สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เอกสารรายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงงานวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์
ประจำปี 2550

เรื่อง

เครื่องเผาอุณหภูมิสูงสำหรับเตรียมถ่านกัมมันต์

ดร. พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

RCH
TP
841
W284A
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....84499
วัน,เดือน,ปี.....13 ต.ค. 2551

เสนอ

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
b.....
i.....

1. ชื่อโครงการวิจัย

เครื่องเผาอุณหภูมิสูงสำหรับเตรียมถ่านกัมมันต์

2. ผู้รับผิดชอบโครงการ

หัวหน้าโครงการวิจัย ดร.พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์

3. วัตถุประสงค์โครงการวิจัย

สร้างเครื่องเผาอุณหภูมิสูงสำหรับเตรียมถ่านกัมมันต์

4. ชิ้นงานที่ต้องส่งมอบคณะฯ เมื่อสิ้นสุดโครงการ

เครื่องเผาอุณหภูมิสูงสำหรับเตรียมถ่านกัมมันต์ และถ่านกัมมันต์

5. จำนวนเงินวิจัยที่ได้รับอนุมัติ

80,000 บาท

6. สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ลงชื่อ พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์ หัวหน้าโครงการวิจัย

(ดร. พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ เครื่องเผาอุณหภูมิสูงสำหรับเตรียมถ่านกัมมันต์

ชื่อนักวิจัย ดร. พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้สร้างเครื่องเผาอุณหภูมิสูงสำหรับเตรียมถ่านกัมมันต์ และศึกษาการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกหมากและเมล็ดหมาก โดยการคาร์บอไนซ์ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิระหว่าง 450-650 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เป็นเวลา 60 90 และ 120 นาที พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์เปลือกหมาก คือ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ในเวลา 120 นาที และพบว่าที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ในเวลา 90 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ถ่านชาร์จากเมล็ดหมาก 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมา 1

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 คาร์บอนกัมมันต์

2.1.1 ความหมายของคาร์บอนกัมมันต์ 2

2.1.2 ลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนกัมมันต์ 2

2.1.3 วัตถุดิบที่ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ 5

2.1.4 ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์ 6

2.1.5 ประโยชน์ของคาร์บอนกัมมันต์ 9

2.1.6 กระบวนการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ 11

2.2 หมาก 15

บทที่ 3 การทดลอง

3.1 การคาร์บอไนซ์ 18

3.2 การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวด 19

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย

4.1 การคาร์บอไนซ์ 20

4.2 การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวดและการทดสอบคุณสมบัติ
ของคาร์บอนกัมมันต์ 25

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง 26

เอกสารอ้างอิง 27

ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัว ความชื้น เถ้า และสารระเหย 29

ภาคผนวก ข. แบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์การเผา 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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) ในปัจจุบันคาร์บอนกัมมันต์ที่มีจำหน่ายอยู่ผลิตจากถ่านหินแอนทราไซค์ ไม้ และกะลามะพร้าว นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากวัตถุดิบตั้งต้นประเภทต่างๆ เช่น ยูคาลิปตัส ชานอ้อย ฟางข้าว กากถั่วเหลือง เปลือกวอลนัท เมล็ดมะกอก รากหญ้าแฝก และปาล์มน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งใช้กรรมวิธีการสังเคราะห์ที่แตกต่างกันไป

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

วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการดังกล่าว ได้แก่ เปลือกหมากและกากเมล็ดหมากจะกำจัดโดยนำไปฝัง เผาทำลาย ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องผลิตไอน้ำ และใช้ทำปุ๋ย หากสามารถนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ ก็นับได้ว่าเป็นการช่วยจัดการกับวัสดุเหลือทิ้งอีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่หมากซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 คาร์บอนกัมมันต์

2.1.1 ความหมายของคาร์บอนกัมมันต์ [2]

Derbyshire กล่าวว่า คาร์บอนกัมมันต์ คือ วัตถุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูง สามารถดูดซับสารเคมีจากแก๊สและของเหลวได้ดี และสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน โดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้คาร์บอนกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้

Jankowska กล่าวว่า คาร์บอนกัมมันต์ คือ การนำเอาวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ ซึ่งทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้างรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูง โดยคาร์บอนกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก (87-90%) และมีธาตุอื่นที่เป็นองค์ประกอบ คือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นกับปริมาณที่มีในวัตถุดิบและอาจเกิดขึ้นได้อีกในขั้นตอนการผลิต

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

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

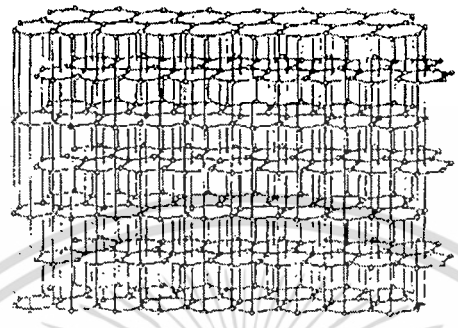
2.1.2 ลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนกัมมันต์ [3-4]

ก. โครงสร้างรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์

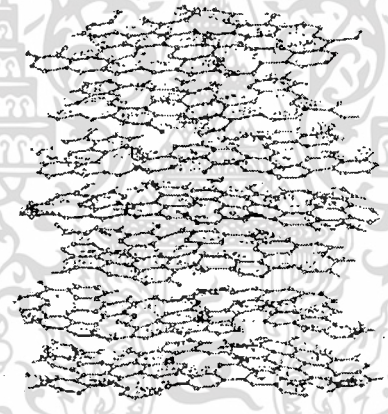
คาร์บอนกัมมันต์มีลักษณะเป็นผลึก โครงสร้างผลึกของคาร์บอนกัมมันต์จะมีการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนโดยยึดเกาะกันในลักษณะหกเหลี่ยมด้วยพันธะโคเวเลนต์ มีลักษณะคล้ายผลึกแกรไฟต์ดังรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปขนาดและรูปร่างโครงสร้างของผลึกเหล่านี้จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เผา ถ้าอุณหภูมิที่เผาสูงผลึกคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีขนาดเล็ก นอกจากนี้รูปร่างอะตอมของคาร์บอนยังเปลี่ยนตามส่วนประกอบและโครงสร้างของวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลึกจะเกิดขึ้นด้วยกระบวนการหลายๆ แบบ ในระหว่างที่มีการให้ความร้อนสารอินทรีย์จะรวมกันก่อให้เกิดโครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติก การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจะเกิดขึ้นโดยที่ยังมีส่วนของไฮโดรคาร์บอนและวงแหวนเหลืออยู่ซึ่งสามารถสร้างพันธะกับธาตุอื่นที่เข้าไปจับกับอะตอมของไฮโดรเจน ออกซิเจน และคาร์บอน ทำให้มีผลต่อการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของผลึกแกรไฟต์แบบ Three-dimensional graphite [5]



รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของผลึกแกรไฟต์แบบ Turbostratic structure [5]

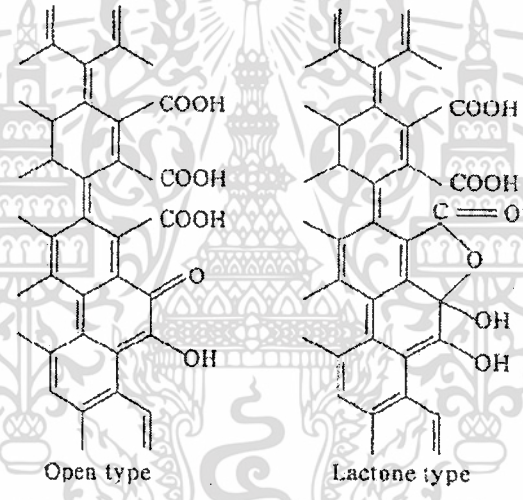
ข. โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์

การคาร์บอไนซ์จะทำให้สารอินทรีย์เกิดการสลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส อะตอมต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน ได้แก่ ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จะถูกกำจัดออกมาในรูปของแก๊ส อะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นจะประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมเชื่อมโยงกันอย่างเป็นระเบียบ ทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรงซึ่งน้ำมันทาร์และสารอื่นๆ ที่ได้จากการเผาสลายจะเข้าไปอยู่ภายในรูพรุนนี้ เมื่อนำมากระตุ้นรูพรุนเหล่านี้มีความสามารถในการดูดซับ ซึ่งเป็นการล้างน้ำมันทาร์และสารต่างๆ ออกจากรูพรุน แล้วจะสร้างหมู่ฟังก์ชันขึ้นมาแทน ดังนั้นโครงสร้างทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์จึงมีผลต่อความสามารถในการดูดซับด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

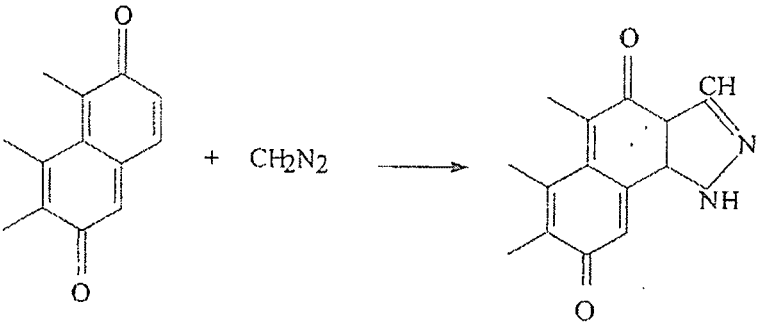
โดยทั่วไปผิวของคาร์บอนกัมมันต์จะเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ซึ่งเกิดจากอะตอมของคาร์บอนกับออกซิเจน ที่เรียกว่า ผิวออกไซด์ มีอยู่ 2 ชนิด ดังนี้

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



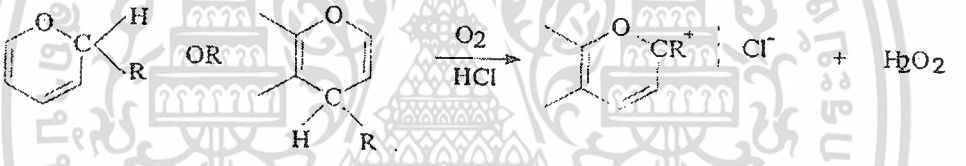
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดบนผิวคาร์บอนกัมมันต์ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างปฏิกิริยาของคาร์บอนกัมมันต์ที่มีผิวเป็นกรด [6]

2. ชนิดที่เป็นด่าง เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส หมู่ฟังก์ชันที่เกาะอยู่บนผิวของคาร์บอนกัมมันต์ สามารถดูดซับโมเลกุลของกรดได้ดี ได้แก่ ไฮดรอกไซด์ (Hydroxide) คาร์บอเนต (Carbonate) เป็นต้น



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างปฏิกิริยาการดูดซับโมเลกุลกรดด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่มีผิวเป็นด่าง [6]

2.1.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ [6]

วัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบทั้งจากพืช สัตว์ หรือแร่ธาตุต่างๆ สามารถนำมาผลิตเป็นคาร์บอนกัมมันต์ได้ วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตในระดับอุตสาหกรรม คือ พีท ถ่านหิน ลิกไนต์ และกะลามะพร้าว เนื่องจากสามารถผลิตคาร์บอนกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูงและมีรูพรุนขนาดเล็ก วัตถุดิบที่นำมาผลิตคาร์บอนกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง
- มีคุณสมบัติคงที่
- มีราคาถูกและหาง่าย

ทั้งนี้ตัวอย่างแหล่งของวัตถุดิบที่เคยมีผู้นำมาผลิตคาร์บอนกัมมันต์แสดงดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 วัตถุดิบต่างๆ 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)	เปลือกลูกนัท (Nut shell)
กะลามะพร้าว (Coconut shell)	หินน้ำมัน (Oil shale)
เมล็ดกาแฟ (Coffee beans)	ถ่านหินพีท (Peat)
ซังข้าวโพด (Corncobs and corn stalks)	กากกรดปิโตรเลียม (Petroleum acid sludge)
เปลือกเมล็ดฝ้าย (Cotton seed hull)	ถ่านหินน้ำมัน (Petroleum coke)
ของเสียโรงกลั่นสุรา (Distillery waste)	ของเสียจากเหยื่อกระดาษ (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

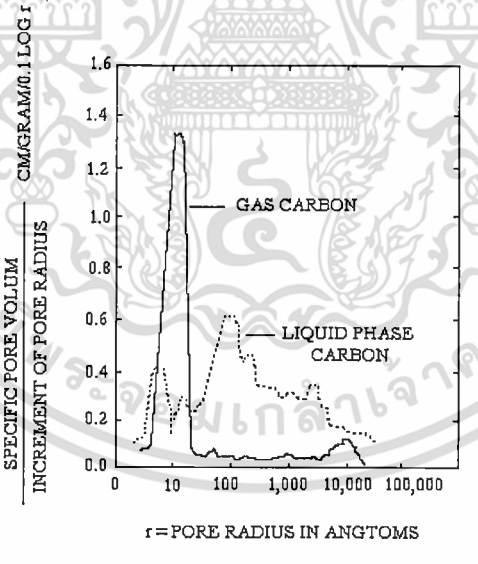
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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) ส่วนคาร์บอนคาร์บอนกัมมันต์ที่ดูดซับของเหลวมีรัศมีรูพรุนอยู่ในช่วง 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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง

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

ข้อดีของคาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง

1.คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผงมีราคาถูกกว่าคาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ดประมาณ 2-3 เท่า

2.การเพิ่มหรือลดปริมาณคาร์บอนกัมมันต์สามารถทำได้ทันทีและสะดวก ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับผิวของคาร์บอนกัมมันต์

3.การดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเพราะโมเลกุลหรือคอลลอยด์สามารถสัมผัสกับผิวของคาร์บอนกัมมันต์ได้ง่าย

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 เพราะการปรับปรุงสภาพต้องทำที่อุณหภูมิสูงมากทำให้คาร์บอนบางส่วนป่นเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น [10]

คาร์บอนกัมมันต์แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้นได้ดังนี้

1. คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical activated carbon)

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดซ์ เช่นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ 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 ออกจากสารประกอบเด็กซ์ทริน (Dextrin) มอลโทส (Maltose) และเด็กซ์โทส (Dextrose) ทำให้สีของน้ำเชื่อม (Syrup) อยู่คงทนไม่เปลี่ยนเป็นสีคล้ำเมื่อเวลาผ่านไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมเครื่องดื่มและแอลกอฮอล์

- วิสกี้ ใช้คาร์บอนกัมมันต์กำจัดรสและกลิ่นที่ไม่ต้องการ โดยการนำคาร์บอนกัมมันต์มาทำเป็นชั้นให้วิสกี้ผ่าน (คล้ายการกรอง) หรือนำคาร์บอนกัมมันต์ผสมเข้ากับวิสกี้โดยตรงประมาณร้อยละ 0.1-0.5 แล้วจึงกรองออกภายหลัง

- ไวน์ ใช้คาร์บอนกัมมันต์เพื่อให้ได้ไวน์ที่มีเกรดดีขึ้น แต่จะมีความผิดทางกฎหมาย

- เบียร์ ใช้คาร์บอนกัมมันต์เติมลงในเบียร์ เพื่อกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากการแช่เย็น โดยคาร์บอนกัมมันต์จะทำหน้าที่ดูดซับตะกอนโปรตีนที่เอนไซม์ย่อยไม่ได้ และยังใช้คาร์บอนกัมมันต์ในการเตรียมน้ำสะอาดก่อนนำไปต้มเพื่อผลิตเบียร์อีกด้วย

อุตสาหกรรมอาหาร

- ใช้คาร์บอนกัมมันต์ดูดสีและกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากเจลาติน ทำให้เจลาตินใสและสะอาด

- ใช้คาร์บอนกัมมันต์ดูดซับเพกติน (Pectin) ซึ่งเป็นสารที่สกัดจากผลไม้หลายชนิด และมักจะมีสีมัว มีกลิ่นเฉพาะตัว

- ใช้คาร์บอนกัมมันต์ดูดซับสีและกลิ่นออกจากน้ำผลไม้โดยการเติมคาร์บอนกัมมันต์แล้วกรองออก แต่ต้องใช้คาร์บอนกัมมันต์ในปริมาณที่พอเหมาะ มิฉะนั้นจะทำให้รสและกลิ่นของน้ำผลไม้เปลี่ยนไป

อุตสาหกรรมการทำน้ำให้บริสุทธิ์

- ใช้คาร์บอนกัมมันต์ดูดซับคลอรีนและสารอื่นๆ ที่อยู่ในน้ำประปาหรือน้ำบาดาล ซึ่งอาจทำได้ 2 วิธี คือ

ก. ใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผงใส่ลงในน้ำแล้วกรองออก

ข. ใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ดทำเป็นชั้นให้น้ำไหลผ่าน

อุตสาหกรรมผลิตไขมันและน้ำมัน

- ใช้กำจัดสิ่งปลอมปนในน้ำมันพืช

- ใช้ดูดซับตัวยับยั้ง (Inhibitor)

- ใช้ร่วมกับดินช่วยฟอกจาง (Bleaching earth) เพื่อให้ได้สีของน้ำมันตามต้องการและมีรสดีขึ้น

การทำให้ตัวทำละลายบริสุทธิ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

- ในอุตสาหกรรมหลายประเภทนำตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตดินปืนชนิดไม่มีควัน อุตสาหกรรมผลิตฟิล์มถ่ายรูป อุตสาหกรรมผลิตหนังเทียม มีการนำแอกอฮอล์ อีเทอร์ และอะซีโตน กลับมาใช้ใหม่ โดยการใช้คาร์บอนกัมมันต์เป็นตัวดูดซับสารเจือปนในตัวทำละลายที่ใช้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ประเภทใช้ในการดูดแก๊สและไอ จะใช้ใน

อุตสาหกรรมผลิตหน้ากาก

- ใช้ในการผลิตหน้ากากป้องกันแก๊สพิษและสารอินทรีย์ ทั้งที่ใช้ในการทหาร และใช้กันทั่วไป ทั้งนี้คาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษ และไอของสารอินทรีย์ต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

อุตสาหกรรมปรับอากาศ

- คาร์บอนกัมมันต์จะดูดมลทินในอากาศ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และอะเซทิลีน

อุตสาหกรรมแยกแก๊สธรรมชาติ

- ใช้ดูดซับสิ่งสกปรกออกจากแก๊สธรรมชาติ หรือกำจัดสารที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบในโรงแยกแก๊สธรรมชาติ

2.1.6 กระบวนการผลิตคาร์บอนกัมมันต์

ในปัจจุบันคาร์บอนกัมมันต์สามารถผลิตได้หลากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่ต้องการและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต แต่โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยสองขั้นตอนคือ การคาร์บอไนซ์ และการกระตุ้น

ก. การคาร์บอไนซ์ [4]

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

$$C_6H_{10}O_5 \rightarrow CH_4 + 2CO + 3H_2O + 3C \qquad (2.1)$$

ขั้นตอนของการคาร์บอไนซ์ แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนคือ [6]

ก. การสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบที่ช่วงอุณหภูมิห้องจนถึง 135 องศาเซลเซียส

ข. เข้าสู่ขั้นตอนไพโรไลซีส (Pyrolysis) โดยเกิดแก๊สและน้ำมันทาร์ในโครงสร้างที่ช่วงอุณหภูมิ 135-400 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. มีการเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านชาร์ โดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงไปมากที่ช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส

การคาร์บอไนซ์ให้ได้ถ่านชาร์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการทำได้โดยการปรับภาวะที่เหมาะสมซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการคาร์บอไนซ์คือ [11]

1.องค์ประกอบของชีวมวล มีผลโดยตรงต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ โดยทั่วไปสารชีวมวลจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารระเหยประมาณร้อยละ 60-70 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีภาวะการคาร์บอไนซ์ที่แตกต่างกัน

2.ขนาดของวัสดุ มีผลต่อการกระตุ้น คือ วัสดุที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเกิดได้เร็ว ในกรณีที่วัสดุมีขนาดใหญ่ การให้ความร้อนจะช้าทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าวัสดุที่มีขนาดเล็ก การกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอทำให้อัตราการสลายสารอินทรีย์ไม่คงที่และปริมาณสารระเหยที่ได้ก็จะน้อยกว่า

3.อุณหภูมิ มีผลต่อปริมาณของผลผลิตมากที่สุด ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณการเกิดถ่านชาร์จะลดลง ส่วนน้ำมันทาร์และแก๊สที่ได้จะเพิ่มขึ้น และคุณสมบัติของน้ำมันทาร์จะมีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปด้วย เพราะการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบนั้น

4.อัตราการให้ความร้อน จะมีผลต่อคุณสมบัติ ปริมาณของน้ำมันทาร์และสารระเหย โดยการเพิ่มอัตราการให้ความร้อยอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว ถ่านชาร์ที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อทำการกระตุ้นสารกระตุ้นจะเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่าย

5.ตัวกลางของปฏิกิริยา จะมีผลต่อปฏิกิริยา ถ้าแก๊สและไอที่เกิดระหว่างการคาร์บอไนซ์ถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยแก๊สที่เป็นกลาง เช่น แก๊สไนโตรเจน ซึ่งเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอน ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ปริมาณถ่านชาร์ที่ได้จะน้อยกว่าในภาวะที่ใช้ตัวกลางเป็นแก๊สไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาต่อตัวกระตุ้นสูงกว่า

ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์จะมีความสามารถในการดูดซับต่ำมาก เพราะกระบวนการดังกล่าวใช้อุณหภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส จึงยังคงมีน้ำมันทาร์ตกค้างอยู่ภายในรูพรุน หรือเกาะอยู่ตามผิว จึงจำเป็นต้องนำถ่านชาร์นี้มาผ่านการกระตุ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ

ข. การกระตุ้น [4]

การกระตุ้นเป็นขั้นตอนที่ทำให้วัสดุเกิดความพรุน และพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เนื่องจากน้ำมันทาร์ถูกกำจัดให้หลุดออกมาด้วยวิธีการทางกายภาพหรือวิธีการทางเคมี ทำให้ผิวของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีอะตอมคาร์บอนที่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ด้วย จึงมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น

การกระตุ้นมี 2 วิธี คือ การกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพและการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี

1. การกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ

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

ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ คือ ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีในวัตถุดิบ คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของแก๊สที่ใช้ อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา

ตัวอย่างในการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพได้แก่

1.1 การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation)

การกระตุ้นด้วยวิธีนี้จะใช้ไอน้ำเป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นจึงต้องทำที่อุณหภูมิสูงประมาณ 750-950 องศาเซลเซียส ดังสมการ

$$C + H_2O \rightarrow H_2 + CO \qquad \Delta\overline{H} = 37 \text{ กิโลแคลลอรีต่อโมล} \qquad (2.2)$$

อัตราการออกซิไดซ์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงเกิน 1,000 องศาเซลเซียส เพราะคาร์บอนที่อยู่ชั้นนอกจำนวนมากจะถูกเผาไหม้ ทำให้ขนาดและความพรุนของอนุภาคลดลง

1.2 การกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide activation)

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์ ดังสมการ

$$C + CO_2 \rightarrow 2CO \qquad \Delta\overline{H} = 91.3 \text{ กิโลแคลลอรีต่อโมล} \qquad (2.3)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และอาจมีออกซิเจนส่วนเกินบ้างเล็กน้อย หรืออาจจะเติมไอน้ำเข้าไปด้วย เพื่อเป็นการกระตุ้นโดยใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน

1.3 การกระตุ้นด้วยอากาศ (Air activation)

ปฏิกิริยานี้อาศัยออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังสมการ

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 \qquad \Delta\overline{H} = -92.40 \text{ กิโลแคลลอรีต่อโมล} \quad (2.4)$$

$$2C + O_2 \rightarrow 2CO \qquad \Delta\overline{H} = -53.96 \text{ กิโลแคลลอรีต่อโมล} \quad (2.5)$$

การใช้อากาศกระตุ้นใช้กันน้อยมาก ทั้งนี้เพราะการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในภาวะที่ต้องการทำได้ยากกว่าปฏิกิริยาดูดความร้อน อีกทั้งออกซิเจนจะทำให้ผิวของถ่านชาร์ไหม้

ตารางที่ 2.3 อุณหภูมิที่เหมาะสมและชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นทางกายภาพสำหรับแก๊สชนิดต่างๆ

ชนิดของแก๊ส	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ชนิดของปฏิกิริยา
ไอน้ำ	750-950	ดูดความร้อน
คาร์บอนไดออกไซด์	850-1,100	ดูดความร้อน
ออกซิเจน	ต่ำกว่า 600	คายความร้อน

การกระตุ้นทางกายภาพมีข้อดี คือ หลังจากกระตุ้นแล้วสามารถนำคาร์บอนกัมมันต์ไปใช้ได้ทันที ส่วนข้อเสีย คือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าวิธีการกระตุ้นทางเคมี คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีขนาดรูพรุนเล็กกว่าชนิดที่ผลิตด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี รูพรุนที่ได้เป็นแบบไมโครพอร์เหมาะสำหรับดูดกลิ่น ไอ หรือแก๊สพิษ

2. การกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี

เป็นวิธีที่นำเอาวัตถุดิบหรือสารอินทรีย์มาผสมกับสารเคมีที่เรียกว่า สารกระตุ้น หรือตัวที่ทำให้เกิดปฏิกิริยากัมมันต์เข้าไปช่วยให้เกิดมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ความร้อน (pyrolysis) เช่น ปริมาณของน้ำมันทาร์จะถูกกำจัดให้น้อยลงปริมาณของสารที่ระเหยได้ เช่น กรดน้ำส้ม เมทานอล และอื่นๆ ก็ลดปริมาณลงไปด้วย โดยจะมีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเผาให้เป็นถ่านธรรมดา ซึ่งผลที่ได้จากการทำเช่นนี้จะทำให้ได้ร้อยละของคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาก็จะลดต่ำลง ซึ่งตัวกระตุ้นดังกล่าวมักเป็นเกลืออินทรีย์จำพวกเกลือโลหะคลอไรด์ ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ แต่ที่นิยมใช้กันมากคือซิงค์คลอไรด์ หลักการสำคัญของการทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนกัมมันต์ด้วยวิธีนี้ คือ เมื่ออินทรีย์วัตถุผสมกับเกลืออนินทรีย์ในอัตราส่วนหนึ่งให้ทั่วแล้วนำไปคาร์บอไนซ์ ณ อุณหภูมิที่ทำให้อินทรีย์วัตถุสลายตัว เกลืออนินทรีย์จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ (เซลลูโลส ลิกนิน และอื่นๆ) ให้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ และยังลดปริมาณของน้ำมันทาร์และสารระเหยให้น้อยลงด้วย อีกทั้งเกลืออนินทรีย์เหล่านี้มีความคงทนต่อการสลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูงๆ

โดยทั่วไปวัตถุดิบที่ใช้การกระตุ้นด้วยวิธีนี้มักเป็นไม้ประเภทต่างๆ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 500-900 องศาเซลเซียส การกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีทำได้ 2 วิธีคือ

- ทำควบคู่ไปกับการคาร์บอไนซ์ โดยการเติมสารเคมีที่เป็นตัวกระตุ้นลงไปผสมกับวัตถุดิบ

- ทำหลังการคาร์บอไนซ์ โดยนำวัตถุดิบที่ผ่านการคาร์บอไนซ์แล้ว มากระตุ้นด้วยสารเคมีอีกครั้ง

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 ต้นหมากมีเนื้อเป็นเสี้ยนยาว จับตัวกันแน่นบริเวณเปลือกนอกลึกเข้าไปประมาณ 2 เซนติเมตร ส่วนกลางลำต้นเป็นเสี้ยนไม่อัดแน่นเหมือนด้านนอกและมีเนื้อไม้อ่อนนุ่มคล้ายฟองน้ำ

ใบเกิดจากเนื้อเยื่อส่วนปลายยอด ปลายลำต้นประกอบด้วยโคนกาบใบเรียกว่า กาบหมาก หุ้มติดลำต้นเป็นแผ่นใหญ่ ก้านประกอบด้วยใบย่อย เมื่อหมากออกดอก ดอกหรือภาษาท้องถิ่นเรียก จั่นหมาก ซึ่งถูกห่อหุ้มด้วยกาบหมาก เมื่อกาบหมากแก่หลุดร่วงไปจะเห็นดอกหมาก

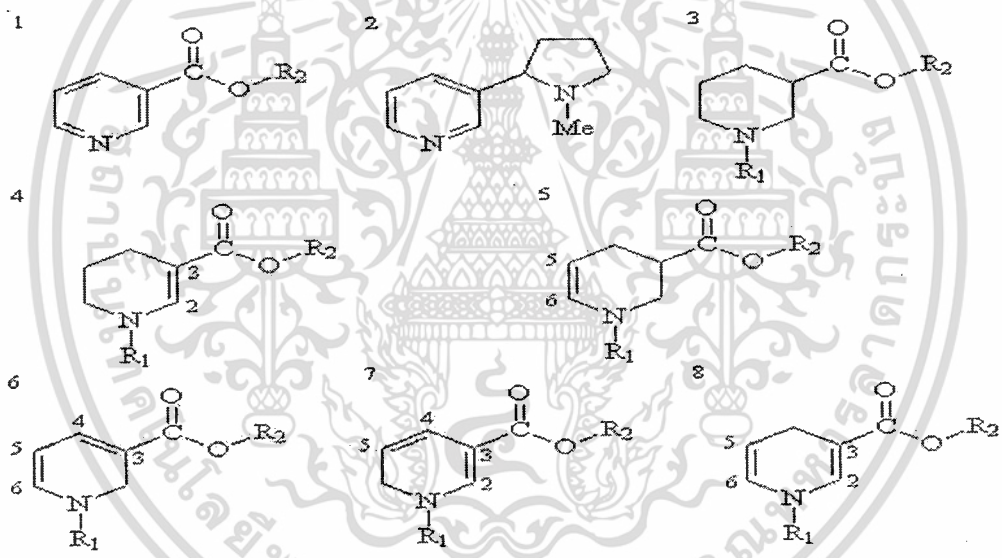
ดอกหมากหรือจั่นหมากเกิดบริเวณซอกโคนก้านใบหรือกาบหมาก ดอกออกรวมกันเป็นช่อใหญ่ประกอบด้วยโคนจั่นยึดติดอยู่ที่ข้อของลำต้น ก้านช่อดอกเป็นเส้นยาวแตกออกโดยรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนกลาง ก้านช่อดอกจะมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย โดยตัวผู้อยู่ส่วนปลายตัวเมียอยู่ด้านล่างหรือด้านใน ดอกตัวผู้ใช้เวลานาน 21 วัน หลังจากนั้น 5 วัน ดอกตัวเมียเริ่มบาน

ผลหมากมีลักษณะกลมหรือกลมรี เส้นผ่านศูนย์กลาง 2-2.5 เซนติเมตร โดยเฉลี่ย ผลรวมกันเป็นทะลาย ใน 1 ทะลายจะมีผลอยู่ประมาณ 10-150 ผล ผลอ่อนสีเขียวเข้ม เรียก หมากดิบ ผลแก่จะผิวเปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมส้มทั้งผล เรียก หมากสุกหรือหมากสง ผลประกอบด้วย 4 ส่วน คือ เปลือกชั้นนอก ส่วนเปลือกเป็นเยื่อบางๆ สีเขียว เนื้อเปลือกมีเส้นใยละเอียด เหนียว เปลือกชั้นกลางเป็นเส้นใยหนามองเห็นได้ชัด เมื่อผลอ่อนเส้นใยอ่อน แก่จะเหนียวแข็ง เปลือกชั้นในเป็นเยื่อบางๆ ละเอียดติดอยู่กับเมล็ดหมาก ส่วนของเมล็ดหรือเมล็ดหมากถัดจากเยื่อบางเข้าไปเป็นส่วนของเมล็ดหมาก เมื่ออ่อนจะนิ่ม เนื้อส่วนผิวจะมีลายเส้นสีเหลืองถึงสีน้ำตาล เนื้อจะมีสีเหลืองอ่อนถึงสีเหลืองเข้มอมแดง

สารสำคัญที่พบในหมาก คือ สารระเหยง่าย เช่น กูวาซิน (guvacin) และกูวาโคลีน (guvacoline) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารที่มีโครงสร้างวงแหวนอีกหลายชนิด ดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างสารที่พบในเมล็ดหมาก 1-2 สารที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนไม่อิ่มตัว (piperidine ring) 3 สารที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนอิ่มตัว (piperidine ring) 4-5 สารที่มีโครงสร้างเป็น 1 วงแหวน และ 1 พันธะคู่ (arecoline isomers และ homologues) 6-8 สารที่มี โครงสร้างเป็น 1 วงแหวน และ 2 พันธะคู่ (dihydropyridine ring) [13]

โดยสรุป องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของหมาก คือ อะรีโคลีน (arecoline) กูวาโคลีน กูวาซิน และอะรีไคดีน (arecaidine) รวมทั้งสารจำพวกฟีนอล (phenol) และแทนนิน (tannin) ในปัจจุบันมีรายงานการพบ flavan-3,4-diols (cyanidin) ในผลหมาก และพบว่าสารจำพวกพอลีฟีนอล (polyphenol) ที่ส่วนมากจัดเป็น flavonoids นั้นจะมีความเข้มข้นลดลงเมื่อหมากมีอายุมากขึ้นหรือผลแก่มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

พันธุ์หมากไม่มีชื่อเรียกแต่จะแบ่งตามลักษณะของผลและต้น คือ

1. แบ่งตามลักษณะของผล

- หมากผลกลมแป้น
- หมากผลกลมรี

2. แบ่งตามลักษณะของทรงต้น

- พันธุ์ต้นสูง
- พันธุ์ต้นเตี้ย
- พันธุ์ต้นกลาง

หมากเป็นสินค้าส่งออกในรูปของหมากสดและหมากแห้ง หมากสดส่วนใหญ่จะขายเป็นหมากอ่อนหรือทิ้งไว้ให้สุกเพื่อทำหมากแห้งต่อไป การบริโภคหมากของไทยสูงถึงร้อยละ 88 ที่เหลือร้อยละ 12 จะเป็นการส่งออกในรูปของหมากสดและหมากแห้ง

การส่งออกหมากไปจำหน่ายต่างประเทศ จะส่งออก 2 รูปแบบ คือ หมากสดและหมากแห้ง หมากสดจะส่งขายในรูปของหมากอ่อน ตลาดที่รับซื้อหมากอ่อนมากที่สุด คือ ไต้หวัน 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 ซึ่งรูปแบบการส่งออกหมากแห้งจะเป็นหมากสง (หมากแก่) ทั้งหมด ประเทศผู้นำเข้า คือ ปากีสถาน เกาหลี แคนาดา และสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ ซึ่งเป็นผู้นำเข้ารายใหญ่ของไทย

การใช้ประโยชน์ในรูปของยาสมุนไพรและภาคอุตสาหกรรม โดยใช้ส่วนของเมล็ด ราก และใบ โดยมีรายละเอียดดังนี้ คือ

การใช้ประโยชน์ด้านสมุนไพร โดยใช้ผล (เมล็ด) ใช้เป็นยาสมานแผล ทำให้เลือดหยุดไหลและแผลหายเร็ว ใช้เป็นยาถ่ายพยาธิในสัตว์ เช่น พยาธิตัวแบน ตัวกลม และตัวตืด ใช้ขบเคี้ยว เพื่อรักษาเหงือกและฟันให้คงทน ใช้รักษาอาการท้องเดิน ท้องเสีย หรือในยุโรปใช้เป็นส่วนผสมของยาสีฟัน เชื่อว่าทำให้ฟันขาว สำหรับราก นำมาต้มกิน แก้ปากเปื่อย ขับปัสสาวะ และโรคบิด และใบสามารถนำมาต้มกิน เป็นยาขับพิษ นำมาทาแก้คันได้

ในทางอุตสาหกรรมเมล็ดหมาก เมื่อนำมาสกัดจะได้ไขมัน เมือก ยางและสารอัลคาลอยด์ชื่อ อะรีโคลีนมีแทนนินสูง จึงสามารถใช้ในทางอุตสาหกรรมได้ เช่น ใช้ทำสีต่าง ๆ ใช้ย้อมแห อวน ทำให้แห และอวนนิ่ม และอ่อนตัว ยืดอายุการใช้งานได้นาน เส้นด้ายไม่เปื่อยเร็ว ใช้สกัดเป็นน้ำยาฟอกหนัง จะทำให้หนังนิ่ม และมีสีสวย นอกจากนี้ยังสามารถนำมาสกัดเป็นยารักษาโรคได้หลายชนิด ตัวอย่างเช่น ยาสมานแผล ยาขับพยาธิในสัตว์ ยาแก้ท้องเดิน ท้องเสีย ยาขับพิษ ยาทาแก้คัน น้ำมันนวด ยาขับปัสสาวะ และยาแก้ปากเปื่อย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
84499

บทที่ 3
การทดลอง

3.1 การคาร์บอไนซ์

สารเคมี

1. เปลือกหมาก
2. เมล็ดหมาก
3. แก๊สไนโตรเจน

อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ตู้อบ
3. เดสิกเคเตอร์
4. ตะแกรงร่อน
5. เครื่องปฏิกรณ์การเผา
6. ภาชนะเก็บสาร

การเตรียมวัตถุดิบ

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

การศึกษาอุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์

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

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของวัสดุ แล้วนำมาใส่ในภาชนะสำหรับเผา
2. นำไปการคาร์บอไนซ์ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และอัตราการไหลของไนโตรเจน 80 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด
3. นำถ่านชาร์ที่ได้ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก

ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในการคาร์บอไนซ์ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิ 450 500 550 600 และ 650 องศาเซลเซียส
- เวลาที่ใช้ในการคาร์บอไนซ์ 60 90 และ120 นาที

ในเบื้องต้นจะคาร์บอไนซ์เมล็ดหมากและเปลือกหมากที่อุณหภูมิต่างๆ ที่เวลา 1 ชั่วโมง และสำหรับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดปริมาณคาร์บอนคงตัวและผลผลิตสูงจะนำมาคาร์บอไนซ์ที่เวลาต่างๆ เพื่อหาเวลาในการคาร์บอไนซ์ที่เหมาะสมต่อไป

3.2 การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวด

สารเคมี

1. ถ่านชาร์ที่ได้จากการการคาร์บอไนซ์
2. ไอน้ำยิ่งยวด
3. แก๊สไนโตรเจน

อุปกรณ์การทดลอง

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

วิธีการทดลอง

1. นำถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ในภาชนะสำหรับเผา
2. ป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์คงที่
3. ป้อนไอน้ำเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ด้วยอัตราการไหลของไอน้ำ 13.6 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการกระตุ้นตามที่ได้กำหนดไว้
4. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ บันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์
5. เก็บไว้ในเดสิกเคเตอร์

ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด คือ

- อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส
- เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น 60 120 และ 180 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปราย

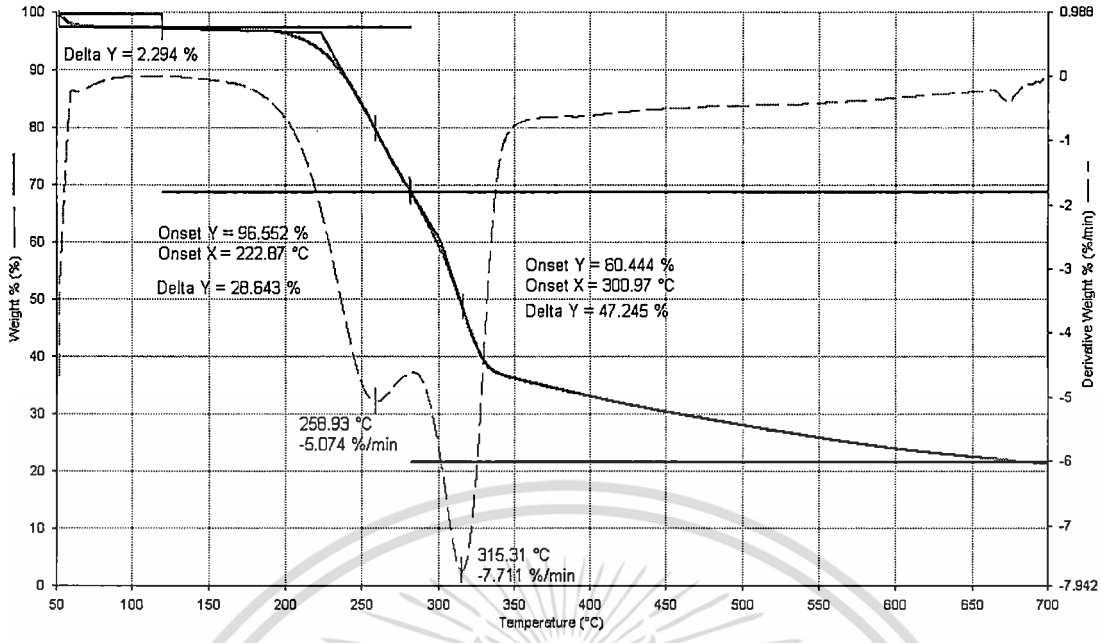
4.1 การคาร์บอไนซ์

ผลการศึกษาอุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์เปลือกหมากและเมล็ดหมาก โดยหาน้ำหนักที่หายไป ณ อุณหภูมิต่างๆ ด้วยการวิเคราะห์ทีจีเอ รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงน้ำหนักที่หายไปของเปลือกหมากและเมล็ดหมากที่ช่วงอุณหภูมิ 50-700 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วงแรกที่อุณหภูมิ 50-135 องศาเซลเซียส มวลของวัสดุลดลงเนื่องจากการสูญเสียน้ำ ช่วงที่สองที่อุณหภูมิ 135-350 องศาเซลเซียส มวลของวัสดุลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในช่วงนี้สารที่ระเหยง่ายจะถูกปลดปล่อยออกมาในปริมาณมาก และช่วงที่สามที่อุณหภูมิสูงกว่า 350 องศาเซลเซียส มวลของวัสดุจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการคาร์บอไนซ์จะอยู่ในช่วง 450-650 องศาเซลเซียส เนื่องจากน้ำและสารระเหยที่มีอยู่ในวัสดุบางส่วนได้ถูกกำจัดออกไป

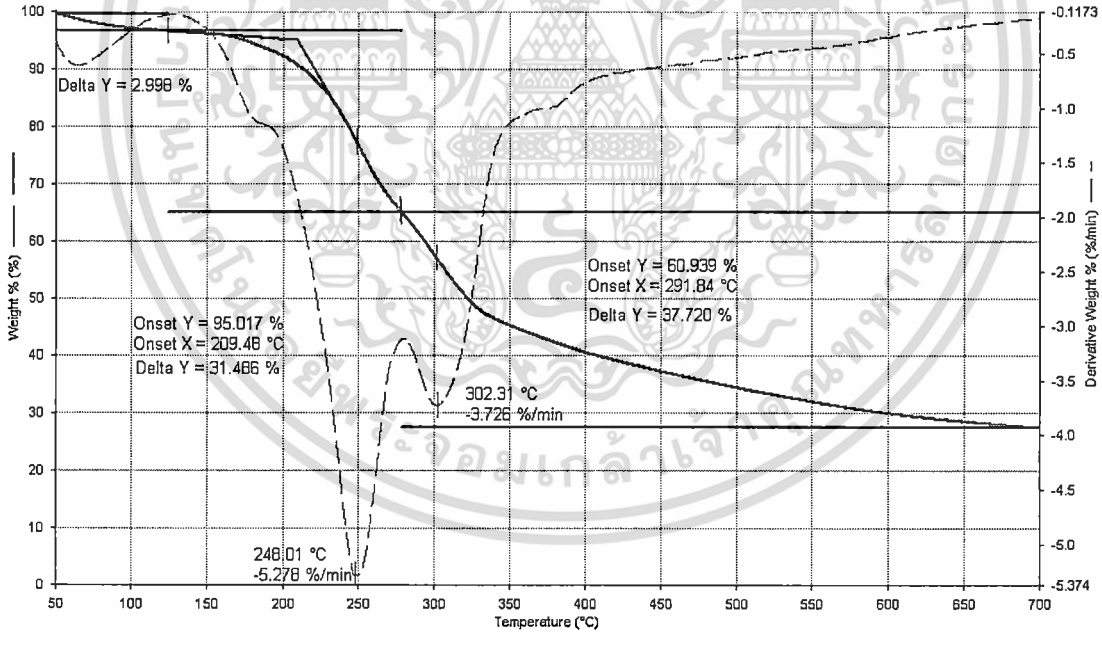
การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการคาร์บอไนซ์ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนที่ความดัน 1 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที อุณหภูมิที่ใช้ทำการศึกษาอยู่ในช่วง 450-650 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.3 4.4 และ 4.5 ในรูปร้อยละของความชื้น ร้อยละของสารระเหย ร้อยละของเถ้า ร้อยละของคาร์บอนคงตัว และร้อยละผลผลิต พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ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

การศึกษาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ โดยเวลาที่ทำการศึกษา คือ 60 90 และ 120 นาที จะเลือกใช้อุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์ซึ่งให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุด โดยคาร์บอไนซ์เปลือกหมากที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และคาร์บอไนซ์เมล็ดหมากที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

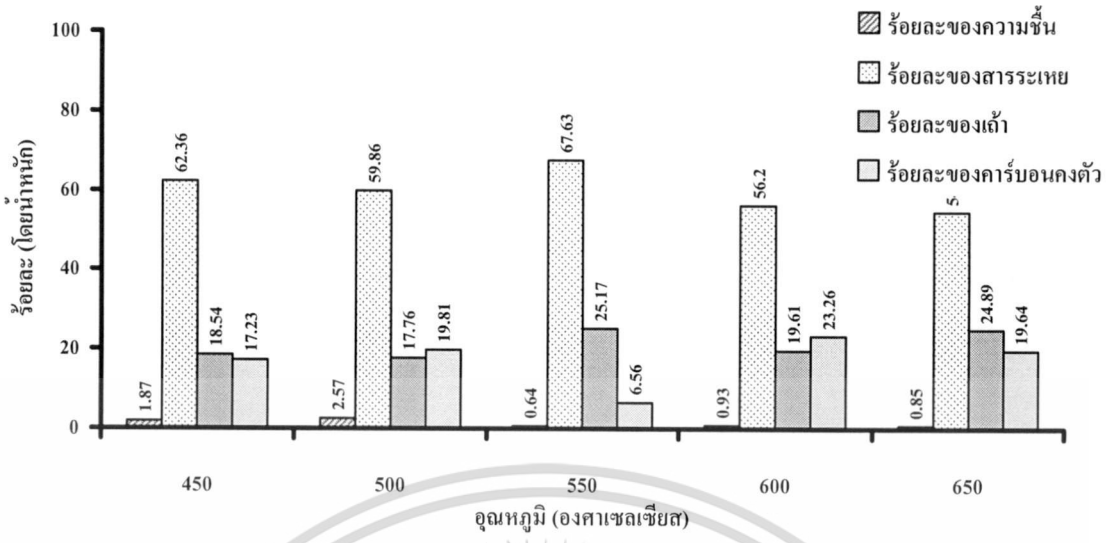


รูปที่ 4.1 น้ำหนักที่หายไปของเปลือกหมากที่อุณหภูมิในช่วง 50-700 องศาเซลเซียส

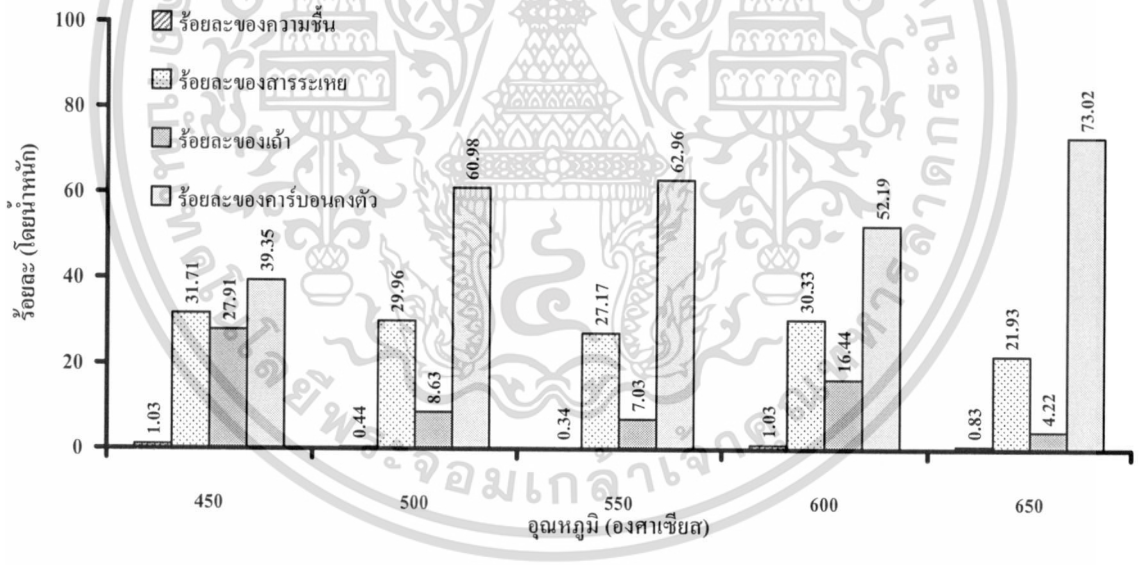


รูปที่ 4.2 น้ำหนักที่หายไปของเมล็ดหมากที่อุณหภูมิในช่วง 50-700 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

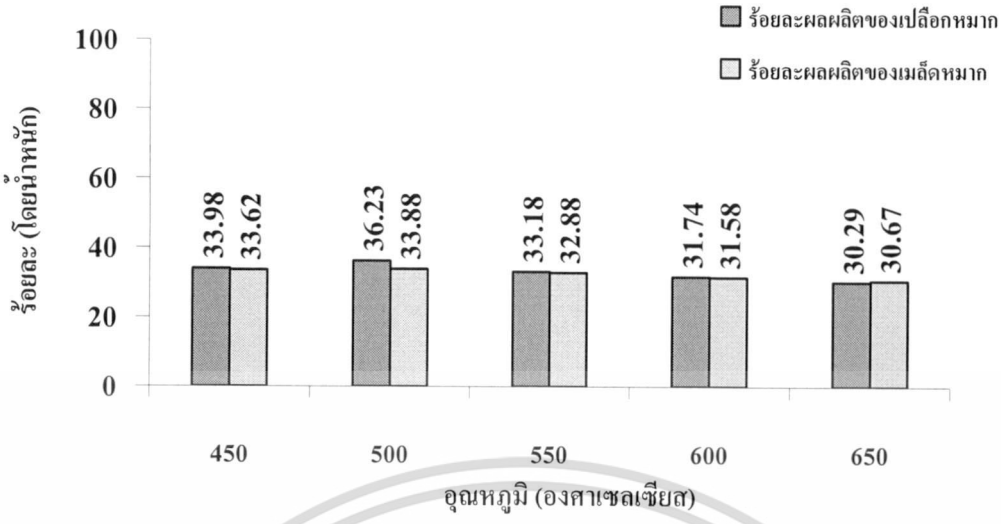


รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิต่อถ่านชาร์จากเปลือกหมากซึ่งคาร์บอไนซ์ที่เวลา 60 นาที



รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิต่อถ่านชาร์จากเมล็ดหมากซึ่งคาร์บอไนซ์ที่เวลา 60 นาที

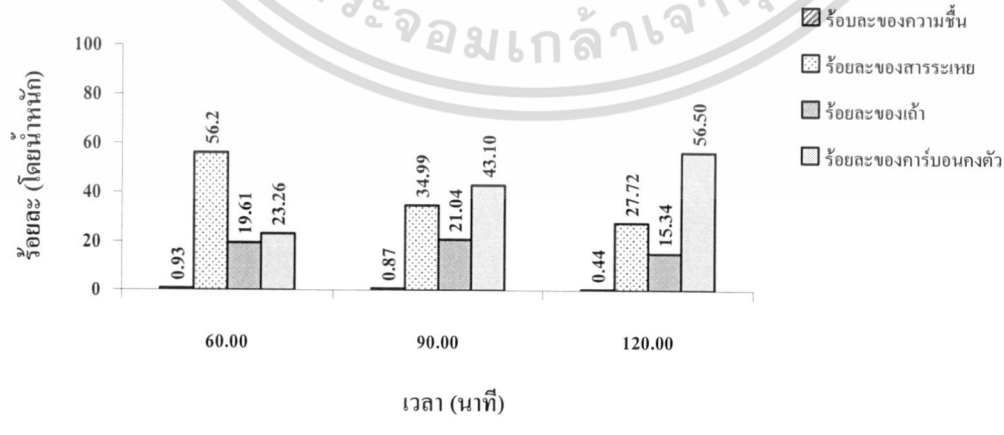
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลผลิตซึ่งคาร์บอไนซ์ที่เวลา 60 นาที

รูปที่ 4.6 4.7 และ 4.8 แสดงร้อยละของความชื้น ร้อยละของสารระเหย ร้อยละของเถ้า ร้อยละของคาร์บอนคงตัว และร้อยละผลผลิต ซึ่งคาร์บอไนซ์ที่เวลา 60 90 และ 120 นาที จากรูปที่ 4.6 พบว่า เวลาในการคาร์บอไนซ์เปลือกหมากที่ 120 นาที จะให้ค่าร้อยละของคาร์บอนคงสูงสุด 56.50 โดยน้ำหนัก และจากรูปที่ 4.7 แสดงผลการคาร์บอไนซ์เมล็ดหมาก พบว่า ที่ช่วงเวลา 60-90 นาที ร้อยละคาร์บอนคงตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และที่เวลา 120 นาที ร้อยละของคาร์บอนคงตัวที่ได้มีค่าลดลง เนื่องจากคาร์บอไนซ์ที่เวลานาน ส่งผลให้เกิดการสลายตัวของคาร์บอน ปริมาณคาร์บอนคงตัวจึงลดลง

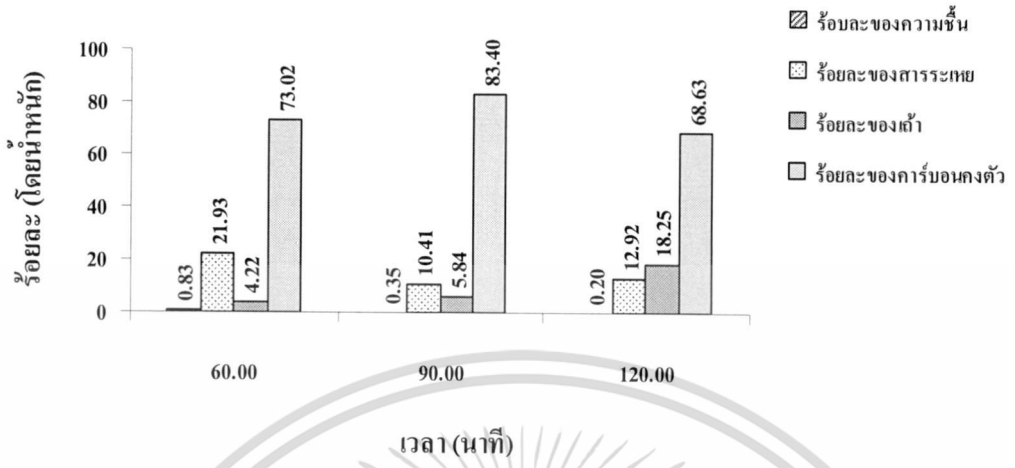
ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ของถ่านชาร์จากเปลือกหมาก คือ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และเวลา 120 นาที และภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ของถ่านชาร์จากเมล็ดหมาก คือ ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสและเวลา 90 นาที



รูปที่ 4.6 ผลของเวลาที่ใช้ในการคาร์บอไนซ์ต่อถ่านชาร์จากเปลือกหมากซึ่ง

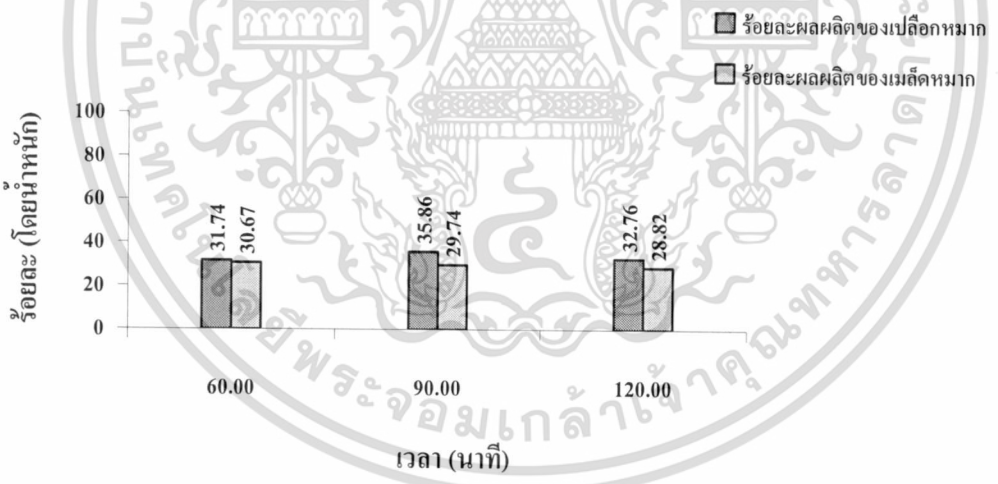
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอไนซ์ที่ 600 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.7 ผลของเวลาที่ใช้ในการคาร์บอไนซ์ต่อถ่านชาร์จากเมล็ดหมากซึ่ง

คาร์บอไนซ์ที่ 650 องศาเซลเซียส



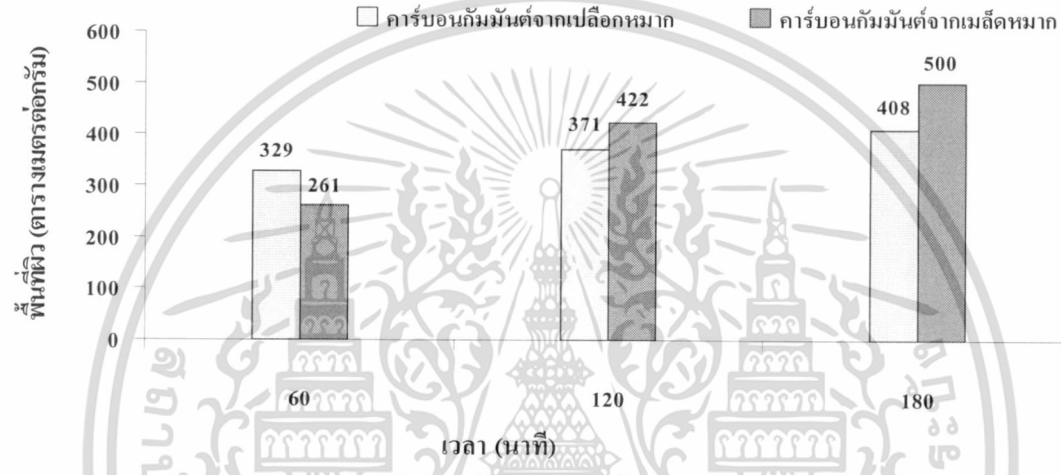
รูปที่ 4.8 ผลของเวลาในการคาร์บอไนซ์ต่อร้อยละผลผลิต (คาร์บอไนซ์เปลือกหมาก

และเมล็ดหมากที่อุณหภูมิ 600 และ 650 องศาเซลเซียส ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวดและการทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัม-มันต์

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



รูปที่ 4.9 พื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ที่เวลาในการกระตุ้น 60 120 และ 180 นาที

เนื่องจากเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ไอน้ำสามารถเข้าไปออกซิไดซ์น้ำมันทาร์และคาร์บอนบางส่วนในโครงสร้างถ่านชาร์ได้มากขึ้น ทำให้น้ำมันทาร์ซึ่งอยู่ภายในรูพรุนถูกกำจัดออกจากรูพรุนคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จึงมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น โดยคาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกหมากที่ให้พื้นที่ผิวสูงสุดทำการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที และกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที มีพื้นที่ผิว 408 ตารางเมตรต่อกรัม และคาร์บอนกัมมันต์จากเมล็ดหมากที่ให้พื้นที่ผิวสูงสุดนั้นได้จากการคาร์บอไนซ์เมล็ดหมากที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที และกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที มีพื้นที่ผิว 500 ตารางเมตรต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการคาร์บอไนซ์ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ที่ความดัน 1 บาร์ พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์เปลือกหมาก คือ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที ซึ่งให้ร้อยละของคาร์บอนคงตัวสูงสุดร้อยละ 56.50 โดยมีร้อยละผลผลิตที่ได้ ประมาณ 32.76 และพบว่าที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ในเวลา 90 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ถ่านชาร์จากเมล็ดหมาก โดยมีร้อยละของคาร์บอนคงตัว 83.4 และร้อยละผลผลิตที่ได้ประมาณ 29.74

จากการศึกษาการกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำยิ่งยวด พบว่า ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นถ่านชาร์จากเปลือกหมากและเมล็ดหมากให้ผลสอดคล้องกัน คือ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในเวลา 180 นาที โดยพิจารณาจากค่าพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ ซึ่งพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกหมากมีค่า 408 ตารางเมตรต่อกรัม และคาร์บอนกัมมันต์จากเมล็ดหมากมีพื้นที่ผิว 500 ตารางเมตรต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.** ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.

[6] กมลชนก ปานสง่า และคณะ. **การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากไม้ยูคาร์ลิปตัสและกากคาร์บอน.** ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545. หน้า 18-19.

[7] มานัด แก้วถาวร. **ผลของโซเดียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว.** วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2537. หน้า 43-52.

[8] ยุวดี เดชทวิทย์ และสายใจ นารถสมบูรณ์. **ผลของสารละลายซิงค์คลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ และสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์กับโซเดียมคลอไรด์ต่อการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้า.** ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 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 **การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากเมล็ดกาแฟเพื่อใช้ในการดูดซับฟีนอลและทอลูอีน.** ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[12] Richard I. Masel. **Principles of Adsorption and Reaction on Solid Surefaces**. 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 Schro¨der, 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**. Feul. 1996. vol. 75. p. 1,701-1,706.

[17] Hu Z. and Srinivasan M.P. **Preparation of Hihg - Surface - Area Activated Carbon from Coconut Shell**. Microporous and Mesoporous Materials. 1999. vol 27. p 11-18.

[18] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. **ถ่านคาร์บอนต์: Standard for Activeted Carbon**. กรุงเทพฯ. 2532.

[19] บริษัท แล็บสแกน เอเชีย จำกัด. **เอกสารข้อมูลความปลอดภัย.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัว ความชื้น เถ้า และสารระเหย

ก.1 ปริมาณคาร์บอนคงตัว [5]

คาร์บอนคงตัวเป็นค่าจากการคำนวณ ซึ่งได้มาจากผลรวมของร้อยละความชื้น เถ้า และสารที่ระเหย หักออกจากร้อยละ 100

ก.2 ปริมาณความชื้น

ความชื้น คือ การหาปริมาณน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไปเนื่องจากความร้อนภายใต้ภาวะที่ควบคุมไว้ของ อุณหภูมิ เวลา สภาพแวดล้อม น้ำหนักตัวอย่าง และอุปกรณ์ที่เฉพาะเจาะจง โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังต่อไปนี้

- เผาครูซิเบิลที่ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และชั่งน้ำหนัก
- ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5 กรัม ใส่ลงไปในครูซิเบิล แล้วปิดฝา
- นำครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- ปล่อยให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ และนำไปชั่งน้ำหนัก

วิธีคำนวณหาร้อยละของความชื้น ในการวิเคราะห์ คือ

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

เมื่อ A คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

B คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ก.3 ปริมาณเถ้า

เถ้า คือ ปริมาณน้ำหนักของกากหลังจากการเผาถ่านภายใต้ภาวะที่ควบคุม มีขั้นตอนการปฏิบัติ ดังนี้

- นำตัวอย่างไปบดให้ผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช
- ชั่งตัวอย่างจำนวน 0.5 กรัม ใส่ครูซิเบิล แล้วปิดฝา
- เผาที่อุณหภูมิ 730 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
- ทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ ระวังเรื่องความชื้น
- ชั่งน้ำหนักครั้งสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีคำนวณหาร้อยละของเถ้าในการวิเคราะห์ คือ

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

เมื่อ A คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

C คือ น้ำหนักของเถ้า (กรัม)

ก.4 ปริมาณสารระเหย

น้ำหนักสารระเหย คือ น้ำหนักของถ่านที่เสียไปจากการให้ความร้อน โดยวิธีนี้จะพิจารณาร้อยละของแก๊สผลิตภัณฑ์ ยกเว้นความชื้น โดยมีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

- ชั่งถ่าน 0.5 กรัม ใส่ในครูซิเบิลพลาตินัม ปิดฝาให้เรียบร้อย
- ใส่ครูซิเบิลลงใน Furnace Chamber และให้อุณหภูมิที่ 950 องศาเซลเซียส โดยมีขั้นตอนคือ ให้ความร้อนที่ 500 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 2 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 นาที

วิธีคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักที่หายไป คือ

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

เมื่อ A คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

D คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ได้จากการเผา (กรัม)

วิธีคำนวณหาร้อยละของสารระเหยในการวิเคราะห์ คือ

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

เมื่อ X คือ ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป

Y คือ ร้อยละของความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. 5 ตัวอย่างการคำนวณ

ผลการทดลองการคาร์บอไนซ์เมล็ดหมากที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 60 นาที แสดงดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักของเมล็ดหมากที่คาร์บอไนซ์เป็นเวลา 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

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

เมื่อ α คือ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

β คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \left[\frac{2.3605}{7.0210}\right]\times 100$$

$$= 33.62$$

ตารางที่ ก.2 ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณร้อยละของความชื้นที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

ชุดที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	ร้อยละของความชื้น (% 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างวิธีการคำนวณร้อยละของความชื้น

จากสมการที่ ก.1 ร้อยละของความชื้น = $\left[\frac{A-B}{A}\right]\times 100$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

B คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ร้อยละของความชื้น = $\left[\frac{0.5032-0.4980}{0.5032}\right]\times 100$

= 1.03

ตารางที่ ก.3 ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณร้อยละของเถ้าที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

ชุดที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	ร้อยละของเถ้า (% 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

ตัวอย่างวิธีการคำนวณร้อยละของเถ้า

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

เมื่อ A คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

C คือ น้ำหนักของเถ้า (กรัม)

ร้อยละของเถ้า = $\left[\frac{0.1403}{0.5027}\right]\times 100$

= 27.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณร้อยละของสารระเหยที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

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

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

เมื่อ A คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

D คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ได้จากการเผา (กรัม)

ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป = $\left[\frac{0.5058-0.3402}{0.5058}\right]\times 100$

= 32.74

จากสมการที่ ก.4 ร้อยละของสารระเหย = $X - Y$

เมื่อ X คือ ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป

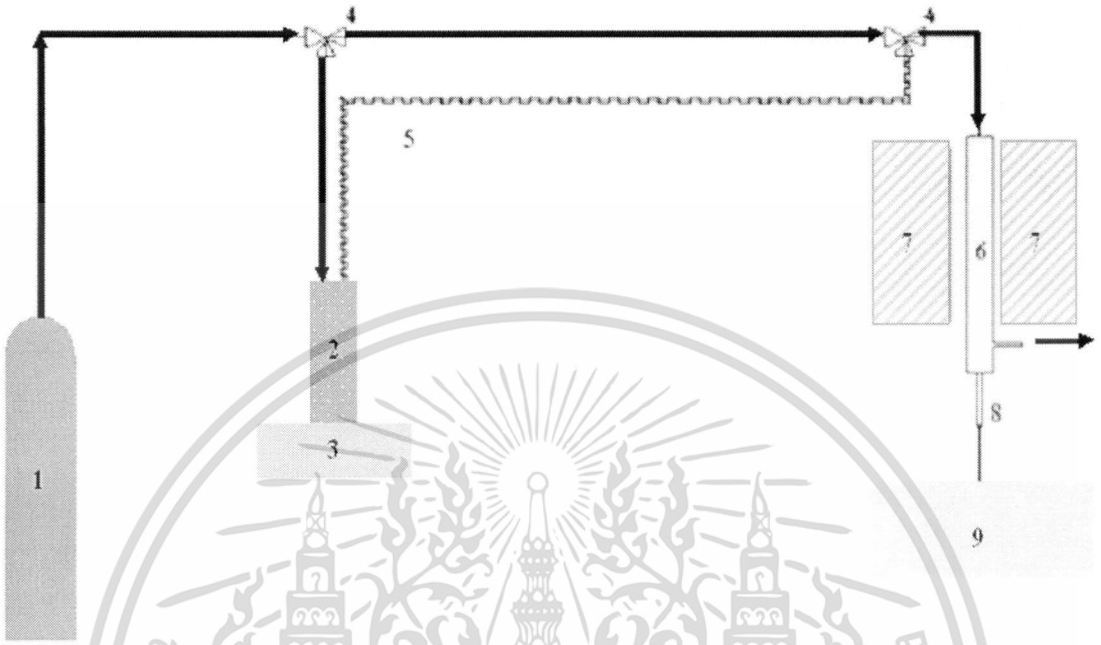
Y คือ ร้อยละของความชื้น

ร้อยละของสารระเหย = 32.74 – 1.03

= 31.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
แบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์

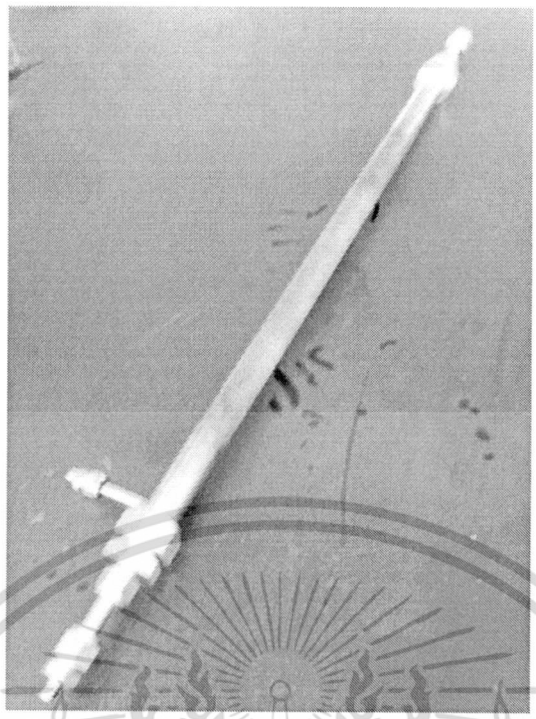


รูปที่ ข.1 แบบจำลองการเผาแบบอับอากาศ

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

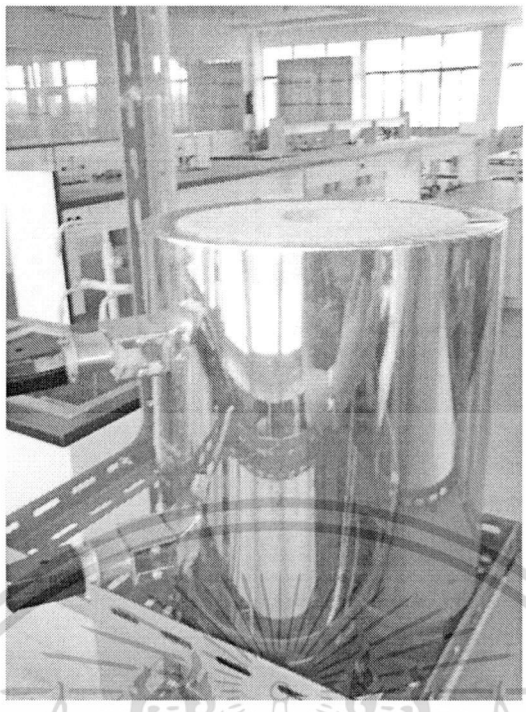
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 เครื่องปฏิกรณ์การเผา

รูปที่ ข.3 ชุดควบคุมอุณหภูมิ

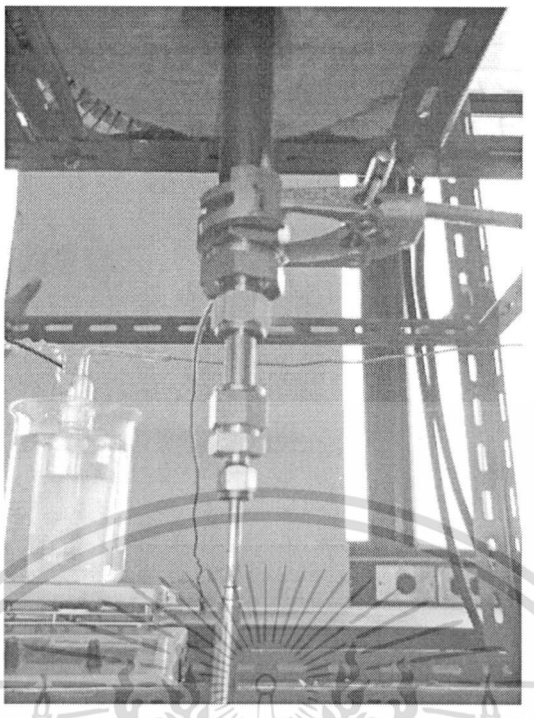
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



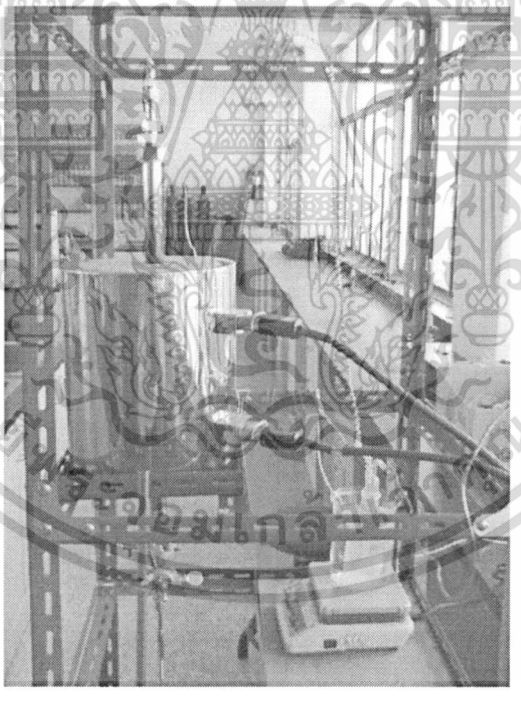
รูปที่ ข.4 เตาเผาความร้อนสูง

รูปที่ ข.5 เครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 เทอร์โมคัปเปิลที่ต่อเข้ากับเครื่องปฏิกรณ์ความร้อน



รูปที่ ข.7 ชุดปฏิกรณ์การเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้