

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....49291
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2547

b.....
.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coal Briquettes from Ground Anthracite



Mr. Komsun Chantayoad

Miss Kunawan Arayanarakul

Miss Orakan Rungpiboonsopis

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษเรื่อง เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์

นักศึกษา นายคมสรวรค์ จันท๊ะยอด

นางสาวคุณาวรรณ อารยะนรากุล

นางสาวอรกานต์ รุ่งพิบูลโสภิษฐ์

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2545

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.วันฉัตร ชื่นชม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นำโครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย	
กรรมการ	ดร.ปณณมา ศิริพันธ์โนน	
กรรมการ	ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด	
กรรมการ	ดร.วันฉัตร ชื่นชม	

(รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์			
โดย	นายคมสรค์	จันทะยอด	รหัสประจำตัว	42050062
	นางสาวคุณาวรรณ	อารยะนรากุล	รหัสประจำตัว	42050063
	นางสาวอรกานต์	รุ่งพิบูลโสภิษฐ์	รหัสประจำตัว	42050135
ภาควิชา	เคมี			
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม			
ปีการศึกษา	2545			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด			
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.วันฉัตร ชื่นชม			

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Briquettes) จากผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหลือจากกระบวนการคัดแยกขนาดมาให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการนำผงถ่านหินผสมกับสารยึด (Binder) และสารตัวเติม (Filler) แล้วอัดให้เป็นแท่งเพื่อความสะดวกในการใช้งาน ทั้งในงานอุตสาหกรรมและใช้ในครัวเรือน งานวิจัยนี้เสนอที่จะใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVA) กับสารละลายแป้งเปียกเป็นสารยึด และใช้ผงถ่าน (Charcoal) เป็นสารตัวเติม โดยทำการศึกษาอัตราส่วนและขนาดของผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหมาะสมแล้วทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัด จากนั้นทำการอบให้แห้งแล้วทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ระหว่างเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เตรียมได้จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับสารละลายแป้งเปียก ได้แก่ ค่าความหนาแน่นรวม ขนาดของถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้ ค่าความร้อน ปริมาณความชื้นรวม ปริมาณเถ้า เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีสมบัติและประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุด พบว่าอัตราส่วนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านที่เหมาะสมคือ 60:40 ซึ่งขนาดของผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหมาะสมคือขนาด 0.1 – 1 มม. โดยพบว่าชนิดของสารยึดจะไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่นรวม ค่าความร้อน ปริมาณความชื้นรวม ปริมาณเถ้า อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา แต่จะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการเผา ซึ่งพบว่า ถ่านหินอัดแท่งที่ใช้สารยึดเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะให้เวลาในการเผาไหม้ที่ยาวนานกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Coal Briquettes from Ground Anthracite	
Name	Mr. Komsun Chantayoad	Code 42050062
	Miss Kunawan Arayanarakul	Code 42050063
	Miss Orakan Rungpiboonsopis	Code 42050135
Department	Chemistry	
Program	Industrial Chemistry	
Academic Year	2002	
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Ittipol Jangchud	
Special Project Co-advisor	Dr.Vanchat Chuenchom	

ABSTRACT

This research leftover involved a study of preparation and properties of coal briquette made from ground anthracite from coal separation process. The preparation of the briquettes was carried out by mixing ground anthracite with binder and filler. The mixture was then compressed into briquette form and dried for convenience use in industrial and household applications. In this research, poly(vinyl alcohol) (PVA) and starch solution were used as the binders whereas ground charcoal was used as the filler. The optimum ratio of each composition and optimum size of ground anthracite were investigated. The coal briquettes were characterized for their properties including bulk density, dimension, heating value, % total moisture, % ash and burning time and temperature. It was found that the optimum ratio of ground anthracite and charcoal was 60:40 (by weight) and the optimum size of ground anthracite was 0.1 – 1.0 mm. It was revealed that the type of the binders did not affect the bulk density, heating value, % total moisture, % ash and burning temperature. However, it was found that the coal briquettes using PVA as the binder had lower heating rate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก คณาจารย์และบุคคลหลายฝ่ายที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของโครงการพิเศษนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้จึงขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือดังมีรายนามต่อไปนี้

ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ให้คำปรึกษาที่ดียิ่ง ให้กำลังใจและเอาใจใส่มาโดยตลอด
 ดร.วันฉัตร ชื่นชม ให้คำปรึกษาที่ดียิ่ง คำแนะนำ ให้อยู่ยืมและเลี้ยงหัวเราะ
 บริษัท V.S. Coal Dust Industry จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ วัตถุดิบและเครื่องมือ
 ใช้ในการทดสอบ เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส
 คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ให้ความรู้ คำปรึกษาให้ความช่วยเหลือ
 และกำลังใจที่ดี
 พี่ ๆ และเพื่อน ๆ ทุกคนสำหรับความช่วยเหลือ อยุ่ยืมและกำลังใจที่ดีเสมอมา

นายคมสรวรค์ จันตะยอด

นางสาวศุณาวรรณ อารยะนรากุล

นางสาวอรกานต์ รุ่งพิบูลโสภิษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงการพิเศษ	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ถ่านหิน (Coals)	5
2.1.1 ธรรมชาติของถ่านหิน	5
2.1.2 การจำแนกชนิดของถ่านหิน	5
2.1.3 การวิเคราะห์ถ่านหิน	6
2.1.4 สมบัติของถ่านหิน	7
2.1.5 ประโยชน์ของถ่านหิน	10
2.2 ถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite)	10
2.3 เชื้อเพลิงก้อน	11
2.4 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [Poly (vinyl alcohol), PVA]	12
2.4.1 การเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	12
2.4.2 สมบัติและการนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปใช้ประโยชน์	13
2.5 แป้ง (Starch)	17
2.5.1 สมบัติของแป้ง	17
2.6 สารตัวเติม (Filler) : ผงถ่าน (Charcoal)	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมี	25
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	25
3.3 ขั้นตอนการวิจัย	29
3.3.1 การหาอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของของแข็งต่อของเหลว (ผงดำนต่อสารละลาย PVA และน้ำกลั่น)	29
3.3.2 การเตรียมแป้งเปียก	30
3.3.3 การหาขนาดของสารตัวเติมโดยใช้เครื่องหาขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer)	30
3.3.4 การศึกษาขนาดของผงดำนหินแอนทราไซต์	30
3.3.5 การศึกษาผลและปริมาณของสารตัวเติม (Filler) เปรียบเทียบกับผงดำนหินอัดแท่งที่ไม่ได้ใส่สารตัวเติม	30
3.3.6 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารยึด (Binder) ที่มีผลต่อผงดำนหินอัดแท่ง	31
3.3.7 การทดสอบสมบัติต่างๆ ของผงดำนหินอัดแท่ง	32
3.3.7.1 การทดสอบความหนาแน่นรวม (Bulk density) และ ขนาด (Dimension)	32
3.3.7.2 การทดสอบหาปริมาณความชื้นรวม (Total moisture)	32
3.3.7.3 การทดสอบหาปริมาณเถ้า (Ash)	33
3.3.7.4 การทดสอบหาค่าปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion) โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์	33
3.3.7.5 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการเผาและอุณหภูมิในการเผา	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การศึกษาปริมาณของสารยึดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม ในการขึ้นรูป	36
4.2 การศึกษาขนาดของผงดำนหินแอนทราไซต์	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การศึกษาผลของปริมาณของสารตัวเติมที่มีต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งแอนทราไซต์เมื่อใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึด	38
4.3.1 การศึกษาความหนาแน่นรวม (Bulk density) และขนาด (Dimension) ของถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้	38
4.3.2 การศึกษาปริมาณความชื้นรวม (Total moisture)	39
4.3.3 การศึกษาปริมาณเถ้า (Ash)	40
4.3.4 การศึกษาค่าความร้อน (Heating value)	41
4.3.5 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้และอุณหภูมิเผาไหม้	42
4.4 การศึกษาผลของปริมาณสารตัวเติมที่มีผลต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์เมื่อใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด	44
4.4.1 การศึกษาความหนาแน่นรวม (Bulk density) และขนาด (Dimension) ของถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้	45
4.4.2 การศึกษาปริมาณความชื้นรวม (Total moisture)	45
4.4.3 การศึกษาปริมาณเถ้า (Ash)	46
4.4.4 การศึกษาค่าความร้อน (Heating value)	47
4.4.5 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้และอุณหภูมิเผาไหม้	47
4.5 การเปรียบเทียบสมบัติถ่านหินอัดแท่งสูตรต่าง ๆ	49
4.5.1 การเปรียบเทียบสมบัติโดยรวม	49
4.5.2 การเปรียบเทียบผลของชนิดของสารยึดที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของถ่านหินอัดแท่ง (สูตร 60 : 40)	52
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	54
5.1.1 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารยึดที่เหมาะสม	54
5.1.2 การศึกษาขนาดของถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหมาะสม	54
5.1.3 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านที่เหมาะสม	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2 ข้อเสนอแนะ	55
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก ก สมบัติบางประการของถ่านหินอัดแท่ง	58
ภาคผนวก ข การกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงถ่าน	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 รูปถ่ายตัวอย่างถ่านหินอัดแท่ง	2
รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	12
รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนโครงสร้างของคีโตเทาโทเมอร์ (Keto tautomer)	12
รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต	13
รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของหมู่คีโตนกับเบส ไปเป็นอะซิโตนและกรดอะซิติก	14
รูปที่ 2.5 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สลายตัวได้สารที่เป็นพันธะคู่แบบคอนจูเกต	15
รูปที่ 2.6 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์เปลี่ยนเป็นหมู่อะซิเตต	16
รูปที่ 2.7 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์เปลี่ยนไปเป็นหมู่ฟอร์มัล	16
รูปที่ 2.8 แสดงขบวนการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหิน	20
รูปที่ 2.9 ห้องผสมสำหรับเตรียมถ่านหินอัดแท่งในงานวิจัยของ Eimi Araki และคณะ	21
(a) รูปด้านหน้า (b) รูปด้านบน	
รูปที่ 2.10 แสดงขบวนการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินสีน้ำตาล (Brown coal)	22
รูปที่ 3.1 เครื่องมือขึ้นรูปแท่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้	26
รูปที่ 3.2 เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ รุ่น A007303 บริษัท Callenkamp	27
รูปที่ 3.3 เตาเผา	27
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส Raynger® MX	28
รูปที่ 3.5 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการเผาและอุณหภูมิในการเผา	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์	37
(a) ขนาด 0.1 – 1.0 มม. (b) ขนาด 1.0 – 3.0 มม.	
รูปที่ 4.2 ความหนาแน่นรวมของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ	39
เมื่อใช้ PVA เป็นสารยึด	
รูปที่ 4.3 % Total Moisture ของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ	40
เมื่อใช้ PVA เป็นสารยึด	
รูปที่ 4.4 ค่าปริมาณเถ้าของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ	41
เมื่อใช้ PVA เป็นสารยึด	
รูปที่ 4.5 ค่าความร้อนของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ	42
เมื่อใช้ PVA เป็นสารยึด	
รูปที่ 4.6 คุณสมบัติของถ่านหินอัดแท่งอัตราส่วนต่าง ๆ ในขณะเผาไหม้	43
รูปที่ 4.7 % Total Moisture ของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ	46
เมื่อใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด	
รูปที่ 4.8 ค่าปริมาณเถ้าของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ	46
เมื่อใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด	
รูปที่ 4.9 ค่าความร้อนของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ	47
เมื่อใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด	
รูปที่ 4.10 คุณสมบัติของถ่านหินอัดแท่งอัตราส่วนต่าง ๆ ในขณะเผาไหม้	49
รูปที่ 4.11 คุณสมบัติผิวนอกขณะเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่งที่	51
อัตราส่วนต่าง ๆ	
รูปที่ 4.12 เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ	51
รูปที่ 4.13 เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เปรียบเทียบของถ่านหินอัดแท่งที่มี	53
อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านเป็น 60 : 40 ที่มีสารยึดเป็น	
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และแป้งเปียก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	สมบัติบางประการของถ่านหินแอนทราไซต์ชนิดต่าง ๆ	11
ตารางที่ 2.2	สมบัติบางประการของผงถ่าน	19
ตารางที่ 3.1	สมบัติบางประการของผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่ใช้ในงานวิจัย	26
ตารางที่ 3.2	ส่วนผสมถ่านหินอัดแท่งโดยเตรียมจากผงถ่าน หินแอนทราไซต์ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และน้ำกลั่น	29
ตารางที่ 3.3	อัตราส่วนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่าน	31
ตารางที่ 3.4	ส่วนผสมถ่านหินอัดแท่งซึ่งเตรียมจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ แป้งเปียก และน้ำกลั่น	31
ตารางที่ 4.1	ความหนาแน่นรวมและขนาดของถ่านหินอัดแท่งที่ อัตราส่วนต่าง ๆ	38
ตารางที่ 4.2	เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่งต่อครั้งก่อน เมื่อใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึด	42
ตารางที่ 4.3	ความหนาแน่นรวมและขนาดของถ่านหินอัดแท่งที่ อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด	45
ตารางที่ 4.4	ถึงเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่ง เมื่อใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด	48
ตารางที่ 4.5	สมบัติเปรียบเทียบอัตราส่วนต่าง ๆ ของถ่านหินอัดแท่ง เมื่อใช้สารยึดเป็นสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งเปียก	50
ตารางที่ 4.6	สมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่มีอัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ ต่อผงถ่านเป็น 60 : 40 ที่มีสารยึดเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และแป้งเปียก	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ถ่านหินอัดแท่ง (Coal briquette) เป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงสำเร็จรูปที่ใช้ถ่านหินเป็นวัตถุดิบ ผสมกับสารยึด (Binder) และสารตัวเติม (Filler) ผ่านกระบวนการผลิตขึ้นรูปเป็นถ่านหินอัดแท่งซึ่งเป็นเชื้อเพลิงให้พลังงานความร้อน ทั้งในครัวเรือน (Household) และในโรงงานอุตสาหกรรม (Industry) เช่น การให้ความร้อนในถังไอน้ำ (Boiler) หรือเตาอบ (Oven) ได้มีการทดลอง วิจัย ตลอดจนการผลิตเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ประเทศ เช่น เยอรมัน รัสเซีย ออสเตรเลีย เกาหลี ญี่ปุ่น อินเดีย สหรัฐอเมริกา อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ เป็นต้น เป็นเวลานานหลายสิบปี

สำหรับประเทศไทย ถ่านหินอัดแท่งเป็นที่รู้จักในวงแคบ มีนักลงทุนอุตสาหกรรมขนาดเล็กภาคเอกชนเพียงไม่กี่ราย ที่ลงทุนทำการผลิตถ่านอัดแท่งโดยใช้มวลชีวภาพ (Biomass) เป็นวัตถุดิบนำไปใช้ในร้านอาหารและส่งออกต่างประเทศ ซึ่งปริมาณผลผลิตนับว่ายังน้อยมาก

แม้กระแสน้ำมันราคาจะไม่เป็นที่ยอมรับของคนไทยว่ามีความจำเป็น และเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยรักษาสภาพแวดล้อมให้ดีขึ้น แต่จากข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงในประเทศแถบเอเชียและในประเทศไทย พบว่าในชนบทและในภาคอุตสาหกรรมยังคงใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงในปริมาณมาก การใช้ฟืนไม้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนในอุตสาหกรรมมีข้อจำกัดบางประการคือ ให้ความร้อนต่ำ ระยะเวลาการให้ความร้อนสั้น และการให้ความร้อนไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ การเผาไหม้ยังก่อให้เกิดเถ้าถ่านมาก และก่อให้เกิดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า และเกิดปัญหามลพิษธรรมชาติอื่นตามมา เช่น ภัยแล้ง อุทกภัย เป็นต้น การนำเสนอถ่านหินอัดแท่งเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกใหม่ที่จะได้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและก่อให้เกิดมลภาวะน้อยลง

ถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracites) เป็นถ่านหินที่มีคุณภาพสูง ให้ปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้สูง มีปริมาณกำมะถัน (Sulfur, S) ต่ำ ปัจจุบันได้มีการใช้ทรัพยากรของโลกชนิดนี้ อย่างแพร่หลาย

อย่างไรก็ดี ในปัจจุบันยังไม่มีเม็ดเงินลงทุนถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหลือจากขบวนการคัด-แยกขนาดมาใช้ประโยชน์ งานวิจัยนี้เป็นการเสนอแนวทางการวิจัยและพัฒนาถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด ช่วยสนองความต้องการของผู้ใช้เชื้อเพลิงภายในประเทศทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภครายย่อย นอกจากนี้ยังช่วยแก้ปัญหาการตัดไม้ทำลายป่าในประเทศเพื่อให้ได้มาซึ่ง “ฟืน” สำหรับการผลิตถ่านไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้เสนอใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol), PVA) และแป้งเปียกเป็นสารยึด (Binder) ในการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหิน ถ่านหินอัดแท่งจากแอนทราไซต์จะมียอดประกอบหลักคือ ผงถ่านหินแอนทราไซต์ผสมกับสารตัวเติม ได้แก่ผงถ่าน (Charcoal) และสารยึดในปริมาณต่าง ๆ กัน



รูปที่ 1.1 รูปถ่ายตัวอย่างถ่านหินอัดแท่ง

สมบัติบางประการของถ่านหินอัดแท่งที่ดีควรมีดังนี้

- ให้ความร้อนสูงต่อเนื่องอย่างสม่ำเสมอ
- ให้ความร้อนเป็นเวลานานตลอดการใช้งาน
- ไม่มีผลผลิตจากการเผาไหม้ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เผาไหม้โดยปราศจากมลภาวะ
- ไม่มีควัน เเขม่า หรือกลิ่นที่ไม่เป็นที่พึงประสงค์ของผู้ใช้
- ติดไฟง่าย
- มีรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้
- ต้นทุนการผลิตต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. วิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหลือจากโรงงานถ่านหิน ผสมกับสารยึดให้ได้ถ่านหินอัดแท่งที่มีสมบัติที่ดี
2. ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เตรียมได้ เช่น สมบัติการเผาไหม้ สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ ฯลฯ
3. ศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้ เช่น อัตราส่วนที่เหมาะสมของผงถ่านหินต่อสารยึด ขนาดของผงถ่านหิน และศึกษาผลของสารตัวเติม (Fillers) อื่น ๆ เช่น ผงถ่าน (Ground charcoal) ที่มีต่อ สมบัติต่าง ๆ ของถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงการพิเศษ

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. จัดหาวัตถุดิบต่าง ๆ ได้แก่ ผงถ่านหิน สารยึด และผงถ่าน รวมทั้งเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย เช่น เครื่องผสม แม่แบบ เครื่องอัดแท่ง ฯลฯ
3. ศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบรวมทั้งการขึ้นรูปที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่ง
4. ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้ เช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน เป็นต้น
5. ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่ง เช่น อัตราส่วนที่เหมาะสมของผงถ่านหินต่อสารยึด ขนาดของผงถ่านหิน ปริมาณของสารตัวเติม (Fillers) ฯลฯ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่มีสมบัติที่ดี ขึ้นรูปได้ง่าย ต้นทุนการผลิตต่ำ และมีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์
2. เป็นการให้ทรัพยากรของมนุษย์อย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุดนอกจากนี้ยังช่วยสนองความต้องการของผู้ใช้เชื้อเพลิงภายในประเทศทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภครายย่อย เช่น ใช้ในครัวเรือน ร้านอาหาร อุตสาหกรรมขนาดเล็ก และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่
3. ช่วยแก้ปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งชนิดใหม่นี้สามารถใช้แทนฟืนไม้ ซึ่งมีข้อจำกัดบางประการเช่น ให้ความร้อนอยู่ได้ในระยะเวลาสั้น เกิดเถ้าถ่านมาก และมีปัญหาการขาดแคลนไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สามารถใช้แทนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากลิกไนต์ ซึ่งเป็นถ่านหินที่มีกำมะถันสูง เกิดมลพิษมากกว่า
5. สามารถใช้ความรู้ที่ได้ในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตถ่านหินอัดแท่งภายในประเทศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ปัจจุบันมนุษย์ยังคงใช้เชื้อเพลิงแข็งสำหรับให้พลังงานทั้งในด้านที่เป็นประโยชน์ต่อครัวเรือน และต่อเศรษฐกิจของโลก เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ ผลิตกระแสไฟฟ้ารวมถึงการใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตต่าง ๆ สำหรับประเภทของเชื้อเพลิงแข็ง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. เชื้อเพลิงแข็งที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ ไม้ ฟืน ถ่านหิน หินน้ำมัน เป็นต้น
2. เชื้อเพลิงแข็งที่ได้จากกระบวนการผลิต ได้แก่ ถ่านไม้ ถ่านโค้ก เชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นต้น

2.1 ถ่านหิน (Coals) [1]

2.1.1 ธรรมชาติของถ่านหิน

ถ่านหิน (Coals) เป็นเชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีการตั้งสมมติฐานกันว่า ถ่านหินเกิดจากการทับถมของซากพืช พรรณไม้ สิ่งมีชีวิต ชิ้นส่วนของพืช (Vegetable materials) ที่ถูกพัดมา หรือดินโคลนที่มีอินทรีย์วัตถุ (Organic materials) ถูกทับถมอยู่ภายใต้พื้นดินที่มีความกดดันและความร้อนสูง เป็นเวลานานนับหลายล้านปี ทำให้สิ่งเหล่านี้เน่า ผุพังแล้วเกิดปฏิกิริยาทางเคมีฟิสิกส์และชีวภาพจนกระทั่งถูกแรงกดดันบีบอัดเรียงตัวเป็นชั้นๆ แปรสภาพเป็นชั้นของถ่านหิน โดยมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และอาจมีธาตุอื่นเจือปนบ้าง เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน เป็นต้น ถ่านหินที่มีอายุมากจะมีลักษณะเนื้อแน่น สีดำ ถ้ามีปริมาณธาตุคาร์บอนมากก็จะให้ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงสูง ถ่านหินชนิดเดียวกันแต่มีแหล่งกำเนิดต่างกันอาจมีความร้อนทางเชื้อเพลิงไม่เท่ากันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนประกอบของคาร์บอนและไฮโดรเจน และค่าความชื้น (Moisture) ของถ่านหินนั้นๆ แหล่งถ่านหินที่สำคัญของโลกอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา รัสเซีย จีน ออสเตรเลีย และประเทศในแถบยุโรป

2.1.2 การจำแนกชนิดของถ่านหิน

การจำแนกชนิดของถ่านหินมีหลายระบบ ที่นิยมใช้กันมากได้แก่ การจำแนกถ่านหินตามระดับ (Rank) โดยค่า Rank เป็นการวัดความสมบูรณ์ของการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาที่กลายเป็นถ่านหิน

American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้กำหนดค่าสมบัติของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่านหินเป็นเกณฑ์ในการจำแนกถ่านหินเป็น แอนทราไซต์ (Anthracite) , บิทูมินัส (Bituminous), ซับบิทูมินัส (Sub – bituminous) และ ลิกไนต์ (Lignite) ลักษณะโดยทั่วไปของถ่านหินประเภทต่าง ๆ อาจกล่าวโดยย่อได้ดังนี้

1. Anthracite เป็นถ่านหินที่มีลักษณะดำเป็นเงามัน มีความวาวสูง มีปริมาณคาร์บอนสูง (86 % ขึ้นไป) มีปริมาณความชื้นต่ำมาก และมีค่าความร้อนสูง แต่จุดให้ติดไฟได้ยาก

2. Bituminous Coals เป็นถ่านหินเนื้อแน่น มีลักษณะแข็ง และมักจะประกอบขึ้นด้วยถ่านหินสีดำสนิท มีลักษณะเป็นมันวาว มีปริมาณคาร์บอน 69 – 86 % และมีความชื้น 1.5 – 7 % ใช้เป็นถ่านหินเพื่อถลุงโลหะได้

3. Sub – bituminous Coals มีลักษณะสีดำคล้ำขี้ผึ้ง มีปริมาณความชื้นประมาณ 10 % ถ่านหินประเภทนี้มีคุณค่ามากสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า

4. Lignite มีซากพืชเหลือปรากฏอยู่ให้เห็นเล็กน้อย มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างสูงและปริมาณความชื้นสูงถึง 30 – 70 % เป็นถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง

5. Peat ประกอบด้วย ซากพืช ซึ่งบางส่วนได้สลายตัวไปแล้ว มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างสูง และมีปริมาณความชื้นสูง ถ่าน Peat นับได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นแรกในกระบวนการถลุงเป็นแก๊สของถ่านหิน (Coal gasification process)

ในการจำแนกถ่านหินตาม Rank นี้ถ้าเป็นถ่านหินประเภท ถ่านหินชั้นสูง (High – rank coal) ก็จะถูกจัดตามเปอร์เซ็นต์ปริมาณคาร์บอน (Fixed carbon (Dry basis)) แต่ถ้าเป็นถ่านหินประเภทถ่านหินชั้นต่ำ (Low – rank coal) จะถูกจัดตามค่าความร้อน (Heating value (moist basis))

2.1.3 การวิเคราะห์ถ่านหิน

การนำถ่านหินมาวิเคราะห์กระทำเพื่อต้องการทราบถึงส่วนประกอบของธาตุต่าง ๆ ในถ่านหิน เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน สารระเหย ความชื้น ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ฯลฯ ว่ามีมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เพื่อที่จะได้เลือกใช้ถ่านหินแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับสภาพงานที่ใช้และเกิดประโยชน์สูงสุด

การวิเคราะห์ถ่านหินมีประโยชน์ เพื่อ

1. จำแนกถ่านหิน
2. การกำหนดราคาถ่านหินตามคุณภาพ

3. การควบคุมคุณภาพถ่านหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเลือกใช้หรือออกแบบอุปกรณ์เผาไหม้
5. การคำนวณปริมาณ เช่น ปริมาณถ่านหิน และปริมาณอากาศที่ต้องใช้ในการเผาไหม้ เป็นต้น

ในการวิเคราะห์ถ่านหินโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์โดยละเอียดและการวิเคราะห์โดยประมาณ

1. การวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis) เป็นการนำเอาถ่านหินมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณหรือส่วนประกอบของถ่านหิน ว่าประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ เช่นคาร์บอน (Carbon) ออกซิเจน (Oxygen) ไฮโดรเจน (Hydrogen) ไนโตรเจน (Nitrogen) และกำมะถัน (Sulfur) มากน้อยเท่าไร

การรายงานปริมาณสารหรือธาตุจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของถ่านหิน (Percent by weight) การวิเคราะห์แบบนี้ต้องทำการทดสอบโดยใช้เทคนิคขั้นสูงในการวิเคราะห์เพราะต้องหาค่าส่วนประกอบดังกล่าวอย่างละเอียด

Ultimate analysis ไม่ใช่เป็นการวิเคราะห์ที่ทำกันเป็นประจำ แต่เป็นการวิเคราะห์ที่มีประโยชน์ในการจัดประเภทถ่านหินและมีประโยชน์ในการคำนวณเกี่ยวกับการเผาไหม้ เช่น การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการเพื่อการเผาไหม้ เป็นต้น

2. การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) เป็นการนำเอาถ่านหินมาทำการทดสอบแบบง่าย ๆ ซึ่งจะแสดงส่วนประกอบที่สำคัญบางอย่างของถ่านหิน โดยไม่ต้องวิเคราะห์ทางเคมีให้ได้ค่าที่แน่นอนเหมือนการวิเคราะห์โดยละเอียด สิ่งที่ต้องทำการวิเคราะห์มีดังนี้คือ ปริมาณคาร์บอน (Fixed carbon) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ปริมาณความชื้น (Moisture) และปริมาณเถ้า (Ash)

สำหรับการวิเคราะห์โดยประมาณอาจรายงานบนฐาน (Basis) ต่าง ๆ ได้ดังนี้ ash – received , air – dried , moisture – free นอกจากนี้ในรายงานแบบประมาณนี้มักรายงานค่าความร้อนแคลอรี (Calorific value) และปริมาณกำมะถันไว้ด้วย

2.1.4 สมบัติของถ่านหิน [2]

1. ความชื้น (Moisture) ในถ่านหินแบ่งได้เป็น ความชื้นอิสระ (Free moisture) และ ความชื้นที่แท้จริง (Inherent moisture)

ความชื้นอิสระ (Free moisture) เป็นความชื้นส่วนที่ให้เราเห็นว่าถ่านหินนั้นชื้น ถ่านหินที่ชื้นมักจะติดภาชนะหรือเครื่องมือทำให้การไหลโดยน้ำหนักของมันเองไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นที่แท้จริง (Inherent moisture) คือความชื้นที่ยังเหลืออยู่ในถ่านหินหลังจากได้ความชื้นอิสระ (Free moisture) ออกจากถ่านหินแล้ว เราอาจใช้ความชื้นที่แท้จริง (Inherent moisture) เป็นแนวทางบอกระดับ (Rank) ของถ่านหินได้ ถ่านหินคุณภาพดีจะมีความชื้นที่แท้จริงน้อย ส่วนถ่านหินลิกไนต์อาจมีความชื้นที่แท้จริงมากกว่า 50 % ความชื้นไม่มี คุณค่าทางด้านความร้อน ในการเผาไหม้ถ่านหินจะต้องสูญเสียค่าความร้อนเกือบ 0.1 % ต่อทุก ๆ 1 % ของความชื้นในถ่านหิน

ปริมาณความชื้นอิสระหาได้จากการวัดน้ำหนักของถ่านหินที่หายไปเมื่ออบถ่านหินด้วยอากาศในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 20 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 70 % ในการอบนี้ต้องใช้เวลาหลายวันจึงถึงจุดสมดุล

ปริมาณความชื้นที่แท้จริงหาได้โดยการนำถ่านหินมาอบที่อุณหภูมิ 105 °C จนกระทั่งน้ำหนักของถ่านหินคงที่ น้ำหนักที่หายไปลบด้วยน้ำหนักของความชื้นอิสระคือน้ำหนักของความชื้นที่แท้จริง

2. ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ในถ่านหินได้แก่ ไอรระเหย ก๊าซและ น้ำมันดิน (Tar) ที่ระเหยออกจากถ่านหินเมื่อถูกเผาในภาชนะที่ปราศจากอากาศ ปริมาณสารระเหยหาได้โดยการเผาถ่านหินที่ 800 °C ในภาชนะปิดที่ปราศจากอากาศเพื่อไม่ให้เกิดการเผาไหม้ของแข็งที่เหลืออยู่คือ ถ่านโค้ก (Coke) หรือ ชี้ถ่าน (Char) ส่วนน้ำหนักที่หายไปเป็นน้ำหนักของ ความชื้นรวม (Total moisture) มีค่าเท่ากับผลรวมของความชื้นอิสระความชื้นที่แท้จริงและส่วนที่ระเหยได้ ดังนั้นเมื่อหักน้ำหนักของปริมาณความชื้นรวมออกก็จะได้น้ำหนักของปริมาณสารระเหย

3. เถ้า (Ash) เป็นแร่ธาตุต่าง ๆ ที่เหลือจากการเผาไหม้ถ่านหิน ถ้าสัดส่วนของ CaO , MgO และ FeO ในเถ้าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิหลอมตัว (Fusion temperature) ของเถ้าจะลดลง

4. ปริมาณคาร์บอน (Fixed carbon) เป็นของแข็งที่เหลือจากการไล่สารระเหยและความชื้นออกจากถ่านหิน และไม่รวมปริมาณเถ้า ดังนั้น

$$\% \text{ Fixed Carbon} = 100 - (\% \text{ Moisture} + \% \text{ Volatile Matter} + \% \text{ Ash})$$

5. กำมะถัน (Sulfur) ถ่านหินมักจะมีกำมะถันปนอยู่ในรูปสารประกอบกำมะถันอินทรีย์ (Organic sulfur) นอกจากนี้กำมะถันยังมาจากแร่เหล็ก (Iron) ไพไรต์ (Pyrites) และยิปซัม (Gypsum) ที่ปะปนมากับถ่านหินเมื่อเกิดการเผาไหม้ กำมะถันจะติดไฟได้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) พร้อมกับให้ความร้อนออกมา ก๊าซ SO₂ ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นสารกัดกร่อน และเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ค่าความร้อน (Calorific value หรือ Heating value) คือปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินหนึ่งหน่วยน้ำหนักอย่างสมบูรณ์ ค่าความร้อน อาจรายงานได้ 2 วิธี คือ ค่าความร้อนสุทธิ (Gross calorific value หรือ High heating value) และ ค่าความร้อนรวม (Net calorific value หรือ Lower heating value)

ค่าความร้อนสุทธิ (Gross calorific value) เป็นปริมาณความร้อนขึ้นที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหิน เมื่อไอน้ำในก๊าซที่เกิดขึ้นกลั่นตัวเป็นน้ำ หมายความว่า ค่าความร้อนที่นี้รวมค่าความร้อนแฝง (Latent heat) ของน้ำด้วย ในทางปฏิบัติเราไม่ได้ใช้ประโยชน์จากค่าความร้อนแฝงของน้ำ จึงมีผู้ใช้ค่าความร้อนอีกค่าหนึ่งซึ่งต่ำกว่า เรียกว่า ค่าความร้อนรวม (Net calorific value) เป็นค่าความร้อนที่ไม่รวมค่าความร้อนแฝงของน้ำ ค่าความร้อนสุทธิ (Gross calorific value) อาจประมาณได้จาก “สูตรคำนวณของดูลอง” (Dulong's formula) [3] ดังนี้

$$Q = [8080 \times \%C + 34460(\%H_2 - \%O_2/8) + 2550 \times \%S] / 100$$

โดยที่ Q คือ ค่าความร้อนสุทธิ (Gross calorific value) มีหน่วยเป็น kcal/kg และ % C, % H₂, % O₂, % S เป็นเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และกำมะถัน ในถ่านหินตามลำดับ

Dulong's formula ใช้ประมาณค่าความร้อนสุทธิ (Gross calorific value) ของถ่านหินเกรดดี (High rank) ได้แก่ บิทูมินัส (Bituminous) และ แอนทราไซต์ (Antracite) ได้ดี แต่ถ้าใช้กับถ่านหินเกรดต่ำ (Low rank) แล้วได้ค่าที่ไม่ถูกต้องนัก

7. สมบัติการบวมตัว (Swell property) ถ่านหินจำพวกเกรดดี (High rank) มักจะบวมตัว (Swell) ที่อุณหภูมิสูง และจะเกาะกับก้อนถ่านหินที่อยู่ข้าง ๆ รวมเป็นก้อนคาร์บอน ปฏิกิริยาการนี้เรียกว่า การเกิดไค้ก (Agglutination หรือ Coking) ถ่านหินพวกนี้เรียกรวม ๆ ว่า Swelling หรือ Coking coal ตัวอย่างได้แก่ บิทูมินัส ส่วนพวกถ่านหินเกรดต่ำ (Low rank coal) คงรูปร่างของมันอยู่ได้ที่อุณหภูมิสูง ถ่านหินพวกนี้ได้แก่ ซับบิทูมินัส และ ลิกไนต์

8. อุณหภูมิเถ้าหลอม (Ash – fusion temperature) คือ อุณหภูมิที่เถ้าของถ่านหินเริ่มหลอม (Ash fusion temperature) มีประโยชน์ในการออกแบบ หรือเลือกใช้ชนิดของอุปกรณ์เผาไหม้

2.1.5 ประโยชน์ของถ่านหิน [4]

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงธรรมชาติที่ให้คุณประโยชน์แก่มวลมนุษยโลกทั้งในแง่การใช้ประโยชน์ในครัวเรือน และในแง่ที่เกิดประโยชน์ต่อเศรษฐกิจของโลกในหลาย ๆ ด้าน ดังนี้

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตพลังงานไอน้ำ เพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะใช้ถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำ เช่น ถ่านลิกไนต์ โดยอาจจะใช้เป็นชนิดก้อนขนาดเล็กหรือบดเป็นผง (Pulverized coal) ก็ได้ขึ้นอยู่กับเตาเผาที่ใช้

2. ใช้เป็นเชื้อเพลิงในงานอุตสาหกรรม โดยการแปรสภาพให้เป็นถ่านโค้กก่อน เนื่องจากถ่านโค้กมีคุณภาพมาตรฐาน สามารถควบคุมความร้อนและการเผาไหม้ได้ง่าย นอกจากนี้แล้วยังใช้เป็นวัตถุดิบโดยตรงในการผลิตเหล็กพูน (Sponge iron)

3. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถไฟ หรือเรือเดินทะเล

4. ใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมผลิตแก้ว ปูนซีเมนต์ สิ่งทอ และอุตสาหกรรมเคมี

5. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหุงต้ม และให้ความร้อนในบริเวณที่มีอากาศหนาวเย็น เช่น ประเทศแถบยุโรป และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการผลิตเป็นถ่านก้อน หรือเป็นแท่ง ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มได้เป็นอย่างดี

6. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซ

7. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารเคมีจากองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในถ่านหิน เช่น เบนซีน ลูกลีนีน เป็นต้น

8. ใช้ในกิจการอื่น ๆ เช่น ใช้เป็นผงสี (Pigment) หรือแผ่นกรอง (Filter) บดละเอียดสำหรับใช้ทาผิวหน้าแบบห่อโลหะ สกัดเอชซีพี (Wax) และเรซิน (Resin) นำไปใช้เป็นประโยชน์ ถ้านำถ่านหินไปเผากับถ่านหินปูนที่อุณหภูมิถึง 1,100 องศาเซลเซียสก็จะได้แคลเซียมคาร์ไบด์ และเมื่อนำไปผสมกับน้ำจะได้ก๊าซอะเซทิลีน (Acetylene)

9. ใช้เป็นวัตถุดิบส่วนหนึ่งในงานอุตสาหกรรม เช่น ผลิตภัณฑพลาสติก ยางสังเคราะห์ และวัตถุระเบิด เป็นต้น

2.2 ถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite) [1]

เป็นถ่านหินที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดในบรรดาถ่านหินทั้งหลาย ถ่านหินชนิดนี้มักจะมีปริมาณเนื้อถ่านมาก มีสีดำสนิท เวลาเผาไหม้เกิดควันน้อยมาก ให้ความร้อนทางเชื้อเพลิงสูงมาก จนในบางครั้งเรียกว่า ถ่านหินแข็ง (Hard coal) ติดไฟยากแต่เมื่อติดไฟแล้วจะเผาไหม้เป็นเวลายาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาน ดังนั้นจึงมีราคาแพง ในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตถ่านหินชนิดนี้เลย ถ่านหินแอนทราไซต์มีค่าความร้อนประมาณ 8,600 Cal/g ถ่านหินชนิดนี้ยังแบ่งออกได้หลายชนิด คุณสมบัติของถ่านหินแอนทราไซต์ชนิดต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของถ่านหินแอนทราไซต์ชนิดต่าง ๆ [1]

ชนิด	เนื้อถ่านแห้ง (%)	สารระเหย (%)
1.เมตาแอนทราไซต์	สูงกว่า 98	ต่ำกว่า 2
2.แอนทราไซต์	สูงกว่า 92	ต่ำกว่า 8
3.เซมิแอนทราไซต์	สูงกว่า 86	ต่ำกว่า 14

2.3 เชื้อเพลิงก้อน [5]

ในการทำก้อนเชื้อเพลิงนอกจากจะมีตัวประสานแล้ว ยังมีการเติมสารเคมีต่าง ๆ เพื่อให้คุณภาพของก้อนเชื้อเพลิงดีขึ้น เช่น เติมเซลลูโลสไฮดรอกซีอะเตต (Cellulose Hydroxy Acetate) แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium Chloride) เพื่อเพิ่มเติมความสามารถในการรับแรงกด เติมแอมโมเนียมซัลไฟต์ (Ammonium Sulphite) เพื่อเพิ่มเติมความต้านทานต่อสภาวะอากาศ (Weather resistance) เติม อะบิเซล (Abicel หรือ fine crystal cellulose) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง เป็นต้น

การอัดก้อนเชื้อเพลิง มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ

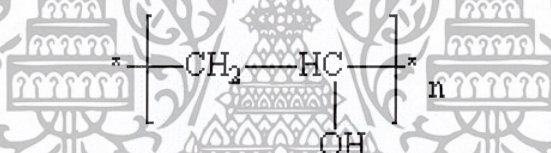
1. การอัดก้อนแบบใช้ความร้อน เช่นการอัดก้อนโดยใช้เครื่องอัดแบบสกรู เป็นต้น ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องอัดแบบสกรู คือบรรจุวัสดุที่ต้องการอัดลงในถัง (Hopper) ที่มีช่องทางออกไปสู่กระบอกอัด (Extrusion cylinder) ภายในกระบอกอัดมีสกรูอัดชนิดเกลียวตัวหนอนหมุน การขับเคลื่อนของสกรูอาศัยแรงหมุน และวัสดุจะถูกสกรูอัดติดกับผนังกระบอกอัดด้วยแรงดันสูง ในขณะที่วัสดุถูกอัดเป็นแท่ง เคลื่อนผ่านกระบอกอัด วัสดุจะได้รับความร้อนจากเครื่องทำความร้อนซึ่งติดตั้งอยู่ที่ปลายกระบอกอัด แท่งวัสดุจะเคลื่อนตัวช้า ๆ ออกจากปลายกระบอกอัด และจะหักเมื่อสัมผัสกับเหล็กฉาก และถูกผลักให้หักออกจากทิศทางเดิม ความยาวของแท่งวัสดุจะควบคุมได้ด้วยเหล็กฉากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การอัดก้อนแบบไม่ใช้ความร้อน เช่น การอัดก้อนโดยใช้เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic press) เป็นต้นซึ่งหลักการทำงานของเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก คือ ใส่เชื้อเพลิงที่ต้องการลงในแบบอัดแล้ว จากนั้น บังคับวาล์วบังคับทางเดินน้ำมันให้แก่ไฮดรอลิกกดวัสดุลงในแบบอัด ซึ่งแรงในการอัดสามารถบังคับได้โดยมีวาล์วปรับความดันซึ่งการอัดแบบไม่ใช้ความร้อน จำเป็นต้องเติมตัวประสานเข้าช่วยในการอัดก้อน ส่วนการอัดแบบใช้ความร้อน การอัดแบบนี้จำเป็นต้องเติมตัวประสานหรือไม่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ ถ้าวัสดุที่ใช้มี ลิกนิน (Lignin) เส้นใย (Fiber) ในปริมาณสูง เมื่อถูกความร้อนจากเครื่องอัดจะทำให้สารเหล่านี้เยิ้มตัวยึดเกาะกันได้ แต่ถ้าวัสดุดิบที่ใช้มีสารพวกนี้น้อยก็จำเป็นต้องเติมตัวประสานเข้าช่วย

2.4 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [Poly (vinyl alcohol), PVA] [6]

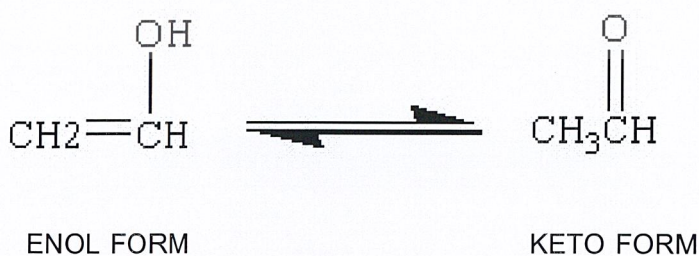
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์สารพัดประโยชน์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

2.4.1 การเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่เสถียรที่สภาวะปกติเพราะจะเปลี่ยนไปเป็นคีโตเทาโทเมอร์ (Keto tautomer) ที่เสถียรมากกว่าดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนโครงสร้างของคีโตเทาโทเมอร์ (Keto tautomer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิส (Alcoholysis) ของ พอลิไวนิลอะซิเตต (Poly (vinyl acetate) , PVAc) ในเมทานอล พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะเตรียมได้โดยตรงเพราะมอนอเมอร์เป็นไอโซเมอร์ของอัลดีไฮด์และสามารถละลายน้ำได้ นอกจากนี้ แอลกอฮอล์ใช้เป็นสารช่วยให้เกิดเสถียรภาพในเทคนิคอิมัลชัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต

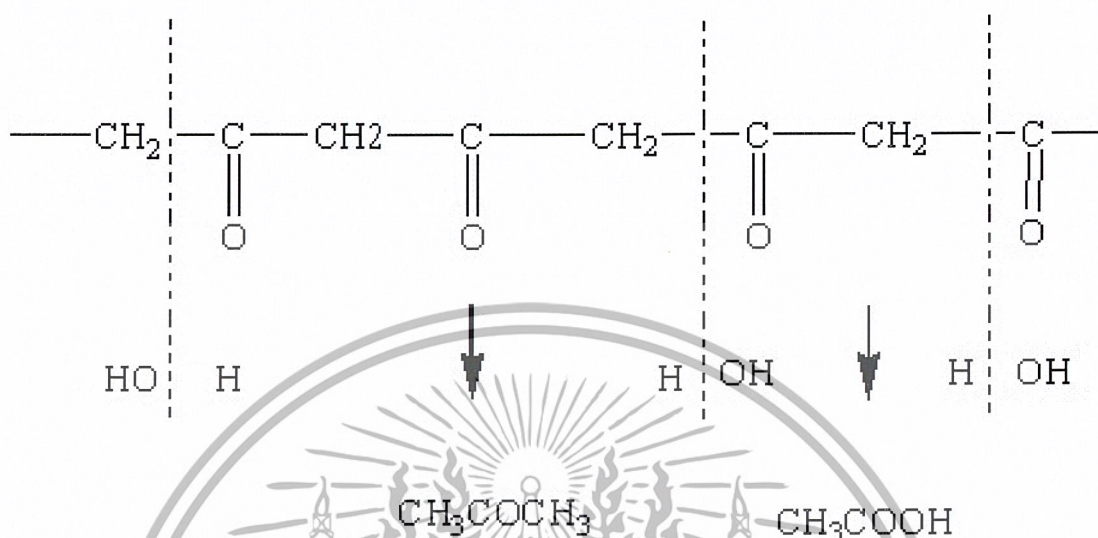
แอลกอฮอล์ที่ใช้ อาจเป็นเมทานอลหรือเอทานอล ปฏิกิริยานี้ อาจเร่งปฏิกิริยาโดยการดักแกหรือเบสแก่ก็ได้ แต่ถ้าใช้เบสแก่จะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า ในทางปฏิบัติทั่วไปสามารถเตรียมได้โดยละลายพอลิไวนิลอะซิเตตในแอลกอฮอล์ แล้วเติมตัวเร่ง (กรดแก่หรือเบสแก่) จากนั้นจึงให้ความร้อน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจะตกตะกอนออกจากสารละลาย

วิธีที่สะดวกในการเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากพอลิไวนิลอะซิเตต คือการใช้กระบวนการแบบสารละลาย (Solution) หรือ แบบแขวนลอย (Suspension) โดยเฉพาะแบบสารละลายสะดวกมากเนื่องจากใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายและจะได้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์แยกออกมา

2.4.2 สมบัติและการนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปใช้ประโยชน์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เตรียมได้ในอุตสาหกรรมมักจะมีหมู่อะซิทิล (Acetyl group) ปะปนมาบ้าง ประมาณ 1.5 –2 โมลเปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่าหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จะอยู่ตำแหน่ง 1 และ 3 หมู่แอลกอฮอล์จะเปลี่ยนไปเป็นหมู่คีโตน เวลาเกิดปฏิกิริยากับกรดโครมิก เมื่อทำปฏิกิริยาต่อกับเบสจะได้คีโตนกับกรดอะซิติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การเกิดปฏิกิริยาของหมู่คีโตนกับเบส ไปเป็นอะซิโตนและกรดอะซิติก

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความหนาแน่น 1.293 g/cm^3 อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ประมาณ 80°C มีสมบัติคล้ายแป้งคือเกิดสีน้ำเงินกับไอโอดีน ละลายในน้ำ และต่างอ่อน ที่ต่างกับพอลิไวนิลอะซิเตตคือพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความเป็นผลึกมากพอสมควร ทั้ง ๆ ที่มีการจัดโครงสร้างเป็นแบบอะแทกติก (Atactic) เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลเล็กกว่าหมู่อะซิเตตนั่นเอง น้ำหนักโมเลกุล (MW) ที่ใช้ในอุตสาหกรรม มีอยู่ 4 ช่วง คือ $250,000 - 300,000$ $170,000 - 220,000$ $120,000 - 150,000$ และ $25,000 - 35,000$ ตามลำดับ

สมบัติพิเศษอย่างหนึ่งของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์คือ สามารถละลายในน้ำได้โดยละลายอย่างช้า ๆ ในน้ำเย็นแต่จะละลายเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และโดยทั่วไปจะสามารถละลายได้หมดที่อุณหภูมิสูงกว่า 90°C ความสามารถในการละลายในน้ำของแอลกอฮอล์ขึ้นกับปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลเช่นกัน โดยที่จะสามารถละลายน้ำได้ดีที่สุดเมื่อมีหมู่ไฮดรอกซิล 88 % ในโมเลกุล แต่ถ้ามีร้อยละของหมู่ไฮดรอกซิลสูงกว่านี้ ความสามารถในการละลายกลับลดต่ำลงเพราะเกิดพันธะไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น

สมบัติทางกายภาพของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ขึ้นอยู่กับดัชนีของแอลกอฮอล์ซิส คือถ้าถูกไฮโดรไลซ์สมบูรณ์ 100 % จะมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงขึ้น ทนทานต่อการฉีกขาดได้ดีกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ถูกไฮโดรไลซ์เพียงบางส่วน เนื่องจากมีความเป็นผลึกมากกว่าและพันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรเจนมากกว่า นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพยังได้รับอิทธิพลจากความชื้นของสิ่งแวดล้อมด้วย เพราะวณ้ำจะทำตัวเป็นพลาสติกไซเซอรีให้กับพอลิเมอร์ตัวนี้ได้ เช่น ถ้ามีความชื้น 50 % ความทนทานต่อแรงดึงจะลดลง แต่จะไปเพิ่มความสามารถในการยืดตัวออกมาขึ้น น้ำหนักโมเลกุลก็มีผลต่อสมบัติทางกายภาพด้วย เช่นถ้าน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทนต่อแรงดึงต่ำ ทนต่อแรงฉีกขาดต่ำกว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

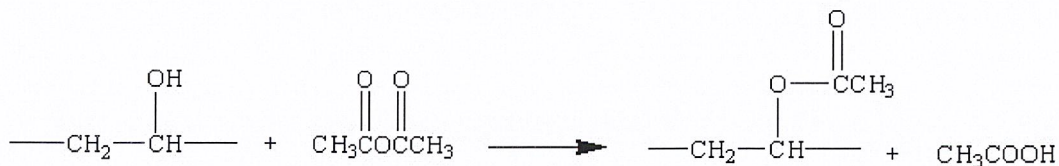
สมบัติการละลายน้ำนั้น พบว่าการละลายจะเพิ่มขึ้นถ้าหมู่อะซิติกในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้น และจะสูงสุดเมื่อมีตึกิริของการเปลี่ยนเป็นหมู่ไฮดรอกซิล 88 % ถ้าถึงจุดนี้การละลายสมบูรณ์และละลายในน้ำเย็นปกติได้ สำหรับตัวทำละลายอินทรีย์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถทนทานได้หลายชนิด โดยความทนทานจะเพิ่มขึ้นตามตึกิริของหมู่ไฮดรอกซิล ถ้าสูงจะไม่ละลายในตัวทำละลายทั้งอะลิฟาติกและอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน คลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนสูง ๆ เอสเทอร์ อีเทอร์ และคีโตน แต่ถ้าเป็นแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนต่ำ ๆ จะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำให้ละลายได้ และสารจำพวกเอไมด์ เช่นฟอร์มามาไมด์ (Formamide, HCO-NH_2) อะซิตาไมด์ (acetamide, $\text{CH}_3\text{CO-NH}_2$) สารจำพวกเอมีนก็สามารถละลายได้เช่นกันเนื่องจากสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พันธะไฮโดรเจนในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีผลทำให้พอลิเมอร์มีอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) สูงถึง 230°C ถ้ามีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 88 % แต่เมื่อถึงจุด T_m แล้วพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะไม่หลอมตัวเหมือนเทอร์โมพลาสติกทั่ว ๆ ไป แต่จะสลายตัวได้สารที่เป็นพันธะคู่แบบคอนจูเกตทำให้เกิดสีขึ้น ดังรูปที่ 2.5



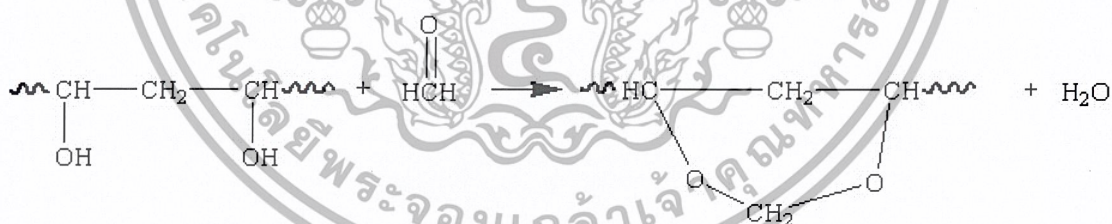
รูปที่ 2.5 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สลายตัวได้สารที่เป็นพันธะคู่แบบคอนจูเกต

หมู่ไฮดรอกซิลในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเปลี่ยนไปเป็นหมู่อะซิเตตได้โดยทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์ (Acetic anhydride) ในไพริดีน (Pyridine) และให้ความร้อน แต่พอลิไวนิลอะซิเตตที่ได้อาจมีโครงสร้างและสมบัติที่แตกต่างออกไปจากพอลิไวนิลอะซิเตตเดิมก็ได้



รูปที่ 2.6 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์เปลี่ยนเป็นหมู่อะซิเตต

การใช้ประโยชน์ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้น แบ่งกว้าง ๆ ได้เป็นสองลักษณะ ลักษณะแรกจะอาศัยสมบัติการละลายน้ำได้และทนต่อแรงดึงสูง จึงใช้เป็นตัวที่ช่วยให้กระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันและแขวนลอยขึ้นขึ้นเรียกว่าใช้เป็นสารข้น (Thickening agent) ใช้ทำเป็นแผ่นฟิล์มบรรจุของที่ละลายน้ำได้เช่น สีย้อมผ้า ยาฆ่าเชื้อโรค ยาฆ่าเชื้อแมลง ทำน้ำยาถอดแบบในอุตสาหกรรมพลาสติกหล่อ ทำกาวย ฯลฯ ส่วนการใช้ประโยชน์อีกลักษณะหนึ่งคือใช้เป็นกาวหรือสารช่วยในการยึดติด (Adhesive) ถ้าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผ่านปฏิกิริยาเคมีแล้ว จะทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนจากละลายน้ำเป็นไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเส้นใยผ้าเป็นหลัก โดยนำพอลิเมอร์ไปปั่นแบบเปียก (Wet spin) เป็นเส้นเข้าไปยังสารละลายโซเดียมซัลเฟต เข้มข้นที่มีกรดซัลฟูริกและฟอร์มัลดีไฮด์ด้วย ประมาณ 0.333 % ของหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิเมอร์นี้เปลี่ยนไปเป็นหมู่ฟอร์มัล (Formal, CH₂O) ได้พอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์เปลี่ยนไปเป็นหมู่ฟอร์มัล

2.5 แป้ง (Starch) [7]

แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิดคือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (Amylose) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (Amylopectin)

2.5.1 สมบัติของแป้ง

1. การดูดซับ การพองตัว และการละลาย

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำจากบรรยากาศ เกิดสมดุระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10-17 % จากการทดลองของ Leach (1965) [7] พบว่าแป้งมันสำปะหลังสามารถดูดซึมน้ำได้ในปริมาณ 42.9 กรัมต่อน้ำหนักแป้งแห้ง 100 กรัม

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมี 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูปของ Bound water และน้ำในรูปอิสระ (Free water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นจากมากไปหาน้อยตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้น 8-10% สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแป้ง

เมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารละลายแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวและบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ ซึ่งคุณสมบัติทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กัน

ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้ง ได้แก่

1. ชนิดของแป้ง

แป้งจากส่วนรากหรือ Pitch เช่น แป้งมันสำปะหลัง มีการพองตัวเพียงชั้นเดียว กำลังการพองตัวและการละลายมีค่าสูงกว่าแป้งธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า แป้งจากส่วนรากจะเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งธัญพืช

2. ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง

3. สิ่งเจือปนในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต

4. ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความหนืด

เนื่องจากโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ส่วนผสมน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของน้ำที่เหลือน้อยลง เม็ดแป้งเหลือน้อยลงเม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเกิดเจล

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนพองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสจะกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นร่างแห 3 มิติ เกิดโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) หรือการคืนตัว (Setback)

2.6 สารตัวเติม (Filler) : ผงถ่าน (Charcoal) [8]

การกลายเป็นคาร์บอน (Carbonization) ของสารประกอบเชิงซ้อนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ สามารถทำได้โดยการไพโรไลซิส (Pyrolysis) โดยการให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการแยกตัวของสารประกอบที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน เช่น ไม้หรือผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ในขณะที่ทำการไพโรไลซิสของไม้ในภาชนะปิดในสภาวะปราศจากออกซิเจนไม้ก็จะสลายตัวกลายเป็นสารประกอบหลายชนิดโดยองค์ประกอบหลักคือ ถ่าน (Charcoal) ซึ่งมีลักษณะมีรูพรุน มีสีดำ องค์ประกอบหลักประกอบด้วยคาร์บอน โดยอาจมีขี้เถ้าประมาณ 0.5 – 6 % โดยขึ้นอยู่กับ ชนิดของไม้ และปริมาณเปลือกไม้ เป็นต้น โดยองค์ประกอบของผงถ่านแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติบางประการของผงถ่าน

สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี (Dry basis)	ปริมาณ			
	สูงสุด	ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่เหมาะสมของผงถ่านที่ดี
ปริมาณคาร์บอน (Carbon)	80%	60%	70%	75 - 80%
ปริมาณความชื้น (Moisture content)	25%	5%	10%	10% max.
ปริมาณเถ้า (Ash)	10%	3%	5%	3 - 4%
ปริมาณสารระเหย (Volatile matter)	26%	15%	25%	20 - 25%
ความหนาแน่นรวม (Bulk density) , kg/m ³	330	200	260	250 - 300
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย, มม.	60	10	35	20 - 50

โดยขบวนการเกิดเป็นผงถ่านของไม้มีขั้นตอนดังนี้

1. ที่ 20 – 110 °C

ไม้จะดูดซับความร้อนและจะเริ่มระเหยส่วนที่มีองค์ประกอบของน้ำเช่น ใยน้ำ จนกระทั่งอุณหภูมิประมาณ 100 °C ไม้จะเริ่มแห้ง

2. ที่ 110 – 270 °C

องค์ประกอบของน้ำส่วนสุดท้ายจะระเหยไปและไม้จะเริ่มสลายตัวให้ก๊าซต่าง ๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์, กรดอะซิติก, กลีเซอรีน เป็นต้น

3. ที่ 270 – 400 °C

เกิดการคายความร้อนและการสลายตัวของไม้โดยความร้อนทำให้เกิดการแยกตัวของโครงสร้างไม้ ทำให้เกิดก๊าซที่สามารถเกิดการสันดาปได้เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน และก๊าซที่สามารถกลั่นตัว เช่น น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก เมทานอล เป็นต้น และเริ่มมีน้ำมันดิน (Tar) ออกมา

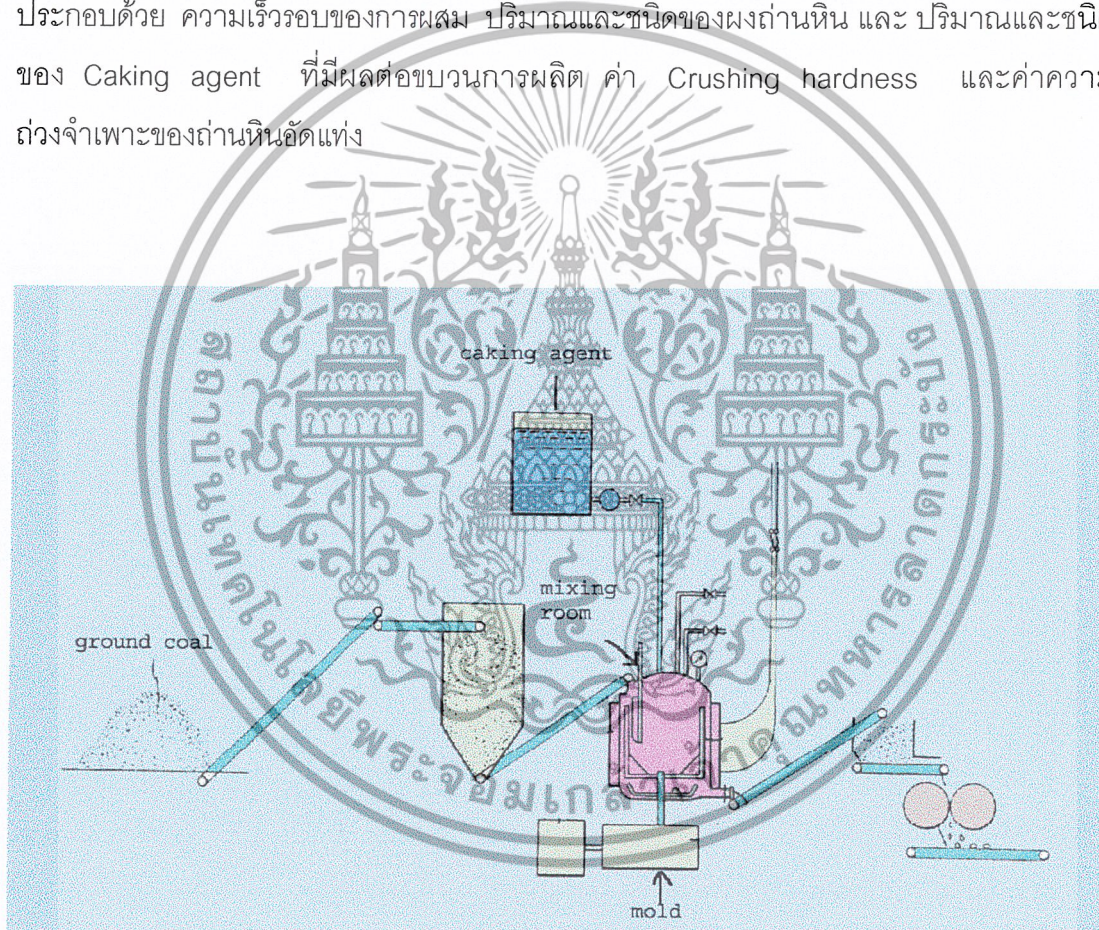
4. ที่ 400 – 500 °C

ที่อุณหภูมิ 400 °C การเปลี่ยนแปลงของไม้กลายเป็นผงถ่านเกิดขึ้นเกือบสมบูรณ์ โดยผงถ่านจะประกอบด้วย Tar ประมาณ 30 % โดยปกติแล้วผงถ่านจะประกอบด้วย ปริมาณคาร์บอนประมาณ 75 % และที่อุณหภูมิประมาณ 500 °C การกลายเป็นคาร์บอนจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

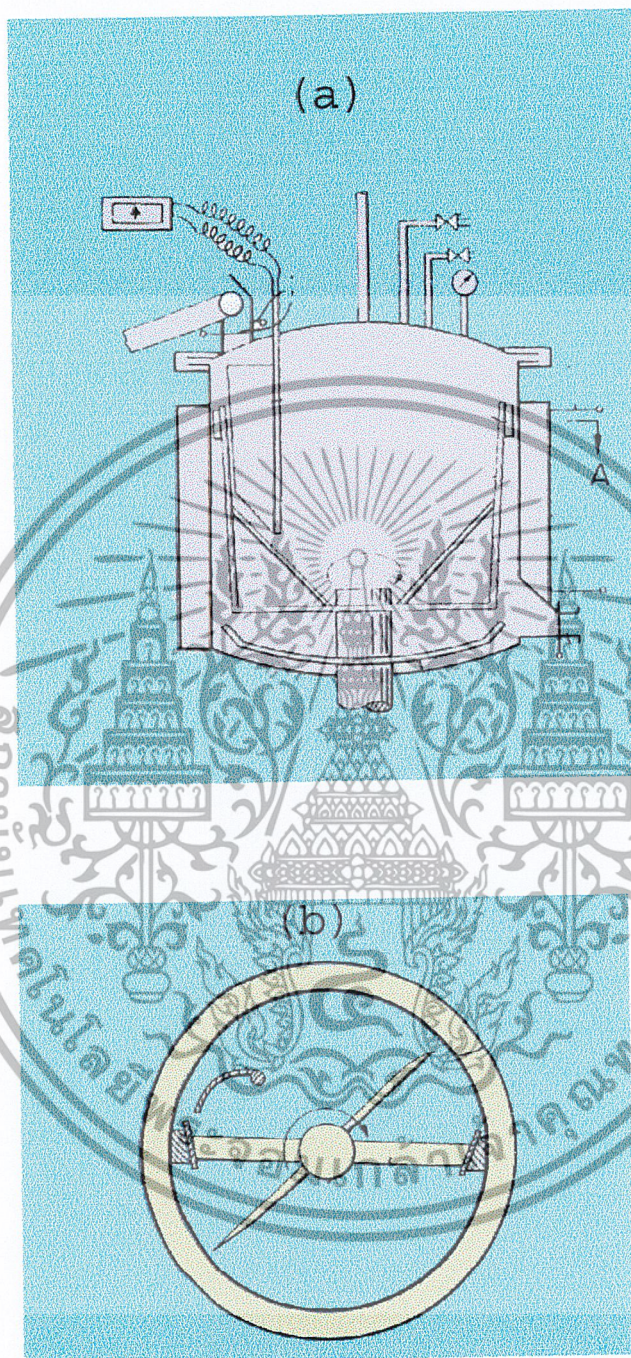
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Eimi Araki Takeo Sakai Seizaburo Takai และ Sekiro Komori [9] ทำการวิจัยเรื่อง ขบวนการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหิน โดยงานวิจัยนี้เป็นการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินที่ถูกบดเป็นผงแล้วทำการผสมเป็นกลุ่มก้อนด้วย Caking agent นำไปอัดขึ้นรูปในแม่แบบโดยขบวนการเตรียมถ่านหินดังแสดงในรูปที่ 2.8 ถ่านหินที่ใช้ได้แก่ชนิด Taiheiy 20 Taiheiy 50 Taiheiy 70 Ibid และ KIB ส่วน Caking agent ใช้ PDA (Propane – deasphalted asphalt) ที่สัดส่วน ต่างกัน งานวิจัยนี้จะศึกษาถึงผลของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย ความเร็วรอบของการผสม ปริมาณและชนิดของผงถ่านหิน และ ปริมาณและชนิดของ Caking agent ที่มีผลต่อขบวนการผลิต ค่า Crushing hardness และค่าความถ่วงจำเพาะของถ่านหินอัดแท่ง



รูปที่ 2.8 ขบวนการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหิน



รูปที่ 2.9 ห้องผสมสำหรับเตรียมถ่านหินอัดแท่งในงานวิจัยของ Eimi Araki และคณะ

(a) รูปด้านหน้า (b) รูปด้านบน [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Friedrich Franke Werner Wenzel Mohamed Meraikib และ Hans Berkenkamp [10] ได้ทำการเตรียมถ่านหินแท่งจากผงถ่านหินสีน้ำตาล (Brown coal) โดยนำผงถ่านหินมาทำให้แห้งจากนั้นให้ความร้อนครั้งแรกโดยควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 300 - 320 °C โดยเพิ่มความร้อนด้วยอัตรา 30 - 60 °C ต่อนาที แล้วให้ความร้อนครั้งที่ 2 โดยควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 350 - 400 °C โดยเพิ่มความร้อนด้วยอัตรา 1 - 10 °C ต่อนาที โดยการให้ความร้อนในครั้งแรกจะทำให้ผงถ่านหินเกิดการรวมตัวกันในส่วนการให้ความร้อนครั้งที่ 2 จะให้ความดันประมาณ 1200 - 2000 kp/cm^2 แผนผังของขบวนการสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ขบวนการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินสีน้ำตาล (Brown coal) [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐิติพงศ์ กรประภากุล และ นิลเนตร แซ่ฉิ่ง [5] ได้ทำการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดก้อนจาก ทะลายปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นวัสดุเหลือจากการเกษตร และอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม โดยนำ ทะลายมาบดให้มีขนาดเล็ก และทดลองอัด 2 วิธี คือ อัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ภายใต้ความดัน 250-600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอัดเป็นก้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 ซม. และใช้การ แก้วและแบ่งเปียกเป็นตัวประสาน ก้อนเชื้อเพลิงเป็นทรงกระบอก และการด้วยเครื่องอัดแบบสกรูที่ อุณหภูมิ 120 และ 140 องศาเซลเซียส ได้เชื้อเพลิงเป็นแท่ง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. เชื้อเพลิงที่อัดได้ถูกนำไปเก็บเพื่อตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ และคุณลักษณะการเผาไหม้ ผลการ ทดลองแสดงให้เห็นว่า เชื้อเพลิงอัดก้อนซึ่งมีแบ่งเปียก 20 % ให้ปริมาณเถ้าต่ำสุด(5.32%) และเชื้อ เพลิงอัดก้อนซึ่งมีกากแก้ว 30 % ให้เปอร์เซ็นต์ความร่วนต่ำสุด (0.03%) สำหรับการเผาไหม้พบว่า เชื้อเพลิงทุกชนิดทำให้น้ำเดือดได้เร็วกว่าถ่านไม้ แต่มีควันมากกว่า ในช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้

Hehment Yildirim และ Gulhan Ozbayoglu [11] ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของ ถ่านหินเอลบิสตันลิกไนต์ (Elbistan lignite) ไปเป็นแอมโมเนียมไนโตรฮิวเมต (Ammonium nitrohumate) และใช้เป็นสารยึดถ่านหิน โดยศึกษาปริมาณของกรดไนตริกที่เหมาะสมสำหรับใช้ ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และแอมโมเนียชัน (Ammoniation) ซึ่งพบว่าปริมาณ กรดไนตริกที่เหมาะสมคือกรดไนตริกเข้มข้น 4.87 % โดยน้ำหนัก จะทำให้ได้แอมโมเนียมไนโตรฮิว เมตที่มีความเข้มข้น 10.75 % โดยน้ำหนักและนำไปใช้เป็นสารยึดในการผลิตถ่านหินอัดแท่งจาก ผงถ่านหินลิกไนต์

John Watson Taylor และ Leighton Hennah [12] ทำการวิจัยการยึดเกาะของถ่านหิน แท่งจากผงถ่านหินโดยศึกษาผลกระทบที่ได้รับจากผลของอุณหภูมิต่อการยึดเกาะของผงถ่านหิน โดยการเพิ่มของอุณหภูมิจะเพิ่มการยึดเกาะของถ่านหินให้มากขึ้น ในทางตรงข้ามการลดอุณหภูมิ ให้ต่ำลงจะเป็นการลดอัตราการอัดรวมตัว (Compaction) โดยการให้ความร้อนกับถ่านหินในฟลู อิดไดซ์เบด (Fluidized bed) ที่อุณหภูมิ 500 – 870 °C จะทำให้ถ่านหินเกิดการเชื่อมโยงและ กลายเป็นคาร์บอน (Carbonizing transform)

วีระจักร แดงประเสริฐ [13] ได้ทำการผลิตถ่านจากขี้เลื่อยอัด ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้ คือนำขี้เลื่อยมาผ่านการอบให้แห้งเสียก่อน จากนั้นนำมาเข้าเครื่องอัดที่ใช้เกลียวหมุนด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า โดยมีความร้อน (Heater) ที่ปลายท่ออัดที่อุณหภูมิประมาณ 220-280 °C เพื่อให้ สารลิกนิน (Lignin) ในขี้เลื่อยละลายและเกาะติดกันเป็นแท่ง จากนั้นนำแท่งขี้เลื่อยที่ได้มาเผาเป็น ถ่าน หลังจากการเผาเป็นถ่านแล้วน้ำหนักของถ่านจะเหลือประมาณครึ่งหนึ่งของแท่งขี้เลื่อยที่ใช้เผา แท่งถ่านจากขี้เลื่อยอัดจะมีขนาดโตกลมประมาณ 2 นิ้ว ตรงกลางมีรูเพื่อผลทางการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท่งถ่านที่ได้จะมีความคงทน ให้ความร้อนสูง และมีระยะเวลาที่เผาไหม้นานถึงชั่วโมงเศษเกือบ 2 ชั่วโมง ทั้งนี้เป็นเพราะขี้เลื่อยมีความหนาแน่นมากกว่าไม้เนื้อเอง นอกจากนี้ถ่านจากขี้เลื่อยอัดยังมีต้นทุนในการผลิตต่ำอีกด้วย

กัญญา บุญเกียรติ [14] ศึกษาการใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรม และการเกษตรที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ 3 ชนิด คือ แกลบ ขี้เลื่อย และขานอ้อย โดยนำมาอัดเป็นก้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ภายใต้อุณหภูมิ 57-1070 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และใช้ตัวยึดได้แก่ ขี้ผึ้ง และแป้งเปียก พบว่าขี้เลื่อยและขานอ้อยสามารถนำมาอัดให้ติดกันเป็นก้อนได้โดยไม่ต้องใช้ตัวยึด ส่วนแกลบต้องใช้ตัวยึด และ/หรือ ผสมกับขี้เลื่อยหรือขานอ้อย จึงจะติดกันเป็นก้อนได้ หลังจากเก็บตัวอย่างไว้ในถุงพลาสติกอย่างน้อย 2 เดือนแล้ว นำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลง และคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนักร้อยละที่ระเหยออกมา ความชื้น ขี้เถ้า ปริมาณกำมะถัน ค่าความร้อน และคุณสมบัติในการไหม้ไฟ และการให้ความร้อนเมื่อเทียบกับถ่านไม้ พบว่าก้อนเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบ – ขานอ้อยมีการแตกร่วนน้อยที่สุด (1.53 %) และขี้เลื่อยมีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด (6.19 %) สำหรับคุณสมบัติในการไหม้ไฟพบว่า ก้อนเชื้อเพลิงเกือบทุกชนิดทำให้น้ำเดือดได้เร็วกว่าถ่านไม้ และมีควันมากเมื่อเริ่มลุกไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. ผงถ่านหินแอนทราไซต์ ขนาด 0.1 - 1.0 และ 1.0 – 3.0 mm จาก บริษัท V.S. Coal Dust Industry จำกัด สมบัติบางประการของถ่านหินแอนทราไซต์ แสดงได้ดังตารางที่ 3.1
2. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 100,000 จากบริษัท P&N Hightech chemical
3. กรดเบนโซอิก (Benzoic acid)
4. ผงถ่านจากกะลามะพร้าว ขนาดเฉลี่ย 26 μm จากบริษัท V.S. Coal Dust Industry จำกัด
5. แป้งมัน เกรดการค้า บริษัทที่ซี ฮันจันตง จำกัด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องมือขึ้นรูปแท่งทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 38.8 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 13.1 mm ความยาวสูงสุด 180 mm ขึ้นรูปด้วยแรงอัดจากการหมุนเกลียวด้วยมือ แสดงดังรูปที่ 3.1
2. ชุดปั๊มดีป็นกาน
3. เครื่องบอมป์แคลอริมิเตอร์ รุ่น A007303 บริษัท Kallencamp แสดงดังรูปที่ 3.2
4. เตาเผาทดสอบถ่านหิน แสดงดังรูปที่ 3.3
5. เตาเผา (Furnace) รุ่น 6000 บริษัท Thermolyne
6. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส รุ่น Raynger® MX บริษัท Raytex แสดงดังรูปที่ 3.4
7. เครื่องหาขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer) ของบริษัท MALVERN รุ่น Mastersizer® X
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. เครื่องชั่งสารอย่างละเอียด รุ่น TC-254 บริษัท Denver Instrument
10. ตู้อบแบบอากาศร้อน รุ่น UM4000 บริษัท Memmert
11. ครกบดสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ตะแกรงร่อนสารเบอร์ 60

13. ตะเกียงบนเส้น

14. ก๊าซหุงต้ม

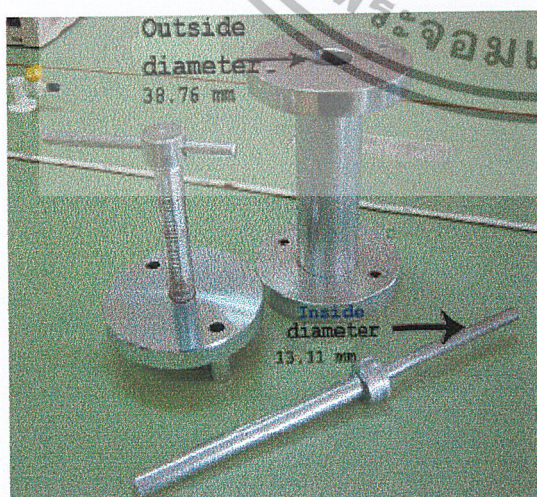
15. ก๊าซออกซิเจน

16. ครุฑีเบล (Crucible)

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่ใช้ในงานวิจัย

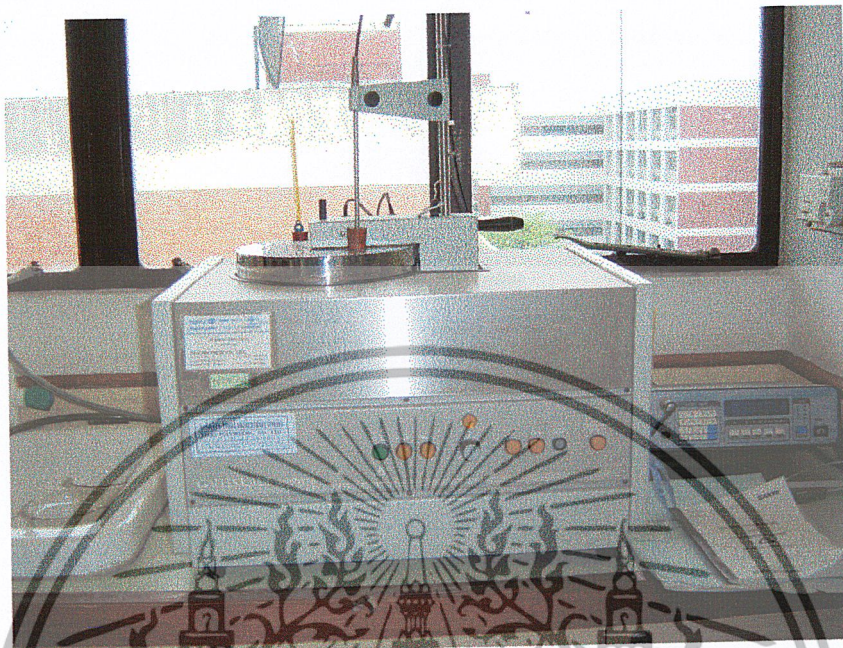
สมบัติ	ค่าที่ได้
ปริมาณเถ้า (Ash) (Air dry basis)	7.08%
ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) (Air dry basis)	5.95%
ปริมาณคาร์บอน (Fixed carbon)	86.00%
ปริมาณกำมะถัน (Sulfur)	0.56%
ปริมาณความร้อนสุทธิ (Gross calorific value)	7,791 kcal/kg
ปริมาณความชื้นรวม (Total moisture)	5.00%

หมายเหตุ ข้อมูลจาก SGS (Thailand) Limited



รูปที่ 3.1 เครื่องมือขึ้นรูปแท่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เครื่องปั๊มแคลเลนแคมป์ รุ่น A007303 บริษัท Callenkamp



รูปที่ 3.3 เตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส Raynger® MX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

3.3.1 การหาอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของของแข็งต่อของเหลว (ผงถ่านต่อสารละลายPVA และน้ำกลั่น)

1. ชั่งน้ำหนักของสารให้มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของแข็งต่อของเหลวเป็น 5:1 โดยจะควบคุมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ให้มีความเข้มข้นระหว่าง 0.5-1.0 % และกำหนดขนาดผงถ่านหินที่ใช้ให้มีขนาด 0.1-1.0 mm

หมายเหตุ : ของแข็งจะประกอบด้วย ผงถ่านหินแอนทราไซต์ สารตัวเติม เช่น ผงถ่าน และใช้น้ำกลั่นเป็นตัวปรับอัตราส่วน

2. ทำการผสมทีละสูตร โดยใช้ชุดใบพัดปั่นกวน ที่ความเร็วรอบ 300 rpm ปั่นกวนจนกระทั่งผสมเข้ากันได้ดี

3. นำของผสมที่ได้มาใส่แม่แบบ (รูปที่ 3.1) และทำการอัดขึ้นรูป ได้ถ่านหินอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกประมาณ 39 mm และมีช่องว่างแกนกลางซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 13 mm

4. นำชิ้นงานที่ได้ออกจากแม่แบบ แล้วไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่

5. ถ่านหินอัดแท่งที่ได้นำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมถ่านหินอัดแท่งโดยเตรียมจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และน้ำกลั่น

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ PVA (%)	ส่วนผสม (g)		
	ผงถ่านหินแอนทราไซต์	น้ำหนักสารละลาย PVA	น้ำกลั่น
0.5	99.5	8.78	11.72
0.6	99.4	10.54	10.06
0.7	99.3	12.30	8.40
1	99.0	17.57	3.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเตรียมแป้งเปียก

1. ชั่งน้ำหนักแป้งมันประมาณ 6.0 กรัม
2. ละลายแป้งมันในน้ำ 94.0 cm³
3. นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 15 นาที จนได้สารละลาย

สีขาวขุ่น

3.3.3 การหาขนาดของสารตัวเติมโดยใช้เครื่องหาขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer)

1. เปิดเครื่องหาขนาดอนุภาค (Particle size analyzer) Mastersizer® X
2. ทำการวัด background ของน้ำกลั่นก่อนใส่สารตัวอย่าง
3. เติมสารตัวเติมแล้วทำการปั่นจนพร้อมใช้คลื่นอัลตราโซนิก
4. ทำการวัดขนาดอนุภาคของสารตัวเติม

3.3.4 การศึกษาขนาดของผงถ่านหินแอนทราไซต์

1. เลือกความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมจากการทดลองในหัวข้อ 3.3.1 แต่ทำการเปลี่ยนขนาดของผงถ่านหินแอนทราไซด์เป็น 1.0 - 3.0 mm
2. ทำการผสมที่ละสูตรโดยใช้ชุดปั่นจนให้มีความเร็วรอบ 300 rpm ปั่นจนกระทั่งผสมเข้ากันได้ดี
3. นำของผสมที่ได้มาใส่แม่แบบและทำการอัดขึ้นรูป
4. นำชิ้นงานออกจากแม่แบบไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่
5. นำถ่านหินอัดแท่งที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ต่อไป

3.3.5 การศึกษาผลและปริมาณของสารตัวเติม (Filler) เปรียบเทียบกับถ่านหินอัดแท่งที่ไม่ได้ใส่สารตัวเติม

1. ทำการชั่งผงถ่านหินแอนทราไซด์ต่อผงถ่านในอัตราส่วน 50:50 60:40 70:30 และ 80:20 โดยน้ำหนัก
2. ทำการผสมและขึ้นรูปตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.3.1
3. นำถ่านหินอัดแท่งที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ต่อไป
4. จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลของสมบัติต่าง ๆ ที่ได้กับถ่านหินอัดแท่งที่ไม่ได้ใส่สารตัวเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่าน

สูตร	ผงถ่านหินแอนทราไซต์ (g)	ผงถ่าน (g)	น้ำหนักสารละลาย PVA (g)
50 : 50	49.7	49.7	10.54
60 : 40	59.64	39.76	10.54
70 : 30	69.58	29.82	10.54
80 : 20	79.52	19.88	10.54

3.3.6 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารยึด (Binder) ที่มีผลต่อถ่านหินอัดแท่ง

1. ทำการชั่งแบ่งเปียกที่เตรียมได้จากขั้นตอน 3.3.2 โดยให้ความเข้มข้น 0.6 0.9 และ 1.2% ตามลำดับ
2. นำแบ่งเปียกมาผสมกับผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านที่อัตราส่วน 50:50 60:40 และ 70:30
3. ทำการผสมและขึ้นรูปตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.3.1
4. นำถ่านหินอัดแท่งที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ต่อไป
5. ทำการเปรียบเทียบผลของสมบัติต่าง ๆ ที่ได้ และปริมาณของสารยึดที่เหมาะสมระหว่างสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแบ่งเปียก

ตารางที่ 3.4 ส่วนผสมถ่านหินอัดแท่งซึ่งเตรียมจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ แบ่งเปียก และน้ำกลั่น

สูตร	ผงถ่านหินแอนทราไซต์ (กรัม)	ผงถ่าน (กรัม)	น้ำหนักแบ่งเปียกที่มี อัตราส่วน 6 % โดยน้ำหนัก (กรัม)
50 : 50	49.40	49.40	20.00
60 : 40	59.28	39.52	20.00
70 : 30	69.16	29.64	20.00
80 : 20	79.04	19.76	20.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 การทดสอบสมบัติต่างๆ ของถ่านหินอัดแท่ง

3.3.7.1 การหาทดสอบความหนาแน่นรวม (Bulk density) และขนาด (Dimension)

1. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของถ่านหิน (D_1)
2. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถ่านหินอัดแท่ง (D_2)
3. วัดความสูงของถ่านหินอัดแท่ง (h)
4. ชั่งน้ำหนักถ่านหินอัดแท่ง (m)
5. คำนวณหาความหนาแน่นรวมของถ่านหิน (ρ) จากสมการ

$$\rho = \frac{4m}{h\pi(D_1^2 - D_2^2)}$$

3.3.7.2 การทดสอบหาปริมาณความชื้นรวม (Total moisture) ตามมาตรฐาน ทดสอบ ASTM D3173 [15]

1. นำครุชีเบลเปล่ามาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 104-110 °C จนกระทั่งแห้ง แล้วนำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 15-30 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก
2. นำถ่านหินที่ผ่านการบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 มาชั่งใส่ครุชีเบลประมาณ 1 กรัม แล้วรีบปิดฝาอย่างรวดเร็ว
3. นำครุชีเบลใส่ตุ๋บที่อุณหภูมิ 104-110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำออกจากตุ๋บแล้วทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก
4. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นรวม จากสมการ

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

เมื่อ A = น้ำหนัก(กรัม)ของตัวอย่างก่อนให้ความร้อน

B = น้ำหนัก(กรัม)ของตัวอย่างหลังจากให้ความร้อน

3.3.7.3 การทดสอบหา ปริมาณเถ้า (Ash) ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM 3174 [16]

1. นำถ่านหินที่ผ่านกระบวนการทดสอบหาปริมาณความชื้นรวม (Total moisture) มาชั่งน้ำหนักประมาณ 1 กรัมและชั่งน้ำหนักครุชชีเบล
2. ปิดฝาครุชชีเบลแล้วนำไปใส่ในเตาเผา (Furnace) ให้ความร้อนโดยให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 450-500 °C ภายใน 1 ชั่วโมง
3. ให้ความร้อนต่อไปจนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 700-750 °C ภายในชั่วโมงที่ 2
4. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 700-750 °C ต่อไปอีก 2 ชั่วโมงแล้วนำออกจากเตาเผา ใส่ไว้ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น
5. นำครุชชีเบลที่เย็นแล้วไปชั่งน้ำหนัก
6. นำผลที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเถ้า (%Ash) โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\% \text{Ash} = [(A-B)/C] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักครุชชีเบล ถ่านหินและเถ้าที่เหลือจากการเผา (Ash residue) (g)

B = น้ำหนักครุชชีเบลเปล่า (g)

C = น้ำหนักถ่านหิน (g)

3.3.7.4 การทดสอบหาค่าปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion)

โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM 2015 [17]

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่า และชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่า (Ignition cup) พร้อมเส้นด้าย ความยาว 12 cm ทำการบันทึกน้ำหนัก
2. ชั่งกรดเบนโซอิกประมาณ 1.2 g นำมาอัดขึ้นรูปพร้อมกับด้ายแล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ทำการบันทึกน้ำหนักของสารตัวอย่าง (m)
3. นำกรดเบนโซอิกที่อัดเป็นเม็ดแล้วมาใส่ในถ้วย (Ignition cup) แล้วผูกปลายด้ายกับหลอดความยาว 6 cm ที่ต่อหัวอิเล็กโทรด 2 หัวที่อยู่ในส่วนของ Head bomb
4. นำ Head bomb มาประกอบ Bomb แล้วหมุนสกรูให้แน่น
5. ทำการผ่านแก๊สออกซิเจนให้ภายใน Bomb มีความดันประมาณ 25 atm แต่ไม่เกิน 30 atm
6. ทำการทดสอบการซึมผ่านของแก๊สโดยนำน้ำกลั่นมาเทบริเวณรอบ ๆ รอยต่อของ Bomb ถ้ามีฟองอากาศแสดงว่ามีการซึมผ่านของแก๊สเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำ Bomb ใส่ไว้ใน Bucket แล้วใส่น้ำ
8. ปรับอุณหภูมิของน้ำรอบ Bomb และ Jacket ให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน โดยไม่ควรต่างกันเกิน 1°C
9. ปิดฝาของ Bomb calorimeter แล้วทดสอบว่าหัวจุดระเบิดตรงกับหัวของ อิเล็กโทรดหรือไม่โดยกดปุ่ม Test ถ้าไฟติดแสดงว่าตรงกัน
10. กดปุ่ม Vibration ประมาณ 2 วินาที แล้วทำการติดไฟ (Spark) ประมาณ 3 วินาที
11. ทำการบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นและบันทึกอุณหภูมิของน้ำรอบ Bomb ทุก ๆ 10 วินาทีจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่แล้วนำไปเขียนกราฟ เพื่อหา ΔT
12. ปิดเครื่องและนำ Bomb ออกแล้วทำการปล่อยแก๊สออก นำ Head bomb ออกจาก Bomb ดูว่ามีลวดและด้ายเหลือหรือไม่แล้วทำการจดบันทึกความยาวที่เหลือ
13. ทำการคำนวณหาค่า Energy equivalent of calorimeter (W) เมื่อค่า ความร้อนสุทธิ (Gross heat of combustion) ของ กรดเบนโซอิก = $26,463.72 \text{ cal/g}$

$$\text{Gross heat of combustion} = ((\Delta T \times W) - e_1 - e_2 - e_3 - e_4) / g$$

เมื่อ

W = Energy equivalent of calorimeter

e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิด $\text{HNO}_3 = 1.4 \times \text{ml}$ ของ $0.0725 \text{ N Na}_2\text{CO}_3$

e_2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิด $\text{H}_2\text{SO}_4 = 22.6 \times (\% \text{ S})$

e_3 = การแก้ค่าความร้อนของขดลวด = $(335 \times 2.479 \times 0.001) \times (\text{ความยาวลวดที่ถูกเผาไหม้})$

e_4 = การแก้ค่าความร้อนของด้ายฝ้าย (cotton) = $4180 \times 8.8 \times 0.001 \times (\text{ความยาวด้ายที่ถูกเผาไหม้})$

14. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1 – 12 แต่เปลี่ยนจากกรดเบนโซอิกเป็นถ่านหินที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงร่อนเบอร์ 60
15. นำค่า W ที่คำนวณได้จากข้อที่ 13 เพื่อนำมาคำนวณค่าความร้อนของการเผาไหม้สุทธิ (Gross heat of combustion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7.5 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการเผาและอุณหภูมิในการเผา

1. จุดตะเกียงบนเส้น
2. นำถ่านหินอัดแท่งไปจ่อที่ตะเกียงบนเส้นประมาณ 5 ซม. เริ่มจับเวลาที่ใช้ในการติดไฟหลังจากการให้ความร้อนเป็นเวลา 5 นาที
3. วัดอุณหภูมิที่ใช้ในการติดไฟด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสและบันทึกเวลาที่จุดติด



รูปที่ 3.5 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการเผาและอุณหภูมิในการเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาปริมาณของสารยัดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูป

ในการศึกษาปริมาณของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ได้ทำการเตรียมส่วนผสมของผงถ่านหินแอนทราไซต์ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 5.69 % โดยน้ำหนัก และน้ำกลั่น ซึ่งจะควบคุมอัตราส่วนโดยให้อัตราส่วนของน้ำหนักของของแข็งต่อของเหลวเป็น 5 : 1 โดยให้มีปริมาณของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และส่วนผสมอื่นดังแสดงในตารางที่ 3.2

จากการทดลองใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0.5 % พบว่าถ่านหินร่วนไม่ยึดกันทำให้ไม่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่น้อยที่สุดที่จะทำให้ขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่งได้และมีการยึดติดที่ดี คือถ่านหินอัดแท่งที่มีอัตราส่วนของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0.6 % โดยน้ำหนัก การใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มากกว่า 0.6 % สามารถขึ้นรูปได้แต่การใช้สารละลายพอลิเมอร์มากเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตเนื่องจากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีราคาแพง ดังนั้นจึงเลือกปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0.6 % เป็นปริมาณสารยัดที่เหมาะสมสำหรับการทดลองต่อไป

4.2 การศึกษาขนาดของผงถ่านหินแอนทราไซต์

เนื่องจากในกระบวนการผลิตถ่านหินในอุตสาหกรรมเกิดผงถ่านหินหลายขนาด จึงเป็นการสมควรที่จะศึกษาปัจจัยเรื่องขนาดของผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปเป็นถ่านหินอัดแท่งจากการเตรียมส่วนผสมที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.1 กล่าวคือเลือกใช้ปริมาณสารยัดเป็นสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0.6 % โดยน้ำหนัก ในส่วนนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของขนาดของถ่านหินแอนทราไซต์ 2 ขนาด คือ ขนาด 0.1 – 1.0 มม. และ ขนาด 1.0 – 3.0 มม. ที่มีต่อปัจจัยการขึ้นรูปซึ่งประกอบด้วย การผสมให้เข้ากัน การยึดติด และการคงรูปหลังจากนำส่วนผสมออกจากแม่แบบ

จากการทดลองจะพบว่าถ่านหินแอนทราไซต์ขนาด 0.1 – 1.0 มม. สามารถทำการขึ้นรูปได้ง่าย ในขั้นตอนการผสมสามารถเข้ากันได้ดี ยึดติดกันได้ดี และมีความคงรูปหลังจากนำส่วนผสมออกจากแม่แบบ แต่ในส่วนถ่านหินแอนทราไซต์ที่มีขนาด 1.0 – 3.0 มม. สามารถทำการขึ้นรูปได้ยากกว่า ในขั้นตอนการผสมสามารถเข้ากันได้บางส่วน ยึดติดกันไม่ดี และขาดความคงรูปหลังจากนำส่วนผสมออกจากแม่แบบ ทั้งนี้เนื่องจากผงถ่านหินขนาดเล็ก (0.1 – 1.0 มม.) มีพื้นที่

ผิวสัมผัสมากกว่าผงถ่านหินขนาดใหญ่ มีบริเวณยึดเกาะระหว่างสารยัด (พอลิไวนิลแอลกอฮอล์) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับก่อนอนุภาคของผงถ่านหินมากกว่า ผงถ่านหินอยู่ใกล้กันมากกว่า จึงมีความสามารถในการขึ้นรูปเป็นแท่งได้ง่ายกว่า ดังนั้นจึงเลือกถ่านหินขนาด 0.1 – 1.0 มม. สำหรับการทดลองอื่น ๆ ในงานวิจัยนี้ สำหรับถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินทั้งสองขนาดแสดงดังรูปที่ 4.1

หมายเหตุ งานวิจัยนี้มิได้สรุปว่าผงถ่านขนาด 0.1 – 1.0 มม. เป็นขนาดที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นถ่านหินอัดแท่ง เนื่องจากทำการทดลองผงถ่านหินเพียง 2 ขนาดคือ ขนาด 0.1 - 1.0 มม. และ 1.0 – 3.0 มม. เนื่องจากเป็นขนาดของผงถ่านหิน ปริมาณมากที่สุดที่หลุดจากกระบวนการผลิต – คัดแยกถ่านหิน อาจกล่าวได้ว่า

- ผงถ่านหินขนาดใหญ่ (เช่น ขนาดใหญ่กว่า 1 มม.) อาจมีอุปสรรคในการขึ้นรูปและมีเสถียรภาพหลังการขึ้นรูปต่ำเนื่องจาก มีพื้นที่ผิวน้อยและระยะห่างระหว่างอนุภาคมากกว่า
- ผงถ่านหินขนาดเล็กมีความสามารถในการผสมกับการยึดและขึ้นรูปเป็นแท่งได้ดีกว่า มีเสถียรภาพของแท่งหลังการขึ้นรูปดีกว่า

อย่างไรก็ตามการทำให้ผงถ่านหินมีขนาดเล็กอาจมีต้นทุนการผลิตสูงขึ้นในการเพิ่มขั้นตอนการบดย่อยผงถ่านหิน



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ (a) ขนาด 0.1 – 1.0 มม.

(b) ขนาด 1.0 – 3.0 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาผลของปริมาณของสารตัวเติมที่มีต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งแอนทราไซต์เมื่อใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึด

จากการทดลองเบื้องต้น เตรียมผงถ่านหินอัดแท่งโดยใช้ผงถ่านหินขนาด 0.1 – 1.0 มม. ผสมสารยึดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0.6 % นำไปอบให้แห้งแล้วทดสอบการติดไฟ พบว่า ถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้ติดไฟยาก และไฟค่อย ๆ ดับหลังจากนำเชื้อไฟ (ตะเกียงเบนเสน) ที่จุดออก ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากถ่านหินแอนทราไซต์มีความบริสุทธิ์สูง สิ่งเจือปนต่ำ คุณภาพดี ติดไฟให้ปริมาณความร้อนสูง แต่มีข้อเสียคือมีอุณหภูมิติดไฟสูง ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงโดยใช้สารตัวเติมที่มีอุณหภูมิติดไฟต่ำกว่าในอัตราส่วนต่าง ๆ

ในการศึกษาผลของปริมาณของสารตัวเติมที่มีต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งแอนทราไซต์เมื่อใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึด ทำได้โดยเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีปริมาณ 0.6 % โดยน้ำหนัก และผงถ่านหินแอนทราไซต์ขนาด 0.1 – 1.0 มม. (จากผลการทดลองจากหัวข้อ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ) โดยใช้สารตัวเติมคือผงถ่าน (Charcoal) ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 26 μm

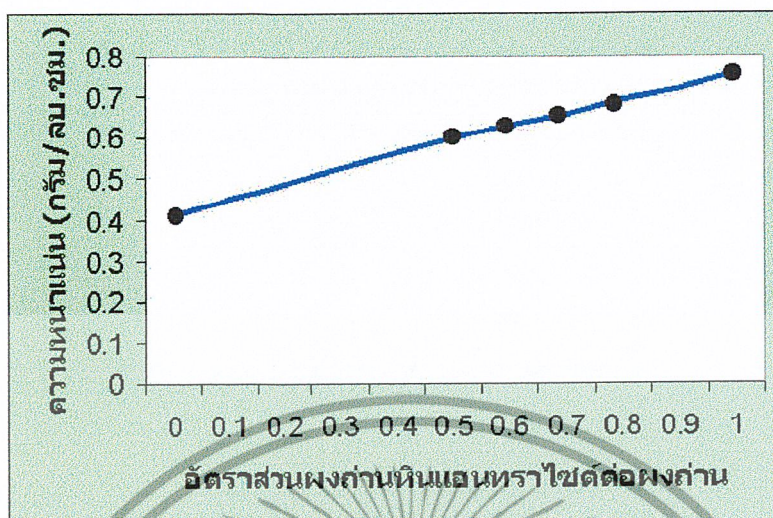
จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณผงถ่านมากขึ้นจะทำให้สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้นเนื่องจากผงถ่านมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่านั้นจึงยึดติดได้ดี จากนั้นนำถ่านหินอัดแท่งในอัตราส่วนต่าง ๆ มาทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.3.1 การศึกษาความหนาแน่นรวม (Bulk density) และขนาด (Dimension) ของถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้

ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นรวมและขนาดของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้ PVA เป็นสารยึด

อัตราส่วนโดยน้ำหนักผงถ่าน หินแอนทราไซต์ต่อผงถ่าน	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่นรวม (กรัม / ลบ.ซม.)
0 : 100	64.12	14.87	115.38	0.413
50 : 50	88.76	14.11	147.44	0.602
60 : 40	90.10	13.71	143.26	0.630
70 : 30	90.35	13.18	137.72	0.656
80 : 20	92.80	12.85	134.28	0.691
100 : 0	96.20	12.14	126.86	0.758

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

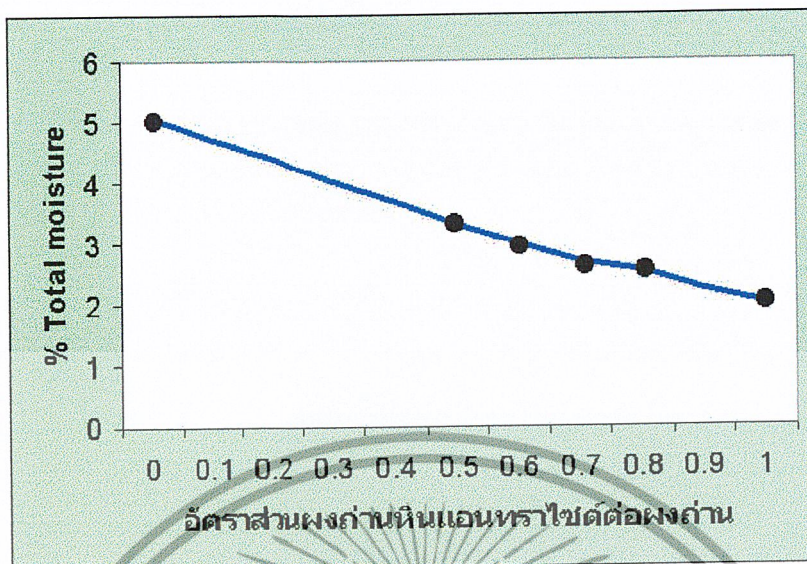


รูปที่ 4.2 ความหนาแน่นรวมของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้ PVA เป็นสารยึด

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณอัตราส่วนผงถ่านหินในก้อนถ่านหินอัดแท่งเพิ่มขึ้น มีผลให้ความหนาแน่นของก้อนถ่านหินอัดแท่งเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นของผงถ่านมีค่าน้อยกว่าผงถ่านหินแอนทราไซต์ (ความหนาแน่นของผงถ่าน = 0.413 g/cm^3 เทียบกับความหนาแน่นของผงถ่านหินแอนทราไซต์ = 0.758 g/cm^3) ดังนั้นเมื่อปริมาณผงถ่านหินในก้อนถ่านหินอัดแท่งเพิ่มขึ้นจะทำให้ถ่านหินอัดแท่งมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นหรือหนักขึ้น

4.3.2 การศึกษาปริมาณความชื้นรวม (Total moisture)

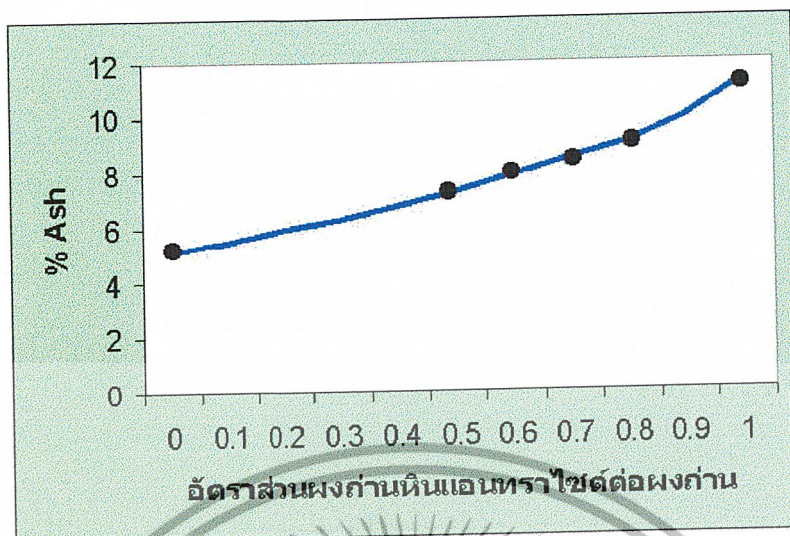
รูปที่ 4.3 แสดงผลของปริมาณความชื้นรวมของถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์กับผงถ่านในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าเมื่อใช้ปริมาณผงถ่านมากขึ้นค่าปริมาณความชื้นรวมของก้อนถ่านหินอัดแท่งจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผงถ่านมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า พื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าและมีสมบัติดูดความชื้นมากกว่าผงถ่านหินแอนทราไซต์ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณผงถ่านจึงทำให้ปริมาณความชื้นรวมเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อใช้อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านในช่วง 50 : 50 ถึง 100 : 0 เมื่อนำไปทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นรวมพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 2.5 - 3.3 % ซึ่งค่าน้อย ดังนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนได้ดี



รูปที่ 4.3 % Total Moisture ของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้ PVA เป็นสารยึด

4.3.3 การศึกษาปริมาณเถ้า (Ash)

จากรูปที่ 4.4 แสดงปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซด์กับผงถ่านในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าเมื่อปริมาณของถ่านหินแอนทราไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ปริมาณเถ้ามากขึ้น เนื่องจากผงถ่านหินแอนทราไซด์มีปริมาณเถ้าสูง (อัตราส่วน 100 : 0 มีปริมาณเถ้าประมาณ 11 %) เทียบกับปริมาณเถ้าของผงถ่าน (อัตราส่วน 0 : 100 มีปริมาณเถ้าประมาณ 5.8 %) เนื่องจากถ่านหินมีองค์ประกอบคาร์บอนและสารอินทรีย์มากกว่า ตามกฎของของผสม (Rule of mixture) เมื่อใช้อัตราส่วนของผงถ่านหินมากจะทำให้ปริมาณเถ้ามาก

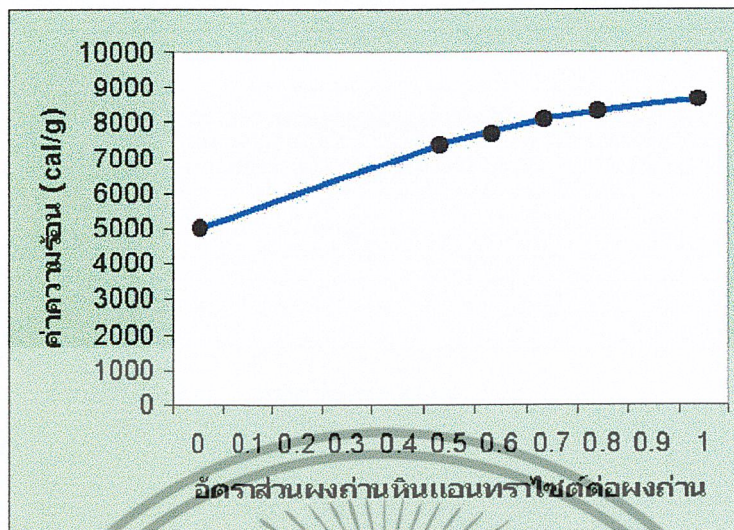


รูปที่ 4.4 ค่าปริมาณเถ้าของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้ PVA เป็นสารยึด

4.3.4 การศึกษาค่าความร้อน (Heating value)

จากรูปที่ 4.5 แสดงถึงผลค่าความร้อนของผงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านหิน

แอนทราไซต์กับผงถ่านในอัตราส่วนต่าง ๆ จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนของผงถ่านหินแอนทราไซต์เพิ่มขึ้น ถ่านหินอัดแท่งจะมีปริมาณค่าความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากผงถ่านหินแอนทราไซต์มีค่าความร้อนมากกว่าผงถ่าน (ผงถ่านหินแอนทราไซต์บริสุทธิ์ให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 8,760 cal/g ในขณะที่ผงถ่านให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 5,026 cal/g) อย่างไรก็ตามค่าความร้อนของผงถ่านหินอัดแท่งในอัตราส่วน 50 : 50 - 80 : 20 ให้ค่าความร้อนเฉลี่ยสูงมากประมาณ 7,500 - 8,400 cal/g แสดงว่าถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนได้ดีมีประสิทธิภาพสูง



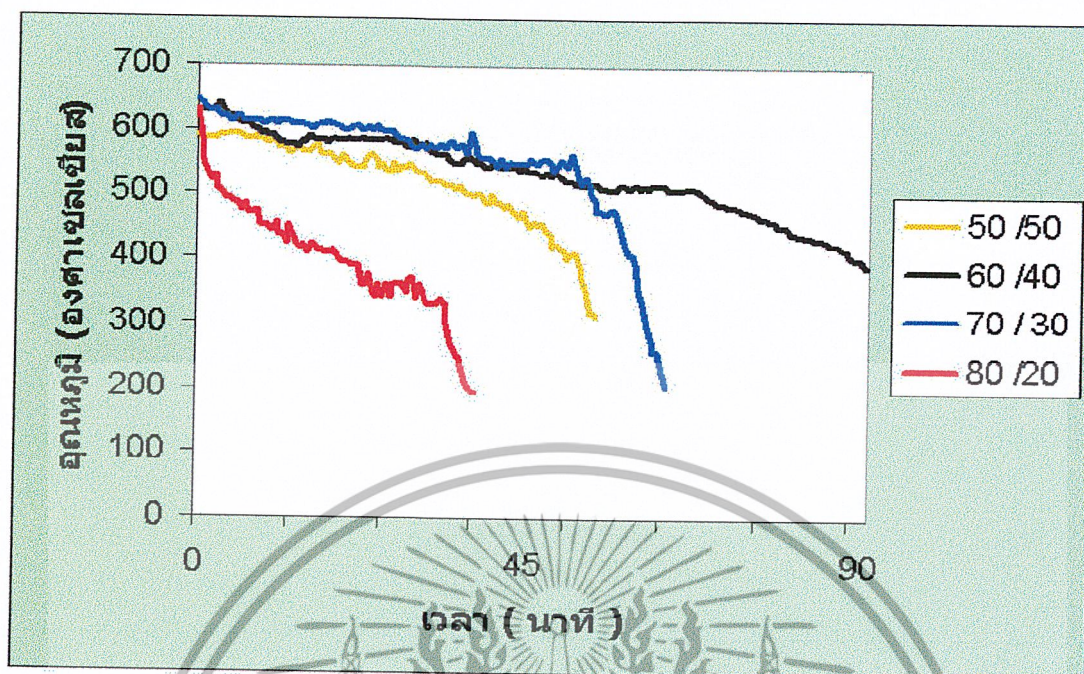
รูปที่ 4.5 ค่าความร้อนของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้ PVA เป็นสารยึด

4.3.5 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้และอุณหภูมิเผาไหม้

ตารางที่ 4.2 เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่ง

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ผงถ่านหินแอนทราไซต์ ต่อผงถ่าน (ใช้ PVA เป็นสารยึด)	น้ำหนัก ถ่านหินอัดแท่ง (กรัม)	เวลาที่ใช้ในการเผา ไหม้ (นาที)	อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)
50 : 50	44.09	54.5	590
60 : 40	43.78	90	628
70 : 30	45.05	63.5	645
80 : 20	44.78	38.5	631

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 อุณหภูมิของถ่านหินอัดแท่งอัตราส่วนต่าง ๆ ในขณะที่เผาไหม้เมื่อใช้ PVA เป็นสารยึด

จากการทดลองการติดไฟของถ่านหินอัดแท่งอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่ไม่มีสารตัวเติม (ผงถ่าน) เมื่อนำไปเผาแล้วไฟไม่ติดถาวรเนื่องจากอุณหภูมิในการติดไฟของถ่านหินแอนทราไซต์มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของตะเกียงบนเส้น (ประมาณ 400 – 550 °C) ถ่านหินอัดแท่งที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านเป็น 50 : 50 มีอุณหภูมิติดไฟเริ่มต้น 590 °C เมื่อทำการเผาไหม้จะมีความสม่ำเสมอในการเผาไหม้ อุณหภูมิที่ทำการเผาไหม้อยู่ในช่วง 450 – 550 °C แต่อุณหภูมิที่เผาไหม้เริ่มต้นจะต่ำกว่าอัตราส่วน 60 : 40 และ 70 : 30 นอกจากนี้จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วน 50:50 ใช้เวลาในการเผาไหม้น้อยกว่าอัตราส่วน 60 : 40 และ 70 : 30 อีกด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณผงถ่านที่มากเป็นตัวช่วยในการติดไฟทำให้การเผาไหม้ได้ดีแต่ปริมาณผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่น้อยลงทำให้ได้อุณหภูมิต่ำเกิดการเผาไหม้ของผงถ่านหินแอนทราไซต์ไม่สมบูรณ์ จากการทดสอบโดยนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิติดไฟเริ่มต้น (ประมาณ 650 °C) เป็นเวลา 60 นาทีพบว่ามีส่วนที่เป็นผงถ่านเผาไหม้หมดแต่ผงถ่านหินแอนทราไซต์เหลือจากการเผาไหม้ประมาณ 20 % โดยน้ำหนักหรือคิดเป็น 40 % ของปริมาณผงถ่านหินแอนทราไซต์ทั้งหมด

ถ่านหินอัดแท่งที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านเป็น 60 : 40 มีอุณหภูมิติดไฟเริ่มต้น 628 °C เมื่อทำการเผาไหม้จะมีความสม่ำเสมอในการเผาไหม้ อุณหภูมิที่ทำการเผาไหม้อยู่ในช่วง 500 – 600 °C มีช่วงเวลาที่ให้ค่าอุณหภูมิในการเผาไหม้สม่ำเสมอมากกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ทั้งหมดนานที่สุดคือประมาณ 90 นาที เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณผงถ่านหินแอนทราไซต์มากขึ้น จากการทดสอบโดยนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิติดไฟเริ่มต้น (ประมาณ 650°C) เป็นเวลา 90 นาทีพบว่ามีส่วนที่เป็นผงถ่านเผาไหม้หมดแต่ผงถ่านหินแอนทราไซต์เหลือจากการเผาไหม้ประมาณ 28 % โดยน้ำหนักหรือคิดเป็น 47 % ของปริมาณผงถ่านหินแอนทราไซต์ทั้งหมด

ถ่านหินอัดแท่งที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านเป็น 70 : 30 มีอุณหภูมิติดไฟเริ่มต้น 645°C เมื่อทำการเผาไหม้จะมีความสม่ำเสมอในการเผาไหม้ อุณหภูมิที่ทำการเผาไหม้อยู่ในช่วง $500-575^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ใกล้เคียงกับอัตราส่วน 60 : 40 แต่ในขณะที่ทำการเผาไหม้จะมีความคงรูปน้อยกว่าอัตราส่วน 60 : 40 และ 50 : 50 เนื่องจากปริมาณผงถ่านหินแอนทราไซต์มีมากกว่าจึงทำให้มีความเปราะและร่วน

ถ่านหินอัดแท่งที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านเป็น 80 : 20 มีอุณหภูมิติดไฟเริ่มต้น 631°C แต่การเผาไหม้จะไม่สม่ำเสมอ คือเมื่อเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้นานขึ้น ส่วนที่เป็นผงถ่านจะติดไฟก่อนแล้วค่อย ๆ หมดยไป ทำให้ส่วนที่เป็นผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหลือติดไฟได้ยาก เนื่องจากไม่มีตัวช่วยในการติดไฟจึงทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง และเมื่อนานไปผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหลือจะไม่ติดไฟ

ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือถ่านหินอัดแท่งที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านเป็น 60 : 40

4.4 การศึกษาผลของปริมาณสารตัวเติมที่มีผลต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์เมื่อใช้แบ่งเปียกเป็นสารยึด

เนื่องจากแบ่งมีราคาถูก สารละลายแบ่งมีสมบัติยึด จึงมีแนวคิดที่จะใช้สารละลายแบ่งจากธรรมชาติทดแทนสารละลายซึ่งเป็นสารสังเคราะห์และมีราคาแพง จากการทดลองจะเตรียมแบ่งเปียก 1.2 % โดยน้ำหนัก โดยใช้ผงถ่านหินแอนทราไซต์ขนาด 0.1 – 1.0 มม. และผงถ่านขนาดเฉลี่ย $26\ \mu\text{m}$ อัตราส่วนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านที่ใช้และปริมาณของแบ่งเปียกที่ใช้ แสดงในตารางที่ 3.4 ซึ่งในการทดลองจะทำในอัตราส่วน 50 : 50 60 : 40 และ 70 : 30 โดยอัตราส่วนที่มีปริมาณผงถ่านหินแอนทราไซต์มากกว่า 70 % จะไม่สามารถขึ้นรูปได้

จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณผงถ่านมากขึ้นจะทำให้สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น เนื่องจากผงถ่านมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากดังนั้นจึงยึดติดได้ดี จากนั้นจะนำถ่านหินอัดแท่งในอัตราส่วนต่าง ๆ มาทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.4.1 การศึกษาความหนาแน่นรวม (Bulk density) และขนาด (Dimension) ของถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้

ตารางที่ 4.3 ความหนาแน่นรวมและขนาดของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ผงถ่านหินแอนทราไซต์ ต่อผงถ่าน (ใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (กรัม / ลบ.ซม.)
0 : 100	61.48	14.68	153.40	0.401
50 : 50	91.35	14.46	151.10	0.605
60 : 40	92.13	14.36	150.05	0.614
70 : 30	94.23	13.87	144.93	0.650

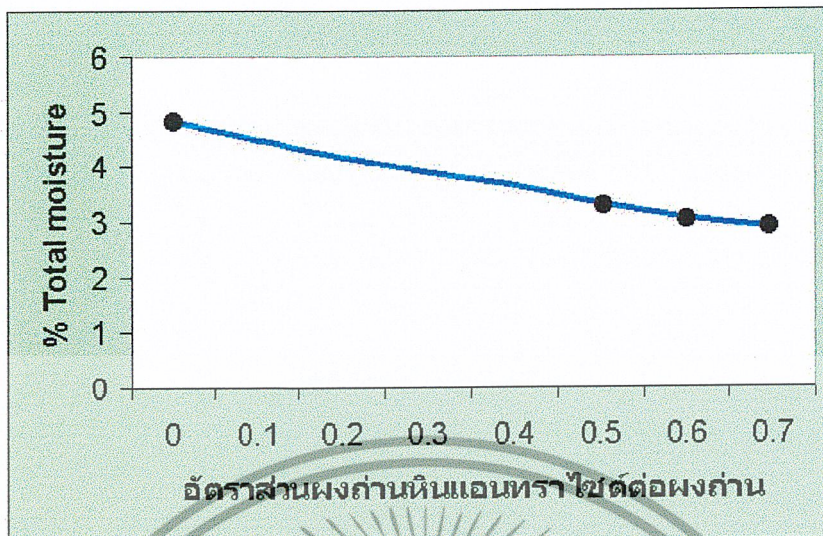
พบว่าเมื่ออัตราส่วนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านเพิ่มขึ้น จะทำให้ได้ค่าความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากค่าความหนาแน่นของผงถ่านหินแอนทราไซต์มีค่ามากกว่าผงถ่าน ทำให้เมื่อปริมาณของผงถ่านหินแอนทราไซต์มากขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น

จะเห็นได้ว่า ผลการทดลองคล้ายกับถ่านหินอัดแท่งที่ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึด อาจกล่าวได้ว่าชนิดของสารยึดไม่ว่าจะเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือแป้งเปียก ไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่นรวม เนื่องจากสารยึดที่ใช้มีปริมาณน้อย จึงไม่มีผลต่อความหนาแน่นรวมของวัสดุ (0.8 – 1.6 %)

4.4.2 การศึกษาปริมาณความชื้นรวม (Total moisture)

รูปที่ 4.7 แสดงถึงผลของปริมาณความชื้นรวมของผงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์กับผงถ่านในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าปริมาณความชื้นรวมมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อปริมาณผงถ่านมากขึ้นค่าปริมาณความชื้นรวมจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผงถ่านมีสมบัติดูดความชื้นมากกว่าผงถ่านหินแอนทราไซต์

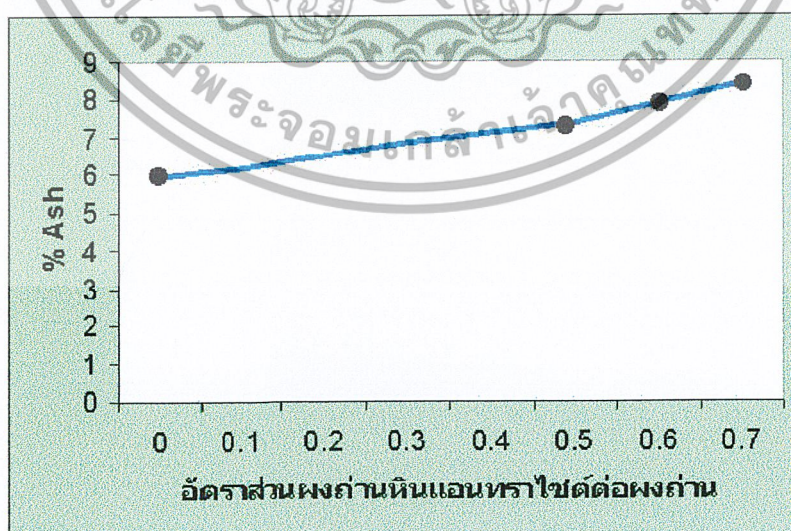
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 % Total Moisture ของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้แบ่งเปียกเป็นสารยึด

4.4.3 การศึกษาปริมาณเถ้า (Ash)

รูปที่ 4.8 แสดงถึงผลของปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์กับผงถ่านในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่เหลือจากการเผาไหม้ พบว่าเมื่อปริมาณของถ่านหินแอนทราไซต์เพิ่มขึ้น จะทำให้ได้ปริมาณเถ้ามากขึ้น เนื่องจากผงถ่านหินแอนทราไซต์มีปริมาณเถ้าสูง เทียบกับปริมาณเถ้าของผงถ่าน (อัตราส่วน 0 : 100 มีปริมาณเถ้าประมาณ 6 %) เนื่องจากถ่านหินมีองค์ประกอบคาร์บอนและสารอินทรีย์มากกว่า ตามกฎของของผสม (Rule of mixture) เมื่อใช้อัตราส่วนของผงถ่านหินมากจะทำให้ปริมาณเถ้ามาก

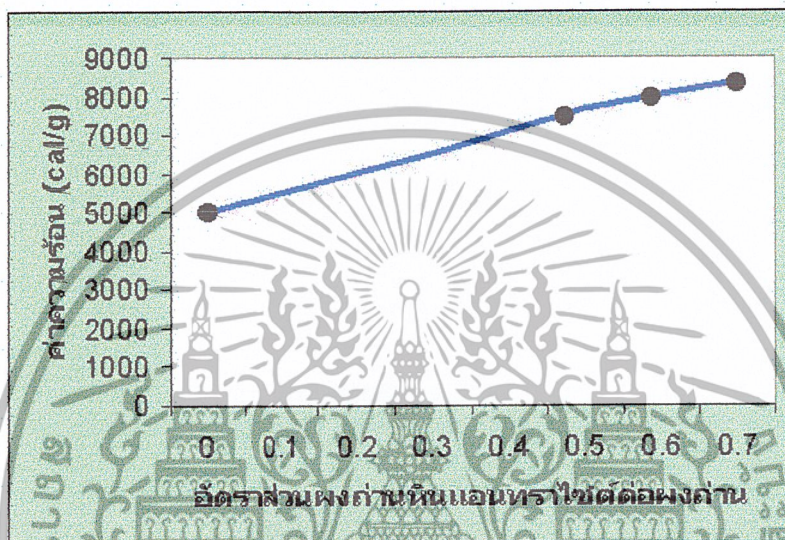


รูปที่ 4.8 ค่าปริมาณเถ้าของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้แบ่งเปียกเป็นสารยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 การศึกษาค่าความร้อน (Heating value)

จากรูปที่ 4.9 แสดงถึงผลค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์กับผงถ่านในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าเมื่อปริมาณของผงถ่านหินแอนทราไซต์เพิ่มขึ้น ปริมาณค่าความร้อนจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากผงถ่านหินแอนทราไซต์มีค่าความร้อนมากกว่าผงถ่าน



รูปที่ 4.9 ค่าความร้อนของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด

4.4.5 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้และอุณหภูมิของถ่านหินอัดแท่งขณะเผาไหม้

ถ่านหินอัดแท่งที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านเป็น 50 : 50 มีอุณหภูมิติดไฟเริ่มต้น 600 °C โดยวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสที่ผิวของถ่านหินขณะเผาไหม้ เมื่อทำการเผาไหม้จะมีความสม่ำเสมอในการเผาไหม้ อุณหภูมิที่ทำการเผาไหม้อยู่ในช่วง 450 - 550 °C แต่อุณหภูมิที่เผาไหม้เริ่มต้นจะต่ำกว่าอัตราส่วน 60 : 40 และ 70 : 30

นอกจากนี้จากตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วน 50:50 ใช้เวลาในการเผาไหม้น้อยกว่าอัตราส่วน 60:40 ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณผงถ่านเป็นตัวช่วยในการติดไฟ ทำให้เกิดการเผาไหม้ดี แต่ปริมาณผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่น้อยลงทำให้ได้อุณหภูมิต่ำเกิดการเผาไหม้ของผงถ่านหินแอนทราไซต์ไม่สมบูรณ์ จากการทดสอบโดยนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิติดไฟเริ่มต้นเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา 40 นาทีพบว่ามีส่วนที่เป็นผงถ่านเผาไหม้หมดแต่ผงถ่านหินแอนทราไซต์เหลือจากการเผาไหม้ประมาณ 20 % โดยน้ำหนักหรือคิดเป็น 40 % ของปริมาณผงถ่านหินแอนทราไซต์ทั้งหมด

ถ่านหินอัดแท่งที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านเป็น 60 : 40 มีอุณหภูมิติดไฟเริ่มต้น 658 °C เมื่อทำการเผาไหม้จะมีความสม่ำเสมอในการเผาไหม้ อุณหภูมิที่ทำการเผาไหม้อยู่ในช่วง 575 – 625 °C มีช่วงเวลาที่ให้ค่าอุณหภูมิในการเผาไหม้สม่ำเสมอมากกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ทั้งหมดนานที่สุดคือ 63.5 นาที จากการทดสอบโดยนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิติดไฟเริ่มต้น (ประมาณ 650 °C) เป็นเวลา 65 นาทีพบว่ามีส่วนที่เป็นผงถ่านเผาไหม้หมดแต่ผงถ่านหินแอนทราไซต์เหลือจากการเผาไหม้ประมาณ 31 % โดยน้ำหนักหรือคิดเป็น 51.7 % ของปริมาณผงถ่านหินแอนทราไซต์ทั้งหมด

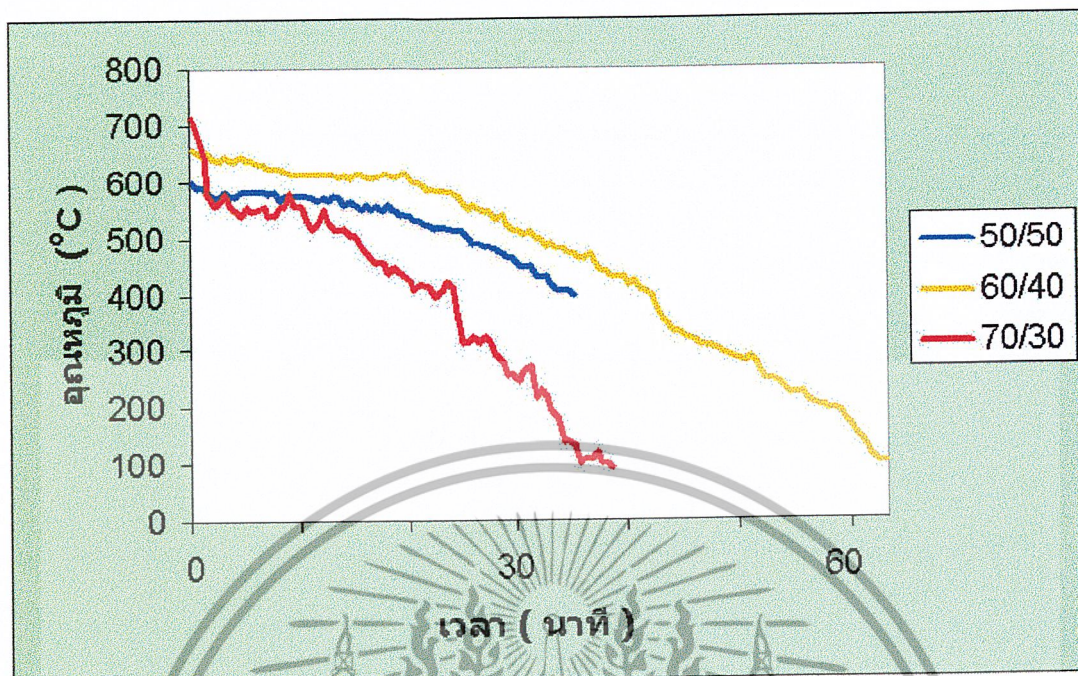
ถ่านหินอัดแท่งที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านเป็น 70 : 30 (รูปที่ 4.10) มีอุณหภูมิติดไฟเริ่มต้น 645 °C เมื่อทำการเผาไหม้ประยะหนึ่งอุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ่านหินอัดแท่งเกิดการแตกหักทำให้ไม่สามารถติดไฟต่อไปได้ เนื่องจากผงถ่านหินแอนทราไซต์มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและแบ่งเป็ยกมีสมบัติการยึดติดที่ไม่ดีเทียบกับสวาละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วน 60 : 40 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถขึ้นรูปได้ง่าย อุณหภูมิในการเผาไหม้จะคงที่ในช่วงเวลาหนึ่งเป็นเวลานาน และเวลาในการเผาไหม้เฉลี่ยจะยาวนานกว่าอัตราส่วนอื่น ในขณะที่ปริมาณความร้อนรวม ปริมาณเถ้าและค่าความร้อนจะมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.4 ถึงเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่งต่อเมื่อใช้แบ่งเป็ยกเป็นสารยึด

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ผงถ่านหินแอนทราไซต์ ต่อผงถ่าน (แบ่งเป็ยกเป็นสารยึด)	น้ำหนัก ถ่านหินอัดแท่ง (กรัม)	เวลาที่ใช้ในการเผา ไหม้ (นาที)	อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)
50 : 50	43.13	35.5	600
60 : 40	43.86	63.5	740
70 : 30	44.02	39.0	710

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 อุณหภูมิของถ่านหินอัดแท่งอัตราส่วนต่าง ๆ ในขณะเผาไหม้

4.5 การเปรียบเทียบสมบัติถ่านหินอัดแท่งสูตรต่าง ๆ

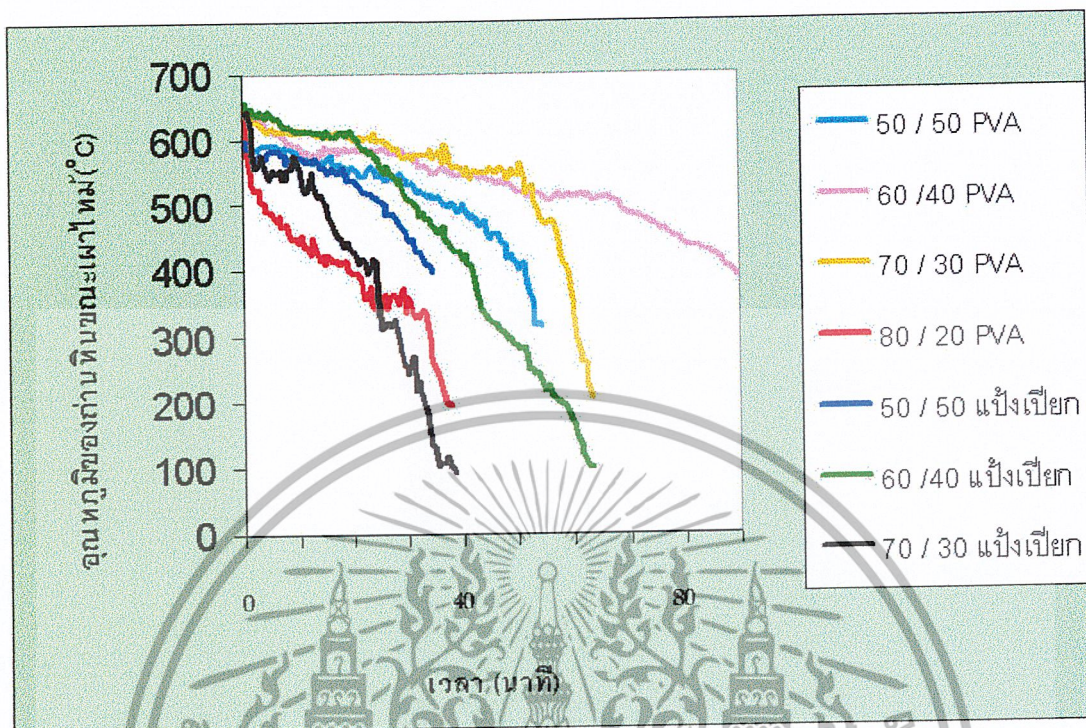
4.5.1 การเปรียบเทียบสมบัติโดยรวม

จากตารางที่ 4.5 จะพบว่าถ่านหินอัดแท่งที่ใช้แบ่งเปือกเป็นสารยึดจะมีสมบัติปริมาณ ความชื้นรวม ปริมาณเถ้า และปริมาณความร้อนใกล้เคียงกับถ่านหินอัดแท่งที่ใช้แบ่งเปือกเป็น สารยึด แต่จากรูปที่ 4.11 และ รูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าถ่านหินอัดแท่งที่ใช้แบ่งเปือกเป็นสารยึดจะมีช่วงเวลากการเผาไหม้ที่สม่ำเสมอเป็นเวลาที่สั้นและให้เวลาในการเผาไหม้น้อยกว่าถ่านหินอัดแท่งที่ใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึด แต่เมื่อคำนึงถึงปัจจัยในด้านราคาจะพบว่าราคาของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีราคาสูงกว่าแบ่งเปือกมาก ทำให้ต้นทุนการผลิตถ่านหินอัดแท่งมีราคาสูง ดังนั้นในทางอุตสาหกรรมเมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตอาจพิจารณาใช้แบ่งเปือกเป็นสารยึด โดยใช้อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านคือ 60 : 40 โดยใช้แบ่งเปือกปริมาณ 1.2 % โดยน้ำหนักของก้อนถ่านหิน

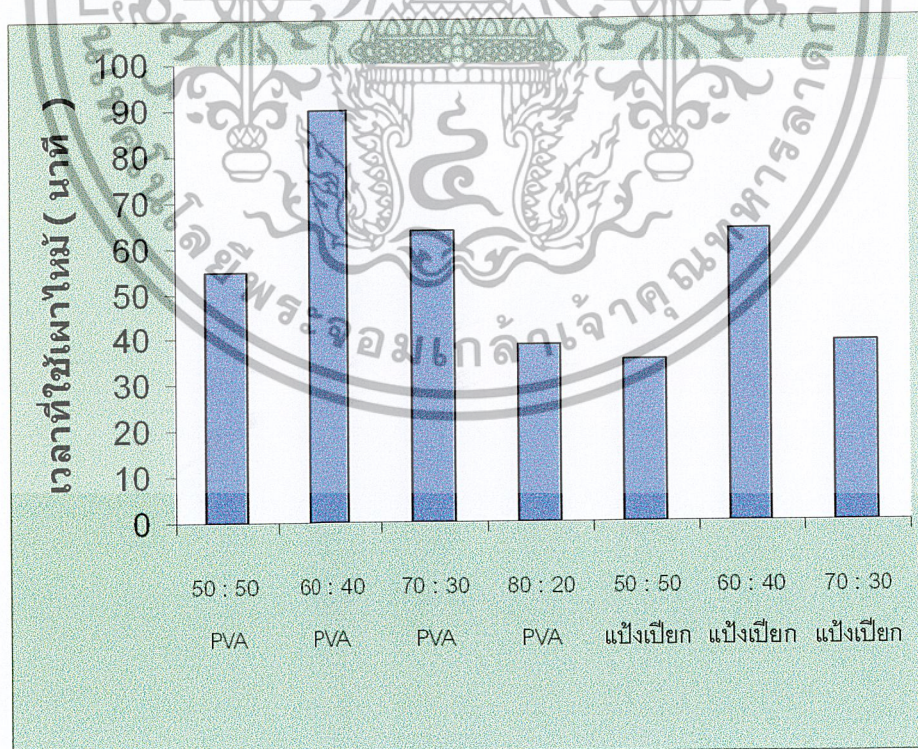
ตารางที่ 4.5 สมบัติเปรียบเทียบอัตราส่วนต่าง ๆ ของถ่านหินอัดแท่งเมื่อใช้สารยึดเป็น
สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งเปียก

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ผงถ่านหินแอนทราไซต์ ต่อผงถ่าน	ความหนาแน่น รวม (g / cm ³)	% total moisture	ash	ค่าความร้อน (cal / g)
0 : 100 (ใช้ PVA เป็นสารยึด)	0.413	1.509	18.126	5,025.88
50 : 50 (ใช้ PVA เป็นสารยึด)	0.602	0.398	30.370	7,469.62
60 : 40 (ใช้ PVA เป็นสารยึด)	0.629	0.358	31.687	7,683.83
70 : 30 (ใช้ PVA เป็นสารยึด)	0.656	0.357	35.638	8,116.95
80 : 20 (ใช้ PVA เป็นสารยึด)	0.691	0.309	39.820	8,364.39
100 : 0 (ใช้ PVA เป็นสารยึด)	0.758	0.282	50.008	8,669.36
0 : 100 (ใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด)	0.401	1.627	12.244	5,025.88
50 : 50 (ใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด)	0.605	1.016	30.901	7,628.07
60 : 40 (ใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด)	0.614	0.891	35.748	7,759.23
70 : 30 (ใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด)	0.650	0.815	38.003	7,890.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 อุณหภูมิที่ผิวบนของกะเผลวไหม้ของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.12 เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 การเปรียบเทียบผลของชนิดของสารยึดที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของถ่านหินอัดแท่ง (สูตร 60:40)

เมื่อทำการศึกษาถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านที่ดีที่สุด (60:40 โดยน้ำหนัก) เมื่อใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เปรียบเทียบกับการใช้แป้งเปียกเป็นสารยึดพบว่าสมบัติของถ่านหินอัดแท่งทั้ง 2 ชนิดมีค่าใกล้เคียงแสดงดังตารางที่ 4.6 อย่างไรก็ตามเมื่อใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึด พบว่าจะได้ถ่านหินอัดแท่งที่เผาไหม้ที่อุณหภูมิสม่ำเสมอและเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้นานกว่าดังแสดงในรูปที่ 4.13 นอกจากนี้สมบัติการคงรูปขณะเผาไหม้จะดีกว่าถ่านหินอัดแท่งที่ใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด

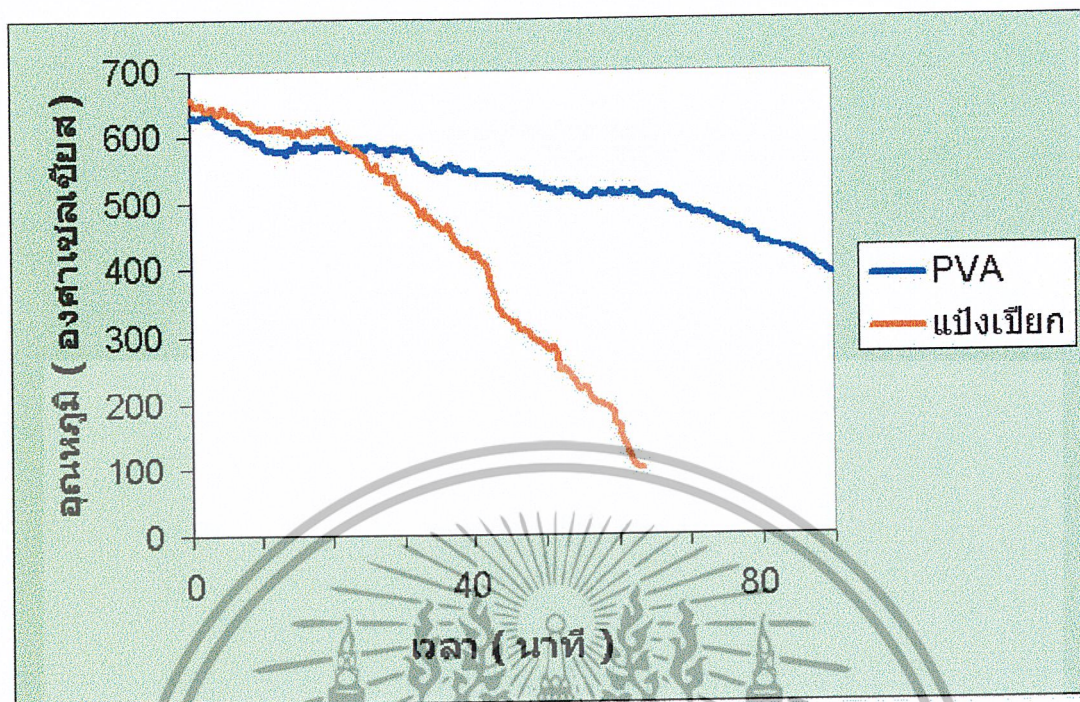
นอกจากนี้จากการทดลองยังสังเกตพบว่าถ่านหินอัดแท่งที่ใช้แป้งเปียกเป็นสารยึดเมื่อเผาไหม้ในระยะหนึ่งจะเกิดการหลุดร่วนเนื่องจากมีสมบัติการยึดติดน้อยกว่าสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำให้อัตราการหายไปของถ่านหินอัดแท่งที่ใช้แป้งเปียกเป็นสารยึดสูงกว่าถ่านหินอัดแท่งที่ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ส่งผลให้ระยะเวลาในการติดไฟของถ่านหินอัดแท่งที่ใช้แป้งเปียกเป็นสารยึดน้อยกว่าถ่านหินอัดแท่งที่ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าถ่านหินอัดแท่งที่มีส่วนผสมเหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้ คือถ่านหินอัดแท่งที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงถ่านหินแอนทราไซต์ขนาด 0.1 – 1.0 mm ต่อผงถ่านเป็น 60 ต่อ 40 โดยใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณ 0.6 % ของน้ำหนักถ่านเป็นสารยึด

ตารางที่ 4.6 สมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่มีอัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านเป็น 60:40 ที่มีสารยึดเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และแป้งเปียก

สมบัติ	ชนิดของสารยึด	
	PVA	แป้งเปียก
ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	0.629	0.614
% ความชื้นรวม	0.358	0.891
% เถ้า	31.687	35.748
ค่าความร้อน (cal/g)	7,683.83	7,759.23
อุณหภูมิเริ่มต้นขณะเผาไหม้ ($^{\circ}\text{C}$)	628	740
ระยะเวลาในการติดไฟ (min/g)	2.058	1.451

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เปรียบเทียบของถ่านหินอัดแท่งที่มีอัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านเป็น 60 : 40 ที่มีสารยึดเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และแป้งเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารยึดที่เหมาะสม

ชนิดของสารยึดที่เหมาะสม คือ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เนื่องจากมีสมบัติยึดติดที่ดีกว่าแป้งเปียก ในปริมาณที่เท่ากันจะพบว่าสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถทำให้เกิดการยึดติดระหว่างผงถ่านหินแอนทราไซต์กับผงถ่านดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งเปียก

ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมคือสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีอัตราส่วน 0.6 % โดยน้ำหนัก เนื่องจากเป็นอัตราส่วนของปริมาณสารยึดที่น้อยที่สุดที่สามารถขึ้นรูปได้ ถ้าใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนที่มากกว่า 0.6 % โดยน้ำหนักจะสามารถขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่งได้ แต่การใช้สารละลายพอลิเมอร์ในปริมาณมากจะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต

5.1.2 การศึกษาขนาดของถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหมาะสม

ขนาดของผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นถ่านหินอัดแท่งคือ ขนาด 0.1-1.0 mm เนื่องจากสามารถทำการขึ้นรูปได้ง่าย ในกระบวนการผสมสามารถเข้ากันได้ดี เนื่องจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ขนาด 0.1-1.0 mm มีขนาดเล็กจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ทำให้เกิดการยึดติดกันได้ดี และมีความคงรูปหลังจากนำส่วนผสมออกจากแม่แบบ แต่ในส่วนถ่านหินแอนทราไซต์ที่มีขนาด 1.0 – 3.0 mm สามารถทำการขึ้นรูปได้ยากกว่า ในกระบวนการผสมสามารถเข้ากันได้บางส่วน การยึดติดกันไม่ได้ดี และขาดความคงรูปหลังจากนำส่วนผสมออกจากแม่แบบ

5.1.3 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านที่เหมาะสม

พบว่าถ่านหินอัดแท่งที่ใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึดจะมีค่าปริมาณความชื้นรวม ปริมาณเถ้า และค่าปริมาณความร้อน ใกล้เคียงกับถ่านหินอัดแท่งที่ใช้สารละลายแป้งเปียกเป็นสารยึด พบว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านที่เหมาะสมคือ 60 : 40 เมื่อใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึด เนื่องจากการเผาไหม้จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่สม่ำเสมอและเป็นเวลานานกว่าเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่น นอกจากนี้ถ่านหินอัดแท่งที่ใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึดจะมีความคงรูปในขณะที่ทำการเผาไหม้ ในขณะที่ถ่านหินอัดแท่งที่ใช้แป้งเปียกเป็นสารยึดในขณะที่ทำการเผาไหม้จะมีบางส่วนที่หลุดแยกออกไปจากก้อนถ่านหินเนื่องจากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสมบัติยึดติดที่ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ดีเนื่องจากในงานวิจัยนี้ พบว่าการใช้แป้งเปียกเป็นสารยึดสามารถเตรียมก้อนถ่านหินอัดแท่งได้เช่นเดียวกัน ยกเว้นมีสมบัติการเผาไหม้ด้อยกว่าเพียงเล็กน้อย ถ้าพิจารณาปัจจัยต้นทุนการผลิตและกระแสนุรักษ์นิยม อาจใช้แป้งเปียกเป็นสารยึดของถ่านหินอัดแท่ง ทั้งนี้ควรทำวิจัยเพื่อศึกษาปรับปรุงถ่านหินอัดแท่งชนิดนี้ต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่ง ซึ่งจะนำผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหลือใช้จากการคัดแยกมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยนำผงถ่านหินแอนทราไซต์มาผสมกับสารยึดและผงถ่าน เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วอาจทำการศึกษางานวิจัยอื่น ๆ เพื่อพัฒนาปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของถ่านหินอัดแท่ง ดังต่อไปนี้

- ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ในกระบวนการขึ้นรูปที่มีผลต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่ง เช่น ความดันที่ใช้อัดขึ้นรูป
- พัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นกระบวนการต่อเนื่อง (Continuous process) เพื่อเพิ่มอัตราการผลิต เช่น กระบวนการอัดรีด (Extrusion) กระบวนการใช้ความดันช่วยในการขึ้นรูป ฯลฯ
- ศึกษาชนิดของสารตัวเติมอื่น ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการขึ้นรูปและสมบัติต่าง ๆ ของถ่านหินอัดแท่ง เช่น สมบัติที่ช่วยในการติดไฟและสมบัติทางความร้อน ฯลฯ
- ศึกษาสารยึดชนิดอื่นที่มีความสามารถในการยึดที่ดีและราคาถูก

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานพลังงานแห่งชาติ. 2527. **เชื้อเพลิงและพลังงานประเทศ**. หน้า 7-20. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน.
2. Michiaki, H. 2528. ความสำคัญของเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด. ใน **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ เรื่อง อุตสาหกรรมถ่านลิกไนต์ในประเทศไทย**, หน้า 5-14. กรุงเทพฯ : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
3. Perry, R. and Chilton, C. 1974. **Chemical Engineers' Handbook**. fifth edition. Mcgraw-Hill.
4. ไพโรจน์ อนุพันธ์. 2544. การใช้ประโยชน์จากถ่านหินอัดแท่งของเหมืองแม่เหาะ. ใน **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ เรื่อง เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด**, หน้า 1-7. กรุงเทพฯ: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
5. สุทธิพงศ์ กรประภากุล และนิลนิตร์ แซ่เอ็ง. 2540. การผลิตเชื้อเพลิงอัดก้อนจากทะลายปาล์มน้ำมัน. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**.
6. Ratajka, M. and Boryiec, S. 1999. **Polym. Adv. Technol.** 10(10):623-633
7. กล้าณรงค์ ศรีรอด, **เทคโนโลยีของแป้ง**, (2543), สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 2
8. <http://www.fao.org/docrep/x5555e/x5555e04.htm>
9. Araki, E. Sakai, T. Takai, S. and Komori, S. 1978. Process for preparing coal briquettes for coke and apparatus for the process. **United States Patent**. 4,093,425.
10. Franke, F. Wzel, W. Meraikib, M. and Berkenkamp, H. 1976. Process for the manufacture of brown coal briquettes. **United States Patent**. 3,980,447.
11. Yildirim, M. and Ozbayoglu, G. 1997. Production of ammonium nitrohumate from Elbistan lignite and its use as a coal binder. **Fuel**. 76(5): 385-389.
12. Taylor, J.W. and Hannah, L. 1991. The effect of binder displacements during briquetting on the strength of formed coke. **Fuel**. 70(4) : 873-876.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. วีระศักดิ์ แดงประเสริฐ. 2524 . แท่งเชื้อเพลิงเศรษฐกิจ.ใน เอกสารประกอบการประชุม
สัมมนาทางวิชาการเรื่อง เตาเศรษฐกิจและเชื้อเพลิงถ่าน, หน้า 46 – 51. กรุงเทพฯ ฯ :
องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้.
14. กัญญา บุญเกียรติ. 2524. ถ่านจากขี้เลื่อย. ใน เอกสารประกอบการประชุมสัมมนา
ทางวิชาการเรื่อง เตาเศรษฐกิจและเชื้อเพลิงถ่าน, หน้า 41 – 45. กรุงเทพฯ ฯ :
องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้.
15. Annual Book of ASTM. 05.05 (1992): 316-317.
16. Annual Book of ASTM. 05.05 (1992): 318-321.
17. Annual Book of ASTM. 05.05 (1992): 256-263.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก สมบัติบางประการของถ่านหินอัดแท่ง

ตารางที่ ก-1 แสดงถึงผลของปริมาณความชื้นรวมของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้ PVA เป็นสารยึด

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ผงถ่านหินแอนทราไซต์ ต่อผงถ่าน (ใช้ PVA เป็นสารยึด)	% Total Moisture		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0 : 100	5.078	4.985	5.031
50 : 50	3.356	3.254	3.305
60 : 40	2.977	3.015	2.996
70 : 30	2.705	2.685	2.695
80 : 20	2.598	2.495	2.546
100 : 0	1.986	1.865	1.925

ตารางที่ ก - 2 แสดงถึงผลของปริมาณเถ้าของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้ PVA เป็นสารยึด

อัตราส่วน ผงถ่านหินแอนทราไซต์ ต่อผงถ่าน (โดย น้ำหนัก)	% Ash		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0 : 100	5.944	5.678	5.811
50 : 50	7.304	7.253	7.279
60 : 40	7.913	7.815	7.864
70 : 30	8.541	8.502	8.522
80 : 20	9.077	8.995	9.036
100 : 0	11.679	11.012	11.345

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 3 ค่าความร้อนของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้ PVA เป็นสารยึด

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ผงถ่านหินแอนทราไซต์ ต่อผงถ่าน (ใช้ PVA เป็นสารยึด)	ค่าความร้อน (Heating value , cal / g)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0 : 100	4,933.31	5,118.43	5,025.88
50 : 50	7,513.61	7,425.63	7,469.62
60 : 40	7,733.53	7,634.13	7,683.83
70 : 30	8,136.28	8,097.65	8,116.95
80 : 20	8,429.81	8,298.97	8,364.39
100 : 0	8,751.31	8,587.41	8,669.36

ตารางที่ ก - 4 ผลของปริมาณความชื้นรวมของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ผงถ่านหินแอนทราไซต์ ต่อผงถ่าน (ใช้แป้งเปียกเป็นสารยึด)	% Total Moisture		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0 : 100	4.785	4.862	4.824
50 : 50	3.321	3.359	3.34
60 : 40	3.031	3.108	3.069
70 : 30	2.862	2.906	2.884

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก- 5 ปริมาณเถ้าของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้สารละลายเบี่ยงเป็ยกเป็นสารยี้ด

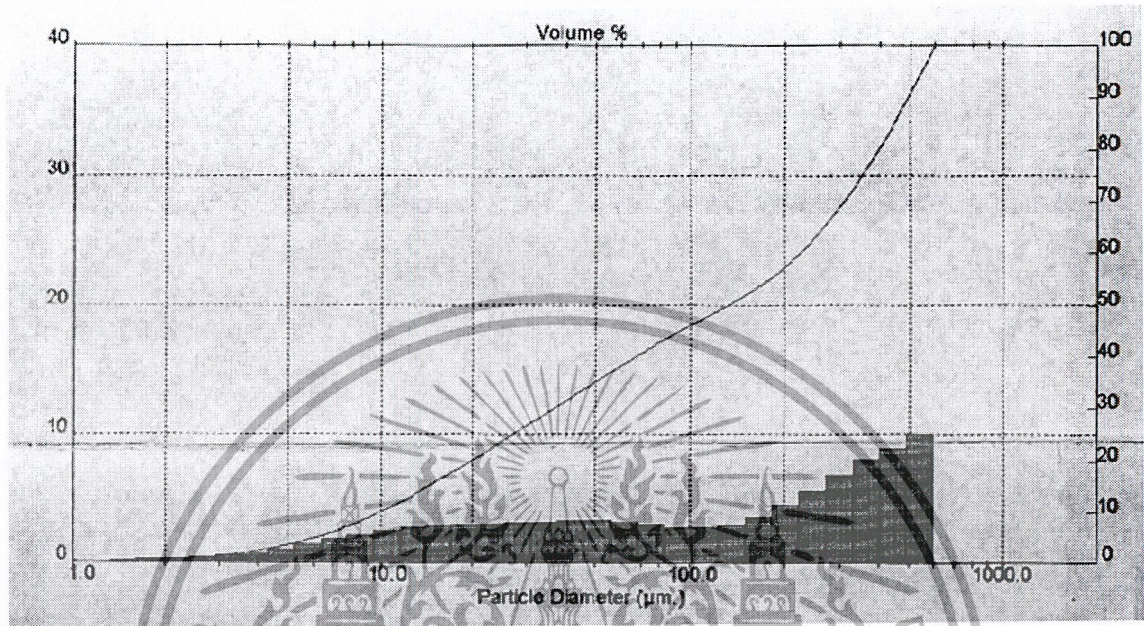
อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ผงถ่านหินแอนทราไซต์ ต่อผงถ่าน (ใช้เบี่ยงเป็ยกเป็นสารยี้ด)	% Ash		
	คร้้งที่ 1	คร้้งที่ 2	เฉลี่ย
0 : 100	6.124	5.802	5.963
50 : 50	7.342	7.338	7.34
60 : 40	7.885	7.835	7.86
70 : 30	8.141	8.622	8.382

ตารางที่ ก - 6 แสดงค่าความร้อนของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้สารละลายเบี่ยงเป็ยกเป็นสารยี้ด

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ผงถ่านหินแอนทราไซต์ ต่อผงถ่าน (ใช้เบี่ยงเป็ยกเป็นสารยี้ด)	ค่าความร้อน (Heating value , cal / g)		
	คร้้งที่ 1	คร้้งที่ 2	เฉลี่ย
0 : 100	4,933.33	5,118.43	5,025.88
50 : 50	7,676.21	7,573.93	7,628.07
60 : 40	7,984.88	7,533.57	7,759.23
70 : 30	7,968.76	7,812.33	7,890.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข การกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงถ่าน



รูปที่ ข - 1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้