

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตแผ่นกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม

โดยการกระตุ้นทางเคมี



T107779



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...107779
วัน,เดือน,ปี... 14 พ.ค. 2553

b.....12212593
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Production of Activated Carbon from Bamboo Cylinder Waste using as
a Container of Baked Glutinous Rice by Chemical Activation**



A Special Project submitted in Partial Fulfillment of the Requirement of the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การผลิตถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุ
ข้าวหลามโดยการกระตุ้นทางเคมี

นักศึกษา นางสาว เพ็ญศรี กุลอารีรัตน์
นางสาว อัญชลี ลิขิตสกุลมีชัย
นาย อานนท์ สิริทิเวช

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ. กรองแก้ว ทัพยศักดิ์	
กรรมการ	ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์	
กรรมการ	ผศ.ดร. อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	



(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การผลิตถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม โดยการกระตุ้นทางเคมี
นักศึกษา	นางสาวเพ็ญศรี กุลอารีย์รัตน์ นางสาวอัญชุลี ลิขิตสกุลมีชัย นายอานนท์ สิทธิเวช
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามโดยการกระตุ้นทางเคมี ขั้นตอนการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การเผาถ่านแบบท้องถื่นและการกระตุ้นทางเคมี ขั้นตอนแรกเป็นการเผาถ่านจากกระบอกข้าวหลามด้วยวิธีการเผาแบบท้องถื่น ในขั้นตอนนี้พบว่าถ่านที่ได้มีปริมาณคาร์บอนคงตัวเท่ากับ 60.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกระตุ้นทางเคมีคือ ชนิดของสารเคมี อัตราส่วนระหว่างสารเคมีต่อถ่าน อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น จากการศึกษาชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นพบว่าถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ตามลำดับ เมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่อัตราส่วนระหว่างสารเคมีต่อถ่านเท่ากับ 2:1 อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส ทำการกระตุ้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีผลผลิตเท่ากับ 79.50 % ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ให้ผลผลิตเท่ากับ 86.88% และ 83.14% ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ พื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนที่พบในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) มีค่ามากกว่าซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ตามลำดับ จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น พบว่าถ่านที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนระหว่างสารเคมีต่อถ่าน 2:1 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 748 ค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.28 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ร้อยละของปริมาณเถ้า 3.35 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีลักษณะพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์, การเผาแบบท้องถื่น, คาร์บอนคงตัว, ไอโอดีนนัมเบอร์, ความหนาแน่น
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ปรากฏ

Special Project Title	Production of Activated Carbon from Bamboo Cylinder Waste Using as a Container of Baked Glutinous Rice by Chemical Activation
Name	Miss. Pensri Kulareerat Miss. Anchulee Likhitsakulmeechai Mr. Arnon Sitdhivej
Department	Chemistry
Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2006
Special Project Advisor	Asst. Prof. Usarat Thawornchaisit. Ph.D

Abstract

This special project studied potential production of activated carbon from bamboo cylinder waste using as a container of baked glutinous rice by chemical activation process. The studied was carried out in two steps, local carbonization and chemical activation. The first step was preparation of char from bamboo cylinder waste by local carbonization. In this step, it was found that char from bamboo cylinder waste contained fixed carbon of 60.20%. Then factors offering chemical activating process were studied. These factors were type of activation chemicals; Impregnation ratio; temperature; and activation times. Results from types of activation chemical showed that char being activated with KOH yields a better quantity and quality of activated carbon than char being activated with $ZnCl_2$ and H_3PO_4 , respectively when using KOH at impregnation ratio of 2:1, temperature of $600^\circ C$, activation time of 1 hr, yield was 79.50%, while a yield of 86.88% and 83.14% were obtained when using $ZnCl_2$ and H_3PO_4 as activation chemical. In addition Iodine number and surface found in activated carbon using KOH as chemical agents was higher than iodine number found in activated carbon using $ZnCl_2$ and H_3PO_4 , respectively. Study on effect of activation time showed that char being activated with KOH using impregnation ratio of 2:1, temperature of $600^\circ C$, activation time of 2 hr. highest iodine number of 748, apparent density of 0.28 g/cm^3 , ash content of 3.35 % by weight and highest surface area.

Keywords: Activated Carbon, local carbonization, Fixed Carbon, Iodine number, apparent density

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีในครั้งนี้ ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษา เสนอแนะแนวทางให้คำแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องมาอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ กรรมการควบคุมโครงการพิเศษที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะและคำติชมเพิ่มเติมทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์ หัวหน้าศูนย์วิจัยและตรวจสอบคุณภาพถ่านกัมมันต์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการผลิตถ่านกัมมันต์

ขอบคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกอย่างยิ่งในด้านอุปกรณ์ สารเคมี และงานด้านเอกสารต่างๆ

ขอขอบคุณ ร้านแม่ไข่ ที่ให้ความอนุเคราะห์กระบอแก้วหาลามที่เหลืองทิ้งเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ รวมทั้งให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจและคำปรึกษา มาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบพระคุณ

เพ็ญศรี กุลอารีรัตน์

อัญชุลี ลิจิตสกุลมีชัย

อานนท์ สิทธิเวช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความหมายและชนิดของถ่านกัมมันต์	5
2.2 วัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์	8
2.3 กระบวนการคาร์บอน	10
2.4 กระบวนการกระตุ้น	14
2.5 หลักการวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์	21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	31
3.2 ศึกษาวิธีการเตรียมถ่านจากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าว หลาม โดยใช้วิธีการเผาแบบท้องถื่น	32
3.3 ศึกษาผลของชนิดสารเคมี อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน และอุณหภูมิในการ กระตุ้นต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการ บรรจุข้าว หลาม	33
3.4 ศึกษาผลของเวลาในการกระตุ้นต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ ที่ผลิตจากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณ (Proximate Analysis) ของกระบอกไม้ไผ่ ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามก่อนการเผาให้เป็ถ่าน	36
4.2 ผลศึกษาการเตรียมถ่านจากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม โดยใช้วิธีการเผาแบบท้องถื่น	37
4.3 ผลของสารเคมี อัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่าน และอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น ต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม	38
4.4 ผลของเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม	54
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	60
5.2 ข้อเสนอแนะ	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก Thermo gravimetric Analysis	65
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์	66
ภาคผนวก ค มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์	71
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ปริมาณการนำเข้าถ่านกัมมันต์ของประเทศไทย	2
2.1 สมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์และการใช้ประโยชน์	9
2.2 ผลของอัตราการให้ความร้อนที่มีผลต่อสมบัติของถ่านชาร์	13
2.3 สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์	15
2.4 สมบัติของซิงค์คลอไรด์	17
2.5 สมบัติของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	19
2.6 เปรียบเทียบการเตรียมถ่านกัมมันต์และคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ของผู้วิจัยต่างๆ	30
4.1 สมบัติโดยประมาณของกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามก่อนการเผาให้เป็นถ่าน	36
4.2 สมบัติโดยประมาณของกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามหลังการเผาให้เป็นถ่าน	38
ก.1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ผง	71
ก.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์เม็ด	71
ง.1 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้นต่างๆกัน	75
ง.2 ผลของชนิดสารเคมี อัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่าน และอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม	78
ง.3 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากสภาวะการกระตุ้นต่างๆ	79
ง.4 ผลของชนิดสารเคมี อัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่าน และอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม	88
ง.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นปรากฏของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้นต่างๆกัน	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.6 ผลของสารเคมี อัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่าน และ อุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อค่าความหนาแน่นปรากฏของถ่านกัมมันต์จากกระบอกล้มไฟที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม	92
ง.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสถานะการกระตุ้นต่างๆ	93
ง.8 ผลของสารเคมี อัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่านและอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์จากกระบอกล้มไฟที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม	96
ง.9 ผลของระยะเวลาต่อร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ที่ระยะเวลาในการกระตุ้นต่างๆกัน	97
ง.10 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียม ได้ที่ระยะเวลาในการกระตุ้นต่างๆกัน	97
ง.11 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นปรากฏของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ที่ระยะเวลาในการกระตุ้นต่างๆกัน	98
ง.12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ที่เตรียม ได้จากระยะเวลาในการกระตุ้นต่างๆกัน	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	ขนาดของรูปพรรณ	7
2.2	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอนไนซ์	11
2.3	การเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมตามอุณหภูมิที่เผา	12
2.4	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเมื่อใช้ซิงค์คลอไรด์	16
2.5	ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางเคมี	20
3.1	ถึงขนาด 200 ลิตร	33
3.2	หม้อดินเผา	34
4.1	ถ่านจากกระบอกไม้ไผ่ที่ได้จากการเผาแบบห้องดิน	37
4.2	ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ และกรดฟอสฟอริก อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	39
4.3	ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย (ก) ซิงค์คลอไรด์ (ข) โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ และ (ค) กรดฟอสฟอริก อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1 อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 °C ตามลำดับ	40
4.4	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ และกรดฟอสฟอริก ตามลำดับ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	42
4.5	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย (ก) ซิงค์คลอไรด์ (ข) โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ (ค) ฟอสฟอริก ที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 °C ตามลำดับ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1 ตามลำดับ	43
4.6	ความหนาแน่นปรากฏของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ และกรดฟอสฟอริก ตามลำดับ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.7	ความหนาแน่นปรากฏของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย (ก) ซิงค์คลอไรด์ (ข) โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ (ง) กรดฟอสฟอริก ที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 ° C ตามลำดับ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1	46
4.8	ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ และกรดฟอสฟอริก อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1 ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	48
4.9	ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย (ก) ซิงค์คลอไรด์ (ข) โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ (ค) กรดฟอสฟอริกที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 ° C อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1	49
4.10	ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านจากกระบอกลไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม โดยการเผาแบบห้องดิน กำลังขยาย 2000 เท่า	51
4.11	ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 2:1 อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 2000 เท่า	52
4.12	ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 2:1 อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 2000 เท่า	52
4.13	ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 2:1 อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 2000 เท่า	53
4.14	ผลของเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อร้อยละผลผลิต	54
4.15	ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์	55
4.16	ผลของระยะเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อความหนาแน่นปรากฏ	56
4.17	ผลของระยะเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อปริมาณเถ้า	57
4.18	ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 2:1 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง กำลังขยาย 2000 เท่า	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.19	ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 2:1 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง กำลังขยาย 2000 เท่า	59
ก.1	รูปแสดงการวิเคราะห์ TGA	65
ง.1	ผลการวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามโดยเทคนิค TGA	73
ง.2	ผลการวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามที่ได้จากการเผาแบบท้องถิ่นโดยเทคนิค TGA	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการนำเข้าถ่านกัมมันต์ของประเทศไทย (กรมศุลกากร, 2544-2548)

ปี (พ.ศ.)	การนำเข้า	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2544	3121	156.12
2545	3279	145.20
2546	3494	145.81
2547	4162	155.82
2548	4803	204.88

ประเทศไทยมีการใช้ประโยชน์จากต้นไผ่มาตั้งแต่ในสมัยอดีตจนถึงปัจจุบัน อาทิเช่น การทำเครื่องจักสาน การทำเฟอร์นิเจอร์เพื่อส่งออกไปขายยังต่างประเทศ ใช้เป็นเชื้อกระดาษในอุตสาหกรรมกระดาษ ใช้เป็นอุปกรณ์การประมง เป็นต้น การนำลำต้นของไม้ไผ่มาใช้เป็นวัสดุบรรจุอาหาร เช่น การทำข้าวหลาม เป็นแนวทางหนึ่งของการใช้ประโยชน์จากต้นไผ่ ปัญหาที่เกิดขึ้นภายหลังจากการบริโภคข้าวหลามแล้วคือ จะมีกระบอกข้าวหลามเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ส่งผลต่อการจัดการด้านขยะมูลฝอยภายในพื้นที่ แม้ว่ากระบอกข้าวหลามจะเป็นของเหลือทิ้ง แต่ก็นับว่าเป็นวัสดุคืบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบจำนวนมากที่สามารถนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ดังนั้น โครงการพิเศษนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกระบอกข้าวหลามที่เหลือทิ้งโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี หากเป็นไปได้จะช่วยลดปัญหาด้านขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นแล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่กระบอกข้าวหลามที่เหลือทิ้งอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอากระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางเคมี
2. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมถ่านจากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามโดยใช้วิธีการเผาแบบท้องถิ่น
3. เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางเคมี
4. เพื่อเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติโดยประมาณ (Proximate Analysis) ของกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม โดยสมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหยและปริมาณคาร์บอนคงตัว
2. ศึกษาวิธีการเตรียมถ่านจากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามโดยใช้วิธีการเผาแบบท้องถิ่น จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปศึกษา ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ความหนาแน่นปรากฏ และปริมาณเถ้า
3. ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางเคมี โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ชนิดของสารเคมี อัตราส่วนระหว่างสารเคมีต่อถ่าน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความเป็นไปได้ในการนำกระบอกไม้ไผ่ซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามมาผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางเคมี
2. ทราบถึงวิธีการผลิตถ่านจากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามโดยใช้วิธีการเผาแบบท้องถิ่น
3. ทราบถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายและชนิดของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูงมีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532)

ชนิดของถ่านกัมมันต์

การแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์นั้นสามารถแบ่งโดยใช้หลักการแบ่งหลายอย่าง ตัวอย่างการแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์ได้แก่

2.1.1 แบ่งตามลักษณะรูปร่าง

ก. ประเภทเป็นผง (Powder) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร (μm) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผงใช้สำหรับฟอกสีในของเหลว ดูดกลิ่นในสารละลายได้หลายชนิด

ข้อดีของถ่านกัมมันต์แบบผง

- ถ่านกัมมันต์แบบผงมีราคาถูกกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดประมาณ 2-3 เท่า
- การลดหรือเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์สามารถกระทำได้ที่และสะดวก
- ไม่ต้องมีการลงทุนเบื้องต้นเป็นจำนวนมากเพราะการใช้ถ่านกัมมันต์แบบผงเหมือนกับการใช้สารเคมีอื่นๆ สิ่งที่ต้องการมีเพียงเครื่องบ่อนถ่านกัมมันต์แบบผง
- การดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเพราะโมเลกุลหรือคอลลอยด์สามารถสัมผัสกับผิวของ ถ่านกัมมันต์แบบผงได้ง่าย

ข้อเสียของถ่านกัมมันต์แบบผง

- การฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) มักไม่ประหยัดและไม่คุ้มค่า ดังนั้นการใช้ถ่านกัมมันต์แบบผงจึงเป็นแบบใช้แล้วทิ้งไป
- ปกติจะต้องใช้ถ่านกัมมันต์แบบผงไม่น้อยกว่า 25-50 มิลลิกรัมต่อลิตรของน้ำ ตัวอย่างเพื่อกำจัดอินทรีย์สารออกจากน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. **ประเภทเม็ด** เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

- Pellet activated carbon มีรูปร่างขึ้นอยู่กับเครื่องอัด ใช้สำหรับทำก๊าซให้บริสุทธิ์หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใสแล้วบริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการ ปฏิกิริยาของก๊าซ และใช้ทำหน้าที่กักป้องกันก๊าซ และไอพิษต่างๆ

- Granular activated carbon มีรูปร่างไม่แน่นอน ใช้สำหรับทำก๊าซให้บริสุทธิ์ หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใสแล้วบริสุทธิ์

ข้อดีของถ่านกัมมันต์แบบเม็ด

- ถ่านกัมมันต์แบบเม็ด มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเม็ดทรายกรองแข็งแต่เปราะและเบากว่าทราย

- ถ่านกัมมันต์แบบเม็ดที่ใช้และเสื่อมสภาพ สามารถนำกลับมาทำการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) และนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ข้อเสียของถ่านกัมมันต์แบบเม็ด

- ถ่านกัมมันต์แบบเม็ดมีราคาสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบผง ประมาณ 2-3 เท่า

- การฟื้นฟูสภาพทุกครั้งจะต้องมีการสูญเสียถ่านกัมมันต์แบบเม็ดไปประมาณ 5%

2.1.2 แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น

ก. การกระตุ้นทางเคมี เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้สารเคมีเป็นสารกระตุ้น ถ่านพวกนี้มักจะมีรูพรุนขนาดใหญ่

ข. การกระตุ้นทางกายภาพ เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ก๊าซออกซิไดซ์เป็นสารกระตุ้น เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็กนิยมใช้ในการดูดซับก๊าซ และไอระเหย

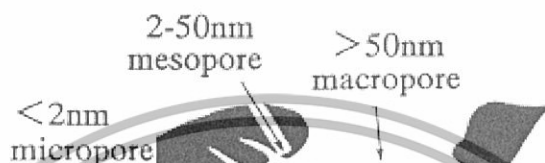
2.1.3 แบ่งตามขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ก. **Micropore** เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 2 นาโนเมตร (nm) มักนำไปใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการดูดซับก๊าซ และไอระเหย

ข. **Mesopore** หรือ Transitional pore เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีรูพรุนประมาณ 2 ถึง 50 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic reaction) ดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น การฟอกสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. **Macropore** เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 50 นาโนเมตร โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ แต่เป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูพรุนเล็กได้ง่ายขึ้น มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสี และการผลิตยา



รูปที่ 2.1 ขนาดของรูพรุน (Satith, 2003)

2.1.4 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

ก. ความหนาแน่นต่ำ มักใช้ประโยชน์ในสถานะที่เป็นสารละลาย เช่น ใช้ฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือทำน้ำให้บริสุทธิ์

ข. ความหนาแน่นสูง ใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย

2.1.5 แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

ก. สำหรับดูดซับก๊าซ (Gas adsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับก๊าซพิษ ก๊าซกลิ่นและไอของสารอินทรีย์ส่วนมาก เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านประเภท Hard Artificial Char ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้ และถ่านไม้ที่เผาที่ความดันสูง

ข. สำหรับดูดซับสี (Colour adsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวฟอกสี ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่เกิดจากการเผาถ่านประเภท Soft Artificial Char ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากถ่านไม้ ถ่านชานอ้อย ถ่านจากเกล็ด ถ่านจากถ่านหินน้ำมัน และถ่านจากกากน้ำตาล

ค. สำหรับดูดซับโลหะ (Metal adsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่เป็นตัวแยกพวกโลหะต่างๆ เช่น ถ่านที่ใช้ในการแยกทอง เงิน แพลตตินัม และแร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยวัตถุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ขึ้น วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมคือ พีท ถ่านหิน ลิกไนต์ ไม้ และกะลามะพร้าว เนื่องจากสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มี ประสิทธิภาพในการดูดซับสูง และมีรูพรุนขนาดเล็กสูง ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ควรมี สมบัติดังนี้

- เป็นของเหลือทิ้ง หรือเป็นของที่มีราคาถูก
- มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูง
- มีคุณสมบัติคงที่
- มีปริมาณสารระเหยต่ำ

วัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบ โดยตรงมักเป็นพวกอินทรีย์วัตถุ (หมายถึงสารที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ) เป็นส่วนใหญ่ สามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

- พวกเซลล์ูโลสที่มีจากพืช เช่น แกลบ กะลามะพร้าว ชี้เลื้อย หรือซังข้าวโพด
- พวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ พีท (peat)
- ส่วนต่างๆ ของสัตว์ เช่น เลือด กระดูก

สำหรับวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในรูปถ่าน มักเป็นถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์อินทรีย์วัตถุหรือที่เรียกว่าถ่านสังเคราะห์ (Artificial char) หรืออาจเป็นถ่านที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (natural char) เช่น ถ่านหิน ก็ได้ ถ่านสังเคราะห์ยังแบ่งออกตามอินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็น 2 ประเภท คือ

- ถ่านสังเคราะห์เนื้อแข็ง (hard artificial char) เช่น ถ่านน้ำตาล ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ที่ความดันสูง
- ถ่านสังเคราะห์เนื้ออ่อน (soft artificial char) เช่น ถ่านไม้ ถ่านชานอ้อย ถ่านแกลบ ถ่านหินน้ำมัน กากน้ำมัน

ตัวอย่างคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์แสดงในตารางที่ 2.1 จะเห็นว่ามักใช้วัสดุที่มีค่าเถ้าต่ำ หนึ่งสมบัติของถ่านกัมมันต์ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบ จากตาราง 2.1 จะสังเกตได้ว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำและสารระเหยสูง เช่น ไม้ ลิกนิน ฯลฯ มักได้ถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาตรของรูพรุน (pore volume) สูง และความหนาแน่นต่ำ ซึ่งใช้ดูดซับในสารละลายได้ดี แต่ดูดซับแก๊สไม่ดี ส่วนวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง และมีสารระเหยต่ำ เช่น กะลามะพร้าว ฯลฯ จะทำให้ ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก (micropore volume) สูง สามารถใช้ดูดซับได้ทั้งในสารละลายและแก๊ส อย่างไรก็ตามสมบัติของถ่านกัมมันต์ยังขึ้นกับปัจจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่นๆอีกเช่น วิธีการผลิต สภาพที่ใช้ในการเตรียม เป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะระบุให้แน่นอนว่าวัสดุชนิดใดจะใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมกับงานใด

ตารางที่ 2.1 สมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์และการใช้ประโยชน์

วัสดุ	ค่าคาร์บอน (%)	ค่าสารระเหย (%)	ความหนาแน่น (%)	ค่าเถ้า (%)	การใช้ประโยชน์
ไม้เนื้ออ่อน	40-45	55-60	0.40-0.50	0.3-1.1	การดูดซับในสารละลาย
ไม้เนื้อแข็ง	40-42	55-60	0.55-0.80	0.3-1.2	การดูดซับในสารละลาย
ลิกนิน	35-40	58-60	0.30-0.40	-	การดูดซับในสารละลาย
เปลือกถั่ว	40-50	55-60	1.40	0.5-0.6	การดูดซับไอ
ลิกไนต์	55-70	25-40	1.00-1.35	5.0-6.0	การบำบัดน้ำเสีย
ถ่านหินเนื้ออ่อน	65-80	20-30	1.25-1.50	2.0-12	การดูดซับในสารละลาย และไอ
ถ่านหินเนื้อกึ่งแข็ง	70-75	10-15	1.45	5-15	การดูดซับไอ
ถ่านหินเนื้อแข็ง	85-95	5-10	1.50-1.80	2-15	การดูดซับไอ
ปิโตรเลียม ค็อก	70-85	15-20	1.35	0.5-0.7	การบำบัดน้ำเสีย

ที่มา: Satish, 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กระบวนการคาร์บอไนซ์

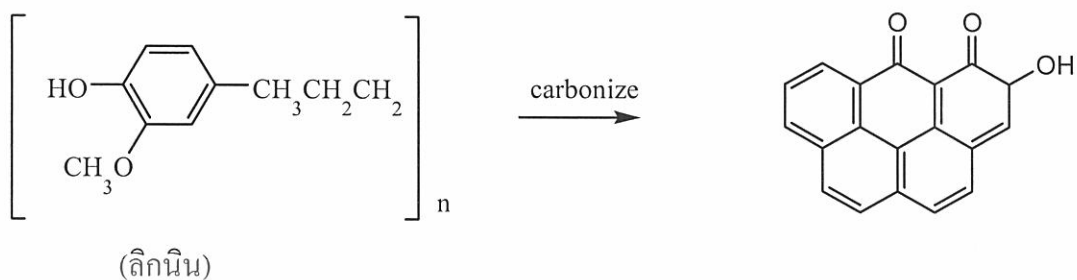
กระบวนการคาร์บอไนซ์เป็นการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ซึ่งเกิดขึ้นในที่อับอากาศเพื่อเพิ่ม สัตว์คาร์บอนของสารอินทรีย์ ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นของเหลวและแก๊สออกมา ด้วย โดยโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เสื่อมกลายเป็น โครงสร้างของถ่านชาร์ ส่วนกลุ่ม โครงสร้างโมเลกุลหรือหมู่ที่มีขนาดเล็กจะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันชาร์ และแก๊สต่างๆ

ขั้นตอนในการคาร์บอไนซ์จัดว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากการคาร์บอไนซ์จะมีการเริ่มการสร้างโครงสร้างรูพรุน เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และน้ำจะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของแก๊สและน้ำมันชาร์ จากนั้นจะได้ถ่านชาร์ที่มีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบซึ่งจะมีช่องว่างรูพรุนระหว่างผลึกโดยจะมีสารอินทรีย์ที่เป็นชาร์ไปอุดช่องว่างเหล่านั้น ในส่วนประกอบของถ่านชาร์ที่ได้จะมี อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจน และคาร์บอนต่อออกซิเจน เพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบตอนแรก ด้วย

2.3.1 การเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการคาร์บอไนซ์

1. เมื่อให้ความร้อนแก่วัตถุดิบจนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากกว่า 100 องศาเซลเซียส น้ำและสารอินทรีย์ที่ระเหยภายใต้อุณหภูมิต่ำถูกกำจัดออกไป
2. เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 170 องศาเซลเซียส เกิดการสลายตัวของโครงสร้างในรูปของสารประกอบคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก
3. ในช่วงอุณหภูมิ 270-280 องศาเซลเซียส จะมีการแตกสลายของสารอินทรีย์เกิดเป็น สารประกอบไฮโดรคาร์บอน เมทานอล และสารอื่นๆ กระบวนการที่เกิดขึ้นในขั้นนี้เป็น กระบวนการคายความร้อน
4. กระบวนการคายความร้อนสิ้นสุดที่อุณหภูมิประมาณ 350 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่ม อุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 400-600 องศาเซลเซียส สารพวกพาร์และสารระเหยยากจะถูกกำจัดออกไป
5. เมื่อสิ้นสุดกระบวนการนี้จะได้ถ่านชาร์เป็นผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. 2 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอนไนซ์ (ปิยะพร, 2542)

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการคาร์บอนไนซ์

1. อุณหภูมิ

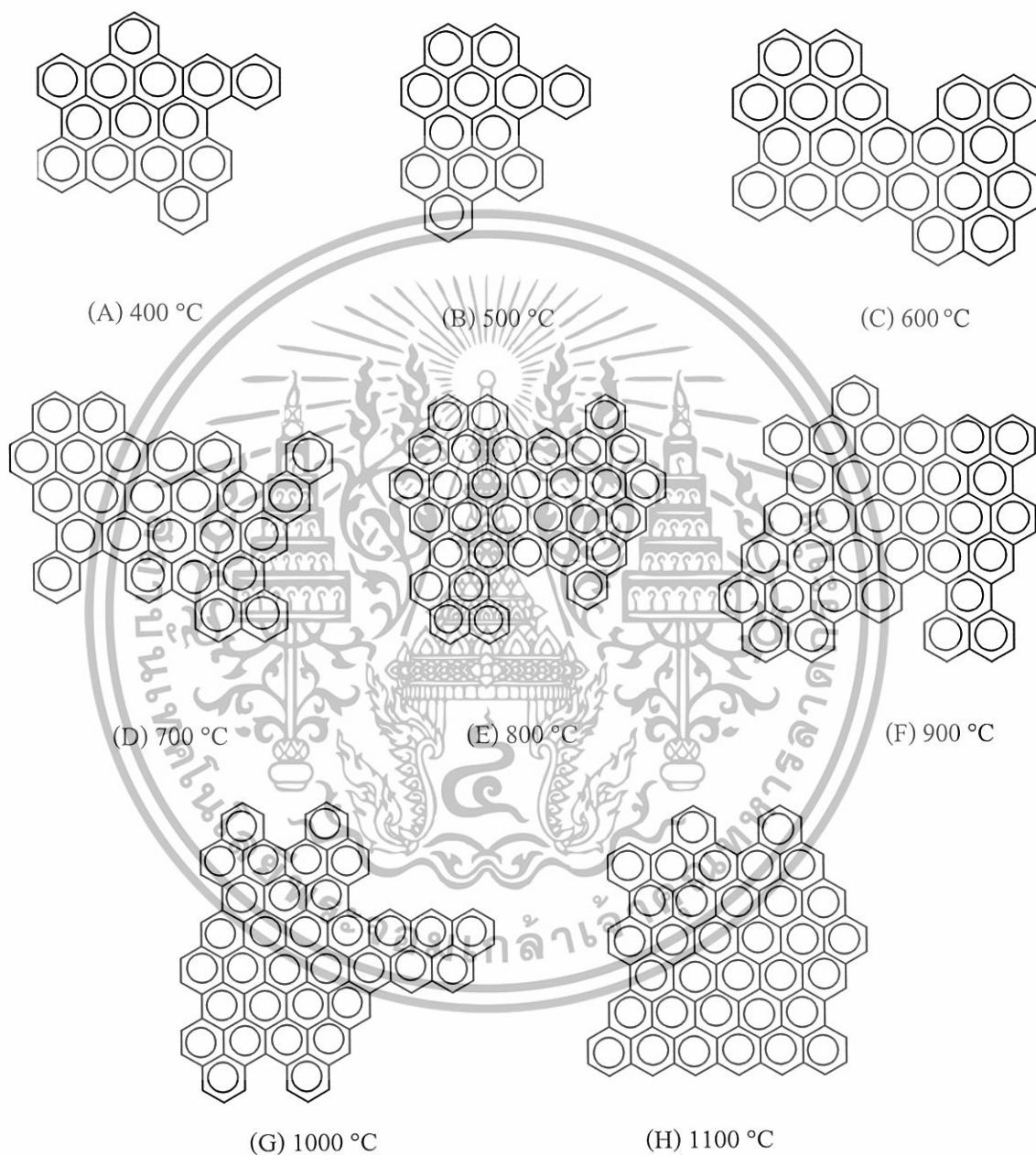
กระบวนการคาร์บอนไนซ์เป็นการสลายของสารอินทรีย์เพื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนในสารอินทรีย์โดยจะเกิดการแตกพันธะตรงบริเวณที่มีพันธะไม่แข็งแรงหรือมีหมู่โมเลกุลที่หลุดออกง่ายทำให้กลุ่มโมเลกุลที่เป็นวงแตกออกจากกันเป็นกลุ่มๆ จำนวนมาก โครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือ กลายเป็นโครงสร้างของถ่านชาร์ ซึ่งการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมจะเปลี่ยนแปลงไป ตามอุณหภูมิที่เผา ดังรูปที่ 2.3 ส่วน โครงสร้างโมเลกุลขนาดเล็กจะสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง ได้แก่ แอมโมเนีย น้ำมันชาร์ และแก๊สต่างๆ สิ่งสำคัญที่สุดของกระบวนการนี้คือ อุณหภูมิสุดท้ายของการคาร์บอนไนซ์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะเคมีในวัสดุดิบออกมาเป็นสารระเหย ที่อุณหภูมิสูงถ่านกัมมันต์จะมีการจัดระเบียบโครงสร้างมากกว่า เช่น ถ่านหินเกรดสูงจะหดตัวมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการคาร์บอนไนซ์เป็นผลทำให้ปริมาตรของรูพรุนเล็กๆ ทั้งหมดเกิดขึ้นในขั้นแรกของการคาร์บอนไนซ์ลดลง และเมื่อถ่านหินมีความแข็งแรงมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาลดลง

2. ตัวกลางของปฏิกิริยา (Medium of reaction)

จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยา ถ้าแก๊สและไอที่เกิดขึ้นระหว่างการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยแก๊สที่เป็นตัวกลางเช่น แก๊สไนโตรเจนหรือ แก๊สจากการเผาไหม้ ปริมาณถ่านชาร์ที่ได้จะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นแก๊สไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า เนื่องจากการเผาไหม้มีส่วนช่วยสร้างรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อนำไปกระตุ้นมีผลทำให้แก๊สกระตุ้นสามารถแทรกตัวเข้าไปในอนุภาคถ่านชาร์ได้ง่ายโดยทั่วไปการคาร์บอนไนซ์จะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ 2 ช่วงคือ ช่วงอ่อนตัว (Softening period) และช่วงหลังการอ่อนตัว (After softening period) ในช่วงการอ่อนตัวควรให้ความร้อนในอัตราต่ำให้แก๊สหลุดออกจากรูพรุนภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้โดยไม่สลายตัวหรือเปลี่ยนรูปเป็นของแข็งอัดแน่นภายในรูปพรุน ซึ่งจะทำให้อานซาร์ที่ได้แน่นและแข็ง



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมตามอุณหภูมิที่เผา (จุฑามาส และคณะ, 2544 อ้างถึง Hassler & John, 1974)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ธรรมชาติของวัตถุดิบ

วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีสถานะที่เหมาะสมแตกต่างกันไปในการคาร์บอนไนซ์ โดยถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่แตกต่างกันอาจใช้วิธีการกระตุ้นที่ต่างกันเพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีที่สุดซึ่งจะเหมาะกับการนำไปใช้ในระบบที่เหมาะสมต่อไป

4. อัตราการให้ความร้อน

เป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณและองค์ประกอบของสารระเหยที่ได้จากการไพโรไลซิส กล่าวคือถ้าอัตราการให้ความร้อนสูง ปริมาณและสารระเหยจะถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว ถ่านชาร์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดใหญ่ ดังตารางที่ 2.2 ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านชาร์ที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เพราะว่าถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ทำให้เกิดช่องว่างรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อทำการกระตุ้น สารกระตุ้นจะเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่าย

ตารางที่ 2.2 ผลของอัตราการให้ความร้อนที่มีผลต่อสมบัติของถ่านชาร์ (จุฑามาส และคณะ, 2544 อ้างถึง Hassler & John, 1974)

อัตราการให้ความร้อน (°C/min)	ความว่องไวในการทำปฏิกิริยา (%)	ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (g/cm ³)	ปริมาตรของรูพรุน (cm ³ /g)			
			ปริมาตรรวม	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
1	93.0	0.70	0.24	-	-	-
5	94.0	0.7	0.22	0.12	0.01	0.09
8	94.1	0.72	0.23	-	-	-
20	91.5	0.62	0.28	-	-	-
Stepwisegrowth	60.0	0.28	1.09	0.11	0.03	0.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กระบวนการกระตุ้น

เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพสำหรับคาร์บอนด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น โดยการทำให้มีรูพรุนมากขึ้น หรือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารอื่นๆ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการกระตุ้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด เนื่องมาจากวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธีและประสิทธิภาพของการกระตุ้นขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการอื่นๆก่อนการกระตุ้นด้วย โดยทั่วไปแล้วมี 2 วิธีในการผลิตถ่านกัมมันต์คือ

- นำวัตถุดิบหรือวัตถุดิบที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์แล้วมากระตุ้นโดยใช้สารกระตุ้น เช่น ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ฟอสฟอริก (H_3PO_4) วิธีนี้โดยทั่วไปเรียกว่า การกระตุ้นทางเคมี
- นำวัตถุดิบหรือวัตถุดิบที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์แล้วมาทำปฏิกิริยากับแก๊สที่ใช้ในการออกซิไดซ์ ซึ่งอาจเป็นไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน วิธีนี้โดยทั่วไปเรียกว่า การกระตุ้นทางกายภาพ

เนื่องจากโครงการพิเศษนี้ใช้ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และกรดฟอสฟอริก เป็นสารกระตุ้นซึ่งเป็นวิธีการกระตุ้นทางเคมี จึงขอกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนนี้

การกระตุ้นทางเคมี

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผสมกับสารเคมีที่เรียกว่า สารกระตุ้น (Activating agent) สารกระตุ้นที่เติมลงไปจะช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อให้ความร้อน เช่น ปริมาณน้ำมันที่ระเหยจะถูกกำจัดให้น้อยลง ปริมาณสารระเหยที่ได้ เช่น กรดอะซิติก เมทานอล และสารอื่นๆก็มีปริมาณลดลง เมื่อเทียบกับวิธีการเผาถ่านธรรมดาที่ได้จากการทำ เช่นนี้จะทำให้ร้อยละของคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น ยิ่งกว่านั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่ต่ำลงด้วย สารเคมีที่นิยมใช้เป็นตัวกระตุ้นส่วนใหญ่เป็นสารดูดน้ำ (Dehydrating agent) ได้แก่ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น

หลักการของการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีนี้คือ เมื่อนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผสมกับเกลืออนินทรีย์ด้วยอัตราส่วนต่างๆ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงๆ อุณหภูมิที่จะทำให้อินทรีย์วัตถุสลายตัวเกลืออนินทรีย์จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากเกลืออนินทรีย์เหล่านี้มีความคงทนต่อการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงๆ จึงยังคงสภาพหุ้มอยู่รอบๆ ถ่าน และจะแทรกตัวอยู่ภายใน ทำให้การหดตัวของถ่านเกิดขึ้นได้จำกัด เมื่อนำมาสกัดเอาสารอนินทรีย์ออกก็จะเกิดช่องว่างหรือรูพรุนขึ้นในถ่าน ซึ่งแต่เดิมเป็นที่ที่สารอนินทรีย์เคยอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการกระตุ้นทำได้ 2 วิธีคือ ผสมสารเคมีกับวัตถุดิบโดยตรงแล้วทำการคาร์บอนไนซ์ และการกระตุ้นครั้งเดียวติดต่อกันไป หรือทำการคาร์บอนไนซ์ให้ได้ผลึกถ่านเสียก่อนแล้วจึงเติมสารเคมี ทำการกระตุ้นอีกทีหนึ่ง สำหรับวิธีการแรกมีความลำบากตอนที่จะล้างสารประกอบที่เกิดขึ้นตามรูปรุณ ซึ่งล้างออกได้ยากกว่าวิธีหลังตัวแปรที่สำคัญ คือ อัตราส่วนของสารเคมีกับวัตถุดิบหรือถ่าน

ข้อดีของการกระตุ้นทางเคมี คือถ่านกัมมันต์ที่ได้มีรูปรุณสูง และแทรกซึมอยู่ทั่วเนื้อถ่าน ใช้อุณหภูมิในการผลิตไม่สูง ส่วนข้อเสียคือต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นออกให้หมดไม่ให้เหลือตกค้างเพื่อความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน จึงเป็นการสิ้นเปลืองเวลา สารเคมีที่ใช้มีราคาสูง นอกจากนี้สารเคมีที่ใช้บางชนิดมีฤทธิ์กัดกร่อนภาชนะหรือเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

ตารางที่ 2.3 สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ (ณัฐยา, 2545)

ชนิดที่เป็นกรด	ชนิดที่เป็นด่าง	ชนิดที่เป็นเกลือ
กรดบอริก (H_3BO_3)	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$)
กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)	แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)	โพแทสเซียมไทโอไซยาเนต (KSCN)
กรดไนตริก (HNO_3)	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)
กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)	โพแทสเซียมไทโอไซยาเนต (KSCN)	โพแทสเซียมซัลไฟด์ (K_2S)
		แคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3[PO_4]_2$)
		แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

ซิงค์คลอไรด์เป็นสารดูดน้ำ (Dehydration agent) ที่นิยมนำมาใช้เป็นสารกระตุ้นในการผลิตถ่านกัมมันต์ มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ความหนาแน่น 2.91 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 136.28 มก อยู่ในรูปไฮเดรต ซิงค์คลอไรด์จะละลายได้ดีเมื่อมีความเข้มข้น 0.25-0.5 นอร์มอล ถ้าเป็นสารละลายเข้มข้น จะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน $[ZnCl_3]^-$ หรือ $[ZnCl_4]^{2-}$ สารละลายเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์จะมีความเป็นกรดสูงซึ่งสามารถละลายแป้ง เซลลูโลส และสารอินทรีย์ต่างๆ ได้ แม้ว่ากลไกการเกิดปฏิกิริยายังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่ก็ได้มีการนำซิงค์คลอไรด์มาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ พบว่าเคยมีการใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ เซลลูโลส หรือพีท โดยใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อซิงค์คลอไรด์เท่ากับ 1 : 6 เติมน้ำเท่าที่จำเป็นนำไปอบแห้ง และกระตุ้นที่อุณหภูมิ 400-900 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวมาก นอกจากนี้ยังพบว่าซิงค์คลอไรด์สามารถละลายกำมะถันออกจากวัตถุดิบในรูป ZnS ด้วย



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลง โครงสร้างทางเคมีเมื่อใช้ $ZnCl_2$ (ปิยะพร, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 สมบัติของซิงค์คลอไรด์ (ปิยะพร, 2542)

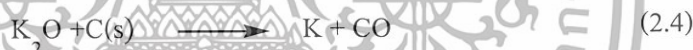
สมบัติ	ค่าโดยประมาณ
น้ำหนักโมเลกุล	136.28
จำนวนโมเลกุลของน้ำที่เกิดไฮเดรต	4, 3, 2.5, 1.5,
สี	ขาว
ความหนาแน่น	2.91
จุดหลอมเหลว (°C)	275
จุดเดือด (°C)	756
ความร้อนในการหลอมเหลว, แคลอรี ต่อกรัม โมล	5540
ความร้อนในการระเหย, แคลอรี ต่อกรัม โมล	28700
ความจุความร้อน (Cp) 25 องศาเซลเซียส, แคลอรี ต่อกรัม โมลต่อองศาเซลเซียส	18.30
ความสามารถในการละลาย 25 องศาเซลเซียส, กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรน้ำ	432
ความสามารถในการละลาย 100 องศาเซลเซียส, กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรน้ำ	614

ข. การกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

เมื่อนำเอาวัตถุดิบที่ต้องการทำเป็นถ่านกัมมันต์มาผสมกับสารละลายที่มีไอออนของโพแทสเซียมไอออนของธาตุดังกล่าวจะแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของวัตถุดิบ เมื่อให้ความร้อนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนในวัตถุดิบ กลไกของการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์พื้นที่ผิวสูง แสดงดังนี้



สมการที่ 2.1 และ 2.2 เป็นการสลายตัวของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) และน้ำซึ่งเป็นสารทำให้คาร์บอนในถ่านหิน เกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน จากนั้นโพแทสเซียมออกไซด์ถูกรีดิวซ์ด้วยไฮโดรเจนหรือคาร์บอนกลายเป็นโลหะโพแทสเซียม ดังสมการที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ



ที่อุณหภูมิสูงโพแทสเซียมเป็นโลหะที่อ่อนตัวจึงทำให้แทรกเข้าไปในชั้นของอะตอมคาร์บอนทำให้เกิดรูพรุนได้มากขึ้น

ตารางที่ 2.5 สมบัติของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

สมบัติ	ค่าโดยประมาณ
สถานะ	ผงของแข็ง
สี	ขาว
น้ำหนักโมเลกุล	56.1
จุดเดือด (°C)	361
จุดหลอมเหลว, จุดเยือกแข็ง (°C)	1324
ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ=1)	2.044
ความสามารถในการละลาย 25 องศาเซลเซียส, กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรน้ำ	110
ความเป็นกรด-ด่าง(pH)	มากกว่า 13.5

ค. การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)

กรดฟอสฟอริกเป็นสารที่มีความสามารถในการทำละลายสูง ทำให้สามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของวัตถุคืบได้อย่างสม่ำเสมอ จากการศึกษาของนักวิจัยหลายกลุ่ม พบว่าการใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลนั้นทำให้โครงสร้างของเซลล์ลูโลสเกิดความเสถียร และองค์ประกอบของฟอสเฟตยังทำให้โครงสร้างของเซลล์ลูโลสเกิดการขยายตัว ส่งผลให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างหลังจากการให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หลักการวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์นั้นสามารถพิจารณาได้จากคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ คุณสมบัติในการดูดซับ เช่น ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Bulk Density) และคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ เช่น ปริมาณเถ้า

2.5.1 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เป็นการทดสอบสมบัติของการดูดซับสารพิษออกจากน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ โดยใช้ไอโอดีนเป็นตัวถูกดูดซับ เนื่องจากเป็นสารพิษที่มีความสามารถในการกัดกร่อนสูงโดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสภาวะแก๊ส เชื่อว่ารูพรุนที่ใช้ในการดูดซับไอโอดีนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 อังสตรอม ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ จะเป็นดัชนีชี้วัดอีกอย่างหนึ่งที่บ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับผิวสารของถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์นั้น กล่าวคือถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูง จะมีค่าพื้นที่ผิวสูงและค่าความสามารถในการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์จะสูงด้วย ในทางตรงกันข้ามถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ต่ำจะมีค่าพื้นที่ผิวต่ำและค่าความสามารถในการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์จะต่ำด้วยเช่นกัน ดังนั้นในทางการค้าหรือการนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้งานจึงมักจะพิจารณาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ควบคู่ไปกับสมบัติอื่นๆของถ่านกัมมันต์นั้นด้วย สำหรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ของประเทศไทยตาม มอก.900-2532 ได้กำหนดไว้ว่าถ่านกัมมันต์แบบผงและแบบเม็ดนั้นค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะต้องไม่น้อยกว่า 600

2.5.2 ความหนาแน่นปรากฏ หมายถึงการหาหน้าหนักของถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยปริมาตร ในที่นี้หมายถึง ปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาคและปริมาตรของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้ามีความหนาแน่นปรากฏระหว่าง 0.20 ถึง 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการวิเคราะห์ที่กำหนดให้ขนาดของอนุภาคคงที่ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรต่ำจะมีปริมาณรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (คือถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดี) นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นปรากฏยังขึ้นกับความชื้นของอนุภาคด้วย กล่าวคืออนุภาคที่มีความชื้นเพิ่มขึ้นจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ปริมาณเถ้า ปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์อาจมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงและเวลาสูง ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เถ้าโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยออกไซด์ นอกจากนี้ประกอบด้วยซัลเฟต คาร์บอนเนต และสารประกอบอื่นๆ ของเหล็ก อะลูมิเนียม แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และโลหะ อื่นๆ ซึ่งจะมีสารประกอบเหล่านี้อยู่ในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะประกอบด้วยซิลิกอน ซึ่งวิธีการที่จะใช้ในการกำจัดเถ้าออกจากถ่านกัมมันต์ จะใช้กรด หากมีเถ้าที่มีองค์ประกอบที่ ซับซ้อนมากจะใช้กรดผสมกัน เช่น กรดไฮโดร คลอริกและ กรดไฮโดรฟลูออริก การหาปริมาณเถ้า สามารถทำได้โดยนำตัวอย่างใส่ในครุซิเบิล และนำไปในเตาเผาที่ อุณหภูมิ 650-750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-16 ชั่วโมง ซึ่งมวลของเถ้าจะคงที่ที่เวลาเท่าใด นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นเรศ จันทร์เทียนและคณะ (2534) เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำกะลาตาลโตนด มาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไคซ์เบด และใช้ ซิงค์คลอไรด์ในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบเบดนิ่ง การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งใน เครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไคซ์เบด ทำโดยคาร์บอนในกะลาตาลโตนดในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กัดขนาดถ่าน 2-5 มิลลิเมตร เพื่อนำมากระตุ้นใน เครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไคซ์เบด มีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่ทำจากสแตนเลสเบอร์ 316 หนา 4 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็น เวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าค่าการดูดซับเมทิลีนบลูประมาณ 0.17 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่า ไอโอดีนนัมเบอร์ 600 การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยซิงค์คลอไรด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ทำโดย คาร์บอนในกะลาตาลโตนดในเครื่องคาร์บอนไนเซอร์แบบเบดนิ่งทำด้วยสแตนเลสเบอร์ 316 เป็น รูปสี่เหลี่ยมขนาด 17x19.5x53 เซนติเมตร ซึ่งมีส่วนให้ความร้อนเป็นขดลวดให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นขนาดถ่าน 2-5 มิลลิเมตร เพื่อนำมาแช่ใน สารละลายซิงค์คลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 50 ใช้อัตราส่วนของถ่าน 3 กรัม ต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 9 มิลลิตร นำไปกระตุ้นในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ประมาณ 362-376 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่า ไอโอดีนนัมเบอร์ 1088-1117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บุญชัย ตระกูลมหชัย และคณะ (2534) เป็นการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากพีทไทยที่บดผ่านตะแกรงขนาด 8 มิลลิเมตรและพีทญี่ปุ่นที่บดผ่านตะแกรงขนาด 5 และ 8 มิลลิเมตร แล้วนำไปคาร์บอนไนซ์ในเครื่องคาร์บอนไนเซอร์แบบฟลูอิดไคซ์เบด ที่อุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส อัตราการผ่านอากาศ 100 ลิตรต่อนาที และในเครื่องคาร์บอนไนเซอร์แบบเบดนิ่ง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในเครื่องแอกทิเวเตอร์ แบบฟลูอิดไคซ์เบดซึ่งทำด้วย สเตนเลสเบอร์ 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 44 มิลลิเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 850 และ 900 องศาเซลเซียส แปรเวลา 10 , 20 , 30 และ 40 นาที จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพีทญี่ปุ่นที่บดผ่านตะแกรงต่างกัน มีสมบัติคล้ายกันและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากการคาร์บอนไนซ์ด้วยเครื่องคาร์บอนไนซ์แบบฟลูอิดไคซ์เบดมีสมบัติการดูดซับได้ดีกว่าถ่านที่ผลิตได้จากเครื่องคาร์บอนไนซ์แบบเบดนิ่ง หนึ่งในกรทดลองนี้ยังสามารถลดปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 5 โดยต้มให้เดือดประมาณ 20 นาที ผลการทดลองคือค่าเถ้าลดลงอย่างเห็นได้ชัดและถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพีทญี่ปุ่นมีสมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพีทไทย ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพีทญี่ปุ่นมีค่าเถ้าสูงมาก (ร้อยละ 30-50) จึงมีผลทำให้ถ่านกัมมันต์มีสมบัติในการดูดซับลดลง เมื่อนำไปล้างเถ้าออกสมบัติในการดูดซับจึงเพิ่มขึ้น ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพีทไทย มีค่าเถ้าไม่สูงมากนัก (ร้อยละ 10-15) จึงมีผลต่อการดูดซับ

พิสุทธิ พันธุ์ชาติกุล และ สมิทธิ รัตนสุทธิพงษ์ (2535) ผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลขนาด 3.35-6 และ 1.40-3.35 มิลลิเมตร โดยใช้ซิงค์คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 50 เป็นสารกระตุ้น น้ำหนักของ สารละลายซิงค์คลอไรด์ต่อวัตถุดิบเท่ากับ 2:1 ที่อุณหภูมิ 400, 450 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่ใช้ 2, 3 ชั่วโมง เครื่องแอกทิเวเตอร์ที่ใช้เป็นแบบฟลูอิดไคซ์เบดที่ใช้อากาศเป็นตัวกลาง ความเร็วอากาศที่ใช้คือ 0.8-1.1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพต่ำทั้งนี้ เพราะว่ไอน้ำขนาดใหญ่เกินไป เนื่องจากกะลาตาลโดนดแข็งและเหนียวมาก จึงบดให้มีขนาดเล็กไม่ได้ ประกอบกับการใช้อากาศเป็นตัวกลางแทนที่จะใช้แก๊สไนโตรเจน ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนแข่งขันกับปฏิกิริยาของซิงค์คลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Girgis, Khalil and Tawfik (1994) ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยโดยใช้กรด 4 ชนิด ได้แก่ กรดฟอสฟอริก กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียม โดยการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกมีปริมาณรูพรุนสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรดตัวอื่นๆที่ใช้เป็นสารกระตุ้น กรดฟอสฟอริกที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์จะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวกระตุ้นในการทำให้เกิดรูพรุนภายในโครงสร้างถ่าน และช่วยสนับสนุนการเกิดเชื่อมโยง (Cross-link) ในโครงสร้างถ่านโดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกระตุ้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้

พงศธร โค้วชาภรณ์ (2538) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากข้าวโพดและคุณสมบัติรวมทั้งการใช้งานของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยใช้วิธีกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ จากการทดลองพบว่า ซิงค์ข้าวโพดสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ได้ คุณสมบัติของถ่านที่ทำการวิเคราะห์คือค่าไอโอ ดินนัมเบอร์ ค่าการฟอกสีเมทิลีนบลู ความชื้น ปริมาณร้อยละของผลผลิต พื้นที่ผิว จากการทดลองพบว่า ซิงค์ข้าวโพด สามารถที่จะเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ได้เมื่อถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ที่อัตราส่วน 1:2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลาการเผา 3 ชั่วโมง มีปริมาณร้อยละของผลผลิตคือ 62.82 ค่าไอโอ ดินนัมเบอร์ 800-900 ค่าการฟอกสีเมทิลีนบลู 120-180 มิลลิกรัมต่อกรัม พื้นที่ผิว 1,000 ตารางเมตรต่อกรัม ประสิทธิภาพการฟอกสีปานกลาง

รติกร อิศระเสนีย์ และคณะ (2540) ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว มีการดำเนินการ 2 ขั้นตอน คือการคาร์บอนไนซ์และกระตุ้นถ่านด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศ การคาร์บอนไนซ์ทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 110 เซนติเมตร ตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิและเวลาในการคาร์บอนไนซ์ ใช้ยางรถยนต์ที่ตัดให้มีขนาด 5x5x5 มิลลิเมตร ปริมาณ 1 กิโลกรัม ใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 550 องศาเซลเซียส และใช้เวลาตั้งแต่ 30 ถึง 90 นาที เลือกถ่านที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับนำไปกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งโดยพิจารณาจากถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง และมีปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 20-25 พบว่าการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ 47.2 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 50.48 โดยน้ำหนัก และปริมาณสารระเหยได้ร้อยละ 23.11 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีสมบัติเหมาะสมในการนำไปกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งทำในเครื่องแยกดีแวนเดอร์แบบเบดนิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.81 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิและเวลา การกระตุ้น ขนาดของถ่านที่ใช้ และอัตราการป้อนไอน้ำ โดยใช้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ครั้งละ 50 กรัม ถ่านที่ใช้มีขนาด 0.35-1.18, 1.18-2.36 และ 2.36-4.75 มิลลิเมตร ใช้อุณหภูมิ 800 ถึง 900 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15-45 นาที อัตราการให้ไอน้ำ 1.51-4.18 กรัมต่อนาที จากผลการวิจัยพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติที่ดี คือ ถ่านขนาด 1.18-2.36 มิลลิเมตร กระตุ้นที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 30 นาที อัตราการป้อนไอน้ำ 1.88 กรัมต่อนาที ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติดังนี้ พื้นที่ผิวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

691.51 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 891.11 ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 172.03 มิลลิกรัมต่อกรัม และความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.44 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

Teng and Yeh (1998) ได้ทำการศึกษาเตรียมถ่านกัมมันต์จากหินปิทมินัสโดยการกระตุ้นด้วย ซิงค์คลอไรด์ โดยศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อสารกระตุ้น อุณหภูมิ และเวลา ในการกระตุ้น พบว่าตัวแปรทั้งสามมีผลต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ นอกจากนี้ยังพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ คือการใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นเท่ากับ 1:2 (ความเข้มข้นของสารกระตุ้นเท่ากับร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิ และเวลาในการกระตุ้นเท่ากับ 500°C และ 1 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 1300 ตารางเมตรต่อกรัม และ 0.83 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

ปิยะพร บารมี (2542) ได้ทำการศึกษาเตรียมถ่านกัมมันต์จากยางเหลือทิ้งโดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ซึ่งมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน คือ การคาร์บอนไนซ์ และการกระตุ้นจากผลการทดลอง ได้สภาวะที่เหมาะสมของขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์อย่าง คือ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที และขั้นตอนการกระตุ้นโดยการนำยางที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์แล้วมาแช่ในสารละลายซิงค์คลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 70 พร้อมทั้งเขย่าเป็นเวลา 3 วัน นำไปอบแห้งและเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวรูพรุน 237.17 ตารางเมตรต่อกรัม และค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 351.52

ภาวีกา ชื่นคลัง (2544) ทำการศึกษาผลของกรกระตุ้นโดยแก๊สออกซิไดซ์ และสารละลายต่าง ต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์จากไม้ยางพารา โดยในการทดลองนี้ยังประกอบไปด้วยการคาร์บอนไนซ์ และการกระตุ้น ตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิ (350-450 องศาเซลเซียส) และเวลาที่ใช้ในการคาร์บอนไนซ์ (45, 60, 90 และ 120 นาที) อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์คือ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ซึ่งจะได้ร้อยละผลิตภัณฑ์ 27.51 มีปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 70.46 โดยน้ำหนัก สารระเหยร้อยละ 25.89 โดยน้ำหนักและเถ้าร้อยละ 2.31 โดยน้ำหนัก จากนั้นถ่านไม้ยางพาราถูกกระตุ้นโดยใช้แก๊สออกซิไดซ์ สารละลายต่างของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตัวแปรที่ใช้ศึกษาคือ อุณหภูมิเวลา ขนาดของถ่านไม้ยางพารา รวมถึงอัตราส่วนของถ่านไม้ยางพาราต่อปริมาณต่างที่ใช้ในการกระตุ้น จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการกระตุ้นทางกายภาพคือ กระตุ้นที่อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงโดยใช้ถ่านจากไม้ยางพาราขนาด 0.60-1.18 มิลลิเมตร ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีร้อยละผลิตภัณฑ์ 44.44 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.21 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าเถ้าร้อยละ 7.33 โดยน้ำหนัก ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 512 และค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 154 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นทางเคมี ทั้งที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารกระตุ้นคือ กระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ใช้ถ่านจากไม้ยางพารา ขนาด 0.60-1.18 มิลลิเมตร ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น สารกระตุ้นมีคุณภาพดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้น โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องมาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดปฏิกิริยากับถ่านอย่างรุนแรงทำให้เกิดรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ 48.00 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.1138 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าแฉะร้อยละ 5.24 โดยน้ำหนัก ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 1069 ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 202 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าพื้นที่ผิวรูพรุน 943.35 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งเมื่อทำการกระตุ้นโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะให้สมบัติที่ต่ำกว่า

มานพ ติระรัตนสมโภช (2545) ได้ศึกษาการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ จากขี้เถ้าที่กระตุ้นด้วยสารเคมีสองชนิดคือโซเดียมคลอไรด์และซิงค์คลอไรด์ ผลการทดลองพบว่า สภาวะการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้าที่เหมาะสมคือ การกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์โดยอัตราส่วน โดยน้ำหนักของขี้เถ้าต่อโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 1:1 และกระตุ้นที่ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ใช้อัตราส่วน โดยน้ำหนักของขี้เถ้าต่อซิงค์คลอไรด์เท่ากับ 1:1 และกระตุ้นที่ 700 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างสารเคมีออกจากถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ ด้วยน้ำและกรดเจือจาง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 519.4 และ 1021.3 และมีค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 593.79 และ 1572.51 ตารางเมตรต่อกรัมตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 6, 7, 8 และ 9 มีค่าร้อยละ 55.33, 54.60, 90.63 และ 94.97 สำหรับถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ และมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 99.76, 99.91, 99.63 และ 99.91 สำหรับถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์

ปฐมภรณ์ เสวตจินดากร (2545) ได้เตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกผลยางพาราโดยต้มในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ที่สภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง สามารถทำให้เปลือกผลยางพาราเป็นถ่าน ได้ทั้งหมด ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิว BET 7.34 ตารางเมตรต่อกรัม และมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ประมาณ 360-380 สำหรับการดูดซับแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนที่อุณหภูมิ 31, 0 และ -13 องศาเซลเซียสพบว่า สมดุลการดูดซับแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจนเป็นไปตามสมการแบบจำลองของเฮนรี โดยมีค่าคงที่ของเฮนรีสำหรับแก๊สไนโตรเจนคือ 0.00017, 0.00067, 0.00105 มิลลิโมลต่อกรัมต่อกิโลพาสกาล ที่อุณหภูมิ 31, 0 และ -13 องศาเซลเซียสตามลำดับ

ณัฐยา พูนสุวรรณ (2545) ศึกษาวิธีการเตรียมและวัดสมบัติของถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์ และถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีโดยให้ความร้อนในบรรยากาศการไหลของก๊าซไนโตรเจนในเตาเผาแบบท่อ สารกระตุ้นที่ใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากถ่านหิน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิกไนต์ และชานอ้อยได้แก่ ซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริก ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าสมบัติของถ่านกัมมันต์ได้แก่ ร้อยละผลผลิต องค์ประกอบแบบประมาณ พื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ และสภาวะการกระตุ้น เช่น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบ อุณหภูมิ และเวลาของการกระตุ้น สำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์สภาวะที่ให้พื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุด $1550 \text{ m}^2/\text{g}$ ได้แก่ การใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบ 1.5:1 อุณหภูมิ 600°C และเวลา 60 นาที สำหรับถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยให้พื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุด $1574 \text{ m}^2/\text{g}$ โดยการเตรียมที่สภาวะอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบ 1:1 อุณหภูมิ 400°C และเวลา 120 นาที นอกจากนี้ยังศึกษาการดูดซับโครเมียม (VI) จากสารละลาย โดยใช้ถ่านกัมมันต์เกรด การค้าจากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้พบว่าความสามารถในการดูดซับโครเมียมของถ่านกัมมันต์ทุกชนิดสูงมากในช่วงความเป็นกรดต่างของสารละลายต่ำกว่า 3.0 และดูดซับได้มากที่สุดที่ความเป็นกรดต่าง 2.5 เนื่องจากโครเมียมอยู่ในรูป HCrO_4^- ซึ่งถูกดูดซับได้ดีบนถ่านกัมมันต์ การเพิ่มอุณหภูมิขณะดูดซับทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมของถ่านกัมมันต์สูงขึ้น ซึ่งให้เห็นว่าการดูดซับเป็นแบบดูดความร้อน สมการแลงเมียร์เป็นสมการที่สามารถนำมาใช้อธิบายไอโซเทอร์มการดูดซับโครเมียมบนถ่านกัมมันต์ได้ดี แสดงว่าการดูดซับเป็นแบบการปกคลุมชั้นเดียว และจากผลการศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับ พบว่าการดูดซับโครเมียมบนถ่านกัมมันต์เป็นปฏิกิริยาอันดับสอง

นภรัตน์ จิวลักษณ์ (2545) ได้ศึกษาการเตรียมและวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ชนิดของการกระตุ้น ความเข้มข้นของสารกระตุ้น อัตราการเพิ่มความร้อน ขนาดของอนุภาค ชนิดของถ่านหิน และปริมาณเถ้าในถ่านหิน ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบและวัดสมบัติต่างๆ เช่น พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรและขนาดรูพรุน ความสามารถในการดูดซับ เป็นต้น สำหรับสภาวะของการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพพบว่า อุณหภูมิสูง เวลาสั้น ขนาดอนุภาคเล็ก และปริมาณที่เล็กน้อยทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวสูงขึ้น ส่วนการทดลองที่ใช้สารกระตุ้นต่างชนิดกัน (CO_2 และ H_2O) และการใช้ถ่านหินต่างที่กัน (แม่เกาะและลานนา) นั้นพบว่าผลทำให้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีสมบัติไม่ต่างกันมากนัก โดยถ่านกัมมันต์ที่ให้พื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด 460 ตารางเมตรต่อกรัม ได้จากการใช้ถ่านหินขนาด 40×50 เมช อุณหภูมิ 900°C และเวลา 60 นาที ส่วนในการทดลอง เตรียมถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีพบว่า อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนความเข้มข้นของสารกระตุ้น (KOH :ถ่านหิน) มีอิทธิพลมาก โดยสภาวะที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมากที่สุด 2236 ตาราง เมตรต่อกรัม อยู่ที่ 900°C และเวลา 60 นาที และอัตราส่วนความเข้มข้น 1:1 เส้นไอโซเทอร์มของการดูดซับสำหรับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากถ่านหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งสองชนิดเป็นแบบชนิดที่ 1 การเตรียมถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีมีการกระจายขนาดรูพรุนเกิดขึ้นมากซึ่งทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพซึ่งส่วนใหญ่มีรูพรุนขนาดเล็ก ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพซึ่งส่วนใหญ่มีรูพรุนขนาดเล็ก ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีมีความสามารถในการดูดซับฟีนอลได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าและที่เตรียมโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ การดูดซับฟีนอลเกิดขึ้นได้ดีเมื่อพีเอชของสารละลายอยู่ระหว่าง 2-7 โดยมีกระบวนการดูดซับเป็นแบบคายความร้อน ซึ่งสมดุลการดูดซับสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองการดูดซับของ Langmuir BET และ Freundlich

รัชชัย ตันเจริญทรัพย์ และคณะ (2546) ศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากลิกไนต์โดยการกระตุ้นทางเคมีและทางกายภาพ ในขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์ ศึกษาถึงผลของ อุณหภูมิและเวลา พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ คือ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที ขั้นตอนที่สองเป็นการกระตุ้นถ่านชาร์ ซึ่งในงานวิจัยทำการเปรียบเทียบสมบัติของถ่านชาร์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธีแรกเป็นการกระตุ้นทางเคมี ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารกระตุ้น โดยศึกษาถึงผลของอัตราส่วนสารกระตุ้นต่อถ่านชาร์ อุณหภูมิ เวลา และขนาดอนุภาค ภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นทางเคมี คือ ที่อัตราส่วนสารกระตุ้นต่อถ่านชาร์ 0.7:1 อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง ที่ขนาดอนุภาค 0.50-0.85 มิลลิเมตร สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้คือ ร้อยละผลิตภัณฑ์ 50.87 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ร้อยละปริมาณเถ้า 14.61 โดยน้ำหนัก ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 846 ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 229 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าพื้นที่ผิวบีอีที 1,292 ตารางเมตรต่อกรัม วิธีที่สองเป็นการกระตุ้นทางกายภาพ ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับไอน้ำเป็นสารกระตุ้น โดยศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ เวลา และขนาดอนุภาค ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง ที่ขนาดอนุภาค 0.50-0.85 มิลลิเมตร เป็นภาวะที่เหมาะสม โดยมีสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้คือ ร้อยละผลิตภัณฑ์ 60.42 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.544 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ร้อยละปริมาณเถ้า 26.87 โดยน้ำหนัก ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 242 ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 41 มิลลิกรัมต่อกรัม จากการเปรียบเทียบสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากทั้งสองวิธี การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลิกไนต์โดยการกระตุ้นทางเคมีจะให้สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ดีกว่าการกระตุ้นทางกายภาพ และมีค่าใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

ชลิดา คล้าย โหม (2547) ได้เตรียมถ่านกัมมันต์จากถยนต์ที่ใช้แล้วโดยวิธีที่นิยมกันโดยทั่วไป และวิธีที่เน้นในทางปฏิบัติได้ง่ายในทางอุตสาหกรรมเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการผลิตอันเนื่องมาจากแก๊สเฉื่อยซึ่งใช้เป็นแก๊สตัวกลางในกระบวนการคาร์บอนไนเซชันและการกระตุ้น แก๊สเอกซาร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่นำมาใช้แทนแก๊สที่อยู่ในกระบวนการคาร์บอนในเซชันนั้นคืออากาศ ส่วนในกระบวนการกระตุ้นนั้นใช้แก๊สผสมระหว่างไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และไนโตรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของแก๊สที่ออกมาจากปล่องเตาเผา นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาในการคาร์บอนไนซ์และการกระตุ้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางความพรุนของถ่านกัมมันต์ จากนั้นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเตรียมทั้งสองวิธีนี้จะถูกนำไปใช้เป็นตัวดูดซับในระบบการดูดซับสารอินทรีย์เหลว เช่น ฟีนอล และสีย้อมเรด 31 เปรียบเทียบถ่านกัมมันต์เกรดการค้าพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้นั้นสามารถดูดซับฟีนอลได้ดีเทียบเท่ากับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า แต่สามารถดูดซับสีย้อมเรด 31 ได้ดีกว่า ถ่านกัมมันต์เกรดการค้า เนื่องจากมีรูพรุนขนาดกลางมาก ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมในการใช้บำบัดน้ำเสียที่มีประกอบที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบการเตรียมถ่านกัมมันต์และคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้
ของผู้วิจัยต่างๆ

ปี	ผู้วิจัย/ผู้เขียน	วัตถุดิบ (RM)	สถานะในการกระตุ้น			คุณสมบัติ	
			อัตราส่วนสาร เคมีต่อวัตถุดิบ	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (hrs)	ไอโอดีน นัมเบอร์ (mg/g)	พื้นที่ผิว (m ² /g)
2532	มอก. 900-2532	ถ่านกัม มันต์	-	-	-	600	-
2537	บุญชัย ตระกูลมหชัย	กะลา	60% ZnCl ₂ (3:2)	500	1	1100- 1200	1600- 1700
		ตาลโตนด	:RM				
2538	พงศธร ใค้ว คชาภรณ์	ซังข้าวโพด	ZnCl ₂ (1:2) :RM	400	3	800-900	1000
		ซังข้าวโพด	ZnCl ₂ (1:4) :RM				
2542	ปิยะพร บารมี	ยางเหลือทิ้ง	70% ZnCl ₂ (aq)	500	2	351.52	237.17
2545	นภารัตน์ จิวาต์กษณ์	ถ่านหิน	KOH (1:1) :RM	800	1	1616	1781
2545	มานพ ติระรัตน์สม โภช	ขี้เถ้า	NaCl (1:1) :RM	800	1	532	489
		ขี้เถ้า	ZnCl ₂ (1:2) :RM				
2545	ณัฐญา พูนสุวรรณ	ถ่านหิน	ZnCl ₂ (1:1) : RM	600	1	1069	1332
		ชานอ้อย	H ₃ PO ₄ (1:1) :RM				
2547	สุพรรณ ยอดยิ่งยง	ไม้ไผ่	ZnCl ₂ (1:1) : RM	900	1	857.86	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| 1) กรดอะซิติก (เกรดวิเคราะห์) | จากบริษัท Fuka chemical |
| 2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (เกรดวิเคราะห์) | จากบริษัท Fuka chemical |
| 3) กลูตาไรลดีไฮด์ (เกรดวิเคราะห์) | จากบริษัท Merck Co.,Ltd. |
| 4) เอทานอล (เกรดวิเคราะห์) | จากบริษัท Fuka chemical |
| 5) แก๊สฮีเลียม (เกรด HP) | จากบริษัท TIG |
| 6) น้ำกลั่น | |
| 7) ไคโตซาน (เกรดการค้า) | จากบริษัท TC Uion Co.,Ltd. |

ตารางที่ 3.1 สมบัติของไคโตซาน*

สมบัติ	ค่าที่ได้
องศาการกำจัดหมู่อะซิติก	91.15%
เถ้า	0.33%
โปรตีน	0.21%
ความชื้น	4.05%
สี	ขาว

*ข้อมูลจากบริษัท TC Union Co.,Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ปริมาณเครื่องแก้ว
- 2) ชุดทดสอบกระบวนการซีเมนต์ผ่านไอ
- 3) หลุมให้ความร้อน (Heating mantle)
- 4) เทอร์โมมิเตอร์
- 5) ปั๊มคูดของเหลวชนิดเพอร์ริสแตติก (Peristaltic pump) : WATSON – MARLOW รุ่น 101 V/R
- 6) เครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส (Mass flow meter) : บริษัท SIERRA INSTRUMENTS รุ่น MASSTRAK
- 7) เครื่องสั่นโดยใช้คลื่นเสียง (Ultrasonic bath) : บริษัท NEY PENTAL รุ่น 14 H
- 8) ตู้อบ
- 9) เครื่องชั่ง
- 10) ถังมือกันความร้อน
- 11) ไมโครมิเตอร์
- 12) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) : บริษัท LEO รุ่น 1455 VP
- 13) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) : บริษัท VARION รุ่น VARION 3800
- 14) เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analyzer) : บริษัท PERKIN ELMER รุ่น PYRIS 1 TGA
- 15) เครื่อง XRD (X-ray diffractometer) : บริษัท BRUKER AG รุ่น D8 ADVANCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอ

1) การสังเคราะห์ซีโอไลต์เอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ

- 1.1) ชั่งโซเดียมอะลูมิเนต 5 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.2) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 15 %wt จำนวน 48 กรัม ปั่นกวนจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
- 1.3) เติมน้ำปราศจากไอออน 18 กรัม ปั่นกวนสารละลายต่อ
- 1.4) เติมละอองซิลิกา 3.3 กรัม โดยใช้ช้อนตักสารค่อยๆ เติมลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายปั่นกวนอยู่นิ่งหมดภายในเวลา 10 นาที
- 1.5) ปั่นกวนสารละลายต่อจนละอองซิลิกาละลายหมด
- 1.6) ทำการปั่นกวน โดยใช้เวลาในการปั่นกวน (Aging time) เท่ากับ 1 และ 6 ชั่วโมง โดยทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิค่าในช่วง 10-15 องศาเซลเซียส
- 1.7) ถ่ายของผสมในบีกเกอร์ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการรีฟลักซ์ (Reflux) โดยปั่นกวนอยู่เสมอเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที
- 1.8) เมื่อครบกำหนดเวลานำขวดก้นกลมมาแช่ในน้ำเย็น
- 1.9) แบ่งของผสมใส่หลอดแล้วนำไปใส่เครื่องเหวี่ยงแยกตะกอนที่ 3000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที
- 1.10) เทของเหลวใสด้านบนออก แล้วเติมน้ำปราศจากไอออนลงไป กวนของผสมด้วยแท่งแก้วคนแล้วนำไปใส่เครื่องเหวี่ยงแยกตะกอนที่ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาทีอีกครั้ง
- 1.11) ทำซ้ำข้อ 1.10) 5-6 ครั้ง จนค่า pH ของของเหลวที่ผ่านการล้างมีค่าไม่เกิน 9
- 1.12) นำซีโอไลต์โซเดียมเอที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน
- 1.13) นำซีโอไลต์ที่เตรียมได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRD และศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

2) การสังเคราะห์ซีโอไลต์เอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) แต่ใช้เวลาในการปั่นกวน 3 ชั่วโมง โดยทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิในช่วง 15-25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน

1) การเตรียมสารละลายโคโตซาน

- 1.1) ชั่งน้ำหนัก 84.8 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดอะซิติกเข้มข้น 2 % (v/v) ปริมาตร 2 มิลลิลิตรลงไป คนสารละลายให้เข้ากัน
- 1.2) ชั่งโคโตซาน 2 กรัม เติมลงในสารละลายกรดอะซิติกที่เตรียมไว้
- 1.3) นำสารละลายมาปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 1.4) นำสารละลายมาเติมกลูตารัลดีไฮด์เข้มข้น 0.05 % (v/v) 1 กรัม
- 1.5) นำสารละลายโคโตซานที่ได้มาปรับ pH ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 % (w/w) 8 กรัม ปั่นกวนจนกระทั่งสารละลายมี pH ประมาณ 6.5
- 1.6) ชั่งซีไอไลต์ปริมาณ 10 phr นำมากระจายตัวในน้ำกลั่น 5 กรัม จากนั้นนำไปปั่นโดยใช้เครื่องอุลตราโซนิค เป็นเวลา 15 นาที
- 1.7) นำซีไอไลต์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำกลั่นแล้วมาเทลงในสารละลายโคโตซาน นำไปปั่นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็ก
- 1.8) นำสารละลายมากำจัดฟองอากาศโดยใช้เครื่องอุลตราโซนิค

2) การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน

2.1) การเตรียมเยื่อเลือกผ่านแบบอบให้ความร้อน

- 2.1.1) ใช้หลอดฉีดยา (Syringe) ดูดสารละลายโคโตซานที่ได้จากการเตรียมในข้อ 1) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ค่อยๆ ฉีดลงในแม่แบบขนาด 15 cm x 24 cm x 0.3 cm ที่ทำจากกระจกที่รองด้วยแผ่นพอลิไวนิลอะซิเตด
- 2.1.2) นำแม่แบบไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้เยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่ยังไม่ได้ทำให้เป็นกลาง
- 2.1.3) นำเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้มาทำให้เป็นกลาง โดยแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% (w/v) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง
- 2.1.4) นำเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
- 2.1.5) นำเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่เตรียมได้มาวัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์ โดยเลือกเยื่อเลือกผ่านที่มีความหนาอยู่ในช่วง 30 ± 3 ไมโครเมตร
- 2.1.6) นำเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่เตรียมได้ทั้งหมดมาแช่ไว้ในสารละลายเอทานอลเข้มข้น 50 %mol เพื่อรอจะนำไปทดสอบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) การเตรียมเยื่อเลือกผ่านแบบไม่อบให้ความร้อน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.1.1) - 2.1.3) แต่เมื่อผ่านการทำให้เป็นกลางแล้ว นำเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้มาแช่ไว้ในสารละลายเอทานอลเข้มข้น 50 %mol เพื่อรอนำไปทดสอบ โดยไม่ต้องทำการทดลองข้อ 2.1.4)

3.3.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอและเยื่อเลือกผ่าน

1) ศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอด้วยเครื่อง XRD

1.1) ศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยนำตัวอย่างแบบเป็นผงใส่ในที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) ทำการเกลี่ยให้พื้นผิวเรียบ แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD สภาวะในการทดสอบใช้แหล่งกำเนิดรังสี $\text{CuK}\alpha$ (40 kV, 40 mA) ความยาวคลื่น 1.5406 อังสตรอม มุม 5-60 องศา Step size 0.04 °/s

1.2) ศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน โดยตัดเยื่อเลือกผ่านขนาด $4 \times 4 \text{ cm}^2$ ตัดลงบนแผ่นซิลิกอน แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD สภาวะทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 1.1)

2) ศึกษาลักษณะวิทยาของซีโอไลต์โซเดียมเอและเยื่อเลือกผ่าน

2.1) ศึกษาลักษณะและขนาดของผลึกซีโอไลต์โซเดียมเอที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยนำตัวอย่างแบบเป็นผงใส่ในที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) แล้วเคลือบด้วยโลหะทองคำ จากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

2.2) ศึกษาลักษณะพื้นผิวของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ทั้งหมด โดยตัดตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมให้มีขนาด $1 \times 1 \text{ cm}^2$ นำไปวางบนที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) แล้วเคลือบด้วยโลหะทองคำ จากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

2.3) ศึกษาลักษณะภาคตัดขวางของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ทั้งหมด โดยตัดตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม กว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 4 เซนติเมตร นำมาหล่อเรซินและอบตัวอย่างที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบ 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างไปแช่ในตู้เย็นเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำมาแช่ในไนโตรเจนเหลว 20 นาที หักตัวอย่างที่เตรียมได้ นำไปวางบนที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) แล้วเคลือบด้วยโลหะทองคำ จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) วิเคราะห์หาปริมาณซีโอไลต์ในเยื่อเลือกผ่านด้วยเครื่อง TGA

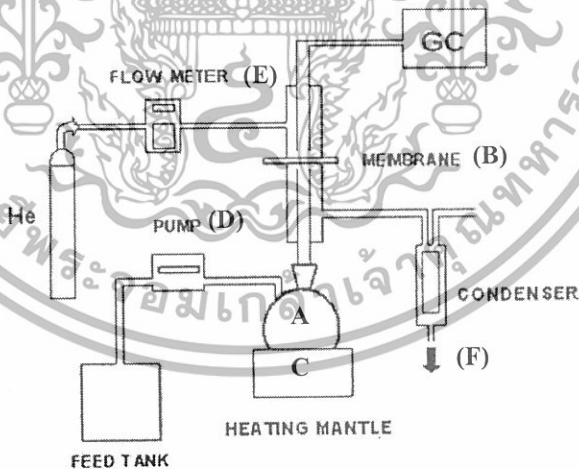
นำเยื่อเลือกผ่านโคโคซานที่เติมซีโอไลต์โซเดียมเมมขนาดอนุภาค 300 นาโนเมตร ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบและกว้าง และ 800 นาโนเมตร มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ลงในที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) ปริมาณ 10-20 มิลลิกรัม โดยวิเคราะห์ภายใต้บรรยากาศของอากาศแห้งอัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ในช่วงอุณหภูมิ 80-700 องศาเซลเซียส

3.3.4 การศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซีโอไลต์โซเดียมเม

- 1) ใช้เทคนิค Image analysis วัดขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเมจากภาพที่ได้จากเทคนิค SEM ประมาณ 300 ค่า
- 2) นำค่าขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเมที่วัดได้มาพลอตกราฟแท่ง เพื่อดูการกระจายตัวของขนาดอนุภาค โดยให้แกนนอนแสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ย และแกนตั้งแสดงจำนวนอนุภาค

3.3.5 ทดสอบประสิทธิภาพการแยกของเยื่อเลือกผ่าน

ทดสอบประสิทธิภาพของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ด้วยกระบวนการซึมผ่านไอดังชุดทดสอบในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงชุดทดสอบกระบวนการซึมผ่านไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) บรรจุเอทานอล 95 % (v/v) ลงในขวดก้นกลมจำนวน 100 มิลลิลิตร (A)
 - 2) นำเยื่อเลือกผ่านขนาด 4x4 ตารางเซนติเมตร บรรจุในเซลล์ (B)
 - 3) ให้ความร้อนโดยใช้หลุมให้ความร้อนที่สเกลเบอร์ 4 (C)
 - 4) เติมเอทานอล 95% (v/v) ลงในขวดก้นกลม โดยใช้ปั๊มเพอร์ริสแตติก (D) ดูดเอทานอลจากขวดรูปชมพู่
 - 5) เปิดวาล์วแก๊สฮีเลียมแล้วเปิดเครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สฮีเลียมที่ให้อัตราการไหลของแก๊สฮีเลียมเป็น 80 มิลลิลิตรต่อนาที (E)
 - 6) เมื่อเอทานอลเริ่มเดือด ไอของสารผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำเคลื่อนที่ขึ้นมายังเยื่อเลือกผ่าน โดยสารบางส่วนที่เคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านไป จะถูกพาเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟเพื่อหาปริมาณของน้ำและเอทานอลที่อยู่ใน ไอ ส่วนสารที่ไม่สามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านได้จะถูกควบแน่นลงสู่ขวดวัดปริมาตรที่รองรับโดยแก๊สพา (F)
- สภาวะของเครื่อง GC ที่ใช้ในการทดสอบ
- Column Parapak Q
 - Column oven 140°C
 - Detector TCD
 - Temperature 200°C
 - Filament Temperature 230°C
 - Carrier gas 30 ml/min
 - Run time 10 min
- 7) ทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
 - 8) นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีมาทำการคำนวณต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การคำนวณ

คำนวณปริมาณสารที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านและค่าความสามารถในการแยกโดยใช้สูตร

$$\text{Flux}_{\text{water}} = \frac{\%V_{\text{water}} \times F \times MW_{\text{water}}}{V_{TP} \times A}$$

$$\text{Flux}_{\text{ethanol}} = \frac{\%V_{\text{ethanol}} \times F \times MW_{\text{ethanol}}}{V_{TP} \times A}$$

$$\text{Flux}_{\text{All}} = \text{Flux}_{\text{water}} + \text{Flux}_{\text{ethanol}}$$

$\% V_{\text{water}}$ = เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของไอน้ำในเพอร์มิเอต

$\% V_{\text{ethanol}}$ = เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของไอเอทานอลในเพอร์มิเอต

F = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สทั้งหมด (ml/hr)

MW_{water} = น้ำหนักโมเลกุลของน้ำ

MW_{ethanol} = น้ำหนักโมเลกุลของเอทานอล

V_{TP} = Molar volumn at 298 K, 1 atm = $22.4 \times 10^3 \text{ cm}^3$

A = พื้นที่หน้าตัดเยื่อเลือกผ่าน

$$\text{Separation factor } (\alpha) = \frac{Y_{\text{Water}} / Y_{\text{Ethanol}}}{X_{\text{Water}} / X_{\text{Ethanol}}}$$

Y_{water} = สัดส่วนโมลของน้ำในเพอร์มิเอต

$$= \% \text{ mol}_{\text{water}} / (\% \text{ mol}_{\text{water}} + \% \text{ mol}_{\text{ethanol}})$$

Y_{ethanol} = สัดส่วนโมลของเอทานอลในเพอร์มิเอต

$$= \% \text{ mol}_{\text{ethanol}} / (\% \text{ mol}_{\text{water}} + \% \text{ mol}_{\text{ethanol}})$$

X_{water} = สัดส่วนโมลของน้ำในสารป้อน

X_{ethanol} = สัดส่วนโมลของเอทานอลในสารป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนี้เพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจและการรายงานผลจึงขอใช้สัญลักษณ์แทนชนิดและองค์ประกอบของเชื้อเลือกผ่าน แสดงดังตาราง 3.2

ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์แทนชนิดเชื้อเลือกผ่านและแสดงองค์ประกอบของเชื้อเลือกผ่าน

สัญลักษณ์	ปริมาณ โคลโตซาน (phr)	ปริมาณ ซีโอไลท์ (phr)	ขนาดอนุภาคของ ซีโอไลท์โซเดียมเอ (นาโนเมตร)	ความหนาของ เชื้อเลือกผ่าน (ไมโครเมตร)
CG	100	-	-	30±3
CGZ 300A	100	10	300	30±3
CGZ 300B	100	10	300	30±3
CGZ 800	100	10	800	30±3

หมายเหตุ

A คือ ซีโอไลท์โซเดียมเอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ

B คือ ซีโอไลท์โซเดียมเอที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามมาผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางเคมี ในขั้นตอนแรกทำการวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณ (Proximate Analysis) ของไม้ไผ่ หลังจากนั้นทำการเผาไม้ไผ่ให้เป็นถ่านโดยใช้วิธีการเผาแบบห้องถิน แล้วจึงนำถ่านที่ได้มาผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีเพื่อทำให้เป็นถ่านกัมมันต์ โดยศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเตรียมถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น อัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่านที่ใช้ในการกระตุ้น อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น และทำการวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ คือ ค่าไอโอดีน นัมเบอร์ ความหนาแน่นปรากฏ ปริมาณเถ้า ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ และพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุน ซึ่งได้ผลการศึกษาดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณ (Proximate Analysis) ของกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามก่อนการเผาให้เป็นถ่าน

กระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณด้วยวิธี Thermo Gravimetric Analysis พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ความชื้น และสารระเหย ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติโดยประมาณของกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามก่อนการเผาให้เป็นถ่าน

องค์ประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	5.60
สารระเหย	71.03
คาร์บอนคงตัว	23.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 พบว่ามีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 5.50 และปริมาณสารระเหยร้อยละ 60.10 โดยน้ำหนัก เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณหาปริมาณคาร์บอนคงตัวพบว่ากระบอกไม้ไผ่ก่อนทำให้เป็นถ่านมีปริมาณคาร์บอนคงตัวประมาณร้อยละ 23.37 โดยน้ำหนัก

4.2 ผลศึกษาการเตรียมถ่านจากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามโดยใช้วิธีการเผาแบบท้องถิ่น

ในการศึกษาการเตรียมถ่านโดยใช้วิธีการเผาแบบท้องถิ่นนั้น โดยใช้ถังที่มีปริมาตรประมาณ 200 ลิตร มาทำเป็นเตาเผา ทำการตัดฝาด้านบนเพื่อใช้เป็นส่วนของฝาเตาที่สามารถเปิดปิดได้ ซึ่งมี (รูปที่ 3.1) นำกระบอกไม้ไผ่บรรจุลงในเตาโดยเรียงไม้ไผ่ที่มีขนาดเล็กไว้ด้านล่างของเตา ขนาดใหญ่ไว้ด้านบนจนเต็ม แล้วปิดฝาเตา ทำการเผาเป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ทั้งเตาเผาไว้ให้เย็นประมาณ 1 คืน จึงนำถ่านออกจากเตา ถ่านที่ได้จากการเผามีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.1 และสมบัติโดยประมาณของถ่านที่ได้จากการเผาแบบท้องถิ่น ดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ถ่านจากกระบอกไม้ไผ่ที่ได้จากการเผาแบบท้องถิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.2 สมบัติโดยประมาณของกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม
หลังการเผาให้เป็นถ่าน โดยวิธีเผาแบบท้องถิ่น**

องค์ประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	2.16
สารระเหย	37.63
คาร์บอนคงตัว	60.21

จากตารางที่ 4.2 พบว่ากระบอกไม้ไผ่ที่ผ่านกระบวนการเผาให้เป็นถ่านแล้วนั้น จะมีปริมาณความชื้นและปริมาณสารระเหยลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบอกไม้ก่อนเผา (ตารางที่ 4.1) เนื่องจากในขั้นตอนของกระบวนการเผาให้เป็นถ่านนั้น จะเป็นการไล่ความชื้นและสารต่างๆออกจากวัสดุดิบ มีการสลายตัวของโมเลกุลของสารที่ไม่มีออกซิเจน สารที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปแก๊สและทาร์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาให้เป็นถ่านมีปริมาณร้อยละของคาร์บอนคงตัวสูงขึ้น และเมื่อนำถ่านที่ได้จากการเผาแบบท้องถิ่นไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพก่อนการกระตุ้นทางเคมี พบว่ามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ประมาณ 70 ความหนาแน่นปรากฏ 0.53 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ร้อยละปริมาณเถ้า 3.72 โดยน้ำหนัก

4.3 ผลของชนิดสารเคมี อัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่าน และอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม

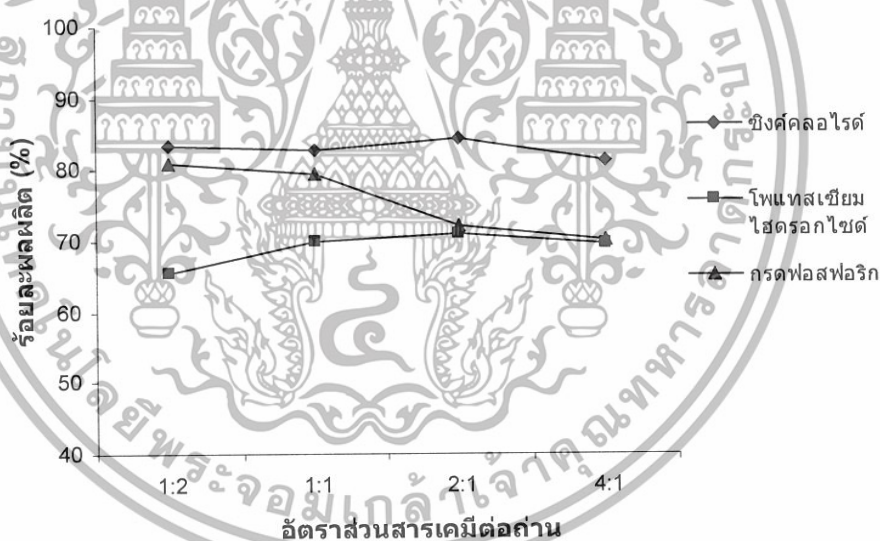
ในการศึกษาผลของชนิดของสารเคมีใช้ในการกระตุ้นต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์นั้น ทำได้โดยถ่านที่เตรียมได้จากข้อ 4.2 มาทำการกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่างๆดังนี้คือ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) , โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ตามลำดับ พร้อมทั้งแปรค่าอัตราส่วนสารเคมีต่อถ่านที่ใช้ คือ 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1 จากนั้นนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทั้งนี้เพื่อให้สารเคมีซึมเข้าสู่ถ่านได้อย่างทั่วถึง แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบรรจุในหม้อดินเผา(รูปที่ 3.2) แล้วนำไปกระตุ้นที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อได้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นแล้วจึงนำถ่านกัมมันต์ไปทำการล้างสารเคมีออก อบให้แห้งและชั่งน้ำหนักและทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ซึ่งได้แก่ ร้อยละผลผลิต ค่าไอโอดีนนมเบอร์ ความหนาแน่นปรากฏ ปริมาณเถ้า ลักษณะพื้นที่ผิว ผลการศึกษาดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.3.1 ร้อยละผลผลิต

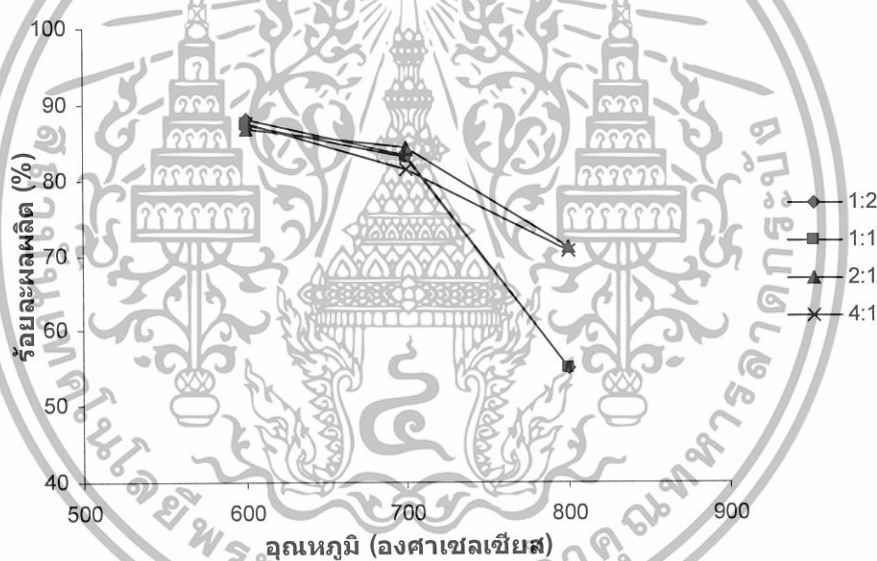
จากรูปที่ 4.2 เมื่อพิจารณาผลของชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นต่อร้อยละของผลผลิตที่ได้พบว่า ณ อัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่านและอุณหภูมิเท่ากันพบว่าร้อยละของผลผลิตที่ได้จากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนสารเคมีต่อถ่านที่ใช้ในการกระตุ้นต่อร้อยละผลผลิตที่ได้ ณ. สารเคมีและอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากันพบว่าร้อยละผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก



รูปที่ 4.2 ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และกรดฟอสฟอริก อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

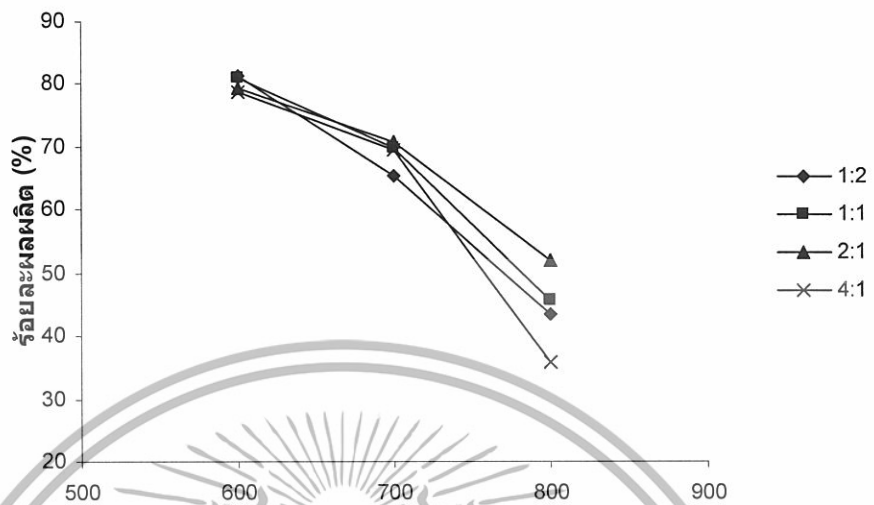
จากรูปที่ 4.3 เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นต่อร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่ได้พบว่า เมื่อใช้สารเคมีในการกระตุ้นชนิดเดียวกัน การเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นจะทำให้ร้อยละของผลผลิตที่ได้มีแนวโน้มลดลง ดังจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในการกระตุ้นจาก 600 °C เป็น 800 °C เมื่อใช้ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ในอัตราส่วนของสารเคมี ต่อถ่าน 1:2 จะทำให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงจาก 88.22 เป็นร้อยละ 55.02 แนวโน้มการลดลง เป็นไปในทิศทางเดียวกันเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารเคมีในการกระตุ้นเป็น 1:1, 2:1 และ 4:1 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลผลิตถ่านกัมมันต์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนชนิดของ สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นจากซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) และ กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) โดยสาเหตุที่ทำให้ร้อยละผลผลิตที่ได้มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการกระตุ้น สูงขึ้น อาจเป็นผลเนื่องมาจากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้สารระเหยที่มีอยู่ในโครงสร้างของ ถ่านสามารถหลุดออกไปจากโครงสร้างของโมเลกุลเดิมมาก

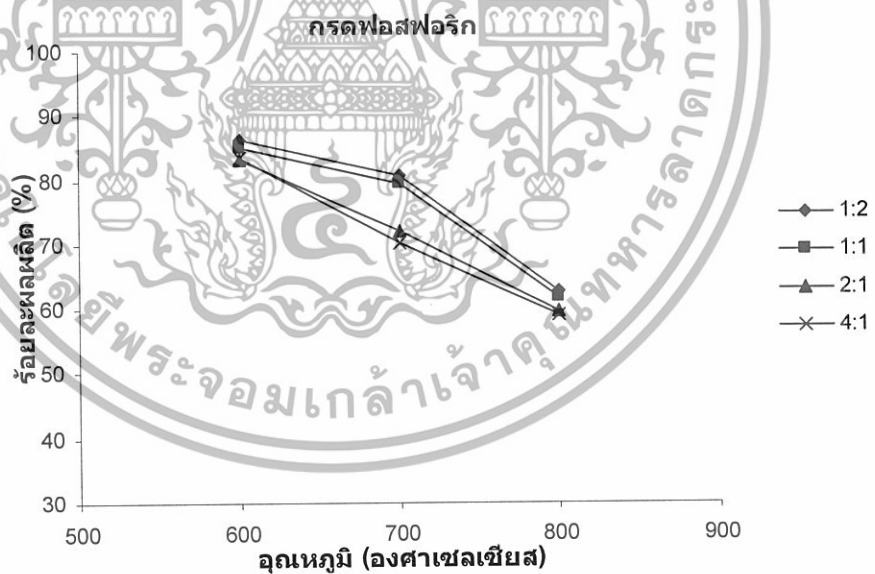


(ก) ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ (KOH)



(ข) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)

รูปที่ 4.3 ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย (ก) ซิงค์คลอไรด์ (ข) โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ และ (ค) กรดฟอสฟอริก อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1 อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ค่าไอโอดีนนมเบอร์

ค่าไอโอดีนนมเบอร์ จะเป็นดัชนีชี้วัดอย่างหนึ่งที่อาจบ่งบอกถึงค่าความสามารถในการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์ได้ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์นั้น กล่าวคือ ถ่านกัมมันต์มีค่าไอโอดีนนมเบอร์สูงจะมีค่าพื้นที่ผิวสูง และค่าความสามารถในการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์จะสูงด้วยเช่นกัน ดังนั้นในทางการค้าหรือการนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้งานจึงมักจะพิจารณาค่าไอโอดีนนมเบอร์ควบคู่ไปกับสมบัติอื่นๆของถ่านกัมมันต์นั้นด้วย สำหรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทยตาม มอก.900-2532 ได้กำหนดไว้ว่า ถ่านกัมมันต์แบบผงและแบบเม็ดนั้น ค่าไอโอดีนนมเบอร์จะต้องไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มาทำการทดลองวิเคราะห์หาค่าไอโอดีนนมเบอร์ตามวิธีการมาตรฐาน ASTM D4607-94 ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.4-4.5

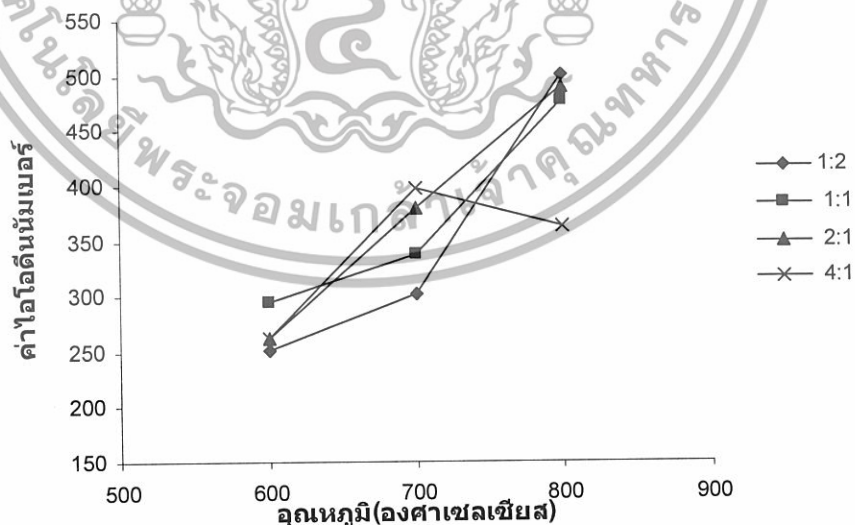


รูปที่ 4.4 ค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และกรดโพสฟอริก ตามลำดับ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบผลของชนิดของสารเคมีต่อค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่ได้พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) จะมีค่าไอโอดีนนมเบอร์มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์และกรดโพสฟอริก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

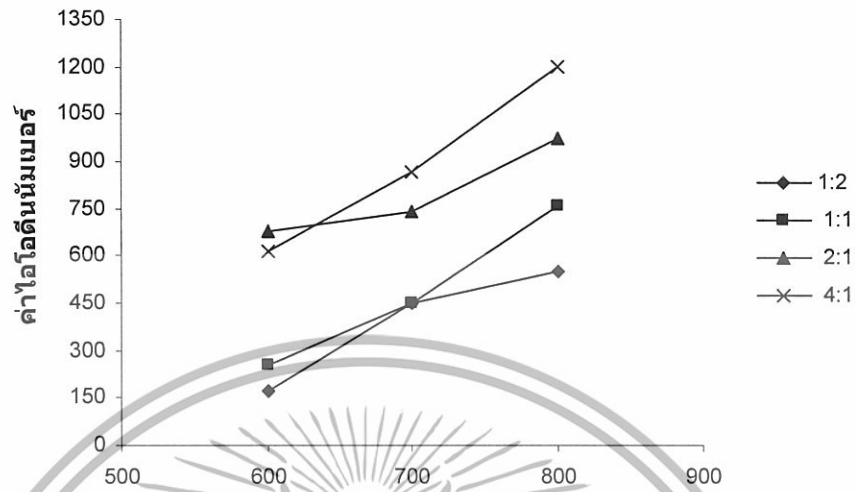
ตามลำดับ โดยค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่อุณหภูมิ 700 °C มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ระหว่าง 447-871 ทั้งนี้ขึ้นกับอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นต่อถ่าน ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริกมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์อยู่ระหว่าง 302-309 และ 166-190 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนของสารต่อถ่านที่มีต่อค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จะเห็นได้ว่าในกรณีที่ใช้ซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริกเป็นสารเคมีในการกระตุ้น ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยในกรณีของกรดฟอสฟอริกพบว่าการแปรค่าอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นไม่มีผลต่อค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ดังจะเห็นได้จากการเพิ่มอัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่านจาก 1:2 เป็น 4:1 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากโดยมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ระหว่าง 166-190

เมื่อเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากการบดกัมไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม โดยการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เมื่อใช้อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 2:1 และ 4:1 ที่ทุกอุณหภูมิของการกระตุ้นจะมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์มากกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ซึ่งกำหนดค่าไอโอดีนนัมเบอร์ไม่น้อยกว่า 600



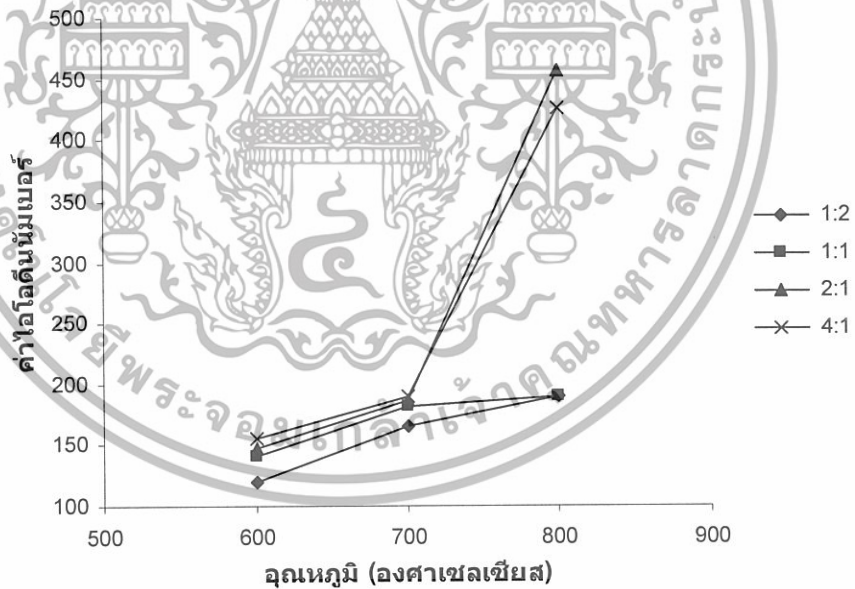
(ก) ซิงค์คลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

(ข) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)



(ค) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)

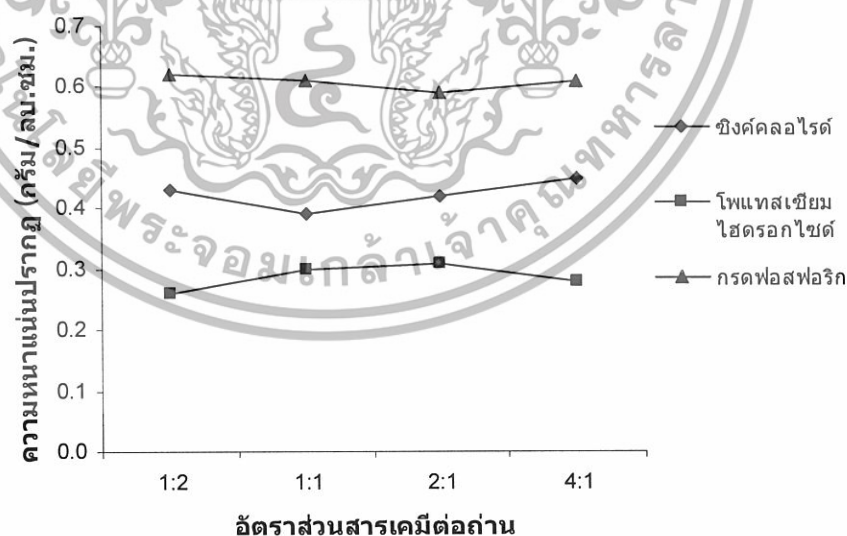
รูปที่ 4.5 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย (ก) ซิงค์คลอไรด์ (ข) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ค) ฟอสฟอริกที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 °C ตามลำดับ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นพบว่าเมื่อใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารเคมีในการกระตุ้น (รูปที่ 4.5 ก) ค่าไอโอดีนนมเบอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นเพิ่มขึ้นโดยซิงค์คลอไรด์จะมีค่าไอโอดีนนมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 501 อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส ผลของอุณหภูมิต่อค่าไอโอดีนนมเบอร์เป็นไปในทำนองเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นจากซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ตามลำดับ (รูปที่ 4.5 (ข) และ (ค)) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสารประกอบต่างๆในถ่านก็จะเริ่มสลายตัวมากขึ้น ส่วนที่เหลือก็จะเป็นการบดคองตัวหรือโครงสร้างหลักของถ่านกัมมันต์ เมื่อสารที่ระเหยได้ต่างๆสลายไป พื้นที่ว่างในโครงสร้างถ่านก็จะมามากขึ้นด้วย

4.3.2 ความหนาแน่นปรากฏ

การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นปรากฏนั้นจะเป็นการหาน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยปริมาตร วิเคราะห์โดยนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ใส่ในกระบอกตวงที่ทราบน้ำหนักและปริมาตรแน่นอน แล้วนำน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่มีหน่วยเป็นกรัมหารด้วยปริมาตรที่มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.6-4.7



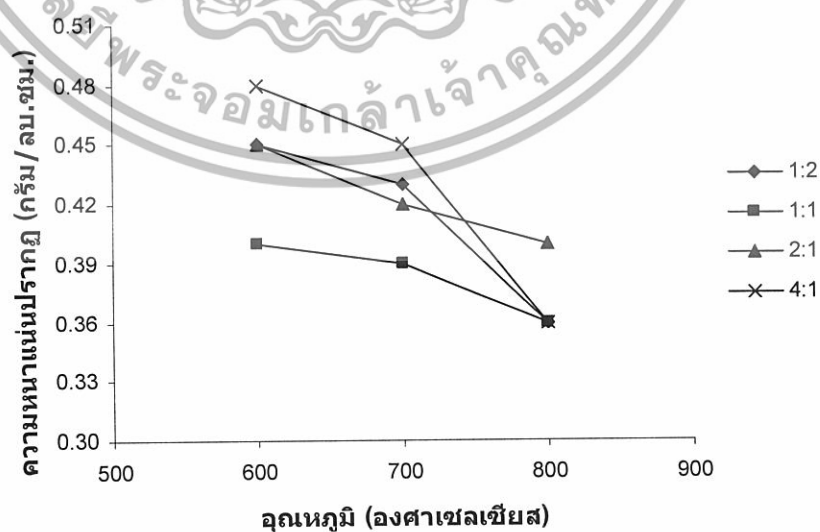
รูปที่ 4.6 ความหนาแน่นปรากฏของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และกรดฟอสฟอริก ตามลำดับ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1 ตามลำดับที่อุณหภูมิ 700 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

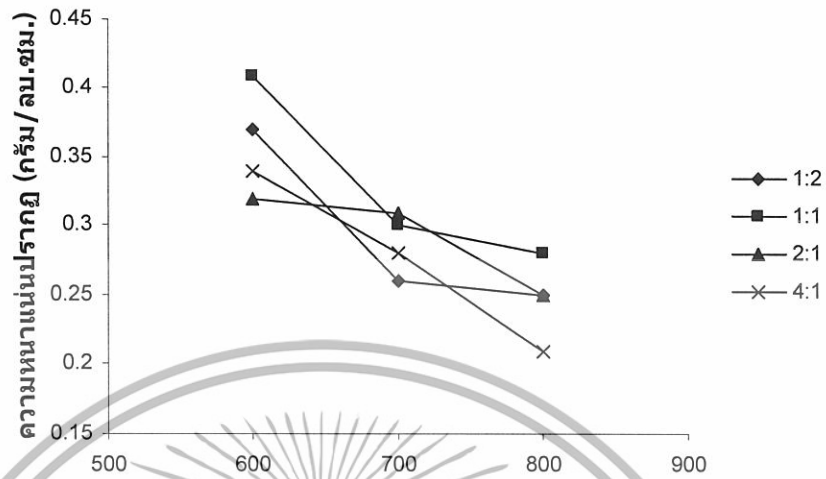
จากรูปที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบผลของชนิดของสารเคมีต่อค่าความหนาแน่นปรากฏของถ่านกัมมันต์ที่ได้พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) จะมีความหนาแน่นปรากฏน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ตามลำดับ โดยค่าความหนาแน่นปรากฏของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่อุณหภูมิ 700 °C มีค่าความหนาแน่นปรากฏระหว่าง 0.26-0.31 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ และกรดฟอสฟอริกมีค่าอยู่ระหว่าง 0.35-0.45 และ 0.57-0.69 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนของสารต่อถ่านที่มีต่อค่าความหนาแน่นปรากฏของถ่านกัมมันต์จะเห็นได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่านค่าความหนาแน่นปรากฏที่ได้ไม่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.7 เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นพบว่าเมื่อใช้ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นสารเคมีในการกระตุ้น (รูปที่ 4.5 ก) ค่าความหนาแน่นปรากฏมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นเพิ่มขึ้น โดยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) จะมีความหนาแน่นปรากฏต่ำสุดเท่ากับ 0.36 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่ออุณหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนาแน่นปรากฏเป็นไปในทำนองเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นจากซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ตามลำดับ (รูปที่ 4.5 ข) และ (ค) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการที่มีสารระเหยง่ายหลุดออกจากโครงสร้างของถ่าน ในขณะที่ปริมาณของสารยังเท่าเดิมหรือเปลี่ยนแปลงด้วยอัตราที่ลดลงน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก จึงทำให้ค่าความหนาแน่นปรากฏลดลง

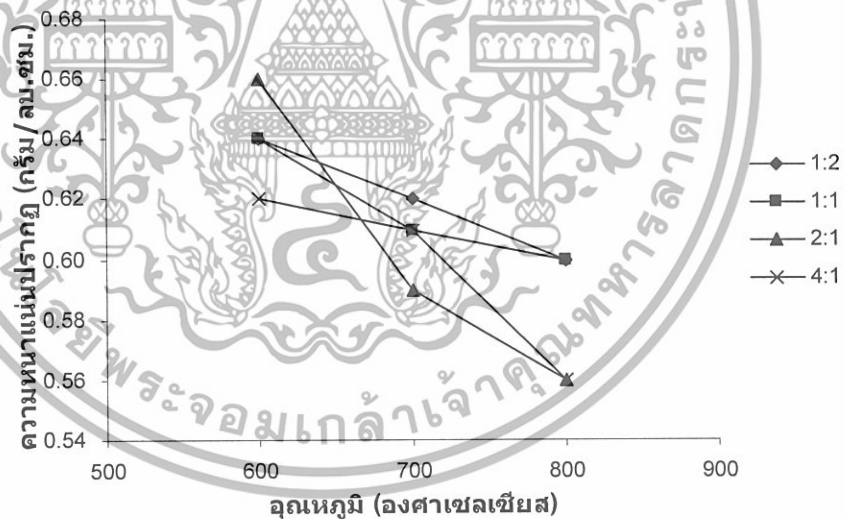


(ก) ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลูกหนุมิ (องศาเซลเซียส)
(ข) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)



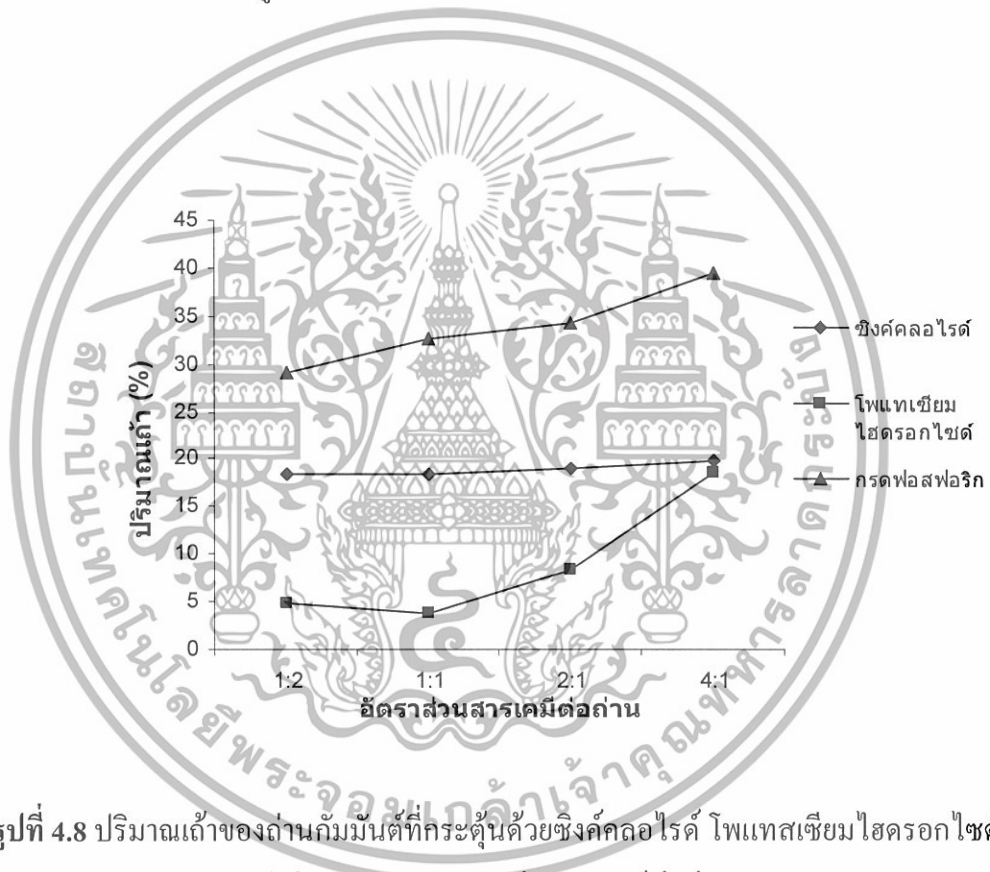
(ค) กรดฟอสฟอริก (H₃PO₄)

รูปที่ 4.7 ความหนาแน่นปรากฏของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย (ก) ซิงค์คลอไรด์ (ข) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ง) กรดฟอสฟอริก ที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 ° C ตามลำดับ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ปริมาณเถ้า

การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์นั้นเป็นการหาปริมาณสารอนินทรีย์ที่ทนความร้อนได้สูงและปนเปื้อนอยู่ในถ่านกัมมันต์ เถ้าจะทำให้ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ลดลง เถ้าโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยออกไซด์ นอกจากนี้จะเป็นพวกประกอบซัลเฟต คาร์บอเนตและสารประกอบอื่นๆของเหล็ก อะลูมิเนียม แคลเซียม เป็นต้น การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าทำได้โดยนำถ่านกัมมันต์ไปเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ดังรูปที่ 4.8-4.9



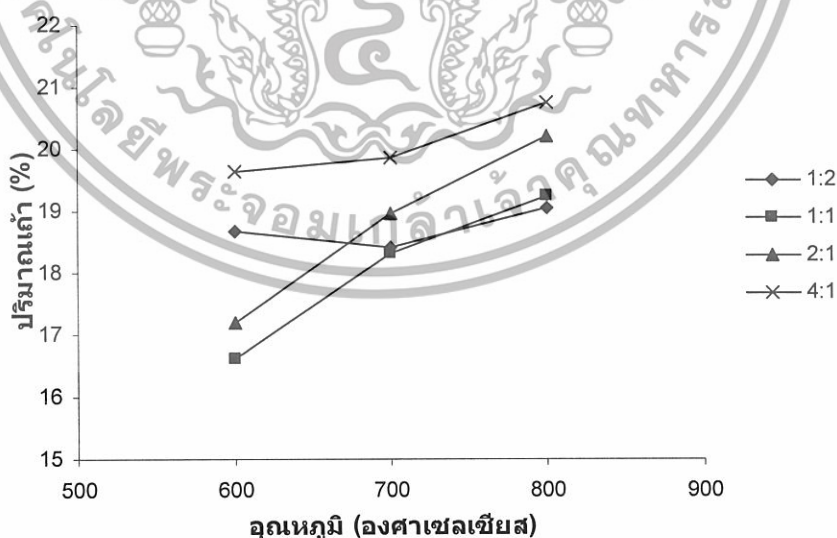
รูปที่ 4.8 ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และกรดฟอสฟอริก ตามลำดับ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบผลของชนิดของสารเคมีต่อร้อยละปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ที่ได้พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) จะมีค่าร้อยละปริมาณเถ้าน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ตามลำดับ โดยร้อยละปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่อุณหภูมิ 700 °C มีค่าร้อยละปริมาณเถ้าระหว่าง 3.82-18.65 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

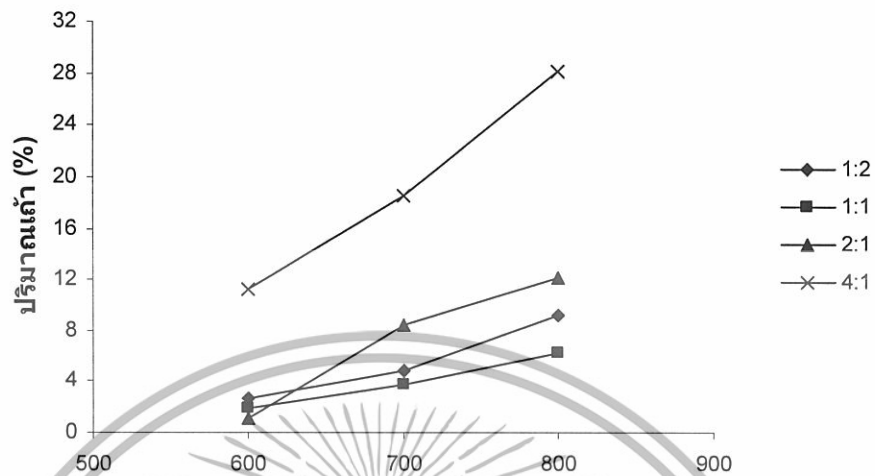
ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) มีค่าร้อยละปริมาณเถ้าอยู่ระหว่าง 18.32-19.87 และ 29.05-39.65 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่านที่มีต่อร้อยละปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) การเพิ่มอัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่านนั้นส่งผลให้ร้อยละปริมาณเถ้าที่ได้ไม่แตกต่างกัน ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) พบว่าเมื่ออัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นต่อถ่านเพิ่มขึ้นร้อยละปริมาณเถ้ามีค่าเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นต่อร้อยละปริมาณเถ้าพบว่าเมื่อใช้ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นสารเคมีในการกระตุ้น (รูปที่ 4.9 ก) ร้อยละปริมาณเถ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นเพิ่มขึ้น โดยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) จะมีค่าร้อยละปริมาณเถ้าสูงสุดเท่ากับ 20.78 โดยน้ำหนัก เมื่ออุณหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส ผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละปริมาณเถ้าเป็นไปในทำนองเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นจากซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (รูปที่ 4.9 ข) และกรดฟอสฟอริก (รูปที่ 4.9 ข) โดยจะมีร้อยละปริมาณเถ้าสูงสุดเท่ากับ 28.25 และ 45.01 โดยน้ำหนักตามลำดับ



(ก) ซิงค์คลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

(ข) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)



อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

(ค) กรดฟอสฟอริก (H₃PO₄)

รูปที่ 4.9 ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย (ก) ซิงค์คลอไรด์ (ข) โพแทสเซียม

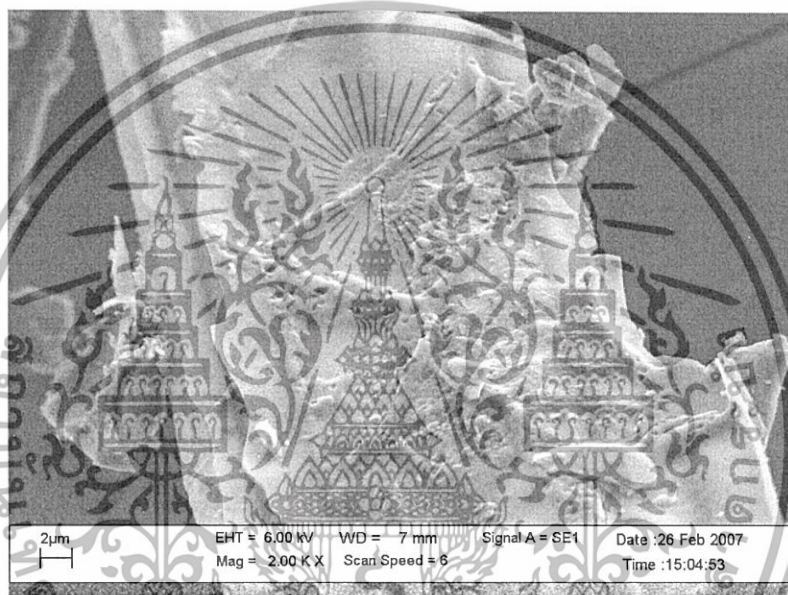
ไฮดรอกไซด์ (ค) กรดฟอสฟอริกที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 °C ตามลำดับ

อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 1:2, 1:1, 2:1 และ 4:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

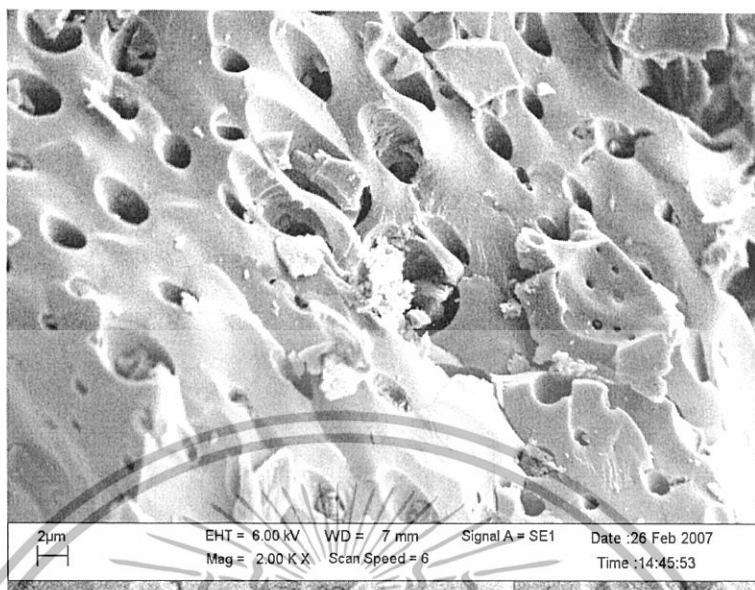
4.3.4 ลักษณะพื้นผิวของถ่านที่ได้จากการเผาแบบห้องถินและถ่านกัมมันต์

ลักษณะพื้นผิวของถ่านที่ได้จากการเผาแบบห้องถินและถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยสารเคมีต่างชนิดกัน ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope: SEM) ซึ่งผลการศึกษาดังแสดงรูปที่ 4.10-4.13

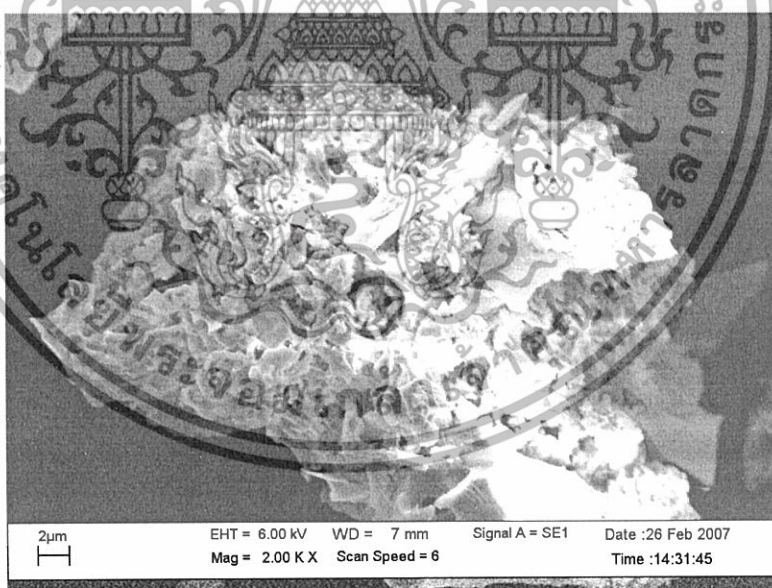


รูปที่ 4.10 ลักษณะพื้นผิวของถ่านจากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลามโดยการเผาแบบห้องถิน กำลังขยาย 2000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

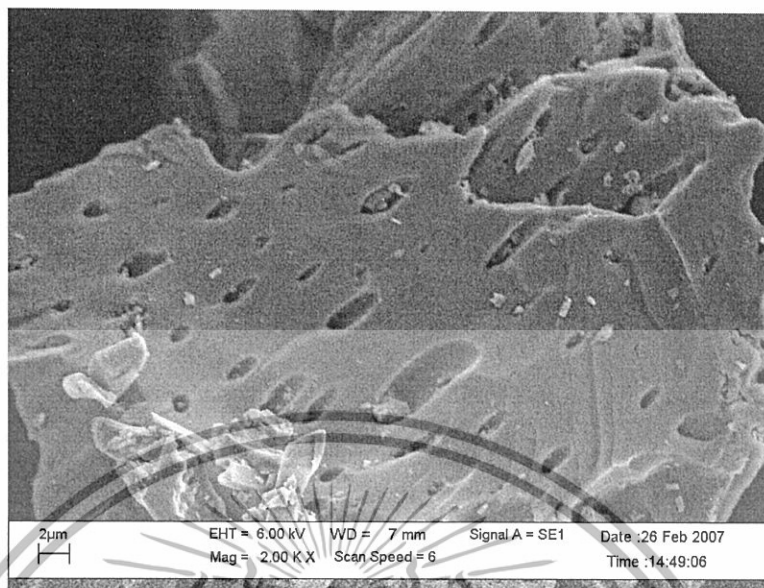


รูปที่ 4.11 ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 2:1 อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 2000 เท่า



รูปที่ 4.12 ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 2:1 อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 2000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 2:1 อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 2000 เท่า

จากรูปที่ 4.10-4.13 พบว่าการกระตุ้นทางเคมีนั้นส่งผลอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะของพื้นที่ผิวและลักษณะของรูพรุนของถ่าน โดยเมื่อเปรียบเทียบลักษณะของถ่านที่ได้จากการเผาแบบท้องถิ่นไม่มีลักษณะความเป็นรูพรุน (รูปที่ 4.10) ภายหลังจากการนำถ่านดังกล่าวมากระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้มีลักษณะความเป็นรูพรุนมากขึ้น (รูปที่ 4.11-4.13) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นพบว่าถ่านที่กระตุ้นโดยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีจำนวนรูพรุนที่มากกว่าซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริกตามลำดับ

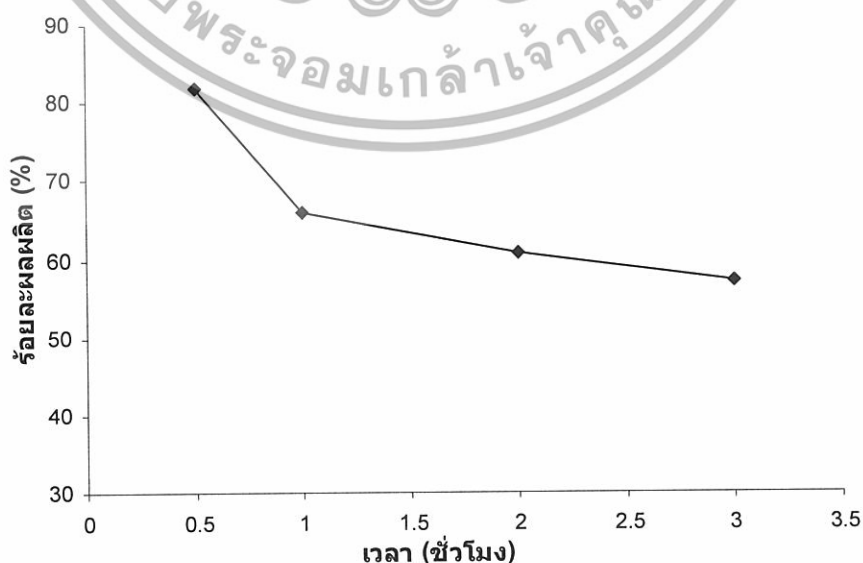
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลของระยะเวลาในการกระตุ้นต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม

การศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ ทำได้โดยนำถ่านที่ได้จากการเผาแบบห้องดิน มาทำการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เนื่องจากการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) มีสมบัติดีที่สุดเมื่อเทียบถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ตามลำดับ อัตราส่วนสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นต่อถ่านคือ 2:1 อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นคือ 600 องศาเซลเซียส ทำการแปรค่าระยะเวลาในการกระตุ้นคือ 0.5, 1, 2 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับ หลังจากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ได้แก่ ร้อยละผลผลิต ค่าไอโอดีน นัมเบอร์ ความหนาแน่นปรากฏ ปริมาณเถ้า และลักษณะพื้นที่ผิว ซึ่งผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ดังนี้คือ

4.4.1 ร้อยละผลผลิต

เมื่อนำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ณ อุณหภูมิ 600 °C มาทำการวิเคราะห์ร้อยละผลผลิต พบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาในการกระตุ้นนานขึ้น ร้อยละผลผลิตที่ได้มีแนวโน้มลดต่ำลง (รูปที่ 4.13) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากเมื่อเวลาผ่านไปการเกิดปฏิกิริยาและการสูญเสียสารระเหยออกไปจากโครงสร้างถ่านอย่างต่อเนื่องจึงทำให้ร้อยละผลผลิตที่ได้ลดต่ำลง โดยร้อยละผลผลิตมีค่าลดลงจาก 81.90 เป็นร้อยละ 57.20 เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้นจาก 0.5 ชั่วโมง เป็น 3 ชั่วโมง ตามลำดับ

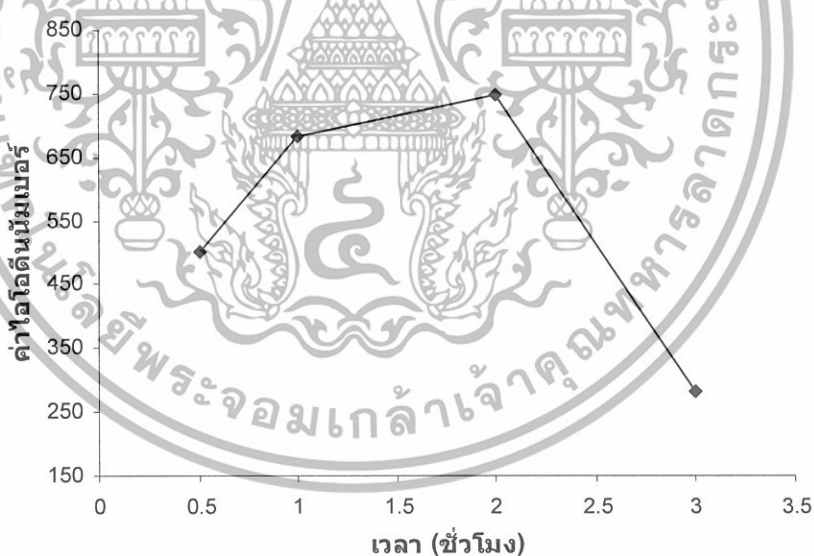


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 ผลของเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อร้อยละผลผลิต

4.4.2 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์

เมื่อนำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ณ อุณหภูมิ 600 °C มาทำการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้นจาก 0.5 ชั่วโมงเป็น 2 ชั่วโมง ค่าไอโอดีนนัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 501 เป็น 748 ตามลำดับ (รูปที่ 4.14) ทั้งนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากเกิดการสลายตัวของสารที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน ทำให้ถ่านมีโครงสร้างลักษณะเป็นรูพรุนเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้นจาก 2 ชั่วโมงเป็น 3 ชั่วโมง ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่ได้มีค่าลดลงจาก 748 เป็น 282 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้นมากเกินไปจะทำให้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (ประมาณ 2 นาโนเมตร) มีรูพรุนที่ใหญ่ขึ้น (มากกว่า 50 นาโนเมตร) ทำให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ลดลงเพราะถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนมากกว่า 50 นาโนเมตรนั้นโดยปกติแล้วจะไม่มีส่วนในการดูดซับสารต่างๆ แต่จะเป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปรูพรุนขนาดเล็กเท่านั้น

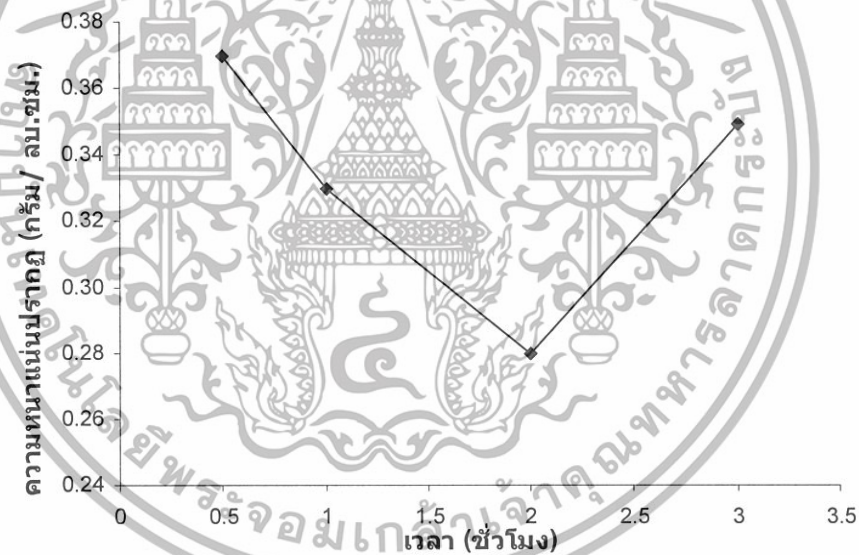


รูปที่ 4.14 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ความหนาแน่นปรากฏ

เมื่อนำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) ณ อุณหภูมิ 600 °C มาทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นปรากฏ พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้นจาก 0.5 ชั่วโมงเป็น 2 ชั่วโมง ค่าความหนาแน่นปรากฏมีแนวโน้มลดลงจาก 0.37 เป็น 0.28 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (รูปที่ 4.14) ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากเกิดการสลายตัวของสารที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน และออกซิเจนออกจากโครงสร้างของถ่านในขณะที่ปริมาณของสารยังเท่าเดิมหรือเปลี่ยนแปลงด้วยอัตราที่ลดลงน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้นจาก 2 ชั่วโมงเป็น 3 ชั่วโมง ค่าความหนาแน่นปรากฏที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.28 เป็น 0.35 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ระยะเวลาในการกระตุ้น 3 ชั่วโมง ร้อยละปริมาณถ่านมากขึ้น (รูปที่ 4.16) อาจจะทำให้ค่าความหนาแน่นปรากฏเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.15 ผลของระยะเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อความหนาแน่นปรากฏ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ปริมาณเถ้า

เมื่อนำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) ณ อุณหภูมิ 600 °C มาทำการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้นจาก 0.5 ชั่วโมง เป็น 3 ชั่วโมง ปริมาณเถ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.02 เป็นร้อยละ 0.35 โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4.16) ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการหลุดออกของโครงสร้างของโมเลกุลที่ระเหยง่ายในโครงสร้างถ่านเพิ่มมากขึ้น เมื่อโมเลกุลที่ระเหยง่ายลดลงจึงส่งผลให้ร้อยละปริมาณเถ้าเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับกับกรณีที่อุณหภูมิในการกระตุ้นเพิ่มมากขึ้น

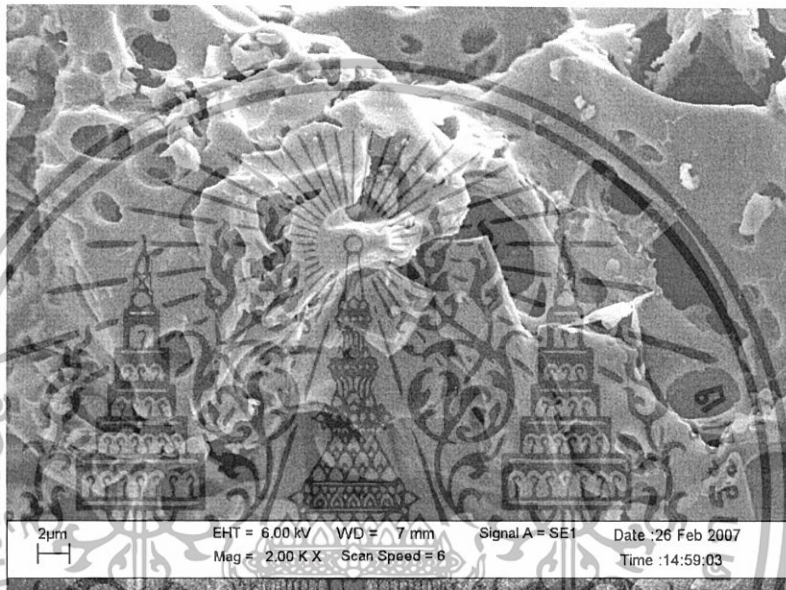


รูปที่ 4.16 ผลของระยะเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อปริมาณเถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

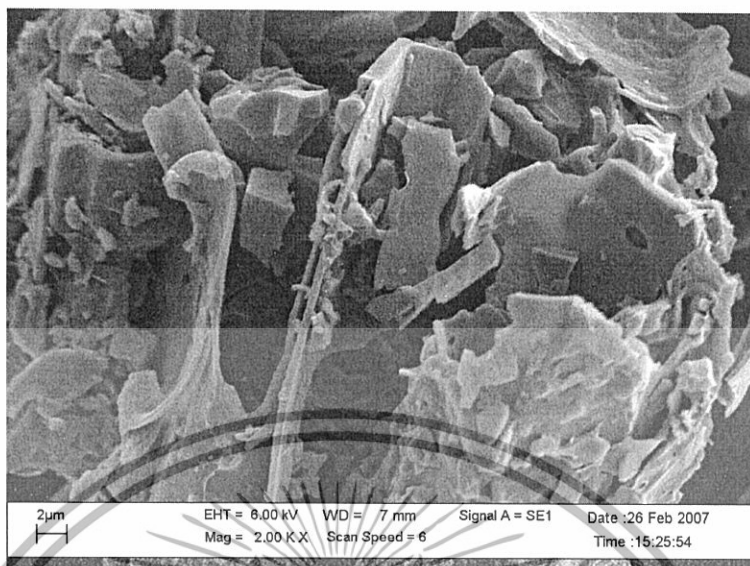
4.4.2 ลักษณะพื้นที่ผิว

เมื่อนำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ณ อุณหภูมิ 600 °C มาทำการวิเคราะห์ลักษณะพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope: SEM) ซึ่งผลการศึกษาดังแสดงรูปที่ 4.17-4.18



รูปที่ 4.17 ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 2:1 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง กำลังขยาย 2000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 2:1 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง กำลังขยาย 2000 เท่า

จากรูปที่ 4.17 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการกระตุ้น 2 ชั่วโมงจะมีจำนวนรูพรุนที่มีขนาดเล็กจำนวนมาก แต่เมื่อระยะเวลาในการกระตุ้นเพิ่มขึ้นเป็น 3 ชั่วโมง (รูปที่ 4.18) ทำให้มีรูพรุนที่มีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่มีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม โดยการกระตุ้นทางเคมี สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

จากผลการศึกษาสมบัติโดยประมาณของกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม พบว่ามีปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว ร้อยละ 5.60, 71.03 และ 23.37 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และผลการศึกษาสมบัติโดยประมาณของถ่านที่ได้จากวิธีการเผาแบบ ท้องถื่น พบว่ามีปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว ร้อยละ 2.16, 37.63 และ 60.21 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

ในการศึกษาผลของชนิดสารเคมี อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน และอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น พบว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ สภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นคือ อัตราส่วน สารเคมีต่อถ่าน 1:2 อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส ร้อยละผลผลิต 55.02 โดยถ่าน กัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 502 ค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.36 กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตรและปริมาณแฉ่ำร้อยละ 29.03 โดยน้ำหนัก ส่วนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สภาวะที่ เหมาะในการกระตุ้นคือ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 2:1 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ที่ ได้จากการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีสมบัติดังนี้ ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 676 ค่าความ หนาแน่นปรากฏ 0.32 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและปริมาณแฉ่ำร้อยละ 1.02 โดยน้ำหนัก และ ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก สภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นคือ อัตราส่วนสารเคมี ต่อถ่าน 2:1 อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ร้อยละผลผลิต 59.82 ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ ค่า ไอโอดีนนัมเบอร์ 457 ความหนาแน่นปรากฏ 0.56 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและปริมาณแฉ่ำร้อยละ 45.42 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในสภาวะดังกล่าวมีความเหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น จะใช้ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนสารเคมีต่อถ่าน 2:1 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส โดยกระตุ้นเป็นเวลา 0.5, 1, 2 และ 3 ชั่วโมงพบว่า เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น 2 ชั่วโมง จะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติที่ เหมาะสม คือ ร้อยละผลผลิตเท่ากับ 60.98 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 748 ค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.28 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและปริมาณแฉ่ำร้อยละ 3.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ ซึ่งกำหนดให้ไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ผงไม่น้อยกว่า 600 และค่าความหนาแน่นปรากฏอยู่ในช่วง 0.2-0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาสภาวะที่ใช้ในการกระตุ้นเพิ่มเติม เช่น ชนิดของสารเคมี อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น เป็นต้น
2. ศึกษาการนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและถ่านกัมมันต์เกรดการค้า
3. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ในด้านอื่นๆเพิ่มเติม
4. ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพเพื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กรมศุลกากร. สถิติการนำเข้า-ส่งออก(ออนไลน์) ได้จาก: <http://www.customs.go.th/>
- จุฑามาส จิตต์เจริญ และคณะ. 2540. การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ผิวและการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกผลปาล์ม สำหรับดูดซับสารไอเสียจากโรงงานโดยใช้ถลุงอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราด, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- ชลิตา คัลยา โคม. 2547. การเตรียม การวิเคราะห์ และการออกแบบกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องของถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐยา พูนสุวรรณ. 2545. การเตรียมและวัดสมบัติของถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์และขานอ้อยโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ธวัชชัย ต้นเจริญทรัพย์ และคณะ. 2546. สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากลิกไนต์โดยกระตุ้นทางเคมีและทางกายภาพ, วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นภารัตน์ จิวาลักษณ์. 2545. การเตรียมและวัดสมบัติของถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- บุญชัย ตระกูลมหชัย และคณะ. 2537. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนดในฟลูอิดไอซ์เบด, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปฐมภรณ์ เสวตจินดากร. 2545. การเตรียมถ่านดูดซับจากเปลือกผลของยางพารา โดยต้มในสารละลายกรดซัลฟิวริกสำหรับดูดก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจน, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยะพร บารมี. 2542. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากยางเหลือทิ้งโดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- พงศธร โค้วถาวรณ. 2538. การผลิตถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพด, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิสุทธิ พันธุ์วิชาติกุล และ สมิทธิ์ รัตนสุทธิพงษ์. 2539. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาตาลโตนดมาผลิตถ่านกัมมันต์, กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ภาณุวัตร จิตพุทธิ. 2543. การกำจัดโลหะโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ภาวิดา ชื่นคลัง. 2544. ผลของการกระตุ้นโดยแก๊สออกซิไดซ์ และสารละลายต่าง ต่อสมบัติของ ถ่านกัมมันต์จากไม้ยางพารา, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาปิโตรเคมี และวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มานพ ตีระรัตนสมโภช. 2545. การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากซีเด็อย, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รติกร อิศระเสนีย์ และคณะ. 2539. การผลิตถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ที่ใช้ แล้วโดยการกระตุ้น ด้วยไอน้ำร้อนหยดยิ่ง, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุจินต์ เอี่ยมปี. 2544. การบำบัดน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมสีโดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สุพรรณ ยอดยิ่งยง และ สมพิศ ร่องศักดิ์. 2547. ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่, ปริญญาวิทยานิพนธ์ ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
- Annual Book of ASTM Standards.(2006).Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke D3173-03. 05.00. 345-347
- Annual Book of ASTM Standards.(2006).Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke D3174-04. 05.00. 348-352
- Annual Book of ASTM Standards.(2006).Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke D3175-02. 05.00. 353-356
- Annual Book of ASTM Standards.(2006).Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon D4607-94 (Reapproved 1999) 15.01. 892-896
- Girgis, S., Khalil, B. and Tawfik, A.M. (1994).Activated carbon from sugar cane bagasse by carbonization in the presence of inorganic acid. **J. Chem.Tech. Biotechnol.** 61. 87-92.
- Teng and Yeh.(1998).Preparation of activated carbons from bituminous coals with zinc chloride activation.**Ind. Eng. Chem. Res.** 37.58-65.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



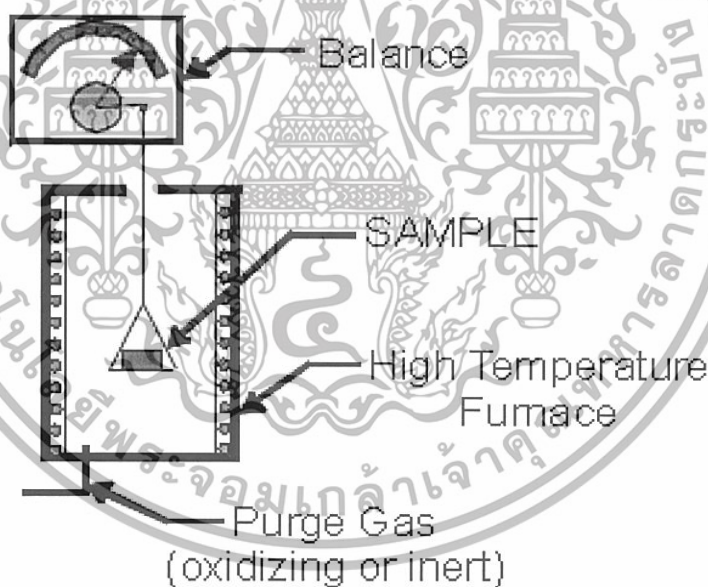
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Thermogravimetric Analysis (TGA)

วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องและอุ่นเครื่องประมาณ 1 ชั่วโมง
2. ชั่งถ้วยแพลตตินัม บันทึกเป็นน้ำหนักถ้วย ชั่งสารตัวอย่าง 10-20 มิลลิกรัมใส่ลงในถ้วยแพลตตินัม แล้วนำเข้าเครื่อง (ดังรูป ก.1)
3. ตั้งค่าสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงสุดท้าย (50-750 องศาเซลเซียส) อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 40 มิลลิลิตรต่อนาที
4. กดปุ่มเดินเครื่อง



รูปที่ ก.1 รูปแสดงการวิธีวิเคราะห์ TGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์

1. การวิเคราะห์ค่าไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน ซึ่งสมมติว่าเป็นสารพิษในน้ำตามวิธี ASTM D4607-86

1.1 สารเคมีที่ใช้

- สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยปีเปิดกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้นจำนวน 70 มิลลิลิตร เทใส่น้ำกลั่นที่มีปริมาตร 550 มิลลิลิตร
- น้ำแข็งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยชั่งแป้ง 1 กรัม ละลายด้วยน้ำร้อนจนมีน้ำหนักเป็น 10 กรัม น้ำแข็งที่เตรียมได้จะใช้ภายในวันที่เตรียมเท่านั้น
- สารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 24.820 กรัม ในน้ำ 75 มิลลิลิตร เติมโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.12 กรัม เพื่อป้องกันการสลายตัวของโซเดียมไซโอซัลเฟต เนื่องจากแบคทีเรีย แล้วเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร เก็บสารละลายที่ได้ไว้ในขวดสีชาเป็นเวลาอย่างน้อย 4 วันก่อนนำมาใช้
- ละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยละลายไอโอดีน 12.700 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 19.10 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร กวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นอย่างน้อยประมาณ 4 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าผลึกไอโอดีนละลายหมด แล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร เก็บสารละลายที่ได้ในขวดสีชา
- สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตเข้มข้น 0.100 นอร์มัล เตรียมโดยอบโพแทสเซียมไอโอเดตที่ 110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งมา 3.5667 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วิธีเทียบมาตรฐานสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

- ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตเข้มข้น 0.100 นอร์มัล 25 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2.0 กรัม เขย่าให้ละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยปริมาตร ประมาณ 5 มิลลิลิตร
- ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจนถึงจุดยุติโดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์
- คำนวณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

$$N_1 = \left(\frac{P \times R}{S} \right)$$

โดย N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

P = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)

R = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (นอร์มัล)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

1.3 วิธีเทียบมาตรฐานสารละลายของสารละลายไอโอดีน

- ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต
- ใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติสารละลายจะใสไม่มีสี
- คำนวณความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

$$N_2 = \left(\frac{P \times R}{S} \right)$$

โดย N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มัล)

P = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

R = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

S = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการวิเคราะห์

- บดและคัดขนาดตัวอย่างให้ละเอียดน้อยกว่า 60 เมช (0.246 มิลลิเมตร)
- อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงและทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างเท่ากับ M ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือมีมวลละเอียด 0.1 มิลลิกรัม) ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งมีจุกปิด
- ใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักจำนวน 10 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ ปิดจุกแล้วเขย่าเบาๆเพื่อให้ถ่านกัมมันต์สัมผัสกับสารละลายอย่างทั่วถึง เปิดจุกแล้วนำไปวางบน hot plate ในตู้ดูดควัน จนกระทั่งสารละลายเดือด ทิ้งให้เดือดประมาณ 30 ± 2 วินาทีเพื่อไล่ซัลเฟอร์ในตัวอย่าง หลังจากนั้นนำตัวอย่างออก ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- เติมสารละลายไอโอดีนเข้ม 0.100 ± 0.001 นอร์มัล จำนวน 100 มิลลิลิตร ปิดจุกแล้วเขย่าแรงๆเป็นเวลา 30 วินาที
- กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 50 ทิ้งสารละลายแรกที่กรองได้ 20 มิลลิลิตร
- บีบอัดสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตร
- ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อน หยคน้ำแข็ง 2-3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ ไทเทรตต่อจนกระทั่งสารละลายใส ไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ (S)
- คำนวณความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ (C) โดย

$$C = N_1 \left(\frac{S}{50} \right)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ (นอร์มัล)
 N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)
 S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
- ทำการทดลองเช่นเดิม แต่ชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง (M) 3 ค่า เพื่อคำนวณให้ได้ค่า C มีค่าประมาณ 0.01 0.02 และ 0.03 โดยนำน้ำหนักประมาณของตัวอย่าง
- คำนวณค่าการดูดซับจำเพาะ $\left(\frac{X}{M} \right)$ ได้จาก

$$A_1 = N_2 I_1 (126.93)$$

$$B_1 = N_1 (126.93)$$

$$DF = (I+H)/F_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	X/M	=	$(A_1 - (DF)(B_1))/M$
เมื่อ	A_1	=	น้ำหนักทั้งหมดของไอโอดีนในสารละลายไอโอดีนเริ่มต้น (มิลลิกรัม)
	B_1	=	น้ำหนักของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาสมบูรณ์พอดีกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 1 มิลลิกรัม (มิลลิกรัม)
	DF	=	Dilute Factor เป็นสัดส่วนระหว่างสารละลายทั้งหมดตอนเริ่มต้นกับปริมาตรสารละลายที่นำมาไทเทรต
	X/M	=	ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
	I	=	ปริมาตรของไอโอดีนที่ใส่เริ่มต้น (มิลลิลิตร)
	H	=	ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (มิลลิลิตร)
	M	=	น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (กรัม)
มัล)	N_1	=	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์)
	N_2	=	ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มัล)
	F_1	=	ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
	-		นำค่า $\frac{X}{M}$ ที่ได้ทั้งสามค่ามาสร้างกราฟระหว่างแกนราบคือ $\log C$ แกนตั้งฉากคือ $\log \frac{X}{M}$ จะได้เส้นความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง
	-		จากเส้นความสัมพันธ์ที่ตำแหน่ง $C = 0.02$ หรือ $\log C = -1.639$ จะทราบค่าบนแกนตั้งฉาก สมมติเท่ากับ Y นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (IA) ดังนี้
			$IA = 10^Y$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density)

- อบอุ่นอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- ชั่งน้ำหนักกระบอกตวงที่มีความจุ 10 มิลลิลิตร ให้มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 2 (คือมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.01 กรัม) บันทึกผล (X_0)
- ใส่ตัวอย่างลงในกระบอกตวงจนเกือบเต็ม กระแทกกันกระบอกตวงบนแผ่นยางจนกระทั่งระดับของตัวอย่างในกระบอกตวงคงที่
 - ถ้าระดับที่คงที่นั้นไม่ต่ำกว่า 10 มิลลิลิตร ให้ตักตัวอย่างเข้าหรือออกจากกระบอกตวงแล้ว กระแทกกันกระบอกตวงใหม่ จนกว่าจะได้ระดับที่คงที่เป็น 10 มิลลิลิตร
 - ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างพร้อมกระบอกตวง บันทึกผล (X_1)
 - คำนวณค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ได้จาก

$$BD = \left(\frac{X_1 - X_0}{10} \right)$$

3. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์ตามวิธี ASTM D2866-83 โดยวิเคราะห์และรายงาน ค่าที่ได้เทียบกับน้ำหนักของสารที่ไม่มีน้ำ (dry basis) รายละเอียดการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

- บดและคัดขนาดถ่านกัมมันต์ให้ละเอียดน้อยกว่า 60 เมช (0.246 มิลลิเมตร)
- เผลกรูซิเบิล (Crucible) ที่อุณหภูมิ 650±25 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (X_0)
- ชั่งถ่านกัมมันต์ที่อบแห้งที่ 120±5 องศาเซลเซียสจนมีน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 3 ชั่วโมง) ประมาณ 1-2 กรัม (น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ควรเผาแล้วได้เถ้าประมาณ 0.1 กรัม) ใส่ในครูซิเบิล บันทึกน้ำหนักที่ได้ของถ่านกัมมันต์รวมทั้งครูซิเบิล (X_1)
 - นำไปเผาที่อุณหภูมิ 650±25 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (X_2)
 - คำนวณปริมาณเถ้า (ร้อยละ โดยน้ำหนัก) ดังนี้

$$\% Ash = \left[\left(\frac{X_2 - X_0}{X_1 - X_0} \right) \right] \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2532)

ตารางที่ ค.1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ผง

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

- ถ่านกัมมันต์เม็ด ให้เป็นไปตามตารางที่ ค.2

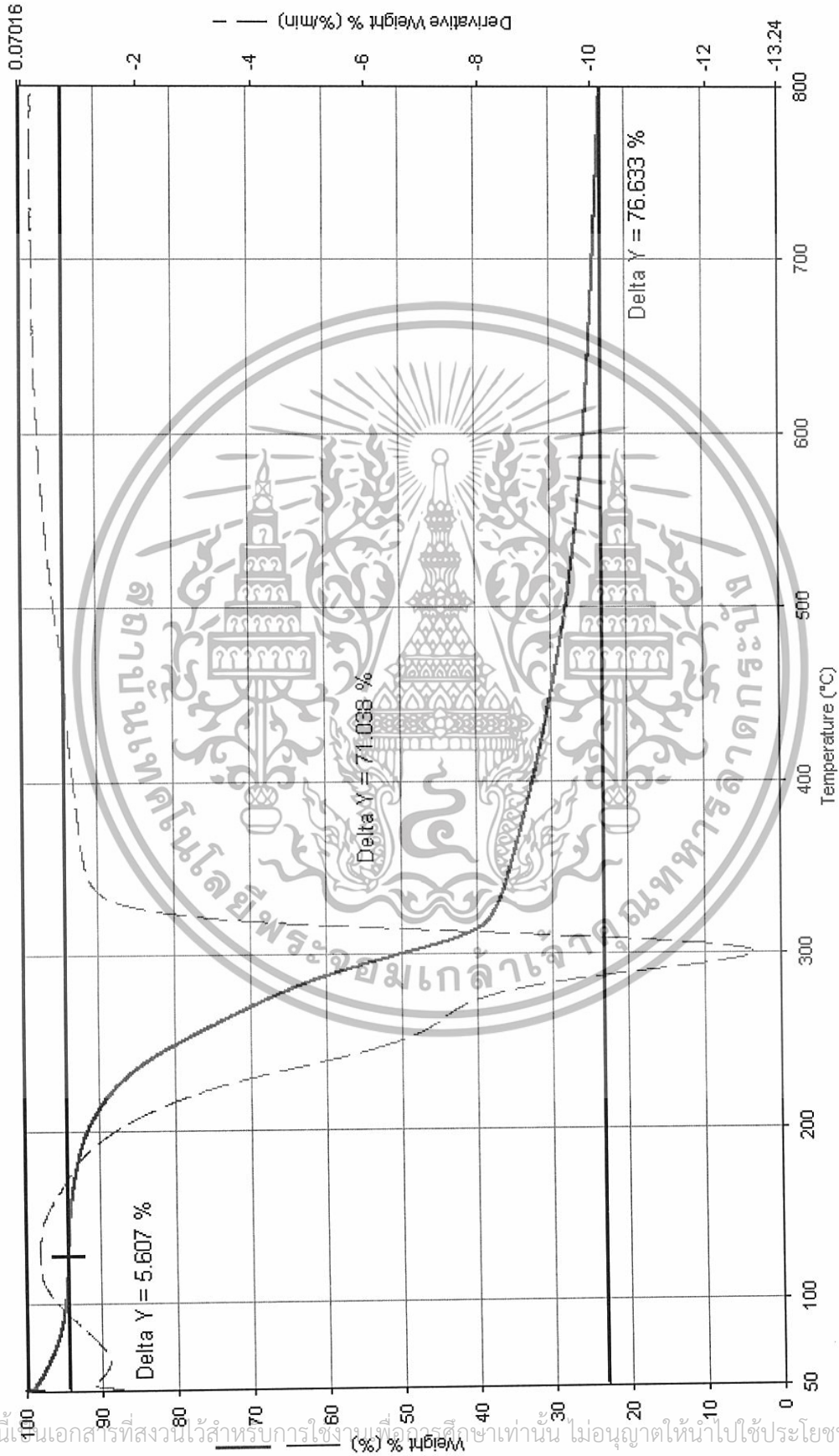
ตารางที่ ค.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์เม็ด

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ไม่น้อยกว่า	600
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8
3	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.36
4	ความแข็งร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

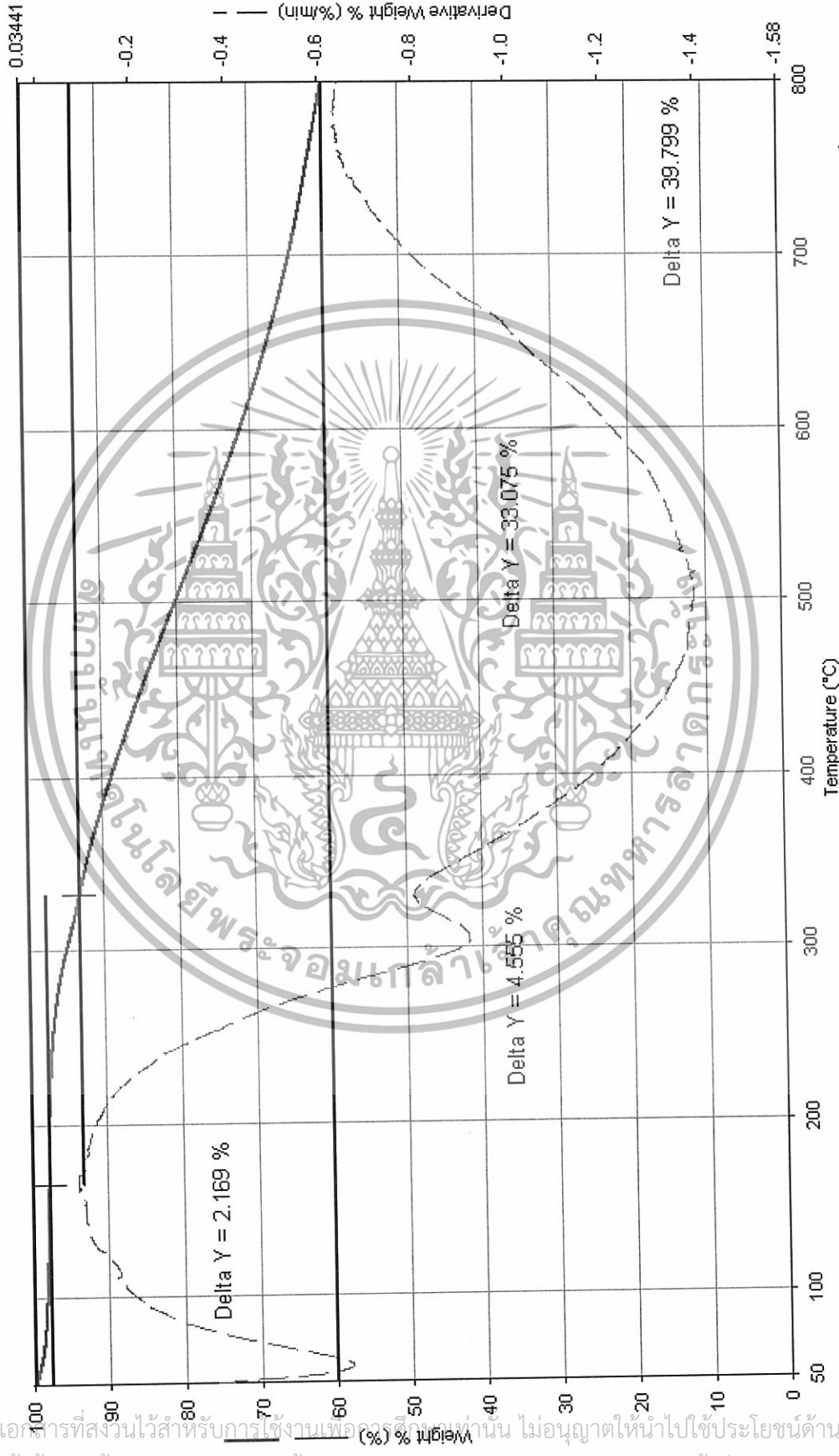


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของกระบอกไม้ไผ่ที่เกิดทิ้งจากการบรรจุก๊าซหุงต้มโดยเทคนิค TGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของกระบอกไม้ไผ่ที่ผลิตขึ้นจากการบรจจุ่ข้าวหลามที่ได้จากการเผาแบบท้องถิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับร้อยละของผลผลิต

ตารางที่ ง.1 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้นต่างๆ

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนักก่อนกระตุ้น (กรัม)	น้ำหนักหลังกระตุ้น (กรัม)
สารเคมี	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)		
ZnCl ₂	1:2	1	600	50	44.10
			700	50	41.70
			800	50	25.51
	1:1	1	600	50	43.71
			700	50	41.51
			800	50	27.57
	2:1	1	600	50	43.44
			700	50	42.25
			800	50	35.90
	4:1	1	600	50	43.82
			700	50	40.74
			800	50	35.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้นต่างๆ (ต่อ)

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนักก่อนกระตุ้น (กรัม)	น้ำหนักหลังกระตุ้น (กรัม)
สารเคมี	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)		
KOH	1:2	1	600	50	40.63
			700	50	33.01
			800	50	21.80
	1:1	1	600	50	40.51
			700	50	35.29
			800	50	22.83
	2:1	1	600	50	39.75
			700	50	35.76
			800	50	26.05
	4:1	1	600	50	39.47
			700	50	35.20
			800	50	17.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้นต่างๆ
(ต่อ)

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนักก่อนกระตุ้น (กรัม)	น้ำหนักหลังกระตุ้น (กรัม)
สารเคมี	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ		
H ₃ PO ₄	1:2	1	600	50	43.18
			700	50	40.42
			800	50	31.46
	1:1	1	600	50	42.54
			700	50	39.83
			800	50	30.88
	2:1	1	600	50	41.57
			700	50	36.07
			800	50	29.91
	4:1	1	600	50	41.74
			700	50	35.11
			800	50	29.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 ผลของชนิดสารเคมี อัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่าน และอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อ ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม*

สถานะในการกระตุ้น		ร้อยละผลผลิต		
อุณหภูมิ (°C)	สารเคมี:ถ่าน	กระตุ้นด้วย ZnCl ₂	กระตุ้นด้วย KOH	กระตุ้นด้วย H ₃ PO ₄
600	1:2	88.22	81.26	86.36
	1:1	87.42	81.82	85.08
	2:1	86.88	79.50	83.14
	4:1	87.64	78.94	83.48
700	1:2	83.40	65.45	80.84
	1:1	83.02	69.99	79.66
	2:1	84.50	71.03	72.14
	4:1	81.48	69.76	70.22
800	1:2	55.02	43.60	69.92
	1:1	55.14	45.66	61.76
	2:1	71.14	52.10	59.82
	4:1	70.72	35.88	59.16

หมายเหตุ *: ได้จากการทดลอง 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้นต่างๆ

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)		
สารเคมี	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน		เริ่ม	ยุติ	ที่ใช้
ZnCl ₂	600	1	1:2	3.6034	9.85	19.60	9.75
				3.0019	19.60	33.60	14.00
				4.0019	14.05	22.00	7.95
			1:1	3.0121	0.00	9.85	9.85
				2.5041	0.00	14.05	14.05
				3.7074	18.60	25.90	7.30
			2:1	2.8151	23.60	39.60	16.00
				3.5177	14.70	24.50	9.80
				4.2045	18.30	23.10	4.80
			4:1	2.9010	0.00	14.80	14.80
				3.5004	0.00	9.65	9.65
				4.0011	9.65	16.25	6.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้น
ต่างๆ (ต่อ)

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	ปริมาตรโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)		
สารเคมี	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน		เริ่ม	ยุติ	ที่ใช้
ZnCl ₂	700	1	1:2	3.0010	0.00	9.00	9.00
				3.5046	9.00	15.90	6.90
				2.5013	15.90	28.85	12.95
			1:1	2.5043	8.00	19.10	11.10
				3.5045	19.10	24.40	5.30
			2:1	2.2512	0.00	13.40	13.40
				3.0015	13.40	19.20	5.80
				2.3016	19.20	31.10	11.90
				2.0038	31.10	46.10	15.00
				3.0008	9.60	15.10	5.50
			4:1	2.0016	15.10	29.10	14.00
				2.5020	0.00	8.45	8.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้น
ต่างๆ (ต่อ)

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)		
สารเคมี	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน		เริ่ม	ยุติ	ที่ใช้
ZnCl ₂	800	1	1:2	2.5248	3.30	7.30	4.00
				1.4961	7.30	22.60	15.30
				2.0259	22.60	30.80	8.20
			1:1	1.4164	30.80	46.80	16.00
				1.9474	0.00	10.70	10.70
				2.4090	10.70	17.40	6.70
				1.3706	17.40	33.80	16.40
				2.0009	30.50	39.70	9.20
				2.4127	0.00	6.50	6.50
				2.4405	0.00	8.70	8.70
				1.8161	0.00	15.40	15.40
			4:1	2.8515	0.00	5.60	5.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้นต่างๆ (ต่อ)

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)			
สารเคมี	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน		เริ่ม	ยุติ	ที่ใช้	
KOH	600	1	1:2	5.5047	0.00	7.40	7.40	
				5.1962	7.40	15.90	8.50	
				4.0015	15.90	30.10	14.20	
			1:1	4.2056	0.00	6.70	6.70	
				3.3144	6.70	17.80	11.10	
				2.5496	17.80	32.40	14.60	
				1.3176	11.20	21.40	10.20	
				2:1	1.7242	15.80	22.00	6.20
					0.9056	13.40	29.50	16.10
					2.0007	22.70	28.20	5.50
				4:1	1.0142	0.00	15.80	15.80
			1.5080		22.00	31.70	9.70	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้นต่างๆ (ต่อ)

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	ปริมาตรโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)			
สารเคมี	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน		เริ่ม	ยุติ	ที่ใช้	
KOH	700	1	1:2	2.5187	0.00	6.50	6.50	
				2.0030	6.50	16.00	9.50	
				1.5006	18.00	33.50	15.50	
			1:1	2.0093	0.00	10.20	10.20	
				1.5005	0.00	14.40	14.40	
				2.5001	14.40	21.20	6.80	
				1.5056	1.70	6.60	4.90	
				2:1	1.0041	6.60	21.20	14.60
					1.2500	0.00	9.80	9.80
					1.2296	13.90	20.80	6.90
				4:1	0.8201	0.00	15.10	15.10
			1.0415		15.10	25.50	10.40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้น
ต่างๆ (ต่อ)

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	ปริมาตรโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)		
สารเคมี	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน		เริ่ม	ยุติ	ที่ใช้
KOH	800	1	1:2	2.0008	10.00	14.80	4.80
				1.4280	23.10	37.80	14.70
				1.8074	0.00	7.80	7.80
			1:1	1.5013	0.00	6.90	6.90
				0.8687	10.00	25.60	15.60
				1.2964	0.00	8.50	8.50
			2:1	0.6202	0.00	15.70	15.70
				1.1928	23.40	29.70	6.30
				0.8521	0.00	10.20	10.20
				0.4838	22.80	40.20	17.40
			4:1	0.9063	0.00	6.90	6.90
				0.7162	6.90	16.50	9.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้นต่างๆ (ต่อ)

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ปริมาตรโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)		
สารเคมี	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน		เริ่ม	ยุติ	ที่ใช้
H ₃ PO ₄	600	1	1:2	5.0009	5.60	22.50	16.90
				7.0053	22.50	32.40	9.90
				9.0100	0.00	5.40	5.40
			1:1	6.0359	0.00	9.50	9.50
				5.0049	0.00	13.80	13.80
				7.0065	13.80	20.50	6.70
			2:1	4.8200	0.00	14.00	14.00
				5.5186	0.00	10.50	10.50
				6.8901	3.50	8.60	5.10
			4:1	4.8784	0.00	16.10	16.10
				6.1002	17.00	26.90	9.90
				6.8903	28.10	34.20	6.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้น
ต่างๆ (ต่อ)

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)			
สารเคมี	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน		เริ่ม	ยุติ	ที่ใช้	
H ₃ PO ₄	700	1		7.0037	0.00	6.50	6.50	
				1:2	5.5009	19.40	30.05	10.65
				4.0015	10.20	26.55	16.35	
				5.1664	21.60	32.20	10.60	
				1:1	4.0011	12.40	27.60	15.20
				6.1281	0.00	7.00	7.00	
				5.0202	15.00	25.50	10.50	
				2:1	4.0133	7.10	22.90	15.80
				6.0010	20.00	25.70	5.70	
				5.0009	0.00	10.20	10.20	
				4:1	3.5035	0.00	16.50	16.50
				6.5013	16.30	21.60	5.30	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้นต่างๆ (ต่อ)

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)			
สารเคมี	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน		เริ่ม	ยุติ	ที่ใช้	
H ₃ PO ₄	800	1	1:2	5.0161	0.00	10.30	10.30	
				4.0358	10.30	24.70	14.40	
				6.2588	24.70	30.40	5.70	
			1:1	5.0002	0.00	6.00	6.00	
				4.0024	5.50	14.90	9.40	
				2.9015	0.00	13.55	13.55	
				1.5240	27.00	44.40	17.40	
				2:1	2.3161	13.50	20.00	6.50
					1.9837	27.70	38.20	10.50
					2.0075	14.80	27.00	12.20
			4:1	2.4385	20.00	27.60	7.60	
				2.8021	0.00	4.40	4.40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลของชนิดสารเคมี อัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่าน และอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม*

สถานะในการกระตุ้น		ค่าไอโอดีนนัมเบอร์		
อุณหภูมิ (°C)	สารเคมี:ถ่าน	กระตุ้นด้วย ZnCl ₂	กระตุ้นด้วย KOH	กระตุ้นด้วย H ₃ PO ₄
600	1:2	251	178	120
	1:1	295	251	141
	2:1	263	676	148
	4:1	263	617	155
700	1:2	302	447	166
	1:1	339	447	182
	2:1	380	741	186
	4:1	398	871	190
800	1:2	501	549	190
	1:1	478	758	251
	2:1	490	977	457
	4:1	363	1202	426
ถ่านที่ไม่ผ่านการกระตุ้น		70		

หมายเหตุ *: ได้จากการทดลอง 1 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าความหนาแน่นปรากฏ

ตารางที่ ๓.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นปรากฏ

สารเคมี	สภาวะในการกระตุ้น			น้ำหนัก	น้ำหนัก
	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)	กระบอกตวง (กรัม)	กระบอกตวง + ถ่าน (กรัม)
ZnCl ₂	1:2	1	600	30.6215	35.1043
			700	33.7210	38.0191
			800	31.9006	35.5106
	1:1	1	600	31.9011	35.8883
			700	30.6213	34.5444
			800	30.6200	34.2168
	2:1	1	600	33.7215	38.2645
			700	30.6217	34.7848
			800	33.7191	37.7043
	4:1	1	600	33.7221	38.4722
			700	33.7186	38.2098
			800	31.9015	35.5483

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นปรากฏ (ต่อ)

สารเคมี	สถานะในการกระตุ้น			น้ำหนัก กระบอกตวง (กรัม)	น้ำหนัก กระบอกตวง + ถ่าน (กรัม)
	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)		
KOH	1:2	1	600	30.6215	34.3123
			700	31.9397	34.5130
			800	31.9008	34.1947
	1:1	1	600	30.9013	34.9604
			700	30.6130	33.5736
			800	33.7219	36.5256
	2:1	1	600	33.7229	36.9397
			700	33.7227	36.7744
			800	30.6217	33.1203
	4:1	1	600	33.7208	37.0712
			700	31.9013	34.6750
			800	31.8986	33.9665

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นปรากฏ (ต่อ)

สารเคมี	สถานะในการกระตุ้น			น้ำหนัก กระบอกตวง (กรัม)	น้ำหนัก กระบอกตวง + ถ่าน (กรัม)
	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)		
H ₃ PO ₄	1:2	1	600	30.6618	37.0503
			700	33.0757	39.1089
			800	30.7278	36.7786
	1:1	1	600	33.7278	40.1214
			700	31.9015	38.0001
			800	32.1017	38.1061
	2:1	1	600	31.9169	38.4830
			700	30.5993	36.5374
			800	33.8629	39.4417
	4:1	1	600	33.8301	40.0408
			700	33.7191	39.7976
			800	33.0761	38.6518

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๖.6 ผลของสารเคมี อัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่าน และ อุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อค่าความหนาแน่นปรากฏของถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม*

สถานะในการกระตุ้น		ค่าความหนาแน่นปรากฏ		
อุณหภูมิ (°C)	สารเคมี:ถ่าน	กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$	กระตุ้นด้วย KOH	กระตุ้นด้วย H_3PO_4
600	1:2	0.45	0.37	0.64
	1:1	0.40	0.41	0.64
	2:1	0.45	0.32	0.66
	4:1	0.48	0.34	0.62
700	1:2	0.43	0.26	0.57
	1:1	0.35	0.30	0.61
	2:1	0.42	0.31	0.69
	4:1	0.45	0.28	0.67
800	1:2	0.36	0.25	0.64
	1:1	0.36	0.28	0.60
	2:1	0.40	0.25	0.56
	4:1	0.36	0.21	0.62
ถ่านที่ยังไม่ผ่านการกระตุ้น		0.53		

หมายเหตุ *: ได้จากการทดลอง 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณเข้า

ตารางที่ ง.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้นต่างๆ

สารเคมี	สภาวะในการกระตุ้น		ครั้งที่	น้ำหนักครุชชีเบล (X ₀) (กรัม)	น้ำหนักถ่าน (ก่อนเผา) (กรัม)	น้ำหนักครุชชีเบล+ น้ำหนักถ่าน (X ₁) (กรัม)	นน.หลังเผา (X ₂) (กรัม)
	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน	เวลา (ชั่วโมง)					
ZnCl ₂	1:2	1	1	32.0273	1.0000	33.0273	32.2063
			2	32.3210	1.0003	33.3213	32.5104
	1:2	1	1	29.9381	1.0010	30.9391	30.1236
			2	35.1392	1.0002	36.1394	35.3274
	1:2	1	1	29.4286	1.0014	30.4300	29.6189
			2	23.2084	1.0012	24.2096	23.3995
	1:2	1	1	29.4469	0.9999	30.4468	29.6100
			2	21.8026	1.0001	22.8027	21.9720
	1:1	1	1	27.2855	1.0007	28.2862	27.4663
			2	31.1967	1.0002	32.1969	31.3824
	1:1	1	1	29.5554	1.0006	30.5560	29.7505
			2	34.4533	1.0000	35.4533	34.6434
1:1	1	1	23.2213	1.0002	24.2215	23.3914	
		2	31.8402	1.0002	32.8404	32.0139	
2:1	1	1	30.2672	1.0003	31.2675	30.4595	
		2	37.3499	1.0008	38.3507	37.5373	
2:1	1	1	28.7597	1.0001	29.7598	28.9622	
		2	34.4554	1.0000	35.4554	34.6576	
4:1	1	1	31.2214	0.9999	32.2213	31.4153	
		2	35.1401	1.0002	36.1403	35.3388	
4:1	1	1	17.8551	1.0007	18.8558	18.0560	
		2	27.8484	1.0005	28.8489	28.0451	
4:1	1	1	33.9922	1.0004	34.9926	34.1984	
		2	30.6801	1.0002	31.6803	30.8896	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของถ่านหินที่เตรียมได้จากสภาวะการกระตุ้นต่างๆ (ต่อ)

สารเคมี	สภาวะในการกระตุ้น		ครั้งที่	น้ำหนักครุฑนิล (X ₀) (กรัม)	น้ำหนักถ่าน (ก่อนเผา) (กรัม)	น้ำหนักครุฑนิล+ น้ำหนักถ่าน (X ₁) (กรัม)	น.หลังเผา(X ₂) (กรัม)
	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน	เวลา (ชั่วโมง)					
KOH	1:2	1	1	34.4343	1.0009	35.4352	34.4591
			2	37.3016	1.0011	38.3027	37.3315
		1	1	29.5563	1.0008	30.5571	29.6065
			2	33.9934	1.0008	34.9942	34.0410
		800	1	27.8369	1.0009	28.8378	27.9341
			2	28.7612	1.0010	29.7622	28.8485
	1:1	600	1	33.9790	1.0008	34.9798	33.9966
			2	28.7301	1.0010	29.7311	28.7487
		700	1	34.4513	1.0007	35.4520	34.4889
			2	27.2696	1.0007	28.2703	27.3084
		800	1	34.4576	1.0008	35.4584	34.5159
			2	17.8484	1.0009	18.8493	17.9160
2:1	600	1	34.4225	1.0006	35.4231	34.4325	
		2	35.0924	1.0070	36.0994	35.1028	
	700	1	37.3529	1.0009	38.3538	37.4445	
		2	35.1378	1.0008	36.1386	35.2144	
	800	1	29.9286	1.0007	30.9293	30.0493	
		2	32.0170	1.0007	33.0177	32.1415	
4:1	600	1	31.1585	1.0006	32.1591	31.2748	
		2	29.5205	1.0005	30.5210	29.6282	
	700	1	21.7960	1.0013	22.7973	21.9762	
		2	31.8343	1.0012	32.8355	32.0269	
	800	1	30.0049	1.0006	31.0055	30.3097	
		2	31.1968	1.0006	32.1974	31.4573	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสถานะการกระตุ้นต่างๆ (ต่อ)

สารเคมี	สถานะในการกระตุ้น		ครั้งที่	น้ำหนักครุชัมเบิล (X ₀) (กรัม)	น้ำหนักถ่าน (ก่อนเผา) (กรัม)	น้ำหนักครุชัมเบิล+ น้ำหนักถ่าน (X ₁) (กรัม)	น้ำหนักเผา (X ₂) (กรัม)
	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน	เวลา (ชั่วโมง)					
H ₃ PO ₄	1:2	1	1	30.2840	1.0003	31.2843	30.5041
			2	37.3687	1.0002	38.3689	37.5842
		1	27.3066	1.0002	28.3068	27.5955	
		2	27.8703	1.0002	28.8705	28.1621	
	1:1	1	1	21.8097	1.0003	22.8100	22.099
			2	29.4480	1.0003	30.4483	29.7398
		1	32.0380	1.0001	33.0381	32.2958	
		2	29.5793	1.0000	30.5793	29.8407	
	2:1	1	1	34.4694	1.0004	35.4698	34.798
			2	31.2202	1.0007	32.2209	31.5465
		1	17.8653	1.0002	18.8655	18.2518	
		2	34.0289	1.0007	35.0296	34.4103	
4:1	1	1	30.7248	1.0003	31.7251	31.0706	
		2	34.4827	1.0003	35.4830	34.8174	
	1	34.5230	1.0004	35.5234	34.8683		
	2	30.2244	1.0003	31.2247	30.5675		
	1	1	35.1444	1.0006	36.1450	35.5691	
		2	29.9392	1.0003	30.9395	30.3653	
	1	32.3318	1.0003	33.3321	32.7133		
	2	29.6081	1.0001	30.6082	29.9862		
	1	1	32.0728	1.0001	33.0729	32.4762	
		2	30.7372	1.0002	31.7374	31.1269	
	1	23.2262	1.0006	24.2268	23.6264		
	2	31.8487	1.0007	32.8494	32.2492		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๙.8 ผลของสารเคมี อัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่านและอุณหภูมิในการกระตุ้นที่มีต่อ ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม*

สภาวะในการกระตุ้น		ปริมาณเถ้า (%)		
อุณหภูมิ (°C)	สารเคมี:ถ่าน	กระตุ้นด้วย ZnCl ₂	กระตุ้นด้วย KOH	กระตุ้นด้วย H ₃ PO ₄
600	1:2	10.42	2.73	21.77
	1:1	16.62	1.81	25.96
	2:1	17.19	1.02	34.01
	4:1	19.63	11.19	37.97
700	1:2	18.67	4.89	29.05
	1:1	18.32	3.82	32.73
	2:1	18.97	8.48	34.41
	4:1	19.87	18.65	39.65
800	1:2	19.05	9.22	29.03
	1:1	19.25	6.29	38.38
	2:1	20.23	12.25	45.42
	4:1	20.78	28.25	40.01
ถ่านที่ไม่ผ่านการกระตุ้น			10.84	

หมายเหตุ *: ได้จากการทดสอบ 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 ข้อมูลผลของระยะเวลาต่อร้อยละผลผลิต

ตารางที่ 9.9 ผลของระยะเวลาต่อร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ที่ระยะเวลาในการ กระตุ้นต่างๆกัน

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนักก่อนกระตุ้น (กรัม)	น้ำหนักหลังกระตุ้น (กรัม)
สารเคมี	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)		
KOH	2:1	600	0.5	50	43.02
			1	50	35.16
			2	50	32.57
			3	50	30.62

4.5.2 ข้อมูลผลของระยะเวลาต่อค่าไอโอดีนในถ่าน

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนในถ่านของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ที่ระยะเวลาในการ กระตุ้นต่างๆกัน

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนัก ถ่านกัมมันต์ (กรัม)	ปริมาณไอโอดีนไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)		
สารเคมี	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)		เริ่ม	ยุติ	ที่ใช้
KOH	2:1	600	0.5	1.4135	1.00	16.50	15.50
				2.1632	16.50	24.20	7.70
				1.8129	14.00	24.50	10.50
				1.8241	0.00	5.40	5.40
			1	1.4210	5.40	15.50	10.10
				0.9854	15.50	31.70	16.20
				2.0060	0.00	4.90	4.90
				1.0015	5.3	18.90	13.60
			3	1.3008	21.00	30.50	9.50
				3.9687	3.40	8.90	5.50
				2.8000	0.00	14.60	14.60
				3.2890	14.60	25.20	14.60

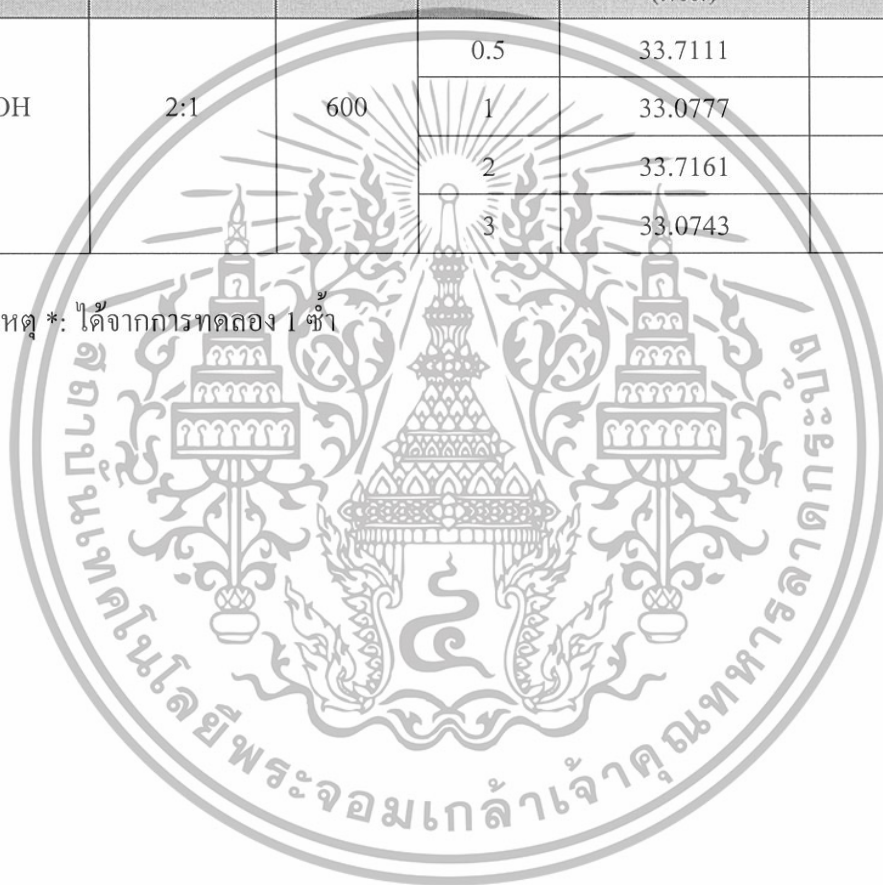
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 ผลของระยะเวลาต่อค่าความหนาแน่นปรากฏ

ตารางที่ ง.11 ผลของการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นปรากฏ*

สภาวะในการกระตุ้น				น้ำหนักกระบอก ดวง (กรัม)	น้ำหนัก กระบอกดวง+ถ่าน (กรัม)
สารเคมี	อัตราส่วน สารเคมี:ถ่าน	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)		
KOH	2:1	600	0.5	33.7111	37.3773
			1	33.0777	36.3523
			2	33.7161	36.5194
			3	33.0743	36.5710

หมายเหตุ *: ได้จากการทดลอง 1 ซ้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 ผลของระยะเวลาต่อปริมาณเถ้า

ตารางที่ ง.12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

สภาวะในการกระตุ่น			ครั้งที่	น้ำหนักครุชิลเบล (X ₀) (กรัม)	น้ำหนักถ่าน(ก่อนเผา) (กรัม)	น้ำหนักครุชิลเบล+ น้ำหนักถ่าน (X ₁) (กรัม)	นน.หลังเผา(X ₂) (กรัม)
สารเคมีที่ใช้	อัตราส่วนสารเคมี:ถ่าน	อุณหภูมิ (°C)					
KOH	2:1	600	1	27.3088	1.0002	28.3090	27.4455
			2	17.8688	0.9999	18.8687	18.0034
			1	28.7913	1.0001	29.7914	28.8041
			2	34.4759	1.0002	35.4761	34.4839
			1	32.3338	1.0000	33.3338	32.3675
			2	29.9398	1.0000	30.9398	29.9730
1	27.8726	1.0000	28.8726	27.8910			
2	34.0361	0.9999	35.0360	34.0553			

หมายเหตุ *: ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ