ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดเพื่อใช้กำจัดสีในโมลาส

นางสาววัลยา วิศาลบรรณวิทย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

THE OPTIMAL CONDITION FOR ACTIVATED CARBON PRODUCTION FROM DURIAN SHELL AND MANGOSTEEN SHELL FOR USING IN MOLASSES COLOR REMOVAL

Miss Wallaya Visarnbannavit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2011
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดเพื่อใช้กำจัดสีในโมลาส
โดย	นางสาววัลยา วิศาลบรรณวิทย์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพิดา หิญชีระนันทน์)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. อนุรักษ์ วินิตสร)

วัลยา วิศาลบรรณวิทย์ : ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดเพื่อใช้กำจัดสีในโมลาส. (THE OPTIMAL CONDITION FOR ACTIVATED CARBON PRODUCTION FROM DURIAN SHELL ANDMANGOSTEEN SHELL FOR USING IN MOLASSES COLOR REMOVAL) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์, 117 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดโดยการกระตุ้นทางกายภาพแบบ 2 ขั้นตอน คือ การนำเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดมาคาร์บอไนซ์ในเตาเผาให้ความร้อนสูง จากนั้นนำไปกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวดเป็นตัวกระตุ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์เบดนิ่ง ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ เวลาในการคาร์บอไนซ์ และเวลาในการกระตุ้นใช้เวลาเดียวกัน คือ (30, 60, 90 และ 120 นาที) อุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์ (350, 400, 450 และ 500 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิในการกระตุ้น (650, 700, 750 และ 800 องศาเซลเซียส) จากผลการทดลองพบว่า ภาวะที่เหมาะสมของการคาร์บอไนซ์เปลือกทุเรียน คือ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที และภาวะที่เหมาะสมของการคาร์บอไนซ์เปลือกมังคุด คือ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด มีสารระเหย เท่ากับ (22.84 และ 22.81 เปอร์เซ็นต์) คาร์บอนคงตัว (67.82 และ 69.03 เปอร์เซ็นต์) เถ้า (9.34และ 8.16) และผลที่ได้ เท่ากับ (35.46 และ 37.00 เปอร์เซ็นต์) นอกจากนี้ยังพบว่าทั้งอุณหภูมิ และเวลาในการกระตุ้นมีผลต่อการพัฒนาโครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน คือ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ส่วนเปลือกมังคุดได้ภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที จากภาวะที่เหมาะสมนี้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด มีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ (787.48 และ 824.57 มิลลิกรัมต่อกรัม) ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูเท่ากับ (237.16 และ 243.89 มิลลิกรัมต่อกรัม) มีค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ (979.42 และ 992.71 ตารางเมตรต่อกรัม) และได้ค่าการกำจัดสีในโมลาสเท่ากับ (95.88 และ 98.60 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งผลการทดลองครั้งนี้ได้ค่าที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ____________________

ปีการศึกษา 2554 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ____________

5287263720: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : CABONIZE / ACTIVATION / ACTIVATED CARBON / DURIAN SHELL / MANGOSTEEN SHELL

WALLAYA VISARNBANNAVIT : THE OPTIMAL CONDITION FOR ACTIVATED CARBON PRODUCTION FROM DURIAN SHELL AND MANGOSTEEN SHELL FOR USING IN MOLASSES COLOR REMOVAL. ADVISOR : ASSOC.PROF. THARAPONG VITIDSANT, Ph.D., 117 pp.

This study aimed to produce activated carbon from each of durian and mangosteen shell via physical activation by two step process. The first step, each of durian and mangosteen shell was carbonized in muffle furnace then char was activated carbon by using superheated-steam as activating agent in a fixed bed reactor. The effects of variable parameter operating, for carbonization and activation are time (30, 60, 90 and 120 min), carbonization temperature (350, 400, 450 and 500 ^{o}C) and activation temperature (650, 700, 750 and 800 ^{o}C), The result showed that the optimum condition of carbonization of durian and mangosteen shell were 30 min and 60 min respectively, the same at 500 ^{o}C. This activated carbon durian and mangosteen shell conditions provided volatile matter (22.84 % and 22.81%), fixed carbon (67.82% and 69.03%), ash (9.34% and 8.16%) and yield (35.46% and 37.00%), respectively. Furthermore, it was obviously found that both of activation temperature and activation time have affect on pore structure. The optimum temperature and time for activation of activated carbon durian and mangosteen shell were 60 min and 90 min ,respectively at 800^{o}C. The properties of activated carbon from durian and mangosteen sheel iodine number adsorption were 787.48 and 824.57 mg/g, the methylene blue adsorption were 237.16 and 243.89 mg/g, the BET surface area were 979.42 and 992.71 m^2/g, the molass color removal were (95.88% and 98.60%),respectively. All of results showed higher adsorption than commercially activated carbon.

Field of Study Environmental Science Student's Signature ____________________

Academic Year 2011 Advisor's Signature ____________________

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องจากความกรุณาของผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่กรุณาสละเวลาเพื่อเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร. นพิดา หิญชีระนันทน์ และ ดร. อนุรักษ์ วินิตสร ที่กรุณาสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การอนุเคราะห์สถานที่ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนอุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมีต่างๆ

สุดท้ายขอขอบพระคุณครอบครัว ที่ให้การอุปการะทางด้านการศึกษา พร้อมทั้งให้กำลังใจตลอดมา และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกในการทำการวิจัย และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย………………………………………………………………………… ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.. จ
กิตติกรรมประกาศ.. ฉ
สารบัญ.. ช
สารบัญตาราง…………………………………………………………………………. ฎ
สารบัญภาพ………………………………………………………………………… ฏ

บทที่ 1 บทนำ…………………………………………………………………………. 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……………………………………… 1
1.2 วัตถุประสงค์…………………………………………………………………… 2
1.3 ขอบเขตการวิจัย………………………………………………………………… 2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย…………………………………………………… 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……………………………………………………... 3
บทที่2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…………………………………………………… 4
2.1 ทุเรียน…………………………………………………………………………… 4
2.1.1 ลักษณะทั่วไปของทุเรียน……………………………………………… 4
2.1.2 การปลูกทุเรียน…………………………………………………………... 4
2.1.3 ประโยชน์และสรรพคุณของทุเรียน………………………………….. 5
2.2 มังคุด…………………………………………………………………………… 5
2.2.1 ลักษณะทั่วไปของมังคุด……………………………………………… 6
2.2.2 การปลูกมังคุด………………………………………………………… 6
2.2.3 ประโยชน์ของมังคุด…………………………………………………... 6
2.3 โมลาส…………………………………………………………………………... 7
2.3.1 ชนิดของโมลาส…………………………………………………………... 7
2.3.2 ประโยชน์ของโมลาส………………………………………………….. 7

หน้า

2.4 ถ่านกัมมันต์…………………………………………………………………….. 8
2.4.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์………………………………………….. 9
2.4.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์…………………………………………………. 9
2.5 วัตถุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์……………………………. 13
2.6 ลักษณะและโครงสร้างของถ่านกัมมันต์……………………………………….. 15
2.6.1 โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์………………………………………. 15
2.6.2 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์…………………………………….... 17
2.6.3 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์………………………………... 18
2.7 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์………………………………………………….. 20
2.7.1 การเตรียมวัตถุดิบ…………………………………………………….. 20
2.7.2 การคาร์บอไนเซชัน (Carbonization)…………………………………. 20
2.7.3 การกระตุ้น (Activation)………………………………………………. 22
2.8 การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์…………………………………………… 29
2.8.1 ปริมาณร้อยละของเถ้า (%Ash)……………………………………… 29
2.8.2 ปริมาณความชื้น (Moisture)…………………………………………. 29
2.8.3 ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density)………………………… 29
2.8.4 ความแข็งแรงและความทนต่อการขัดถู (Hardness and Abrasion Number) 30
2.8.5 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคถ่าน (Particle Size Distribution)…. 30
2.8.6 พื้นที่ผิว (Surface Area)………………………………………………. 30
2.9 การดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์………………………………………………….. 32
2.9.1 กระบวนการดูดติดผิว…………………………………………………. 33
2.10 สมการไอโซเทอมการดูดซับ…………………………………………………… 34
2.11 การดูดซับ……………………………………………………………………… 36
2.11.1 การดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)……………………………….. 36
2.11.2 การดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene blue Number)………………….. 37
2.11.3 โมลาสนัมเบอร์ (Molass Number)………………………………….. 37
2.11.4 แทนนิน (Tannin)……………………………………………………….. 37
2.11.5 การดูดซับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride Activity) 37

หน้า

2.12 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์………………………………………………………….. 38
2.12.1 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย…………… 38
2.12.2 ประเภทที่ใช้กับของเหลว…………………………………………….. 38
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……………………………………………………………….. 39
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย……………………………………………………... 45
3.1 รูปแบบการศึกษา…………………………………………………………………….. 45
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย…………………………………………… 45
3.3 สารเคมี………………………………………………………………………………….. 46
3.4 วัตถุดิบ……………………………………………………………………………… 47
3.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย………………………………………………………... 47
3.5.1 วิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด…… 47
3.5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis)
ของเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด…………………………………... 47
3.5.3 การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อน……………………………… 48
3.5.4 การคาร์บอไนซ์……………………………………………………… 48
3.5.5 การกระตุ้น…………………………………………………………….. 48
3.6 ศึกษาความสามารถของการกำจัดสีในโมลาส………………………………… 49
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล.. 51
4.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด.................... 51
4.1.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นแบบประมาณ และแบบแยกธาตุ............ 51
4.1.2 การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของเปลือกทุเรียน และเปลือก 52
มังคุดด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก (Thermogravimetric analysis;
TGA)……………...……….................
4.2 ภาวะที่เหมาะสมของการคาร์บอไนซ์เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด………… 54
4.2.1 ผลของเวลาในการคาร์บอไนซ์เปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด
ที่อุณภูมิต่างๆ……………..............……………..............………… 54
4.2.2 ผลของอุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์ของเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด….. 60
4.3 การกระตุ้นถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด……………………… 65

หน้า

4.3.1 การกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด…………………………………… 65
4.3.2 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้น……………………………………… 71
4.4 ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางสัณฐานวิทยา ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด…………………………… 76
4.5 การกำจัดสีในโมลาส………………………………………………………… 79
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ……………………………………… 82
5.1 สรุปผลการวิจัย…………………………………………………………… 82
5.1.1 ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด 82
5.1.2 ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด………………………………………………………………….. 82
5.1.3 ผลของการศึกษาเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีในโมลาส…………………… 83
5.2 ข้อเสนอแนะ…………………………………………………………….. 83
รายการอ้างอิง……………………………………………………………………… 84
ภาคผนวก…………………………………………………………………………… 88
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด.. 89
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์…………………………… 93
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของถ่านกัมมันต์……….. 95
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์………………….. 97
ภาคผนวก จ วิธีวิเคราะห์ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูของถ่านกัมมันต์……………… 102
ภาคผนวก ฉ สมบัติของถ่านกัมมันต์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม……… 106
ภาคผนวก ช ผลการวิเคราะห์สมบัติของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน และถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด…………………………………………………….... 109
ภาคผนวก ซ ผลการวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด………………………………………… 112
ภาคผนวก ฌ ผลของการกำจัดสีในโมลาสของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด และถ่านกัมมันต์ทางการค้า………… 115
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์………………………………………………………... 117

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 วัตถุดิบที่มีการศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์.......................... 15
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นแบบประมาณของเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด.. 52
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นแบบแยกธาตุของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด.. 52
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าสมบัติต่างๆ จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด.................... 76
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์.. 77

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1	องค์ประกอบของโมลาสที่ได้จากการสกัดน้ำตาลครั้งที่ 3 (Blackstrap)…….	8
ภาพที่ 2.2	ชนิดของถ่านกัมมันต์……………………………………………………	12
ภาพที่ 2.3	การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์……………………..	16
ภาพที่ 2.4	เปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของแกรไฟต์และผลึกของถ่านกัมมันต์………..	17
ภาพที่ 2.5	ภาพอธิบายโครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์………………………………	17
ภาพที่ 2.6	กลุ่มฟังก์ชันนอลแบบกรดบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์…………………………….	20
ภาพที่ 2.7	กลุ่มฟังก์ชันนอลแบบเบสบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์…………………………..	20
ภาพที่ 2.8	โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์ ………………………………………	21
ภาพที่ 2.9	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากกระตุ้นด้วยไอน้ำ…………………………….	24
ภาพที่ 2.10	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากกระตุ้นทางกายภาพโดยกำจัดฟีนอล และน้ำ	25
ภาพที่ 2.11	ลักษณะไอโซเทอมของการดูดซับ………………………………………….	33
ภาพที่ 2.12	โครงสร้างทางเคมีของเมทิลีนบลู…………………………………………..	38
ภาพที่ 4.1	การสลายตัวทางความร้อนของเปลือกทุเรียนภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก………………………………………………………..	53
ภาพที่ 4.2	การสลายตัวทางความร้อนของเปลือกมังคุดภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก………………………………………………………...	54
ภาพที่ 4.3	ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณสารระเหยของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน ณ อุณหภูมิต่างๆ…………………………………………....	56
ภาพที่ 4.4	ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณสารระเหยของถ่านชาร์จากเปลือก มังคุด ณ อุณหภูมิต่างๆ…………………………………………	56
ภาพที่ 4.5	ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัวจากเปลือกทุเรียน ณ อุณหภูมิต่างๆ……………………………………………………..	57
ภาพที่ 4.6	ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัวจากเปลือกมังคุด ณ อุณหภูมิต่างๆ…………………………………………………….	57

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 4.7	ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน ณ อุณหภูมิต่างๆ…………………………………………	58
ภาพที่ 4.8	ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ของถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด ณ อุณหภูมิต่างๆ………………………………………..	58
ภาพที่ 4.9	ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณเถ้าของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน ณ อุณหภูมิต่างๆ……………………………………………	59
ภาพที่ 4.10	ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณเถ้าของถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด ณ อุณหภูมิต่างๆ……………………………………….….	59
ภาพที่ 4.11	ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณสารระเหยของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน ณ เวลาต่างๆ………………………………….	61
ภาพที่ 4.12	ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณสารระเหยของถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด ณ เวลาต่างๆ………………………………..	61
ภาพที่ 4.13	ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละคาร์บอนคงตัวของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน ณ เวลาต่างๆ…………………………………….….	62
ภาพที่ 4.14	ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละคาร์บอนคงตัวของถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด ณ เวลาต่างๆ…………………………………….….	62
ภาพที่ 4.15	ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน ณ เวลาต่างๆ………………………………….	63
ภาพที่ 4.16	ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ของถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด ณ เวลาต่างๆ………………………………..	63
ภาพที่ 4.17	ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณเถ้าของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน ณ เวลาต่างๆ………………………………………..	64
ภาพที่ 4.18	ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณเถ้าของถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด ณ เวลาต่างๆ…………………………………………	64
ภาพที่ 4.19	ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ณ อุณหภูมิต่างๆ…………………………………	66
ภาพที่ 4.20	ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ณ อุณหภูมิต่างๆ…………………………………	66

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 4.21	ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อร้อยละของปริมาณเถ้า ณ อุณหภูมิต่างๆ..	67
ภาพที่ 4.22	ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อร้อยละของปริมาณเถ้า ณ อุณหภูมิต่างๆ..	67
ภาพที่ 4.23	ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน ณ อุณหภูมิต่างๆ..	68
ภาพที่ 4.24	ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อ ค่าการดูดซับไอโอดีน ณ อุณหภูมิต่างๆ..	68
ภาพที่ 4.25	ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ณ อุณหภูมิต่างๆ..	69
ภาพที่ 4.26	ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ณ อุณหภูมิต่างๆ..	69
ภาพที่ 4.27	ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิต่างๆ..	70
ภาพที่ 4.28	ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิต่างๆ	70
ภาพที่ 4.29	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆ..	72
ภาพที่ 4.30	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆ..	72
ภาพที่ 4.31	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน ณ เวลาต่างๆ..	73
ภาพที่ 4.32	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน ณ เวลาต่างๆ..	73
ภาพที่ 4.33	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ณ เวลาต่างๆ..	74

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 4.34	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ณ เวลาต่างๆ………………………………………….…	74
ภาพที่ 4.35	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ณ เวลาต่างๆ……………………………….…..	75
ภาพที่ 4.36	ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ณ เวลาต่างๆ…………………………………	75
ภาพที่ 4.37	ลักษณะสัณฐานวิทยาของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด ที่กำลังขยาย 1500 เท่า………………………………………………………………..	77
ภาพที่ 4.38	ลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านชาร์ ที่กำลังขยาย 1500 เท่า………………...	78
ภาพที่ 4.39	ลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์ ที่กำลังขยาย 1500 เท่า…….……...	78
ภาพที่ 4.40	สารละลายโมลาสเข้มข้น 15% โดยปริมาตร…………………………………	79
ภาพที่ 4.41	การเปลี่ยนแปลงสีของโมลาสในถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด…………………..….	80
ภาพที่ 4.42	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของโมลาส ณ เวลาต่างๆ…………………	81

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นเมืองเกษตรกรรม มีการเพาะปลูกพืชผลเป็นจำนวนมาก ทุเรียน และมังคุด จัดเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมาก และมีมูลค่าการส่งออกสูงที่ติดอันดับหนึ่งในสิบของไทย ไม่เพียงแต่เฉพาะเพื่อการส่งออกเท่านั้น ยังเป็นผลไม้ยอดนิยมในการบริโภคของคนภายในประเทศอีกด้วย ทั้งยังมีการนำผลไม้ทั้งสองชนิดนี้ มาทำการแปรรูป เพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิต และเป็นการเก็บรักษาผลผลิตไว้ใช้ในการบริโภคได้นานขึ้น จึงทำให้มีเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก จากข้อมูลของปี พ.ศ. 2554 ผลผลิตทุเรียนในประเทศไทยอยู่ที่ 508,603 ตัน และผลผลิตมังคุดอยู่ที่ 146,079 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554)ดังนั้น เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จึงนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้ง และถือเป็นการกำจัดขยะไปด้วย โดยกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์มีกระบวนการผลิต 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก คือ การคาร์บอไนซ์ ขั้นตอนที่สอง คือ ขั้นตอนการกระตุ้น โดยตัวแปรที่ใช้ศึกษา คือ อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ และการกระตุ้น วิธีการกระตุ้นมีสองวิธี คือ การกระตุ้นทางเคมี และการกระตุ้นทางกายภาพ เนื่องจากการกระตุ้นทางเคมีทำให้มีสารตกค้างในถ่านกัมมันต์ และอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาจเกิดการกัดกร่อนจากสารเคมีนั้นๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการใช้การกระตุ้นทางกายภาพ โดยใช้แก๊สออกซิไดซ์ที่เป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวด

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่ผลิตขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด มีความสามารถในการดูดซับสูง นิยมใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับสารที่เป็นของเหลวและก๊าซในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่นใช้ถ่านกัมมันต์มาฟอกสี และดูดกลิ่นในอุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมผลิตน้ำดื่ม และใช้ถ่านกัมมันต์ในการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้จะนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด มาทดสอบโดยการใช้กำจัดสีในโมลาส เพื่อเป็นการทดสอบถึงประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

1.2 วัตถุประสงค์

(1) เพื่อศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดที่เหลือจากการบริโภค
(2) เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูงขึ้น
(3) เพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดสีในโมลาสด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

(1) งานวิจัยนี้ศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ
(2) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ โดยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด
(3) นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ มาใช้ทดสอบการกำจัดสีในโมลาส

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

(1) ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตถ่านกัมมันต์
(2) จัดเตรียมวัสดุที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ คือ เปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด
(3) จัดเตรียมเครื่องมือและสารเคมี และจัดเตรียมเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการกระตุ้น
(4) วิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกทุกเรียน และเปลือกมังคุด
(5) ศึกษาช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดด้วยเทคนิค TGA เพื่อหาช่วงอุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์
(6) ขั้นตอนการผลิต

(6.1) กระบวนการทำให้เป็นถ่าน (carbonization)

ทำการศึกษาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสม

- อุณหภูมิ 350, 400, 450 และ 500 องศาเซลเซียส
- เวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที

(6.2) กระบวนการกระตุ้น (activation)

ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์

- อุณหภูมิ 650, 700, 750 และ 800 องศาเซลเซียส
- เวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที

(7) วิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของถ่านกัมมันต์

- วิเคราะห์ค่าโดยประมาณ (Proximate analysis)
- ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine adsorption)
- ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู(Methylene blue)
- ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุน (BET surface area)
- ลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์(SEM)
-นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ มาทดสอบการกำจัดสีในโมลาส

(8) สรุปผลการศึกษางานวิจัย และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

(1) สามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดที่เหลือทิ้งจากการบริโภคได้

(2) ทราบถึงภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด

(3) สามารถนำถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์ในการกำจัดสีในโมลาสได้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทุเรียน

มีชื่อสามัญ Durian ชื่อวิทยาศาสตร์: *Duriozibethinus*Linn. อยู่ในวงศ์ BOMBACACEAE มีแหล่งกำเนิด และการกระจายพันธุ์อยู่ที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะในประเทศไทยมีการปลูกเป็นการค้า และเป็นประเทศผู้ส่งออกที่สำคัญที่สุดของโลก เพราะผลิตได้มากเป็นอันดับที่หนึ่ง โดยมีตลาดภายในประเทศเป็นแหล่งรองรับผลผลิตส่วนใหญ่ และมีการส่งออกทุเรียนในรูปของผลไม้สดเพิ่มมากขึ้นทุกปีจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอันดับต้นๆของไทย และด้วยรสชาติที่อร่อยเป็นที่ชื่นชอบของผู้คนเป็นจำนวนมาก ทำให้ทุเรียนได้รับการขนานนามให้เป็น ราชาแห่งผลไม้

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของทุเรียน

ทุเรียนจัดเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ ลำต้นมีความสูง 70-80 ฟุตอายุยืน 80-150 ปี มีเปลือกแข็งสีเทาเป็นไม้ประเภทเนื้ออ่อน มี 27 ชนิด (Species) ซึ่งมีมากกว่า 200 สายพันธุ์ ใบมีสีเขียวแก่เป็นมัน แข็ง และหนายาว ท้องใบสีน้ำตาล ปลายใบมีติ่งแหลมเรียวรูปไข่ยาวดอกมีกลีบแข็งหนา ผลมีหนามแหลม เปลือกหนา เนื้อในถ้าอ่อนจะมีรสมันเมื่อสุกเนื้อในจะมีรสหวานหอมและกลิ่นฉุน นิยมรับประทานเป็นผลไม้ การขยายพันธุ์ทำได้โดยการเพาะเมล็ด ตอนกิ่ง ติดตา พันธุ์ของทุเรียนที่นิยมปลูกกันมากมี 4 พันธุ์ คือหมอนทอง ชะนี ก้านยาว และกระดุม โดยประเทศไทยมีสภาพภูมิประเทศ และภูมิอากาศเหมาะสมในการผลิตทุเรียน สามารถปลูกทุเรียนได้แทบทุกภาคของประเทศไทย

2.1.2 การปลูกทุเรียน

(1) การปลูกทุเรียนนั้นแหล่งน้ำถือเป็นสิ่งสำคัญ ต้องมีแหล่งน้ำจืดให้ทุเรียนเพียงพอตลอดปี

(2) ทุเรียนชอบอากาศร้อนชื้นอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วงประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศประมาณ 75-85%

(3) ดินที่ปลูกควรเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินเหนียวปนทราย มีการระบายน้ำดีเพราะทุเรียนไม่ทนต่อสภาพน้ำขัง ความเป็นกรดด่างของดินอยู่ระหว่าง 5.5-6.5

(4) กำหนดระยะปลูกระยะระหว่างต้นและระยะระหว่างแถวด้านละ 9 เมตร ปลูกได้ไร่ละ 20 ต้น การทำสวนขนาดใหญ่ควรขยายระยะระหว่างแถวให้กว้างขึ้น เพื่อสะดวกต่อการนำเครื่องจักรกลต่างๆไปทำงานในระหว่างแถว

2.1.3 ประโยชน์และสรรพคุณของทุเรียน

(1) นิยมรับประทานเป็นผลไม้สดรสชาติอร่อย และมีการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าและรักษาผลผลิตให้เก็บไว้รับประทานได้นาน เช่น การทอดกรอบ การกวน

(2) ทุเรียนมีคุณค่าทางโภชนาการสูงทั้งไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุต่างๆ ที่ให้พลังงาน และเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย

(3) คุณค่าทางด้านต่างๆของทุเรียน

- เนื้อทุเรียน แก้โรคผิวหนังได้ ช่วยทำให้ฝี และหนองแห้ง
- ใบทุเรียน สามารถนำมาต้มน้ำอาบแก้ไข้ และเป็นส่วนผสมในยาขับพยาธิ
- รากของทุเรียน นำมาต้มน้ำให้เดือด ใช้ดื่มบรรเทาไข้ และรักษาอาการท้องร่วง
- เปลือก นำมาสับแช่ในน้ำปูนใส ใช้ล้างแผลที่เกิดจากน้ำเหลืองเสีย แผลพุพอง นำมาทำกระดาษ หรือนำมาเผาทำเป็นถ่าน

2.2 มังคุด

ชื่อสามัญ Mangosteen ชื่อวิทยาศาสตร์: *Garciniamangostana* L. อยู่ในวงศ์ GUTTIFERAE ซึ่งมีแหล่งกำเนิด และการกระจายพันธุ์อยู่ที่แถบหมู่เกาะมลายู และประเทศทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นผลไม้เมืองร้อนที่เจริญเติบโต และให้ผลผลิตได้ดี โดยในประเทศไทยมีการปลูกเป็นการค้า เพราะมังคุดไทยอร่อย มีรสชาติหวานหอมอมเปรี้ยว เปลือกบาง เมล็ดเล็ก มีเนื้อมากกว่ามังคุดของประเทศอื่น ซึ่งมีเปลือกหนา และมีรสชาติรสชาติเปรี้ยวจัด และด้วยรสชาติที่อร่อยถูกปากของมังคุด จึงทำให้ผลไม้ชนิดนี้ได้รับการขนานนามว่าเป็น ราชินีแห่งผลไม้

2.2.1 ลักษณะทั่วไปของมังคุด

มังคุดเป็นไม้ผลยืนต้นขนาดใหญ่ ไม่ผลัดใบ ใบเป็นรูปไข่ หรือรูปวงรี ปลายใบแหลมหลังใบสีเขียวเข้มเป็นมัน ท้องใบสีอ่อนกว่า เนื้อใบค่อนข้างหนา และเหนียว ดอกมี 2 ชนิดคือดอกตัวผู้และดอกสมบูรณ์เพศผลค่อนข้างกลม เมื่อดิบผลจะมีสีเขียวอมขาว เมื่อแก่จะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดงจนถึงม่วงดำ เปลือกผลหนาค่อนข้างแข็ง เนื้อในสีขาวใช้กิน มีรสหวานอมเปรี้ยวขยายพันธุ์โดยการใช้เมล็ดเพาะปลูก ไทยมีแหล่งเพาะปลูกมังคุด 3 แหล่งใหญ่ๆ คือ ภาคกลาง ได้แก่จังหวัดนนทบุรี ภาคตะวันออก ได้แก่ จันทบุรี ระยอง ตราด ปราจีนบุรี ภาคใต้ได้แก่ชุมพร นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี มังคุดมีอยู่พันธุ์เดียวเรียกกันว่าเป็นพันธุ์พื้นเมือง เพราะมังคุดเป็นพืชที่ปลูกด้วยเมล็ดและเมล็ดมังคุดไม่ได้เกิดจากการผสมเกสรจึงแทบจะไม่มีโอกาสกลายพันธุ์เลย

2.2.2 การปลูกมังคุด

(1) พื้นที่ปลูกมังคุดควรมีสภาพภูมิอากาศร้อนและชุ่มชื้น เพราะมังคุดเป็นพืชคายน้ำ และที่สำคัญต้องเป็นพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำเพียงพอที่จะให้กับต้นมังคุดได้ในฤดูแล้ง เพราะมังคุดต้องการน้ำตลอดทั้งปี ดินต้องมีหน้าดินลึก มีอินทรียวัตถุสูง และระบายน้ำได้ดี

(2) มังคุดชอบอากาศร้อนชื้น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วงประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์สูงประมาณ 75-85%

(3) มังคุดเจริญเติบโตได้ในดินเกือบทุกชนิด แต่ดินที่เหมาะสมควรเป็นดินเหนียวปนทราย มีความอุดมสมบูรณ์สูง สามารถอุ้มน้ำ และระบายน้ำได้ดี ความเป็นกรดด่างของดินอยู่ระหว่าง 5.5-6.5

(4) ระยะปลูก เนื่องจากมังคุดเป็นไม้ผลที่มีทรงพุ่มขนาดใหญ่ ระยะปลูกที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 8 – 9 X 8 – 9 เมตร ควรเว้นระยะระหว่างแถวให้ห่างพอที่เครื่องจักรกลจะเข้าไปทำงานได้สะดวก สามารถปลูกได้ไรละ 20 – 25 ต้น/ไร่

2.2.3 ประโยชน์ของมังคุด

(1) ใช้รับประทานเป็นผลไม้สดรสชาติหอมหวานอมเปรี้ยวอร่อยและมีการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า และรักษาผลผลิตให้เก็บไว้รับประทานได้นาน เช่น การทำมังคุดคัดการทำน้ำมังคุดสกัด การทำน้ำส้มสายชูมังคุด

(2) มังคุดมีคุณค่าทางโภชนาการสูงทั้งวิตามิน และเกลือแร่ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย

(3)คุณค่าทางด้านต่างๆของมังคุดโดยเนื้อและน้ำของมังคุด มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระช่วยในเรื่องระบบขับถ่ายให้ดีขึ้นส่วนเปลือกนำมาตากแห้งใช้ทาแผลพุพองเน่าเปื่อย

นำมาเป็นส่วนผสมในการทำสบู่ถูตัวเพื่อดับกลิ่นตัว รักษาสิวเห่อ นำมาทำน้ำหมักชีวภาพเพื่อฉีดไล่แมลงให้กับต้นพืช

2.3 โมลาส

โมลาส (Molasses) หรือกากน้ำตาล เป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้มที่ไม่สามารถตกผลึกเป็นน้ำตาลได้อีก ส่วนประกอบของโมลาสโดยประมาณคิดเป็นร้อยละตามน้ำหนัก มีดังนี้ น้ำ 20.65 ซูโครส 36.60 รีคิวซิงซูการ์ 13.00 น้ำตาลที่ใช้หมักเชื้อ 50.10 เถ้าซัลเฟต15.00 ยาง และแป้ง 3.43 ขี้ผึ้ง 0.38 ไนโตรเจน 0.95 ซิลิกาในรูป SiO_2 0.46 ฟอสเฟต P_2O_5 0.12 โปแตสเซียม K_2O 4.19 แคลเซียม CaO 1.35 แมกนีเซียม MgO 1.12

2.3.1 ชนิดของโมลาส

โมลาสสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ (กษิต แหลมทองมงคล, 2551)

(1) โมลาสที่ได้จากการสกัดน้ำตาลครั้งที่ 1 (Mild) โมลาสที่ได้จากการผลิตครั้งแรกจะมีคุณภาพความหวานดีที่สุด เนื่องจาก น้ำตาลที่ถูกสกัดออกมามีจำนวนน้อย ความหวานจึงหลงเหลืออยู่ในตัวโมลาสมาก

(2) โมลาสที่ได้จากการสกัดน้ำตาลครั้งที่ 2 (DarK) ในกระบวนการนี้โมลาสจะมีสีที่เข้มกว่าโมลาสที่ได้รับจากการสกัดน้ำตาลในครั้งแรก และคุณภาพความหวานจะลดลงเนื่องจากน้ำตาลในองค์ประกอบของน้ำตาลลดลง

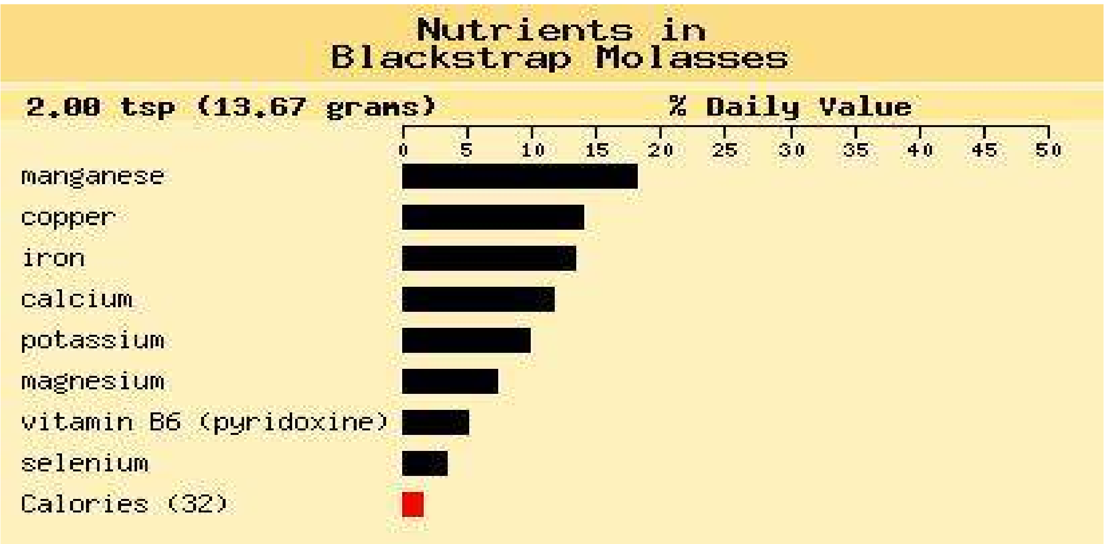
(3) โมลาสที่ได้จากการสกัดน้ำตาลครั้งที่ 3 (Blackstrap) กระบวนการผลิตครั้งนี้โมลาสจะมีสีดำ เหนียวข้น มีประโยชน์ และมีมูลค่าทางการค้ามาก โดยสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตแอลกอฮอล์ อาหารสัตว์ และอุตสาหกรรมอื่นๆอีกมากมาย

2.3.2 ประโยชน์ของโมลาส

โมลาสสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสุราและเอทานอล (โดยผ่านกระบวนการหมักด้วยยีสต์) ใช้ทำปุ๋ย ใช้เลี้ยงสัตว์ ใช้ทำผงชูรส ใช้ทำน้ำสกัดชีวภาพ ใช้บำบัดน้ำเสีย ทั้งในครัวเรือน และอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่การใช้โมลาสส่วนใหญ่จะนำไปใช้ประโยชน์หลักๆ 2 ประการนี้ คือ

(1) ใช้ผลิตแอลกอฮอล์ ทำได้โดยการนำโมลาสมาเจือจางด้วยน้ำ แล้วหมักโดยเชื้อยีสต์พวก Saccharomyces cerevisisiae เปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์ จากนั้นนำมามากลั่นแยกแอลกอฮอล์ออก จะได้แอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ประมาณ 95% แอลกอฮอล์ที่ได้แตกต่างกันไปตามคุณภาพโมลาสตลอดจนวิธีการผลิตของโรงงานแต่ละแห่ง

(2) ใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากโมลาสมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์ เช่น โค กระบือ แพะ และพวกสัตว์เคี้ยวเอื้องทั้งหลาย เพราะโมลาสจะช่วยเพิ่มรสชาติแก่อาหารสัตว์ และยังช่วยกระตุ้นการทำงานของบัคเตรีในกระเพาะ ซึ่งจะช่วยย่อยอาหารหยาบ เช่นยอดอ้อย ฟางข้าว ชานอ้อย ทำให้สัตว์พวกนี้ใช้ประโยชน์จากอาหารดังกล่าวได้มากขึ้น



ภาพที่ 2.1องค์ประกอบของโมลาสที่ได้จากการสกัดน้ำตาลครั้งที่ 3 (Blackstrap)

ที่มา: http://mom.exchange.ph/2007/11/22/blackstrap-molasses-wonder-food)

2.4 **ถ่านกัมมันต์**

2.4.1 **ความหมายของถ่านกัมมันต์**

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) หมายถึง ถ่านที่มีคุณสมบัติดูดซับสี กลิ่น รส บางชนิดได้เป็นอย่างดี ถ่านชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นรูพรุนผลิตได้จากถ่านหิน ถ่านไม้ ถ่านกะลามะพร้าว ด้วยกรรมวิธีก่อกัมมันต์ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) วัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์นั้นจะมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก อาจเป็นวัตถุดิบทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นเอง หรือจากการสังเคราะห์ขึ้นก็ได้ โดยนำวัตถุดิบไปผ่านกระบวนการเผาในที่อับอากาศ เพื่อทำให้เป็นถ่าน

(carbonization) และผ่านกระบวนการกระตุ้น (activation) เพื่อกระตุ้นให้มีพื้นที่ผิว และรูพรุนมากขึ้น อีกทั้งยังทำให้มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารมากขึ้น ทำให้สามารถดูดซับสารที่เป็นก๊าซและของเหลวได้ จากคุณสมบัติ และราคาที่ไม่แพงของถ่านกัมมันต์ ทำให้เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้กันอย่างมาก

2.4.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์

สามารถแบ่งโดยอาศัยหลักต่างๆขึ้นอยู่กับการใช้งานซึ่งแบ่งตามเกณฑ์ต่างๆดังนี้

(1) แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน ถ่านกัมมันต์ที่ได้มักจะมีรูพรุนขนาดใหญ่ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างสูง ตัวกระตุ้นที่นิยมใช้ได้แก่ กรดฟอสฟอริก ซิงค์คลอไรด์ และเบส เป็นต้น

- การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activated carbon)เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซเป็นตัวกระตุ้น เช่น ไอน้ำ อากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็ก ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างต่ำ นิยมใช้ในการดูดซับก๊าซ และ ไอระเหย

(2) แบ่งตามขนาดของรูพรุน

แบ่งตามเกณฑ์ของ International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC

- ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) คือ มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า 2 นาโนเมตร มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับนิยมใช้ในการดูดซับก๊าซและไอระเหย

- ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง (Mesopores) คือ มีรัศมีของรูพรุนระหว่าง 2-50 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Reaction) ใช้เป็นตัวรองรับ (Support) ใช้ดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น การฟอกสี เป็นต้น

- ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) คือมีรัศมีของรูพรุนใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร ไม่มีความสำคัญในการดูดซับแต่เป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูพรุนขนาดเล็กได้ง่ายขึ้น มักนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตยา และฟอกสี

(3) แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

- สำหรับดูดซับก๊าซ (Gas adsorbents) ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผากระตุ้นถ่านสังเคราะห์ชนิดแข็ง (Hard artificial char) เป็นถ่านที่ได้จากวัสดุประเภทไม้ที่เผาที่ความดันสูงใช้ในการดูดซับกลิ่น และไอของสารอินทรีย์ เป็นต้น

- สำหรับดูดซับสี (Colour adsorbents) ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผากระตุ้นถ่านสังเคราะห์ชนิดอ่อน (Soft artificial char) ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากถ่านไม้ ถ่านชานอ้อย ถ่านจากแกลบ ถ่านจากถ่านหินน้ำมัน และถ่านจากกากน้ำตาล ใช้เป็นตัวฟอกสี เป็นต้น

- สำหรับดูดซับโลหะ (Metal adsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่เป็นตัวแยกพวกโลหะชนิดต่างๆ เช่น ถ่านที่ใช้ในการแยก ทอง เงิน แพลตทินัม และแร่

(4) แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

- ถ่านกัมมันต์ความหนาแน่นต่ำ มักนำไปใช้ประโยชน์ในสภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลดิบ การทำน้ำให้บริสุทธิ์ หรืออุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น

- ถ่านกัมมันต์ความหนาแน่นสูง มักใช้ดูดสารพิษ หรือไอระเหย ดูดซับก๊าซ หรือไอระเหย เช่น ใช้ในการกำจัดกลิ่น หรือการแยกก๊าซออกจากก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น

(5) แบ่งตามค่าความเป็นกรด–เบสเมื่อละลายน้ำ

- ถ่านกัมมันต์ชนิดแอล (L-Type Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีคุณสมบัติเป็นกรด

- ถ่านกัมมันต์ชนิคเอช (H-Type Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีคุณสมบัติเป็นเบส

(6) แบ่งตามหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์

- หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่เป็นกรดซึ่งจะแสดงคุณสมบัติเป็นกรดเมื่ออยู่ในสารละลาย หมู่ฟังก์ชันนี้จะพบในถ่านกัมมันต์ชนิดแอลซึ่งเตรียมจากการเผาวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 200-400 องศาเซลเซียสในอากาศ หรือถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีที่อุณหภูมิในการเผากระตุ้นไม่เกิน 1,000 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักผลิตจากวัตถุดิบจำพวกไม้ หรือวัตถุดิบที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสูง ตัวอย่างของหมู่ฟังก์ชันกลุ่มนี้ คือ หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) หมู่ฟีนอลิคคาร์บอกซิล (Phenolic Carboxyl) หมู่ควิโนนอยด์ (Quinonoid) หมู่กรดคาร์บอกซิล

แอสิด (Carboxyl Acid Group) หมู่แอนไฮไดรด์ (Anhydride) หมู่แลคโทน (Lactone) และหมู่ไซคลิกเปอร์ออกไซด์ (Cyclic Peroxide) เป็นต้น

- หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่เป็นเบสซึ่งจะแสดงคุณสมบัติเป็นเบสเมื่ออยู่ในสารละลาย มักพบในถ่านกัมมันต์ชนิดเอช ซึ่งถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ส่วนใหญ่มักเตรียมจากการกระตุ้นทางกายภาพด้วยไอน้ำ หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิสูงมากประมาณ1,000 - 1,200 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักผลิตจากวัตถุดิบจำพวกถ่านหิน หรือวัสดุชีวมวลที่มีองค์ประกอบธาตุคาร์บอนไม่สูงมากนัก ตัวอย่างของกลุ่มฟังก์ชันกลุ่มนี้ได้แก่หมู่ควินิน (Quinine) หมู่โครมีน (Chromene) และไพโรน-ไลค์ (Pyrone-like) เป็นต้น

(7) แบ่งตามรูปร่างลักษณะ

ถ่านกัมมันต์มีหลายรูปแบบ แบ่งตามลักษณะการใช้งานออกไปตามโรงต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมเคมี ใช้ฟอกสีในอุตสาหกรรมอาหาร น้ำตาล น้ำมันพืช น้ำอัดลม ผงชูรส เครื่องทำอากาศให้บริสุทธิ์ในโรงงานผลิตเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 900-2547) คือ ชนิดผง ชนิดเกล็ด ชนิดเม็ด และชนิดแท่ง ซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีแตกต่างกันไป ดังนี้

- ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ถูกนำมาบดจนสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมชไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนักมีลักษณะเป็นผงโดยทั่วไปจะมีขนาด 0.15 –0.25 มิลลิเมตรเมตร นิยมใช้ในการดูดซับสารในสภาวะของเหลว เช่น การฟอกสี และดูดกลิ่นในของเหลว ดังภาพที่ 2.2 (a)

- ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (Granular Activated Carbon) มีขนาดอยู่ในช่วง 0.2-5.0 มิลลิเมตร มีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก และมีความแข็งไม่น้อยกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ใช้สำหรับทำก๊าซ หรือทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์ ดังภาพที่ 2.2 (b)

- ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Pelleted Activated Carbon) มีขนาดอยู่ในช่วง 0.8-5.0มิลลิเมตร มีปริมาณที่ร่อนผ่านแร่ง 150 ไมโครเมต หรือต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ลักษณะเป็นเม็ดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอม ความชื้นไม่เกินร้อยละ8 โดยน้ำหนัก และมีความแข็งไม่น้อยกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ รูปร่างถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับการอัดผ่านเครื่องอัด ใช้ทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ และไอระเหยต่างๆ ดังภาพที่ 2.2 (c)

- ถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง (Cloth and Fibres Activated carbon) ซึ่งจะมีขนาดตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขายมีลักษณะเป็นแท่งสีดำปราศจากสิ่งแปลกปลอมมีมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ดังภาพที่ 2.2 (d)

(a) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง

(b)ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด

(c)ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

(d)ถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง

ภาพที่ 2.2ชนิดของถ่านกัมมันต์

ที่มา: http://www.etc1992.co.th/index.php/journal/207-june2011/805-activatedcarbon

2.5 วัตถุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ จะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบโดยวัตถุดิบอาจเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ หรือได้จากการสังเคราะห์ขึ้น วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม คือ ถ่านพีท ถ่านหิน ถ่านลิกไนต์ กะลามะพร้าว และไม้ เนื่องจากวัตถุดิบดังกล่าว จะให้ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูง และมีรูพรุนขนาดเล็กมาก โดยทั่วไปวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ (ประพิณ ทัพกาญจนะ, 2548)

(1) มีปริมาณสารระเหยต่ำ

(2) มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง

(3) มีราคาถูก และหาได้ง่าย เป็นพวกวัสดุเหลือใช้ที่มีราคาถูก หรือวัสดุเหลือทิ้ง

(4) สะดวกในการใช้งาน มีคุณสมบัติคงที่ คือ ไม่สลายตัว หรือเสื่อมสภาพ เป็นต้น

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบในรูปถ่านมักเป็นถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันอินทรีย์วัตถุ หรือเรียกว่าถ่านสังเคราะห์ (Artificial Char) หรืออาจเป็นถ่านที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural Char) เช่น ถ่านหิน โดยถ่านสังเคราะห์แบ่งตามอินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็น 2 ประเภทคือ

- ถ่านสังเคราะห์เนื้อแข็ง (Hard Artificial Char) เช่นถ่านหินน้ำมันถ่านไม้ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ที่ความดันสูง

- ถ่านสังเคราะห์เนื้ออ่อน (Soft Artificial Char) เช่นถ่านไม้ถ่านชานอ้อยถ่านแกลบถ่านกากน้ำตาล

โดยทฤษฎีแล้วอินทรียวัตถุทุกชนิดสามารถนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ได้ ปัจจุบันจึงได้มีการนำของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก แสดงได้ดังตารางที่ 2.1 เนื่องจากหาได้ง่าย และมีราคาถูกแต่อย่างไรก็ตามปัญหาในการนำของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตถ่านกัมมันต์ คือ วัตถุดิบมีคุณสมบัติไม่คงที่แม้ว่าจะเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกันทำให้ยากในการควบคุมขั้นตอนในการผลิต

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าวัตถุดิบที่มาจากพืชหลายชนิดถูกนำมาศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ซึ่งวัตถุดิบดังกล่าวโดยส่วนมาก ล้วนแต่เป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตรดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการนำเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด ซึ่งเป็นหนึ่งในวัตถุดิบที่เป็นสิ่งเหลือทิ้งทางการเกษตรมาศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นอกจากวัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็น

องค์ประกอบหลักแล้ว วัตถุดิบเหล่านี้ยังประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจน และธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลักร่วมด้วยและอาจมีธาตุชนิดอื่นๆ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน เป็นต้น ปะปนอยู่ด้วยในปริมาณเล็กน้อย (เดชาฉัตรศิริเวช, 2552) ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบต่างชนิดกัน จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน การกระจาย และขนาดรูพรุนต่างกัน

ตารางที่ 2.1 วัตถุดิบที่มีการศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

อินทรีย์วัตถุ			**อนินทรีย์วัตถุ**
วัตถุดิบที่มาจากพืช	**ถ่านหิน**	**วัตถุดิบที่มาจากสัตว์**	
ชานอ้อย (Bagasse) กากน้ำตาล (Beet - Sugar Sludge) สารจำพวกแป้ง (Carbohydrate) เมล็ดพืช (Cereal) กะลามะพร้าว (Coconut Shell) กากกาแฟ (Coffee Bean) ซังข้าวโพด (Corncob and Corn Stalk) เมล็ดแข็งของผลไม้ (Fruit Pit) วัชพืชทะเล (Kelp and Seaweed) แกลบ (Rice Husk) ขี้เลื่อย (Sawdust) ไม้ (Wood)	ถ่านหิน (Coal) แกรไฟต์ (Graphite) ถ่านลิกไนต์ (Lignite) หินน้ำมัน (Oil Shale) ถ่านพีท (Peat) ถ่านหินน้ำมัน (Petroleum Coke)	เลือด (Blood) กระดูก (Bone) ปลา (Fish) กากหนัง (Leather Waste)	ฝุ่นจากปล่องไฟ (Flue Dust) เขม่า (Lampblack) กากโปแตสเซียมเฟอ-โรไซยาไนด์ (Potassium ferrocyanide Residue) เศษยาง (Rubber Waste) กากกรดปิโตรเลียม (Petroleum Acid Sludge) ของเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ (Pulp-Mill Waste)

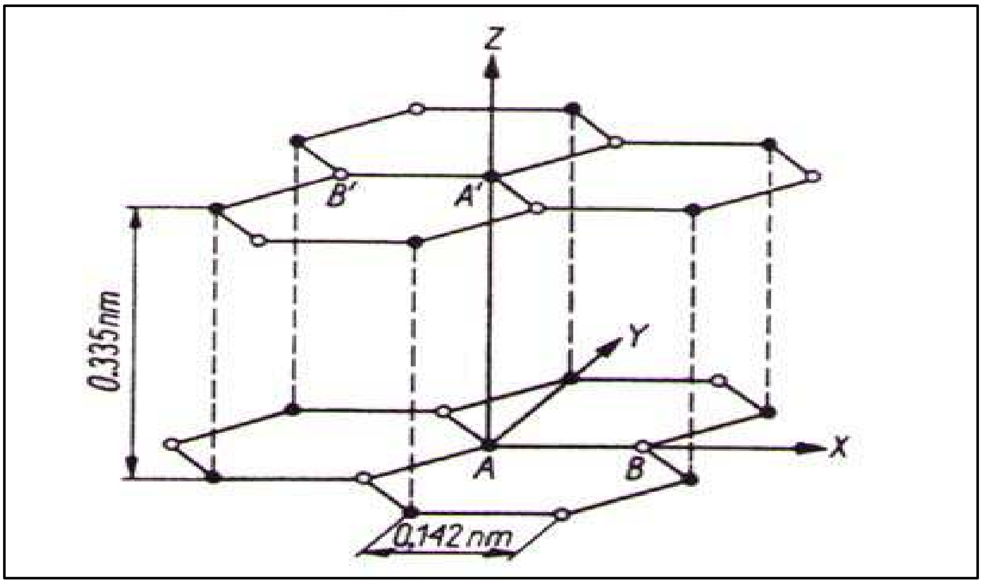
ที่มา: ลลิดา นิทัศนจารุกุล (2544)

2.6 ลักษณะและโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์ (Graphite) แต่แตกต่างกันที่พื้นที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์มีมากกว่าแกรไฟต์

2.6.1 โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์

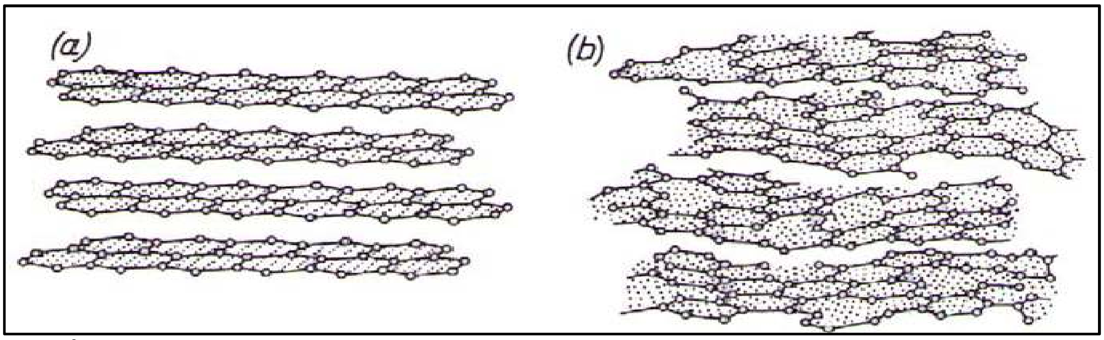
ถ่านกัมมันต์นั้นมีโครงสร้างเช่นเดียวกันกับแกรไฟต์ แต่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่าผลึกของแกรไฟต์ โดยโครงสร้างประกอบไปด้วยชั้นของคาร์บอนอะตอมในรูปของวงแหวนเบนซิน (Benzene Ring) หรือกลุ่มของอะตอมคาร์บอนที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม (Regular- Hexagon) นั่นคือแต่ละอะตอมจะเกิดพันธะโควาเลนท์ (Covalent) ความยาวระหว่างอะตอมภายในชั้นประมาณ 1.42 อังสตรอมอิเลกตรอนที่เหลืออีกหนึ่งเป็นไพอิเลกตรอน (**π**–electron) จะเคลื่อนที่ไปทั่วโครงสร้างเกิดเป็นเรโซแนนซ์ (Resonance) เพื่อทำให้โครงสร้างมีความเสถียรยิ่งขึ้นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นเป็นแรงวันเดอร์วาลส์ (Van der waals Force) แต่ละแผ่นราบห่างกัน 3.35 อังสตรอมดิสเพลสเมนต์ (Displacement) ในทิศทางขนานกับแผ่น (Layer) จะเกิดง่ายเพราะแรงยึดเหนี่ยววันเดอร์วาลส์อ่อนดังนั้นจะเกิดข้อบกพร่อง (Defect) ในโครงสร้างได้ง่าย ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์

ที่มา: Jankowska และคณะ (1991) อ้างถึงใน สราวุธ ศรีคุณ (2550)

ถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นผลึกเล็กๆที่ไม่สมบูรณ์เกิดการเบี่ยงเบนในแนวฉาก และซ้อนเหลื่อมกันในแนวระนาบเรียกว่า "โครงสร้างแบบเทอร์โบสแตติก" (Turbostatic-Structure) การจัดเรียงตัวของผลึกเล็กๆจะมีทิศทางไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการคาร์บอไนซ์ ผลึกเล็กๆนี้มักมีความสูง 9 - 12 อังสตรอม เส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัดประมาณ 20 - 30 อังสตรอม ประกอบด้วย 3 แผ่นระนาบของชั้นแกรไฟต์ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 เท่าของความกว้างของอะตอมคาร์บอนรูป 6 เหลี่ยม ดังแสดงในภาพที่ 2.4

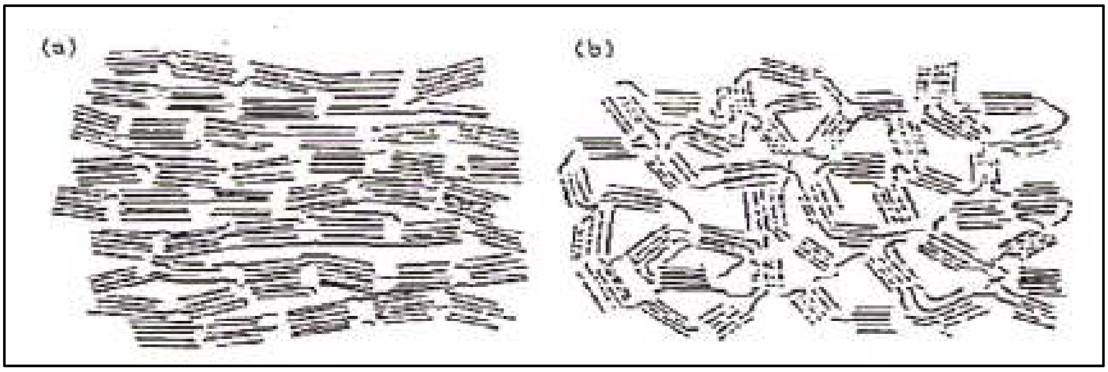


ภาพที่ 2.4 เปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของแกรไฟต์ และผลึกของถ่านกัมมันต์

(a) โครงสร้างผลึกของแกรไฟต์ (b) โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์

ที่มา: Jankowska และคณะ (1991) อ้างถึงใน สราวุธ ศรีคุณ (2550)

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะขึ้นอยู่กับสภาวะในการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อน ได้มีการจัดประเภทของถ่านกัมมันต์ตามโครงสร้างของผลึกออกเป็น 2 ชนิด คือ โครงสร้างที่เป็นแกรไฟต์ง่ายที่อุณหภูมิสูง และโครงสร้างที่มีลักษณะแกรไฟต์เพียงเล็กน้อย (ที่สภาวะเดียวกัน) ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ภาพอธิบายโครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์

(a) ถ่านกัมมันต์ที่เป็นแกรไฟต์ง่าย (b) ถ่านกัมมันต์ที่เป็นแกรไฟต์เล็กน้อย

ที่มา: Jankowska และคณะ (1991) อ้างถึงใน สราวุธ ศรีคุณ (2550)

2.6.2 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

จากการคาร์บอไนซ์ยังทำให้เกิดรุพรุนมากไม่มากพอ จึงต้องมีการกระตุ้นเพื่อทำให้รูพรุนมีมากขึ้นเนื่องจากมีการสูญเสียองค์ประกอบคาร์บอนระหว่างช่องผลึกของคาร์บอนรูพรุน ทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสม คือ ทำให้มีความพรุนมากขึ้นไม่เกี่ยวกับขนาดรูพรุน เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์ จะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก โดยลักษณะรูปร่างรูพรุนนั้นมีลักษณะไม่แน่นอน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบ เช่น เป็นแบบคล้ายหลอดแคปิลารี (capillary pores) บางรูพรุนมีลักษณะเปิดข้างหนึ่ง ปิดข้างหนึ่ง บางครั้งอาจมีรูปร่างรูพรุนเป็นรูปตัววี รูปคอขวด และมีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน โดยทั่วไปมักจะเรียกรูพรุนเหล่านี้ตามขนาดซึ่งขนาดของรูพรุนสามารถแบ่งได้ 3 แบบ คือ

(1) แมคโครพอร์ (Macropores) รัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 100 - 200 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2 -0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่น ดังนั้นแมคโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูพรุนที่เล็กกว่า เพราะรูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับพื้นผิวจำเพาะ ทำให้มีผลต่อความจุในการดูดติดผิว และเชื่อกันว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาดหรือที่เรียกกันว่า การกระจายขนาดของรูพรุน (pore size distribution) จะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ และวิธีการกระตุ้น (Bansal และคณะ, 1988)

(2) เมโซพอร์ (Mesopores) หรือทรานซิชันนัลพอร์ (Transitionalpores) ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 1.5 – 100 นาโนเมตรปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1 - 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20 - 100 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดของรูพรุนเป็นเมโซพอร์ ได้แก่ ซิลิกาเจล (Silica Gels) อะลูมินาเจล (Alumina Gels) ตัวเร่งปฏิกิริยาอะมิโนซิลิเกต (Aminosilicate Catalyst)

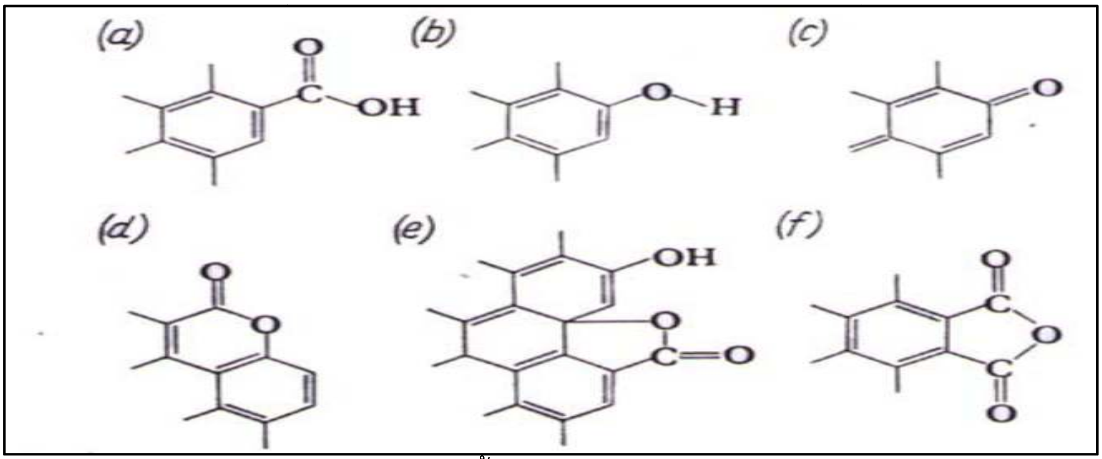
(3) ไมโครพอร์ (Micropores) ขนาดรัศมีรูพรุนน้อยกว่า 1.5 นาโนเมตร ปริมาตร 0.2 - 0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวจำเพาะเป็นจำนวนมากหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม ไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับเนื่องจากมีพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับ (Adsorption Energy) มากที่สุด ทำให้การดูดซับเพิ่มมากขึ้นที่ความดันต่ำๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ซึ่งเชื่อมั่นว่าปริมาณของรูพรุน

แต่ละขนาดหรือที่เรียกกันว่า "การกระจายตัวของรูพรุน (Pore Size Distribution)" จะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ และวิธีการกระตุ้น ตัวอย่างของตัวดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นไมโครพอร์ คือ ซีโอไลต์ (Zeolite)

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ส่วนมากประกอบด้วยรูพรุนกระจัดกระจายโครงสร้างที่มีทั้งแมคโครพอร์เมโซพอร์และไมโครพอร์เรียกว่า "โครงสร้างผสม (Mixed Structure Type)" พบว่าแมคโครพอร์เป็นเพียงทางเปิดสู่ผิวภายนอกอนุภาคโดยมีเมโซพอร์แตกแขนงออกมาจากไมโครพอร์อีกทีหนึ่งโดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 200 - 300 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีผลต่อความจุในการดูดซับจะมีประมาณร้อยละ 90 - 95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมดนอกจากนี้ยังพบว่าความจุในการดูดซับยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวด้วย กล่าวคือถ้าบริเวณผิวของถ่านกัมมันต์เป็นเพียงระนาบพื้นฐาน (Basal Planes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันนอลอื่นๆการดูดซับจะเกิดจากแรงวันเดอร์วาลส์หรืออาจเกิดจากไพอิเล็กตรอนแรงยึดเหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อนแม้ว่าจะดูดซับได้แต่มีโอกาสที่จะหลุดออกได้ง่ายแต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชันการดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแรงกว่าโอกาสที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่า

2.6.3 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มักเตรียมจากถ่านที่ได้จากการเผาสลายสารอินทรีย์ด้วยความร้อน (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส กระบวนการนี้ คือ การคาร์บอไนซ์ ในระหว่างการเผาสลายอะตอมต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จะถูกกำจัดออกในรูปก๊าซ อะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงหกเหลี่ยม (Aromatic Ring) เชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ และเกิดช่องว่างหรือโพรง ซึ่งจะเป็นที่อยู่ของพวกน้ำมันทา ร์และสารอื่นที่ได้จากการเผาสลาย ช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดติดผิวด้วยกระบวนการที่เรียกว่าการกระตุ้น โดยการล้างพวกน้ำมันทาร์และสารต่างๆที่ได้จากการเผาสลายออกจากช่องว่างหรือโพรง และสร้างหมู่ฟังก์ชันนอล (Functional Groups) หมู่ฟังก์ชันนอลที่พบบนผิวถ่านกัมมันต์บ่อยๆ ได้แก่ หมู่ฟังก์ชันนอลที่เป็นกรดเช่นหมู่ Carboxyl, Phenolic Hydroxyl, Quinonnoid, Normal Lactone, Fluorescein-Type Lactone และ Carboxylic Acid Anhydride ดังแสดงในภาพที่ 2.6 และอีกกลุ่มคือหมู่ฟังก์ชันนอลที่เป็นเบสได้แก่ Quinine, ChromenePyrone – like ดังแสดงในภาพที่ 2.7นอกจากนี้ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ยังก่อให้เกิดเถ้าซึ่งเถ้าและองค์ประกอบทางเคมีของเถ้ายังมีหลากหลายอีกด้วย

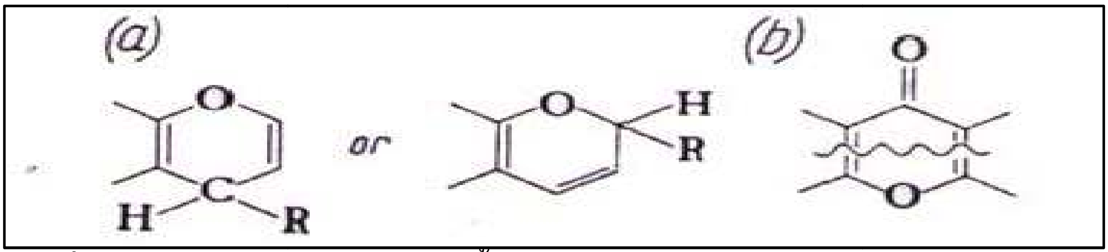


ภาพที่ 2.6 กลุ่มฟังก์ชันนอลแบบกรดบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์

(a) Carboxyl (b) Phenolic hydroxyl (c) Quinonnoid (d) Normal lactones

(e) Fluorescein-type lactone (f) Carboxylic acid anhydrides

ที่มา: Jankowska และคณะ (1991) อ้างถึงใน สราวุธ ศรีคุณ (2550)

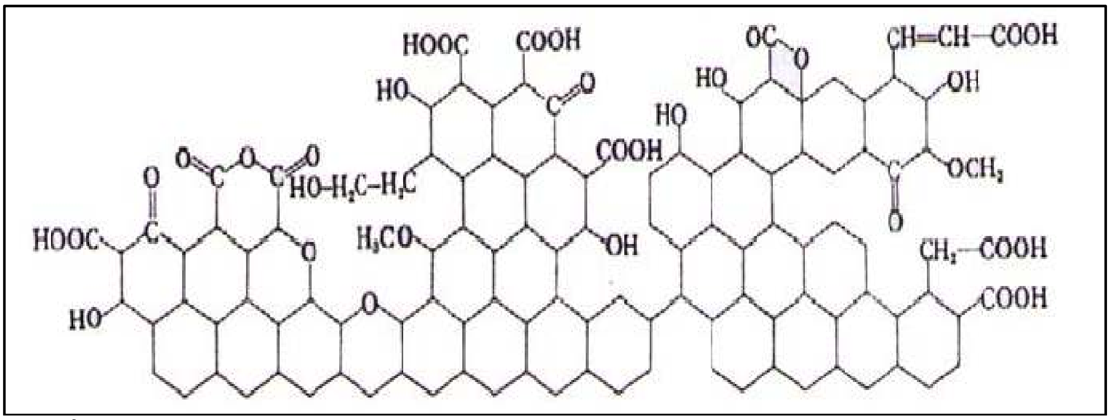


ภาพที่ 2.7 กลุ่มฟังก์ชันนอลแบบเบสบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์

(a) Chromene (b) Pyrone - like

ที่มา: Jankowska และคณะ(1991)อ้างถึงใน สราวุธ ศรีคุณ (2550)

นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมถ่านกัมมันต์ลงไปในสารละลายจะทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายเปลี่ยนแปลง คือ สามารถแสดงความเป็นกรด หรือเบสได้ ถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนบนพื้นผิวมากก็จะแสดงความเป็นกรดซึ่งพื้นผิวที่มีความเป็นกรดนี้จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนน้อยก็จะแสดงความเป็นเบส ซึ่งจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบ โครงสร้างทางเคมีโดยทั่วไปของถ่านกัมมันต์ แสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์

ที่มา: Jankowska และคณะ (1991) อ้างถึงใน สราวุธ ศรีคุณ (2550)

2.7 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

กรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบลักษณะ และคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปกระบวนการผลิตถ่านกัมต์ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการเผาให้เป็นถ่านคาร์บอน หรือการคาร์บอไนซ์ (Carbonie) และขั้นตอนการกระตุ้น หรือแอคติเวชัน (Activation)

2.7.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตจากวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ แต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบด และคัดขนาดก่อนที่จะนำไปคาร์บอไนซ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาร์บอไนซ์ หลังจากนั้นทำการอบ หรือตากวัตถุดิบให้แห้ง (Dehydration) แต่บางครั้งวัตถุดิบอาจมีความเหนียว และแข็ง ทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยาก ก็อาจนำวัตถุดิบนั้นไปผ่านการคาร์บอไนซ์ก่อน แล้วจึงนำมาบดคัดขนาดก็ได้ สำหรับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผงอาจนำมาทำให้เป็นเม็ดโดยใช้ตัวประสานเช่นแป้ง น้ำมันเตา หรือทาร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการคาร์บอไนซ์ แล้วนำไปอัดเป็นเม็ดก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนกระตุ้นเป็นขั้นตอนต่อไป

2.7.2 การคาร์บอไนซ์ (Carbonize)

กระบวนการคาร์บอไนเซชัน เป็นการไพโรไลซิสในที่อับอากาศ เพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นของเหลว และก๊าซออกมาด้วยโดยโครงสร้าง

วงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือกลายเป็นโครงสร้างของถ่านคาร์บอน ส่วนกลุ่มโครงสร้างโมเลกุลหรือหมู่ที่มีขนาดเล็กกว่าจะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันทาร์ และก๊าซ ต่าง ๆ ขั้นตอนการคาร์บอไนซ์จัดว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากในการคาร์บอไนเซชันจะมีการเริ่มสร้างของโครงสร้างรูพรุน โดยในระหว่างการคาร์บอไนเซชัน ธาตุ และองค์ประกอบต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอน รวมถึงสารระเหยต่างๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และน้ำ จะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซ และน้ำมันทาร์ จากนั้นจะได้ถ่านคาร์บอน ซึ่งมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบซึ่งจะมีช่องว่าง หรือรูพรุนระหว่างผลึก โดยจะมีสารอนินทรีย์ที่เป็นทาร์อุดช่องว่างเหล่านั้น ซึ่งในส่วนประกอบของถ่านคาร์บอนที่ได้จะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจน และคาร์บอนต่อออกซิเจน เพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบในตอนแรกด้วย โดยถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ ควรมีลักษณะที่ดี ดังนี้

(1) มีสีดำตลอด (Uniformly black)
(2) ปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า (No ash)
(3) เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา (Shiny surface)
(4) ปลายที่หักจะแหลมคม (Sharp)

ขั้นตอนของกระบวนการคาร์บอไนซ์แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ
- การสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างวัตถุดิบที่ช่วงอุณหภูมิ 27-197 องศาเซลเซียส
- การไพโรไลซิสโดยเกิดก๊าซ และน้ำมันทาร์ในโครงสร้างที่ช่วงอุณหภูมิ 197-497 องศาเซลเซียส
- การเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านคาร์บอนโดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงไปมากที่ช่วงอุณหภูมิ 497-847 องศาเซลเซียส

จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการคาร์บอไนซ์เพื่อผลิตให้ได้ถ่านที่มีรูพรุน และการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมให้เป็นระเบียบมากกว่าวัตถุดิบ ตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติต่างๆของถ่านชาร์ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา อัตราการเพิ่มความร้อน และธรรมชาติของวัตถุดิบ โดยอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้เกิดการสลายแตกตัวบริเวณที่มีพันธะที่อ่อน หรือหมู่ที่หลุดออกได้ง่าย ทำให้ได้สารระเหยต่างๆที่มีโครงสร้างโมเลกุล หรือหมู่ที่มีขนาดเล็กๆ เช่น น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันทาร์ และก๊าซ

ต่างๆหลุดออกไปส่วนที่เหลืออยู่เป็นถ่านชาร์ ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลแบบวงแหวนอะโรมาติก ซึ่งคาร์บอนอะตอมมีการจัดระเบียบของโครงสร้างมากขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่เผา เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการคาร์บอไนซ์เป็นผลทำให้ปริมาณของรูพรุนเล็กๆทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขั้นแรกของการคาร์บอไนซ์ลดลง และถ่านมีความแข็งแรงมากขึ้นส่งผลทำให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาลดลงส่วนอัตราความร้อนนั้นมีความสำคัญต่อปริมาณ และองค์ประกอบของสารระเหยที่ได้จากการทำคาร์บอไนซ์ถ้าอัตราการเพิ่มความร้อนสูงคาร์บอนจะไม่เรียงตัวเป็นระเบียบเพราะปริมาณสารระเหยจะถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็วทำให้เกิดช่องว่างมากเป็นรูพรุนขนาดใหญ่กว่าเมื่อทำการกระตุ้นสารกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่ายเมื่อเทียบกับวัตถุดิบที่มีอัตราการเพิ่มความร้อนที่ต่ำซึ่งมีการปลดปล่อยสารระเหยออกไปอย่างช้าๆส่วนธรรมชาติของวัตถุดิบนั้นพบว่าวัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีภาวะ และวิธีการกระตุ้นที่เหมาะสมแตกต่างกันไป เพื่อหาวิธีทำให้ได้ถ่านที่มีคุณภาพดี และเหมาะสมแก่การใช้งานในแต่ละประเภท

2.7.3 **การกระตุ้น** (Activation)

การกระตุ้น คือ การทำให้ถ่านคาร์บอนมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวมีความว่องไวมากขึ้น (สราวุธ ศรีคุณ, 2550)

วัตถุประสงค์ของการกระตุ้นเพื่อ

(1) เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (Active Surface Area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน

(2) เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้วซึ่งหมายถึงทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้น โดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น

(3) เป็นการกำจัดอินทรียวัตถุ หรืออนินทรีย์วัตถุต่างๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (Active Centers)

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดได้ 2 ประเภท คือ วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ และการกระตุ้นทางเคมี อย่างไรก็ตามอาจใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันได้ เช่น การใช้สารเคมีกระตุ้นแล้วนำไปเผากระตุ้นต่อด้วยไอน้ำ หรือก๊าซชนิดอื่น

- การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation) เป็นวิธีการเพิ่มปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวโดยปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification) ด้วยก๊าซที่ช่วงอุณหภูมิ 700 - 1000 องศาเซลเซียส ก๊าซที่ใช้โดยทั่วไป คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และอากาศ โดยอาจใช้ชนิดใดชนิด

หนึ่งหรือใช้ผสมกันก็ได้ เป็นวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพทำให้เกิดการจัดเรียงตัวโครงสร้างใหม่ของคาร์บอนให้เกิดมีรูพรุนขนาดต่างๆ ทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น และทำให้มีความสามารถในการดูดซับให้สูงขึ้น

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอไนเซชันยังเป็นตัวดูดซับที่ไม่ดีต้องทำการกระตุ้นเพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูงโดยในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านคาร์บอนทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ใช้ในการกระตุ้นดังตัวอย่าง

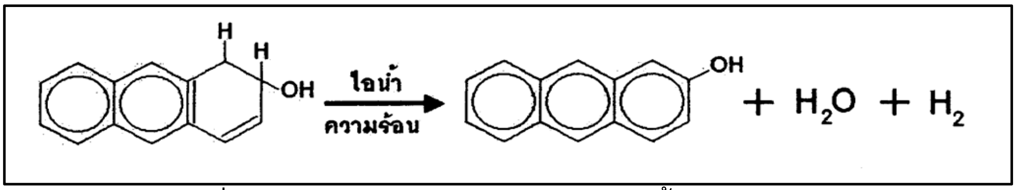
$$H_2O + C_x \longrightarrow H_2 + CO + C_{x-1} \quad (800\text{-}900\ ^\circ C) \qquad (2.1)$$

$$CO_2 + C_x \longrightarrow 2CO + C_{x-1} \quad (800\text{-}900\ ^\circ C) \qquad (2.2)$$

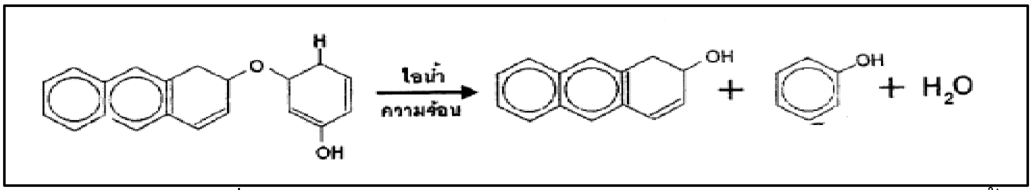
$$O_2 + C_x \longrightarrow 2CO + C_{x-2} \quad (800\text{-}900\ ^\circ C) \qquad (2.3)$$

$$O_2 + C_x \longrightarrow CO_2 + C_{x-1} \quad (\text{ต่ำกว่า } 600\ ^\circ C) \qquad (2.4)$$

บนผิวของคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ แสดงดังภาพที่ 2.9 และ 2.10 โดยเกิดการจัดเรียงตัวขึ้นใหม่ในโครงสร้าง ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวเป็นตัวกระตุ้นจะต้องใช้ความร้อนสูงมากถึง 1200 องศาเซลเซียส และสมบัติที่พบ คือ ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือไอน้ำร่วมกับความร้อนข้อดีของการกระตุ้นวิธีนี้คือไม่มีสารเคมีตกค้างสามารถนำถ่านกัมมันต์ไปใช้งานได้เลย โดยไม่ต้องมาล้างสารเคมีตกค้างที่เป็นอันตราย แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าวิธีกระตุ้นด้วยสารเคมี



ภาพที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากกระตุ้นด้วยไอน้ำ



ภาพที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากกระตุ้นทางกายภาพโดยกำจัดฟีนอล และน้ำ

ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้น คือ

การกระตุ้นทางกายภาพเป็นการกระตุ้นแบบ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการคาร์บอไนซ์ กับขั้นตอนการกระตุ้น ถ่านชาร์ที่อุณหภูมิสูงภายใต้แก๊สออกซิไดซ์ที่เหมาะสม เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ หรือการผสมกับของแก๊สออกซิไดซ์ ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้น คือ (ธราพงษ์ วิทิตศานต์, 2553)

- โครงสร้างของคาร์บอนหรือถ่านคาร์บอนที่นำมากระตุ้น
- สารอนินทรีย์ปนเปื้อนที่อยู่ในเนื้อคาร์บอน
- ชนิดของก๊าซที่ใช้ในการกระตุ้น
- อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
- ความดันของก๊าซ
- เวลาในการเกิดปฏิกิริยา
- ขนาดอนุภาคของถ่านคาร์บอน

ในกระบวนการกระตุ้นคาร์บอนทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ใช้ในการกระตุ้นเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์แพร่ออกจากผิวของถ่านคาร์บอนการเกิดแก๊สซิฟิเคชันทำให้บางส่วนของเม็ดถ่านคาร์บอนจะเกิดเป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่านคาร์บอนถ่านคาร์บอนจากการคาร์บอไนซ์ประกอบไปด้วยรูพรุนเล็กๆจำนวนมากเกิดจากช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมรูพรุนนี้มักจะถูกบรรจุไว้ด้วยน้ำมันทาร์ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อน และถูกขวางด้วยคาร์บอนอสันฐาน การกระตุ้นจึงเป็นทั้งการเปิดรูพรุนที่ถูกปิดและเป็นการสร้างรูพรุนขึ้นมาใหม่ด้วยกระบวนการกระตุ้นในทางกายภาพ โดยอาจมีกระบวนการผลิตที่ต่างกันไปขึ้นกับลักษณะของวัตถุดิบตัวอย่างการกระตุ้นโดยวิธีทางกายภาพ คือ

(1) การกระตุ้นด้วยไอน้ำ

การกระตุ้นด้วยไอน้ำเป็นการแก๊สซิฟิเคชันของคาร์บอนอะตอมในถ่านชาร์โดยใช้ไอน้ำ ซึ่งการใช้ไอน้ำในที่นี้หมายถึงการใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheated steam) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนดังสมการที่ 2.5

$$C + H_2O \longleftrightarrow CO + H_2 \quad \Delta H = +118.5\ KJ/mol \qquad (2.5)$$

นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บางส่วนที่เกิดขึ้นยังทำปฏิกิริยากับไอน้ำ (Exothermic water-gas formation reaction) เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ควบคู่ไปด้วยซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนดังสมการที่ 2.6

$$CO + H_2O \longleftrightarrow CO_2 + H_2 \quad \Delta H = -42.3 \text{ KJ/mol} \qquad (2.6)$$

ในช่วงการกระตุ้นต่ำจะมีการสร้างรูพรุนขนาดเล็กเท่านั้นและเมื่อร้อยละน้ำหนักที่หายไปในช่วงการกระตุ้นเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้มีรูพรุนเพิ่มขึ้นและรูพรุนขนาดต่างๆมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้มีการกระจายขนาดรูพรุน (Pore size distribution) กว้าง และมีปริมาตรรูพรุนทั้งหมด(Total pore volume) สูงขึ้นโดยทั่วไปเมื่อร้อยละน้ำหนักที่หายไปทั้งหมด (% weight loss) มีค่าสูงกว่าร้อยละ 50 พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จะไม่เพิ่มขึ้นเพราะฉะนั้นการกระตุ้นด้วยไอน้ำต้องใช้อุณหภูมิสูงพอที่จะให้เกิดการออกซิไดซ์อย่างรวดเร็วแต่ไม่ควรเกิน 1,000 องศาเซลเซียสเนื่องจากการแก๊สซิฟิเคชันโดยส่วนใหญ่เป็นการทำให้รูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้นเท่านั้นส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับลดลง (Jai, 1998) ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (r) สามารถเขียนแบบLangmuir-Hinshelwood ได้ดังสมการที่ 2.7

$$r = \frac{k_1 \, p_{H_2o}}{1+k_2 P_{H_2o}+K_3 p_{H_2}} \qquad (2.7)$$

โดย P_{H_2o} คือ ความดันย่อยของไอน้ำ

P_{H_2} คือ ความดันย่อยของแก๊สไฮโดรเจน

k_1, k_2, k_3 คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

(2) การกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นการเกิดแก๊สซิฟิเคชันของคาร์บอนอะตอมในถ่านชาร์ โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งใช้อุณหภูมิประมาณ 800-900 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนเช่นเดียวกับการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ดังสมการที่ 2.8

$$C + CO_2 \longleftrightarrow 2CO \quad \Delta H = +159.0 \text{ KJ/mol} \qquad (2.8)$$

การแก๊สซิฟิเคชันด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต้องใช้พลังงานในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าการแก๊สซิฟิเคชันด้วยไอน้ำ ดังนั้นจึงต้องใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นสูงกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำ และขนาดโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใหญ่กว่าน้ำทำให้อัตราการแก๊สซิฟิเคชัน (Rate of gasification) ช้ากว่า โดยส่วนใหญ่รูพรุนที่ได้จากการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นรูพรุนขนาดเล็กตลอดช่วงร้อยละน้ำหนักที่หายไปในช่วงการกระตุ้นซึ่งมีประมาณร้อยละ 70 ของปริมาตรรูพรุนทั้งหมด และมากกว่าร้อยละ 90 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ทำให้มีการกระจายขนาดรูพรุนน้อย นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีปริมาตรรูพรุนน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ แต่มีพื้นที่ผิวใกล้เคียงกันซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา แสดงได้ดังสมการที่ 2.9

$$r = \frac{k_1 p_{co_2}}{1+k_2 p_{co}+k_3 p_{co_2}} \qquad (2.9)$$

โดย	Pco_2	คือ	ความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
	P co	คือ	ความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
	K_1, K_1และ K_3	คือ	ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

การผลิตถ่านกัมมันต์ทางการค้าส่วนใหญ่ใช้ไอน้ำเป็นสารกระตุ้น เนื่องจากไอน้ำสามารถแพร่เข้าไปในรูพรุนได้ดีทำให้อัตราการก๊าซซิฟิเคชันเร็ว อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นต่ำกว่าการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารกระตุ้น อีกทั้งต้นทุนในการใช้ไอน้ำเป็นสารกระตุ้นยังต่ำกว่า

(3) การกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิเจน หรืออากาศ

การกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิเจน หรืออากาศเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนซึ่งใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส ที่เกิดขึ้นง่าย และเร็วกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำ และการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 2.10และ 2.11

$$C + O_2 \longleftrightarrow CO_2 \quad \Delta H = -393.5 \text{ KJ/mol} \qquad (2.10)$$

$$2C + O_2 \longleftrightarrow 2CO \quad \Delta H = -221.0 \text{ KJ/mol} \qquad (2.11)$$

ปฏิกิริยาทั้ง 2 เป็นแบบคายความร้อน และอัตราส่วนระหว่างก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์กับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถ่านคาร์บอนที่ถูกกระตุ้นด้วยอากาศที่มีก๊าซออกซิเจนปนอยู่จะเกิดหมู่ฟังก์ชันขึ้นที่ผิวของถ่านชาร์เป็นจำนวนมากแต่ในการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิเจน หรืออากาศมีการเผาไหม้เกิดขึ้นจึงทำให้ควบคุมปฏิกิริยายากเพราะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนจึงไม่สามารถรักษาอุณหภูมิในเตาให้คงที่ได้จึงไม่นิยมใช้เป็นตัวกระตุ้นทั้งนี้เพราะออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงมาก

(4) การกระตุ้นด้วยก๊าซไอเสีย

ในก๊าซไอเสียจะมีก๊าซที่มีคุณสมบัติในการกระตุ้นถ่านให้เป็นถ่านกัมมันต์ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจนที่เหลืออยู่ และไอน้ำ การกระตุ้นด้วยก๊าซไอเสียเป็นการนำเอาก๊าซที่ปล่อยทิ้งไป กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ทำให้ประหยัด แต่ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีคุณภาพที่ไม่ดีนัก เนื่องจากก๊าซไอเสียมีอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก และถ่านกัมมันต์ที่ได้อาจดูดซับก๊าซไอเสียไว้ด้วย

(5) การกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation)

วิธีการกระตุ้นทางเคมีสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

(5.1) การนำวัตถุดิบมาทำการเผาในที่อับอากาศก่อนเพื่อทำให้วัตถุดิบเป็นถ่าน แล้วจึงนำไปแช่หรือผสมกับสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น จากนั้นจึงทำการเผากระตุ้นแบบไพโรไลซิสอีกครั้งหนึ่ง

(5.2) เป็นการนำวัตถุดิบมาแช่ หรือผสมกับสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นแล้วจึงทำการเผากระตุ้นแบบไพโรไลซิสควบคู่ไปกับการทำให้วัตถุดิบเป็นถ่านในขั้นตอนเดียว การกระตุ้นทางเคมีเป็นกระบวนการกระตุ้นโดยใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น ซึ่งสารเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสารละลายกรดหรือเกลือของโลหะเช่นซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) โปแตสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) เป็นต้น โดยการแช่วัตถุดิบ หรือถ่านคาร์บอนในสารเคมีก่อนนำมาเผากระตุ้นวัตถุดิบ หรือถ่านคาร์บอนจะดูดซับเอาสารละลายนั้นเข้าไปแทรกตัวอยู่ตามรูพรุนบนผิววัตถุดิบหรือถ่านคาร์บอนเมื่อนำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิสูงประมาณ 500 - 800 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวของสารประกอบเหล่านี้ และเปลี่ยนเป็นก๊าซระเหยออกไป ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นเป็นจำนวนมาก การกระตุ้นด้วยสารเคมีจะใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่ำกว่าการกระตุ้นทางกายภาพ จึงเป็นการประหยัดพลังงานมากกว่า และสารเคมีสามารถแทรกซึมลงไปยังผิวถ่านคาร์บอนได้อย่างทั่วถึงเกิดรูพรุนในถ่านกัมมันต์มาก และลดขั้นตอนการผลิตได้มาก แต่มีข้อเสีย คือ การล้างเอาสารเคมี

ที่ตกค้างทำได้ยากสารเคมีที่ใช้มีราคาแพง และอาจเป็นพิษต่อร่างกายตัวอย่างการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่

- การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

การใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่งในการผลิต ถ่านกัมมันต์ทางอุตสาหกรรม โดยแช่วัตถุดิบในสารละลายซิงค์คลอไรด์ ประมาณ 0.5-4 ส่วนต่อน้ำหนักของวัตถุดิบแห้ง 1 ส่วน อาจเติมกรดเกลือหรือกรดฟอสฟอริกลงไปเล็กน้อยแล้วนำไปทำการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 600 – 800 องศาเซลเซียส จากนั้นล้างถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยน้ำหรือกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง เพื่อกำจัดซิงค์คลอไรค์ที่เหลือ และสารประกอบของซิงค์คลอไรด์ที่เกิดขึ้นออกไป ในทางอุตสาหกรรมสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก แต่ด้วยปัญหาการกัดกร่อนเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้ระยะหลังการใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นลดลงมาก

- การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)

การใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้นจะใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่ำกว่าการใช้ ซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้น คือ ประมาณ 400-600 องศาเซลเซียส ตัวอย่างของการผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีนี้ ได้แก่ การใช้ดินพรุ หรือขี้เลื่อย โดยการผสมกับสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 25-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วนำไปเผา กระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีนี้จะเกิดจากการดูดน้ำของกรดฟอสฟอริกซึ่งคล้ายกับการกระตุ้นโดยใช้ซิงค์คลอไรด์ โดยกรดฟอสฟอริกกลายเป็นฟอสฟอรัสและไฮไดร์ สารที่ระเหยได้จะถูกออกซิไดซ์กลับมาเป็นกรดฟอสฟอริก สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

-การกระตุ้นด้วยสารประกอบของโปแตสเซียมหรือโซเดียม

เป็นการกระตุ้นโดยใช้สารละลายที่มีไอออนของโปแตสเซียมหรือโซเดียม (K^+หรือ Na^+) กับวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ แล้วให้ความร้อนไอออนของโลหะเหล่านี้จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของผลึกของถ่านกัมมันต์ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส โมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์น้ำ และออกซิเจนจะหลุดออกไปทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ตามต้องการ

2.8การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์

ในการวิเคราะห์สมบัติโดยทั่วไปของถ่านกัมมันต์นั้นสามารถพิจารณาจากหลายสมบัติด้วยกันไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และสมบัติทางกายภาพโดยในรายละเอียดการวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์ มีดังต่อไปนี้

2.8.1 **ปริมาณร้อยละของเถ้า** (%Ash)

ปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์อาจมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูง และเวลานาน ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เถ้าโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกอน นอกจากนั้นจะเป็นสารประกอบพวกซัลเฟต คาร์บอเนต และสารประกอบอื่นๆ ของเหล็ก อะลูมิเนียม แคลเซียม โซเดียม โปตัสเซียม แมกนีเซียม และโลหะอื่นๆ ซึ่งจะมีสารประกอบเหล่านี้อยู่ในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ ซึ่งวิธีการที่จะใช้ในการกำจัดเถ้าออกจากถ่านกัมมันต์นั้นจะใช้กรด หากมีเถ้าที่มีองค์ประกอบที่ซับซ้อนมากจะใช้กรดที่ผสมกัน เช่น ใช้กรดที่ผสมกันระหว่าง กรดไฮโดรฟลูโอริก และกรดไฮโดรคลอริก การหาปริมาณเถ้าสามารถทำโดยนำตัวอย่างใส่ในครูซิเบิล (Crucible) และนำใส่ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 650±25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 16 ชั่วโมง ซึ่งมวลของเถ้าจะคงที่ที่เวลาเท่าใดนั้นจะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ

2.8.2 **ปริมาณความชื้น** (Moisture)

เป็นการหาปริมาณน้ำที่มีในถ่านกัมมันต์โดยการอบให้แห้งในเตาอบทำการวิเคราะห์โดยบดถ่านกัมมันต์ชนิดผงปริมาณ 1-2 กรัม หรือชนิดเม็ด 5-10 กรัมแล้วนำไปทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมงจนกว่าน้ำหนักจะคงที่สามารถคำนวณปริมาณความชื้นได้จากน้ำหนักที่หายไป

2.8.3 **ความหนาแน่นปรากฏ** (Apparent Density)

เป็นการทดสอบหาน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยปริมาตร โดยปริมาตรในที่นี้หมายถึงปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาค ปริมาตรของรูพรุนของถ่านกัมมันต์และปริมาตรของเนื้อถ่านกัมมันต์ ดังนั้นค่านี้จึงขึ้นกับขนาด และความพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการวิเคราะห์ที่กำหนดให้ขนาดของอนุภาคคงที่พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรต่ำ จะมีปริมาณรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก และยังพบว่าค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรยังขึ้นอยู่กับความชื้นของอนุภาคด้วย คือ อนุภาคที่มีค่าความชื้นสูง จะมีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรลดลง

2.8.4 **ความแข็งแรงและความทนต่อการขัดถู** (Hardness and Abrasion Number)

เป็นการบ่งบอกถึงความต้านทานการสึกกร่อนการทนต่อแรงเสียดสีและความสามารถในการคงสภาพของถ่านกัมมันต์ต่อกระบวนการล้างวัสดุกรอง (backwashing) โดยค่านี้จะแตกต่างกันอย่างชัดเจนซึ่ง ขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบ และวิธีในการกระตุ้น

2.8.5 **การกระจายตัวของขนาดอนุภาคถ่าน** (Particle Size Distribution)

จะพิจารณาที่ความละเอียดของผงถ่านยิ่งถ่านมีขนาดอนุภาคละเอียดมากก็จะยิ่งเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านมากขึ้น โดยจะมีผลให้โมเลกุลของก๊าซสามารถดูดซับเข้าไปในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ได้เร็วขึ้น และทำให้ความดันของก๊าซในระบบลดลงแต่ไม่มาก ดังนั้นในอุตสาหกรรมจึงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมากมาย

2.8.6 **พื้นที่ผิว** (Surface Area)

การวิเคราะห์สมดุลของการดูดซับจะอาศัยความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลของสมดุลของมวลสาร เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในเฟสของเหลวกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนเฟสของแข็ง ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะถูกเขียนเป็นกราฟไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm) ซึ่งอธิบายถึงการกระจายตัวของตัวถูกดูดซับระหว่างเฟสของเหลวและตัวถูกดูดซับ หรือคุณสมบัติของตัวถูกดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเข้าครอบครองทุกตำแหน่งที่เกิดการดูดซับจนเต็มทุกตำแหน่ง และจะทำให้แรงดึงดูดของผิวตัวดูดซับนั้นอ่อนลงแต่อาจยังคงสามารถดูดซับโมเลกุลตัวถูกดูดซับต่อไปได้ก่อให้เกิดเป็นชั้นที่สอง สาม และสี่ต่อไปเรื่อยๆ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วอาจจะมีการดูดซับชั้นที่สองก่อนที่ชั้นแรกจะเต็มและในบางตำแหน่งอาจจะดูดซับต่อหลายชั้นซ้อนสูงขึ้น รูปร่างของไอโซเทอมการดูดซับจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการดูดซับ และปริมาณของ สารถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับ รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดซับมี 6 แบบ

(1) ไอโซเทอมชนิดที่ 1 บางครั้งอาจเรียกว่าไอโซเทอมที่มีรูปแบบแบบแลงเมียร์ หรือแบบแอล (Langmuir or L-Shaped) เป็นการดูดซับของของแข็งที่มีลักษณะรูพรุนขนาดเล็กและการ ดูดซับส่วนใหญ่จะเป็นการดูดซับในรูพรุนขนาดเล็ก พื้นที่ผิวภายนอก (External Surface Area) จะต่ำ ที่ความดันย่อยต่ำก็จะสามารถดูดซับได้มาก ตัวอย่างการดูดซับของไอโซเทอมแบบที่ 1 คือ การ ดูดซับของไนโตรเจนบนถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กที่อุณหภูมิ 77 เคลวิน การดูดซับของแอมโมเนียบนผิวถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 273 เคลวิน และการดูดซับบนซีโอไลต์

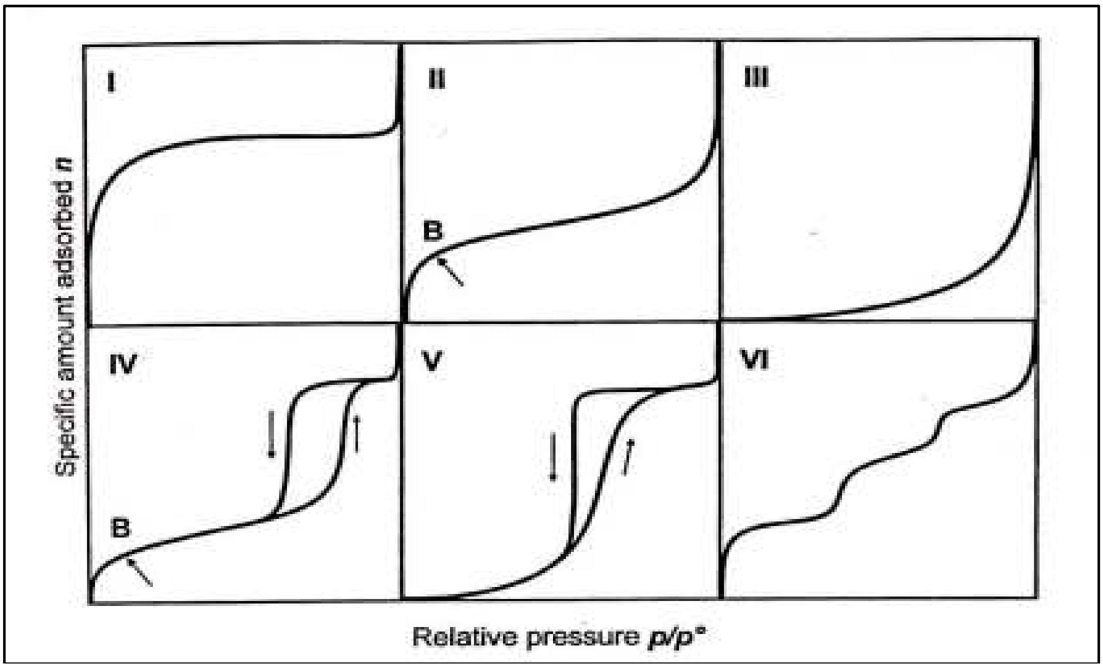
(2) ไอโซเทอมชนิดที่ 2 บางครั้งอาจเรียกว่าไอโซเทอมที่มีรูปแบบแบบ ซิกมอยด์ หรือ แบบเอส (Sigmoid or S-Shaped) เป็นรูปแบบไอโซเทอมการดูดซับของตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุน หรือตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเกิดการดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) จากไอโซเทอมตรงบริเวณจุดเปลี่ยนโค้ง หรือจุด B (Break Through) จะแสดงถึงการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) นั้นเสร็จสมบูรณ์ จากนั้นที่ความดันสูงขึ้นจะเกิดการดูดซับที่ต่อเนื่องจากชั้นแรกต่อไป และจะเกิดการดูดซับเสร็จสมบูรณ์ที่ความดันย่อยสูงๆ

(3) ไอโซเทอมชนิดที่ 3 เป็นรูปแบบของการดูดซับที่มีแรงดึงดูดที่อ่อนระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ แต่แรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับด้วยกันมีค่อนข้างมาก จากกรณีนี้จะทำให้เกิดการรวมตัวกันของตัวถูกดูดซับก่อนที่การดูดซับชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์ ตัวอย่างการดูดซับของ ไอโซเทอมแบบที่ 3 คือ การดูดซับของไอน้ำบนผิวถ่านหินที่ไม่มีรูพรุน

(4) ไอโซเทอมชนิดที่ 4 จะพบในตัวดูดซับที่มีขนาดรูพรุนประมาณ 15 - 1000 อังสตรอม ความชันของกราฟเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความดันเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าตัวถูกดูดซับเริ่มเข้าเติมใน รูพรุนอีกครั้ง และการเปลี่ยนระดับของกราฟเมื่อความดันเพิ่มขึ้นอีกเป็นผลมาจากการควบแน่น ภายในรูพรุนของของแข็ง (Capillary Condensation in Pores) โดยลักษณะของกราฟในช่วงแรกจะเหมือนกับชนิดที่ 2 ซึ่งจุดเปลี่ยนโค้ง จะแสดงถึงการดูดซับชั้นแรกอย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างเช่น การดูดซับเบนซีน (Benzene) บนเจลของไอออนออกไซด์ (Iron (III) Oxide Gel) ที่อุณหภูมิ 320 เคลวิน

(5) ไอโซเทอมชนิดที่ 5 จะพบในการดูดซับระหว่างโมเลกุลของก๊าซกับผิวของของแข็ง มีลักษณะคล้ายชนิดที่ 3 แต่ชนิดที่ 5 จะสามารถเกิดการควบแน่นของก๊าซภายในรูพรุนได้ ตัวดูดซับมีขนาดรูพรุนในช่วงเดียวกับไอโซเทอมชนิด 4 ตัวอย่างเช่น การดูดซับไอน้ำบนถ่านหินที่อุณหภูมิ 373 เคลวิน สำหรับไอโซเทอมชนิดที่ 3 และชนิดที่ 5 นี้จะคำนวณหาพื้นที่ผิวได้ยากเนื่องจากชั้นการดูดซับชั้นที่ 2 จะถูกสร้างขึ้นก่อนที่ชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์

(6)ไอโซเทอมแบบนี้จะพบไม่บ่อยนัก เป็นไอโซเทอมแบบขั้นบันได (Stepped isotherm) ไอโซเทอมแบบนี้จะพบไม่บ่อยนักโดยมากพบในระบบที่เป็นการดูดซับแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นที่ผิวที่ค่อนข้างคล้ายกัน(Uniform) โดยรูปร่างของไอโซเทอมจะขึ้นอยู่กับระบบและอุณหภูมิในการดูดซับ



ภาพที่ 2.11 ลักษณะไอโซเทอมของการดูดซับ

ที่มา: จาก Adsorption by Powders and Porous Solids: Principles, Methodology and Application (19), โดย F., Rouquerol, J., Rouquerol, Sing, 1999, London: Academic Press

2.9 การดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์

ความรู้ที่ว่าถ่านเป็นสารดูดติดผิว (absorbent) และสามารถนำมาใช้ประโยชน์นั้นเกิดขึ้นมานานมาก ในศตวรรษที่ 13 ถ่านถูกนำมาใช้ในกระบวนการสำหรับฟอกสารละลายน้ำตาลทราย ในปลายศตวรรษที่ 18 มีการสังเกตเห็นความสามารถของการใช้ถ่านในการกำจัดสีจากของเหลว และในช่วงศตวรรษที่ 19 ประเทศอังกฤษ ได้ใช้ถ่านเพื่อการกำจัดรส และกลิ่นจากน้ำดื่ม จุดเริ่มต้นเหล่านี้ เป็นการพัฒนาการผลิตน้ำประปา และการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยถ่านสำหรับทั้งในชุมชน และอุตสาหกรรม เช่น โรงงานเหล้า ไวน์ และเบียร์ โรงงานอาหาร อุตสาหกรรมปิโตรเลียม และปิโตรเคมี เป็นต้น (Cheremisinoffและคณะ, 1978)

โดยทั่วไปแล้วปรากฏการณ์ดูดติดผิวเป็นปรากฏการณ์ระหว่างของเหลว-ของเหลว ของเหลว-ของแข็ง, ของแข็ง-ของแข็ง, รวมถึงก๊าซ-ของเหลว แต่การใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดติดผิวสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้นเป็นปรากฏการณ์ระหว่างของแข็งและของเหลว (Metcalf และคณะ, 1991)

2.9.1 กระบวนการดูดติดผิว

การดูดติดผิวแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน (Cheremisinoffและคณะ, 1978) คือ การดูดทางฟิสิกส์ (physisorption) และการดูดทางเคมี (chemisorption) เมื่อโมเลกุลของสารใดๆในของเหลวเคลื่อนตัวมาสัมผัสบริเวณผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นผลจากแรงดูดของสารดูดติดผิวที่มีต่อโมเลกุลนั้นมากกว่าพลังงานจลน์ (kinetic energy) ของโมเลกลุสารนั้น โมเลกุลของสารในของเหลวจะเกาะติดกับโมเลกุลของแข็งด้วยแรงแวนเดอร์วัลล์ (Van der Waal's force) อันเป็นขั้นตอนการดูดทางฟิสิกส์ ซึ่งมีการเกาะตัวของโมเลกุลของของเหลวเป็นชั้นๆ จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารดูดติดผิว และสารถูกดูดติดผิว กลายเป็นสารประกอบเคมีใหม่ขึ้น ขั้นตอนนี้เป็นการดูดทางเคมี ซึ่งเมื่อเกิดแล้วจะคงอยู่ในรูปนั้นไม่สามารเปลี่ยนกลับไปได้ (irreversible) แต่การดูดทางฟิสิกส์สามารถแปรสภาพกลับไปมาได้ (reversible)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว (Cheremisinoff and Ellerbusch, 1978)

- สมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ และฟิสิกส์ของสารดูดติดผิว เช่น พื้นที่ผิวมีผลต่อขีดความสามารถการดูดติดผิว, ปริมาตรรูพรุนกำหนดการดูดติดผิวโมเลกุลน้ำเสีย, ส่วนประกอบทางเคมีมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิว เป็นต้น
- สมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ของสารถูกดูดติดผิว เช่น ขนาดโมเลกุลมีผลต่ออัตราการดูดติดผิว, ส่วนประกอบทางเคมีมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิว เช่น ขนาดโมเลกุลมีผลต่ออัตราการดูดติดผิว, ส่วนประกอบทางเคมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิวโดยให้ผลมากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดของสารละลาย เป็นต้น
- ความเข้มข้นของตัวถูกดูดติดผิวในสารละลาย หากเข้มข้นมากอัตราการดูดติดผิวจะมากด้วย
- ลักษณะของสารละลาย เช่น พีเอช และอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการดูดติดผิว
- ระยะเวลาสัมผัสหรือเวลาในการดูดติดผิว หากมีเวลามากจะให้ค่าการดูดติดผิวดี

2.10 สมการไอโซเทอมการดูดซับ

สมการที่นิยมใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับสำหรับระบบของแข็ง-ก๊าซ ได้แก่

(1) สมการ Langmuir ใช้สำหรับการดูดซับที่เป็นแบบชั้นเดียว (Monolayeradsorption) โมเลกุลของสารถูกดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่อย่างอิสระบนผิวของตัวดูดซับ และแต่ละตำแหน่งของผิวการดูดซับมีลักษณะเหมือนกันหมดสมการ Langmuir แสดงดังสมการ 2.12

$$X = (X_m bC) / (1 + bC) \quad (2.12)$$

เมื่อ X = ปริมาณสารที่ถูกดูดติดผิวต่อปริมาณสารดูดติดผิว (mg/g หรือmol/g)

X_m = ขีดจำกัดของการดูดติดผิว (mg/g หรือmol/g)

C = ความเข้มข้นของสารถูกดูดติดผิวในสารละลาย (mg/L หรือmol/L)

b = ค่าคงที่ของการดูดติดผิว

เมื่อ X เข้าสู่ X_m และ C เข้าใกล้ค่าอนันต์ (infinity, ∞) จะเขียนได้ ดังสมการ 2.13

$$C/X = (1/X_m) + (C/X_m) \quad (2.13)$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/X กับ C จะได้กราฟเส้นตรงมีความชัน $1/X_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/bX_m$ และเมื่อหารด้วย C จะได้สมการเส้นตรง คือ

$$1/X = (1/X_m) + (1/C)(1/bX_m) \quad (2.14)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง 1/X กับ 1/C จะได้กราฟซึ่งเป็นเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ $1/bX_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m$

(2) สมการ BET (Brunauer Emmett Teller) เป็นการนำสมการLangmiur มาประยุกต์ใช้สำหรับการดูดซับที่เกิดขึ้นในลักษณะการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer adsorption) โดยที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่อย่างอิสระบนผิวของตัวดูดซับ

$$X = (X_m bC) / (C_s - C)(1 + (b - 1)C/C_s) . \qquad (2.15)$$

เมื่อ X = ปริมาณสารที่ถูกดูดติดผิวต่อน้ำหนักของสารดูดติดผิว (mg/g หรือmol/g)

X_m = ปริมาณสารถูกดูดติดผิวต่อปริมาณสารดูดติดผิวที่ภาวะสมดุล (mg/g หรือmol/g)

C = ความเข้มข้นของสารถูกดูดติดผิวในสารละลาย (mg/L หรือmol/L)

C_s = ความเข้มข้นอิ่มตัวของสารถูกดูดติดผิวณทุกๆชั้น (mg/L หรือmol/L)

B = ค่าคงที่ของการดูดติดผิว

จากสมการ 2.14สามารถเขียนได้เป็น

$$C/X (C_s - C) = (1/X_m b) + ((b - 1) / X_m b)(C/C_s) \qquad (2.16)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $C/X (C_s - C)$ กับ (C/C_s) จะได้กราฟซึ่งเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $(b - 1)/X_m b$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m b$

(3) สมการ Freundlich ใช้สำหรับการดูดซับบนพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ (Roughsurface) โดยแต่ละพื้นผิวที่เกิดการดูดซับจะให้พลังงานของการดูดซับออกมาไม่คงที่และมีการรวมพื้นผิวที่ให้พลังงานการดูดซับเท่ากันเข้าด้วยกันข้อเสียของสมการ Freundlich คือใช้อธิบายการดูดซับแบบชั้นเดียวที่ความดันสูงๆได้ไม่ดีรูปแบบสมการแสดงได้ดังนี้

$$X/m = KC^{1/n} \qquad (2.17)$$

เมื่อ X = ปริมาณสารที่ถูกดูดติดผิว (mg หรือmol)

m = น้ำหนักของสารดูดติดผิว (g)

C = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่ภาวะสมดุล (mg/L หรือmol/L)

K, 1/n = ค่าคงที่ของการดูดติดผิว

จากสมการที่ 2.17สามารถเขียนสมการในรูป Logarithmic ได้ดังนี้ คือ

$$\text{Log}\,(X/m) = \log K + 1/n \log C \quad (2.18)$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง log (X/m) กับ log C ได้กราฟเป็นเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ 1/n และจุดตัดแกน y เท่ากับ log K ของ log (X/m) ที่ log C = 0 (C = 1)โดยสมการการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชแสดงถึงความสามารถในการดูดติดผิวถ้าค่า $1/n < 1$ แสดงถึงการดูดติดผิวที่ไม่ดีแต่ถ้าค่า $1/n > 1$ แสดงถึงการดูดติดผิวที่ดี และถ่านที่มีเส้นไอโซเทอมมีความชันมากแสดงว่าการดูดติดผิวเกิดขึ้นได้ดีที่ความเข้มข้นสูงๆ และเกิดขึ้นได้น้อยที่ความเข้มข้นต่ำซึ่งโดยทั่วไปถ่านที่มีเส้นไอโซเทอมชันมากจะมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสูงเมื่อนำไปใช้ในระบบสัมผัส (พรรษกรใจประดับเพชร, 2549)

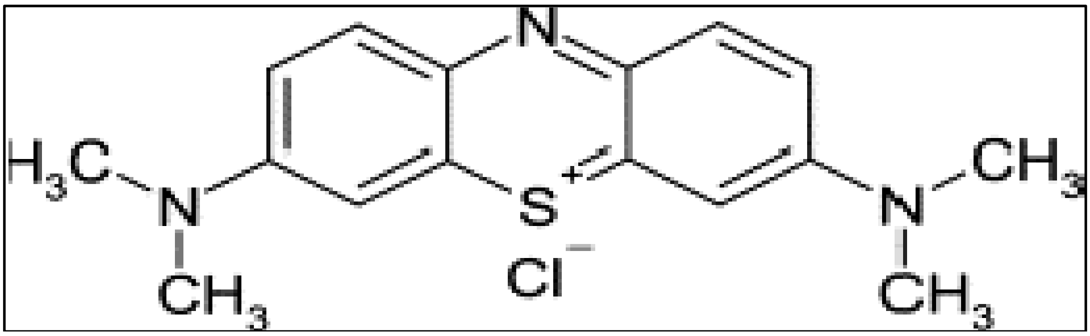
2.11 การดูดซับ

2.11.1 การดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)

เป็นค่าสำคัญที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ เพราะไอโอดีนสามารถถูกถ่านกัมมันต์ดูดซับได้ดี ดังนั้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจึงถูกใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของถ่าน โดยวัดน้ำหนักของไอโอดีนเป็น mg ต่อน้ำหนักถ่าน 1 g ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การวิเคราะห์ค่าไอโอดีนตามมาตรฐานของ ASTM(American Society for Testing and Material) ซึ่งได้กำหนดให้ความเข้มข้นของไอโอดีนที่ภาวะสมดุลเท่ากับ 0.02 N ซึ่งสามารถควบคุมได้ด้วยการแปรน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีควรใช้น้ำหนักในการวิเคราะห์ต่ำ ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้ความเข้มข้นของไอโอดีนที่ภาวะสมดุลเท่ากับ 0.02 N ได้พอดี จึงต้องทำการวิเคราะห์โดยใช้น้ำหนัก 3 ค่า เพื่อให้มีความเข้มข้นของไอโอดีนที่ถาวะสมดุลมากกว่าใกล้เคียง และน้อยกว่า 0.02 N แล้วใช้วิธีเฉลี่ยแบบลอการึทึม ทำให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น

2.11.2 **การดูดซับเมทิลีนบลู** (Methylene blue Number)

การดูดซับเมทิลีนบลูเป็นค่าที่สามารถบ่งบอกถึงค่าการดูดซับของรูพรุนขนาดกลางคือมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่า 1.5 นาโนเมตร เป็นค่าที่สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีที่สุด และโครงสร้างของโมเลกุลเมทิลีนบลู แสดงได้ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12โครงสร้างทางเคมีของเมทิลีนบลู

ที่มา: Juan และKeqiang (2010)

2.11.3 **โมลาสนัมเบอร์** (Molass Number)

เป็นค่าที่บอกปริมาณของรูพรุนขนาดใหญ่ คือ รูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2 นาโนเมตร โดยถ่านที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จำนวนมาก ค่าการดูดซับโมลาสนัมเบอร์จะสูง ซึ่งสามารถดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โมเลกุลของสี ได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีค่าการดูดซับโมลาสนัมเบอร์ที่ต่ำ

2.11.4**แทนนิน** (Tannin)

เป็นสารผสมที่ประกอบด้วยสารโมเลกุลขนาดใหญ่ และสารโมเลกุลขนาดกลางคล้ายกับผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีทั้งรูพรุนขนาดใหญ่และรูพรุนขนาดกลางดังนั้น ค่าแทนนินจึงเป็นค่าที่ใช้บอกความสามารถในการดูดซับสารโมเลกุลขนาดใหญ่ และขนาดกลางของถ่าน ซึ่งมีหน่วยเป็นพีพีเอ็ม (ppm : part per million คือส่วนในล้าน)

2.11.5**การดูดซับคาร์บอนเตตระคลอไรด์** (Carbon TetrachlorideActivity)

เป็นการหาความพรุนของถ่านกัมมันต์โดยดูจากค่าการดูดซับไออิ่มตัวของสารคาร์บอนเตตระคลอไรด์

2.12 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์กันอย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละโรงงานจะแตกต่างกันไป เช่น

2.12.1 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย

(1) ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ได้

(2) ใช้แยกก๊าซโซลีนออกจากก๊าซธรรมชาติ

(3) ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และคายออกที่ความดันของไอต่ำ

(4) กำจัดก๊าซเจือปนออก เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีน แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ เป็นต้น

(5) กำจัดกลิ่นจากอากาศในเครื่องปรับอากาศทำให้กลิ่นเหม็นลดน้อยลง

(6) ใช้ดูดซับกัมมันตภาพรังสีออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์สำหรับหน่วยปฏิกิริยาให้การสลายตัวเกิดขึ้นสมบูรณ์ขณะที่ยังถูกจับไว้ในเบดของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon Bed)

2.12.2 ประเภทที่ใช้กับของเหลว

ใช้ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์ซึ่งจะใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น

(1) ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาลอุตสาหกรรมผลิตอาหารเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

(2) ใช้ในทางการแพทย์อุตสาหกรรมเคมี และยา

(3) ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์เป็นการกำจัดรสสี และกลิ่น นอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

(4) ใช้แยกโลหะจากสารละลายที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังการสกัดจากแร่ด้วยวิธีไซยาไนด์ เป็นต้น ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือเป็นตัวรองรับสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Support) เช่น ตัวรองรับสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) เป็นต้น

2.13งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนิตา เสมรัตถ์ (2543) ทดลองศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำทิ้ง จากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ด้วยยกระบวนการดูดติดผิว โดยใช้ ถ่านกัมมันต์ ถ่านกะลา และถ่านชานอ้อย ที่ได้เพิ่มคุณภาพการดูดติดผิวด้วยโซเดียมคลอไรด์ พบว่าถ่านกะลา มีคุณสมบัติไม่เหมาะสมในการใช้งาน ส่วนถ่านกัมมันต์และถ่านชานอ้อยมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้งาน โดยถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการลดสีร้อยละ 84-99 ส่วนถ่านกัมมันต์ผสมชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการลดลงร้อยละ 50-98 ส่วนถ่านชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการลดสีร้อยละ 51-95 โดยประสิทธิภาพดีสุดเมื่อใช้กำจัดสีแดงและเหลืองที่ความเข้มข้นมี 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิจิตร จินดาพันธ์ไพโรจน์ (2543) ทดลองศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส โดยการกระตุ้นทางกายภาพแบบ 2 ขั้นตอน โดยนำส่วนที่เป็นกิ่งซึ่งเป็นเศษเหลือทิ้งมาใช้ ทำการเปรียบเทียบคุณภาพของถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสอายุ 4 ปี และอายุ 5 ปี ซึ่งในขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนการคาร์บอไนซ์ ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและเวลา พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ของไม้ทั้งสองชนิด อยู่ที่ภาวะเดียวกัน คือ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที ขั้นตอนที่สองเป็นการกระตุ้นถ่านชาร์ โดยศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ เวลา ขนาดอนุภาค และชนิดของแก๊สในการกระตุ้น ภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นของถ่านชาร์จากไม้ยูคาลิปตัส อายุ 4 ปี และอายุ 5 ปี อยู่ที่สภาวะเดียวกัน คือ ที่อุณหภูมิ 900องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 นาที และใช้ไอน้ำเป็นสารกระตุ้น สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้คือ ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.1809 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ร้อยละปริมาณเถ้า 6.37 ร้อยละผลิตภัณฑ์ 33.14 ค่าการดูดซับไอโอดีน 1233 มิลลิกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 242 มิลลิกรัมต่อกรัม พื้นที่ผิวแบบแลงเมียร์(SLangmuir) 1497.32 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวแบบบีอีที(SBET) 1076.15 ตารางเมตรต่อกรัม

กษิต แหลมทองมงคล (2551) ทดลองศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากผงแอนทราไซต์รูปทรงกระบอก โดยใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน โดยศึกษาภาวะที่ประกอบด้วย อุณหภูมิ เวลา และปริมาณของตัวประสานกากน้ำตาล และนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน ซึ่งค่าในการกระตุ้นที่ให้การดูดซับไอโอดีนดีสุด คือการใช้ตัวประสานกากน้ำตาลเป็นปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 850องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง อัตราการป้อนไอน้ำที่ 10 มิลลิลิตรต่อนาทีได้ค่าพื้นที่ผิวการดูดซับ 671 ตารางเมตรต่อกรัม การดูดซับไอโอดีนที่ 843 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู299 มิลลิกรัมต่อกรัม

ภควดี สุขอนันต์ (2553) ทดลองศึกษาสมบัติเกี่ยวกับพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมังคุด 1 ขั้นและเตรียมจากถ่านเปลือกมังคุด 2 ขั้นโดยทำการเผาเปลือกมังคุดที่อุณหภูมิ 350 ^{o}Cทำการกระตุ้นเปลือกมังคุดและถ่านด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 ^{o}Cศึกษาคุณลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่อง SEM ทำการหาพื้นที่ผิวด้วยการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูและแก๊สไนโตรเจนผลการวิจัยพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีรูพรุนขนาด 1-2 ไมโครเมตรถ่านกัมมันต์ที่เตรียมแบบ 1 ขั้นมีพื้นที่ผิวที่ได้จากการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู (S(MB) = 417 m^2/g) และแก๊สไนโตรเจน (S(N_2) = 1867 m^2/g) สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมแบบ 2 ขั้น (S(MB) = 239 m^2/g และ S(N_2) = 1024 m^2/g)

อลิสรา นิติวัฒนา (2553) ทดลองศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาแมคาเดเมียโดยการกระตุ้นทางกายภาพแบบ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการคาร์บอไนซ์ โดยตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิและเวลา พบว่าภาวะที่เหมาะสมของการคาร์บอไนซ์คือ ที่อุณหภูมิ500 องศาเซลเซียส และเวลา 60 นาที ขั้นที่สองเป็นขั้นตอนการกระตุ้นด้วยไอน้ำแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ โดยตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิและเวลา พบว่า ทั้งอุณหภูมิและเวลามีผลต่อการพัฒนาโครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำแบบใช้อากาศมีค่าพื้นที่ผิวมากกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำแบบไม่ใช้อากาศ โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาแมคคาเดเมียมีพื้นที่ผิวรูพรุนอยู่ระหว่าง 476.7 ถึง 1022.0 ตารางเมตรต่อกรัม

Hu และคณะ (1998) ได้ทำการทดลองการเตรียมถ่านกัมมันต์เพื่อให้มีพื้นที่ผิวสูงโดยใช้การกระตุ้นทางเคมี ได้ใช้กะลามะพร้าวกระตุ้นกับ KOH อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ใช้กระตุ้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการศึกษา โดยดูจากอัตราส่วนของ KOH ต่อเปลือก อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น และอุณหภูมิก่อนที่จะให้ความร้อน คุณสมบัติที่ได้ของสารตัวอย่างโดยดูจากไอโซเทอมในการดูดซับไนโตรเจนที่ 77 Kพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนของถ่านถูกทดสอบด้วยเครื่อง BET สมการแลงเมียร์ และวิธี t-plot ก่อนที่จะเริ่มปฏิบัติที่ 600 °C ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้ผลดี มีพื้นที่ผิวสูง และอยู่ในรูปแบบเม็ด เครื่อง BET ที่ใช้วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนให้ค่าที่ได้สูงถึง 2,451 m^2/g และ 1.21 cm^3/g ตามลำดับถ่านกัมมันต์จะแสดงความสามารถในการดูดซับได้มากขึ้นกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า เมื่อใช้สารละลายจากฟีนอล เตตระคลอโรฟีนอลและเตตระไนโตรฟีนอล

Villegas และคณะ (2002) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการกระตุ้นบนโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจาก rockrose เตรียมถ่านชาร์โดยไพโรไลซิสในแก๊สไนโตรเจนและกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ(อัตราการไหลของน้ำควบคุมโดยใช้จำนวนโมลต่อนาทีของน้ำตลอดจนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์/ไนโตรเจน) ที่ 700-950 องศาเซลเซียสถึงร้อยละมวลการเผาที่หายไป40 เทคนิคที่นำมาใช้กับการศึกษาโครงสร้างรูพรุนได้แก่ pycnometry(เมอร์คิวรีฮีเลียม) การดูดซับ(แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 298 เคลวิน แก๊สไนโตรเจน 77 เคลวิน) การวัดความพรุนโดยใช้ปรอท และวิเคราะห์ลักษณะรูพรุนด้วย SEM การเตรียมโดยกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยเฉพาะที่ 700 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ที่ได้แสดงปริมาตรรูพรุนทั้งหมดมากกว่าเตรียมโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกระตุ้น โครงสร้างรูพรุนที่แตกต่างกันดีที่สุดเมื่อกระตุ้นระหว่างอุณหภูมิ 700และ850องศาเซลเซียสที่อุณหภูมิสูงการพัฒนารูพรุนจะลดลงเพราะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือไอน้ำจะออกไปด้านนอกพร้อมกับมวลที่หายไป ที่อุณหภูมิต่ำโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสจะทำให้เกิดรูพรุนขนาดกลางมากว่ากระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และที่อุณหภูมิ 950องศาเซลเซียสจะมีปริมาตรรูพรุนลดลงและมีรูพรุนขนาดใหญ่เกิดขึ้น

Daud และคณะ (2003) ได้ทำการทดสอบถึงภาวะในการเปรียบเทียบการพัฒนารูพรุนในเปลือกปาล์มและเปลือกมะพร้าวที่ผลิตถ่านกัมมันต์ ภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกัน วิธีการคาร์บอไนซ์และการกระตุ้นได้ดำเนินการที่850 องศาเซลเซียสซึ่งใช้เครื่องปฏิกรณ์ ฟลูอิไดซ์เบด ช่วงของการเผาไหม้ที่ศึกษานี้ ที่การเผาไหม้ ปริมาณmicroporeและmesoporeที่เกิดขึ้น ในถ่านกัมมันต์ของเปลือกปาล์มจะมีปริมาณที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ของเปลือกมะพร้าว ปริมาณ macropore สำหรับถ่านกัมมันต์ของเปลือกปาล์มจะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นภายใต้การเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้นถึง 30 % และจะลดลง อย่างไรก็ตาม สำหรับถ่านกัมมันต์ของเปลือกมะพร้าว ปริมาณ macroporeจะเปลี่ยนแปลงภายใต้การเผาไหม้ได้เล็กน้อย แต่แน่นอนปริมาณ macroporeจะลดลงจากการเผาไหม้

Malik (2003) ได้นำถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากขี้เลื่อยไม้มะฮอกกานีและแกลบโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำมาศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อมเอสิดเยลโล 36 (Acid Yellow 36) และศึกษาผลกระทบของความเป็นกรด-เบสต่อความสามารถในการดูดซับผลการศึกษาพบว่าเมื่อพีเอชของสารละลายสีย้อมเอสิดเยลโล 36 เพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับสีย้อมของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดจะลดลงซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวถูกอธิบายว่าเป็นเพราะการดูดซับสีย้อมส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (Electrostatic Interaction) ระหว่างประจุบนโมเลกุลของสีย้อมกับ

ประจุที่ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์ซึ่งเอสิดเยลโล 36 เป็นสีย้อมที่มีประจุลบดังนั้นการที่พีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้นทำให้ประจุลบที่เกินมาในสารละลายไปแข่งขันในการครอบครองตำแหน่งที่เป็นประจุบวกบนผิวถ่านกัมมันต์ ทำให้ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ลดลง แต่เมื่อพีเอชของสารละลายลดลงการรบกวนที่เกิดจากประจุลบในสารละลายก็ลดลง และอีกเหตุผลหนึ่งก็คือหมู่ฟังก์ชันที่ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์บางส่วนเกิดประจุบวก (Protonation) ทำให้ตำแหน่งที่เป็นประจุบวกบนถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับคือที่พีเอช 3 และไอโซเทอมการดูดซับสอดคล้องกับแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิชจลนพลศาสตร์การดูดซับซึ่งวิเคราะห์โดยสมการอัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับหนึ่งและสมการการแพร่ภายในรูพรุนพบว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับสอดคล้องกับสมการการแพร่ภายในรูพรุนจากไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากขี้เลื่อยไม้มะฮอกกานีและแกลบคือ 183.8 และ 86.9 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกัมมันต์ตามลำดับ

Ismadji และคณะ (2005) ได้ศึกษาผลกระทบของการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้สักด้วยกระบวนการไพโรไลซีสแบบความดันสูญญากาศแล้วกระตุ้นต่อด้วยไอน้ำพบว่าถ่านคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซีสแบบความดันสูญญากาศมีพื้นที่ผิวน้อยกว่าถ่านคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซีสภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนส่วนพื้นที่ผิวของรูพรุนขนาดเล็กและปริมาตรรูพรุนขนาดเล็กนั้นถ่านคาร์บอนที่ได้จากการไพโรไลซีสแบบความดันสูญญากาศมีมากกว่าเล็กน้อยปรากฏการณ์นี้ถูกอธิบายว่าเป็นเพราะการไพโรไลซีสแบบความดันสูญญากาศทำให้ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ยังไม่ถึงอุณหภูมิในการสลายตัวของคาร์บอนทำให้การสลายตัวขององค์ประกอบคาร์บอนเกิดขึ้นน้อยส่วนการไพโรไลซีสภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนจะเกิดการสลายตัวของคาร์บอนมากกว่าทำให้เกิดรูพรุนขนาดกลางมากและกระจายตัวดีกว่าการระเหยของสารระเหยรวมกับการสลายตัวทางความร้อนทำให้รูพรุนขนาดเล็กนั้นกว้างขึ้นจึงทำให้รูพรุนขนาดเล็กที่เกิดขึ้นในถ่านคาร์บอนที่ไพโรไลซีสภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนน้อยกว่าการกระตุ้นถ่านคาร์บอนด้วยไอน้ำพบว่าที่สภาวะการกระตุ้นเดียวกันถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านคาร์บอนจากการไพโรไลซีสแบบความดันสูญญากาศมีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านคาร์บอนจากกระบวนการไพโรไลซีสภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

Suzuki และคณะ (2007) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากรำข้าวโดยเปรียบเทียบวิธีการกระตุ้นทางกายภาพกับทางเคมีพบว่า มีค่าพื้นที่ผิว 260 m^2g^{-1} และ 652 m^2g^{-1}ตามลำดับ และให้โครงสร้างรูพรุนขนาดเล็ก โดยเวลาการกระตุ้นและขั้นตอนการคาร์บอไนซ์มีความสำคัญต่อสมบัติถ่านกัมมันต์เช่น การกระตุ้นทางเคมีให้ค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน (652 m^2g^{-1}และ 0.137 cm^3g^{-1}) สูงกว่าเมื่อเทียบกับการกระตุ้นทางกายภาพ (260 m^2g^{-1} และ 0.025 cm^3g^{-1}) และกระตุ้นทางเคมีให้ร้อยละผลได้ของคาร์บอน (ร้อยละ 20-24) สูงกว่าเมื่อเทียบกับกระตุ้นทางกายภาพ (ร้อยละ13-14) ผลลัพธ์ของการทดลองขึ้นกับค่าใช้จ่ายในการทดลองด้วย โดยการผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีกระตุ้นทางเคมีจะเสียค่าใช้จ่ายสารเคมีและการบำบัดน้ำเสีย ทำให้ค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีกระตุ้นทางกายภาพ

Chandra และคณะ (2008) ได้ทำการผลิตถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกทุเรียนโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อหาลักษณะของรูพรุนที่เหมาะสม โดยตัวแปรที่ใช้ศึกษาคือ อัตราส่วนโพแทสเซียมต่อเปลือกทุเรียน (0.25-1.0) และอุณหภูมิการกระตุ้น (673-923 เคลวิน) ไอโซเทอมของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ถูกผลิตในช่วงอุณหภูมิและอัตราส่วนอิมแพ็คเนชั่นเป็นการผสมของไอโซเทอมชนิดที่ 1 และชนิดที่ 4 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้อัตราส่วนอิมแพ็คเนชั่นที่ต่ำจะให้รูพรุนขนาดเล็ก และถ่านกัมมันต์ที่ใช้อัตราส่วนอิมแพ็คเนชั่นที่สูง จะให้รูพรุนขนาดใหญ่ โดยอัตราส่วนระหว่างโพแทสเซียมต่อเปลือกทุเรียนที่ 0.5 และอุณหภูมิการกระตุ้นที่ 773 เคลวิน จะให้ภาวะที่เหมาะสมโดยให้ค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์สูงสุด

Zabaniotou และคณะ(2008) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะกอกโดยเปรียบเทียบการกระตุ้นทางเคมี (กระตุ้นด้วยKOH) และกระตุ้นทางกายภาพ (กระตุ้นด้วย H_2O-CO_2) อุณหภูมิในการไพโรไลซิสที่ 800 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที ภายใต้แก๊สเฉื่อยและกระตุ้นด้วยแก๊สผสมระหว่างไอน้ำกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 970 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ทั้งสองนำมาวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิว BET ด้วยการดูดซับไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 77 เคลวินการดูดซับเมทิลีนบลูที่อุณหภูมิห้อง และวิเคราะห์ SEM ค่าพื้นที่ผิว BET ที่สูงสุดของการกระตุ้นทางกายภาพและเคมีคือ1000-1200m^2g^{-1}และ 3049 m^2g^{-1}ตามลำดับ

Nuithikulและคณะ (2009) ศึกษาถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนซึ่งใช้ในการดูดซับสี Basic Green 4 โดยถ่านกัมมันต์จากเปลือกจะถูกสังเคราะห์ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน(N2) หรือการไพโรไลซิส ตามด้วยการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ถ่านกัมมันต์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นเป็นการบำบัดร่วมกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์ที่ถูกสังเคราะห์ภายใต้การไพโรไลซิสจะแสดงคุณสมบัติที่ดีกว่า และความสามารถในการดูดซับดีกว่าภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนการไพโรไลซิส ไฮโดรคลอริกจะมีคุณสมบัติในการบำบัดและความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ในลำดับต่อมาทางจลนพลศาสตร์จะอธิบายการดูดซับสีของ Basic Green 4 ได้ดี

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย

3.1 รูปแบบการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง(Fixed bed)เพื่อการศึกษาประสิทธิภาพและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

(1) เครื่องบดชีวมวลชนิดหยาบ KMAC รุ่น 3801
(2) เครื่องบดชีวมวลชนิดละเอียด Retsch GMBH wesa-Germany รุ่น 5657 HAAN
(3) ตะแกรงร่อนขนาด 2.00-4.75 มิลลิเมตร
(4) เตาเผาไฟฟ้า (Muffle furnace) Carboliteรุ่น ESF 12/23
(5) โถดูดความชื้น (Desicator)
(6) เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettle Toledo
(7) นาฬิกาจับเวลา
(8) ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ Memmert
(9) เตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ (Tube furnace) ชนิด 21100
(10) ครูซิเบิลพอร์ซเลน ความจุ 20 มิลลิลิตร พร้อมฝา
(11) เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
(12) กระดาษกรองWhatmanเบอร์ 42ขนาด 110 mm
(13) กระดาษกรองใยแก้วWhatman GFC ขนาด 47 mm
(14) เครื่องเขย่าตามแนวราบยี่ห้อ GFL รุ่น 3016
(15) เครื่องกรองสุญญากาศยี่ห้อ vacuubrandรุ่น ME 1 C
(16) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง(UV-Vis Spectrophotometer) รุ่น Model UVA 150318Type Helios Alpha, Thermo, England.

(17) เครื่องวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน LECO รุ่น CHN2000

(19) เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ชนิด K

(20) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller)

(21) ชุดกระตุ้นแบบเบดนิ่ง เป็นลักษณะเตาให้ความร้อนแบบรีทอร์ต (retort) แนวตั้ง (vertical) ตรงส่วนกลางจะเป็นส่วนของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อใส่ตัวอย่างเป็นท่อทรงกระบองมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.02 เมตร ยาว 0.40 เมตร

(22) เครื่องวัดพื้นที่ผิวของ Micromeriticsรุ่น Flow SorbII 2300

(23) Scanning Electron Microscope(SEM) รุ่น JSM-6400

3.3 สารเคมี

(1) โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต(Na_2HPO_4) ยี่ห้อ Ajax Finechem Assay 99.0-101.0%

(2) โปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ยี่ห้อ CARLO ERBA Assay 99.0%

(3) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) ยี่ห้อ QReC Assay 37%

(4) ไอโอดีน (I_2) ยี่ห้อ QReC Assay 99.8% min

(5) เมทิลีนบลู (Methylene Blue, $C_{16}H_{18}ClN_3S$) ยี่ห้อ QReC Assay 82% min

(6) แป้ง (Starch)

(7) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ยี่ห้อ MERCK,F.R. Germany

(8) โปตัสเซียมไอโอเดต(KIO_3) ยี่ห้อ Ajax Finechem Assay 99.4-100.4%

(9) โปตัสเซียมไอโดไดด์(KI) ยี่ห้อ Ajax Finechem Assay 99.0-100.5%

(10) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ยี่ห้อAjaxFinechem Assay 99.0-101.0%

(11) โซเดียมไทโอซัลเฟต($Na_2S_2O_3.5H_2O$) ยี่ห้อAjax Finechem Assay 99.5-101.0%

(12) โมลาส (Molasses)ยี่ห้อ M-Molasses

(13) น้ำปราศจากไอออน (DI water)

3.4 วัตถุดิบ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยการนำเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดที่เหลือทิ้งจากการบริโภค มาตากแดดให้แห้ง และอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นำมาศึกษาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ทำการบดและคัดขนาดโดยใช้ขนาดช่วง 2.00-4.75 มิลลิเมตร

3.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.5.1 วิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด

เพื่อหาค่าดังต่อไปนี้

- ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)
- ปริมาณเถ้า (Ash)
- ปริมาณความชื้น (Moisture)
- ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3172-89

3.5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) ของเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด

เพื่อหาค่าดังต่อไปนี้

- องค์ประกอบของคาร์บอน (C)
- องค์ประกอบของไฮโดรเจน (H)
- องค์ประกอบของไนโตรเจน (N)

ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNS/O Analyzer ตามมาตรฐาน ASTM D 3176-89

3.5.3 การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อน

โดยใช้เทคนิควิเคราะห์เทอมัลกราวิเมทริก (Thermogravimetric Analysis, TGA) ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 90 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เพื่อวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด และนำช่วงอุณหภูมิการสลายตัวที่ได้มากำหนดใช้ในการคาร์บอไนเซชัน

3.5.4 การคาร์บอไนซ์

ทำการชั่งเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดแห้งที่เตรียมไว้ประมาณ 50 กรัม ใส่ลงในกระป๋องอลูมิเนียม จากนั้นนำมาคาร์บอไนซ์ในเตาเผาแบบให้ความร้อนสูง (Muffle furnace) ให้ความร้อนด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากอุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิที่ศึกษาคือ 350, 400, 450 และ 500 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการจับเวลาตามที่ศึกษาคือ 30, 60, 90 และ120 นาที เมื่อครบเวลาที่ต้องนำออกจากเตาเผา จึงนำตัวอย่างออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และเก็บตัวอย่างใส่เดซิเคเตอร์ จากนั้นนำถ่านชาร์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของถ่านชาร์ตาม ASTM D 3172-89 เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด เพื่อนำถ่านชาร์ที่ได้ไปทำการกระตุ้นเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นต่อไป

3.5.5 การกระตุ้น

(1) นำถ่านชาร์ที่ได้มาบดและคัดขนาดโดยใช้ที่ขนาด 2.00-4.75 มิลลิเมตร

(2) ชั่งถ่านชาร์ ประมาณ15 กรัม ใส่ลงไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีตะแกรงรูถี่รองอยู่ด้านล่าง เพื่อป้องการหลุดร่วงของถ่านชาร์ลงด้านล่าง ทำการต่อเทอร์โมคัปเปิลเข้าทางด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง แล้วนำไปใส่ลงในเตาเผาแบบท่อ ทำการต่อท่อสแตนเลสรูปตัวแอลเข้าทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งเพื่อเป็นทางออกของแก๊สและสารระเหย

(3) เปิดเตาเผาแบบท่อด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากอุณหภูมิห้องไปจนถึงอุณหภูมิที่ศึกษาคือ 650, 700, 750 และ 800 องศาเซลเซียส เปิดเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส จากนั้นเปิดปั๊มน้ำที่อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที เพื่อป้อนน้ำผ่านเครื่องให้ความร้อน น้ำจะกลายเป็นไอผ่านเข้าทางด้านบนตัวเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ทำการจับเวลาเมื่ออุณหภูมิถึงตามที่กำหนดไว้ โดยเวลาที่ศึกษาคือ 30, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ

(4) เมื่อถึงเวลาที่กำหนดทำการปิดปั๊มน้ำ ปิดเครื่องให้ความร้อน และปิดเตาเผาแบบท่อ แล้วทิ้งไว้ให้เย็น นำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาเก็บในหม้อดูดความชื้น

(5) ทำการวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์ต่างๆ ดังนี้

- ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์
- ความหนาแน่นเชิงปริมาตร
- ร้อยละของเถ้า
- ค่าการดูดซับไอโอดีน
- ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู
- ดูลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิค SEM

(6) เมื่อได้ภาวะที่เหมาะสมแล้ว นำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ไปวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิวรูพรุนด้วยวิธี BET และนำไปเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า

3.6 **ศึกษาความสามารถของการกำจัดสีโมลาส**

ศึกษาความสามารถของการกำจัดสีในโมลาสของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด ทำการเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า โดยการหาเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดสีโดยใช้น้ำหนักถ่าน 1กรัม ศึกษาที่เวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที โดยใช้สารละลายโมลาส ความเข้มข้น 15% โดยปริมาตรมีขั้นตอน ดังนี้

(1) นำถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด ในภาวะที่เหมาะสม และเตรียมถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่บดละเอียด นำมาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์

(2) นำสารละลายโมลาสที่ยังไม่ได้เติมถ่านกัมมันต์ มาวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรสโคปี ที่ 425 นาโนเมตรเพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้น จากนั้นเตรียมสารละลายโมลาส ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250มิลลิลิตร ชั่งถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน เปลือกมังคุด และถ่านกัมมันต์ทางการค้า 1 กรัม เติมลงในสารละลายโมลาสเขย่าให้เข้ากัน ประมาณ 1 นาที ให้ถ่านกัมมันต์ชุ่มน้ำ จากนั้นนำตัวอย่าง ตั้งทิ้งไว้ที่เวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที

(3) ทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา นำตัวอย่างที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศด้วยกระดาษกรองใยแก้ว .

(4) นำตัวอย่างที่ผ่านการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆ ด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรสโคปี จากนั้น นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี ดังสมการ 3.1

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกำจัดสี} = \left[\frac{Abs_0 - Abs_t}{Abs_0}\right] \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ Abs_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายโมลาสเบื้องต้น

Abs_t คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายโมลาสหลังการดูดซับที่เวลาต่างๆ

(5) เมื่อได้เปอร์เซ็นต์ในการกำจัดสีแล้ว นำมาสร้างกราฟเพื่อแสดงให้เห็นถึงเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีที่กำจัดได้

บทที่ 4
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด

4.1.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นแบบประมาณ และแบบแยกธาตุ

จากผลการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) ของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด ที่ทำให้แห้ง ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง เปลือกทุเรียนมีความชื้น สารระเหยเถ้าและคาร์บอนคงตัวมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 4.56, 66.72, 7.02 และ 21.70 ตามลำดับ สำหรับเปลือกมังคุดมีค่าดังกล่าวเท่ากับ ร้อยละ 2.08, 65.31, 3.26 และ 29.35 ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) เปลือกทุเรียนประกอบไปด้วยคาร์บอนไฮโดรเจนไนโตรเจนออกซิเจนมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 44.45, 5.91, 1.03 และ 48.61ตามลำดับ ส่วนเปลือกมังคุดประกอบไปด้วยค่าดังกล่าวเท่ากับ ร้อยละ 51.22, 6.04, 0.43 และ 42.31ตามลำดับซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Nuithitikul และคณะ (2010) ที่ได้ค่าผลการวิเคราะห์แบบประมาณของเปลือกทุเรียน โดยได้ค่าความชื้น สารระเหยเถ้าและคาร์บอนคงตัวเท่ากับ ร้อยละ 4.54, 69.82, 4.22 และ 21.42 ตามลำดับ ส่วนผลของการวิเคราะห์แบบแยกธาตุคาร์บอนไฮโดรเจนไนโตรเจนออกซิเจนมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 42.86, 5.71, 0.18 และ 51.25 ตามลำดับสำหรับค่าการวิเคราะห์ของเปลือกมังคุดนั้นสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ahmad และคณะ (2010) ซึ่งได้ค่าการวิเคราะห์แบบประมาณ โดยได้ค่าความชื้น สารระเหยเถ้าและคาร์บอนคงตัวเท่ากับ ร้อยละ 9.49, 60.13, 1.90และ 28.48 ตามลำดับ และผลของการวิเคราะห์แบบแยกธาตุคาร์บอนไฮโดรเจนไนโตรเจนรวมกับออกซิเจนมีค่าเท่ากับร้อยละ 43.87, 5.45 และ 50.22 ตามลำดับ

จากข้อมูลการวิเคราะห์เบื้องต้นของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดพบว่าทั้งเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดมีสมบัติที่น่าสนใจที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูงมีปริมาณความชื้น และเถ้าที่ต่ำ ซึ่งเป็นข้อดีของวัสดุที่จะนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ แต่ยังมีปริมาณสารระเหยค่อนข้างสูง จึงต้องผ่านขั้นตอนการกำจัดสารระเหยออกโดยเข้าสู่กระบวนการคาร์บอไนเซชันก่อนเข้าสู่กระบวนการกระตุ้น

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นแบบประมาณของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด

การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	**วัตถุดิบ**	
	เปลือกทุเรียน	**เปลือกมังคุด**
ความชื้น	4.56	2.08
สารระเหย	66.72	65.31
เถ้า	7.02	3.26
คาร์บอนคงตัว	21.70	29.35
รวม	100.00	100.00

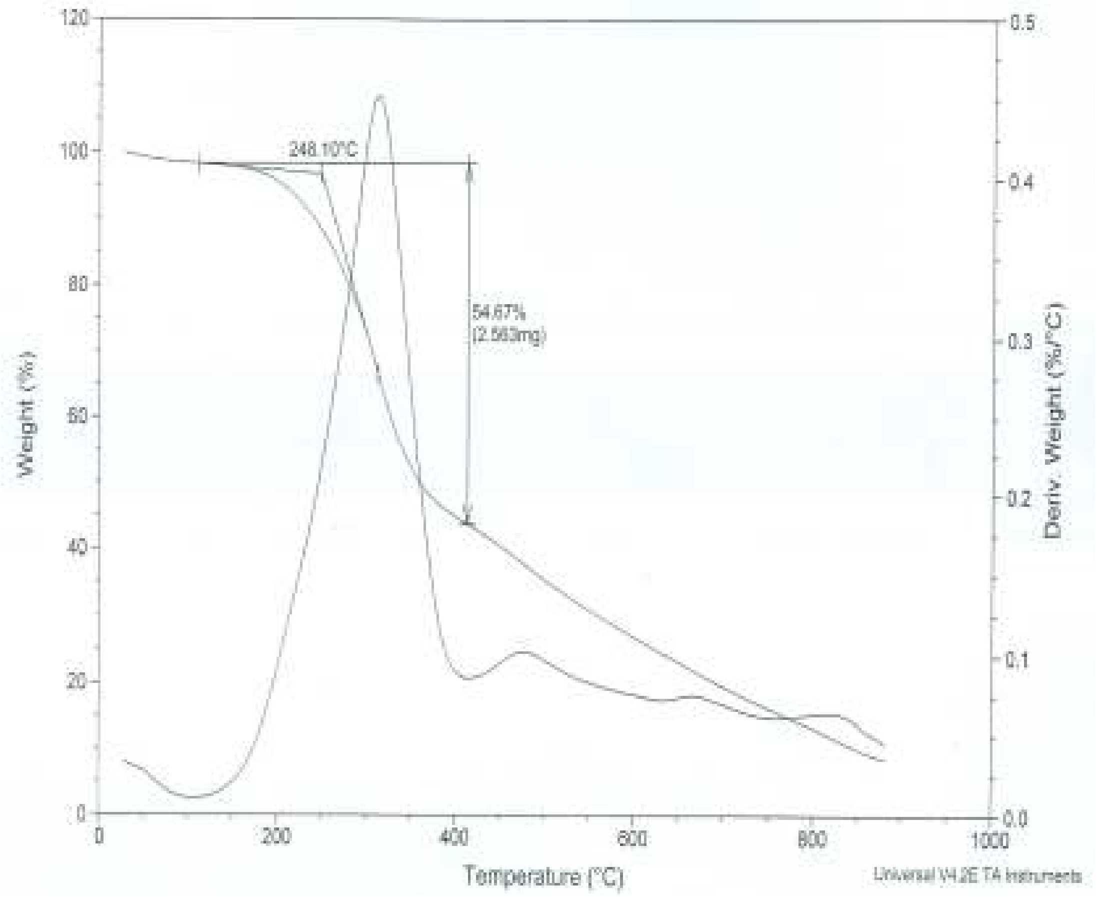
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นแบบแยกธาตุของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	**วัตถุดิบ**	
	เปลือกทุเรียน	**เปลือกมังคุด**
คาร์บอน	44.45	51.22
ไฮโดรเจน	5.91	6.04
ไนโตรเจน	1.03	0.43
ออกซิเจน	48.61	42.31
รวม	100.00	100.00

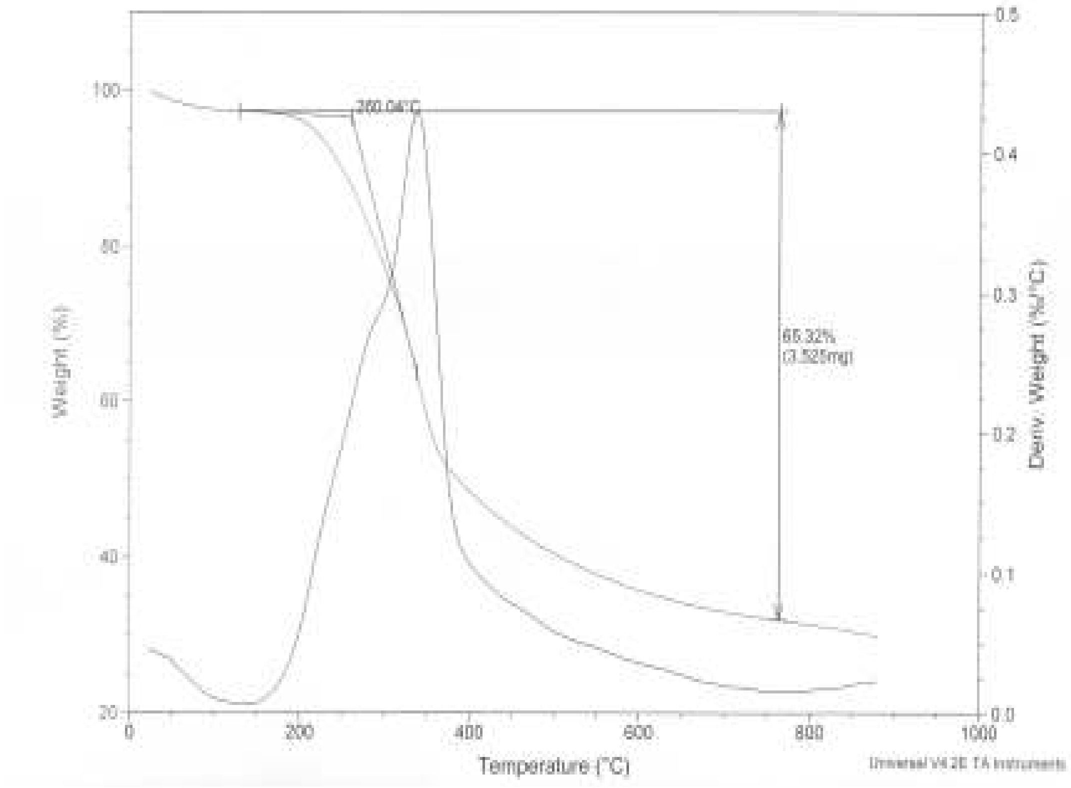
4.1.2 **การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก** (Thermogravimetric analysis; TGA)

การวิเคราะห์การสลายตัวทางความความร้อนของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 90 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดมีการสลายตัวในแนวโน้มเดียวกัน โดยองค์ประกอบของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดนั้นจะประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ช่วงแรกของการสลายตัวจะเป็น

พวกโมเลกุลขนาดเล็กเช่นน้ำ ที่ช่วงอุณหภูมิ 100 ถึง 180 องศาเซลเซียสช่วงที่สองเป็นช่วงการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และสารระเหย โดยการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสอยู่ช่วง 220 ถึง 315 องศาเซลเซียสและเซลลูโลสมีการสลายตัวช่วง 315 ถึง 400 องศาเซลเซียสและช่วงที่สามเป็นการสลายตัวของลิกนินในช่วง 160 ถึง 900 องศาเซลเซียส (Yang และคณะ, 2010) ลิกนินมีการสลายตัวในช่วงกว้างเนื่องจากลิกนินมีโครงสร้างเป็นสารอะโรมาติกเชิงซ้อนทำให้ลิกนินเกิดการสลายตัวได้ช้าดังนั้นองค์ประกอบหลักที่อยู่ในโครงสร้างของถ่านชาร์ คือ ลิกนิน ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 พบว่า เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดเกิดการสลายตัวสูงสุด ที่อุณหภูมิประมาณ350 องศาเซลเซียส จึงเริ่มลองทำการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 350 400 450 และ 500 องศาเซลเซียส เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์



ภาพที่ 4.1 การสลายตัวทางความร้อนของเปลือกทุเรียนภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก



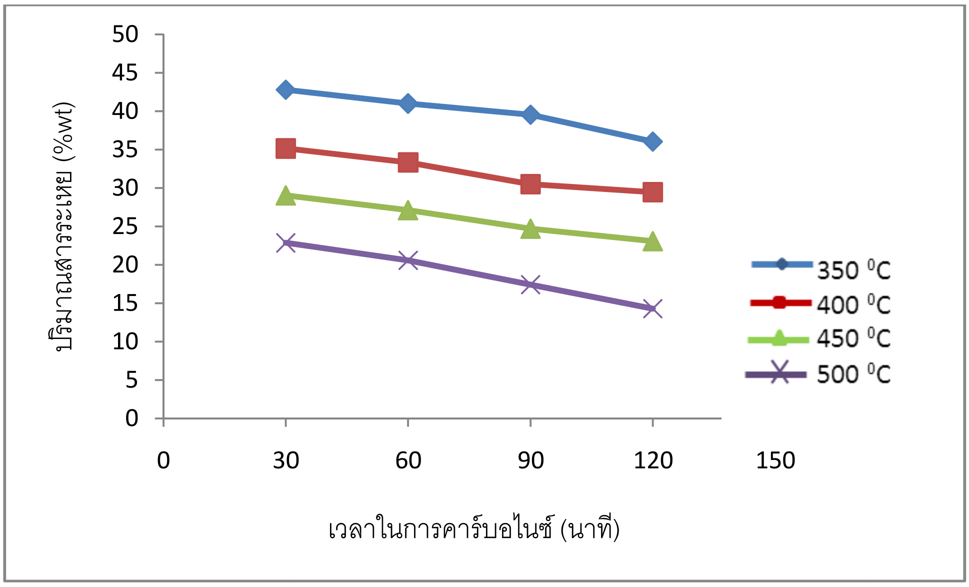
ภาพที่ 4.2 การสลายตัวทางความร้อนของเปลือกมังคุดภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก

4.2 ภาวะที่เหมาะสมของการคาร์บอไนซ์เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด

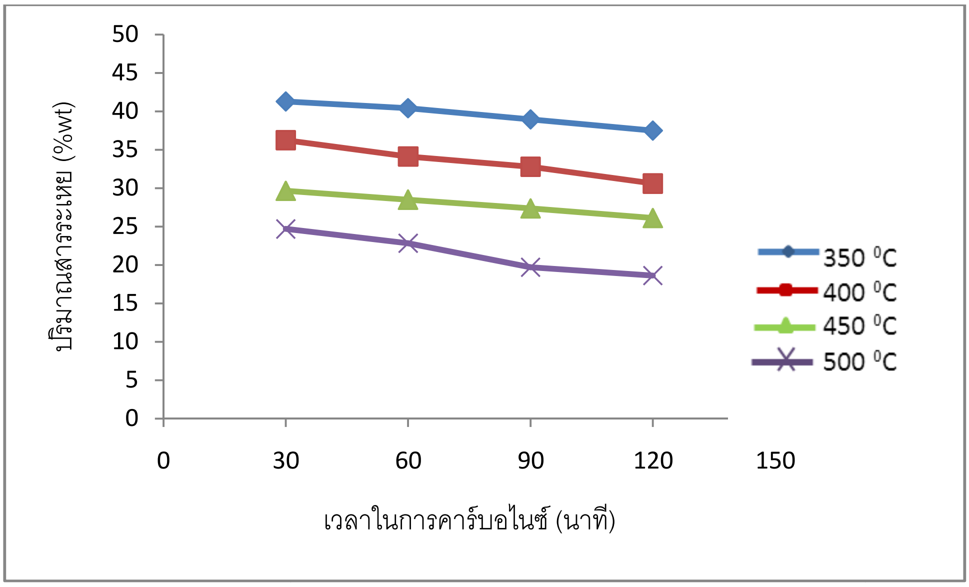
4.2.1 ผลของเวลาในการคาร์บอไนซ์เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดที่อุณภูมิต่างๆ

จากการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านชาร์ ได้แก่ ปริมาณสารระเหย (VM) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (FC) ปริมาณของผลิตภัณฑ์ (Yield) และปริมาณเถ้า (Ash) ที่ผ่านการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 350, 400, 450 และ 500 องศาเซลเซียส และที่เวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที แสดงผลโดยการสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ผลของอุณหภูมิ และเวลาผลของการคาร์บอไนซ์พบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น สมบัติการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดมีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละสารระเหยลดลงจาก 42.77 เป็น 36.04, 41.28 เป็น 37.49 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ลดลงจาก 35.14 เป็น 29.45, 36.24 เป็น 30.59 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ลดลงจาก 29.03 เป็น 23.08, 29.65 เป็น 26.11 ที่อุณหภูมิ 500

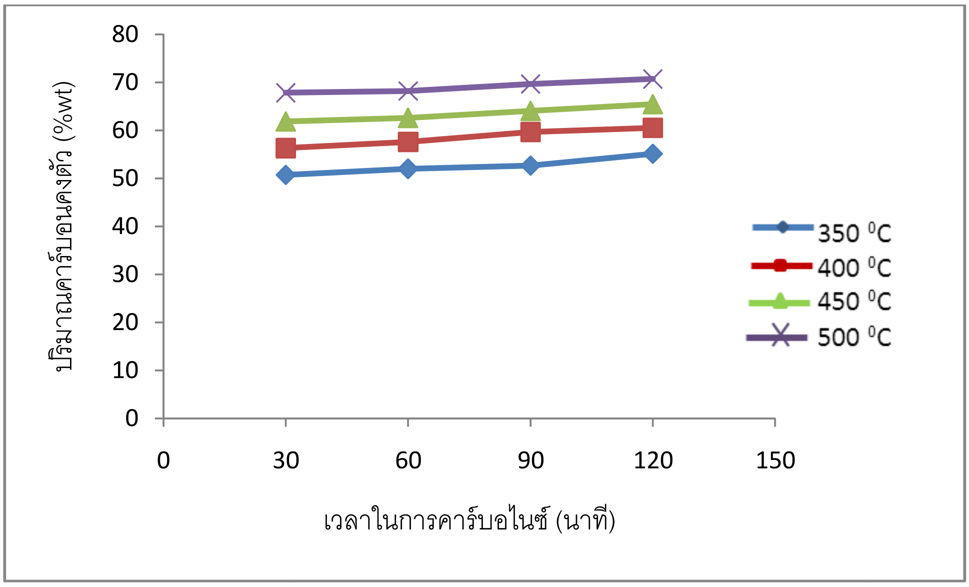
องศาเซลเซียส ลดลงจาก 22.84 เป็น 14.28, 24.67 เป็น 18.62 ตามลำดับ เนื่องจากเวลามากขึ้นทำให้เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดมีความร้อนเพิ่มขึ้น สารระเหยที่อยู่ในโครงสร้างจึงระเหยออกมามากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ร้อยละสารระเหยมีค่าลดลง จากร้อยละของสารระเหยดังกล่าวทำให้ร้อยละคาร์บอนคงตัวมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน และถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้นจาก 50.72 เป็น 55.10, 54.15 เป็น 56.64 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นจาก 56.27 เป็น 60.53, 57.71 เป็น 62.55 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นจาก 61.85 เป็น 65.46, 63.64 เป็น 66.06 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นจาก 67.82 เป็น 70.67, 67.54 เป็น 72.07 ตามลำดับ ในส่วนของค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ จากเวลาคาร์บอไนซ์ที่เพิ่มขึ้นจะได้ค่าลดลง โดยถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ลดลงจาก 59.34 เป็น 52.31, 61.16 เป็น 50.16 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ลดลงจาก 50.66 เป็น 41.37, 48.36 เป็น 44.80 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ลดลงจาก 42.66 เป็น 36.00, 43.70 เป็น 39.60 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ลดลงจาก35.46 เป็น 31.06, 39.50 เป็น 35.70 ตามลำดับ ส่วนค่าร้อยละของเถ้า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ปริมาณเถ้าจะสูงขึ้น โดยถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละของเถ้าเพิ่มขึ้นจาก6.51 เป็น 8.86, 4.57 เป็น 5.87 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นจาก 8.59 เป็น 10.02, 6.05 เป็น 6.86 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นจาก9.12 เป็น11.46, 6.71 เป็น 7.83 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นจาก 9.34 เป็น 15.05, 7.9 เป็น 9.31 ตามลำดับ โดยภาวะที่เหมาะสมของการคาร์บอไนซ์เปลือกทุเรียน คือ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ของมังคุดอยู่ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที เพราะที่อุณหภูมิดังกล่าว เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด ได้ค่าคาร์บอนคงตัว และปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่สูง และได้ค่าเถ้าต่ำ



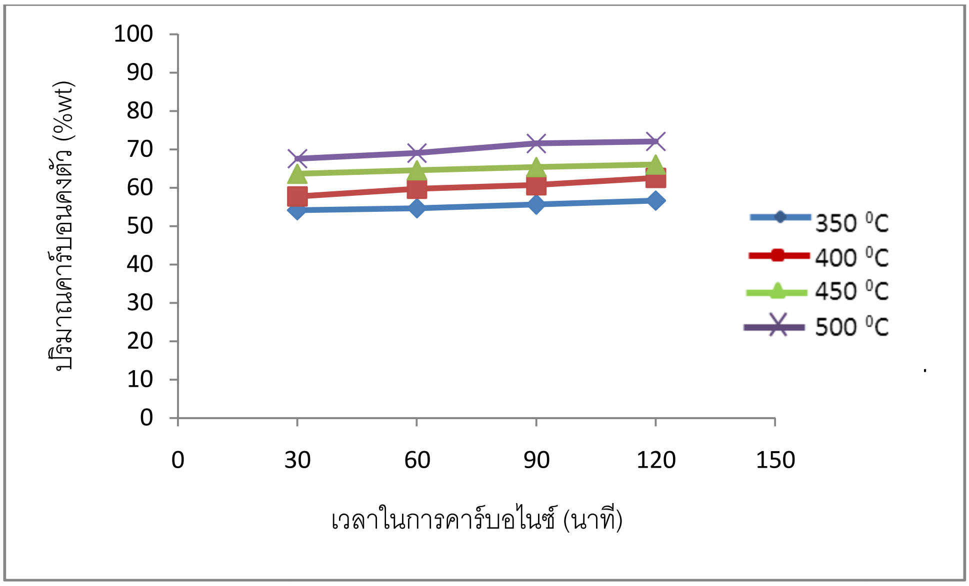
ภาพที่ 4.3 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณสารระเหยของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน ณ อุณหภูมิต่างๆ



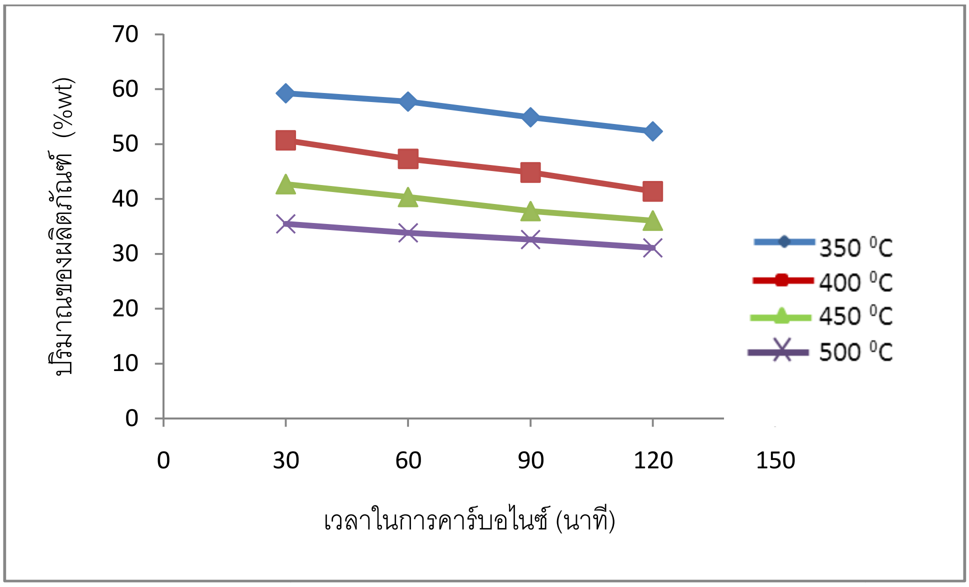
ภาพที่ 4.4 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณสารระเหยของถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด ณ อุณหภูมิต่างๆ



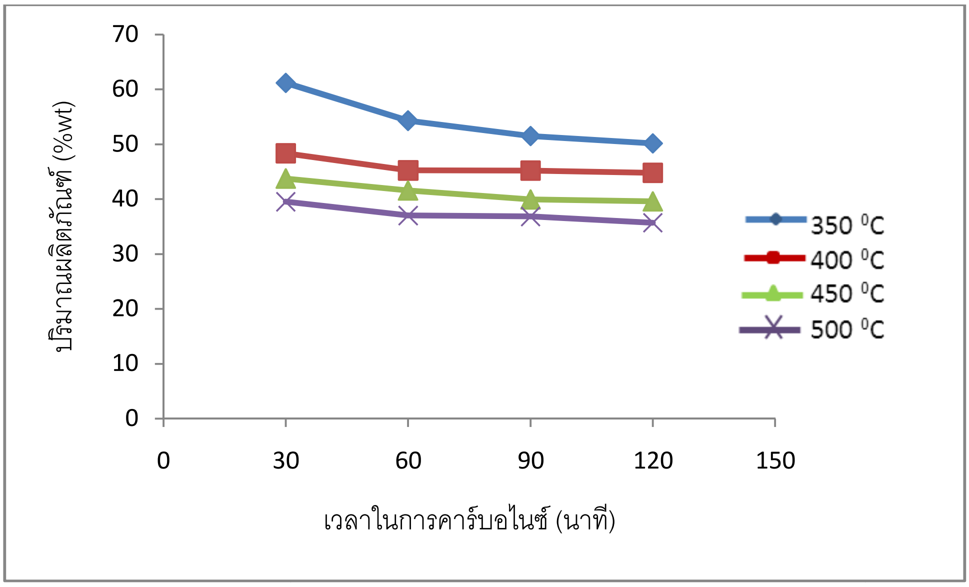
ภาพที่ 4.5 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัวจากเปลือกทุเรียน ณ อุณหภูมิต่างๆ



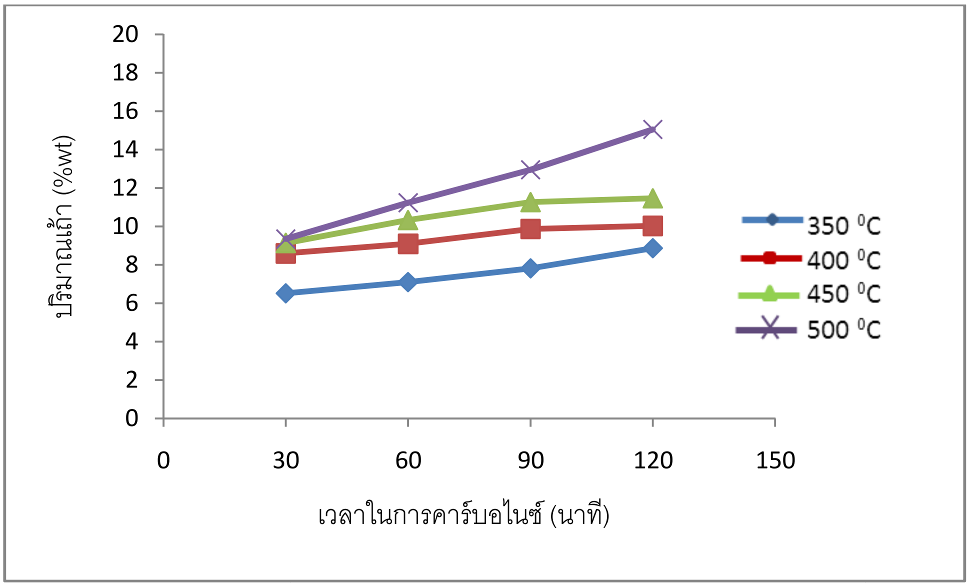
ภาพที่ 4.6 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัวจากเปลือกมังคุด ณ อุณหภูมิต่างๆ



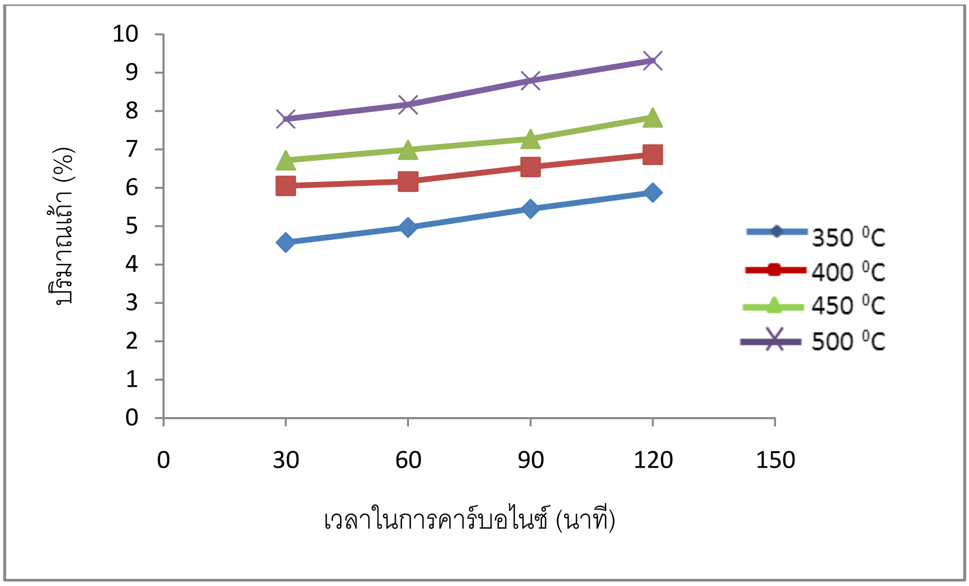
ภาพที่4.7 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ของถ่านชาร์ จากเปลือกทุเรียน ณ อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 4.8 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ของถ่านชาร์ จากเปลือกมังคุด ณ อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 4.9 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณเถ้าของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน ณ อุณหภูมิต่างๆ

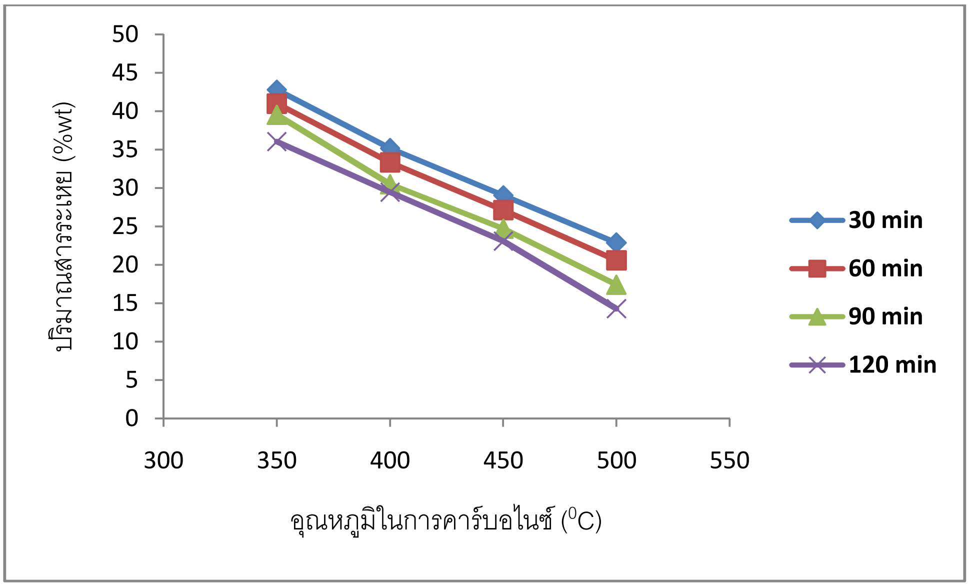


ภาพที่ 4.10 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณเถ้าของถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด ณ อุณหภูมิต่างๆ

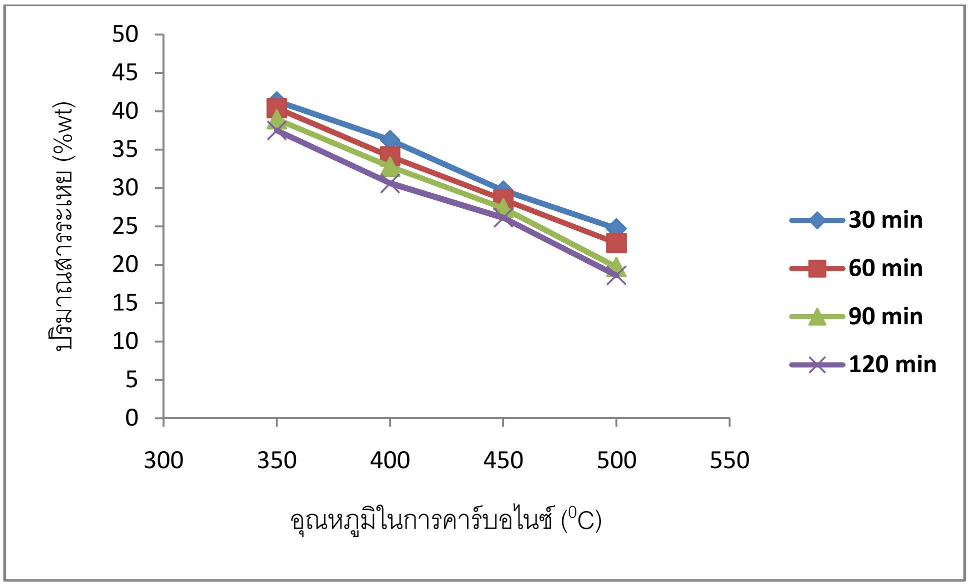
4.2.2 ผลของอุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์ของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด

การวิเคราะห์แบบประมาณและร้อยละผลได้ของถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด ปริมาณ 50 กรัมภายในเตาเผาความร้อนสูง อุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์ 350, 400, 450 และ 500 องศาเซลเซียส เวลาในการคาร์บอไนซ์ 30, 60, 90 และ 120 นาที อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์สูงขึ้นปริมาณสารระเหยของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดจะมีค่าลดลงเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้สารระเหยที่อยู่ในโครงสร้างของถ่านชาร์หลุดออกจากโครงสร้าง ทำให้ปริมาณสารระเหยมีค่าลดลง ปริมาณผลิตภัณฑ์จึงมีแนวโน้มลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความร้อนทำให้เกิดการเผาไหม้เกิดเป็นเถ้า และสารระเหยหลุดออกจากโครงสร้างของถ่านชาร์และมีการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชั่น ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น (นิชธรี นิลนนท์, 2540) จึงทำให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง และร้อยละของเถ้ามีปริมาณมากขึ้นร้อยละของคาร์บอนคงตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ โดยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

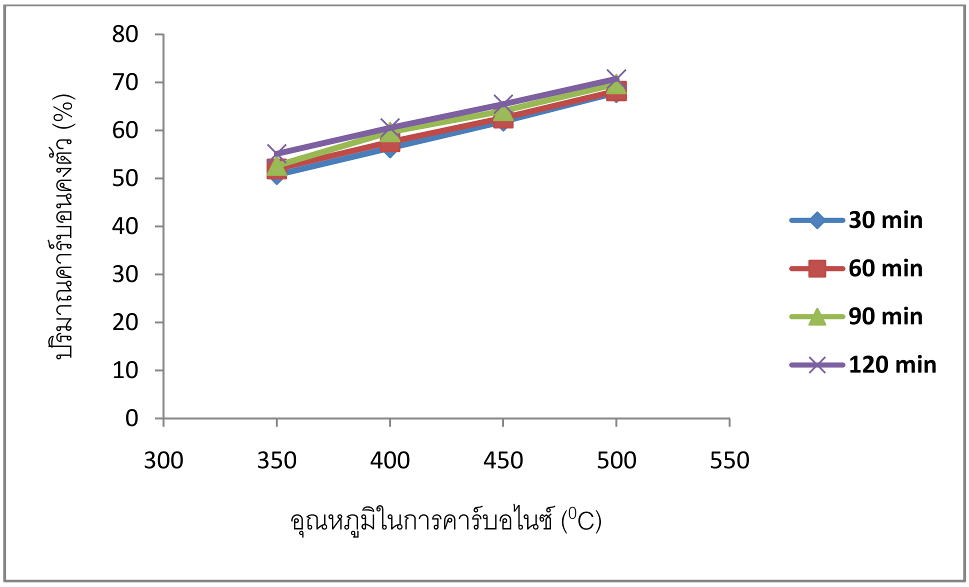
เมื่อพิจารณาภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ของถ่านชาร์จะพิจารณาจากค่าร้อยละสารระเหยควบคู่ไปกับร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์กับร้อยละคาร์บอนคงตัว คือ ควรมีค่าร้อยละสารระเหยไม่มากไม่น้อยเกินไป คือ อยู่ในช่วง 20-25 (บุญชัยตระกูลมหาชัย, 2536) นอกจากนี้ยังพิจารณาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์และร้อยละคาร์บอนคงตัวประกอบควบคู่ไปด้วยกันโดยถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียนพบว่าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30นาที มีค่าร้อยละสารระเหย 22.84 มีค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ 35.46 และมีค่าร้อยละคาร์บอนคงตัว 67.8 ส่วนถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด พบว่า ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่เวลา 60 นาที มีค่าร้อยละสารระเหย 22.81 มีค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ 37.00 และมีค่าร้อยละคาร์บอนคงตัว 69.03 จากข้อมูลจึงพบว่า อุณหภูมิ และเวลาดังกล่าว เป็นภาวะเหมาะสมที่สุดในการคาร์บอไนซ์ถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด



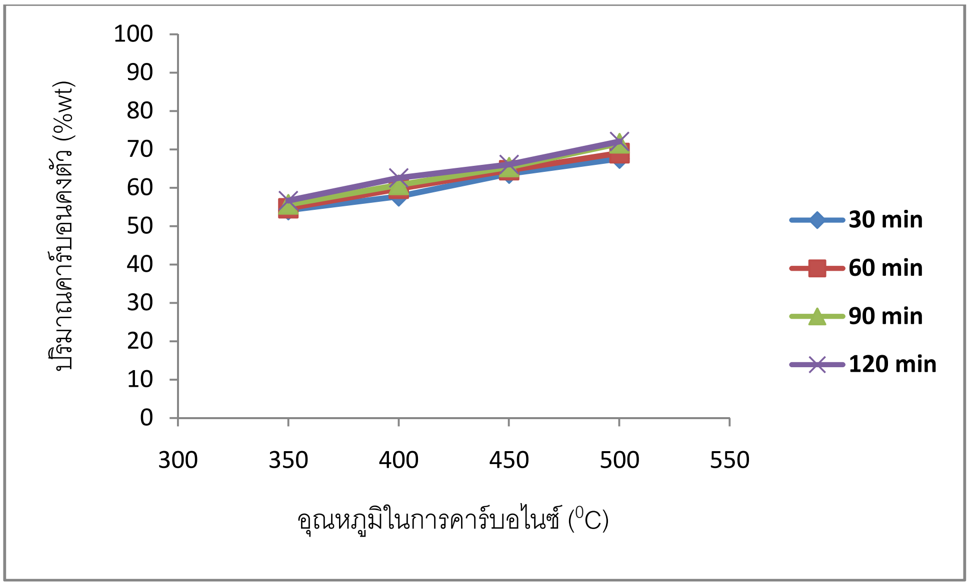
ภาพที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณสารระเหยของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน ณ เวลาต่างๆ



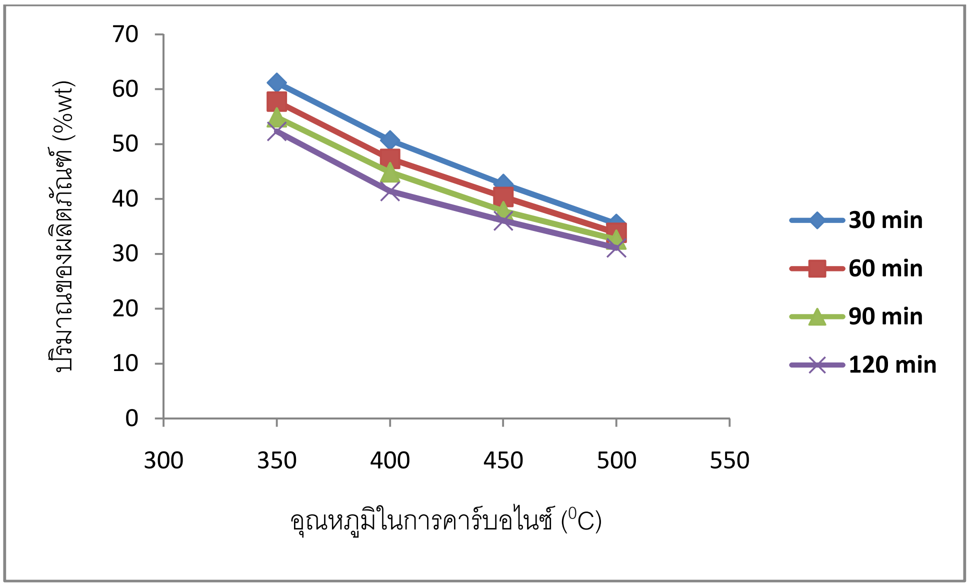
ภาพที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณสารระเหยของถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด ณ เวลาต่างๆ



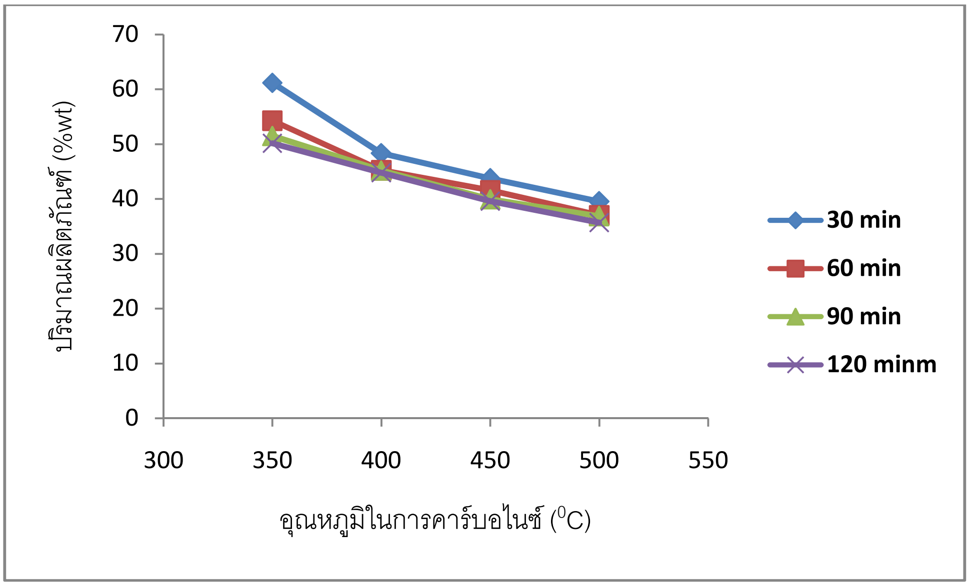
ภาพที่ 4.13 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละคาร์บอนคงตัวของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน ณ เวลาต่างๆ



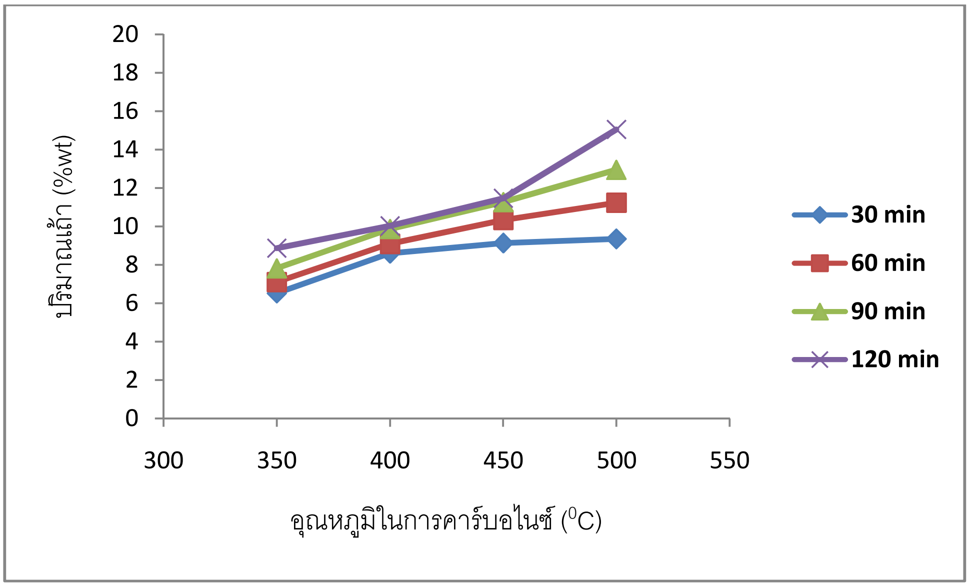
ภาพที่ 4.14 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละคาร์บอนคงตัวของถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด ณ เวลาต่างๆ



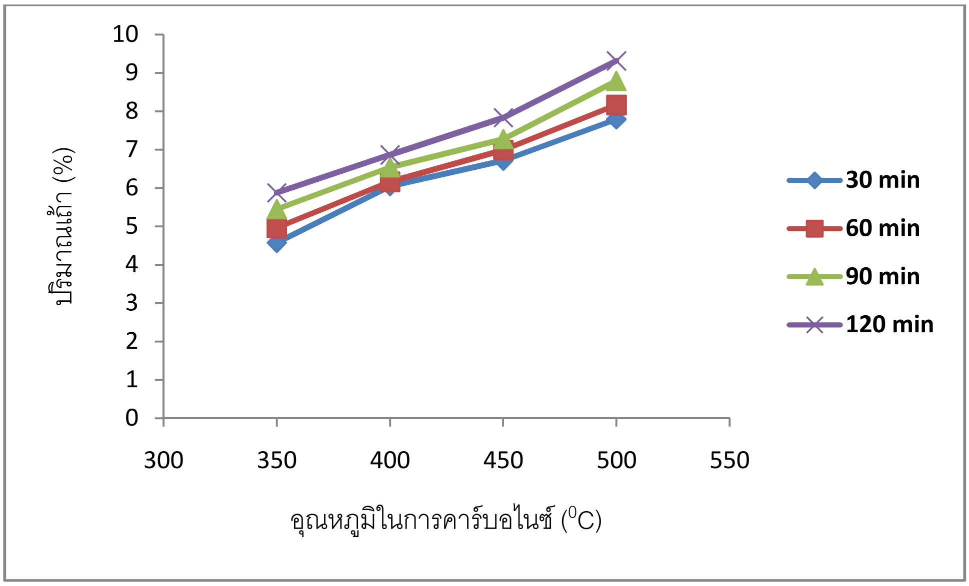
ภาพที่ 4.15 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน ณ เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.16 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ของถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด ณ เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.17 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณเถ้าของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน ณ เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.18 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละปริมาณเถ้าของถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด ณ เวลาต่างๆ

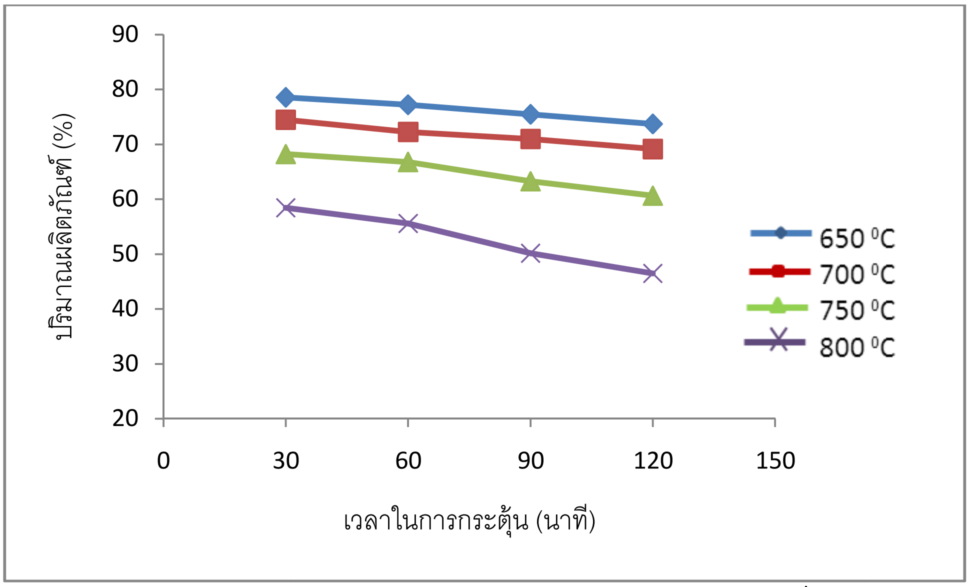
4.3 การกระตุ้นถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด

นำถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียนที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ในภาวะที่เหมาะสม คือ เวลา 30 นาที อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และถ่านชาร์จากเปลือกมังคุดที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ในภาวะที่เหมาะสม คือ เวลา 60 นาที อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มาทำการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมของการกระตุ้น คือผลของอุณหภูมิและเวลาในการกระตุ้นโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ เพื่อพิจารณาสมบัติต่างๆถ่านกัมมันต์ที่วิเคราะห์ได้แก่ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ค่าการดูดซับไอโอดีนค่าการดูดซับเมทิลีนบลูความหนาแน่นเชิงปริมาตรพื้นที่ผิวรูพรุน และลักษณะสัณฐานวิทยา

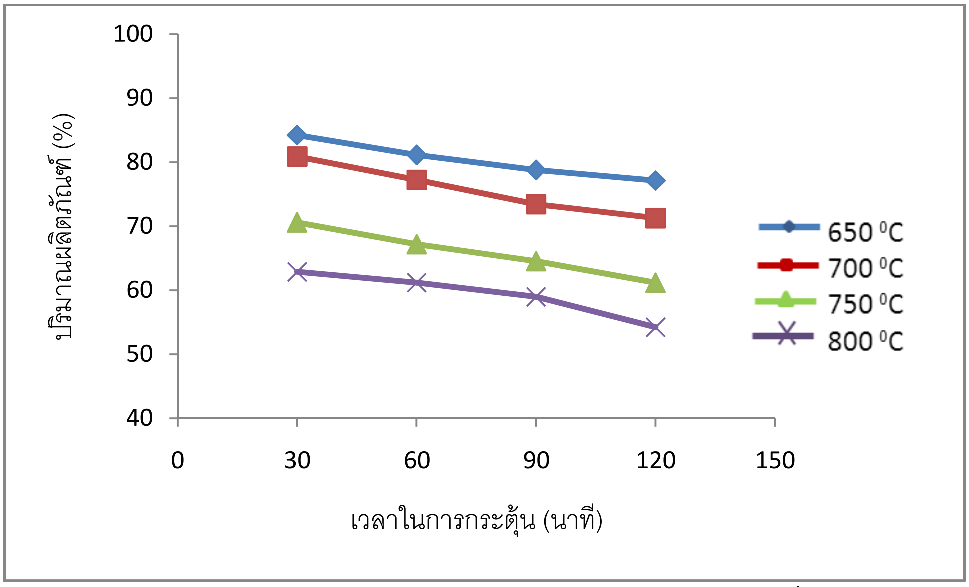
4.3.1 การกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด

จากการศึกษา พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการกระตุ้นร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลง เนื่องจากเวลาในการกระตุ้นนานขึ้นถ่านชาร์ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้สารระเหยที่อยู่ภายในโครงสร้างหลุดออกไปมากขึ้น และโครงสร้างของถ่านชาร์บางส่วนถูกเผาไหม้กลายเป็นเถ้า ทำให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง และทำให้ร้อยละของเถ้ามีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มเวลาในการกระตุ้นค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเพิ่มเวลาในการกระตุ้นเป็นการเพิ่มพลังงานความร้อนสารระเหยที่อยู่ในโครงสร้างจึงถูกกำจัดออกไปมากขึ้น และไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เป็นแก๊สออกซิไดซ์เกิดปฏิกิริยากับผิวถ่าน ($C + H_2O$ $H_2 + CO$) ทำให้มีการขยายรูพรุน และเกิดรูพรุนใหม่ๆขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่สำหรับถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน พบว่า ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสที่เวลา 60 นาที ไปเป็น90 และ 120 นาทีค่าการดูดซับไอโอดีนลดลง ส่วนถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด พบว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่เวลา90 ไปเป็น 120 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง และเวลาในการกระตุ้นนานทำให้ผนังระหว่างรูพรุนเกิดการเผาไหม้ และถูกทำลายมากขึ้น รูพรุนขนาดเล็กจะขยายกลายเป็นรูพรุนขนาดกลาง และรูพรุนขนาดใหญ่ (Suzuki และคณะ, 2007) ทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าลดลง เพราะการดูดซับไอโอดีนเป็นการดูดซับของรูพรุนขนาดเล็ก ส่วนค่าการดูดซับเมทิลีนบลูพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และเวลาในการกระตุ้นค่าการดูดซับเมทิลีนบลูจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิ และเวลาเพิ่มขึ้นถ่านชาร์มีความร้อนเพิ่มขึ้นสารระเหยที่อยู่ในโครงสร้างถูกกำจัดออกไปได้มากขึ้น และแก๊สออกซิไดซ์เข้าไปทำปฏิกิริยาในรูพรุนจะทำให้รูพรุนขนาดเล็กรวมตัวกลายเป็นรูพรุนขนาดกลาง และขนาดใหญ่ และจากการที่ผนังรูพรุนขนาดเล็กบางส่วนถูกเผาไหม้กลายเป็นรูพรุนขนาดกลาง (Sunและคณะ 2010) จึงส่งผลให้ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูมีค่าเพิ่มขึ้น แต่สำหรับถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนพบว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่เวลา 60 นาที ไปเป็น 90 และ 120 นาที ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูลดลง ส่วนถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด

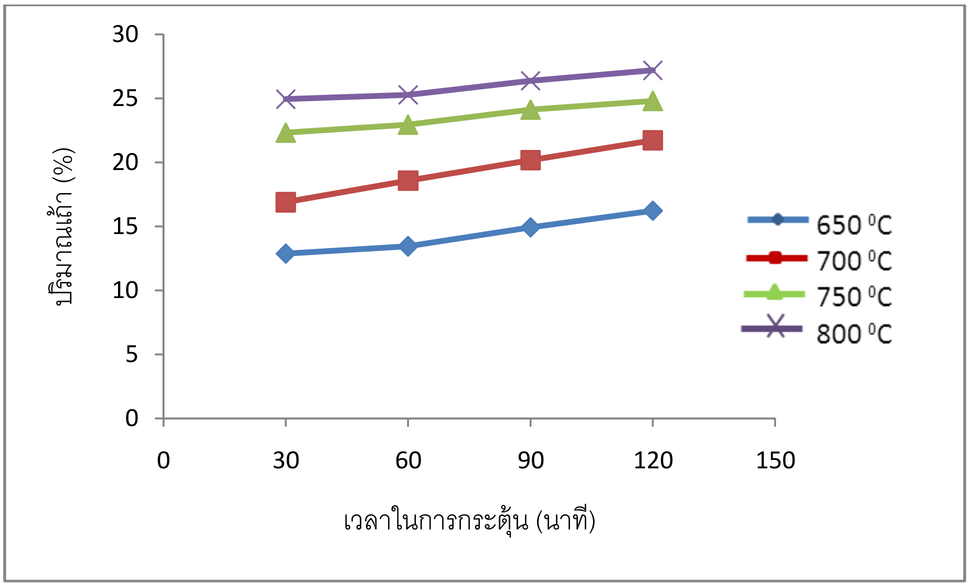
พบว่า ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่เวลา 90 ไปเป็น 120 นาที ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูลดลง เนื่องจากเมื่อเวลาในการกระตุ้นสูงขึ้น และเวลาในการกระตุ้นนานขึ้น ทำให้เกิดการสลายตัวของโครงสร้างเปลือก จึงเกิดการรวมตัวใหม่ของโครงสร้างที่ไหลมารวมกัน (cross-link) ทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ ทำให้ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูลดลง เพราะการดูดซับเมทิลีนบลู เป็นการดูดซับของรูพรุนขนาดกลาง ทำให้ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรมีค่าลดลง



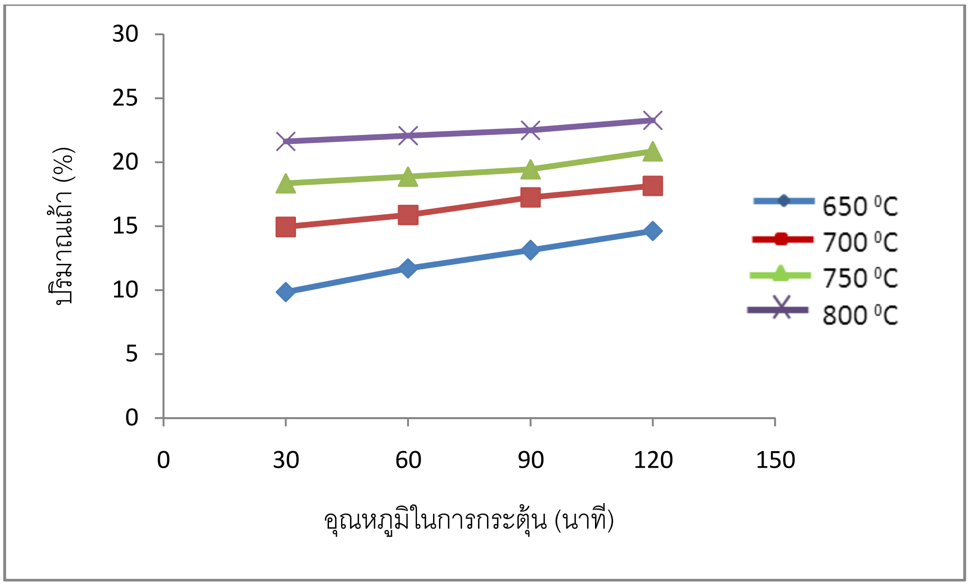
ภาพที่ 4.19 ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ณ อุณหภูมิต่างๆ



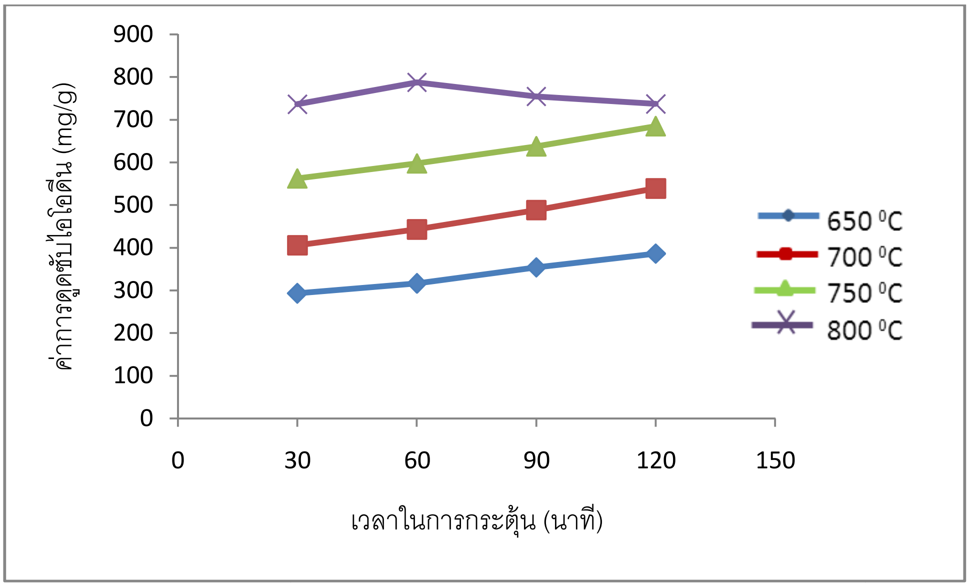
ภาพที่ 4.20 ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ณ อุณหภูมิต่างๆ



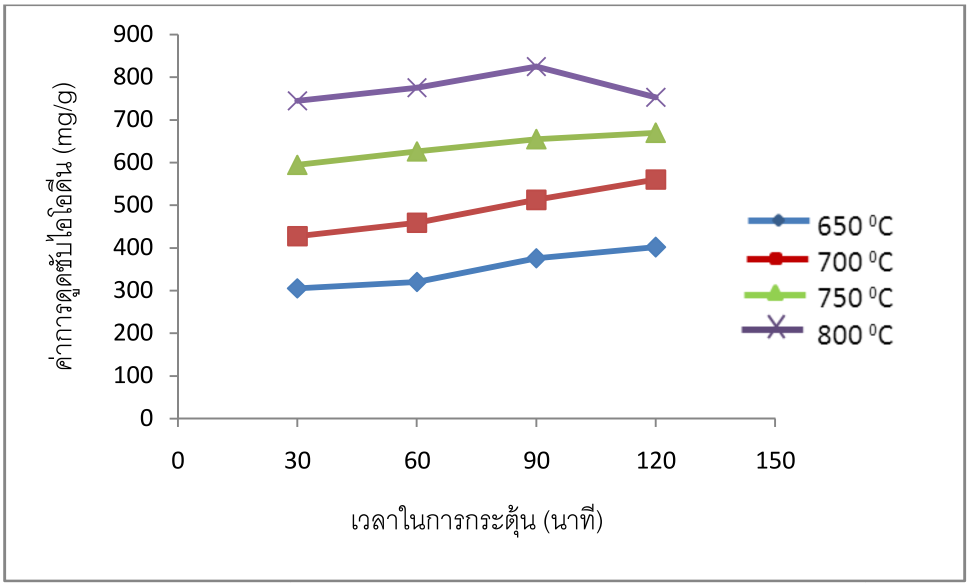
ภาพที่ 4.21 ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อร้อยละของปริมาณเถ้า ณ อุณหภูมิต่างๆ



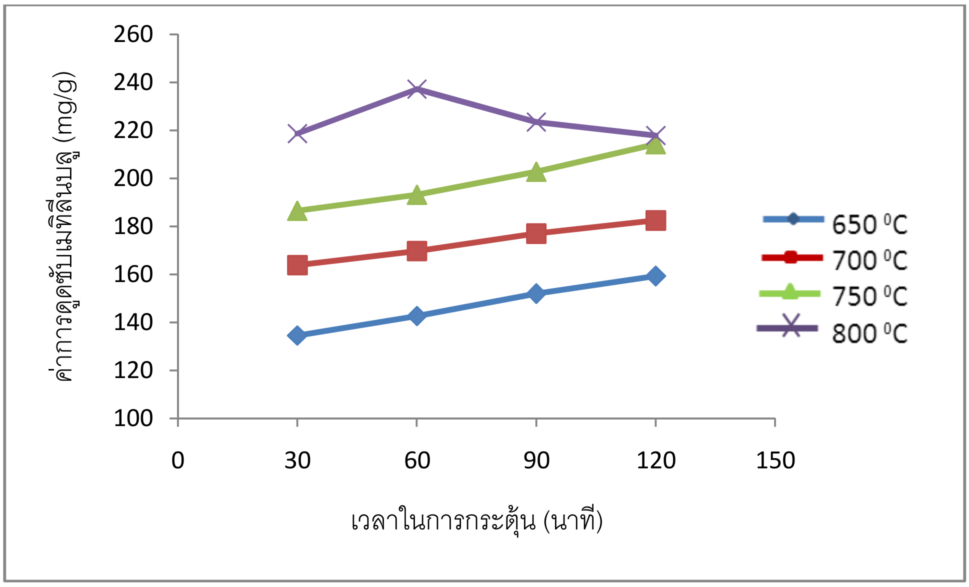
ภาพที่ 4.22 ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อร้อยละของปริมาณเถ้า ณ อุณหภูมิต่างๆ



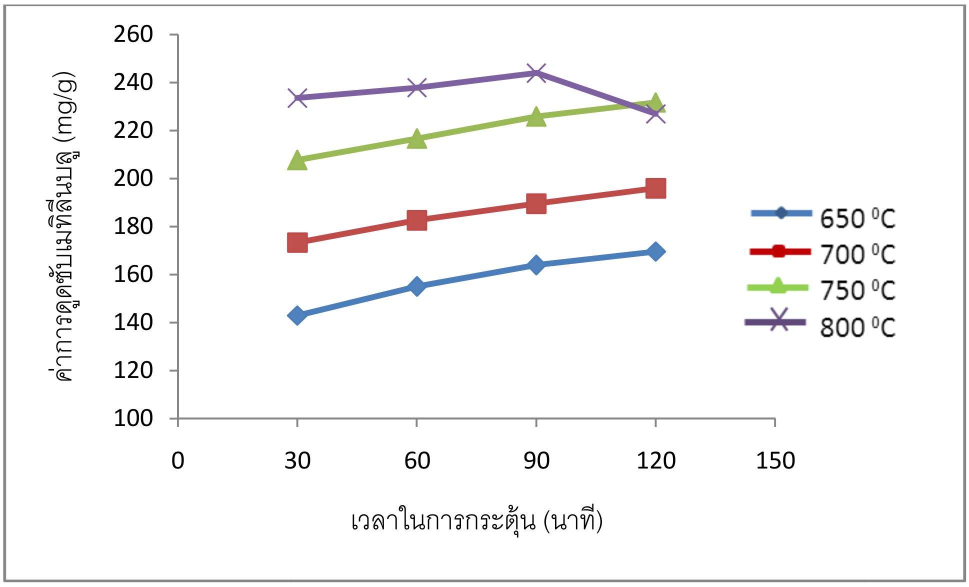
ภาพที่ 4.23 ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน ณ อุณหภูมิต่างๆ



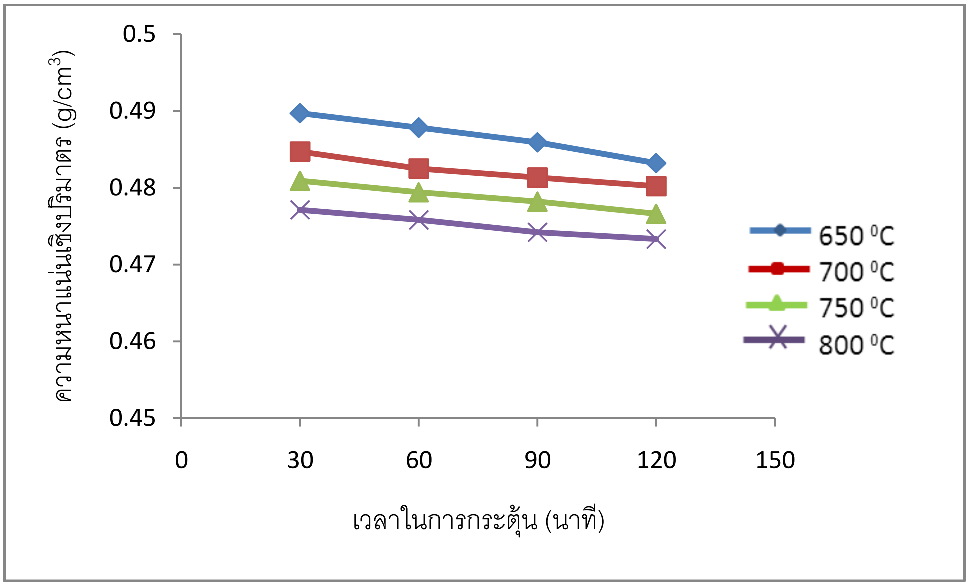
ภาพที่ 4.24 ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน ณ อุณหภูมิต่างๆ



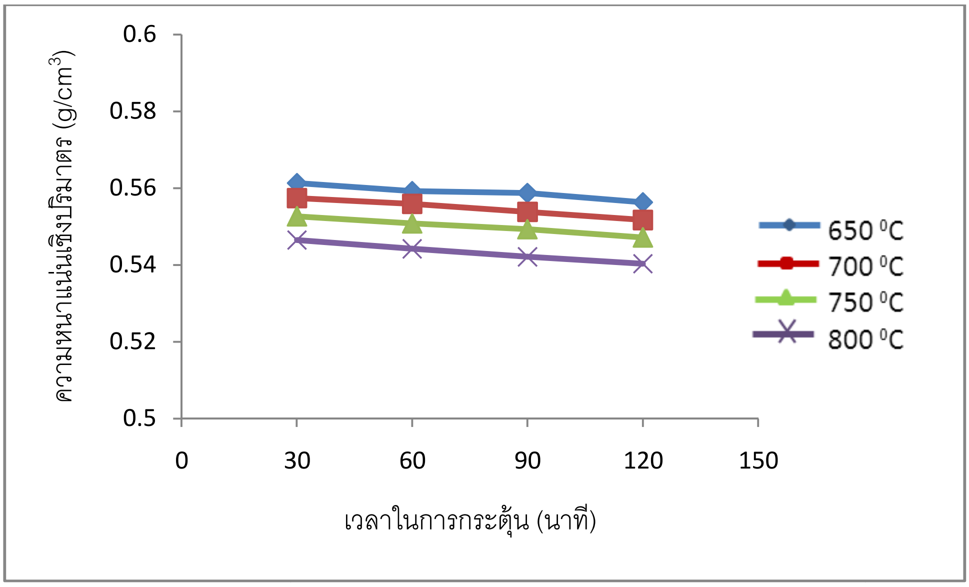
ภาพที่ 4.25 ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ณ อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 4.26 ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ณ อุณหภูมิต่างๆ



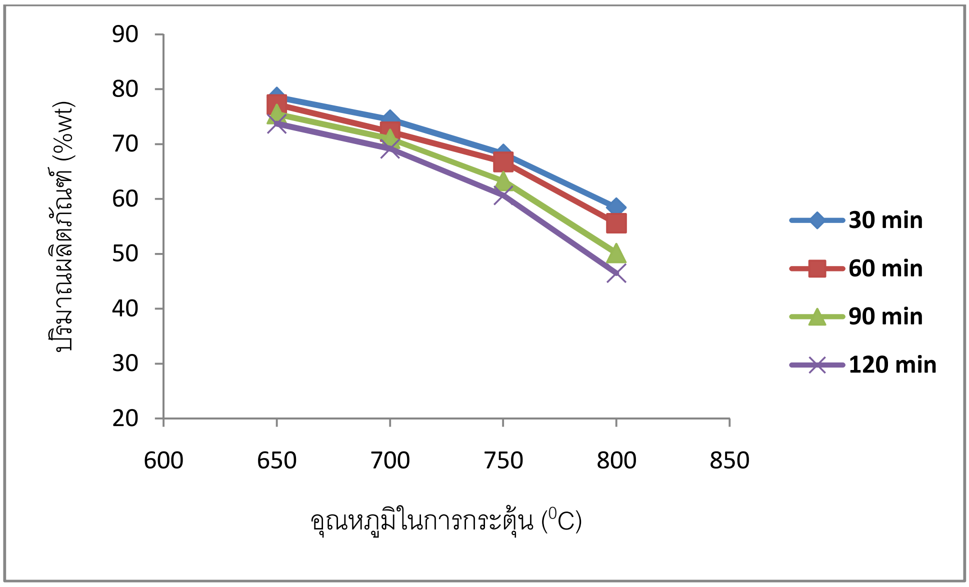
ภาพที่ 4.27 ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิต่างๆ



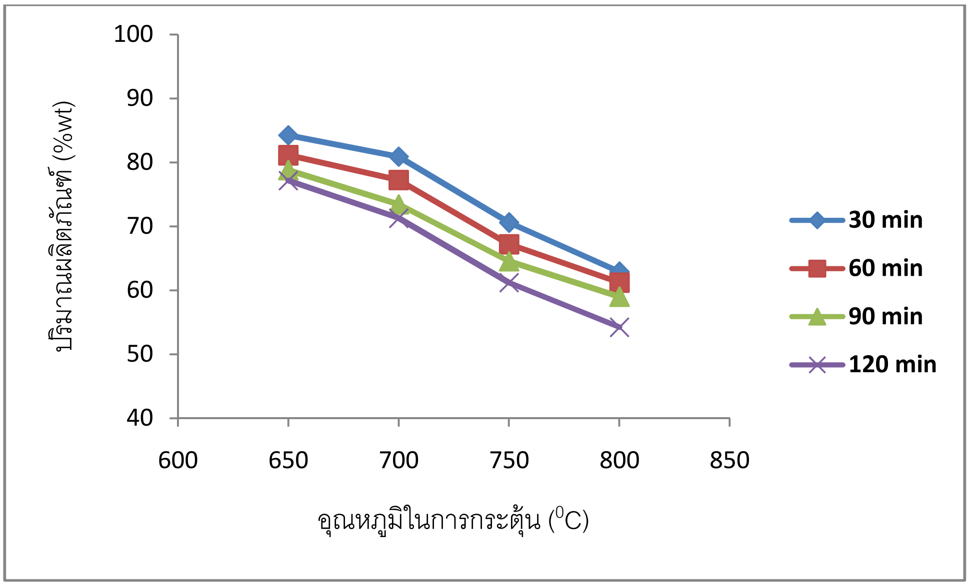
ภาพที่ 4.28 ผลของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิต่างๆ

4.3.2 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้น

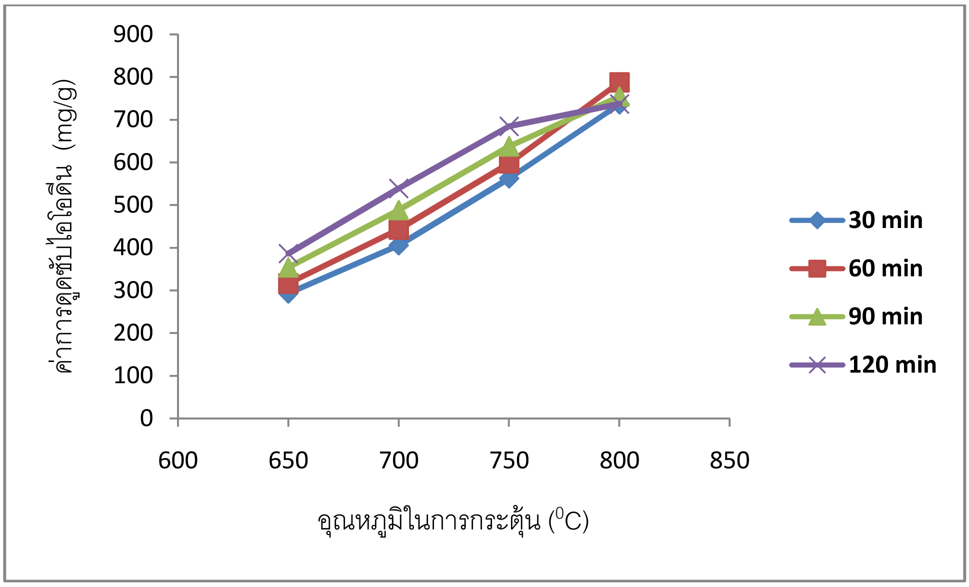
จากการศึกษา พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการกระตุ้น ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง เนื่องจากอุณหภูมิในการกระตุ้นเพิ่มขึ้นสารระเหยที่อยู่ภายในโครงสร้างของถ่านชาร์จะหลุดออกไป ทำให้ไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่เป็นแก๊สออกซิไดซ์แพร่เข้าไปในโครงสร้างของถ่านชาร์ได้มากขึ้น ทำให้ถ่านชาร์ถูกเผาไหม้กลายเป็นเถ้า ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จึงมีค่าลดลง และทำให้ร้อยละของเถ้าเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความร้อนทำให้สารระเหยหลุดออกจากโครงสร้างของถ่านชาร์ส่งผลให้ไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่เป็นแก๊สออกซิไดซ์แพร่เข้าไปในโครงสร้างของถ่านได้ดีขึ้น ทำให้เกิดการสร้างรูพรุนขึ้นใหม่ และขยายรูพรุนเดิมให้ใหญ่ขึ้นทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 650-800 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงมากขึ้นทำให้รูพรุนขนาดเล็กรวมตัวกลายเป็นรูพรุนขนาดกลาง และขนาดใหญ่ และจากการที่ผนังรูพรุนขนาดเล็กบางส่วนถูกเผาไหม้กลายเป็นรูพรุนขนาดกลาง (Kang และคณะ, 2010) ส่งผลให้ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่พบว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาทีไปเป็น 90 และ 120นาที ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนเริ่มลดลง ส่วนถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด พบว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่เวลา 90 ไปเป็น 120นาที ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูลดลง เนื่องจากว่า รูพรุนขนาดกลางได้สลายตัวไปเป็นรูพรุนขยายใหญ่ ทำให้มีแนวโน้มการดูดซับเมทิลีนบลูที่น้อยลง เนื่องจากการดูดซับเมทิลีนบลู เป็นการดูดซับของรูพรุนขนาดกลาง และจากการที่อุณหภูมิในการกระตุ้นเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดการสลายตัวของโครงสร้างเปลือกทำให้ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของถ่านกัมมันต์มีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็นการไล่สารระเหยออกจากโครงสร้างและเป็นการสร้างรูพรุนใหม่ขึ้น ทำให้ถ่านกัมมันต์มีความพรุนมากขึ้นค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรจึงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น



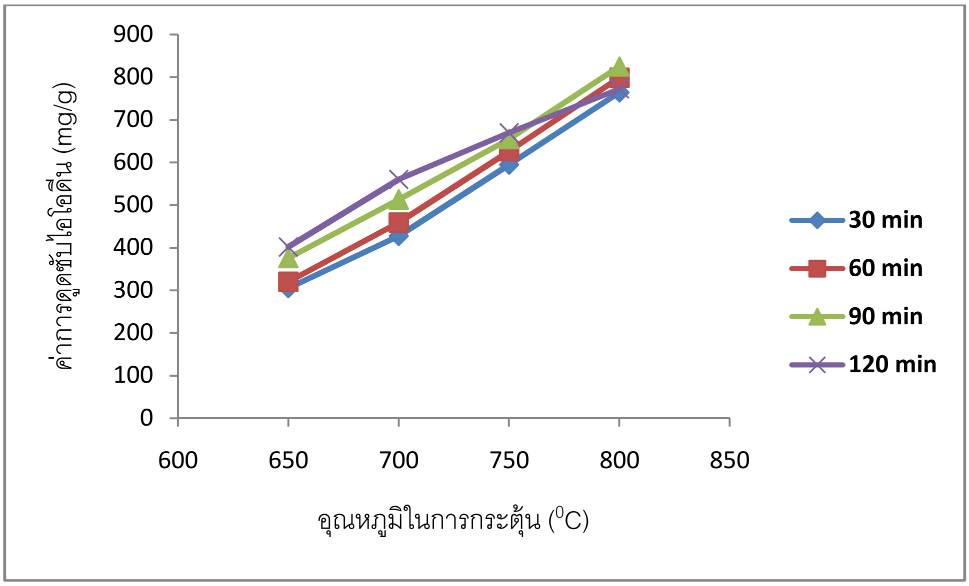
ภาพที่ 4.29 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆ



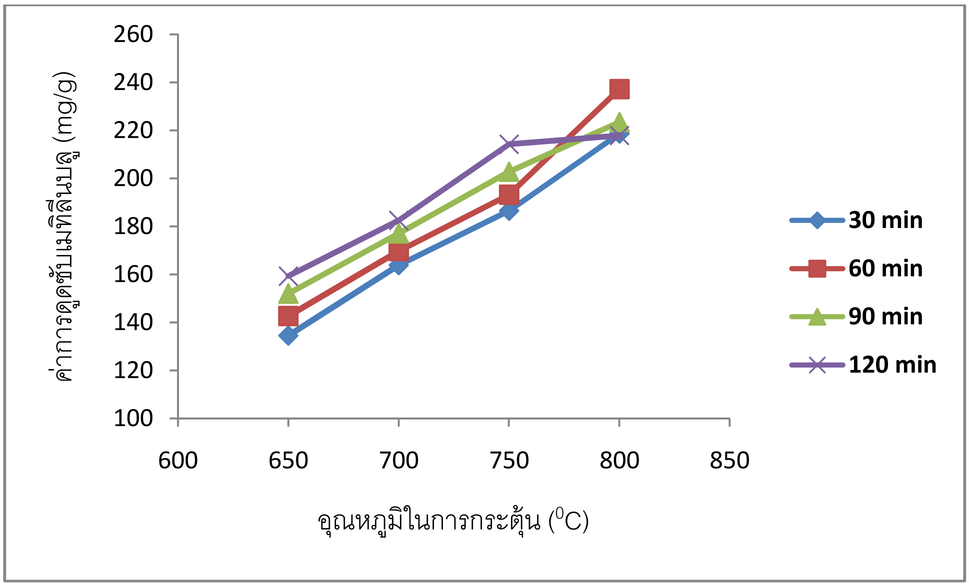
ภาพที่ 4.30 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆ



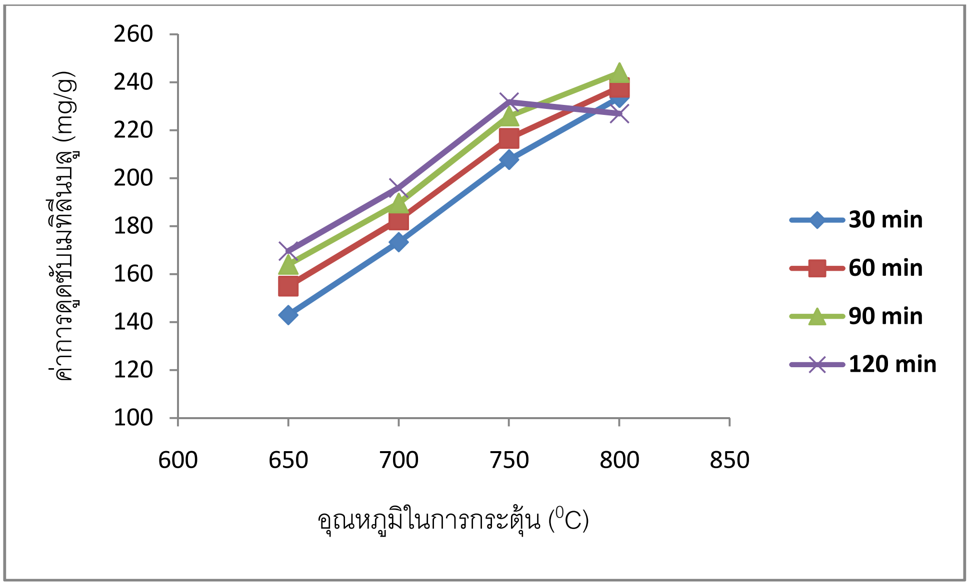
ภาพที่ 4.31ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน ณ เวลาต่างๆ



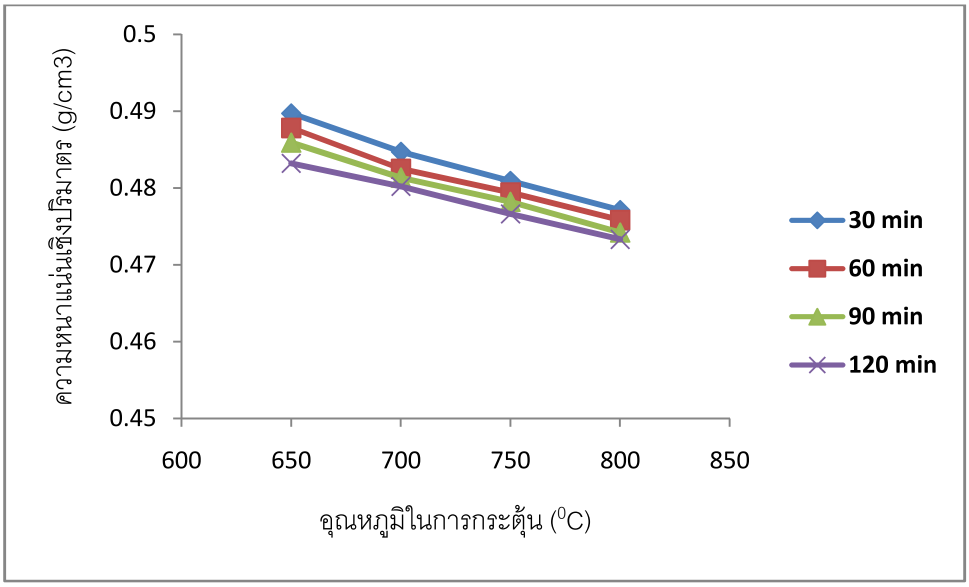
ภาพที่ 4.32 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน ณ เวลาต่างๆ



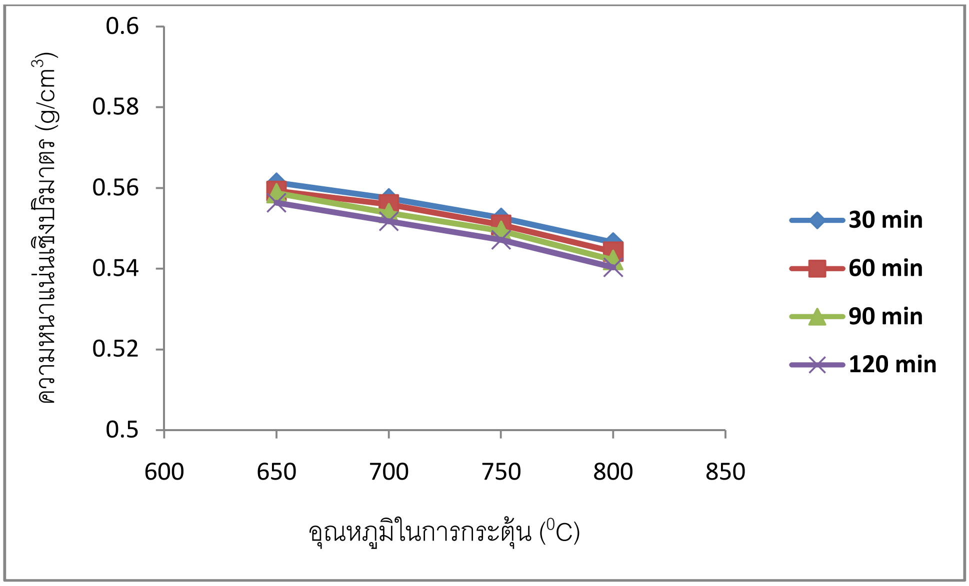
ภาพที่ 4.33 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ณ เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.34 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ณ เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.35 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ณ เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.36 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่มีต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ณ เวลาต่างๆ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าสมบัติต่างๆ จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด

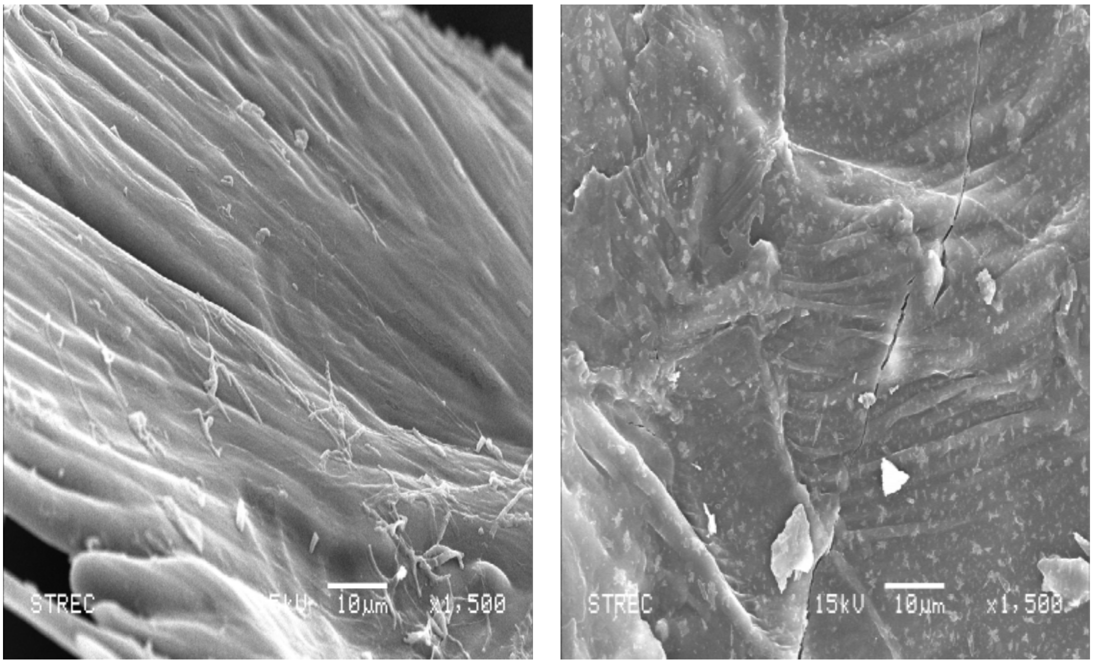
วัตถุดิบ	ทุเรียน	มังคุด
เวลา	60	90
อุณหภูมิ	800	800
ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์	55.57	58.97
ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	787.48	824.57
ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)	237.16	243.89
ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร (กรัมต่อลูกบาศกเซนติเมตร)	0.4758	0.5421

4.4 ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางสัณฐานวิทยา ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด

จากการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสม ของการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด ได้ภาวะที่เหมาะสม คือ ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที นำมาทำการศึกษาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์พบว่า ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนมีพื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 979.42 ตารางเมตรต่อกรัม มีปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.40 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีขนาดรูพรุนเท่ากับ 1.93 นาโนเมตร สำหรับถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดมีพื้นที่ผิวสัมผัส เท่ากับ 992.71ตารางเมตรต่อกรัม และมีปริมาตรรูพรุน เท่ากับ 0.46 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีขนาดรูพรุนเท่ากับ 1.89นาโนเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า พบว่า ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่กระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด มีค่าพื้นที่ผิวสัมผัส และปริมาตรรูพรุนสูงกว่าถ่านกัมมันต์เกรดการค้า ดังตารางที่ 4.4 อาจเนื่องจากว่ามีการใช้วัตถุดิบ และขั้นตอนในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่แตกต่างกัน

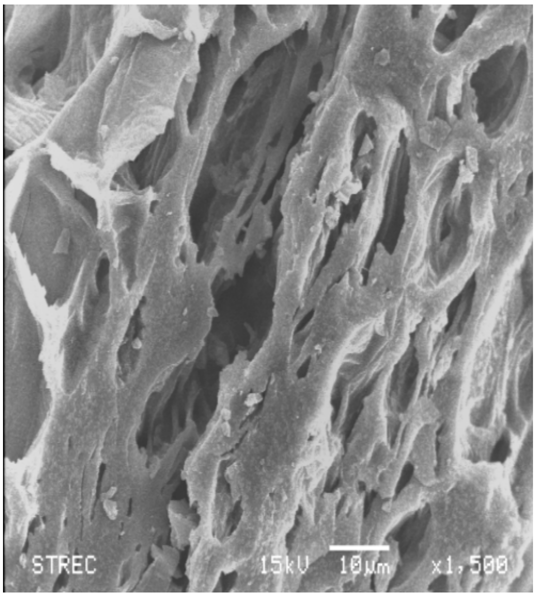
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์	ค่าพื้นที่ผิวสัมผัส (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g)	ขนาดรูพรุน (nm)
ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน	979.42	0.40	1.93
ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด	992.71	0.46	1.89
ถ่านกัมมันต์ทางการค้า	975.15	0.38	1.99

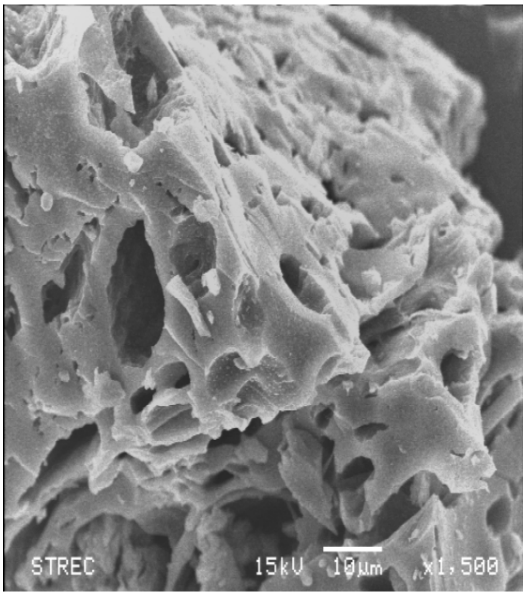


(a) เปลือกทุเรียน (b) เปลือกมังคุด

ภาพที่4.37 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

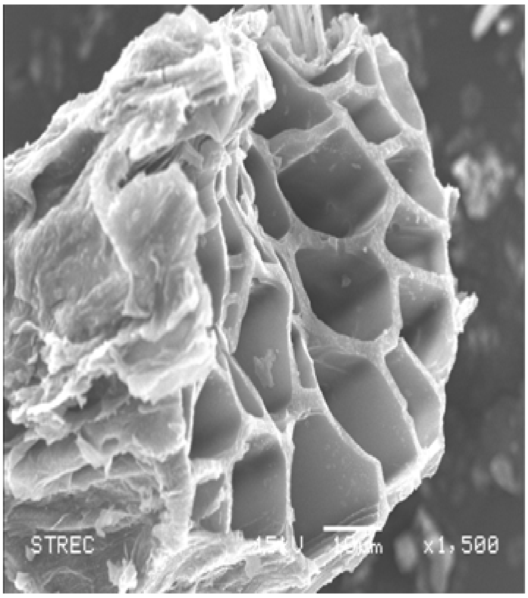


(a) ถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน คาร์บอไนซ์ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

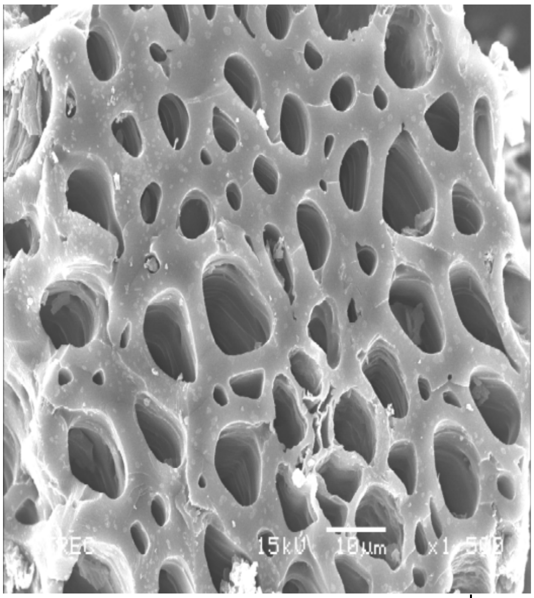


(b) ถ่านชาร์จากเปลือกมังคุดคาร์บอไนซ์ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

ภาพที่ 4.38 ลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านชาร์ ที่กำลังขยาย 1500 เท่า



(a) ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน กระตุ้นที อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที



(b)ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดกระตุ้นที่ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที

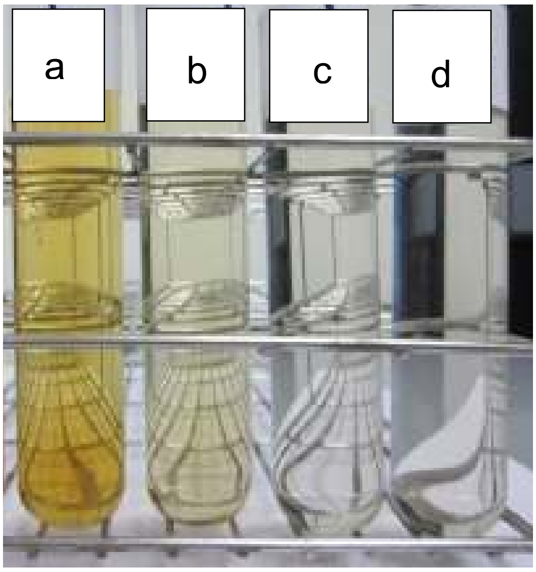
ภาพที่ 4.39 ลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์ ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

จากภาพที่ 37 (a) และ (b) จะเห็นว่า เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดที่ยังไม่ได้ผ่านขั้นตอนใดๆ จะยังไม่เกิดรูพรุนขึ้นเลย แต่เมื่อผ่านขั้นตอนการคาร์บอไนซ์ ดังภาพที่ 38 (a) และ (b) ถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน และถ่านชาร์ จากเปลือกมังคุด เริ่มมีรูพรุนเกิดขึ้น แต่ลักษณะรูรพรุนยังไม่สม่ำเสมอ และไม่เป็นระเบียบ จึงต้องนำไปผ่านขั้นตอนการกระตุ้น ดังภาพที่ 39 (a) และ (b) จะเห็นว่า ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่ผ่านขั้นตอนการกระตุ้นแล้ว จะเกิดรูพรุนขึ้นที่เป็นรูปร่างคล้ายแกรไฟต์สวยงาม และรูพรุนมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นและสม่ำเสมอขึ้นกว่าเดิม

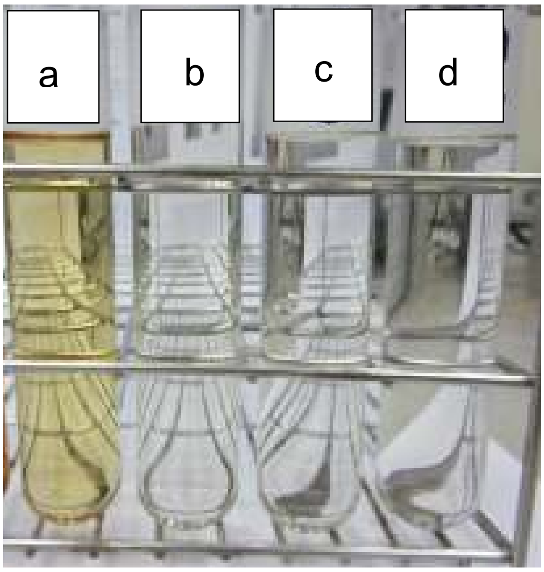
4.5การกำจัดสีในโมลาส

นำถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด ที่ผ่านการกระตุ้นและเลือกภาวะที่เหมาะสม มาทำการศึกษาการกำจัดสีในโมลาส โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี โดยใช้ถ่านกัมมันต์น้ำหนัก 1 กรัม แช่ลงในสารละลายโมลาส เข้มข้น 15% โดยปริมาตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดสี

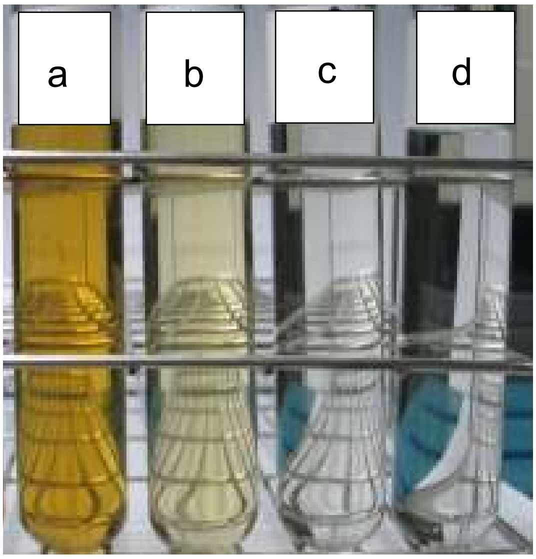
ภาพที่ 4.40 สารละลายโมลาสเข้มข้น 15% โดยปริมาตร



(ก) ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน



(ข) ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด



(ค) ถ่านกัมมันต์ทางการค้า

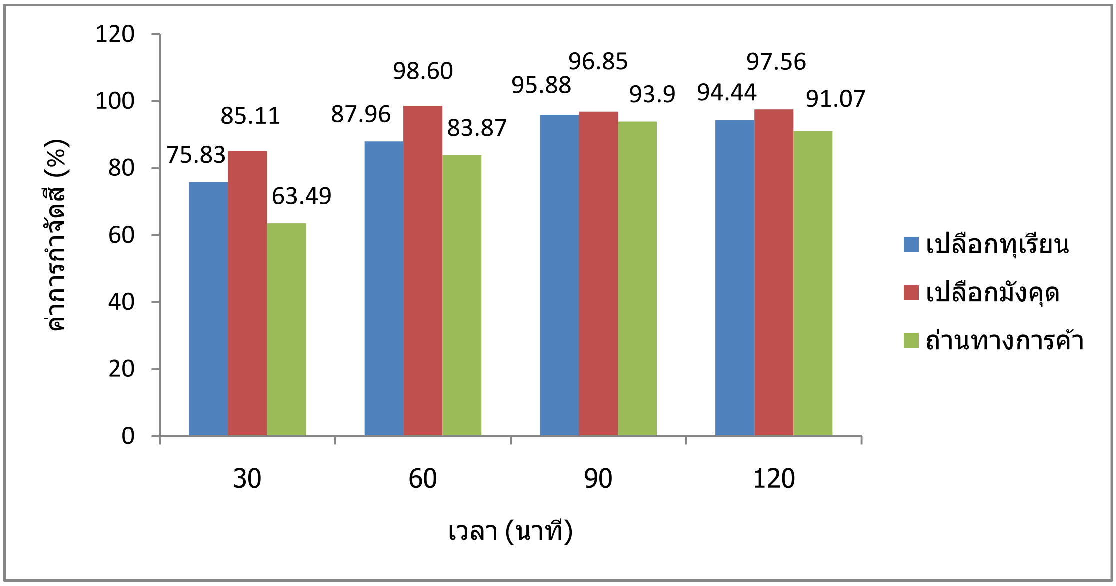
ภาพที่ 4.41 การเปลี่ยนแปลงสีของโมลาสในถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด

หมายเหตุ a) คือ สารละลายโมลาส เติมถ่านกัมมันต์ ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

b) คือ สารละลายโมลาส เติมถ่านกัมมันต์ ตั้งทิ้งไว้ 60 นาที

c) คือ สารละลายโมลาส เติมถ่านกัมมันต์ตั้งทิ้งไว้ 90 นาที

d) คือ สารละลายโมลาส เติมถ่านกัมมันต์ตั้งทิ้งไว้ 120 นาที



ภาพที่ 4.42 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของโมลาส ณ เวลาต่างๆ

จากการศึกษาหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีในโมลาสจากภาพที่ 4.41 นำมาสร้างกราฟเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี ได้ดังภาพที่ 4.42 พบว่า ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ที่เวลา 30, 60, 90, 120 นาที ได้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสี 75.83, 87.95, 95.88 และ 94.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยช่วงเวลาที่กำจัดสีได้ดีที่สุด คือที่เวลา 90 นาที ส่วนถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด ที่เวลา 30, 60, 90, 120 นาที ได้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสี 85.31, 98.60, 96.85 และ 97.56 ตามลำดับ ช่วงเวลาที่กำจัดสีได้ดีที่สุด คือ ที่เวลา 60 นาที สำหรับถ่านกัมมันต์ทางการค้า ที่เวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที ได้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสี 63.49, 83.87, 93.90 และ 91.07 ช่วงเวลาที่กำจัดสีได้ดีที่สุด คือที่เวลา 90 นาที ซึ่งถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน กำจัดได้ดีในช่วงเวลาเดียวกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า แต่ได้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีสูงกว่า และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด กำจัดได้ในเวลาดีกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และถ่านกัมมันต์ทางการค้า เนื่องจากว่าเปลือกมังคุดมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูงกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และถ่านกัมมันต์ทางการค้า ส่งผลให้ได้เปอร์เซ็นต์ในการกำจัดสีสูงสุด

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

5.1.1 ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด

การคาร์บอไนซ์เปลือกทุเรียนให้เป็นถ่านชาร์ อุณหภูมิ และเวลาในการคาร์บอไนซ์มีผลต่อสมบัติของถ่านชาร์ พบว่า ภาวะที่เหมาะสมของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน คือ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที โดยให้สมบัติถ่านชาร์ดังนี้ ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ 35.46 ร้อยละสารระเหย 22.84 ร้อยละของเถ้า 9.34 และร้อยละคาร์บอนคงตัว 67.82 ส่วนการคาร์บอไนซ์เปลือกมังคุดให้เป็นถ่านชาร์ อุณหภูมิ และเวลาในการคาร์บอไนซ์มีผลต่อสมบัติของถ่านชาร์เช่นเดียวกัน โดยพบว่าภาวะที่เหมาะสมของการคาร์บอไนซ์ถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด คือ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที โดยให้สมบัติถ่านชาร์ดังนี้ ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ 37.00 ร้อยละสารระเหย 22.81 ร้อยละของเถ้า 8.16 และร้อยละคาร์บอนคงตัว 69.03

5.1.2 ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด

การกระตุ้นถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งโดยใช้ไอน้ำยิ่งยวดเป็นตัวกระตุ้น พบว่า ภาวะที่เหมาะสมสำหรับถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน คือ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราการไหลของไอน้ำที่ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ส่วนภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านชาร์จากเปลือกมังคุดคือ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติดังนี้ ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ 55.57, 58.96 ร้อยละของเถ้า 25.27, 22.07 ค่าการดูดซับไอโอดีน 747.48, 824.57 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 237.16, 243.89 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.4758, 0.5421 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าพื้นที่ผิวสัมผัส 992.71, 979.42 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

5.1.3 ผลของการศึกษาเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีในโมลาส

การศึกษาหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีในโมลาสของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน คือ ที่เวลา 90 นาที สามารถกำจัดได้ 95.88 เปอร์เซ็นต์ ส่วนถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด คือ เวลา 60 นาที สามารถกำจัดได้ 98.60 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการทดลองใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เปลือกผลไม้ตามฤดูกาลที่เหลือทิ้งในปริมาณมาก มาผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด เพื่อเป็นการค้นหาวัสดุที่เหมาะสมแก่การผลิต เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น ถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุและเป็นการกำจัดขยะไปในตัวอีกด้วย

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด

วิธีวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณ

วิธีวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดตามวิธี ASTM D3172-89 โดยวิเคราะห์สารที่แห้งในอากาศ และคำนวณค่าที่ได้เพื่อรายงานค่าที่ได้เทียบกับน้ำหนักของสารที่ไม่มีความชื้น (Dry basis) ยกเว้นค่าความชื้นที่รายงานเทียบน้ำหนักกับสารที่แห้งในอากาศ (Air dry basis) วิธีวิเคราะห์ครอบคลุมการวิเคราะห์หาค่าความชื้นสารระเหยและเถ้ารายละเอียดการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

<u>การเตรียมสารตัวอย่าง</u>

- บดตัวอย่างอย่างรวดเร็วและคัดขนาดของตัวอย่างให้ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 250 μm (No.60) โดยการบดต้องใช้เวลาไม่มากนักเพราะอาจทำให้มีความร้อนขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นและสารระเหยได้
- นำตัวอย่างที่บดได้มาผสมรวมกันและเก็บไว้ในภาชนะที่ป้องกันความชื้นได้

1. **วิธีหาค่าความชื้น** (Moisture,M)

- เผาถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาในเตาเผาที่ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นเป็นเวลาประมาณ 15-30 นาที
- ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาจากนั้นใส่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 1 กรัมให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัม) ในถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ได้ก่อนอบแห้งรวมน้ำหนักของขวดชั่งและฝา
- นำไปอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงจากนั้นทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ได้หลังอบแห้งรวมน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา

คำนวณค่าความชื้นดังนี้

$$M = [(A-B)/A] \times 100$$

เมื่อ M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้เริ่มต้น (กรัม)

B = น้ำหนักของตัวอย่างหลังการอบแห้ง (กรัม)

2. วิธีหาปริมาณร้อยละสารระเหย (Volatile matter,VM)

- เผาถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีจากนั้นทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาจากนั้นใส่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 1 กรัมให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัม)ในถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาและปิดฝา
- นำไปเผาในเตาเผาแบบท่อโดยวางไว้หน้าเตาเผาเป็นเวลา 2 นาที (อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส) จากนั้นวางไว้ที่ขอบเตาเผาเป็นเวลา 3 นาที (อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส) จากนั้นนำเข้าไปเผาที่กึ่งกลางของเตาเผาเป็นเวลา 6 นาที (อุณหภูมิประมาณ 950องศาเซลเซียส)
- นำออกจากเตาเผาทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่ได้หลังการเผารวมน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา

คำนวณหาค่าสารระเหยดังนี้

$$\text{Weight loss, \%} = [(A-B)/A] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้เริ่มต้น (กรัม)

B = น้ำหนักของตัวอย่างหลังการเผา (กรัม)

$$VM = C - D$$

เมื่อ VM = ร้อยละของสารระเหย

C = Weight loss, %

D = ร้อยละของความชื้น

3. ค่าเถ้า (Ash,A)

- เผาถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีจากนั้นทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาจากนั้นใส่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 1 กรัมให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัม)ในถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา
- นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ประมาณ 3 ชั่วโมง
- นำออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่ได้หลังการเผารวมน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา

คำนวณค่าเถ้าดังนี้

$$Ash = [(A-B)/C] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาและตัวอย่างหลังการเผา (กรัม)

B = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา (กรัม)

C = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาและตัวอย่างก่อนการเผา (กรัม)

4. ค่าคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon,FC)

คำนวณค่าคาร์บอนคงตัวดังนี้

$$FC = 100 - (M + A + VM)$$

เมื่อ FC = ร้อยละของคาร์บอนคงตัว

M =ร้อยละของความชื้น

A = ร้อยละของเถ้า

VM = ร้อยละของสารระเหย

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์

วิธีวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ash, A)

วิเคราะห์ปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์ตามวิธี ASTM D 2866-83 โดยวิเคราะห์และรายงานค่าที่ได้เทียบกับน้ำหนักของที่ไม่มีความชื้น (dry basis) รายละเอียดการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

- บดและคัดขนาดตัวอย่างให้ละเอียดให้ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 250 μm (No. 60)
- เผาถ้วยกระเบื้องทนความร้อนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่
- นำออกมาตั้งทิ้งไว้บนอิฐทนไฟ 10 นาทีแล้วปล่อยให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งถ้วยกระเบื้องทนความร้อนและบันทึกน้ำหนักที่คงที่ไว้ (X_0)
- ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งที่ 150 ± 5 องศาเซลเซียสจนมีน้ำหนักที่คงที่ประมาณ 3 ชั่วโมงใส่ในถ้วยกระเบื้องทนความร้อนให้มีน้ำหนักประมาณ 1 กรัมให้มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัม) และบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ได้รวมน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องทนความร้อน (X_1)
- นำไปเผาที่อุณหภูมิ 650 ± 25 องศาเซลเซียสจนมีน้ำหนักคงที่ใช้เวลาประมาณ 3ชั่วโมง
- นำออกมาตั้งทิ้งไว้บนอิฐทนไฟ 10 นาทีแล้วปล่อยให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ค่อยๆเปิดฝาหม้อดูดความชื้นเพื่อป้องกันไม่ให้เถ้าที่ได้ฟุ้งกระจายชั่งและบันทึกตัวอย่างที่ได้ของตัวอย่างหลังเผารวมน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องทนความร้อน (X_2)

คำนวณค่าเถ้าได้จากสูตร

$$\text{ค่าเถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = [(X_2 – X_0) / (X_1 – X_0)] \times 100$$

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของถ่านกัมมันต์

วิธีวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร (Bulk density, BD)

วิเคราะห์ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของถ่านกัมมันต์ (Bulk density, BD) ตามวิธี ASTM D2854-89 รายละเอียดการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

- อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 – 120 องศาเซลเซียสตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในหม้อดูดความชื้น

- ชั่งกระบอกตวงที่มีความจุ 10 มิลลิลิตรให้มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 2 (คือมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.01 กรัม) บันทึกผล (X_0)

- ใส่ตัวอย่างลงไปในกระบอกตวงจนเกือบเต็มกระแทกก้นกระบอกตวงบนแผ่นยางจนกระทั่งระดับของตัวอย่างในกระบอกตวงคงที่

- ถ้าระดับที่คงที่นั้นไม่เท่ากับ 10 มิลลิลิตรให้ตักตัวอย่างเข้าหรือออกจากกระบอกตวงแล้วกระแทกก้นกระบอกตวงใหม่จนกว่าจะได้ระดับที่คงที่เป็น 10 มิลลิลิตร

- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพร้อมกระบอกตวงบันทึกผล (X_1)

คำนวณค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรได้จากสมการ

$$BD\ (g/cm3) = (X_1 - X_0) / 10$$

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนซึ่งสมมุติว่าเป็นสารพิษในน้ำตามวิธี ASTM D 4607-86 มีรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

<u>สารเคมีที่ใช้</u>

- สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเตรียมโดยตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 70 มิลลิลิตรเทใส่น้ำกลั่นที่มีปริมาตร 550 มิลลิลิตร

- น้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเตรียมโดยชั่งแป้ง 1 กรัมละลายด้วยน้ำร้อนจนมีน้ำหนักเป็น 10 กรัมน้ำแป้งที่เตรียมได้จะใช้ภายในวันที่เตรียมเท่านั้น

- สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น0.100 ±0.001 นอร์มัลเตรียมโดยละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 24.820 กรัมในน้ำ 75 มิลลิลิตรเติมโดยโซเดียมคาร์บอเนต ((Na_2CO_3) 0.1 กรัมและเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร

- สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.100 ±0.001 นอร์มัลเตรียมโดยละลายไอโอดีน 12.700กรัมและโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 19.10 กรัมด้วยน้ำ 50 มิลลิลิตรตั้งทิ้งไว้ 4 ชั่วโมงจนผลึกไอโอดีนละลายหมดแล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร

- สารละลายโปแตสเซียมไอโอเดตเข้มข้น 0.100 นอร์มัลเตรียมโดยอบโปแตสเซียมไอโอเดตที่ 110 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมงทำให้เย็นในหม้อดูดความชื้นแล้วชั่งมา 3.5667 กรัมละลายด้วยน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

<u>กรรมวิธีเทียบมาตรฐานสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต</u>

- ปิเปตสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต 25 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรเติมโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2 กรัมเขย่าให้ละลายเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาณ 5 มิลลิลิตร

- ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตโดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์จุดยุติคือจุดที่สารละลายไม่มีสี

คำนวณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจาก

$$N1 = (P \times R) / S$$

โดย N1 คือความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

P คือปริมาตรของสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)

R คือความเข้มข้นของสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (นอร์มัล)

S คือปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรท (มิลลิลิตร)

<u>กรรมวิธีเทียบมาตรฐานของสารละลายไอโอดีน</u>

- ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตโดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์จุดยุติคือจุดที่สารละลายไม่มีสี

คำนวณความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนได้จาก

$$N_2 = (P \times R) / S$$

โดย N_2คือความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มัล)

P คือปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

R คือความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

S คือปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไตเตรท (มิลลิลิตร)

<u>กรรมวิธีวิเคราะห์</u>

- บดและคัดขนาดให้ละเอียดน้อยกว่า 250 μm (No. 60)
- อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมงตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างเท่ากับ M ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือมีความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม) ในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรซึ่งมีจุกปิด

หมายเหตุต้องชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 ค่าต่อตัวอย่างเพื่อให้ได้ค่า C มีค่าน้อยกว่าเท่ากับและมากกว่า 0.02 น้ำหนักประมาณของตัวอย่างดูจากตารางที่ง.1

- ใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกจำนวน 10 มิลลิลิตร (ตวงด้วยปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดประมาณ 10 วินาทีแกว่งขวดเบาๆเพื่อให้ผงถ่านกัมมันต์ทุกส่วนชุ่มด้วยสารละลายเพื่อกำจัดเถ้าหรือซัลเฟอร์ออกจากผิวของถ่านกัมมันต์

- ใส่สารละลายไอโอดีน 100 มิลลิลิตรปิดจุกแล้วเขย่าแรงๆเป็นเวลา 30 วินาที

- กรองด้วยกระดาษกรองWhatmanเบอร์ 42 ทิ้งสารละลายที่กรองได้ 20 มิลลิลิตรแรก

- ดูดสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตรด้วยปิเปต

- ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัลโดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติคือจุดที่สารละลายไม่มีสีบันทึกปริมาตรของสารละลายไทโอซัลเฟตที่ใช้เป็นมิลลิลิตร (S)คำนวณค่าการดูดซับจำเพาะ (X/M) และความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน (C) ได้จาก

$$X/M\ (mg/g) = [A-(2.2 \times B \times S)] / W$$

$$C = (N_2 \times S) / 50$$

โดย X/M คือมิลลิลิตรของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านที่ใช้ดูดซับ

N_1 คือความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

N_2 คือความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

A คือ $N_1 \times 1269.30$

B คือ $N_2 \times 12.693$

C คือความเข้มข้นของสารละลายที่กรองได้

W คือน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้

S คือปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

- นำค่า X/M ที่ได้ทั้งสามค่ามาสร้างกราฟระหว่างแกนราบคือ log C แกนตั้งฉากคือ logX/M จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

- จากเส้นความสัมพันธ์ที่ตำแหน่ง C = 0.02 หรือ log C = -1.639 จะทราบค่าบนแกนตั้งฉากสมมุติเท่ากับ Y นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า IA ดังนี้ IA (มิลลิกรัม/กรัม) = 10^{Y}

ตารางที่ง.1 น้ำหนักประมาณของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ค่าไอโอดีน

FIND M FOR CALCULATE IODINE NUMBER BY USING ASTM D4607

M				M			
E	C = 0.01	C = 0.02	C = 0.03	E	C = 0.01	C = 0.02	C = 0.03
300	3.766	3.300	2.835	1550	0.729	0.639	0.549
350	3.228	2.829	2.430	1600	0.706	0.619	0.531
400	2.824	2.475	2.126	1650	0.684	0.600	0.515
450	2.510	2.200	1.890	1700	0.664	0.582	0.500
500	2.259	1.980	1.701	1750	0.645	0.566	0.486
550	2.054	1.800	1.546	1800	0.628	0.550	0.472
600	1.883	1.650	1.417	1850	0.610	0.535	0.460
650	1.738	1.523	1.308	1900	0.594	0.521	0.447
700	1.614	1.414	1.215	1950	0.579	0.508	0.436
750	1.506	1.320	1.134	2000	0.565	0.495	0.425
800	1.412	1.237	1.063	2050	0.551	0.483	0.415
850	1.329	1.164	1.000	2100	0.538	0.471	0.405
900	1.255	1.100	0.945	2150	0.525	0.460	0.396
950	1.189	1.042	0.895	2200	0.513	0.450	0.388
1000	1.130	0.990	0.850	2250	0.502	0.440	0.378
1050	1.076	0.943	0.810	2300	0.491	0.430	0.370
1100	1.027	0.900	0.773	2350	0.481	0.421	0.362
1150	0.982	0.861	0.739	2400	0.471	0.412	0.354
1200	0.941	0.825	0.709	2450	0.461	0.404	0.347
1250	0.904	0.792	0.680	2500	0.452	0.396	0.340
1300	0.869	0.761	0.654	2550	0.443	0.388	0.333
1350	0.837	0.733	0.630	2600	0.434	0.381	0.327
1400	0.807	0.707	0.607	2650	0.426	0.374	0.321
1450	0.799	0.683	0.586	2700	0.418	0.367	0.315
1500	0.753	0.666	0.567	2750	0.411	0.360	0.3091

ภาคผนวก จ
วิธีวิเคราะห์ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูของถ่านกัมมันต์

วิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับสีน้ำเงินในน้ำตามวิธี JIS 1470-1975 มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

<u>เครื่องมือที่ใช้</u>

1. เครื่องเขย่าตามแนวราบ
2. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง
3. เครื่องเซนติฟิวจ์

<u>วิธีเตรียมสารละลาย</u>

1. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer solution)

- อบโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมงและทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นนาน 20 นาที

- ชั่งมา 9.0 กรัมแล้วละลายด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวมเป็น 1,000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตรสารละลายที่ได้นี้ คือ A

- อบโซเดียมโมโนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) ให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียสนาน2 ชั่วโมงและทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นนาน 20 นาที

- ชั่งมา 23.88 กรัมแล้วละลายด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวมเป็น 1,000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตรสารละลายที่ได้นี้คือ B

- นำสารละลาย A จำนวน 400 มิลลิลิตรผสมกับสารละลาย B จำนวน 600 มิลลิลิตรกวนให้เข้ากันจะได้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7

2. สารละลายเมทิลีนบลู

2.1 การเตรียม

อบสารเมทิลีนบลูให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมงและทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นนาน 20 นาทีชั่งมา 1.2060 กรัม (สมมุติว่ามีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5)ละลายด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ในข้อ 1. จนมีปริมาตรเป็น 4,000 มิลลิลิตรสารละลายที่ได้นี้มีความเข้มข้น 0.3000 มิลลิกรัมต่อกรัมกวนสารละลายอย่างน้อย 3 วันก่อนนำไปใช้

2.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน

ดูดสารละลายเมทิลีนบลูที่เตรียมได้มา 5.0 มิลลิลิตรเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตรให้สารละลายนี้คือ M ซึ่งมีความเข้มข้น 0.3000 มิลลิกรัมต่อกรัมเจือจางสารละลาย M ให้มีความเข้มข้นต่างๆดังนี้

ดูดมา 1.0 มล. เจือจางเป็น 100 มล. ความเข้มข้น = 0.00030 มก./มล.

ดูดมา 1.5 มล. เจือจางเป็น 100 มล. ความเข้มข้น = 0.00045 มก./มล.

ดูดมา 2.0 มล. เจือจางเป็น 100 มล. ความเข้มข้น = 0.00060 มก./มล.

ดูดมา 2.5 มล. เจือจางเป็น 100 มล. ความเข้มข้น = 0.00075 มก./มล.

ดูดมา 3.0 มล. เจือจางเป็น 100 มล. ความเข้มข้น = 0.00090 มก./มล.

วัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 663 นาโนเมตรบันทึกค่าการดูดกลืนแสงแล้วนำไปสร้างกราฟระหว่างแกนราบคือความเข้มข้นในหน่วย 100 มก./มล. แกนตั้งฉากคือค่า
การดูดกลืนจะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงมีความชันเท่ากับ tan θ
หมายเหตุค่า tan θเป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมได้
ในการทดลองนี้กำหนดว่าค่าดังกล่าวต้องอยู่ในช่วง 2.0 ถึง 2.2 เท่านั้นถ้าไม่ได้ค่าตามนี้ให้ถือว่าสารละลายที่เตรียมมาใช้ไม่ได้

<u>กรรมวิธีวิเคราะห์</u>

- บดและคัดขนาดตัวอย่างให้ละเอียดน้อยกว่า 250 μm (No. 60)

- อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นนาน 20 นาที

- ชั่งและบันทึกน้ำหนักเท่ากับ D ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือมีความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม) ในขวดชมพู่ขนาด 300 มิลลิลิตรซึ่งมีจุกปิด

- ใส่สารละลายเมทิลีนบลู 50 มิลลิลิตรปิดจุกแล้วเขย่าแรงๆ 10 วินาทีสังเกตดูว่าสีของสารละลายเจือจางหรือไม่ถ้าเจือจางให้ใส่สารละลายเมทิลีนบลูลงไปอีกครั้งละ 50 มิลลิลิตร

- เมื่อสีของสารละลายไม่เจือจางให้ใส่สารละลายเพิ่มอีก 50 มิลลิลิตรเพื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายที่จุดสมดุลของการดูดซับเท่ากับ 0.3 มก./ก. แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 2,500 รอบต่อนาทีนาน 30 นาที

- เทสารละลายส่วนบนลงในหลอดเซนติฟิวจ์แล้วนำไปเซนติฟิวจ์ด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาทีนาน 10 นาที

- ดูดสารละลายส่วนบนมา 0.5 มิลลิลิตรเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร (ค่าคงที่ของการเจือจาง, C = 100/0.5 = 200) ถ้าวัดการดูดกลืนแสงแล้วอยู่นอกช่วงของกราฟมาตรฐานให้เพิ่มปริมาตรหลังการเจือจางเช่นเจือจางเป็น 200 มิลลิลิตร (C = 400)เป็นต้น

- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 663 นาโนเมตรค่าการดูดกลืนแสง (Methylene blue adsorption, MB) (มิลลิกรัมต่อกรัม) คำนวณได้จาก

MB (mg/g) = [0.3000A/D] - [ABC/100Dtanθ]

โดย A = ปริมาตรของสารละลายเมทิลีนบลูที่ใช้ตอนเริ่มต้น, มิลลิลิตร

B = ค่าการดูดกลืนแสง

C = ค่าคงที่ของการเจือจาง = 200 (หรือ 400)

ภาคผนวก ฉ

สมบัติของถ่านกัมมันต์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สมบัติของถ่านกัมมันต์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอก. 900 – 2547 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆหลายประเภทเช่นใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและเภสัชกรรมใช้ฟอกสีในอุตสาหกรรมอาหารน้ำตาลน้ำมันพืชน้ำอัดลมโมโนโซเดียมแอล – กลูตาเมต (Monosodium L – Glutamate) ใช้ดูดก๊าซในก้นกรองบุหรี่เครื่องทำให้อากาศบริสุทธิ์ในโรงงานและใช้ในการกรองน้ำ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้มีดังนี้

2.1 ถ่านกัมมันต์หมายถึงถ่านที่มีคุณสมบัติดูดซับสีกลิ่นรสบางชนิดได้เป็นอย่างดีถ่านชนิดนีมี้โครงสร้างเป็นรูพรุนผลิตได้จากถ่านหินถ่านไม้ถ่านกะลามะพร้าวหรือถ่านกระดูกด้วยกรรมวิธีก่อกัมมันต์

2.2 ค่าไอโอดีน (Iodine number) หมายถึงจำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ 1 กรัมเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับเป็น 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

3. ชนิดและชั้นคุณภาพ

ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ

3.1 ชนิดผง (powdered activated carbon)

3.2 ชนิดเม็ด (granular activated carbon) แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพคือ

3.2.1 ชั้นคุณภาพพิเศษ (premium grade)

3.2.2 ชั้นคุณภาพที่ 1 (first grade)

3.3 ชนิดอัดเม็ด (pelletised activated carbon)

3.4 ชนิดแท่ง (block activated carbon)

4. ขนาด

4.1 ชนิดผงให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขายแต่ปริมาณที่ผ่านแร่ง 150 ไมโครเมตรต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก

4.2 ชนิดเม็ดและชนิดอัดเม็ดให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขายแต่ปริมาณที่ผ่านแร่ง 150 ไมโครเมตรต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

4.3 ชนิดแท่งให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

5.1.1 ชนิดผงต้องเป็นผงสีดำปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

5.1.2 ชนิดเม็ดและชนิดอัดเม็ดต้องเป็นเม็ดสีดำปราศจากสิ่งแปลกปลอมทีมองเห็นได้

5.1.3 ชนิดแท่งต้องเป็นแท่งปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

5.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

5.2.1 ชนิดผงต้องมีค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600 และความหนาแน่นปรากฏอยู่ในช่วง0.20 ถึง 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

5.2.2 ชนิดเม็ดต้องมีค่าไอโอดีนชั้นคุณภาพพิเศษไม่น้อยกว่า 1000 และชั้นคุณภาพที่ 1ไม่น้อยกว่า 600 ความชื้นร้อยละไม่เกิน 8 ความหนาแน่นปรากฏไม่น้อยกว่า 0.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละไม่น้อยกว่า 70

5.2.3 ชนิดอัดเม็ดต้องมีค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600 ความชื้นร้อยละไม่เกิน 8 ความหนาแน่นปรากฏไม่น้อยกว่า 0.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและความแข็ง (abrasionresistance) ร้อยละไม่น้อยกว่า 70

5.2.4 ชนิดแท่งต้องมีค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600 และความชื้นร้อยละไม่เกิน 8

ภาคผนวก ช

ผลการวิเคราะห์สมบัติของถ่านชาร์จากเปลือกทุเรียน
และถ่านชาร์จากเปลือกมังคุด

ตารางที่ ช.1 ค่าการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านชาร์จากเปลือกมังคุดจากการคาร์บอไนซ์ ณ ภาวะต่างๆ

ภาวะการคาร์บอไนซ์		Y (%wt)	On dry basis		
อุณหภูมิ (^{o}C)	**เวลา** (min)		Ash (%wt)	VM (%wt)	FC (%wt)
350	30	59.23	6.51	42.77	50.72
	60	57.72	7.10	40.96	51.94
	90	54.88	7.81	39.53	52.66
	120	52.31	8.86	36.04	55.10
400	30	50.66	8.59	35.14	56.27
	60	47.29	9.09	33.33	57.58
	90	44.82	9.86	30.50	59.64
	120	41.37	10.02	29.45	60.53
450	30	42.66	9.12	29.03	61.85
	60	40.35	10.33	27.12	62.55
	90	37.79	11.26	24.71	64.03
	120	36.00	11.46	23.08	65.46
500	30	35.46	9.34	22.84	67.82
	60	33.82	11.23	20.57	68.20
	90	32.58	12.94	17.40	69.66
	120	31.06	15.05	14.28	70.67

ตารางที่ ซ.2 ค่าการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านชาร์จากเปลือกมังคุดจากการคาร์บอไนซ์ ณ ภาวะต่างๆ

ภาวะการคาร์บอไนซ์		Y (%wt)	On dry basis		
อุณหภูมิ (^{o}C)	เวลา (min)		Ash (%wt)	VM (%wt)	FC (%wt)
350	30	61.16	4.57	41.28	54.15
	60	54.26	4.96	40.41	54.63
	90	51.50	5.45	38.95	55.60
	120	50.16	5.87	37.49	56.64
400	30	48.36	6.05	36.24	57.71
	60	45.23	6.16	34.12	59.72
	90	45.20	6.54	32.77	60.69
	120	44.80	6.86	30.59	62.55
450	30	43.70	6.71	29.65	63.64
	60	41.56	6.99	28.47	64.54
	90	39.96	7.27	27.36	65.37
	120	39.60	7.83	26.11	66.06
500	30	39.50	7.79	24.67	67.54
	60	37.00	8.16	22.81	69.03
	90	36.83	8.79	19.70	71.51
	120	35.70	9.31	18.62	72.07

ภาคผนวก ซ

ผลการวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน
และถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด

ตารางที่ ซ.1 สมบัติของการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ณ เวลา และอุณหภูมิต่างๆ

ภาวะการกระตุ้น		Yield (%wt)	Dry basis			
อุณหภูมิ (^{o}C)	เวลา (min)		BD	Ash	IA	MB
650	30	78.52	0.4897	12.87	292.74	134.54
	60	77.18	0.4878	13.43	315.89	142.67
	90	75.43	0.4859	14.92	353.61	151.91
	120	73.68	0.4832	16.21	386.23	159.24
700	30	74.45	0.4847	16.88	405.37	163.82
	60	72.24	0.4825	18.57	442.72	169.71
	90	70.95	0.4813	20.16	487.95	176.98
	120	69.12	0.4802	21.72	538.75	182.43
750	30	68.22	0.4809	22.31	562.34	186.51
	60	66.74	0.4794	22.94	597.42	193.12
	90	63.28	0.4782	24.11	636.81	202.78
	120	60.63	0.4766	24.78	684.28	214.17
800	30	58.42	0.4771	24.93	735.78	218.62
	60	55.57	0.4758	25.27	787.48	237.16
	90	50.16	0.4742	26.36	754.26	223.41
	120	46.46	0.4733	27.18	736.59	217.86

ตารางที่ ซ.2 สมบัติของการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด ณ เวลา และอุณหภูมิต่างๆ

ภาวะการกระตุ้น		Yield (%wt)	Dry basis			
อุณหภูมิ (^{o}C)	**เวลา** (min)		BD	Ash	IA	MB
650	30	84.24	0.5613	9.85	305.27	142.89
	60	81.11	0.5592	11.69	320.18	154.98
	90	78.76	0.5587	13.11	375.66	163.90
	120	77.13	0.5563	14.62	401.44	169.54
700	30	80.88	0.5574	14.93	427.21	173.33
	60	77.25	0.5559	15.87	458.96	182.56
	90	73.44	0.5538	17.24	512.35	189.49
	120	71.27	0.5517	18.15	560.20	195.89
750	30	70.56	0.5526	18.34	594.64	207.64
	60	67.18	0.5508	18.87	625.82	216.57
	90	64.54	0.5493	19.45	654.20	225.78
	120	61.20	0.5471	20.83	669.09	231.67
800	30	62.86	0.5465	21.61	744.43	233.48
	60	61.19	0.5442	22.07	775.34	237.85
	90	58.96	0.5421	22.48	824.57	243.89
	120	54.21	0.5403	23.27	752.69	226.85

ภาคผนวก ณ

ผลของการกำจัดสีในโมลาสของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด และถ่านกัมมันต์ทางการค้า

ตารางที่ ณ.1ผลของการกำจัดสีในโมลาสของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน

Time	Abs_0	Abs_t	% Removal
30	3.236	0.782	75.83
60	3.117	0.375	87.96
90	3.232	0.133	95.88
120	3.223	0.179	94.44

ตารางที่ ณ.2ผลของการกำจัดสีในโมลาสของถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด

Time	Abs_0	Abs_t	% Removal
30	3.228	0.474	85.31
60	3.226	0.045	98.60
90	3.119	0.098	96.85
120	3.115	0.076	97.56

ตารางที่ ณ.3 ผลของการกำจัดสีในโมลาสของถ่านกัมมันต์ทางการค้า

Time	Abs_0	Abs_t	% Removal
30	3.112	1.136	63.49
60	3.232	0.521	83.87
90	3.167	0.193	93.90
120	3.227	0.287	91.07

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กษิต แหลมทองมงคล. 2551. การผลิตถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากผงแอนทราไซต์ด้วยตัวประสานกากน้ำตาล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชนิตา เสมรัตถ์. 2543. ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เดชา ฉัตรศิริเวช. 2552. กระบวนการดูดซับ (Adsorption Processes). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิชชรี นิลนนท์. 2540. การผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและคาร์บอนไดออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมีเทคนิคคณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุญชัย ตระกูลมหาชัย. 2537. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนดในฟลูอิไดซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประพิณ ทัพกาญจนะ. 2548. การศึกษาความสำคัญของตัวแปรในกระบวนการกระตุ้นต่อคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ภควดี สุขอนันต์. 2553. การศึกษาสมบัติและคุณลักษณะของพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่เตรียมแบบ 1 ขั้นและ 2 ขั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 41(3/1)(พิเศษ): 285-288.

ธราพงษ์ วิทิตศานต์. 2553. ถ่านกัมมันต์การผลิตและการนำไปใช้. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรรษกร ใจประดับเพชร. 2549. การกำจัดแคดเมียมและสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และเมล็ดมะขาม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลลิดา นิทัศนจารุกุล. 2544. การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิจิตร จินดาพันธ์ไพโรจน์. 2543. การผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสโดยการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุวรรณา เจ๊กมะดัน. 2554. เรื่องของถ่าน (Activated carbon).วารสารออนไลน์ปีที่1. [ออนไลน์] แหล่งที่มา:http://www.etc1992.co.th/index.php/journal-online-1/jun2011/805-activated-carbon.html [12มกราคม 2555].

สราวุธ ศรีคุณ. 2550. การศึกษาการดูดซับสีย้อมและไอออนโลหะตะกั่ว ด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสหกรรมถ่านกัมมันต์. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน. 2554. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตรที่สำคัญ. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร,กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ประเทศไทย.[ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=9704 [9 กุมภาพันธ์ 2555].

อลิสรา นิติวัฒนะ. 2553. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาแมคาเดเมียโดยการกระตุ้นทางกายภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

<u>ภาษาอังกฤษ</u>

Ahmad, M and Alrozi, R. 2010. Optimization of preparation conditions for mangosteen peel-based activated carbons for the removal of Remazol Brilliant Blue R using response surface methodology. <u>Chemical Engineering Journal</u> 165 (2010): 883 – 890.

Bansal, R.C.,Donnect, J. and Stoeckli, F. 1988. <u>Active carbon</u> New York: MarcelDekker, United State of America.

Chandra, T., Mirna, M., Sunarso, J., Sudaryanto, Y. and Ismadji, S. 2008. Activated carbon from durian shell: Preparation and characterization. <u>Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers</u> 40 (2009): 457-462.

Cheremisinoff, P.N. and Ellerbusch, F. 1987. <u>Carbon Adsorption Handbook</u> Michigan: Ann Arbor Science Publishers. Inc.

Daud, W.and Ali, W. 2003. Comparison on pore development of activated carbon produced from palm shell and coconut shell. <u>Journal of Bioresource Technology</u> 93 (2004): 63-69.

Hu, Z. and Srinivasan, M.P. 1998. Preparation of high-surface activated carbons from coconut shell. <u>Journal of Microporous and Mesoporous Materials</u> 27 (1999): 11-18.

Ismadji, S. Sudaryanto, Y. Hartono, S.B. Setiawan, L.E.K. and Ayucitra. 2004. Activated carbon from vacuum pyrolysis of teak sawdust: pore structure development and characterization. <u>Bioresource Technolog</u> 96 (2005) : 1364-1369.

Malik P.K. 2003. Use of activated carbons prepared from sawdust and rice-husk for adsorption of acid dyes: a case study of acid yellow 36. <u>Dyes and Pigments</u> 56 (2003): 239–249.

Metcalf and Eddy. 1991. Wastewater Engineering Treatment Disposal and Reuse. International Editions. <u>Civil Engineering Series Singapore</u> : McGraw-Hill Co.

Nuithikul, K., Srikhum, S. and Hirunpraditkoon, S. 2009. Influence of pyrolysis condition and acid treatment on properties of durian peel-based activated carbon. <u>Journal of Bioresource Technology</u> 101 (2010): 426-429.

Nuithikul, K., Srikhum, S. and Hirunpraditkoon, S. 2009. Kinetics and equilibrium adsorption of Basic Green 4 dye on active carbon derived from durian peel: Effects of pyrolysis and.post-treatment conditions Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 41(2010): 591-598.

Villegas, P. and Valle, D. 2002. Pore structure of activated carbons prepared by carbon dioxide and steam activation at different temperatures from extracted rockrose. Journal of Carbon 40: 397– 402.

Suzuki, R., Andrade, A., Sousa, J. and Rollemberg, M. 2007. Preparation and characterization of activated carbon from rice bran. Journal of Bioresource Technology 98: 1985–1991.

Rouquerol,F., Rouquerol, J. and Sing, K. S. W. 1999. Adsorption by powders and poroussolid: Principles methodology and application London: Academic Press.

Sun, K. and Jiang, J. 2010. Preparation and characterization of activated carbon from rubber-seed shell by physical activation with steam.Biomass and Bioenergy 34: 539-544.

Teng, H. and Lin, H. 1998. Activated catbon production from low ash subbituminous coal with CO_2 activation.AIChE Journal 44(5): 1170-1177.

Yang, J. and Qiu, K. 2010. Preparation of activated carbons from walnut shells via vacuum chemical activation and their application for methylene blue removal. Journal of Carbon 165: 209-217.

Yang, K. and Peng, K. 2010. Textural characteristics of activate carbon by single step CO2 activation from coconut shells. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 41: 367-372.

Zabaniotou, A., Stavropoulos, G. and Skoulou, V. 2008. Activated carbon from olive kernels in a two-stage process: Industrial improvement. Journal of Bioresource Technology 99: 320–326.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววัลยา วิศาลบรรณวิทย์ เกิดเมื่อวันพุธที่ 29 เมษายน พ.ศ.2530 ที่จังหวัดฉะเชิงเทรา จบการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาพืชไร่ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อ พ.ศ.2551 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ.2552 ได้ส่งผลงานเข้าร่วมการประชุมวิชาการระดับชาติ และได้รับรางวัลการนำเสนอผลงานแบบบรรยาย ประเภทดี จากงานวิทยาศาสตร์วิจัยครั้งที่4 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก