	24
3.2 การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวด	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	
4.1 การคาร์บอนไนซ์	26
4.2 การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวดและการทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	36
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัว ความชื้น เถ้า และสารระเหย	39
ภาคผนวก ข. แบบจำลองเครื่องปฏิบัติการเผา	45
ภาคผนวก ค. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคาร์บอนกัมมันต์	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	วัตถุดิบต่าง ๆ ที่ได้มีการศึกษาใช้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์	7
ตารางที่ 2.2	การแบ่งกลุ่มขนาดของรูพรุนตาม International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)	8
ตารางที่ 2.3	อุณหภูมิที่เหมาะสมและชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการกระตุ้นทางกายภาพสำหรับแก๊สชนิดต่างๆ	15
ตารางที่ 4.1	การเปรียบเทียบงานวิจัยซึ่งใช้การกระตุ้นด้วยไอน้ำ	34
ตารางที่ ก.1	น้ำหนักของเมส็ดหมากที่คาร์บอนไนซ์เป็นเวลา 60 นาทีโดยแปรค่าอุณหภูมิต่างๆ	41
ตารางที่ ก.2	ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณร้อยละของความชื้นที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ	42
ตารางที่ ก.3	ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณร้อยละของเถ้าที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ	42
ตารางที่ ก.4	ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณร้อยละของสารระเหยที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ	43
ตารางที่ ค.1	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์ผง	53
ตารางที่ ค.2	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์เม็ด	53
ตารางที่ ค.3	แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ	54

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	ลักษณะ โครงสร้างของผลึกแกรไฟต์แบบ Three-dimensional graphite	4
รูปที่ 2.2	ลักษณะ โครงสร้างของผลึกแกรไฟต์แบบ Turbostratic structure	4
รูปที่ 2.3	ตัวอย่างหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดบนผิวคาร์บอนกัมมันต์	5
รูปที่ 2.4	ตัวอย่างปฏิกิริยาของคาร์บอนกัมมันต์ที่มีผิวเป็นกรด	6
รูปที่ 2.5	ตัวอย่างปฏิกิริยาการดูดซับ โมเลกุลกรด ด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่มีผิวเป็น ต่าง	6
รูปที่ 2.6	การกระจายของปริมาตรจำเพาะและขนาดรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์	8
รูปที่ 2.7	การเขียนกราฟเส้นตรงของสมการบีอ์ที เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า V_m	17
รูปที่ 2.8	ตัวอย่างสารที่พบในเมล็ดหมาก 1-2 สารที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนไม่ อิ่มตัว (piperidine ring) 3 สารที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนอิ่มตัว (piperidine ring) 4-5 สารที่มีโครงสร้างเป็น 1 วงแหวน และ 1 พันธะคู่ (arecoline isomers และ homologues) 6-8 สารที่มีโครงสร้างเป็น 1 วง แหวนและ 2 พันธะคู่ (dihydropyridine ring)	19
รูปที่ 4.1	น้ำหนัที่หายไปของเปลือกหมากที่อุณหภูมิในช่วง 50-700 องศา เซลเซียส	27
รูปที่ 4.2	น้ำหนัที่หายไปของเมล็ดหมากที่อุณหภูมิในช่วง 50-700 องศาเซลเซียส	28
รูปที่ 4.3	ผลของอุณหภูมิต่อถ่านชาร์จากเปลือกหมากซึ่งคาร์บอนไนซ์ที่เวลา 60 นาที	29
รูปที่ 4.4	ผลของอุณหภูมิต่อถ่านชาร์จากเมล็ดหมากซึ่งคาร์บอนไนซ์ที่เวลา 60 นาที	30
รูปที่ 4.5	ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลผลิตซึ่งคาร์บอนไนซ์ที่เวลา 60 นาที	31
รูปที่ 4.6	ผลของเวลาที่ใช้ในการคาร์บอนไนซ์ต่อถ่านชาร์จากเปลือกหมากซึ่งคาร์ บอนไนซ์ที่ 600 องศาเซลเซียส	31
รูปที่ 4.7	ผลของเวลาที่ใช้ในการคาร์บอนไนซ์ต่อถ่านชาร์จากเมล็ดหมากซึ่ง คาร์บอนไนซ์ที่ 650 องศาเซลเซียส	32
รูปที่ 4.8	ผลของเวลาในการคาร์บอนไนซ์ต่อร้อยละผลผลิต (คาร์บอนไนซ์เปลือก หมากและเมล็ดหมาก ที่อุณหภูมิ 600 และ 650 องศาเซลเซียส ตามลำดับ)	32
รูปที่ 4.9	พื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ที่เวลาในการกระตุ้นใดๆ	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ข.1	แบบจำลองการเผาแบบอับอากาศ	45
รูปที่ ข.2	ชุดควบคุมอุณหภูมิ	46
รูปที่ ข.3	ชุดควบคุมอุณหภูมิ	46
รูปที่ ข.4	เตาเผาความร้อนสูง	47
รูปที่ ข.5	เครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำ	47
รูปที่ ข.6	เครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำกับเครื่องให้ความร้อน	48
รูปที่ ข.7	เทอร์โมคัปเปิลที่ต่อเข้ากับเครื่องปฏิกรณ์ความร้อน	48
รูปที่ ข.8	ชุดปฏิกรณ์การเผาแบบอับอากาศ	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

คาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนสูงจึงมีการนำคาร์บอนกัมมันต์มาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง คาร์บอนกัมมันต์ถูกใช้เป็นตัวดูดซับสารทั้งที่อยู่ในสถานะแก๊สและของเหลวในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นใช้ในการฟอกสีน้ำตาลดิบ ใช้ดูดกลิ่นและสีของผลิตภัณฑ์อาหาร ใช้ในโรงงานทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ และใช้ในการดูดซับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย เป็นต้น ดังนั้นความต้องการใช้คาร์บอนกัมมันต์จึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์นั้น พบว่าโดยมากมักใช้ถ่านที่ได้จากการเผาอินทรีย์วัตถุ ซึ่งเรียกว่า “ถ่านสังเคราะห์” (Artificial char) ในปัจจุบันคาร์บอนกัมมันต์ที่มีจำหน่ายอยู่ผลิตจากถ่านหินแอนทราไซท์ ไม้ และกะลามะพร้าว นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากวัตถุดิบตั้งต้นประเภทต่างๆ เช่น ยูคาลิปตัส ชานอ้อย ฟางข้าว กากถั่วเหลือง เปลือกวอลนัท เมล็ดมะกอก รากหญ้าแฝก และปาล์มน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งใช้กรรมวิธีการสังเคราะห์ที่แตกต่างกันไป

หมากเป็นไม้โตเร็วชนิดหนึ่งที่นิยมปลูก เพราะให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจได้รวดเร็ว และมีลักษณะการใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ในทางอุตสาหกรรมเมื่อดิบมากเมื่อนำมาสกัดจะได้ใบมัน เมือก ขางและสารอัลคาลอยด์ชนิดหนึ่งที่มีสารแทนนินสูง ซึ่งสามารถใช้ในการผลิตยารักษาโรคและอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ใช้ทำสีต่างๆ ใช้ย้อมแห อวน ทำให้แห อวน นิ่มและอ่อนตัว ยืดอายุการใช้งานได้นาน เส้นด้ายไม่เปื่อยเร็ว ใช้สกัดทำยารักษาโรค ขาสมานแผล ใช้สกัดทำน้ำยาฟอกหนัง ทำให้หนังนิ่มและมีสีสวย เป็นต้น นอกจากนี้ประเทศไทยยังส่งออกหมากใน 2 รูปแบบ คือ หมากสดและหมากแห้ง หมากสดส่งขายในรูปของหมากอ่อน ตลาดที่รับซื้อหมากอ่อนมากที่สุด คือ ใต้หวัน และหมากแห้ง ประเทศที่นำเข้าที่สำคัญ คือ อินเดีย ปากีสถาน บังกลาเทศ และซาอุดีอาระเบีย [1]

วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการดังกล่าว ได้แก่ เปลือกหมากและกากเมล็ดหมากจะกำจัดโดยนำไปฝัง เผาทำลาย ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องผลิตไอน้ำ และใช้ทำปุ๋ย หากสามารถนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ ก็นับได้ว่าเป็นการช่วยจัดการกับวัสดุเหลือทิ้งอีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่หมากซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกหมากและเมล็ดหมากโดยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกหมากและเมล็ดหมาก โดยการคาร์บอนในสภาวะได้บรรยากาศของแก๊สในโตรเจน ที่อุณหภูมิ 450 500 550 600 และ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 90 และ 120 นาที

1.3.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวด ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 120 และ 180 นาที

1.3.3 วิเคราะห์พื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีบีอีที

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกหมากและเมล็ดหมาก ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ที่มีคุณภาพจากหมากต่อไป

1.4.2 เป็นแนวทางหนึ่งในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากหมากให้สามารถนำกลับมาใช้ได้โดยเกิดประโยชน์สูงสุด

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คาร์บอนกัมมันต์

2.1.1 ความหมายของคาร์บอนกัมมันต์ [2]

Derbyshire กล่าวว่า คาร์บอนกัมมันต์ คือ วัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูง สามารถดูดซับสารเคมีจากแก๊สและของเหลวได้ดี และสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน โดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ คาร์บอนกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้

Jankowska กล่าวว่า คาร์บอนกัมมันต์ คือ การนำเอาวัสดุคิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ มาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ ซึ่งทำให้วัสดุคิบนั้นมีโครงสร้างรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูง โดย คาร์บอนกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก (87-90%) และมีธาตุอื่นที่เป็นองค์ประกอบ คือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีในวัสดุคิบและอาจเกิดขึ้นได้อีกในขั้นตอนการผลิต

ตาม มอก. 900-2532 กล่าวว่า คาร์บอนกัมมันต์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัสดุคิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

อาจกล่าวได้ว่า คาร์บอนกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัสดุคิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาทำการคาร์บอนไนซ์ (Carbonization) และการกระตุ้น (Activation) คาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตได้เป็นที่รู้จักกันมานานในแง่ของการใช้เป็นตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับสูง ทั้งนี้เนื่องจากคาร์บอนกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงและมีรูพรุนมาก นอกจากนี้ตามผิวของรูพรุนเหล่านี้ยังมีอิเล็กตรอนอิสระที่พร้อมจะแลกเปลี่ยนประจุและยึดเหนี่ยวโมเลกุลของสารต่าง ๆ ได้ดี

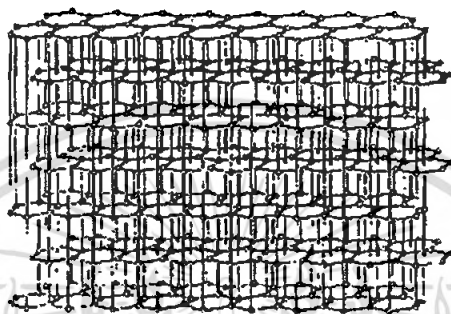
2.1.2 ลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนกัมมันต์ [3-4]

ก. โครงสร้างรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์

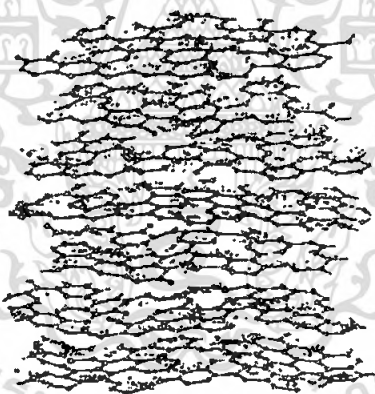
คาร์บอนกัมมันต์มีลักษณะเป็นผลึก โครงสร้างผลึกของคาร์บอนกัมมันต์จะมีการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนโดยยึดเกาะกันในลักษณะหกเหลี่ยมด้วยพันธะ โคเวเลนต์ มีลักษณะคล้ายผลึกแกรไฟต์ดังรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปขนาดและรูปร่าง โครงสร้างของผลึกเหล่านี้จะ

เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เผา ถ้าอุณหภูมิที่เผาสูงผลึกคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีขนาดเล็ก นอกจากนี้รูปร่างอะตอมของคาร์บอนยังเปลี่ยนตามส่วนประกอบและ โครงสร้างของวัตถุดิบ

ผลึกจะเกิดขึ้นด้วยกระบวนการหลายๆ แบบ ในระหว่างที่มีการให้ความร้อนสารอินทรีย์จะรวมกันก่อให้เกิด โครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติก การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจะเกิดขึ้น โดยที่ยังมีส่วนของไฮโดรคาร์บอนและวงแหวนเหลืออยู่ซึ่งสามารถสร้างพันธะกับธาตุอื่นที่เข้าไปจับกับอะตอมของไฮโดรเจน ออกซิเจน และคาร์บอน ทำให้มีผลต่อการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของผลึกแกรไฟต์แบบ Three-dimensional graphite [5]



รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของผลึกแกรไฟต์แบบ Turbostratic structure [5]

ข. โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์

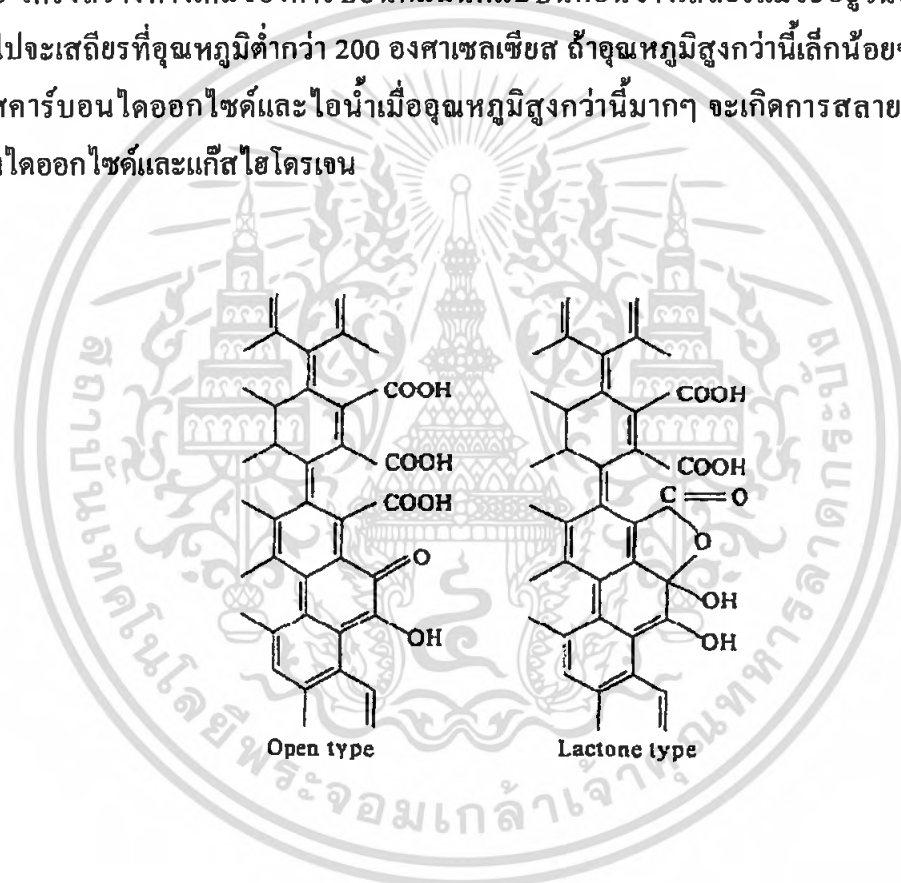
การคาร์บอนไนซ์จะทำให้สารอินทรีย์เกิดการสลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส อะตอมต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน ได้แก่ ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จะถูกกำจัดออกมาในรูปของแก๊ส อะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นจะประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมเชื่อมโยงกันอย่างเป็นระเบียบ ทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรงซึ่งน้ำมันทาร์และสารอื่นๆ ที่ได้จากการเผาผลาญจะเข้าไปอยู่ภายในรูพรุนนี้ เมื่อนำมากระตุณรูพรุนเหล่านี้มีความสามารถใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

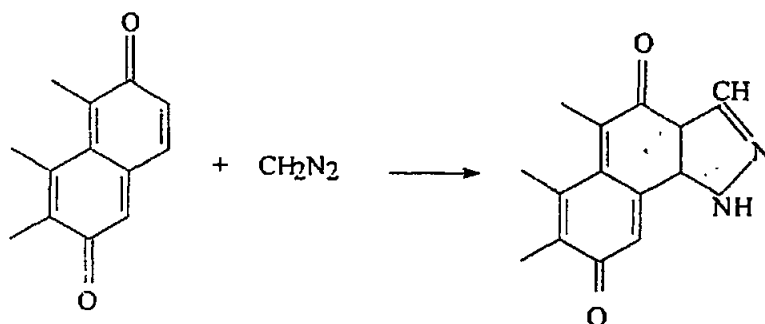
การดูดซับ ซึ่งเป็นการล้างน้ำมันหยาบและสารต่างๆ ออกจากรูปพรุน แล้วจะสร้างหมู่ฟังก์ชันขึ้นมาแทน ดังนั้น โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์จึงมีผลต่อความสามารถในการดูดซับด้วย

โดยทั่วไปผิวของคาร์บอนกัมมันต์จะเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ซึ่งเกิดจากอะตอมของคาร์บอนกับออกซิเจน ที่เรียกว่า ผิวออกไซด์ มีอยู่ 2 ชนิด ดังนี้

1. ชนิดที่เป็นกรด มักเป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นภายใต้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก คือ ประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส หมู่ฟังก์ชันที่เกาะอยู่บนพื้นผิวคาร์บอนกัมมันต์จะมีคุณสมบัติคล้ายกรด ได้แก่ คาร์บอนิล (Carbonyls) ฟีนอล (Phenols) เลคโตน (Lactones) อัลดีไฮด์ (Aldehyde) คีโตน (Ketone) ควิโนน (Quinones) ไฮโดรควิโนน (Hydroquinone) เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์แบบนี้ค่อนข้างเสถียรแม้จะอยู่ในสุญญากาศ โดยทั่วไปจะเสถียรที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้เล็กน้อยจะสลายตัวเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำเมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้มากๆ จะเกิดการสลายตัวให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจน

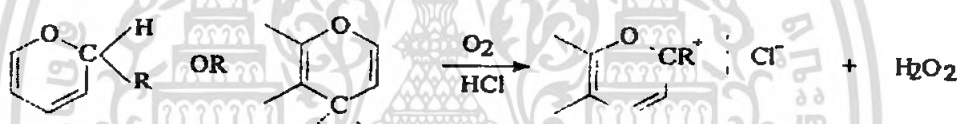


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดบนผิวคาร์บอนกัมมันต์ [6]



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างปฏิกิริยาของคาร์บอนกัมมันต์ที่มีผิวเป็นกรด [6]

2. ชนิดที่เป็นต่าง เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส หมู่ฟังก์ชันที่เกาะอยู่บนผิวของคาร์บอนกัมมันต์ สามารถดูดซับ โมเลกุลของกรดได้ดี ได้แก่ ไฮดรอกไซด์ (Hydroxide) คาร์บอเนต (Carbonate) เป็นต้น



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างปฏิกิริยาการดูดซับ โมเลกุลกรดด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่มีผิวเป็นต่าง [6]

2.1.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ [6]

วัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบทั้งจากพืช สัตว์ หรือแร่ธาตุต่างๆ สามารถนำมาผลิตเป็นคาร์บอนกัมมันต์ได้ วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตในระดับอุตสาหกรรม คือ ฟืน ถ่านหิน ลิกไนต์ และกะลามะพร้าว เนื่องจากสามารถผลิตคาร์บอนกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูงและมีรูปพรูณขนาดเล็ก วัตถุดิบที่นำมาผลิตคาร์บอนกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง
- มีคุณสมบัติคงที่
- มีราคาถูกและหาง่าย

ทั้งนี้ตัวอย่างแหล่งของวัตถุดิบที่เคยมีผู้นำนามาผลิตคาร์บอนกัมมันต์แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วัสดุดิบต่างๆ ที่ได้มีการศึกษาใช้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ [7]

ชานอ้อย (Bagasses)	ไม้ (Wood)
กากของบีช (Beet-sugar sludge)	เขม่า (Lampblack)
เลือด (Blood)	กากหนัง (Leather waste)
กระดูก (Bones)	ลิกนิน (lignin)
สารจำพวกแป้ง (Carbohydrates)	ถ่านลิกไนต์ (Lignite)
เมล็ดพืช (Cereals)	กากน้ำตาล (Molasses)
ถ่านหิน (Coal)	เปลือกถั่ว (Nut shell)
กะลามะพร้าว (Coconut shell)	หินน้ำมัน (Oil shale)
เมล็ดกาแฟ (Coffee beans)	ถ่านหินพีท (Peat)
ซังข้าวโพด (Corn cobs and corn stalks)	กากกรดปิโตรเลียม (Petroleum acid sludge)
เปลือกเมล็ดฝ้าย (Cotton seed hull)	ถ่านหินน้ำมัน (Petroleum coke)
ของเสียโรงกลั่นสุรา (Distillery waste)	ของเสียจากเยื่อกระดาษ (Pulp-mill waste)
ฝุ่นจากปล่องไฟ (Flue dust)	ของเสียจากยาง (Rubber waste)
ขี้เลื่อย (Sawdust)	แกรไฟต์ (Graphite)
รากหญ้าแฝก (Vetiver grass)	

2.1.4 ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์ [8]

ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่สนใจ โดยสามารถแบ่งได้ตามคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ

- แบ่งตามลักษณะของการดูดซับ
- แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ
- แบ่งตามชนิดของการกระตุ้น
- แบ่งตามขนาดรูพรุนบนผิวของคาร์บอนกัมมันต์

ก. แบ่งตามลักษณะการดูดซับ

คาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับสีและกลิ่นได้ในสภาพของแข็งและแก๊ส ดังนั้นสามารถจำแนก คาร์บอนกัมมันต์ตามลักษณะการดูดซับได้ 2 ชนิด คือ

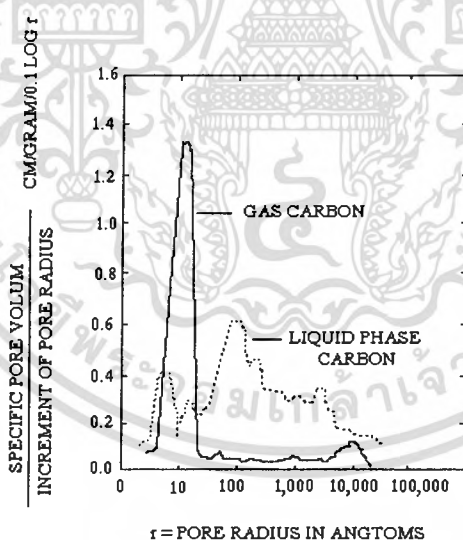
1. Gas adsorbent activated carbon โดยส่วนใหญ่มักใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้ในการทำแก๊สให้บริสุทธิ์

2. Liquid adsorbent activated carbon มักใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้ในการฟอกสี หรือการทำของเหลวให้บริสุทธิ์

ข้อแตกต่างของคาร์บอนกัมมันต์สองประเภทนี้ คือ การกระจายของปริมาตรจำเพาะและขนาดรูพรุน (Pore size distribution) การแบ่งขนาดของรูพรุน ดังตารางที่ 2.2 และจากรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ดูดซับแก๊สจะมีขนาดรัศมีของรูพรุนส่วนใหญ่เล็กกว่า 20 อังสตรอม ซึ่งเป็นรูพรุนแบบไมโครพอร์ (Micropores) ส่วนคาร์บอนคาร์บอนกัมมันต์ที่ดูดซับของเหลวมีรูพรุนอยู่ในช่วง 20-500 อังสตรอม ซึ่งเป็นรูพรุนแบบเมโซพอร์ (Mesopores)

ตารางที่ 2.2 การแบ่งกลุ่มขนาดของรูพรุนตาม International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) [9]

ประเภทของรูพรุน	รัศมีรูพรุน (นาโนเมตร)	รัศมีรูพรุน (อังสตรอม)
ไมโครพอร์ (Micropores)	< 2	< 20
เมโซพอร์ (Mesopores)	2-50	20-500
แมคโครพอร์ (Macropores)	> 50	> 500



รูปที่ 2.6 การกระจายของปริมาตรจำเพาะและขนาดรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ [5]

ข. แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ

คาร์บอนกัมมันต์สามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง (Powdered activated carbon: PAC)
2. คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon: GAC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่มีขนาดประมาณ 10-50 ไมโครเมตรหรือน้อยกว่า มักผลิตจากวัตถุดิบประเภท เศษไม้ เศษถ่าน หรือซีลีเยียมผสมกับสารละลายซิงค์คลอไรด์ วิธีการบดคาร์บอนกัมมันต์มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ เช่น การบดคาร์บอนกัมมันต์ด้วยเครื่องบดแบบบอลมิลต์ จะได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีลักษณะเม็ดเล็กรูปไข่ ความสามารถในการดูดซับน้อยกว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการบดด้วยเครื่องคราด (Pulverizer) ซึ่งจะได้แบบเม็ดยาวเรียวย คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผงนิยมใช้ในกระบวนการตกตะกอนหรือการกรองน้ำ นอกจากนี้ ยังอาจใช้เป็น Precoat ของเครื่องกรองแบบแท่งที่เรียกว่า Candle filter ที่ใช้ในการผลิตน้ำซึ่งต้องการความบริสุทธิ์สูงมากสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุตสาหกรรมอื่นๆ

ข้อดีของคาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง

1. คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผงมีราคาถูกกว่าคาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ดประมาณ 2-3 เท่า
2. การเพิ่มหรือลดปริมาณคาร์บอนกัมมันต์สามารถทำได้ทันทีและสะดวก ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับผิวของคาร์บอนกัมมันต์
3. การดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเพราะ โมเลกุลหรือคอลลอยด์สามารถสัมผัสกับผิวของคาร์บอนกัมมันต์ได้ง่าย

ข้อเสียของคาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง

1. การปรับปรุงสภาพคาร์บอนกัมมันต์ชนิดผงที่เสื่อมสภาพแล้วมักไม่คุ้มค่า ดังนั้นการใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผงจึงเป็นแบบใช้แล้วทิ้ง
2. แม้ว่าคาร์บอนกัมมันต์ชนิดผงสามารถกำจัดสิ่งเจือปนให้เหลือน้อยลงได้ แต่ถ้าต้องการกำจัดให้หมดต้องใช้ปริมาณมากซึ่งไม่คุ้มค่า การใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผงในการกรองน้ำที่ต้องการความบริสุทธิ์ โดยปกติไม่ควรเกิน 25-50 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ด

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มักผลิตจากถ่านโค้ก กะลามะพร้าวหรือเมล็ดผลไม้ เป็นต้น จากการบดวัสดุขนาดใหญ่จะได้ลักษณะเม็ด หรือการอัดเศษคาร์บอนกัมมันต์ผ่านแม่แบบออกมาเป็นแท่งแล้วตัดเป็นท่อนทรงกระบอกขนาดเท่าๆ กัน คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ดมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดเม็ดทรายกรองน้ำแข็งแต่เปราะ และเบากว่าทราย

ข้อดีของคาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ด คือ หลังจากใช้และเสื่อมสภาพแล้วสามารถนำไปปรับปรุงสภาพและนำกลับมาใช้ได้ใหม่ แต่อย่างไรก็ตามการปรับปรุงสภาพทุกครั้งต้องมีการสูญเสียคาร์บอน เพราะการปรับปรุงสภาพต้องทำที่อุณหภูมิสูงมากทำให้คาร์บอนบางส่วนปนเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น [10]

คาร์บอนกัมมันต์แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้นได้ดังนี้

1. คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical activated carbon)

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดซ์ เช่น แก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์ ไออน้ำ คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากวิธีนี้จะมีขนาดเล็ก นิยมใช้ดูดซับแก๊สและไอระเหย

2. คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารเคมีเป็นสารกระตุ้น (Chemical activated carbon)

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เป็นสารกระตุ้น เช่น ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากวิธีนี้จะมีรูพรุนขนาดใหญ่

ง. แบ่งตามขนาดรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ [9]

คาร์บอนกัมมันต์แบ่งตามขนาดรูพรุนได้ดังนี้

1. คาร์บอนกัมมันต์ที่มีขนาดรูพรุนแบบไมโครพอร์

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 2 นาโนเมตร ใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย

2. คาร์บอนกัมมันต์ที่มีขนาดรูพรุนแบบเมโซพอร์

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนอยู่ในช่วง 2-50 นาโนเมตร ใช้ในการดูดซับของเหลวหรือสารที่ขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น การฟอกสี

3. คาร์บอนกัมมันต์ที่มีขนาดรูพรุนแบบแมคโครพอร์

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร ใช้ในการดูดซับสารที่ขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น การฟอกสีที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าแบบเมโซพอร์

2.1.5 ประโยชน์ของคาร์บอนกัมมันต์ [4]

ประมาณร้อยละ 60 ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตได้เป็นคาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง ซึ่งจะนำไปประยุกต์ใช้กับสารที่เป็นของเหลว ส่วนคาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ดใช้ในการดูดซับแก๊ส ตัวอย่างการนำคาร์บอนกัมมันต์ไปใช้ ได้แก่

ก. ประเภทใช้กับของเหลว จะใช้ใน

อุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล

- วัตถุประสงค์หลัก คือ ใช้คาร์บอนกัมมันต์เพื่อฟอกสีน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล

- ใช้ในการดูดซับพวกโปรตีน เหล็ก หินปูน และฟอสเฟต ออกจากสารประกอบเด็กซ์

ทริน (Dextrin) มอลโทส (Maltose) และเด็คซ์โทส (Dextrose) ทำให้สีของน้ำเชื่อม (Syrup) อยู่คงทนไม่เปลี่ยนเป็นสีคล้ำเมื่อเวลาผ่านไป

อุตสาหกรรมเครื่องดื่มและแอลกอฮอล์

- วิสกี้ ใช้คาร์บอนกัมมันต์กำจัดรสและกลิ่นที่ไม่ต้องการ โดยการนำคาร์บอนกัมมันต์มาทำเป็นชั้นให้วิสกี้ผ่าน (คล้ายการกรอง) หรือนำคาร์บอนกัมมันต์ผสมเข้ากับวิสกี้โดยตรง ประมาณร้อยละ 0.1-0.5 แล้วจึงกรองออกภายหลัง

- ไวน์ ใช้คาร์บอนกัมมันต์เพื่อให้ได้ไวน์ที่มีกรดดีขึ้น แต่จะมีความผิดทางกฎหมาย

- เบียร์ ใช้คาร์บอนกัมมันต์เติมลงในเบียร์ เพื่อกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากการแช่เย็น โดยคาร์บอนกัมมันต์จะทำหน้าที่ดูดซับตะกอน โปรตีนที่เอนไซม์ย่อยไม่ได้ และยังใช้คาร์บอนกัมมันต์ในการเตรียมน้ำสะอาดก่อนนำไปต้มเพื่อผลิตเบียร์อีกด้วย

อุตสาหกรรมอาหาร

- ใช้คาร์บอนกัมมันต์ดูดสีและกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากเจลาติน ทำให้เจลาตินใสและสะอาด

- ใช้คาร์บอนกัมมันต์ดูดซับเพกติน (Pectin) ซึ่งเป็นสารที่สกัดจากผลไม้หลายชนิด และมักจะมีสีม่วง มีกลิ่นเฉพาะตัว

- ใช้คาร์บอนกัมมันต์ดูดซับสีและกลิ่นออกจากน้ำผลไม้โดยการเติมคาร์บอนกัมมันต์แล้วกรองออก แต่ต้องใช้คาร์บอนกัมมันต์ในปริมาณที่พอเหมาะ มิฉะนั้นจะทำให้รสและกลิ่นของน้ำผลไม้เปลี่ยนไป

อุตสาหกรรมการทำน้ำให้บริสุทธิ์

- ใช้คาร์บอนกัมมันต์ดูดซับคลอรีนและสารอื่นๆ ที่อยู่ในน้ำประปาหรือน้ำบาดาล ซึ่งอาจทำได้ 2 วิธี คือ

ก. ใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผงใส่ลงในน้ำแล้วกรองออก

ข. ใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ดทำเป็นชั้นให้น้ำไหลผ่าน

อุตสาหกรรมผลิตไขมันและน้ำมัน

- ใช้กำจัดสิ่งปลอมปนในน้ำมันพืช

- ใช้ดูดซับตัวยับยั้ง (Inhibitor)

- ใช้ร่วมกับดินช่วยฟอกขาว (Bleaching earth) เพื่อให้ได้สีของน้ำมันตามต้องการและมีรสดีขึ้น

การทำให้ตัวทำละลายบริสุทธิ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

- ในอุตสาหกรรมหลายประเภทนำตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตดินปืนชนิดไม่มีควัน อุตสาหกรรมผลิตฟิล์มถ่ายภาพ อุตสาหกรรมผลิตหนังเทียม มีการนำแอลกอฮอล์ อีเทอร์ และอะซีโตน กลับมาใช้ใหม่ โดยการใส่คาร์บอนกัมมันต์เป็นตัวดูดซับสารเจือปนในตัวทำละลายที่ใช้แล้ว

ข. ประเภทใช้ในการดูดแก๊สและไอ จะใช้ใน

อุตสาหกรรมผลิตหน้ากาก

- ใช้ในการผลิตหน้ากากป้องกันแก๊สพิษและสารอินทรีย์ ทั้งที่ใช้ในการทหาร และใช้กันทั่วไป ทั้งนี้คาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษ และไอของสารอินทรีย์ต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

อุตสาหกรรมปรับอากาศ

- คาร์บอนกัมมันต์จะดูดซับมลทินในอากาศ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และอะเซทิลีน

อุตสาหกรรมแยกแก๊สธรรมชาติ

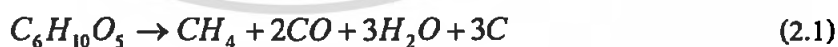
- ใช้ดูดซับสิ่งสกปรกออกจากแก๊สธรรมชาติ หรือก๊าซอุตสาหกรรมที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบในโรงแยกแก๊สธรรมชาติ

2.1.6 กระบวนการผลิตคาร์บอนกัมมันต์

ในปัจจุบันคาร์บอนกัมมันต์สามารถผลิตได้หลากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่ต้องการและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต แต่โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยสองขั้นตอนคือ การคาร์บอนไนซ์ และการกระตุ้น

ก. การคาร์บอนไนซ์ [4]

ขั้นตอนนี้เป็นการเผาวัตถุดิบในภาวะที่มีออกซิเจนอยู่น้อย (Pyrolysis) ทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมี สารที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน และออกซิเจนจะออกมาในรูปของแก๊ส คาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันเป็นผลึก (Microcrystalline) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของถ่าน ขนาดของผลึกขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผา องค์ประกอบ และ โครงสร้างของวัตถุดิบ เมื่อเผาวัตถุดิบอะตอมของคาร์บอนจะมีการจัดเรียงตัวเป็นผลึกโดยยึดเกาะกันในลักษณะหกเหลี่ยมด้วยพันธะโคเวเลนต์ มีลักษณะคล้ายผลึกแกรไฟต์ วัตถุดิบซึ่งมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบเมื่อถูกเผาจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



ขั้นตอนของการคาร์บอนไนซ์ แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนคือ [6]

ก. การสูญเสียน้ำออกจาก โครงสร้างของวัตถุดิบที่ช่วงอุณหภูมิห้องจนถึง 135 องศาเซลเซียส

ข. เข้าสู่ขั้นตอนไพโรไลซิส (Pyrolysis) โดยเกิดแก๊สและน้ำมันทาร์ในโครงสร้างที่ช่วงอุณหภูมิ 135-400 องศาเซลเซียส

ค. มีการเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านซาร์ โดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุบดจะลดลงไปมากในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส

การคาร์บอนไนซ์ให้ได้ถ่านซาร์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการทำได้โดยการปรับภาวะที่เหมาะสมซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการคาร์บอนไนซ์คือ [11]

1. องค์ประกอบของชีวมวล มีผลโดยตรงต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ โดยทั่วไปสารชีวมวลจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารระเหยประมาณร้อยละ 60-70 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้วัตถุบดแต่ละชนิดจะมีภาวะการคาร์บอนไนซ์ที่แตกต่างกัน

2. ขนาดของวัสดุ มีผลต่อการกระตุ้น คือ วัสดุที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเกิดได้เร็ว ในกรณีที่วัสดุมีขนาดใหญ่ การให้ความร้อนจะช้าทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าวัสดุที่มีขนาดเล็ก การกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอทำให้อัตราการสลายสารอินทรีย์ไม่คงที่และปริมาณสารระเหยที่ได้ก็จะน้อยกว่า

3. อุณหภูมิ มีผลต่อปริมาณของผลผลิตมากที่สุด ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณการเกิดถ่านซาร์จะลดลง ส่วนน้ำมันทาร์และแก๊สที่ได้จะเพิ่มขึ้น และคุณสมบัติของน้ำมันทาร์จะมีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปด้วย เพราะการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบนั้น

4. อัตราการให้ความร้อน จะมีผลต่อคุณสมบัติ ปริมาณของน้ำมันทาร์และสารระเหย โดยการเพิ่มอัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว ถ่านซาร์ที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อทำการกระตุ้นสารกระตุ้นจะเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่าย

5. ตัวกลางของปฏิกิริยา จะมีผลต่อปฏิกิริยา ถ้าแก๊สและไอที่เกิดขึ้นระหว่างการคาร์บอนไนซ์ถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยแก๊สที่เป็นกลาง เช่น แก๊สไนโตรเจน ซึ่งเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอน ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ปริมาณถ่านซาร์ที่ได้จะน้อยกว่าในภาวะที่ใช้ตัวกลางเป็นแก๊สไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาต่อตัวกระตุ้นสูงกว่า

ถ่านซาร์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์จะมีความสามารถในการดูดซับต่ำมาก เพราะกระบวนการดังกล่าวใช้อุณหภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส จึงยังคงมีน้ำมันทาร์ตกค้างอยู่ภายในรูพรุน หรือเกาะอยู่ตามผิว จึงจำเป็นต้องนำถ่านซาร์นี้มาผ่านการกระตุ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ

ข. การกระตุ้น [4]

การกระตุ้นเป็นขั้นตอนที่ทำให้วัสดุเกิดความพรุน และพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เนื่องจากน้ำมันทาร์ถูกกำจัดให้หลุดออกมาด้วยวิธีการทางกายภาพหรือวิธีการทางเคมี ทำให้ผิวของ

คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีอะตอมคาร์บอนที่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ด้วย จึงมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น

การกระตุ้นมี 2 วิธี คือ การกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพและการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี

1. การกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ

วิธีนี้ใช้แก๊สเป็นตัวออกซิไดซ์ เช่น ไอน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรืออากาศ ไปออกซิไดซ์น้ำมันทาร์ และคาร์บอนบางตัวใน โครงสร้างผลึก แก๊สที่เป็นตัวออกซิไดซ์จะทำปฏิกิริยากับน้ำมันทาร์ และอะตอมของคาร์บอนดังสมการที่ (2.2) ถึงสมการที่ (2.5) ทำให้น้ำมันทาร์ถูกกำจัดออก คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จึงมีรูพรุนมากขึ้น และมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ คือ ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีในวัตถุดิบ คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของแก๊สที่ใช้ อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา

ตัวอย่างในการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพได้แก่

1.1 การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation)

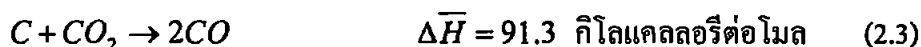
การกระตุ้นด้วยวิธีนี้จะใช้ไอน้ำเป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน ดังนั้นจึงต้องทำที่อุณหภูมิสูงประมาณ 750-950 องศาเซลเซียส ดังสมการ



อัตราการออกซิไดซ์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงเกิน 1,000 องศาเซลเซียส เพราะคาร์บอนที่อยู่ชั้นนอกจำนวนมากจะถูกเผาไหม้ ทำให้ขนาดและความพรุนของอนุภาคลดลง

1.2 การกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide activation)

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน โดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์ ดังสมการ



จากค่า $\Delta \bar{H}$ จะเห็นว่าปฏิกิริยานี้ต้องการพลังงานความร้อนมากกว่าวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า คือ ประมาณ 850-1,100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ใช้จะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ทางเทคนิคแล้วจะใช้แก๊สเชื้อเพลิงเผาไหม้ซึ่งจะเกิดทั้งไอ

น้ำ คาร์บอน ไดออกไซด์ และอาจมีออกซิเจนส่วนเกินบ้างเล็กน้อย หรืออาจจะเติม ไอน้ำเข้าไปด้วย เพื่อเป็นการกระตุ้น โดยใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน

1.3 การกระตุ้นด้วยอากาศ (Air activation)

ปฏิกิริยานี้อาศัยออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน ทำให้เกิดแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังสมการ



การใช้อากาศกระตุ้นใช้กันน้อยมาก ทั้งนี้เพราะการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ใน ภาวะที่ต้องการทำได้ยากกว่าปฏิกิริยาจุดความร้อน อีกทั้งออกซิเจนจะทำให้ผิวของถ่านชาร์ใหม่

ตารางที่ 2.3 อุณหภูมิที่เหมาะสมและชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นทางกายภาพสำหรับ แก๊สชนิดต่างๆ

ชนิดของแก๊ส	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ชนิดของปฏิกิริยา
ไอน้ำ	750-950	จุดความร้อน
คาร์บอน ไดออกไซด์	850-1,100	จุดความร้อน
ออกซิเจน	ต่ำกว่า 600	คายความร้อน

การกระตุ้นทางกายภาพมีข้อดี คือ หลังจากกระตุ้นแล้วสามารถนำคาร์บอนกัมมันต์ไป ใช้ได้ทันที ส่วนข้อเสีย คือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าวิธีการกระตุ้นทางเคมี คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมี ขนาดรูพรุนเล็กกว่าชนิดที่ผลิตด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี รูพรุนที่ได้เป็นแบบไมโครพอร์เหมาะ สำหรับดูดกลิ่น ไอ หรือแก๊สพิษ

2. การกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี

เป็นวิธีที่นำเอาวัตถุดิบหรือสารอินทรีย์มาผสมกับสารเคมีที่เรียกว่า สารกระตุ้น หรือตัวที่ ทำให้เกิดปฏิกิริยากัมมันต์เข้าไปช่วยให้เกิดมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ความร้อน (pyrolysis) เช่น ปริมาณของน้ำมันทาร์จะถูกกำจัดให้น้อยลงปริมาณของสารที่ระเหยได้ เช่น กรดน้ำส้ม เมทานอล และอื่นๆ ก็ลดปริมาณลงไปด้วย โดยจะมีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเผาให้เป็นถ่านธรรมชาติ ซึ่งผลที่ได้ จากการทำเช่นนี้จะทำให้ได้ร้อยละของคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาก็จะ ลดต่ำลง ซึ่งตัวกระตุ้นดังกล่าวมักเป็นเกลืออินทรีย์จำพวกเกลือโลหะคลอไรด์ ได้แก่ แคลเซียม คลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ แต่ที่นิยมใช้กันมากคือซิงค์คลอไรด์ หลักการสำคัญของการทำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนกัมมันต์ด้วยวิธีนี้ คือ เมื่ออินทรีย์วัตถุผสมกับเกลืออนินทรีย์ในอัตราส่วนหนึ่งให้ทั่วแล้วนำไปคาร์บอนไนซ์ ณ อุณหภูมิที่ทำให้อินทรีย์วัตถุสลายตัว เกลืออนินทรีย์จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ (เซลลูโลส ลิกนิน และอื่นๆ) ให้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ และยังคงปริมาณของน้ำมันาร์และสารระเหยให้น้อยลงด้วย อีกทั้งเกลืออนินทรีย์เหล่านี้มีความคงทนต่อการสลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูงๆ

โดยทั่วไปวัตถุดิบที่ใช้การกระตุ้นด้วยวิธีนี้มักเป็นไม้ประเภทต่างๆ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 500-900 องศาเซลเซียส การกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีทำได้ 2 วิธีคือ

- ทำควบคู่ไปกับการคาร์บอนไนซ์ โดยการเติมสารเคมีที่เป็นตัวกระตุ้นลงไปผสมกับวัตถุดิบ
- ทำหลังการคาร์บอนไนซ์ โดยนำวัตถุดิบที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์แล้ว มากระตุ้นด้วยสารเคมีอีกครั้ง

2.1.7 การวิเคราะห์คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์

การวิเคราะห์หาคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์นั้น สามารถพิจารณาได้จากคุณสมบัติต่างๆ คือ พื้นที่ผิว คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density) คุณสมบัติด้านฟิสิกส์ เช่น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณความชื้น

ก. การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ [12]

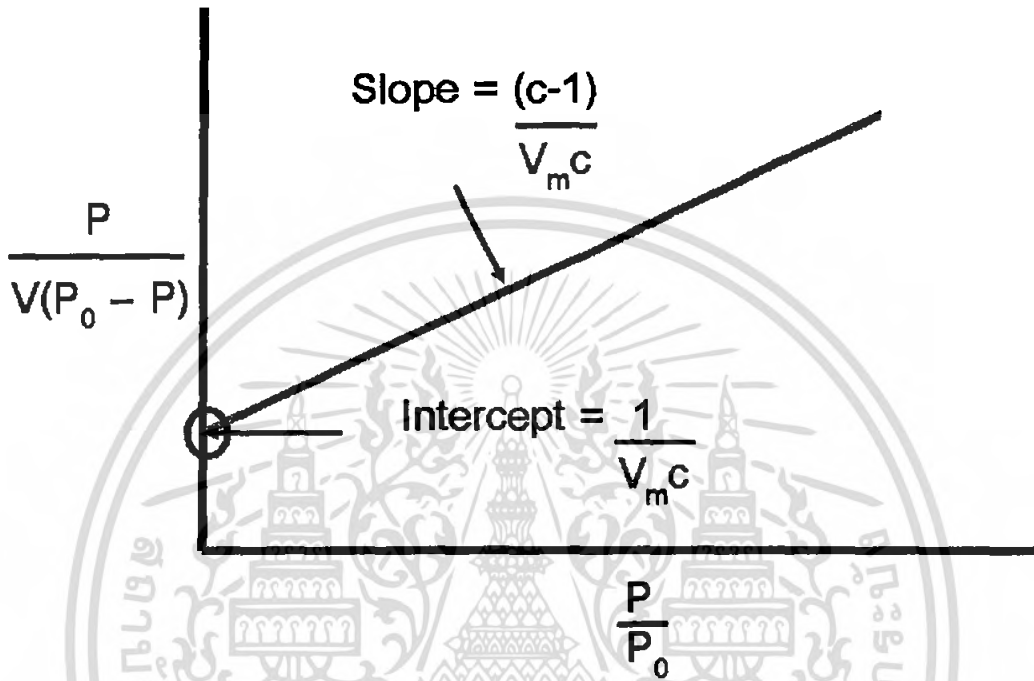
การวัดพื้นที่ผิวจะใช้หลักการของการดูดซับแก๊สบนผิวของแข็งแบบ Multi-molecular layer ซึ่งรู้จักกันในชื่อของ Brunauer-Emmett-Teller (BET) ปกติจะใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นตัวดูดซับที่จุดสมดุล ณ สภาวะมาตรฐาน (จุดเดือด -195.8 องศาเซลเซียส) วิธีการคือใช้ Adsorption vessel 2 ใบ ที่มีปริมาตรเท่ากัน โดยใบหนึ่งบรรจุตัวอย่าง อีกใบหนึ่งเป็นภาชนะเปล่า แล้วผ่านแก๊สไนโตรเจนลงไปในภาชนะทั้งสองภายใต้ความดันปกติที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำให้ภาชนะทั้งสองเย็นจัดใน Cold bath ที่บรรจุไนโตรเจนเหลวไว้ การดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนผิวของตัวอย่างจะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันระหว่างภาชนะทั้งสองซึ่งสามารถวัดได้ แล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับไป ที่ความดันย่อยต่างๆ ไอโซเทอมของบีอีที่มีรูปแบบของสมการ ดังนี้

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m c} + \frac{(c-1)P}{V_m c P_0} \quad (2.6)$$

โดย V คือ ปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนที่ดูดซับบนผิวรูพรุน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
 V_m คือ ปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนที่ดูดซับบนผิวโมเลกุลชั้นเดียว (Monomolecule layer) ปกคลุมทั่วผิวรูพรุน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- P คือ ความดันที่ภาวะใดๆ (มิลลิเมตรปรอท)
- P_0 คือ ความดันไอหรือความดันอิ่มตัว (Vapor or saturated vapor) (มิลลิเมตรปรอท)
- c คือ ค่าจำเพาะสำหรับการดูดซับของแก๊สแต่ละชนิด



รูปที่ 2.7 การเขียนกราฟเส้นตรงของสมการบีอ์ทีเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า V_m [12]

จากสมการที่ 2.6 จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง V_m และ c คำนวณหาได้จากจุดตัดและความชันเส้นตรง ค่า V_m ที่ได้นำมาเทียบเป็นพื้นที่ผิวรูพรุน S ดังสมการที่ 2.7

$$S = \frac{V_m N_{AV}}{22400} a \tag{2.7}$$

- โดย S คือ พื้นที่ผิวรูพรุน (ตารางเซนติเมตร)
- N_{AV} คือ เลขอาโวกาโด (6.02 x 10²³ โมเลกุลต่อ โมล)
- a คือ พื้นที่ต่อหน่วย โมเลกุลแก๊ส (ตารางเซนติเมตรต่อ โมเลกุล)

83216

ข. คุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ [6]

1. ปริมาณสารระเหย

เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้กำหนดค่าสารระเหยที่อยู่ในถ่านหินและถ่านโค้ก โดยนำมาประยุกต์ใช้กับคาร์บอนกัมมันต์ได้ ค่าของปริมาณสารระเหยจะเป็นมวลที่หายไปอันเกิดจากการให้ความร้อนที่ภาวะคงที่ให้แก่คาร์บอนกัมมันต์

2. ปริมาณความชื้น

เป็นการหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในคาร์บอนกัมมันต์ โดยการอบแห้งในเตาอบจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ สามารถคำนวณปริมาณความชื้นได้จากน้ำหนักที่หายไป

3. ปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้าในคาร์บอนกัมมันต์อาจมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบ คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลานาน ปริมาณเถ้าของคาร์บอนกัมมันต์จะเพิ่มขึ้นด้วยเถ้าโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยออกไซด์ นอกจากนี้จะเป็นสารประกอบจำพวกซัลเฟต คาร์บอนเนต และสารประกอบอื่นๆ ซึ่งจะมีสารประกอบเหล่านี้อยู่ในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ โดยส่วนใหญ่แล้วประกอบด้วยซิลิกอน

2.2 หมาก [1,13]

หมากมีชื่อภาษาอังกฤษว่า Betel nut มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Areca catechu* Linn เป็นไม้ยืนต้นตระกูลปาล์มเช่นเดียวกับมะพร้าว ถิ่นกำเนิดของหมากปรากฏหลักฐานไม่เด่นชัด แต่มีการแพร่กระจาย ในหลายประเทศ แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอินเดีย ปัจจุบันแหล่งปลูกหมากที่เป็นเชิงการค้าของโลก ได้แก่ อินเดีย ศรีลังกา พม่า มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน อินโดนีเซีย และไทย แหล่งปลูกในประเทศไทย ส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้และภาคกลาง พื้นที่ปลูกหมากของไทยมีประมาณ 116,756 ไร่ ผลผลิตรวม 437,010 ตัน จังหวัดที่มีการปลูกหมากมากที่สุด คือจังหวัดชุมพร รองลงมาคือจังหวัดนครศรีธรรมราช ระนอง ฉะเชิงเทรา พัทลุง ตรัง พังงา ระยอง นครปฐม และสุราษฎร์ธานี ตามลำดับ

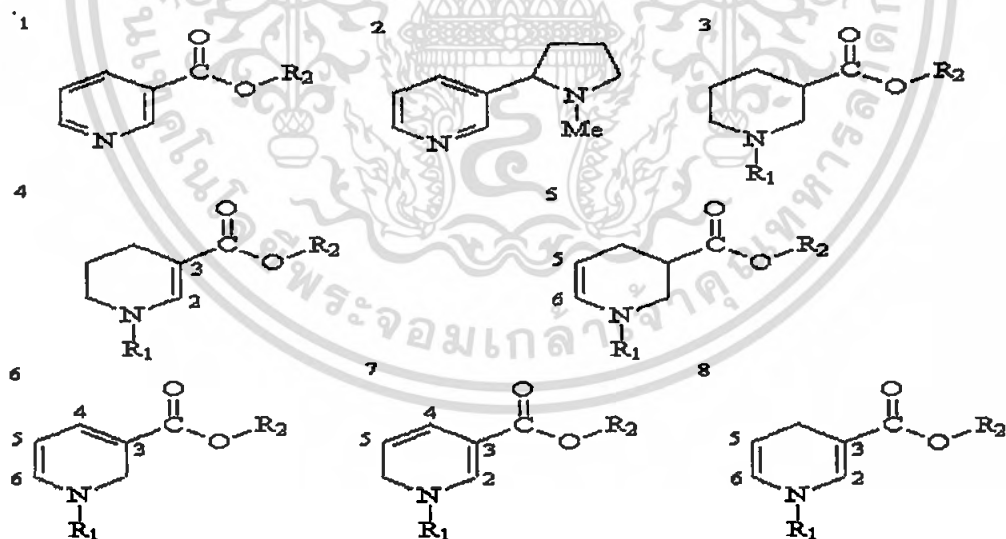
หมากเป็นไม้ยืนต้นมีลำต้นเดี่ยวไม่แตกกอ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12.7-15.24 เซนติเมตร รูปทรงกระบอกตรง หมากมีตายอดส่วนปลายสุดของลำต้น ถ้ายอดตายหมากจะตาย ตายอดจะเป็นที่เกิดของใบหลังจากใบร่วงจะทิ้งรอยติดของใบเรียกว่าข้อ ข้อของหมากสามารถคำนวณหาอายุหมากได้ 1 ปี หมากจะมีใบหรือข้อเพิ่มขึ้น 5 ใบ หรือ 5 ข้อ ต้นหมากมีเนื้อเป็นเส้นยาว จับตัวกันแน่นบริเวณเปลือกนอกกลิ้งเข้าไปประมาณ 2 เซนติเมตร ส่วนกลางลำต้นเป็นเส้นไม้อัดแน่นเหมือนด้านนอกและมีเนื้อไม้อ่อนนุ่มคล้ายฟองน้ำ

ใบเกิดจากเนื้อเยื่อส่วนปลายยอด ปลายลำต้นประกอบด้วย โคนกาบใบเรียกว่า กาบหมาก หุ้มติดลำต้นเป็นแผ่นใหญ่ ก้านประกอบด้วยใบย่อย เมื่อหมากออกดอก ดอกหรือภาษาท้องถิ่น เรียก จันทมหาก ซึ่งถูกห่อหุ้มด้วยกาบหมาก เมื่อกาบหมากแก่หลุดร่วงไปจะเห็นดอกหมาก

ดอกหมากหรือจันทมหากเกิดบริเวณซอก โคนก้าน ใบหรือกาบหมาก ดอกออกรวมกันเป็น ช่อใหญ่ประกอบด้วย โคนจันทมหากติดอยู่ที่ข้อของลำต้น ก้านช่อดอกเป็นเส้นยาวแตกออกโดยรอบ แกนกลาง ก้านช่อดอกจะมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย โดยตัวผู้อยู่ส่วนปลายตัวเมียอยู่ด้านล่างหรือ ด้านใน ดอกตัวผู้ใช้เวลาบาน 21 วัน หลังจากนั้น 5 วัน ดอกตัวเมียเริ่มบาน

ผลหมากมีลักษณะกลมหรือกลมรี เส้นผ่านศูนย์กลาง 2-2.5 เซนติเมตร โดยเฉลี่ย ผลรวมกัน เป็นทะลาย ใน 1 ทะลายจะมีผลอยู่ประมาณ 10-150 ผล ผลอ่อนสีเขียวเข้ม เรียก หมากดิบ ผลแก่จะ ผิวเปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมส้มทั้งผล เรียก หมากสุกหรือหมากสง ผลประกอบด้วย 4 ส่วน คือ เปลือกชั้นนอก ส่วนเปลือกเป็นเยื่อบางๆ สีเขียว เนื้อเปลือกมีเส้นใยละเอียด เหนียว เปลือกชั้น กลางเป็นเส้นใยหนามองเห็น ได้ชัด เมื่อผลอ่อนเส้นใยอ่อน แก่จะเหนียวแข็ง เปลือกชั้นในเป็นเยื่อ บางๆ ละเอียดติดอยู่กับเมล็ดหมาก ส่วนของเมล็ดหรือเมล็ดหมากถัดจากเยื่อบางเข้าไปเป็นส่วน ของเมล็ดหมาก เมื่ออ่อนจะนิ่ม เนื้อส่วนผิวจะมีลายเส้นสีเหลืองถึงสีน้ำตาล เนื้อจะมีสีเหลืองอ่อน ถึงสีเหลืองเข้มอมแดง

สารสำคัญที่พบในหมาก คือ สารระเหยง่าย เช่น กวาซิน (guvacin) และกวาโคลีน (guvacoline) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารที่มีโครงสร้างวงแหวนอีกหลายชนิด ดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างสารที่พบในเมล็ดหมาก 1-2 สารที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนไม่อิมิดัว (piperidine ring) 3 สารที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนอิมิดัว (piperidine ring) 4-5 สารที่มีโครงสร้างเป็น 1 วงแหวน และ 1 พันธะคู่ (arecoline isomers และ homologues) 6-8 สารที่มี โครงสร้าง เป็น 1 วงแหวน และ 2 พันธะคู่ (dihydropyridine ring) [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสรุป องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของหมาก คือ อะรีโคลิน (arecoline) กวาโคลิน กวาซิน และอะรีโคดีน (arecaidine) รวมทั้งสารจำพวกฟีนอล (phenol) และแทนนิน (tannin) ในปัจจุบันมีรายงานการพบ flavan-3,4-diols (cyanidin) ในผลหมาก และพบว่าสารจำพวกพอลิฟีนอล (polyphenol) ที่ส่วนมากจัดเป็น flavonoids นั้นจะมีความเข้มข้นลดลงเมื่อหมากมีอายุมากขึ้นหรือผลแก่มากขึ้น

พันธุ์หมากไม่มีชื่อเรียกแต่จะแบ่งตามลักษณะของผลและต้น คือ

1. แบ่งตามลักษณะของผล

- หมากผลกลมแป้น
- หมากผลกลมรี

2. แบ่งตามลักษณะของทรงต้น

- พันธุ์ต้นสูง
- พันธุ์ต้นเตี้ย
- พันธุ์ต้นกลาง

หมากเป็นสินค้าส่งออกในรูปแบบของหมากสดและหมากแห้ง หมากสดส่วนใหญ่จะขายเป็นหมากอ่อนหรือทิ้งไว้ให้สุกเพื่อทำหมากแห้งต่อไป การบริโภคหมากของไทยสูงถึงร้อยละ 88 ที่เหลือร้อยละ 12 จะเป็นการส่งออกในรูปแบบของหมากสดและหมากแห้ง การทำหมากแห้งทำได้หลายวิธี

1. หมากแห้งที่ทำจากหมากดิบ มี 5 ชนิด

- หมากซอย
- หมากจุก
- หมากกลีบสับ
- หมากป่น
- หมากเสี้ยว หรือหมากเจียน

2. หมากแห้งที่ทำจากหมากแก่หรือหมากส่ง มี 4 ชนิด

- หมากหันหรือหมากอึเปะ
- หมากผ่าสี่
- หมากผ่าสองหรือหมากผ่าซีก
- หมากแห้งทั้งเมล็ด

การส่งออกหมากไปจำหน่ายต่างประเทศ จะส่งออก 2 รูปแบบ คือ หมากสดและหมากแห้ง หมากสดจะส่งขายในรูปแบบของหมากอ่อน ตลาดที่รับซื้อหมากอ่อนมากที่สุด คือ ใต้หวัน ในปี 2544 มีมูลค่าการส่งออก 36.61 ล้านบาท ซึ่งในปี 2546 มีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 89.88 ล้านบาท

ประเทศไทยมีการส่งออกหมากแห้ง ในปี 2544-2546 ถึง 410.97 ล้านบาท 429.59 ล้านบาท และ 478.89 ล้านบาท ตามลำดับ ซึ่งรูปแบบการส่งออกหมากแห้งจะเป็นหมากส่ง (หมากแก่) ทั้งหมด ประเทศผู้นำเข้า คือ ปากีสถาน เกาหลี แคนาดา และสหรัฐอเมริกาเบติส ซึ่งเป็นผู้นำเข้ารายใหญ่ของไทย

การใช้ประโยชน์ในรูปของยาสมุนไพรและภาคอุตสาหกรรม โดยใช้ส่วนของเมล็ด ราก และใบ โดยมีรายละเอียดดังนี้ คือ

การใช้ประโยชน์ด้านสมุนไพร โดยใช้ผล (เมล็ด) ใช้เป็นยาสมานแผล ทำให้เลือดหยุดไหล และแผลหายเร็ว ใช้เป็นยาถ่ายพยาธิในสัตว์ เช่น พยาธิตัวแบน ตัวกลม และตัวตืด ใช้ขบเคี้ยว เพื่อรักษาเหงือกและฟันให้คงทน ใช้รักษาอาการท้องเดิน ท้องเสีย หรือในยุโรปใช้เป็นส่วนผสมของยา สีสัน เชื่อว่าทำให้ฟันขาว สำหรับราก นำมาต้มกิน แก้ปากเปื่อย ขับปัสสาวะ และโรคบิด และใบ สามารถนำมาต้มกิน เป็นยาขับพิษ นำมาทาแก้คันได้

ในทางอุตสาหกรรมเมล็ดหมาก เมื่อนำมาสกัดจะได้ไขมัน เมือก ขางและสารอัลคาลอยด์ ชื่อ อะรีโคลินมีแทนนินสูง จึงสามารถใช้ในทางอุตสาหกรรมได้ เช่น ใช้ทำสีต่าง ๆ ใช้ย้อมแห อวน ทำให้แห และอวนนิ่ม และอ่อนตัว ยืดอายุการใช้งานได้นาน เส้นด้ายไม่เปื่อยเร็ว ใช้สกัดเป็นน้ำยา ฟอกหนัง จะทำให้หนังนิ่ม และมีสีสวย นอกจากนี้ยังสามารถนำมาสกัดเป็นยารักษาโรคได้หลาย ชนิด ตัวอย่างเช่น ยาสมานแผล ยาขับพยาธิในสัตว์ ยาแก้ท้องเดิน ท้องเสีย ยาขับพิษ ยาทาแก้คัน น้ำมันนวด ยาขับปัสสาวะ และยาแก้ปากเปื่อย เป็นต้น

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Elisabeth และคณะ [14] ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จาก ฟางข้าว ฟางข้าวสาลี เมล็ดมะกอก เปลือกถั่วพิสทาชิโอ เปลือกวอลนัท ไม้บีช และถ่านหินแอนทราไซค์ โดยนำฟางมา ตัดให้เป็นชิ้นประมาณ 1 เซนติเมตร นำไปคาร์บอนไนซ์ที่ 600 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของไอน้ำ 5 ลิตรต่อนาที คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิว 400 ตารางเมตร ต่อกรัม ดังนั้นจึงปรับปรุงคุณสมบัติของฟางข้าว โดยการล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เจือจางร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดส่วนประกอบที่เป็นเถ้า ออกก่อนการคาร์บอนไนซ์ พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากวิธีใหม่นี้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเป็น 650 ตาราง เมตรต่อกรัม ฟางข้าวสาลีนั่นทำให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร แล้วนำไปคาร์บอนไนซ์ และกระตุ้นเช่นเดียวกับฟางข้าว ในกรณีนี้ใช้อัตราการไหลของไอน้ำ 0.5 ลิตรต่อนาที จะได้ คาร์บอนที่มีพื้นที่ผิว 600 ตารางเมตรต่อกรัม และฟางข้าวสาลีขนาดประมาณ 0.5 มิลลิเมตร เมื่อคาร์ บอนไนซ์แล้ว นำถ่านชาร์ที่ได้ไปบดและคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนให้มีขนาด 355-450 ไมโครเมตร จากนั้นจึงนำไปกระตุ้นด้วยไอน้ำ คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวมากกว่า 700 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับเมล็ดมะกอกและเปลือกวอลนัทนั้นทำให้เป็นชิ้นเล็กๆ ประมาณ 2-4 มิลลิเมตรและประมาณ 5-10 มิลลิเมตรตามลำดับ ทำการคาร์บอนไนซ์และการกระตุ้นภายใต้ภาวะเช่นเดียวกับฟางข้าวสาลี โดยวัสดุจำพวกฟางใช้เวลาในการกระตุ้น 120-150 นาที และเปลือกถั่วใช้เวลาในการกระตุ้น 90 นาที คาร์บอนกัมมันต์จากเมล็ดมะกอกมีพื้นที่ผิว 850 ตารางเมตรต่อกรัม และคาร์บอนกัมมันต์จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือกวอลนัทมีพื้นที่ผิว 1,100 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับเปลือกพิสทาซิโอ ไม้บีชและถ่านหินแอนทราไซค์นำไปไพโรไลซิสและกระตุ้นที่ภาวะเดียวกัน โดยใช้อัตราการไหลของไอน้ำ 0.5-5 ลิตรต่อนาที พบว่า ไม้บีชให้ผลใกล้เคียงกับเปลือกวอลนัท คือ มีพื้นที่ผิว 1,100 ตารางเมตรต่อกรัม คาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกถั่วให้แนวโน้ที่ใกล้เคียงกับถ่านหินแอนทราไซค์มากที่สุด (ถ่านหินแอนทราไซค์เป็นวัสดุดิบที่ใช้ผลิตคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า) มีพื้นที่ผิวถึง 1,000-1,300 ตารางเมตรต่อกรัม

S. Gaspard และคณะ [15] ศึกษาการดูดซับแก๊สและของเหลวด้วยคาร์บอนกัมมันต์จากรากหญ้าแฝก การเตรียมคาร์บอนกัมมันต์จะทำการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 650 700 750 800 850 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ในขั้นตอนการกระตุ้นจะกระตุ้นที่อุณหภูมิ 820 องศาเซลเซียส สำหรับการกระตุ้นด้วยไอน้ำจะใช้เวลาในการกระตุ้น 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง การกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะใช้เวลาในการกระตุ้น 2 และ 3 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นมีผลต่อพื้นที่ผิว สำหรับการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่เวลา 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง มีค่าพื้นที่ผิวเป็น 452 501 576 และ 306 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ และการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะได้ค่าพื้นที่ผิวเป็น 576 และ 735 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำเหมาะที่จะนำมาดูดซับเมทิลีนบลู และคาร์บอนกัมมันต์ซึ่งกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เหมาะที่จะนำมาดูดซับฟีนอล

Renan Arriagada และคณะ [16] ได้ศึกษาการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำและการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะศึกษาถึงผลของเวลาและอุณหภูมิในการกระตุ้น ซึ่งใช้ภาวะในการทดลองที่อุณหภูมิ 820 องศาเซลเซียส การกระตุ้นด้วยไอน้ำจะใช้เวลาในการกระตุ้น 10 60 120 และ 270 นาที อัตราการไหลของไอน้ำ 140 มิลลิเมตรต่อนาที ในส่วนของการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ใช้เวลาในการกระตุ้น 10 60 120 180 270 และ 360 นาที ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 200 มิลลิตรต่อนาที

จากการทดลองที่ได้พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำ คือ ที่อุณหภูมิ 820 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 270 นาที จะทำให้คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด คือ 1,193 ตารางเมตรต่อกรัม และภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์พบว่าที่อุณหภูมิ 820 องศาเซลเซียส ในเวลา 360 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสม จากการใช้สารกระตุ้นทั้งสองชนิดพบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ไอน้ำเป็นสารกระตุ้นมีปริมาตรรูพรุนขนาดกลางและรูพรุนขนาดใหญ่ที่สูงกว่า ในขณะที่เดียวกันก็มีรูพรุนขนาดเล็กที่สูงด้วยเช่นกัน นอกจากนี้คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้นั้นมีพื้นที่ผิวที่มากกว่าการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากไอน้ำมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่า

Hu Z. และ Srinivasan M.P. [17] ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 87.2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ คือ 1:0.25 1:0.5 1:0.75 1:1 1:1.5 และ 1:2 กระตุ้นที่อุณหภูมิ 600 700 และ 800 องศาเซลเซียส พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว คือ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1:0.75 กระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ซึ่งจะให้คาร์บอนของผลผลิต 23.6 มีพื้นที่ผิว 2,451 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 18.9 อังสตรอม และปริมาตรรูพรุนรวม 1.210 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม จากการนำข้อมูลการดูดซับฟีนอลมาทำการวิเคราะห์ด้วยสมการแลงเมียร์ (Langmuir) พบว่าคาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับฟีนอลได้ 396 มิลลิกรัมต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ โดยมีค่าคงที่การดูดซับ (K) เท่ากับ 0.0335

จิตติและเกษญา [5] ได้ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกระดูกไก่ โดยทำการคาร์บอนไนซ์ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 30 40 50 และ 60 นาที ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ คือ อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ได้ผลผลิตร้อยละ 51.7275 และคาร์บอนคงตัวร้อยละ 66.1027

นอกจากนี้ยังศึกษาการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดในถ่านชาร์ซึ่งมีผลต่อการดูดซับไอโอดีนที่อุณหภูมิ 750 และ 850 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 60 90 และ 120 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด คือ 458 มิลลิกรัม ไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของคาร์บอนกัมมันต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านชาร์ที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดซึ่งมีค่าการดูดซับไอโอดีน 135 มิลลิกรัม ไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านชาร์

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 การคาร์บอนไนซ์

สารเคมี

1. เปลือกหมาก
2. เมล็ดหมาก
3. แก๊สไนโตรเจน

อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ตู้อบ
3. เคสติกเคเตอร์
4. ตะแกรงร่อน
5. เครื่องปฏิบัติการเผา
6. ภาชนะเก็บสาร

การเตรียมวัตถุดิบ

ในขั้นตอนนี้จะนำเปลือกหมากตัดให้เป็นชิ้นประมาณ 1 เซนติเมตร สำหรับเมล็ดหมากนำไปบดหยาบ นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปร่อนด้วยชุดตะแกรงร่อน ให้มีขนาดของอนุภาคอยู่ระหว่าง 1.68-3.36 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การศึกษาอุณหภูมิในการคาร์บอนไนซ์

ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงมวลของวัตถุดิบ ที่ช่วงอุณหภูมิ 50-700 องศาเซลเซียส ด้วยการวิเคราะห์ทีจีเอ (Thermogravimetric analysis: TGA) ซึ่งใช้วัดการสูญเสียน้ำหนักที่เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิต่างๆ เหมาะสำหรับการศึกษาตัวอย่างที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหรือมีการปนเปื้อนสารที่ระเหยได้ จากนั้นจึงเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการคาร์บอนไนซ์

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของวัสดุ แล้วนำมาใส่ในภาชนะสำหรับเผา
2. นำไปการคาร์บอนไนซ์ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และอัตราการไหลของไนโตรเจน 80 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด

3. นำถ่านชาร์ที่ได้ทิ้งให้เย็นในเคสติกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในการคาร์บอไนซ์ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน คือ

- อุณหภูมิ 450 500 550 600 และ 650 องศาเซลเซียส
- เวลาที่ใช้ในการคาร์บอไนซ์ 60 90 และ 120 นาที

ในเบื้องต้นจะคาร์บอไนซ์เมล็ดหมากและเปลือกหมากที่อุณหภูมิต่างๆ ที่เวลา 1 ชั่วโมง และสำหรับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดปริมาณคาร์บอนคงตัวและผลผลิตสูงจะนำมาคาร์บอไนซ์ที่เวลาต่างๆ เพื่อหาเวลาในการคาร์บอไนซ์ที่เหมาะสมต่อไป

3.2 การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวด

สารเคมี

1. ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์
2. ไอน้ำยิ่งยวด
3. แก๊สไนโตรเจน

อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เติลิกเคเตอร์
3. เครื่องปฏิกรณ์การเผา
4. เครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำ
5. ภาชนะเก็บสาร

วิธีการทดลอง

1. นำถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ในภาชนะสำหรับเผา
2. ป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์คงที่
3. ป้อนไอน้ำเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ด้วยอัตราการไหลของไอน้ำ 13.6 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้

อุณหภูมิและเวลาในการกระตุ้นตามที่ได้กำหนดไว้

4. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ บันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์
5. เก็บไว้ในเตลิกเคเตอร์

ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด คือ

- อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส
- เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น 60 120 และ 180 นาที

บทที่ 4

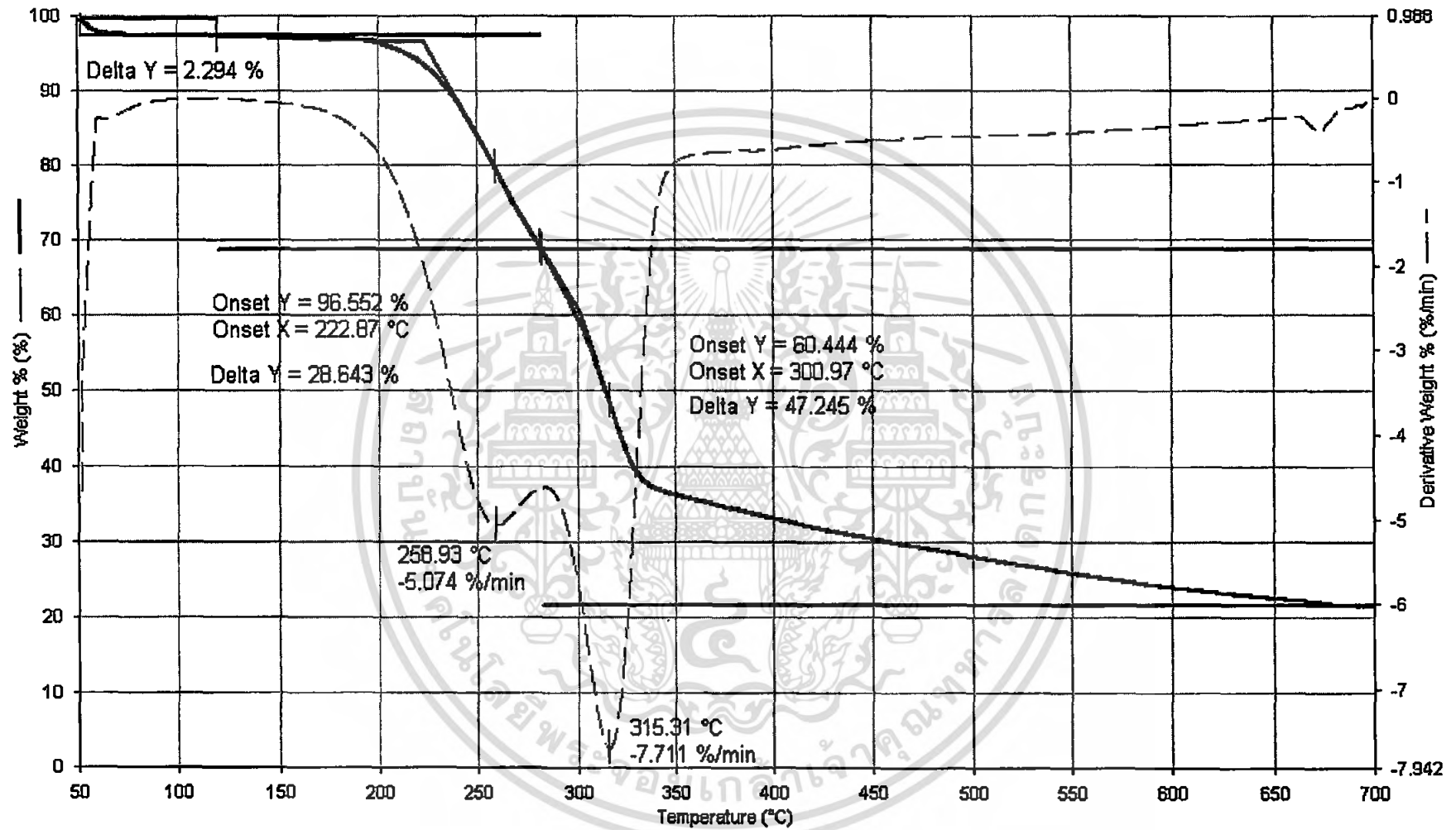
ผลการทดลองและอภิปราย

4.1 การคาร์บอน

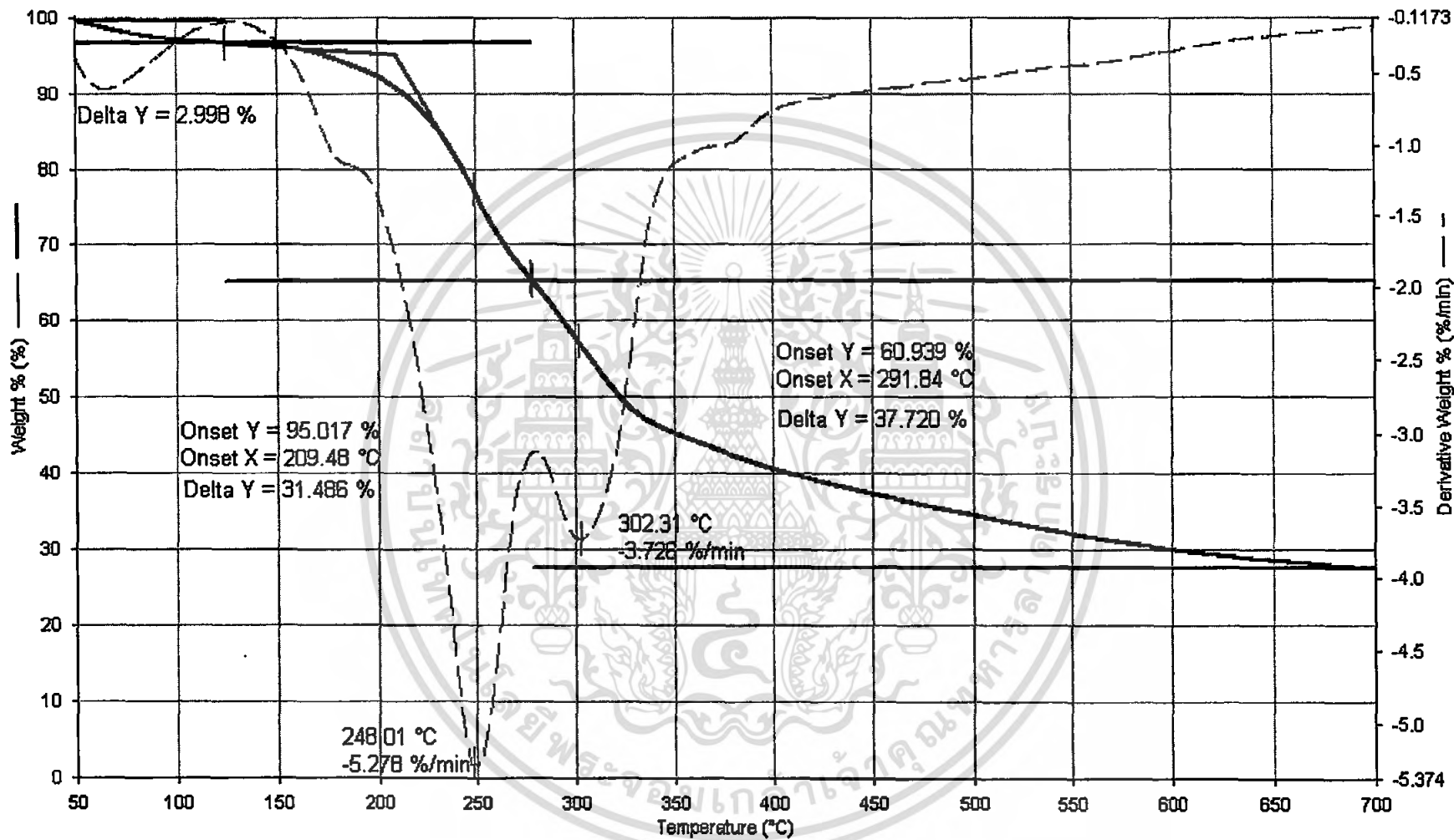
ผลการศึกษาอุณหภูมิในการคาร์บอนเลือกหมากและเมล็ดหมาก โดยหาน้ำหนักที่หายไป ณ อุณหภูมิต่างๆ ด้วยการวิเคราะห์ที่จีเอ รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงน้ำหนักที่หายไปของเปลือกหมากและเมล็ดหมากในช่วงอุณหภูมิ 50-700 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วงแรกที่อุณหภูมิ 50-135 องศาเซลเซียส มวลของวัสดุลดลงเนื่องจากการสูญเสียไอน้ำ ช่วงที่สองที่อุณหภูมิ 135-350 องศาเซลเซียส มวลของวัสดุลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในช่วงนี้สารที่ระเหยง่ายจะถูกปลดปล่อยออกมาในปริมาณมาก และช่วงที่สามที่อุณหภูมิสูงกว่า 350 องศาเซลเซียส มวลของวัสดุจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการคาร์บอนจะอยู่ในช่วง 450-650 องศาเซลเซียส เนื่องจากน้ำและสารระเหยที่มีอยู่ในวัสดุบางส่วนได้ถูกกำจัดออกไป

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการคาร์บอนในสภาวะได้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนที่ความดัน 1 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที อุณหภูมิที่ใช้ทำการศึกษาอยู่ในช่วง 450-650 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.3 4.4 และ 4.5 ในรูปร้อยละของความชื้น ร้อยละของสารระเหย ร้อยละของเถ้า ร้อยละของคาร์บอนคงตัว และร้อยละผลผลิต พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ปริมาณความชื้นและสารระเหยต่างๆ ถูกกำจัดออกไป ทำให้ถ่านชาร์ที่ได้มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงขึ้น แต่หากอุณหภูมิสูงเกินไป คาร์บอนเกิดการสลายตัวเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวลดลง ดังนั้น อุณหภูมิที่ใช้คาร์บอนซึ่งให้ร้อยละของคาร์บอนคงตัวสูงสุดสำหรับเปลือกหมากและเมล็ดหมาก คือ อุณหภูมิ 600 และ 650 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

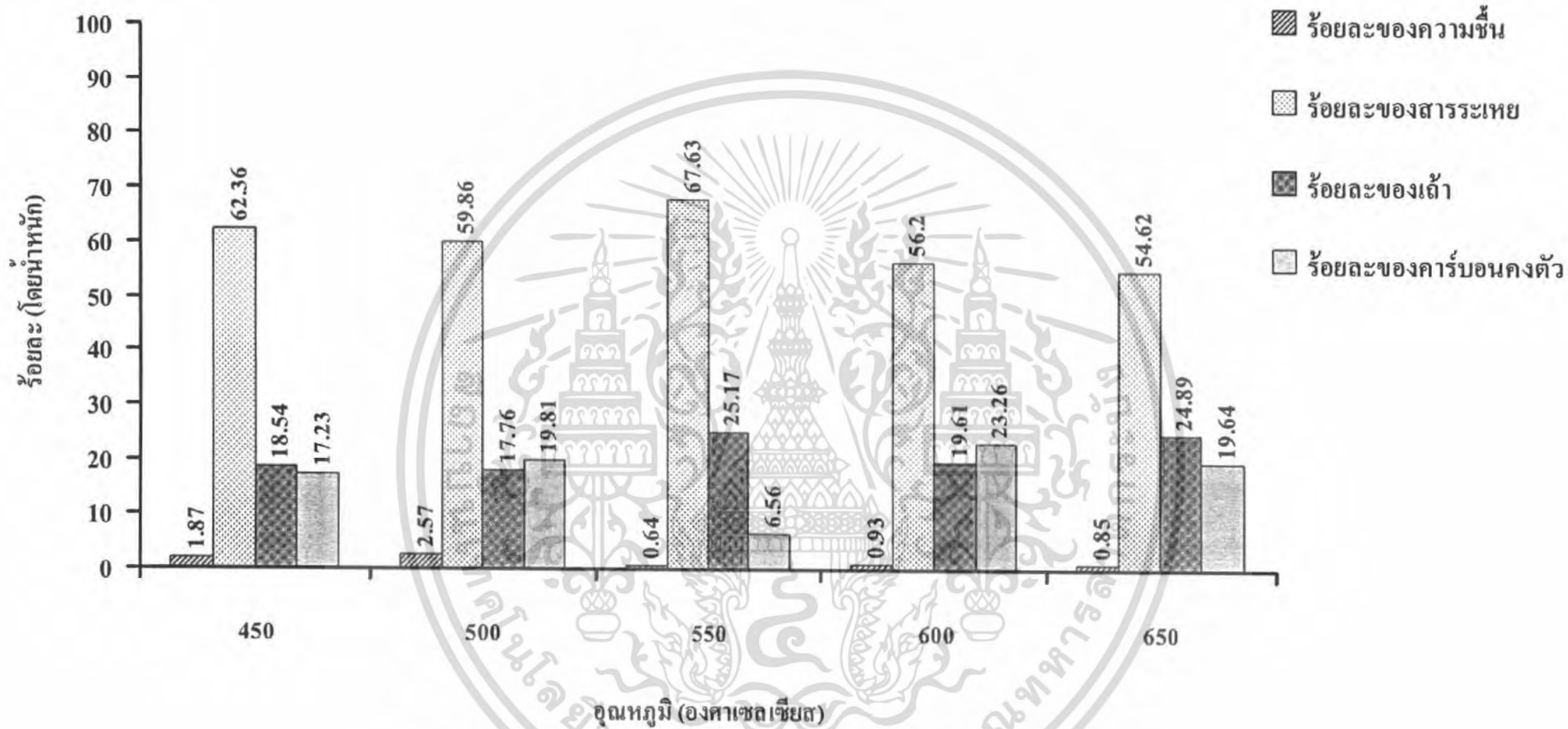
การศึกษาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอน โดยเวลาที่ทำการศึกษา คือ 60 90 และ 120 นาที จะเลือกใช้อุณหภูมิในการคาร์บอนซึ่งให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุด โดยคาร์บอนเลือกหมากที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และคาร์บอนเมล็ดหมากที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส



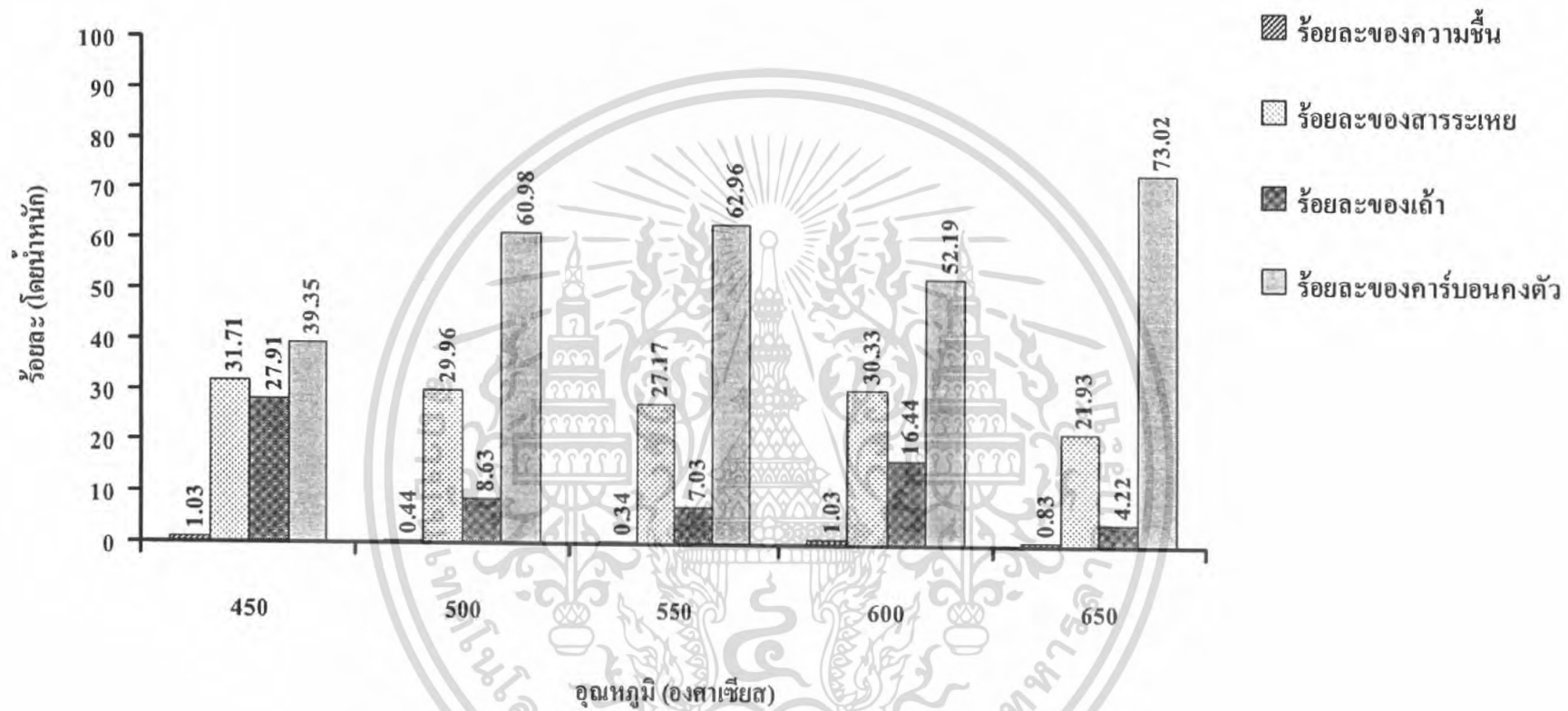
รูปที่ 4.1 น้ำหนักที่หายไปของเปลือกหมากที่อุณหภูมิในช่วง 50-700 องศาเซลเซียส



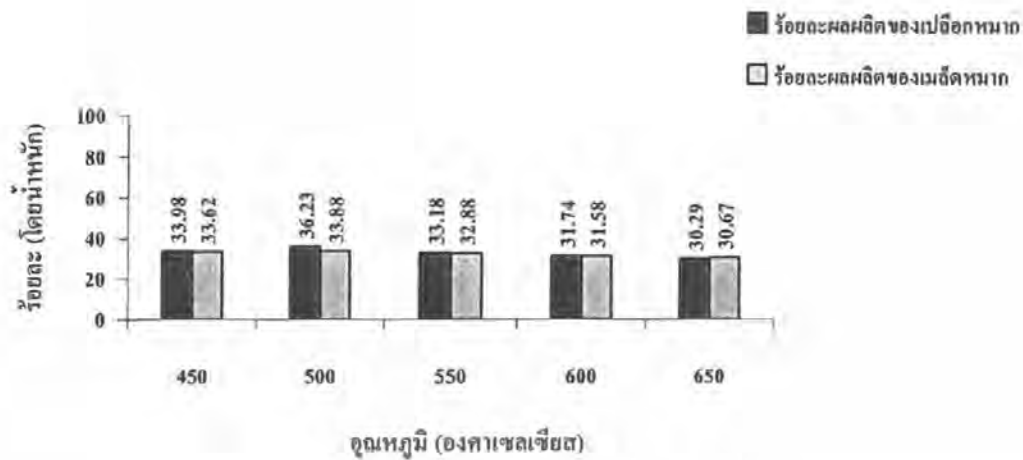
รูปที่ 4.2 นำหนักที่หายไปของเมล็ดหมากที่อุณหภูมิในช่วง 50-700 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิต่อด้านซาร์จากเปลือกหมักซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลา 60 นาที



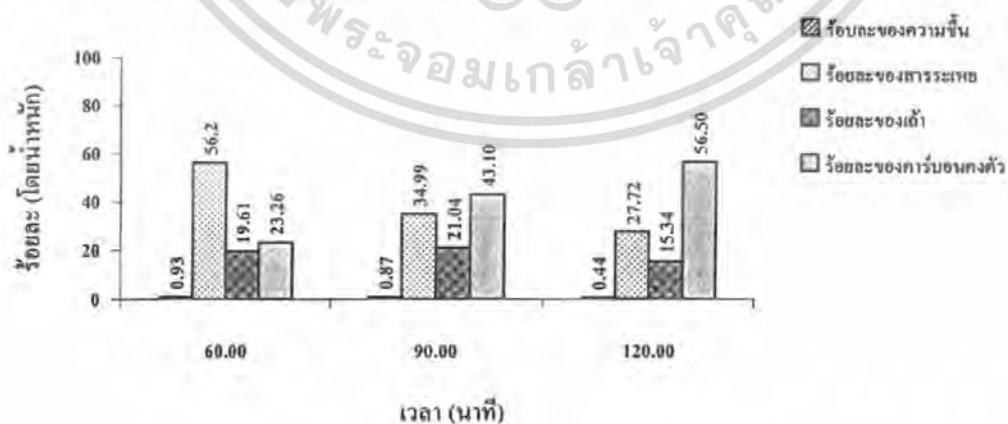
รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิต่อถ่านสารจากเมล็ดหมากซึ่งคาร์บอนไนซ์ที่เวลา 60 นาที



รูปที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลผลิตซึ่งคาร์บอนในชีที่เวลา 60 นาที

รูปที่ 4.6 4.7 และ 4.8 แสดงร้อยละของความชื้น ร้อยละของสารระเหย ร้อยละของเถ้า ร้อยละของคาร์บอนคงตัว และร้อยละผลผลิต ซึ่งคาร์บอนในชีที่เวลา 60 90 และ 120 นาที จากรูปที่ 4.6 พบว่า เวลาในการคาร์บอนไนซ์เปลือกหมากที่ 120 นาที จะให้ค่าร้อยละของคาร์บอนคงตัวสูงสุด 56.50 โดยน้ำหนัก และจากรูปที่ 4.7 แสดงผลการคาร์บอนไนซ์เมล็ดหมาก พบว่า ที่ช่วงเวลา 60-90 นาที ร้อยละคาร์บอนคงตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และที่เวลา 120 นาที ร้อยละของคาร์บอนคงตัวที่ได้มีค่าลดลง เนื่องจากคาร์บอนไนซ์ที่เวลานาน ส่งผลให้เกิดการสลายตัวของคาร์บอน ปริมาณคาร์บอนคงตัวจึงลดลง

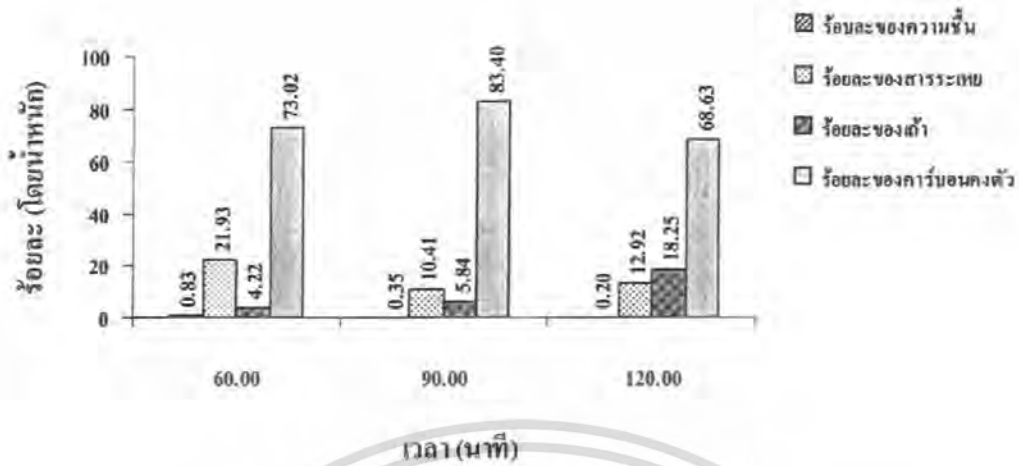
ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ของด้านซาร์จากเปลือกหมาก คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลา 120 นาที และภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ของด้านซาร์จากเมล็ดหมาก คือ ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสและเวลา 90 นาที



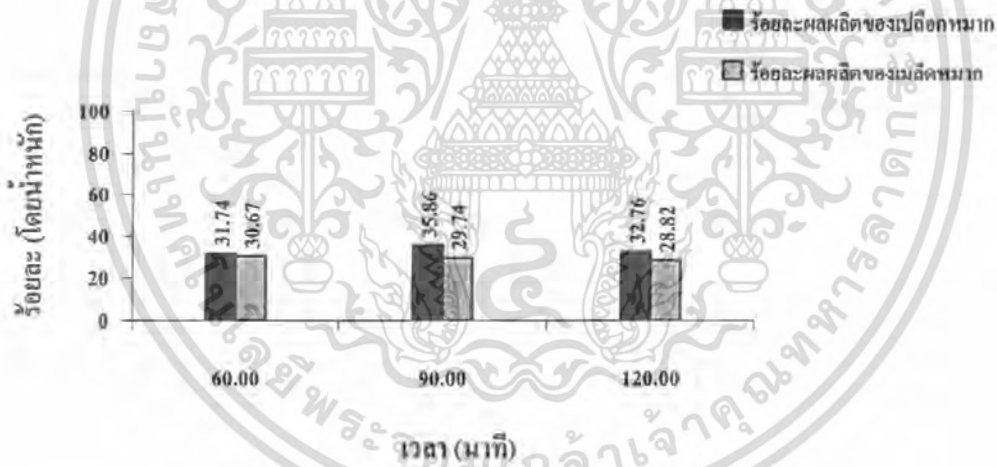
รูปที่ 4.6 ผลของเวลาที่ใช้ในการคาร์บอนไนซ์ต่อด้านซาร์จากเปลือกหมากซึ่ง

คาร์บอนไนซ์ที่ 600 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลของเวลาที่ใช้ในการคาร์บอนไนซ์ต่อผ่านสารจากเมล็ดหมากซึ่งคาร์บอนไนซ์ที่ 650 องศาเซลเซียส

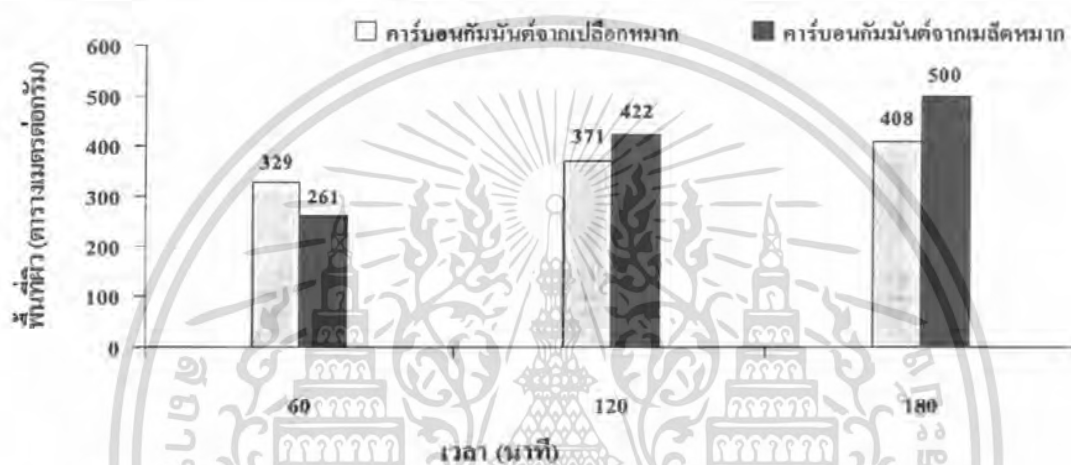


รูปที่ 4.8 ผลของเวลาในการคาร์บอนไนซ์ต่อร้อยละผลผลิต (คาร์บอนไนซ์เปลือกหมากและเมล็ดหมากที่อุณหภูมิ 600 และ 650 องศาเซลเซียส ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การกระตุ้นผ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวดและการทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์

การศึกษาผลของภาวะที่ใช้ในการกระตุ้นผ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวดต่อพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 120 และ 180 นาที อัตราการไหลของไอน้ำ 13.6 มิลลิลิตรต่อนาที และทดสอบพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ด้วยวิธีบีที จากรูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ต่อเวลาในการกระตุ้น พบว่า พื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์เพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้เวลาในการกระตุ้นนานขึ้น



รูปที่ 4.9 พื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ที่เวลาในการกระตุ้น 60 120 และ 180 นาที

เนื่องจากเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ไอน้ำสามารถเข้าไปออกซิไดซ์น้ำมันหยาบและคาร์บอนบางส่วนในโครงสร้างผ่านชาร์ได้มากขึ้น ทำให้น้ำมันหยาบซึ่งอยู่ในรูพรุนถูกกำจัดออกจากรูพรุนคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จึงมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น โดยคาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกหมากที่ให้พื้นที่ผิวสูงสุดทำการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที และกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที มีพื้นที่ผิว 408 ตารางเมตรต่อกรัม และคาร์บอนกัมมันต์จากเมล็ดหมากที่ให้พื้นที่ผิวสูงสุดนั้น ได้จากการคาร์บอนไนซ์เมล็ดหมากที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที และกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที มีพื้นที่ผิว 500 ตารางเมตรต่อกรัม

การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นการศึกษาการกระตุ้นผ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวด แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบงานวิจัยซึ่งใช้การกระตุ้นด้วยไอน้ำ

ข้อมูลเปรียบเทียบ	วัตถุดิบ	ขนาดอนุภาค	ภาวะในการ คาร์บอไนซ์	ภาวะในการ กระตุ้น	อัตราการไหล ของไอน้ำ	พื้นที่ผิว (ม ² /ก)
นิภาพร บุญครอง มลิสา นวลเสื่อ	เปลือกหมาก	≈ 1 ซม.	600 °ซ 120 นาที	800 °ซ { 60 นาที 120 นาที 180 นาที	13.6 มล./นาที	329
	เมล็ดหมาก	1.68-3.36 มม.	650 °ซ 90 นาที			800 °ซ { 60 นาที 120 นาที 180 นาที
Elisabeth และคณะ [14]	ฟางข้าว	≈ 1 ซม.	600 °ซ 60 นาที	120-150 นาที	5 ล./นาที	650
	ฟางข้าวสาลี	≈ 4 มม.		120-150 นาที	0.5 ล./นาที	600
	เมล็ดมะกอก	2-4 มม.		-	0.5 ล./นาที	850
	เปลือกถั่วพิสตาชิโอ	-		800 °ซ 90 นาที	5-0.5 ล./นาที	1,300
	เปลือกวอลนัท	5-10 มม.		90 นาที	0.5 ล./นาที	1,100
	ไม้ปืซ	-		-	5-0.5 ล./นาที	1,000
	แอนทราไซค์	-		-	5-0.5 ล./นาที	1,400

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบงานวิจัยซึ่งใช้การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (ต่อ)

ข้อมูลเปรียบเทียบ	วัตถุดิบ	ขนาดอนุภาค	ภาวะในการ คาร์บอไนซ์	ภาวะในการ กระตุ้น	อัตราการไหล ของไอน้ำ	พื้นที่ผิว (ม ² /ก)
S. Gaspard และคณะ [15]	รากหญ้าแฝก	0.4-1 มม.	650-900 °ซ 120 นาที	820 °ซ { 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง 8 ชั่วโมง }	80 มล./นาที	452 501 576 306
Renan Arriagada และคณะ [16]	ไม้ยูคาลิปตัส	-	-	820 °ซ { 10 นาที 60 นาที 120 นาที 270 นาที }	140 มล./นาที	466 622 778 1,193
จิตติ หวานสมณะ เจษฎา มานะสิทธิชัย [5]	กระดุกไก่	-	550 °ซ 60 นาที	750 °ซ 90 นาที	-	242

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการคาร์บอนในซ้ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ที่ความดัน 1 บาร์ พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนในซ้เปลือกหอย คือ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที ซึ่งให้ร้อยละของคาร์บอนคงตัวสูงสุดร้อยละ 56.50 โดยมีร้อยละผลผลิตที่ได้ ประมาณ 32.76 และพบว่าที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ในเวลา 90 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนในซ้ถ่านซาร์จากเมล็ดหอย โดยมีร้อยละของคาร์บอนคงตัว 83.4 และร้อยละผลผลิตที่ได้ ประมาณ 29.74

จากการศึกษาการกระตุ้นถ่านซาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวด พบว่า ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นถ่านซาร์จากเปลือกหอยและเมล็ดหอยให้ผลสอดคล้องกัน คือ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในเวลา 180 นาที โดยพิจารณาจากค่าพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ ซึ่งพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกหอยมีค่า 408 ตารางเมตรต่อกรัม และคาร์บอนกัมมันต์จากเมล็ดหอยมีพื้นที่ผิว 500 ตารางเมตรต่อกรัม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.1.1 ศึกษาการกระตุ้นด้วยกรรมวิธีอื่น เช่น กระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ เป็นต้น

5.1.2 ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Available: <http://www.doae.go.th/library/html/detail/futureofac/inde.htm>
- [2] Available: <http://www.sc.chula.ac.th/ASCON2002/index.html>
- [3] **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์** สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์กระทรวงอุตสาหกรรม. 2532.
- [4] Hassler J.W. **Purification with Activated Carbon**. New York. Chemical Publishing Co. Inc. 1974. p. 87-191.
- [5] จิตติ หวานเสนาะ และ เจษฎา มานะสิทธิชัย. การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกระดูกไก่. ปรินิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.
- [6] กมลชนก ปานสง่า และคณะ. การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสและกากคาร์บอน. ปรินิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545. หน้า 18-19.
- [7] มานัด แก้วถาวร. ผลของโซเดียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ ปรินิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2537. หน้า 43-52.
- [8] ยุวดี เศษทวีทย์ และสายใจ นารถสมบูรณ์. ผลของสารละลายซิงค์คลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ และสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์กับโซเดียมคลอไรด์ต่อการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. ปรินิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541.
- [9] Gregg S.J. and Sing K.S.W. **Adsorption Surface Area and Porosity**. 2nd ed. New York. John Wiley & Sons. 1978. vol.4. p. 561-569.
- [10] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. “ถ่านกัมมันต์” ข่าวกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 1987. ฉบับที่ 107. หน้า 12-13.
- [11] พงษ์ชัย เพชรสังหาร และคณะ การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากเมล็ดกาแฟเพื่อใช้ในการดูดซับฟีนอลและทอลูอิน. ปรินิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] Richard I. Masel. **Principles of Adsorption and Reaction on Solid Surfaces**. United States of America. John Wiley & Sons. 1996. p. 299-330.
- [13] Available: http://www.pharm.su.ac.th/thai/Public_relations/Areca/chemical/chemical.htm
- [14] Elisabeth Schroder, Klaus Thomauske, Christine Weber, Andreas Hornung, Vander Tumiatti. **Experiments on the generation of activated carbon from biomass**. Analytical and Applied Pyrolysis. 2007. vol. 79 . p. 106-111.
- [15] S. Gaspard, S. Altenor, E.A. Dawson, P.A. Barnes and A. Ouensanga . **Activated carbon from vetiver roots: Gas and liquid adsorption studies**. Hazardous Materials. 2007. vol. 144. p. 73-81.
- [16] Arrigada, R., Garcia, R. and Reyes,P. **Steam and Carbon Dioxide Activation of Eucalyptus Globulus Wood**. Fuel. 1996. vol. 75. p. 1,701-1,706.
- [17] Hu Z. and Srinivasan M.P. **Preparation of High - Surface - Area Activated Carbon from Coconut Shell**. Microporous and Mesoporous Materials. 1999. vol 27. p 11-18.
- [18] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. **มาตรฐานคาร์บอนต์: Standard for Activeted Carbon**. กรุงเทพฯ. 2532.
- [19] บริษัท แล็บสแกน เอเชีย จำกัด. **เอกสารข้อมูลความปลอดภัย**.

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัว ความชื้น เถ้า และสารระเหย

ก.1 ปริมาณคาร์บอนคงตัว [5]

คาร์บอนคงตัวเป็นค่าจากการคำนวณ ซึ่งได้มาจากผลรวมของร้อยละความชื้น เถ้า และสาร
ที่ระเหย หักออกจากร้อยละ 100

ก.2 ปริมาณความชื้น

ความชื้น คือ การหาปริมาณน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไปเนื่องจากความร้อนภายใต้ภาวะที่
ควบคุมไว้ของ อุณหภูมิ เวลา สภาพแวดล้อม น้ำหนักตัวอย่าง และอุปกรณ์ที่เฉพาะเจาะจง โดยมี
ขั้นตอนการปฏิบัติดังต่อไปนี้

- เผาครุชีเบิลที่ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และชั่งน้ำหนัก
- ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5 กรัม ใส่ลงในครุชีเบิล แล้วปิดฝา
- นำครุชีเบิล ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- ปลดปล่อยให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ และนำไปชั่งน้ำหนัก

วิธีคำนวณหาร้อยละของความชื้น ในการวิเคราะห์ คือ

$$\text{ร้อยละของความชื้น} = \left[\frac{A - B}{A} \right] \times 100 \quad (\text{ก.1})$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)
 B คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ก.3 ปริมาณเถ้า

เถ้า คือ ปริมาณน้ำหนักของกากหลังจากการเผาผ่านภายใต้ภาวะที่ควบคุม มีขั้นตอนการ
ปฏิบัติ ดังนี้

- นำตัวอย่างไปบดให้ผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช
- ชั่งตัวอย่างจำนวน 0.5 กรัม ใส่ครุชีเบิล แล้วปิดฝา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เเผาที่อุณหภูมิ 730 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
- ทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ ระวังเรื่องความชื้น
- ชั่งน้ำหนักครั้งสุดท้าย

วิธีคำนวณหาร้อยละของเถ้าในการวิเคราะห์ คือ

$$\text{ร้อยละของเถ้า} = \frac{C}{A} \times 100 \quad (\text{ก.2})$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)
 C คือ น้ำหนักของเถ้า (กรัม)

ก.4 ปริมาณสารระเหย

น้ำหนักสารระเหย คือ น้ำหนักของถ่านที่เสียไปจากการให้ความร้อน โดยวิธีนี้จะพิจารณา ร้อยละของแก๊สผลิตภัณฑ์ ยกเว้นความชื้น โดยมีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

- ชั่งถ่าน 0.5 กรัม ใส่ในครุชชีเบลพลาตินัม ปิดฝาให้เรียบร้อย
- ใส่ครุชชีเบลลงใน Furnace Chamber และให้อุณหภูมิที่ 950 องศาเซลเซียส โดยมีขั้นตอน คือ ให้ความร้อนที่ 500 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 2 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 นาที

วิธีคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักที่หายไป คือ

$$\text{ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป} = \left[\frac{A - D}{A} \right] \times 100 \quad (\text{ก.3})$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)
 D คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ได้จากการเผา (กรัม)

วิธีคำนวณหาร้อยละของสารระเหยในการวิเคราะห์ คือ

$$\text{ร้อยละของสารระเหย} = X - Y \quad (\text{ก.4})$$

เมื่อ X คือ ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป
 Y คือ ร้อยละของความชื้น

ก. 5 ตัวอย่างการคำนวณ

ผลการทดลองการคาร์บอนไนซ์เมล็ดหมากที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 60 นาที แสดงดังตารางที่

ก.1

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักของเมล็ดหมากที่คาร์บอนไนซ์เป็นเวลา 60 นาที โดยแปรค่าอุณหภูมิต่างๆ

ชุดที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	ร้อยละผลผลิต (% Yield)
1	450	7.0210	2.3605	33.62
2	500	7.0515	2.3890	33.88
3	550	7.0513	2.3185	32.88
4	600	7.0416	2.2237	31.58
5	650	7.0514	2.1627	30.67

ตัวอย่างวิธีการคำนวณร้อยละผลผลิตที่ได้

จากสมการ
$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \left[\frac{\beta}{\alpha} \right] \times 100 \quad (\text{ก.5})$$

เมื่อ α คือ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)
 β คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละผลผลิต} &= \left[\frac{2.3605}{7.0210} \right] \times 100 \\ &= 33.62 \end{aligned}$$

ตารางที่ ก.2 ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณร้อยละของความชื้นที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

ชุดที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	ร้อยละของ ความชื้น (% Moisture)
1	450	0.5032	0.4980	1.03
2	500	0.5021	0.4999	0.44
3	550	0.5005	0.4988	0.34
4	600	0.5034	0.4982	1.03
5	650	0.5027	0.4985	0.83

ตัวอย่างวิธีการคำนวณร้อยละของความชื้น

จากสมการที่ ก.1

$$\text{ร้อยละของความชื้น} = \left[\frac{A - B}{A} \right] \times 100$$

เมื่อ

A คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

B คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของความชื้น} &= \left[\frac{0.5032 - 0.4980}{0.5032} \right] \times 100 \\ &= 1.03 \end{aligned}$$

ตารางที่ ก.3 ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณร้อยละของเถ้าที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

ชุดที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	ร้อยละของ เถ้า (% Ash)
1	450	0.5027	0.1403	27.91
2	500	0.5003	0.0432	8.63
3	550	0.5050	0.0355	7.03
4	600	0.5068	0.0833	16.44
5	650	0.5043	0.0213	4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างวิธีการคำนวณร้อยละของเถ้า

$$\text{จากสมการที่ ก.2} \quad \text{ร้อยละของเถ้า} = \left[\frac{C}{A} \right] \times 100$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)
 C คือ น้ำหนักของเถ้า (กรัม)

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของเถ้า} &= \left[\frac{0.1403}{0.5027} \right] \times 100 \\ &= 27.91 \end{aligned}$$

ตารางที่ ก.4 ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณร้อยละของสารระเหยที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

ชุดที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	ร้อยละของสารระเหย (% Volatile matters)
1	450	0.5058	0.3402	31.71
2	500	0.5070	0.3529	29.95
3	550	0.5063	0.3670	27.17
4	600	0.5033	0.3454	30.34
5	650	0.5075	0.3920	21.93

ตัวอย่าง วิธีการคำนวณร้อยละของสารระเหย

$$\text{จากสมการที่ ก.3} \quad \text{ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป} = \left[\frac{A-D}{A} \right] \times 100$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)
 D คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ได้จากการเผา (กรัม)

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป} &= \left[\frac{0.5058 - 0.3402}{0.5058} \right] \times 100 \\ &= 32.74 \end{aligned}$$

จากสมการที่ ก.4

ร้อยละของสารระเหย = $X - Y$

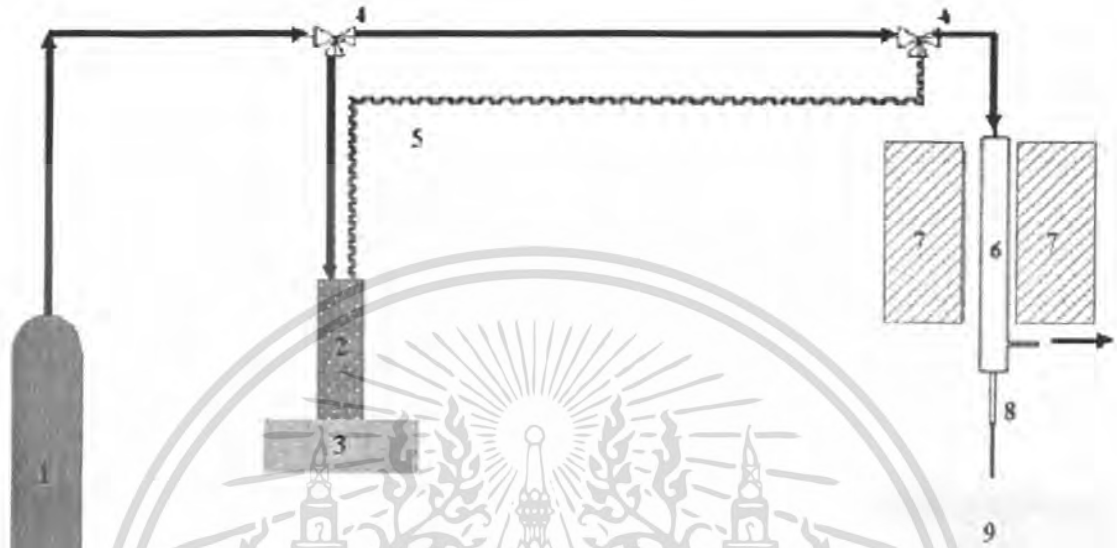
เมื่อ	X	คือ	ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป
	Y	คือ	ร้อยละของความชื้น

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของสารระเหย} &= 32.74 - 1.03 \\ &= 31.71 \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
แบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์

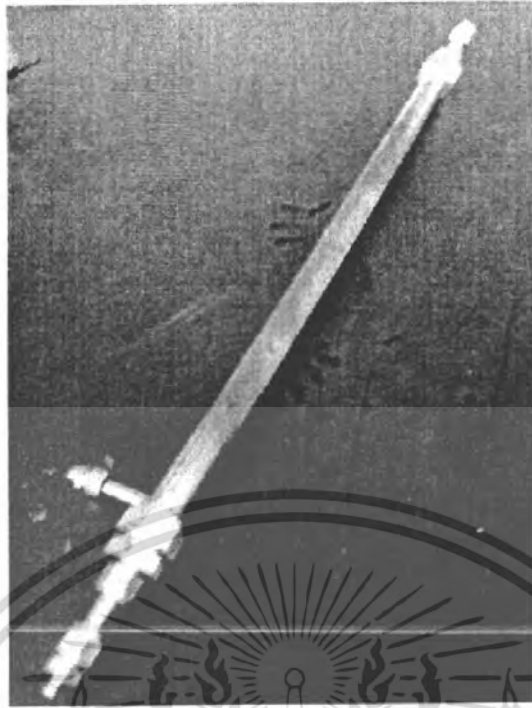


รูปที่ ข.1 แบบจำลองการเผาแบบอับอากาศ

ส่วนประกอบต่างๆ มีดังนี้

- หมายเลข 1 ถังแก๊สไนโตรเจน
- หมายเลข 2 เครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำ
- หมายเลข 3 เครื่องให้ความร้อน
- หมายเลข 4 วาล์ว 3 ทาง
- หมายเลข 5 เคเบิลรักษาอุณหภูมิ
- หมายเลข 6 เครื่องปฏิกรณ์การเผา
- หมายเลข 7 เตาเผาความร้อนสูง
- หมายเลข 8 เทอร์โมคัปเปิล
- หมายเลข 9 ชุดควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 เครื่องปฏิกรณ์การเผา



รูปที่ ข.3 ชุดควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

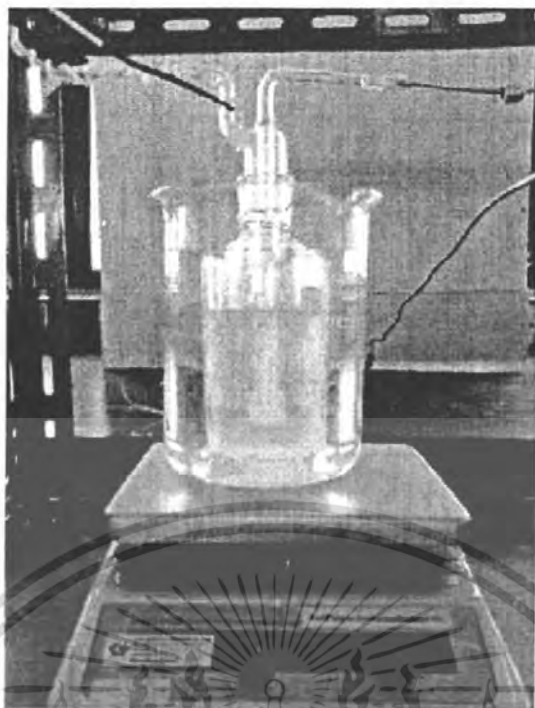


รูปที่ ข.4 เตาเผาความร้อนสูง

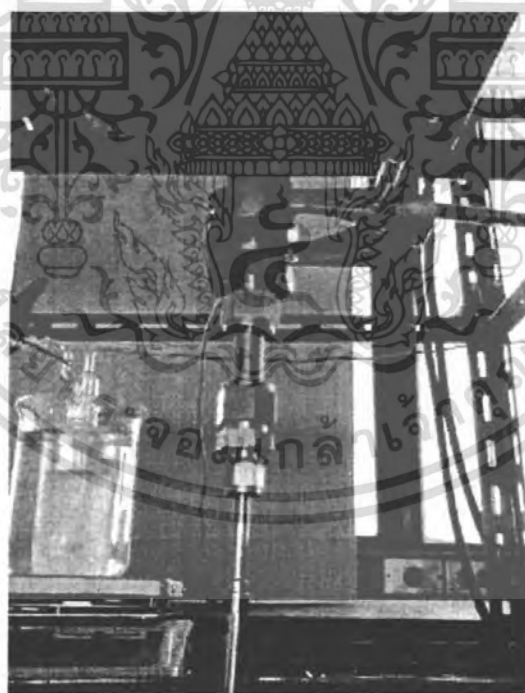


รูปที่ ข.5 เครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 เครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำกับเครื่องให้ความร้อน



รูปที่ ข.7 เทอร์โมคัปเปิลที่ต่อเข้ากับเครื่องปฏิกรณ์ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.8 ชุดปฏิบัติการเผา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพคาร์บอนกัมมันต์

ค.1 มาตรฐานและวิธีการทดสอบที่ใช้ทั่วไป [18]

มาตรฐานและวิธีการทดสอบคาร์บอนกัมมันต์นั้นแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ ดังนี้ คือ

ค.1.1 มาตรฐานการทดสอบคาร์บอนกัมมันต์ตามวิธี AWWA (American Water Works Association) ได้กำหนดคุณภาพของคาร์บอนกัมมันต์ซึ่งต้องทดสอบ คือ

- Impurities
- Moisture
- Ash
- Apparent density
- Particle size distribution (Fineness)
- Phenol adsorptive capacity
- Iodine adsorptive capacity
- Odor adsorptive capacity
- Tannin adsorptive capacity
- Retention of adsorptive capacity

สำหรับคาร์บอนกัมมันต์เม็ด AWWA กำหนดคุณสมบัติที่ต้องทดสอบ คือ

- Moisture
- Apparent density
- Particle size distribution
- Abrasion resistance
- Iodine number

ค.1.2 มาตรฐานการทดสอบคาร์บอนกัมมันต์ตามวิธีของ (American Standards for Testing and Meerialst: ASTM) กำหนดคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่ต้องทดสอบ (ASTM, PART 30, 1982) ไว้ดังนี้

- Radioiodine testing of nuclear-grade gas phase adsorbents
- Liquid phase evaluation
- Apparent density
- Carbontetrachloride activity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Moisture
- Particle size
- Total ash content

ค.1.3 มาตรฐานและการทดสอบคาร์บอนกัมมันต์ของประเทศญี่ปุ่น กำหนดการทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ ดังนี้

คาร์บอนกัมมันต์ผง (JIS K 1470-1967)

- Caramel decolourizing power
- Methylene blue decolourizing power
- Loss on drying
- Chloride
- Iron
- Residue on ignition
- pH

คาร์บอนกัมมันต์เม็ด (JIS K 1474-1975)

- Iodine adsorption performance
- Chloropicrin break – through adsorption performance
- Equilibrium adsorption performance for 1/n solvent vapor
- Grain size
- Grain size distribution (Effective size and uniformity coefficient)
- Hardness
- Ignition point
- Filling bulk density
- Loss on drying
- Ignition residue
- pH

ค.1.4 มาตรฐานและการทดสอบคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ฟอกสีน้ำมันพืชและน้ำตาลของประเทศอินเดีย กำหนดคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่ต้องทดสอบ (SI: 877-1956)

- Moisture
- Ash
- Bulk density
- Matter soluble in hydrochloric acid
- pH of aqueous extract

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Titrable acidity or alkalinity
- Filtrability and oil retention (For vegetable oils)
- Decolourizing power

ก.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคาร์บอนกัมมันต์ [19]

ก.2.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ชนิด ขนาด คุณสมบัติที่ต้องการการบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบคาร์บอนกัมมันต์

ก.2.2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

1. คาร์บอนกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ กันได้เป็นอย่างดี

2. ค่าไอโอดีน หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของ ไอโอดีนที่ดูดซับไว้ด้วยคาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับ และผ่านการกรองแล้วเป็น 0.02 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

ก.2.3 ชนิด

คาร์บอนกัมมันต์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. คาร์บอนกัมมันต์ผง (Powdered activated carbon)
2. คาร์บอนกัมมันต์เม็ด (Granular activated carbon)

ก.2.4 ขนาด

1. คาร์บอนกัมมันต์ผง

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านตะแกรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก

2. คาร์บอนกัมมันต์เม็ด

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านตะแกรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

ก.2.5 คุณสมบัติที่ต้องการ

1. ลักษณะทั่วไป

- คาร์บอนกัมมันต์ผง ต้องเป็นผงละเอียดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใดๆ
- คาร์บอนกัมมันต์เม็ด ต้องเป็นเม็ดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใดๆ

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี
- คาร์บอนกัมมันต์ผง ให้เป็นไปตามตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์ผง

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ไม่น้อยกว่า	600
2	ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.20-0.75

- คาร์บอนกัมมันต์เม็ด ให้เป็นไปตามตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์เม็ด

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ไม่น้อยกว่า	600
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8
3	ความหนาแน่นปรากฏ ไม่น้อยกว่าร้อยละ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.36
4	ความแข็ง ร้อยละ	70

ค.2.6 การบรรจุ

1. ให้บรรจุคาร์บอนกัมมันต์ในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท
2. น้ำหนักสุทธิของคาร์บอนกัมมันต์ในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่

ฉลาก

ค.2.7 เครื่องหมายและฉลาก

1. ที่ภาชนะบรรจุคาร์บอนกัมมันต์ทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีตัวเลข อักษร หรือ เครื่องหมาย
แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- ชนิด
- น้ำหนักสุทธิ เป็นกิโลกรัม
- เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ
- ชื่อผู้ผลิต หรือ โรงงานที่ผลิต หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชื่อผู้ผลิต หรือโรงงานที่ผลิต หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

2. ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

ค.2.8 การชักตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสิน

1. รุ่นในที่นี้ หมายถึง การรับอนกัมมันต์ชนิดเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน บรรจุในภาชนะชนิดและขนาดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

2. การชักตัวอย่าง และการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้จากแผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากับทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบการบรรจุ

- ให้ชักตัวอย่าง โดยวิธีการสุ่มจากรุ่นเดียวกัน ตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ค.3

- ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้างต้น จึงจะถือว่าคาร์บอนกัมมันต์รุ่นนั้น

เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ

- ให้ชักตัวอย่าง จากตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบการบรรจุมาแล้ว มาบรรจุภาชนะละเท่าๆ กัน ให้ได้ตัวอย่างรวมกันไม่น้อยกว่า 1,500 กรัม ผสมตัวอย่างทั้งหมดเข้าด้วยกัน แล้วแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน บรรจุแต่ละส่วนลงในภาชนะที่สะอาดแห้ง และปิดได้สนิท พร้อมทั้งบันทึกรายละเอียดที่จำเป็นไว้ ตัวอย่างส่วนหนึ่งนำไปใช้ในการวิเคราะห์ อีก 2 ส่วน ที่เหลือให้ผู้ที่เกี่ยวข้องเก็บไว้เป็นหลักฐาน

ตารางที่ ค.3 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดทุกข้อ จึงจะถือว่าคาร์บอนกัมมันต์ รุนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ก.2.9 การทดสอบ

1. ให้ใช้วิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานนี้ หรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในมาตรฐานนี้
2. น้ำกลั่นและสารเคมีที่ใช้ ต้องมีความบริสุทธิ์เหมาะสมสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

3. การทดสอบขนาด

3.1 คาร์บอนกัมมันต์ผง

- อุปกรณ์

1. ตะแกรง 150 ไมโครเมตร
2. กุชครุชิบิล

วิธีทดสอบ

นำตัวอย่างประมาณ 25 กรัม ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ จากนั้นให้รีบชั่งน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.001 กรัม (m_0) เทตัวอย่างใส่บีกเกอร์ เติมน้ำ 600 ถึง 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน ทำตะแกรงให้เปียกก่อนแล้วค่อยเทตัวอย่างช้าๆ ผ่านตะแกรง ในขณะที่เทให้คนตัวอย่างเป็นครั้งคราว ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ออกให้หมด เมื่อเทตัวอย่างทั้งหมดลงบนตะแกรงแล้ว ใช้น้ำล้างตัวอย่างอีกจนกระทั่งไม่มีตัวอย่างผ่านตะแกรงอีก ถ่ายตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรง โดยใช้น้ำช่วยใส่ลงในบีกเกอร์แล้วกรองผ่านกุชครุชิบิล ซึ่งทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำกุชครุชิบิลไปอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดสิคเคเตอร์แล้วรีบชั่งทันที

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณที่ผ่านตะแกรง/ร้อยละ โดยน้ำหนัก} = \left(1 - \frac{m_1}{m_0}\right) \times 100 \quad (\text{ง.1})$$

เมื่อ	m_0	คือ	น้ำหนักตัวอย่าง หลังอบแห้งครั้งแรก (กรัม)
	m_1	คือ	น้ำหนักตัวอย่าง หลังอบแห้งครั้งที่สอง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การรับอนกัมมันต์เม็ด

- อุปกรณ์

1. ตะแกรง 150 ไมโครเมตร
2. เครื่องเขย่า ที่มีอัตราการเขย่า 285 ± 5 รอบต่อนาที

วิธีทดสอบ

ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม ใส่ในตะแกรง เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 3 นาที ถ่ายส่วนที่ค้างบนตะแกรงทั้งหมดลงในภาชนะที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว ชั่งและคำนวณส่วนที่ค้างบนตะแกรงเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก

4. น้ำหนักสุทธิ

ชั่งตัวอย่างทั้งหมดพร้อมภาชนะบรรจุ แล้วเทการับอนกัมมันต์ออก ชั่งภาชนะเปล่าแล้วเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง ได้เป็นน้ำหนักสุทธิต่อภาชนะบรรจุ

