สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์โดยใช้แป้งและกากน้ำตาลเป็นสารยึด

T055567

นางสาวชุฐินันท์ แจงกระโทก
นางสาวธนารัตน์ ศรีรัตนพิบูล
นางสาวนภาพร บัวจง

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 55567
วัน,เดือน,ปี 19 พ.ค. 2548

b.....
i.....

Coal Briquettes from Ground Anthracite by using Starch and Molasses as Binders

Miss Chuthinan Jangkrathok

Miss Tanarat Srirattanapiboon

Miss Napaporn Buajong

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

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษเรื่อง	เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์โดยใช้แป้งและกากน้ำตาลเป็นสารยึด
นักศึกษา	นางสาวชุฐินันท์ แจงกระโทก
	นางสาวธนารัตน์ ศรีรัตนพิบูล
	นางสาวนภาพร บัวจง
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2546
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.วันฉัตร ชื่นชม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย	.....
กรรมการ	ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน	.....
กรรมการ	คุณชวธร หนูใจคง	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์โดยใช้แป้งและกากน้ำตาลเป็นสารยึด		
นักศึกษา	นางสาวชุฐินันท์	แจงกระโทก	รหัสประจำตัว 43050073
	นางสาวธนารัตน์	ศรีรัตนพิบูล	รหัสประจำตัว 43050077
	นางสาวนภาพร	บัวจง	รหัสประจำตัว 43050080
ภาควิชา	เคมี		
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2546		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.วันฉัตร ชื่นชม		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Briquettes) จากผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหลือจากกระบวนการคัดแยกขนาดมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการนำผงถ่านหินผสมกับสารยึด (Binder) สารตัวเติม (Filler) และสารช่วยคงรูป (Shape stabilizer) แล้วอัดให้เป็นแท่งเพื่อความสะดวกในการใช้งานซึ่งเน้นการผลิตสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้เสนอการใช้สารละลายแป้ง (Starch) และกากน้ำตาล (Molasses) เป็นสารยึด โดยใช้ผงถ่าน (Charcoal) จากกะลามะพร้าวเป็นสารตัวเติมเพื่อช่วยในการติดไฟ และใช้มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) ดินเหนียว ปูนปลาสเตอร์ (Plaster) และแกลบ (Rice husk) เป็นสารช่วยคงรูป แล้วศึกษาชนิดและปริมาณของสารยึด และสารช่วยคงรูป รวมถึงอัตราส่วนระหว่างผงถ่านหินแอนทราไซต์ สารยึด สารตัวเติม และสารช่วยคงรูปในปริมาณที่เหมาะสม จากนั้นขึ้นรูปด้วยเครื่องมือขึ้นรูป นำไปอบให้แห้งเพื่อนำไปทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของถ่านหินอัดแท่ง ได้แก่ ความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ (% Strain at rupture) สมบัติการเผาไหม้ (Combustion property) และค่าปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion) โดยพบว่าชนิดของสารยึดและสารช่วยคงรูปที่เหมาะสมคือ กากน้ำตาล และมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งทำให้ถ่านหินอัดแท่งมีค่าความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) สูง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ (% Strain at rupture) ต่ำ สามารถติดไฟได้ยาวนาน ต่อเนื่องประมาณ 2-3 ชั่วโมง โดยคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างเดิมหลังการเผาไหม้ และค่าปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่งทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งปริมาณของกากน้ำตาลและมอนต์มอริลโลไนต์ที่เหมาะสมคือ 9 % และ 10 %wt ของของแข็งทั้งหมด ตามลำดับ โดยอัตราส่วนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ ต่อกากน้ำตาล ต่อผงถ่านกะลาต่อมอนต์มอริลโลไนต์ เท่ากับ 5 : 1 : 3 : 2 ของของแข็งทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Coal Briquettes from Ground Anthracite by using Starch and Molasses as Binders
Name	Miss Chuthinan Jangkrathok Code 43050073
	Miss Tanarat Srirattanapiboon Code 43050077
	Miss Napaporn Buajong Code 43050080
Department	Chemistry
Program	Industrial Chemistry
Academic Year	2003
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Ittipol Jangchud
Special Project Co-advisor	Dr. Vanchat Chuenchom

ABSTRACT

This research involved a study of preparation and properties of coal briquettes made from waste ground anthracite from coal separation process. The preparation of the briquettes was carried out by mixing ground anthracite with binders, fillers and shape stabilizers. The mixtures were then compressed into briquettes and dried for convenience use in industrial applications. In this research, starch solution and molasses were used as the binders where as ground charcoal was used as filler. Montmorillonite, plastic clay, plaster and rice husk were used as shape stabilizers. The suitable type and amount of binders and shape stabilizers were investigated including optimum mixing ratio. The coal briquettes were characterized for their properties including compressive strength, % strain at rupture, combustion property and heat of combustion. It was found that the suitable type of binder and shape stabilizer were molasses and montmorillonite which give the high compressive strength, low % strain at rupture and long time burning about 2-3 hours with unchanged shape after burning. It was revealed that the mixing ratio of the mixtures did not significantly affect the heat of combustion. The suitable amount of molasses and Montmorillonite were 9 %wt and 10 %wt,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

respectively. The optimum mixing ratio of ground anthracite, binder, filler and shape stabilizer was 5:1:3:2 (by weight).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากท่านคณาจารย์และเจ้าหน้าที่หลายฝ่าย ที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินงานวิจัยของโครงงานพิเศษนี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือดังมีรายนามต่อไปนี้

ผศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด ที่กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะและเอาใจใส่ รวมทั้งช่วยติดต่อประสานงานด้านต่างๆ โดยตลอด

ดร.วันฉัตร ชื่นชม ที่กรุณาให้คำปรึกษา ตรวจทาน และแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้สมบูรณ์ถูกต้องยิ่งขึ้น รวมทั้งให้กำลังใจและรอยยิ้มมาโดยตลอด

บริษัท V.S. Coal Dust Industry จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ วัตถุดิบ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ รวมทั้งให้โอกาสไปเยี่ยมชมโรงงานเพื่อศึกษาลักษณะเตาเผา (Boiler) ที่จะนำถ่านหินอัดแท่งไปใช้งาน

ท่านประธาน (ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย) และกรรมการ (ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน) สอบโครงงานพิเศษ ตลอดจนคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่กรุณาให้ความรู้ความอนุเคราะห์ในด้านต่างๆ จนทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายเอกชัย ขวยไพบูลย์ นายสิทธิชัย กิมกิตติกุลวิไล นายพิศุทธิ์ พิชัยสวัสดิ์ นายศุภโชค อุ่นทรัพย์เจริญ นายวัชรพัฐ สุหร่าย และนายเกรียงไกร อารีพูนสิริ ที่กรุณาสละเวลาและแรงกายแรงใจมาช่วยอัดแท่งถ่านหิน

พี่ๆและเพื่อนๆทุกคน สำหรับความช่วยเหลือ กำลังใจ และมิตรภาพที่ดีเสมอมา

นางสาวชุฐินันท์ แจงกระโทก
นางสาวธนารัตน์ ศรีรัตนพิบูล
นางสาวนภาพร บัวจง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญรูป	ญ
สารบัญตาราง	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงงานพิเศษ	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ถ่านหิน (Coals)	6
2.1.1 ธรรมชาติของถ่านหิน	6
2.1.2 การจำแนกชนิดของถ่านหิน	7
2.1.3 การวิเคราะห์ถ่านหิน	8
2.1.4 สมบัติของถ่านหิน	9
2.1.5 ประโยชน์ของถ่านหิน	11
2.2 ถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite)	12
2.3 เชื้อเพลิงก้อน	12
2.4 แป้ง (Starch)	13
2.4.1 สมบัติของแป้ง	13
2.5 กากน้ำตาล (Molasses)	16
2.5.1 ประโยชน์ของกากน้ำตาล	17
2.6 สารตัวเติม (Filler) : ผงถ่าน (Charcoal)	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 ดินเหนียว	18
2.8 แกลบ (Rice husk)	19
2.8.1 ลักษณะและองค์ประกอบ	20
2.8.2 การใช้ประโยชน์จากแกลบ	21
2.9 แร่ดินเหนียว (Clay minerals)	23
2.10 ปูนปลาสเตอร์ (Plaster)	26
2.10.1 องค์ประกอบของปูนปลาสเตอร์	27
2.10.2 กระบวนการผลิตปูนปลาสเตอร์	27
2.10.3 ชนิดของปูนปลาสเตอร์	27
2.10.4 ปฏิกิริยาการก่อตัว	28
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมี	33
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	33
3.3 ขั้นตอนการวิจัย	37
3.3.1 การเตรียมส่วนผสม	37
3.3.2 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารยึด (Binder) ที่มีต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ไม่ใส่ผงถ่านกะลาและสารช่วยคงรูป	39
3.3.2.1 การขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่งที่ไม่ใส่ผงถ่านกะลาและสารช่วยคงรูป	39
3.3.2.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล	40
3.3.2.3 การศึกษาความสามารถในการเผาไหม้	40
3.3.2.4 การทดสอบหาค่าปริมาณความร้อนของการเผาไหม้	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 การศึกษาผลของชนิดสารยึดที่มีต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาแต่ไม่ใส่สารช่วยคงรูป	42
3.3.3.1 การขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาแต่ไม่ใส่สารช่วยคงรูป	42
3.3.3.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล	43
3.3.3.3 การศึกษาความสามารถในการเผาไหม้	43
3.3.4 การศึกษาผลของชนิดสารช่วยคงรูปที่มีต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาและสารช่วยคงรูป	43
3.3.4.1 การขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่งโดยใส่ผงถ่านกะลาและสารช่วยคงรูป	43
3.3.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล	44
3.3.4.3 การศึกษาความสามารถในการเผาไหม้	44
3.3.5 การศึกษาผลของปริมาณสารช่วยคงรูปที่มีต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลา และสารช่วยคงรูป	44
3.3.5.1 การขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่งโดยใส่ผงถ่านกะลาและสารช่วยคงรูป	44
3.3.5.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล	45
3.3.5.3 การศึกษาความสามารถในการเผาไหม้	45
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ผลของชนิดและปริมาณของสารยึด (Binder) ต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ไม่ใส่ผงถ่านกะลา และสารช่วยคงรูป	46
4.1.1 สมบัติเชิงกลของถ่านหินอัดแท่ง	46
4.1.2 สมบัติการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่ง	48
4.1.3 สมบัติทางความร้อนของถ่านหินอัดแท่ง	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลของผงถ่านกะลาต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ไม่ใส่สารช่วยคงรูป	49
4.2.1 สมบัติเชิงกลของถ่านหินอัดแท่ง	49
4.2.2 สมบัติการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่ง	50
4.3 ผลของชนิดของสารช่วยคงรูปต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่ง	52
4.3.1 สมบัติการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่ง	52
4.3.2 สมบัติเชิงกลของถ่านหินอัดแท่ง	55
4.4 ผลของปริมาณสารช่วยคงรูปต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่ง	56
4.4.1 สมบัติเชิงกลของถ่านหินอัดแท่ง	57
4.4.2 สมบัติการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่ง	58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	60
5.1.1 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารยึดที่เหมาะสม	60
5.1.2 การศึกษาชนิดและปริมาณสารช่วยคงรูปที่เหมาะสม	60
5.2 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แนวโน้มการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงภายในประเทศจีน	3
รูปที่ 1.2 การลดลงของราคาเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	4
รูปที่ 1.3 รูปถ่ายตัวอย่างถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้	4
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของกลูโคส (Glucose)	15
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลส (Amylose)	15
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของอะไมโลเพกติน (Amylopectin)	16
รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์	25
รูปที่ 2.5 ห้องผสมสำหรับเตรียมถ่านหินอัดแท่งในงานวิจัยของ Eimi Araki และคณะ (a) รูปด้านหน้า (b) รูปด้านบน	30
รูปที่ 2.6 กระบวนการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหิน	30
รูปที่ 3.1 เครื่องมือขึ้นรูปแท่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้	35
รูปที่ 3.2 เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ รุ่น A007303 บริษัท Gallenkamp	35
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส Raynger® MX	36
รูปที่ 3.4 ถังก๊าซและหัวฉีดก๊าซอะเซทิลีน	36
รูปที่ 3.5 เตาเผา	36
รูปที่ 3.6 เครื่อง Universal Testing Machine รุ่น LR 30 K : Llyod Instrument Ltd.	37
รูปที่ 4.1 ค่า Compressive strength ของถ่านหินอัดแท่งเมื่อใช้ชนิดและปริมาณของสารยึดต่างกัน	47
รูปที่ 4.2 % Strain at rupture ของถ่านหินอัดแท่งเมื่อใช้ชนิดและปริมาณของสารยึดต่างกัน	47
รูปที่ 4.3 ค่าความร้อนของถ่านหินอัดแท่งที่มีสารยึดต่างกันโดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	48
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่า Compressive strength ระหว่างถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาและไม่ใส่ผงถ่านกะลา เมื่อใช้ชนิดของสารยึดต่างกัน	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.5	การเปรียบเทียบค่า % Strain at rupture ระหว่างถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาและไม่ใส่ผงถ่านกะลา เมื่อใช้ชนิดของสารยึดต่างกัน	50
รูปที่ 4.6	การเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาและใช้สารยึดต่างชนิดกัน	52
รูปที่ 4.7	การเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาและใช้สารช่วยคงรูปต่างชนิดกัน	54
รูปที่ 4.8	ค่า Compressive strength กับชนิดของสารช่วยคงรูป	55
รูปที่ 4.9	% Strain at rupture กับชนิดของสารช่วยคงรูป	56
รูปที่ 4.10	ค่า Compressive strength กับปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์	57
รูปที่ 4.11	% Strain at rupture กับปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์	58
รูปที่ 4.12	การเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่งโดยใช้มอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบก๊าซพิษต่างๆ ที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด	6
ตารางที่ 2.2 สมบัติบางประการของถ่านหินแอนทราไซต์ชนิดต่างๆ	12
ตารางที่ 2.3 สมบัติบางประการของผงถ่าน	18
ตารางที่ 2.4 สมบัติบางประการของ Silica Powder	23
ตารางที่ 2.5 ลักษณะทั่วไปของแร่ดินเหนียว	26
ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบของปูนปลาสเตอร์	27
ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่ใช้ในงานวิจัย	34
ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite®) ที่ใช้ในงานวิจัย	34
ตารางที่ 3.3 ปริมาณแป้งที่ใช้ในการเตรียมสารละลายแป้งเพื่อใช้เป็นสารยึด	38
ตารางที่ 3.4 ปริมาณกากน้ำตาลที่ใช้ในการเตรียมสารละลายกากน้ำตาลเพื่อใช้เป็นสารยึด	38
ตารางที่ 3.5 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการอัดแท่งถ่านหินโดยใช้สารละลายแป้งเป็นสารยึด	39
ตารางที่ 3.6 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการอัดแท่งถ่านหินโดยใช้กากน้ำตาลเป็นสารยึด	40
ตารางที่ 3.7 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการอัดแท่งถ่านหิน โดยเลือกสูตรที่มีค่าความแข็งแรงกดอัดใกล้เคียงกัน	43
ตารางที่ 3.8 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการอัดแท่งถ่านหินโดยใช้สารช่วยคงรูปต่างชนิดกัน	44
ตารางที่ 3.9 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการอัดแท่งถ่านหินโดยใช้ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ต่างกันและใช้กากน้ำตาลเป็นสารยึด	45
ตารางที่ 4.1 น้ำหนักถ่านหินอัดแท่งก่อนและหลังทดสอบการเผาไหม้เมื่อใช้แป้งและกากน้ำตาลเป็นสารยึด	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.2 น้ำหนักถ่านหินอัดแท่งก่อนและหลังทดสอบการเผาไหม้เมื่อใช้สารช่วยคงรูปต่างชนิดกัน	54
ตารางที่ 4.3 น้ำหนักถ่านหินอัดแท่งก่อนและหลังทดสอบการเผาไหม้เมื่อใช้ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ต่างกัน	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ถ่านหินจัดเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่ามากเพราะเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือวัสดุให้ความร้อนได้เป็นอย่างดี แม้ว่าถ่านหินจะเป็นต้นเหตุของการเกิดมลสารทางอากาศขึ้นได้ในขั้นตอนของกระบวนการการลำเลียงถ่านหิน การเก็บกองถ่านหิน การเผาไหม้ถ่านหิน ตลอดจนการลำเลียงขี้เถ้า ฝุ่นผงจากการลำเลียงและการเก็บกองถ่านหินและขี้เถ้า ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นสู่บรรยากาศ เพื่อป้องกันและหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้จึงมีการนำฝุ่นผงของถ่านหินที่เหลือจากการคัดแยกขนาดของถ่านหินเหล่านี้มาทำการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง นอกจากนี้การนำผงถ่านหินมาอัดแท่งยังทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ยาวนานมากกว่าการใช้แบบผง เนื่องจากแท่งถ่านหินจะค่อยๆ ไหม้และสลายตัวจึงใช้งานได้ยาวนานขึ้น แต่ถ้าเป็นผงจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับความร้อนได้มากซึ่งจะให้ความร้อนได้สูงแต่ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เท่านั้น

ในวงการอุตสาหกรรมปัจจุบันนี้มีแนวโน้มการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงกันมากขึ้น ดังรูปที่ 1.1 นอกจากนี้ยังพบว่าราคาของเชื้อเพลิงประเภทถ่านหินนั้นมีราคาถูกลงเรื่อยๆ ดังรูปที่ 1.2 ทำให้มีแนวโน้มที่เหมาะสมในการนำถ่านหินมาทำเป็นเชื้อเพลิงมากขึ้น

ถ่านหินอัดแท่ง (Coal Briquette) จัดเป็นเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานความร้อนและเผาไหม้ได้ดีที่อุณหภูมิสูง เหมาะแก่การนำไปใช้งานในทางอุตสาหกรรม เช่น ในกระบวนการให้ความร้อนในถังไอน้ำ (Boiler) หรือในเตาอบ (Oven) ของโรงงานอุตสาหกรรม ถ่านหินอัดแท่งประกอบด้วยผงถ่านหินและสารยึด (Binder) เป็นวัตถุดิบหลัก นอกจากนี้ยังมีการเติมผงถ่านกะลาบางประเภทลงไปด้วย จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปเป็นแท่ง

ปัจจุบันยังมีการตัดไม้ทำลายป่าอยู่มาก ส่วนหนึ่งเพื่อนำไปใช้ทำฟืนเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดอุทกภัยและภัยแล้ง นอกจากนี้การใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงยังมีข้อจำกัดบางประการคือให้ความร้อนไม่สม่ำเสมอ พลังงานความร้อนที่ได้ต่ำ ระยะเวลาในการให้ความร้อนสั้นและยังเกิดเถ้าถ่านมากอีกด้วย ดังนั้นถ่านหินอัดแท่งจึงเป็นทางเลือกใหม่ที่จะทำให้การใช้ทรัพยากรเป็นไปอย่างคุ้มค่าและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่านหินอัดแท่งที่ดีควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ [1]

1. สามารถให้ความร้อนสูงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ (ความร้อนไม่ควรน้อยกว่า 500 $^{\circ}$C)
2. สามารถให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานตลอดการใช้งาน
3. ติดไฟได้ง่ายที่อุณหภูมิใช้งาน
4. ไม่มีควัน ไม่มีเขม่าหรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ของผู้ใช้งาน
5. เผาไหม้โดยปราศจากมลภาวะที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์
6. มีรูปร่างที่เหมาะสมและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน
7. ทนทานต่อแรงกระแทกขณะขนย้าย
8. ต้นทุนการผลิตต่ำ

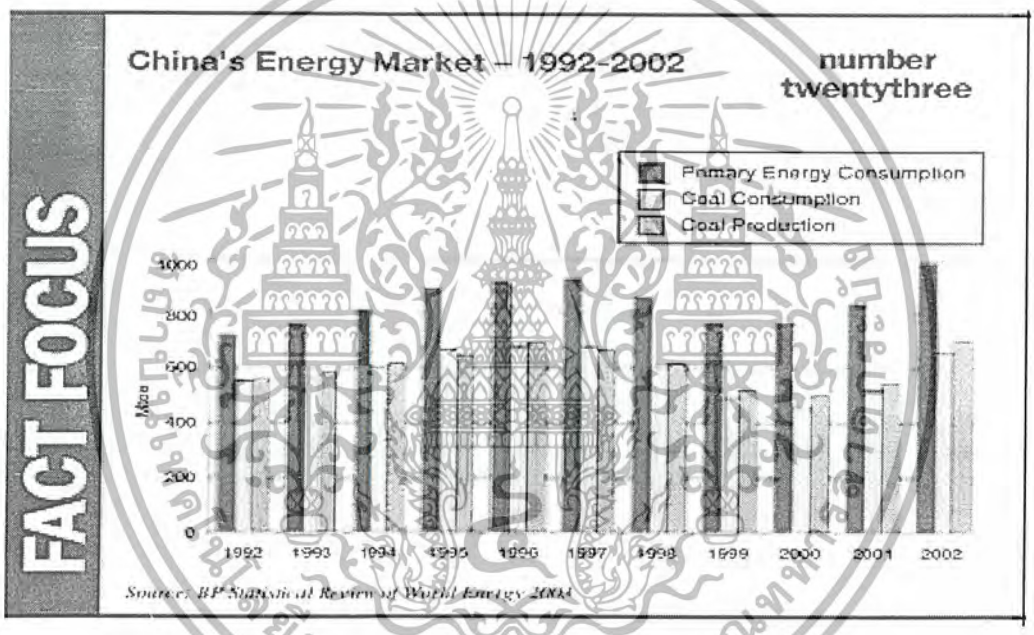
งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องของโครงงานพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2545 เรื่องเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ [1] ซึ่งเสนอการนำถ่านหินชนิดแอนทราไซต์มาใช้งาน โดยใช้แป้ง (Starch) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เป็นสารยึด (Binder) ถ่านหินแอนทราไซต์มีข้อดี คือ มีประสิทธิภาพในการใช้งานสูง ให้พลังงานความร้อนสูงและสม่ำเสมอ มีปริมาณกำมะถันต่ำและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ถ่านหินแอนทราไซต์ได้มาจากเศษเหลือของกระบวนการคัดแยกขนาดของถ่านหิน โดยนำผงแอนทราไซต์มาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงเพื่อให้เหมาะสมและสะดวกต่อการนำไปใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งในประเทศและต่างประเทศ

สำหรับงานวิจัยปีการศึกษา 2546 นี้ จะทำการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านแอนทราไซต์ โดยเปรียบเทียบอิทธิพลของสารยึด 2 ชนิด คือ แป้ง (Starch) และกากน้ำตาล (Molasses) และอิทธิพลของสารช่วยคงรูป 4 ชนิด คือ มอนต์มอริลโลไนต์ ดินเหนียว ปูนปลาสเตอร์และแกลบ ในปริมาณต่างๆ กัน ซึ่งองค์ประกอบหลักของถ่านหินอัดแท่ง คือ 1) ผงถ่านหินแอนทราไซต์ 2) สารยึด 3) สารตัวเติม คือ ผงถ่านจากกะลามะพร้าว 4) สารช่วยคงรูป โดยในงานวิจัยนี้เน้นการผลิตถ่านหินอัดแท่งสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

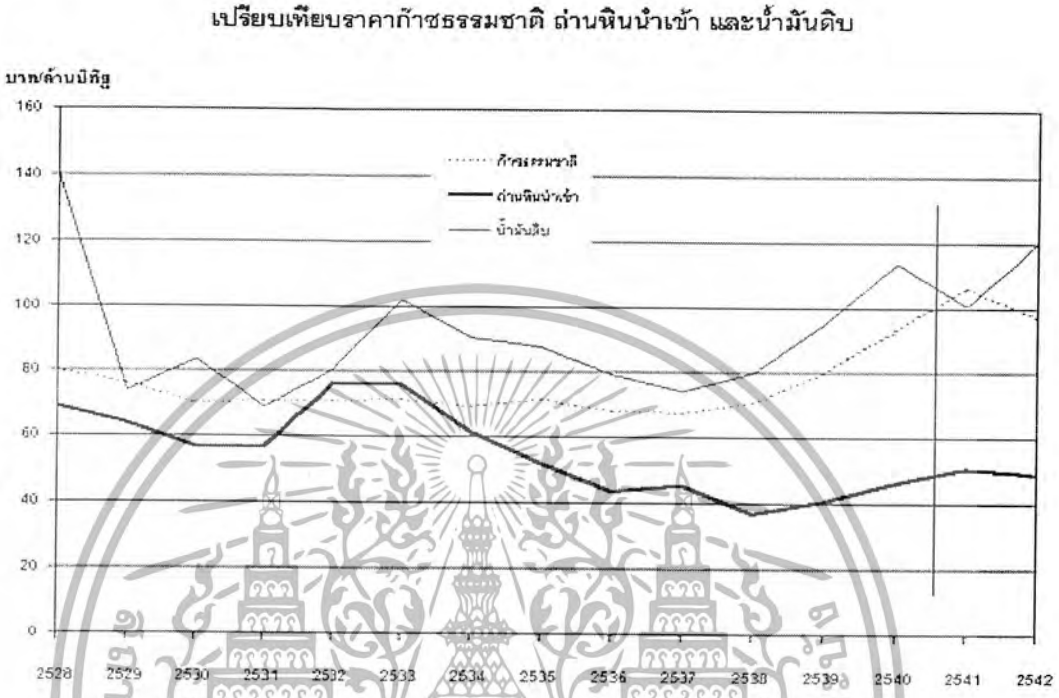
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

โครงงานพิเศษนี้เป็นโครงงานพิเศษต่อเนื่องของปีการศึกษา 2545 เรื่องเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติของผงถ่านหินอัดแท่งให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรม เช่น สมบัติการคงรูป ระยะเวลาการติดไฟที่ยาวนาน สมบัติเชิงกลที่แข็งแรง

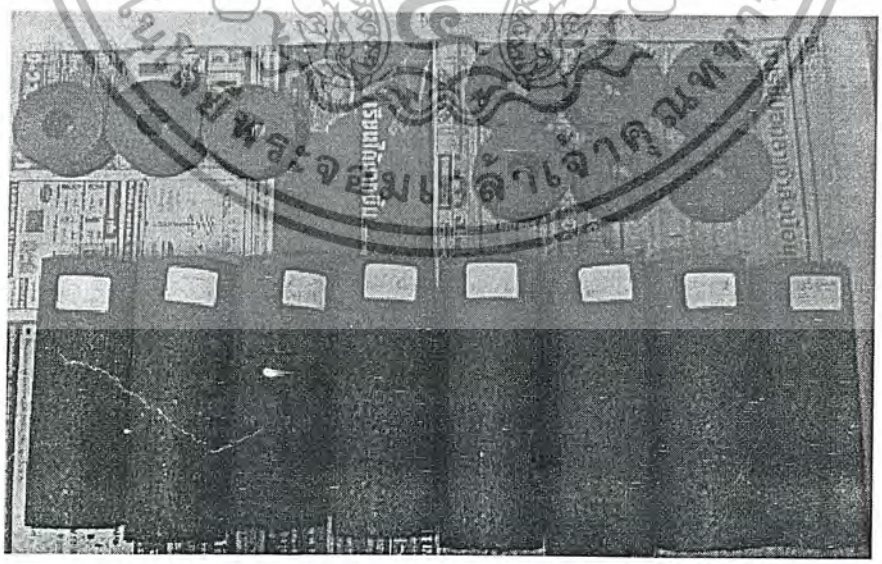


รูปที่ 1.1 แนวโน้มการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงภายในประเทศจีน [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 การลดลงของราคาเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ [3]



รูปที่ 1.3 รูปถ่ายตัวอย่างถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงงานพิเศษ

1. ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องและศึกษามาตรฐานการทดสอบสมบัติของแท่งถ่านหินที่เตรียมได้
2. ศึกษาชนิดและอัตราส่วนของผงถ่านหิน สารยึด ผงถ่านกะลาและสารช่วยคงรูปที่ทำให้แท่งถ่านหินมีคุณสมบัติดี
3. ศึกษาสมบัติต่างๆ ของแท่งถ่านหินที่เตรียมได้ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและการเผาไหม้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถพัฒนาการผลิตแท่งถ่านหินจากการอัดผงถ่านหินแอนทราไซต์ให้มีสมบัติที่ดี ต้นทุนการผลิตต่ำ และสามารถใช้งานได้จริงในทางอุตสาหกรรม
2. ลดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์สามารถใช้แทนฟืนไม้ได้ดี
3. ช่วยลดปริมาณขยะที่เกิดจากการกระบวนการคัดแยกขนาดของถ่านหิน และใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
4. เพื่อให้ได้แท่งถ่านหินที่มีความแข็งแรง คงรูป ขนาดเหมาะสมเพื่อความสะดวกต่อการขนส่งและการนำไปใช้งาน
5. นำความรู้ที่ได้มาพัฒนาอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับถ่านหินอัดแท่งได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

ปัจจุบันมีการใช้เชื้อเพลิงสำหรับให้พลังงานเป็นจำนวนมาก เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ เชื้อเพลิงที่สำคัญหนึ่งในนั้นคือ เชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งมีประโยชน์ทั้งในด้านการใช้ในครัวเรือนและใช้ในวงการอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม การผลิตกระแสไฟฟ้า และใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบก๊าซพิษต่างๆ ที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด [4]

เชื้อเพลิง	ผง/ของแข็ง	CO	HC	NO_x	SO_x	HCOH
ถ่านหิน	85	0.25	0.1	10	38	0.002
น้ำมัน	1.7	0.07	0.5	17	52	0.1
ก๊าซธรรมชาติ	2.7	neg.	neg.	70	0.1	-

จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าถ่านหินให้ปริมาณก๊าซ NO_x, HC และ HCOH ออกมาน้อย จึงไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมมากนัก ทำให้มีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น แต่ถ่านหินก็ยังมีปริมาณของ SO_x อยู่ค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับก๊าซธรรมชาติ

เชื้อเพลิงแข็งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามแหล่งกำเนิด [1] คือ

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

2.1 ถ่านหิน (Coals) [5]

2.1.1 ธรรมชาติของถ่านหิน (Coals) จัดเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากการทับถมกันของซากพืช สิ่งมีชีวิต ชิ้นส่วนของพืชที่ถูกพัดมา หรือดินโคลนที่อินทรียวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Organic material) ถูกทับถมอยู่ใต้พื้นดินที่มีความกดดันและความร้อนสูงเป็นเวลานานนับหลายล้านปี ทำให้สิ่งเหล่านี้เน่าผุพังแล้วเกิดปฏิกิริยาทางเคมีฟิสิกส์และชีวภาพ เมื่อถูกแรงกดดันจะทำให้บีบอัดเรียงตัวเป็นชั้นๆ และแปรสภาพกลายเป็นชั้นของถ่านหิน โดยมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และอาจมีธาตุอื่นเจือปนบ้าง เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน เป็นต้น ถ่านหินที่มีอายุมากจะมีลักษณะเนื้อแน่น มีสีดำ ถ้ามีปริมาณคาร์บอนมากจะให้ค่าพลังงานความร้อนสูง ถ่านหินชนิดเดียวกันแต่มีแหล่งกำเนิดต่างกันอาจให้พลังงานความร้อนไม่เท่ากันได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนและไฮโดรเจนที่เป็นองค์ประกอบ และค่าความชื้น (Moisture) ของถ่านหินนั้นๆ แหล่งถ่านหินที่สำคัญของโลกอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา รัสเซีย ออสเตรเลีย และในประเทศแถบยุโรป

2.1.2 การจำแนกชนิดของถ่านหิน

การจำแนกชนิดของถ่านหินมีหลายระบบ ที่นิยมใช้กันมากได้แก่ การจำแนกตามระดับ (Rank) โดยค่า Rank เป็นการจัดความสมบูรณ์ของการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาที่กลายเป็นถ่านหิน ซึ่ง American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้กำหนดค่าสมบัติของถ่านหินเป็นเกณฑ์ในการจำแนกถ่านหิน โดยจำแนกได้เป็นแอนทราไซต์ (Anthracite) บิทูมินัส (Bituminous) ซับบิทูมินัส (Sub - bituminous) พีท (Peat) และลิกไนต์ (Lignite) ลักษณะโดยทั่วไปของถ่านหินเหล่านี้อาจกล่าวโดยย่อได้ดังนี้

1. Anthracite เป็นถ่านหินที่มีลักษณะดำเป็นเงามัน มีความวาวสูง มีปริมาณคาร์บอนสูง (มากกว่า 86 %) มีปริมาณความชื้นต่ำมาก มีค่าความร้อนสูงแต่จุดติดไฟได้ยาก

2. Bituminous coals มีลักษณะเป็นมันวาว ประกอบด้วยถ่านหินสีดำสนิท เป็นถ่านหินเนื้อแน่นและแข็ง มีปริมาณคาร์บอน 69-86 % และมีความชื้น 1.5-7.0 % ใช้เป็นถ่านหินเพื่อถลุงโลหะ

3. Sub-bituminous Coals มีลักษณะสีดำคล้ายขี้เผ้า มีปริมาณความชื้นประมาณ 10 % ถ่านหินประเภทนี้มีประโยชน์ในการใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า

4. Lignite เป็นถ่านหินที่มีซากพืชเหลือปรากฏอยู่ให้เห็นเล็กน้อย มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างสูงและมีปริมาณความชื้นสูงถึง 30-70 % นิยมใช้ในการทำเป็นเชื้อเพลิง

5. Peat เป็นถ่านหินที่ประกอบด้วยซากพืช ซึ่งบางส่วนได้สลายตัวไปบ้างแล้ว มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างสูงและมีปริมาณความชื้นสูง ถ่าน Peat นับได้ว่าเป็นผลิตผลแรกในกระบวนการกลายเป็นก๊าซของถ่านหิน (Coal gasification process)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการจำแนกประเภทถ่านหินตาม Rank ถ้าถ่านหินเป็นประเภทถ่านหินชั้นสูง (High - rank coal) จะจัดตามเปอร์เซ็นต์ปริมาณคาร์บอน (Fix carbon (Dry basis)) ถ้าเป็นถ่านหินชั้นต่ำ (Low - rank coal) จะจัดตามค่าความร้อน (Heating value (Moisture basis))

2.1.3 การวิเคราะห์ถ่านหิน

การนำถ่านหินมาวิเคราะห์หาปริมาณส่วนประกอบของธาตุต่างๆ ในถ่านหิน เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน สารระเหย ความชื้น ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ฯลฯ ว่ามีมากน้อยเพียงใด เพื่อเลือกใช้ถ่านหินให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการนำไปใช้และเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

การวิเคราะห์ถ่านหินมีประโยชน์ ดังนี้

1. การจำแนกถ่านหิน
2. การกำหนดราคาถ่านหินตามคุณภาพ
3. การควบคุมคุณภาพถ่านหิน
4. การเลือกใช้หรือออกแบบอุปกรณ์เผาไหม้
5. การคำนวณปริมาณต่างๆ เช่น ปริมาณถ่านหิน ปริมาณอากาศที่ต้องใช้ในการเผาไหม้ เป็นต้น

การวิเคราะห์ถ่านหินโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. *การวิเคราะห์โดยละเอียด* (Ultimate analysis) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณหรือส่วนประกอบของถ่านหิน เช่น คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและกำมะถัน การรายงานปริมาณสารจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Percent by weight) ของถ่านหิน การวิเคราะห์แบบนี้ต้องทำการทดสอบโดยใช้เทคนิคขั้นสูงเพราะต้องหาค่าส่วนประกอบดังกล่าวอย่างละเอียด

การวิเคราะห์นี้ไม่ใช่งานที่ทำกันเป็นประจำ แต่เป็นการวิเคราะห์ที่มีประโยชน์ในการจัดประเภทถ่านหินและมีประโยชน์ในการคำนวณที่เกี่ยวกับการเผาไหม้ เช่น การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้ เป็นต้น

2. *การวิเคราะห์โดยประมาณ* (Proximate analysis) เป็นการนำเอาถ่านหินมาทำการทดสอบแบบง่ายๆ ซึ่งจะแสดงส่วนประกอบที่สำคัญบางอย่างของถ่านหิน โดยไม่ต้องวิเคราะห์ทางเคมีให้ได้ค่าแน่นอนเหมือนการวิเคราะห์โดยละเอียด โดยจะทำการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ปริมาณความชื้น (Moisture) และปริมาณเถ้า (Ash)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการรายงานอาจรายงานบนฐาน (Basis) ต่างๆ ดังนี้ ash - received, air - dried, moisture - free นอกจากนี้อาจมีการรายงานค่าความร้อนแคลอรี (Calorific value) และปริมาณกำมะถันไว้ด้วย

2.1.4 สมบัติของถ่านหิน [4]

1. ความชื้น (Moisture) ในถ่านหินแบ่งได้เป็น ความชื้นอิสระ (Free moisture) และความชื้นที่แท้จริง (Inherent moisture)

- ความชื้นอิสระ (Free moisture) เป็นความชื้นส่วนเกินที่ทำให้เราเห็นว่าถ่านหินนั้นชื้น ถ่านหินที่ชื้นมักจะติดภาชนะหรือเครื่องมือ ทำให้การไหลโดยน้ำหนักของถ่านหินไม่ดี

- ความชื้นที่แท้จริง (Inherent moisture) คือความชื้นที่ยังเหลืออยู่ในถ่านหินหลังจากไล่ความชื้นอิสระ (Free moisture) ออกจากถ่านหินแล้ว เราอาจใช้ความชื้นที่แท้จริง (Inherent moisture) เป็นแนวทางบอกระดับ (Rank) ของถ่านหินได้ ถ่านหินคุณภาพดีจะมีความชื้นแท้จริงน้อย ส่วนถ่านลิกไนต์อาจมีความชื้นแท้จริงมากกว่า 50 % ในการเผาไหม้ถ่านหินจะต้องสูญเสียค่าความร้อนเกือบ 0.1 % ต่อทุกๆ 1 % ของความชื้นในถ่านหิน

ปริมาณความชื้นอิสระ หาได้จากการวัดน้ำหนักของถ่านหินที่หายไปเมื่ออบถ่านหินด้วยอากาศในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 20 $^{\circ}$C และความชื้นสัมพัทธ์ 70 % ซึ่งต้องใช้เวลาในการอบนานหลายวันจึงจะถึงจุดสมดุล

ปริมาณความชื้นที่แท้จริง หาได้จากการนำถ่านหินมาอบที่อุณหภูมิ 105 $^{\circ}$C จนกระทั่งน้ำหนักของถ่านหินคงที่ และนำน้ำหนักที่หายไปลบด้วยน้ำหนักของความชื้นอิสระ

2. ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ในถ่านหิน ได้แก่ ไอระเหย ก๊าซและน้ำมันดิน (Tar) ที่ระเหยออกจากถ่านหินเมื่อถูกเผาในภาชนะที่ปราศจากอากาศ

ปริมาณสารระเหยหาได้จากการนำถ่านหินมาเผาที่อุณหภูมิ 800 $^{\circ}$C ในภาชนะปิดที่ปราศจากอากาศเพื่อไม่ให้เกิดการเผาไหม้ ของแข็งที่เหลืออยู่คือ ถ่านโค้ก (Coke) หรือขี้เถ้า (Char) น้ำหนักที่หายไปเป็นน้ำหนักของความชื้นรวม (Total moisture) มีค่าเท่ากับผลรวมของความชื้นอิสระ ความชื้นที่แท้จริงและส่วนที่ระเหยได้ ดังนั้นเมื่อหักน้ำหนักของปริมาณความชื้นรวมออกแล้วก็จะได้น้ำหนักของปริมาณสารระเหย

3. เถ้า (Ash) คือแร่ธาตุต่างๆ ที่เหลือจากการเผาไหม้ถ่านหิน ถ้าสัดส่วนของ CaO, MgO และ FeO ในเถ้าเพิ่มขึ้น จะทำให้อุณหภูมิหลอมตัว (Fusion temperature) ของเถ้าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) เป็นของแข็งที่เหลือจากการไล่สารระเหยและความชื้นออกจากถ่านหินและไม่รวมปริมาณเถ้า

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

5. กำมะถัน (Sulfur) ถ่านหินมักจะมีกำมะถันปนอยู่ในรูปของสารประกอบกำมะถันอินทรีย์ (Organic sulfur) นอกจากนี้กำมะถันยังอาจมาจากแร่เหล็ก (Iron) ไพไรต์ (Pyrites) และยิปซัม (Gypsum) ที่ปะปนมากับถ่านหิน เมื่อเกิดการเผาไหม้กำมะถันจะติดไฟได้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) พร้อมกับให้ความร้อนออกมา ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นนั้นมีฤทธิ์กัดกร่อนและเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้

6. ค่าความร้อน (Calorific value หรือ Heating value) คือปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินหนึ่งหน่วยน้ำหนักอย่างสมบูรณ์ ค่าความร้อนอาจรายงานได้ 2 วิธี คือ ค่าความร้อนสุทธิ (Gross calorific value หรือ Higher heating value) และค่าความร้อนรวม (Net calorific value หรือ Lower heating value)

ค่าความร้อนสุทธิ (Gross calorific value) เป็นปริมาณความร้อนชื้นที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหิน เมื่อไอน้ำในก๊าซที่เกิดขึ้นกลั่นตัวเป็นน้ำ รวมถึงค่าความร้อนแฝง (Latent heat) ของน้ำด้วย ในทางปฏิบัติเราไม่ได้ใช้ประโยชน์จากค่าความร้อนแฝงของน้ำ จึงมีผู้ใช้ค่าความร้อนอีกค่าหนึ่งซึ่งต่ำกว่า เรียกว่า ค่าความร้อนรวม (Net calorific value) เป็นค่าความร้อนที่ไม่รวมค่าความร้อนแฝงของน้ำ โดยค่าความร้อนสุทธิ (Gross calorific value) อาจประมาณได้จากสูตรคำนวณของดูลอง (Dulong's formula) [6] ดังนี้

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

โดย Q คือ ค่าความร้อนสุทธิ (Gross calorific value) มีหน่วยเป็น kcal/kg และ % C, % H_2, % O, % S ซึ่งเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนและกำมะถันในถ่านหิน ตามลำดับ Dulong's formula ใช้ประมาณค่าความร้อนสุทธิ (Gross calorific value) ของถ่านหินเกรดสูง (High rank) ได้แก่ บิทูมินัส (Bituminous) และแอนทราไซต์ (Anthracite) ได้ดี แต่ถ้าใช้กับถ่านหินเกรดต่ำ (Low rank) ค่าที่ได้จะไม่ถูกต้องนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สมบัติการบวมตัว (Swell property) ถ่านหินจำพวกเกรดสูง (High rank) มักจะบวมตัว (Swell) ที่อุณหภูมิสูง และจะเกาะกับก้อนถ่านหินที่อยู่ข้างๆ รวมเป็นก้อนคาร์บอน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดโค้ก (Agglutination หรือ Coking) ถ่านหินพวกนี้เรียกรวมๆว่า Swelling หรือ Coking coal ตัวอย่างได้แก่ บิทูมินัส ส่วนพวกถ่านหินเกรดต่ำ จะคงรูปร่างอยู่ได้ที่อุณหภูมิสูง ถ่านหินพวกนี้ได้แก่ ซับบิทูมินัส และลิกไนต์

8. อุณหภูมิเถ้าหลอม (Ash – fusion temperature) คือ อุณหภูมิที่เถ้าของถ่านหินเริ่มหลอม (Ash – fusion temperature) มีประโยชน์ในการออกแบบหรือเลือกใช้ชนิดของอุปกรณ์เผาไหม้

2.1.5 ประโยชน์ของถ่านหิน [7]

ถ่านหิน เป็นเชื้อเพลิงธรรมชาติที่มีประโยชน์แก่มนุษย์ทั้งในด้านการใช้ในครัวเรือนและการใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในหลายๆ ด้าน ดังนี้

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มในครัวเรือน

2. ใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานไอน้ำ เพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะใช้ถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำ เช่น ถ่านลิกไนต์ โดยอาจใช้ในรูปแบบที่เป็นก้อนขนาดเล็กหรือบดเป็นผง (Pulverized coal) ขึ้นอยู่กับเตาเผาที่ใช้

3. ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม โดยการแปรสภาพให้เป็นถ่านโค้กก่อน เนื่องจากถ่านโค้กมีคุณภาพมาตรฐาน สามารถควบคุมความร้อนและการเผาไหม้ได้ง่าย นอกจากนี้ยังใช้เป็นวัตถุดิบโดยตรงในการผลิตเหล็กพรุน (Sponge iron)

4. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถไฟ หรือเรือเดินทะเล

5. ใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมผลิตแก้ว ปูนซีเมนต์ สิ่งทอ และอุตสาหกรรมเคมี

6. ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในบริเวณที่มีอากาศหนาวเย็น เช่น ประเทศแถบยุโรป และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น ปัจจุบันมีการผลิตเป็นถ่านก้อนหรือเป็นแท่ง ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มได้เป็นอย่างดี

7. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซ

8. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารเคมีจากองค์ประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในถ่านหิน เช่น เบนซีน ลูกเหม็น เป็นต้น

9. ใช้ในกิจการอื่นๆ เช่น ใช้เป็นผงสี หรือแผ่นกรอง บดละเอียดสำหรับใช้ทาผิวหน้าแบบหล่อโลหะ สกัดเอาขี้ผึ้งและเรซินไปใช้ประโยชน์ ถ้านำถ่านหินไปเผากับถ่านหินปูนที่อุณหภูมิประมาณ 1,100 °C ก็จะได้แคลเซียมคาร์ไบด์และเมื่อนำไปผสมกับน้ำจะได้ก๊าซอะเซทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม เช่น ผลิตภัณฑ์พลาสติก ยางสังเคราะห์ และวัตถุระเบิด เป็นต้น

2.2 ถ่านหินแอนทราไซต์ (Athracite) [5]

ถ่านหินแอนทราไซต์จัดเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดีที่สุดในบรรดาถ่านหินทั้งหลาย เพราะมีปริมาณเนื้อถ่านมาก มีสีดำสนิท เวลาเผาไหม้จะเกิดควันน้อยมาก ให้ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงสูงมาก จนในบางครั้งเรียกว่า ถ่านหินแข็ง (Hard coal) ติดไฟได้ยากแต่เมื่อติดไฟแล้วจะเผาไหม้เป็นระยะเวลานาน มีค่าความร้อนประมาณ 8,600 Cal/g จึงมีราคาแพง และในประเทศไทยยังไม่มีการขุดพบถ่านหินชนิดนี้ ถ่านหินแอนทราไซต์แบ่งออกได้หลายชนิด ซึ่งแสดงสมบัติของแต่ละชนิดไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติบางประการของถ่านหินแอนทราไซต์ชนิดต่างๆ [5]

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

2.3 เชื้อเพลิงก้อน [8]

ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วยตัวประสานหรือสารยึด (Binder) และสารเคมีต่างๆ เพื่อให้คุณภาพของเชื้อเพลิงดีขึ้น เช่น เติมเซลลูโลสไฮดรอกซีอะซีเตต (Cellulose hydroxy acetate) แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride) เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงกดอัด เติมแอมโมเนียมซัลไฟต์ (Ammonium sulphite) เพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานต่อสภาวะอากาศ (Weather resistance) เติมอะบิเซล (Abicel หรือ fine crystal cellulose) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง เป็นต้น

การอัดแท่งเชื้อเพลิง สามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

1. การอัดแบบใช้ความร้อน เช่น การอัดแท่งโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวหนอนหรือสกรู (Screw) ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องอัดแบบสกรู คือ บรรจุวัสดุที่ต้องการอัดลงในกรวยใส่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Hopper) ที่มีช่องทางออกไปเข้าสู่กระบอกอัด (Extrusion cylinder) ภายในกระบอกอัดมีสกรูอัดชนิดเกลียวตัวหนอนหมุนขับเคลื่อน การขับเคลื่อนของสกรูอาศัยแรงหมุนและวัสดุจะถูกสกรูอัดติดกับผนังกระบอกด้วยแรงดันสูง ในขณะอัดแท่งวัสดุจะได้รับความร้อนจากเครื่องทำความร้อนซึ่งติดตั้งอยู่ที่ปลายกระบอกอัด แท่งวัสดุจะเคลื่อนตัวช้าๆ ออกจากปลายกระบอกอัด และจะหักเมื่อสัมผัสกับเหล็กฉาก จากนั้นจะถูกผลักให้หักเหออกจากทิศทางเดิม ความยาวของแท่งวัสดุจะถูกควบคุมด้วยเหล็กฉาก การอัดแบบนี้อาจมีการเติมตัวประสานหรือไม่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ ถ้าวัสดุมีลิกนินและเส้นใยในปริมาณที่สูง เมื่อถูกความร้อนจากเครื่องอัดจะทำให้สารเหล่านี้เกิดการเยิ้มยึดเกาะติดกันได้ แต่ถ้าวัตถุดิบมีสารพวกนี้น้อย ก็อาจจำเป็นต้องเติมตัวประสานเข้าช่วย

2. การอัดแบบไม่ใช้ความร้อน เช่น การอัดแท่งโดยใช้เครื่องอัดแบบไฮโดรลิก (Hydraulic press) ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องอัดแบบไฮโดรลิก คือ ใส่เชื้อเพลิงที่ต้องการอัดลงในแบบอัด จากนั้นบังคับวาล์วของทางเดินน้ำมันให้แกนไฮโดรลิกกดวัสดุลงในแบบอัด ซึ่งแรงในการอัดสามารถบังคับได้โดยวาล์วปรับความดัน ในการอัดแบบไม่ใช้ความร้อนจำเป็นต้องใช้ตัวประสานเข้ามาช่วยในการอัดแท่ง

2.4 แป้ง (Starch) [9]

แป้ง ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้นอะไมโลส (Amylose) และพอลิเมอร์เชิงกิ่งอะไมโลเพคติน (Amylopectin)

2.4.1 สมบัติของแป้ง [9]

1. การดูดซับ การพองตัว การละลาย

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำจากบรรยากาศ ทำให้เกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10-17 % จากการทดลองของ Leach (1965) [9] พบว่าแป้งมันสำปะหลังสามารถดูดซึมน้ำได้ในปริมาณ 42.9 กรัมต่อน้ำหนักแป้งแห้ง 100 กรัม

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมี 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูปของ Bound water และน้ำในรูปอิสระ (Free water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นจากมากไปหาน้อยตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 8-10 % สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากเป็นการจับกันของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแป้ง

เมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารละลายแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวและบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายแสดงเป็นน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ ซึ่งสมบัติทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กัน

ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้ง ได้แก่

- ชนิดของแป้ง

แป้งจากส่วนรากหรือ Pitch เช่น แป้งมันสำปะหลัง จะมีการพองตัวเพียงชั้นเดียว กำลังการพองตัวและการละลายมีค่าสูงกว่าแป้งธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า แป้งจากส่วนรากจะเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งธัญพืช

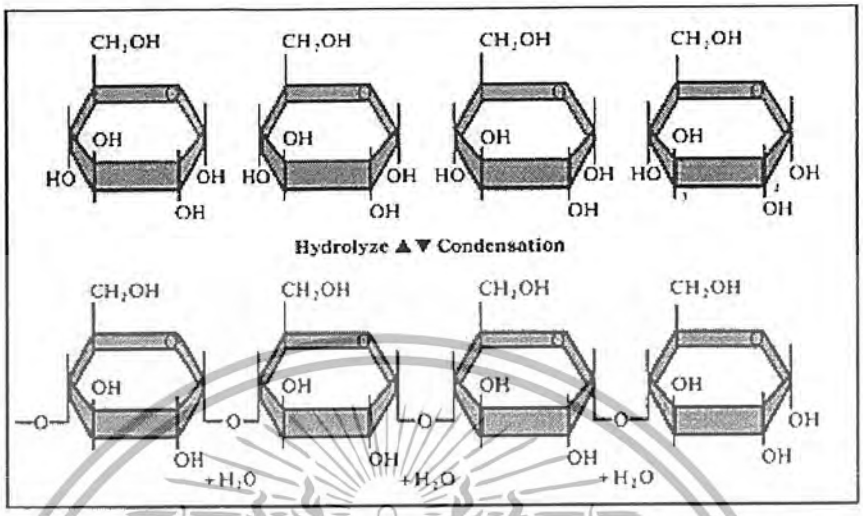
- ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง
- สิ่งเจือปนในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต
- ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัว

2. ความหนืด

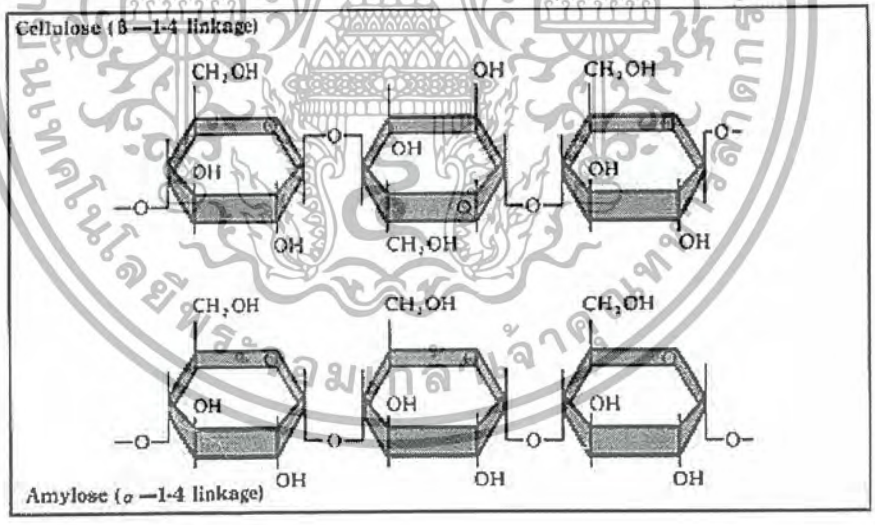
เนื่องจากโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากและยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งพันธะไฮโดรเจนจะคลายตัว เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว น้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งน้อยลงและเม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) และอุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเกิดเจล

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนพองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ เกิดโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) หรือการคืนตัว (Setback)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

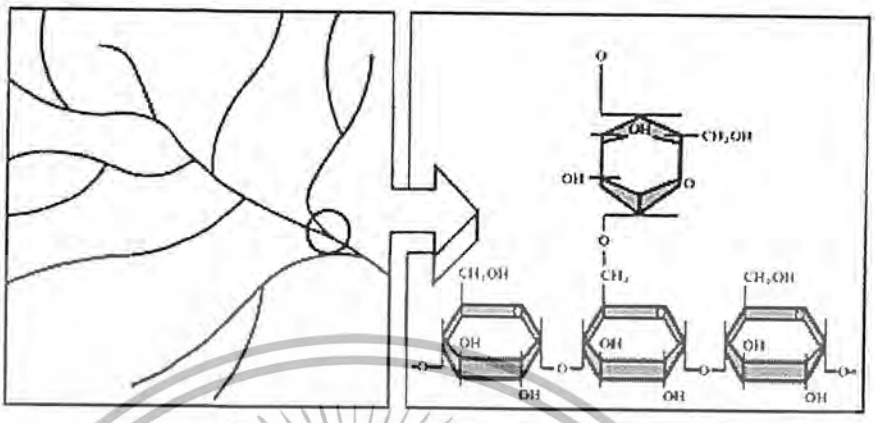


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของกลูโคส (Glucose) [10]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลส (Amylose) [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน (Amylopectin) [10]

2.5 กากน้ำตาล (Molasses) [11]

อ้อย เป็นพืชตระกูลเดียวกับหญ้าและเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้มีการขยายตัวของอุตสาหกรรมทั่วประเทศ มีการปลูกกันมากยกเว้นภาคใต้

กากน้ำตาล เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อย เป็นกากที่แยกได้เป็นครั้งสุดท้ายและไม่ถูกนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลอีก มีลักษณะเป็นน้ำข้นเหนียวสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นหอมของอ้อย ซึ่งของเหลวนี้จะถูกแยกออกจากเกล็ดน้ำตาลโดยวิธีการปั่นแยกผลึกน้ำตาล (Centrifugaling) คือ ผลึกน้ำตาลและกากน้ำตาลที่ได้จากการเคี่ยวจะอยู่รวมกัน จากนั้นจะถูกนำไปปั่นแยกผลึกน้ำตาลออกจากกากน้ำตาลโดยใช้เครื่องปั่นกวน (Centrifugals)

ส่วนประกอบโดยประมาณคิดเป็นร้อยละตามน้ำหนักของกากน้ำตาล คือ

- น้ำ 17-25 %
- น้ำตาลซูโครส 30-40 %
- น้ำตาลกลูโคส 4-9 %
- น้ำตาลฟรุกโตส 5-12 %

นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมของสารประกอบคาร์โบไฮเดรต สารประกอบไนโตรเจน กรดต่างๆ วิตามิน ไขและแร่ธาตุต่างๆ อีกเป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.5.1 ประโยชน์ของกากน้ำตาล

- ส่งออกต่างประเทศบางส่วน
- ผลิตผงชูรส
- เป็นส่วนผสมปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ เพื่อเป็นอาหารแก่จุลินทรีย์
- ผลิตแอลกอฮอล์สำหรับนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงและใช้ในเครื่องดื่ม เช่น สุรา
- ใช้เลี้ยงสัตว์
- ใช้ในอุตสาหกรรมยีสต์และอุตสาหกรรมผลิตซอสถั่วเหลือง
- ใช้ทำกรดซิตริก (กรดน้ำส้ม)
- ใช้รับประทาน เพราะมีประโยชน์ต่อร่างกาย เนื่องจากกากน้ำตาลมีวิตามินบี1 วิตามินบี2 วิตามินบี3 วิตามินบี5 วิตามินบี6 โปแตสเซียม แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม

2.6 สารตัวเติม (Filler) : ผงถ่าน (Charcoal) [12]

การกลายเป็นคาร์บอน (Carbonization) ของสารประกอบเชิงซ้อนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ สามารถทำได้โดยการไพโรไลซิส (Pyrolysis) คือ การให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการแยกตัวของสารประกอบที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน เช่น ไม้หรือผลิตผลทางการเกษตร ในขณะทำการไพโรไลซิสของไม้ในภาชนะปิดในสภาวะปราศจากออกซิเจน ไม้จะสลายตัวกลายเป็นสารประกอบหลายชนิดโดยองค์ประกอบหลักคือ ถ่าน(Charcoal) มีลักษณะสีดำ มีรูพรุน องค์ประกอบหลักประกอบด้วยคาร์บอน อาจมีขี้เถ้าประมาณ 0.5-6.0 % ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้และปริมาณเปลือกไม้ เป็นต้น องค์ประกอบของผงถ่านแสดงดังตารางที่ 2.3

ขบวนการเกิดเป็นผงถ่านของไม้มีขั้นตอนดังนี้

1. ที่ 20 - 110 °C

ไม้จะดูดซับความร้อนและจะเริ่มระเหยส่วนที่มีองค์ประกอบของน้ำ เช่น ไอน้ำ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิประมาณ 100 °C ไม้จะเริ่มแห้ง

2. ที่ 110 - 270 °C

องค์ประกอบของน้ำส่วนสุดท้ายจะระเหยไปและไม้จะเริ่มสลายตัวให้ก๊าซต่างๆ มากมาย เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก ก๊าซมีเทน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55567

3. ที่ 270 - 400 °C

ไม้จะเกิดการสลายตัวและคายความร้อน โดยความร้อนจะทำให้เกิดการแยกตัวของโครงสร้างไม้ ทำให้เกิดก๊าซที่สามารถเกิดการสันดาปได้ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน และก๊าซที่สามารถกลั่นตัวได้ เช่น น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก เมทานอล เป็นต้น และเริ่มมีน้ำมันดิน (Tar) ออกมา

4. ที่ 400 - 500 °C

ที่อุณหภูมิ 400 °C มีการเปลี่ยนแปลงของไม้กลายเป็นผงถ่านเกือบสมบูรณ์ โดยผงถ่านจะประกอบด้วย Tar ประมาณ 30 % โดยปกติแล้วผงถ่านจะประกอบด้วยปริมาณคาร์บอนประมาณ 75 % ที่อุณหภูมิประมาณ 500 °C การกลายเป็นคาร์บอนจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

ตารางที่ 2.3 สมบัติบางประการของผงถ่าน [12]

สมบัติทางกายภาพและทางเคมี (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

2.7 ดินเหนียว [13]

ในบรรดาวัตถุดิบทั้งหลายที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกซ์ โดยเฉพาะหัตถกรรมพื้นบ้าน อาทิ หม้อ ไห กระถาง อิฐ นั้น ดินเหนียวเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง

ดินเหนียว คือ ดินเนื้อละเอียดที่มีแร่ธาตุเจือปนอยู่ตามธรรมชาติค่อนข้างสูง ไม่บริสุทธิ์เหมือนดินขาว (Clay) จะเกิดลักษณะเป็นพลาสติกและเหนียวเมื่อเปียกน้ำ เมื่อขุดพบมีสีต่างๆ เช่น สีเหลือง สีเทา สีดำ หรือสีส้มแดง หลังการเผาก็จะมีสีต่างๆ กันไป เช่น สีเทา สีน้ำตาล สีแดงหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีเหลืองอมเทา ดังนั้นดินเหนียวก็คือดินที่มีความเหนียว เนื้อละเอียดที่เป็นสีต่างๆ ภายหลังการเผาเป็นดินที่เกิดจากตะกอนที่พัดพามาทับถมกัน

ธรรมชาติของดินเหนียวจะประกอบด้วยแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) เป็นส่วนใหญ่ โดยแร่เคโอลิไนต์ที่พบในดินเหนียว มักมีผลึกที่ไม่สมบูรณ์และมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังพบแร่ดินชนิดอื่นๆ อาทิ มอนมอริลโลไนต์ (Montmorillonite) อิลไลต์ (Illite) ควอร์ทซ์ (Quartz) แร่ไมกา (Mica) แร่เหล็กออกไซด์ (Iron oxide) รวมทั้งมักมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่เสมอ ดินเหนียวมีสีต่างๆ เกิดจากการมีแร่ธาตุชนิดต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน อาทิ สีดำ เทา ครีม และน้ำตาล ดินเหนียวที่มีสีเทาหรือดำนั้น จะมีอินทรีย์วัตถุปนมาก ส่วนดินเหนียวสีครีมหรือน้ำตาลมาจากแร่เหล็กที่ปะปนอยู่

ดินเหนียวมีสมบัติเด่นในการนำมาขึ้นรูปคือ มีความเหนียว และเมื่อแห้งมีความแข็งแรงสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังแห้งมีความแข็งแรง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อแห้ง ดินเหนียวมักมีการหดตัวสูง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการแตกร้าว ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้เนื้อดินเหนียวล้วนๆ ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ แต่ต้องมีการผสมวัสดุที่ไม่มีความเหนียว อาทิ ดินเชื้อ หรือทราย เพื่อลดการดึงตัวและหดตัว ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของดินได้ ดินเหนียวหลายชนิดมีช่วงอุณหภูมิที่จะเปลี่ยนไปเป็นเนื้อแก้วกว้าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ คือ ช่วยปรับปรุงเนื้อผลิตภัณฑ์หลังการเผาให้ดีขึ้น ในการใช้ประโยชน์จากดินเหนียวนั้น นอกจากใช้เป็นเนื้อดินปั้นสำหรับหัตถกรรมพื้นบ้านแล้ว ยังนิยมนำมาใช้ผสมกับดินขาว เพื่อเพิ่มความเหนียวหรือช่วยให้น้ำดินมีการไหลตัวดีขึ้น

ในปัจจุบันประเทศไทยมีแหล่งดินเหนียวอยู่หลายแหล่งที่ได้นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ อาทิ ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปราจีนบุรี ลำปาง เชียงใหม่ เชียงราย นอกเหนือจากนี้ คือดินเหนียวที่มีอยู่ในแหล่งพื้นบ้านทั่วไป อย่างไรก็ตามแม้ว่าดินเหนียวจะมีอยู่ในหลายพื้นที่ แต่การนำดินเหนียวจากแหล่งต่างๆ มาใช้ ก็ควรใช้อย่างมีคุณค่าและใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพราะเมื่อดินเหนียวหมดไปแล้วก็จะต้องใช้เวลานานเป็นร้อยล้านปีกว่าที่จะมีการทับถมเพื่อให้เกิดทดแทนใหม่ได้

2.8 แกลบ (Rice husk) [14]

"แกลบ" ทุกคนย่อมรู้จักดี และมองว่าเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งได้จากกระบวนการสีข้าว ในปีหนึ่งๆ มีปริมาณแกลบสูงถึงประมาณ 5,878.14 พันตัน [14] จากการสำรวจโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ในปี พ.ศ. 2540 ของเหลือทิ้งเหล่านี้บางส่วนถูกนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ย วัสดุปูรองนอนในโรงเรือนเลี้ยงเป็ด เลี้ยงไก่ และในยุคที่ประเทศมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการพลังงานสูง แกลบถูกนำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนพลังงานจากน้ำมันดิบ จากสถิติการใช้พลังงานในประเทศไทย ในรายงานพลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2539 โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน พบว่าทดแทนพลังงานได้เทียบเท่าน้ำมันดิบ 0.63 ล้านตัน นอกจากนี้ขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ของแกลบยังสามารถส่งออกขายต่างประเทศได้อีกในราคากิโลกรัมละ 3-4 บาท ซึ่งนับว่าเป็นผลพลอยได้นอกเหนือจากการใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน

จากการศึกษาพบว่าในแกลบและขี้เถ้าแกลบ มีสารประกอบซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ถึงร้อยละ 95 นับว่าเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งที่นับวันแต่จะมีเพิ่มขึ้น และมีวัฏจักรการผลิตสั้น ซิลิกาเป็นสารประกอบอนินทรีย์ ประกอบด้วยธาตุซิลิกอนและออกซิเจน มีชื่อเรียกทางเคมีว่า ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) สารประกอบชนิดนี้มีสมบัติเป็นฉนวน ไม่นำไฟฟ้าและความร้อน ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี พบได้ทั่วไปในแหล่งแร่ธรรมชาติ

ทรายจัดเป็นแหล่งซิลิกาสำคัญที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมแก้ว เซรามิกส์ และอิฐทนไฟ นอกจากนี้ซิลิกามีความสามารถในการดูดซับความชื้นและสารเคมีได้ดี จึงนิยมใช้เป็นสารดูดความชื้น ซึ่งใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารและยา ใช้เป็นสารช่วยเพิ่มแรงตึงผิว ช่วยในการกระจายตัวของยาชนิดที่เป็นของเหลว ใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในอุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ ใช้เป็นตัวทำให้สารบริสุทธิ์ (Refining agent) ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวตรึงสารช่วยเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมเคมี ใช้ผลิตสารซิลิกอนบริสุทธิ์ เพื่อผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ได้อีกด้วย จะเห็นได้ว่าซิลิกามีประโยชน์มากมายในเชิงอุตสาหกรรม ดังนั้นเราควรได้มีการศึกษาพัฒนากระบวนการผลิตซิลิกาจากแกลบที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในประเทศมาใช้ประโยชน์ เพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ

2.8.1 ลักษณะและองค์ประกอบ

แกลบ คือ เปลือกข้าวที่มีการสีข้าวเปลือกให้เป็นข้าวขาว มีลักษณะเหนียวแข็งคล้ายไม้ คมมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ ทนทานต่อดินฟ้าอากาศ และมีปริมาณเถ้าสูง แกลบมีความยาวประมาณ 5-10 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 1-2 มิลลิเมตร หนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร

แกลบในธรรมชาติ ประกอบด้วยส่วนประกอบใหญ่ๆ คือ

- เซลลูโลส (Cellulose)
- ลิกนิน (Lignin)
- Silicious material คือส่วนที่จะกลายเป็นเถ้า เมื่อทำการเผาด้วยความร้อน ซึ่งเถ้านี้จะประกอบด้วยซิลิกา (SiO_2) เป็นส่วนใหญ่ (มากกว่า 95%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลิกอนที่มีอยู่ในแกลบปรากฏอยู่ในรูปซิลิกาอสัณฐานที่มีน้ำล้อมรอบ (Hydrated amorphous silica) พืชนำซิลิกอนขึ้นมาจากดินและส่งไปยังลำต้นในรูปกรดมอโนซิลิอิก ($Si(OH)_4$) ที่ละลายน้ำ เคลื่อนสู่ผิวหน้าชั้นนอก และจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดการระเหย จากนั้นจะพอลิเมอไรซ์อยู่ในรูปเยื่อซิลิกา-เซลลูโลส

สมบัติทางกายภาพของ SiO_2

- ความถ่วงจำเพาะ 2.65
- ความแข็ง 7 โมห์สเกล
- จุดหลอมละลาย 1728 ^{o}C
- โครงสร้างผลึก รูปหกเหลี่ยมเป็นร่างแหสามมิติ

ขี้เถ้าจากแกลบเป็นซิลิกาที่ไม่บริสุทธิ์เล็กน้อย เมื่อเผาแกลบจนไม่มีคาร์บอนเหลืออยู่ เถ้าที่ได้จะมีสีขาวหรือสีชมพู และเมื่อปริมาณของคาร์บอนที่เหลือเพิ่มขึ้น เถ้าที่ได้จะเป็นสีเทาไปจนถึงสีดำ แสดงว่ายังคงมีซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous silica) หลงเหลืออยู่

2.8.2 การใช้ประโยชน์จากแกลบ

การใช้แกลบให้เกิดประโยชน์ได้รับความสนใจมานานแล้ว โดยแบ่งการใช้ประโยชน์ออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) ทางด้านเกษตรกรรม

- ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ เช่น เป็ด ไก่ วัว ควาย เพื่อลดต้นทุน
- ปูรองให้สัตว์พวกเป็ด ไก่ นอน เป็นการใช้ประโยชน์ที่เก่าแก่ที่สุด
- ช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสเมื่อแกลบถูกย่อยสลายในดิน
- ใช้แกลบเป็นตัวค้ำจุนสำหรับพืชที่กำลังเจริญเติบโต โดยเทคนิคที่ไม่ต้องอาศัยดินที่เรียกว่าไฮโดรพอนิก (Hydroponic)

2) ทางด้านอุตสาหกรรม

- ใช้เป็นเชื้อเพลิง

แกลบใช้เป็นเชื้อเพลิงในการสีข้าวสำหรับโรงสี โดยทำให้เกิดลมร้อนสำหรับเป่าข้าวเปลือกให้แห้งก่อนที่จะนำไปเก็บและนำไปสี แกลบมีค่าความร้อน 1000-1600 แคลอรี และจากการคำนวณพบว่ากำลัง 1 แรงม้า ต้องการแกลบ 1.8-2.4 กก. นอกจากนี้ยังใช้แกลบอัดเป็นฟืนสำหรับเตาผิงในวิธีเดียวกับการทำจากเศษไม้ ค่าความร้อนที่ได้จากการใช้แกลบเท่ากับ 6113 บีทียู/ปอนด์ และสำหรับไม้ได้ประมาณ 8450 บีทียู/ปอนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้ในกระบวนการคาร์บอไนเซชัน (Carbonization)

การกลั่นแห้งหรือคาร์บอไนเซชันของแกลบ คือการให้ปริมาณความร้อนจำกัดหรืออากาศไม่เพียงพอ ซึ่งจะให้คาร์บอนละเอียดน้ำหนักเบา ของเหลวที่มีลักษณะเหมือนน้ำมันดิน และก๊าซ กระบวนการนี้ใช้ในการผลิตสารเคมี เช่น กรดแอซีติก เมทานอล แอซิโตน เมทิลเอทิลคีโตน และน้ำมันดิน

- ใช้ทำฉนวนไฟฟ้า

เนื่องจากแกลบมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำจึงเป็นฉนวนที่ดี ใช้ทำฝ้าเพดาน แกลบที่นำมาใช้ต้องถูกทำให้ทนน้ำ ไฟ แมลง และมีการพบว่ากรดฟอสฟอริก 20% หรือกรดบอริกต่อบอแรกซ์ 60:40 ให้ผลที่ดีในการทนไฟ แกลบที่ถูกทำปฏิกิริยาด้วยกรดจะมีค่าการนำไฟฟ้า 0.02 ต่ำกว่าแกลบที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์น้อยลง เนื่องจากมีพอลิยูรีเทนเข้ามาแทนที่

- ใช้ทำวัสดุก่อสร้าง

ใช้ทำบล็อคคอนกรีต อิฐ กระเบื้องปูพื้น เป็นต้น จุดประสงค์สำคัญคือเพื่อทำเป็นอิฐหรือคอนกรีตน้ำหนักเบาและมีสมบัติเป็นฉนวนดีขึ้น

- ใช้ทำวัสดุสำหรับขัด

วัสดุสำหรับขัด แบ่งออกเป็นหลายระดับ คือ เป็นสารขัดถู (Tumble-cleaning and polishing agents) เป็นวัสดุสำหรับเป่า (Soft-grit blasting materials) และเป็นสารขัดในสบู่ถูมือ (Abrasives in handsoaps)

จากการทดลองพบว่าแกลบยังคงมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดผิวหน้าของท่อที่ทำด้วยเหล็ก อะลูมิเนียม ทองเหลือง เมื่อเพิ่มความเร็วให้สูงขึ้น และยังคงใช้ได้ดีกับการขัดส่วนเล็กๆ ที่ทำด้วยพลาสติก

สำหรับวิธีการเป่าทำความสะอาดชิ้นส่วนของเครื่องจักร พบว่าการใช้แกลบ 40 ส่วนและซังข้าวโพด 60 ส่วน สามารถทำความสะอาดเขม่า ฝุ่นผง จากกระบอกสูบเครื่องบินและลูกสูบได้อย่างดี รวดเร็ว โดยไม่ต้องมีการนำโลหะหรือสิ่งแปลกปลอมที่อยู่ในส่วนของเครื่องจักรที่อยู่ชิดกันออก สำหรับแกลบที่ใช้ผสมในสบู่ถูมือ จะต้องมีขนาด 100 เมซ ในสบู่จะมีแกลบประมาณ 10-25%

- ใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อและสารเติมแต่ง

ได้มีการวิจัยถึงการใช้แกลบบดละเอียดเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Filler) ในพลาสติกและในกาวติดไม้ พบว่ามีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น แต่การใช้ผงแกลบเป็นสารเพิ่มเนื้อมีข้อจำกัดอยู่ที่ลักษณะความคมของแกลบ ถ้าใช้มากเกินไปจะทำความเสียหายให้กับแม่พิมพ์ เครื่องผสมและหัวฉีด (Die)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้เป็นตัวพาและสารดูดซับ

แกลบบดที่มีความละเอียดต่างกัน จะใช้เป็นตัวพาและสารดูดซับสำหรับวิตามิน ยาฆ่าแมลง ไปจนถึงระเบิด ยาปฏิชีวนะ อาหารเสริม แร่ธาตุสามารถกระจายได้ดีโดยใช้แกลบบดเป็นตัวพา แกลบบดละเอียดต้องทำเป็นเม็ดเล็กๆ ได้ และสามารถรวมกับสารเติมแต่งอื่นๆ เมื่อทำเป็นเม็ด

- เป็นแหล่งของซิลิกา

ในแกลบมีซิลิกาอยู่ประมาณ 20 % ซึ่งเป็นซิลิกาที่มีคุณภาพดีเนื่องจากมีสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ต่ำ ซิลิกาได้ทั้งจากการเผาแกลบให้เป็นเถ้าหรือโดยการสกัดออกมาในรูปโซเดียมซิลิเกตด้วยสารละลายด่าง ในกรณีแรกสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ โดยการใช้ความร้อนของการสันดาป สำหรับการทำเป็นซิลิเกต สารอินทรีย์ที่เหลือสามารถใช้เป็นแหล่งผลิตภัณฑ์อินทรีย์หรือเป็นแหล่งเชื้อเพลิงได้ การทำซิลิกาให้อยู่ในรูปโซเดียมซิลิเกต ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น การผลิตแก้ว

ตารางที่ 2.4 สมบัติบางประการของ Silica Powder [15]

	Crystalline Silica Powders	Fused Silica Powder
ความหนาแน่น (Theoretical Density)	2.65 g/cc	2.20 g/cc
ความเป็นผลึก (Crystallinity)	Alpha-phase	>95% fused silica
จุดหลอมเหลว (Melting Point)	1477°C	1713°C
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (Thermal Expansion Coefficient)	4.0×10^{-6} / °C	4.84×10^{-7} / °C
ความแข็ง (Mohs Hardness)	7	7
ความต้านทาน (Resistivity)	$> 10^{15}$ ohm. cm	$> 10^{16}$ ohm. cm

2.9 แร่ดินเหนียว (Clay minerals) [13]

แร่ดินเหนียวเป็นแร่ที่มีขนาดของผลึกเล็กมาก เป็นอะลูมิโนซิลิเกตที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ และมีธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบด้วยเสมอ เช่น เหล็ก แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียมและโพแทสเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งดินชนิดนี้มี 2 แบบคือ

1. แหล่งกำเนิด (Residual deposit) มักพบในลักษณะผุพังอยู่กับที่

2. แหล่งสะสมที่ลุ่ม (Sedimentary deposit) คือดินขาวที่เกิดจากดินขาวจากแหล่งแรกถูกกระแสน้ำพัดพาไปและไปสะสมในบริเวณที่ราบลุ่ม และอาจเกิดโดยกิจกรรมน้ำร้อนภายใต้ผิวโลก

แร่ในกลุ่มนี้จัดอยู่ในกลุ่มแร่ซิลิเกตที่เป็นแผ่นและแบ่งตามลักษณะออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. กลุ่มเคโอลิไนต์หรือแร่ดินขาว (Kaolinite)
2. กลุ่มสเมกไทต์ (Smectite)
3. กลุ่มแร่ไมกา (Mica)
4. กลุ่มคลอไรต์ (Chlorite)

น้ำที่เป็นองค์ประกอบจะเปลี่ยนไปตามความชื้นของบรรยากาศ และความถ่วงจำเพาะก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย คือจะลดลงเมื่อน้ำเพิ่มขึ้น แร่ดินเหนียวนี้มีลักษณะที่สามารถแจกแจงออกจากกันได้ โดยใช้จำนวนแผ่นซิลิกาและแผ่นอะลูมินาในโครงสร้างเป็นหลัก สำหรับแร่ดินเหนียวซิลิเกตที่พบมากคือ

1) แร่เคโอลิไนต์หรือแร่ดินขาว (Kaolinite) มีสูตร $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ องค์ประกอบค่อนข้างแน่นอน แทบไม่มีการแทนที่ของอะตอม ในกลุ่มนี้ยังมีแร่อื่นๆ อีก คือ ดิกไคต์ (Dickite) และนาไครต์ (Nacrite) แต่พบน้อยมาก และยังพบแร่ฮาลลอยไซต์ (Halloysite) ซึ่งพบมากพอสมควร และยังรับน้ำเข้าในโครงสร้างได้ บางครั้งจะมีสูตรเป็น $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8.4H_2O$

2) แร่มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) มีสูตร $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2.xH_2O$ เกิดขึ้นได้ต่อเมื่อสภาพแวดล้อมมีความเข้มข้นของไอออนซิลิกาและแมกนีเซียมสูง ปกติจะพบในบริเวณที่มีการละลายตัวของซิลิเกตที่มีแมกนีเซียมและเหล็กมาก ความเข้มข้นของไอออนซิลิกาไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีความเคลื่อนไหวของน้ำในดินช้าหรือเกิดการขังน้ำ พบแร่กลุ่มนี้ได้ในชั้นดินเหนียวที่แน่นทึบ มีลักษณะแปรผันได้มาก มีโครงสร้างผลึกที่ไม่แน่นอน เพราะองค์ประกอบแปรผันได้ โดยเฉพาะน้ำแร่ในกลุ่มนี้มีการแทนที่ของอะตอมมากทำให้แร่ชนิดนี้สามารถยืดตัวเมื่อถูกกับน้ำและแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้ เม็ดของผลึกมีความละเอียดมาก โครงสร้างผลึกแตะกันแบบหลวมๆ ทำให้แร่ธาตุอื่นๆ เข้ามาประกอบอยู่มากทำให้ดินไม่บริสุทธิ์ แต่มีความเหนียวสูงและเนื้อละเอียดมาก แร่นี้เมื่อถูกน้ำแล้วจะ ลื่นมือเหมือนสบู่และจะเกิดลักษณะเหมือนวุ้นเมื่อแช่น้ำ พบในหินตะกอนและการผุพังสลายตัวของเถ้าภูเขาไฟ หินเบนโทไนต์ (Bentonite) เป็นหินชนิดหนึ่งซึ่งแร่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นมอนต์มอริลโลไนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) แร่เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite) มีสูตร $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2.xH_2O$ เป็นแร่ดินเหนียวในกลุ่มไมกา ลักษณะพิเศษคือจะสามารถขยายขนานกับแกน c ได้เพิ่มขึ้น 30 เท่าของปริมาตรเดิม เมื่อให้ความร้อนรวดเร็วจนถึง 250-300 $^{\circ}C$ นำผลนี้มาปรับปรุงดินได้

4) แร่อิลไลต์ (Illite) มีสูตร $KAl_2(AlSi_3O_{10}(OH)_2$ พบมากในหินตะกอน บางทีเรียกแร่นี้ว่าไมกาดินเหนียว (Clay mica)

รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ [16]

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ลักษณะทั่วไปของแร่ดินเหนียว [13]

ชื่อแร่	สี	ความถ่วงจำเพาะ	ความแข็ง	ผลึกและรูปร่าง	ค่าดรรชนีหักเหแสง	ประกายและอื่นๆ
เคโอลิไนต์	ขาว เทา ขาวปนน้ำตาล ผงสีขาว	2.6	2.0-2.5	ก้อนแน่นทึบหรือแผ่นหกเหลี่ยม	1.56-1.57	มีประกายแบบไข่มุก หากโตเป็นผลึก
มอนต์มอริสโลไนต์	เทา ผงสีขาว เทาปนเขียว ขาวเหลือง	2.0-2.7 ลดลงเมื่อน้ำเพิ่ม	2.0-2.5	เป็นกลุ่มแน่นทึบ มองไม่เห็นผลึกเดี่ยวๆ ชัดเจน	1.50-1.64	มีประกายแบบเป็นมันหรือด้าน ดูดซับน้ำแล้วขยายตัว
เวอร์มิคิวไลต์	เหลือง เขียว น้ำตาล ผงสีขาว	2.4	1.5	เป็นแผ่นอัดตัวกันเช่นเดียวกับไมกา	1.54-1.58	มีประกายแบบไข่มุก ขยายตัวมากเมื่อร้อน
อิลไลต์	มีโครงสร้างและลักษณะโดยทั่วไปเหมือนแร่มัสโคไวต์ (Muscovite) ผงสีขาว					

2.10 ปูนปลาสเตอร์ [17]

ปูนปลาสเตอร์หรือปลาสเตอร์ปารีส (Plaster of Paris) เป็นผลิตผลที่ได้จากการเผาแร่ยิปซัม มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว เมื่อนำปูนปลาสเตอร์มาผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่พอเหมาะจะเกิดการตกผลึกและก่อตัวได้ปลาสเตอร์แข็งที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ และมีความหนาแน่นเท่ากันตลอดทั้งก้อน กระบวนการผลิตปูนปลาสเตอร์ทำได้โดยการนำแร่ยิปซั่มที่ได้จากธรรมชาติมาเผาที่อุณหภูมิพอเหมาะ ซึ่งเรียกว่ากระบวนการเผา (Calcination) ยิปซั่มที่เผาแล้ว (Calcined gypsum) จะอยู่ในสภาวะที่ต้องการน้ำ ซึ่งเป็นสมบัติที่นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 องค์ประกอบของปูนปลาสเตอร์

องค์ประกอบหลักของปูนปลาสเตอร์ คือ เบต้าแคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต (เบต้าเฮมิไฮเดรต) ซึ่งได้จากกระบวนการเผายิปซัมในอากาศที่อุณหภูมิ 110 -130 °C แต่เนื่องจากการคุมให้กระบวนการเผาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์นั้นเป็นไปได้ยากมาก ดังนั้นจะมีผลิตภัณฑ์อื่นๆ เกิดขึ้นด้วย เช่น ยิปซัมที่ยังไม่เปลี่ยนรูป (แคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต) และยิปซั่มที่ได้รับความร้อนมากเกินไป (แคลเซียมซัลเฟตแอนไฮไดรด์) โดยมีส่วนประกอบดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.6 ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะมีผลต่อสมบัติของปูนปลาสเตอร์มาก

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบของปูนปลาสเตอร์ [17]

องค์ประกอบ	ส่วนประกอบเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
แคลเซียมเฮมิไฮไดรต์	75 – 85
แคลเซียมซัลเฟตแอนไฮไดรด์	5 – 8
ยิปซัมที่ถูกเผาจนไหม้ (Dead burn) และสิ่งเจือปน (Impurities)	4

2.10.2 กระบวนการผลิตปูนปลาสเตอร์

เป็นกระบวนการเผาแร่ยิปซัมที่อุณหภูมิระหว่าง 110 – 130 °C จะทำให้น้ำผลึกระเหยออกไป 3/2 โมเลกุล คงเหลือน้ำผลึกอยู่ 1/2 โมเลกุล สารประกอบที่ได้นี้เรียกว่า ปูนปลาสเตอร์ หรือ แคลเซียม-ซัลเฟตเฮมิไฮเดรต ซึ่งมีโครงผลึกเป็นแบบออโธรอมบิก (Orthorhombic structure) ดังสมการ

$$\underset{\text{ยิปซัม}}{CaSO_4.2\,H_2O} \xrightarrow{110\text{-}130\ ^\circ C} \underset{\text{ปลาสเตอร์}}{CaSO_4.1/2\,H_2O}$$

(แคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต) (แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต)

2.10.3 ชนิดของปูนปลาสเตอร์

องค์ประกอบหลักของปูนปลาสเตอร์ คือ แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต ซึ่งมี 2 รูป คือ แอลฟา-แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต และ เบต้า-แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต ซึ่งทั้ง แอลฟา และ เบต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะแตกต่างกันที่ลักษณะของผลึก กล่าวคือ เบต้าจะมีผลึกค่อนข้างใหญ่รูปร่างไม่เป็นระเบียบ และมีรูพรุนมาก ในขณะที่แอลฟาจะมีผลึกที่ละเอียดกว่า รูปร่างเป็นรูปเหลี่ยมสม่ำเสมอและมีรูพรุนน้อยกว่า

2.10.4 ปฏิกิริยาการก่อตัว

การก่อตัวของปูนปลาสเตอร์จะเกิดขึ้นเมื่อผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำ โดยมีอัตราส่วนที่พอเหมาะ ซึ่งปฏิกิริยาจะเป็น ดังนี้

$$2CaSO_4.1/2H_2O + 3H_2O \longrightarrow 2CaSO_4.2H_2O + \text{ความร้อน}$$

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) ผลที่ได้จากปฏิกิริยาคือ ยิปซัม แต่ยิปซัมที่ได้นี้จะมีรูปผลึกแตกต่างจากยิปซัมในธรรมชาติ โดยจะมีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็ม (Needle-like crystal) แทนที่จะเป็นผลึกที่มีรูปร่างไม่เป็นระเบียบ

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คมสรรค์ จันต๊ะยอด และคณะ [1] ทำการวิจัยเรื่องเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ โดยศึกษาการเตรียมเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Briquettes) จากผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหลือจากกระบวนการคัดแยกขนาดมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการนำผงถ่านหินผสมกับสารยึด (Binder) และผงถ่านกะลา (Filler) แล้วอัดให้เป็นแท่งเพื่อความสะดวกในการใช้งานทั้งในงานอุตสาหกรรมและใช้ในครัวเรือน งานวิจัยนี้เสนอที่จะใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVA) กับสารละลายแป้งเป็นสารยึด และใช้ผงถ่าน (Charcoal) เป็นผงถ่านกะลา โดยทำการศึกษาอัตราส่วนและขนาดของผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหมาะสมแล้วทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัด จากนั้นทำการอบให้แห้งแล้วทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ระหว่างเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เตรียมได้จากพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์กับสารละลายแป้ง ได้แก่ ค่าความหนาแน่นรวมขนาดของถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้ ค่าความร้อน ปริมาณความชื้นรวม ปริมาณเถ้า เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา พบว่าอัตราส่วนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านที่เหมาะสมคือ 60:40 ซึ่งขนาดของผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหมาะสมคือ ขนาด 0.1 – 1.0 มม. โดยพบว่าชนิดของสารยึดจะไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่นรวม ค่าความร้อน ปริมาณความชื้นรวม ปริมาณเถ้า อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแต่จะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการเผา และพบว่าถ่านหินอัดแท่งที่ใช้สารยึดเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะให้เวลาในการเผาไหม้ที่ยาวนานกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐิติพงศ์ กรประภากุล และนิลเนตร แซ่อึ้ง [8] ได้ทำการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากทะลายน้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม โดยการนำทะลายมาย่อยให้มีขนาดเล็ก และทดลองอัด 2 วิธี คือ อัดด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ภายใต้ความดัน 250–600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอัดเป็นก้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 ซม. โดยใช้กาวแก้วและแป้งเปียกเป็นตัวประสาน ก้อนเชื้อเพลิงมีลักษณะทรงกระบอก และการอัดด้วยเครื่องอัดแบบสกรูทำที่อุณหภูมิ 120 และ 140 องศาเซลเซียส ได้เชื้อเพลิงลักษณะเป็นแท่ง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. เชื้อเพลิงที่อัดได้จะถูกนำไปเก็บไว้เพื่อตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและลักษณะการเผาไหม้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีแป้งเปียก 20 % ให้ปริมาณเถ้าต่ำสุด (5.32%) และเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีกาวแก้ว 30 % จะให้เปอร์เซ็นต์ความร่วนต่ำสุด (0.03 %) สำหรับด้านการเผาไหม้พบว่าเชื้อเพลิงทุกชนิดจะทำให้น้ำเดือดได้เร็วกว่าถ่านไม้ แต่มีควันมากกว่าในช่วงเริ่มต้นการเผา

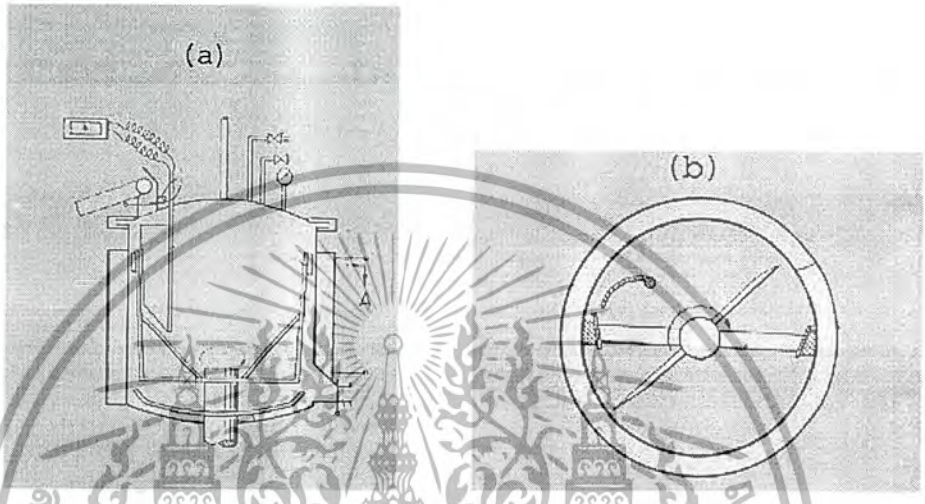
Araki, E. et.al. [18] ทำการวิจัยเรื่องกระบวนการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหิน โดยงานวิจัยนี้เป็นการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินที่ถูกบดเป็นผงแล้วทำการผสมด้วยเครื่องผสมให้เป็นกลุ่มก้อนด้วย Caking agent ดังรูปที่ 2.6 แสดงรูปร่างของห้องผสมสำหรับเตรียมถ่านหินอัดแท่งนำไปอัดขึ้นรูปในแม่แบบ โดยกระบวนการเตรียมถ่านหินดังแสดงในรูปที่ 2.7 ถ่านหินที่ใช้ได้แก่ ชนิด Taiheiyo 20, Taiheiyo 50, Taiheiyo 70, Ibid และ KIB ส่วน Caking agent ใช้ PDA (Propane - deasphalted asphalt) ที่สัดส่วนต่างๆ กัน งานวิจัยนี้ศึกษาถึงผลของปัจจัยต่างๆ เช่น ความเร็วรอบของการผสม ปริมาณและชนิดของผงถ่านปริมาณและชนิดของ Caking agent ที่มีผลต่อกระบวนการผลิต ค่า Crushing hardness และค่าความถ่วงจำเพาะของถ่านหินอัดแท่ง

Franke, F. et.al. [19] ได้ทำการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินสีน้ำตาล (Brown coal) โดยนำผงถ่านหินมาทำให้แห้ง จากนั้นให้ความร้อนครั้งแรกโดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 300-320 $^{\circ}$C ด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ 30-60 $^{\circ}$C ต่อนาที จากนั้นให้ความร้อนครั้งที่ 2 โดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 350-400 $^{\circ}$C ด้วยอัตราการให้ความร้อน 1-10 $^{\circ}$C ต่อนาที การให้ความร้อนครั้งแรกจะทำให้ผงถ่านหินเกิดการรวมตัวกัน และการให้ความร้อนครั้งที่ 2 จะให้ความดันประมาณ 1200-2000 kp/cm^2

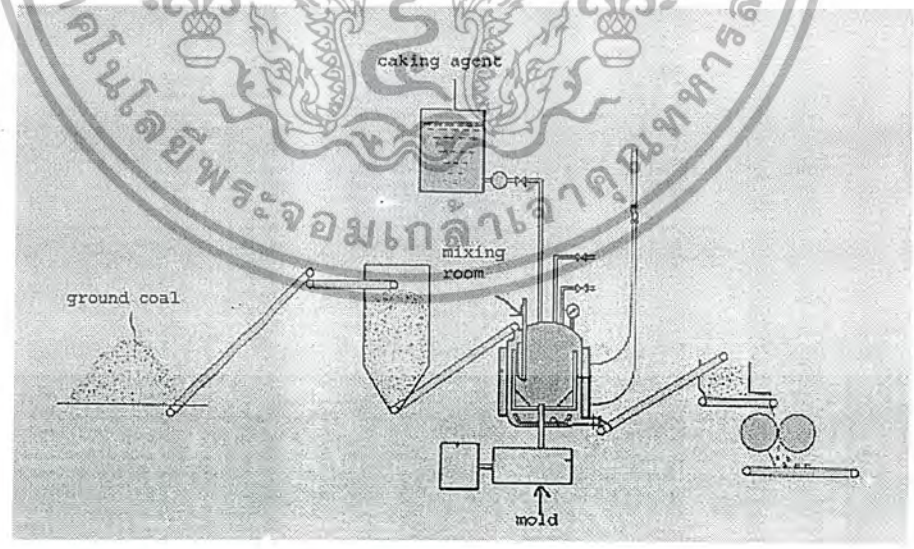
Yildirim, H. และ Ozbayoglu, G. [20] ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของถ่านหินเอลบิสทันลิกไนต์ (Elbistan lignite) ไปเป็นแอมโมเนียมไนโตรฮิวเมต (Ammonium nitrohumate) และใช้เป็นสารยึดถ่านหิน โดยศึกษาปริมาณของกรดไนตริกที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และแอมโมเนียชัน (Ammoniation) ซึ่งพบว่าปริมาณกรดไนตริกที่เหมาะสมคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไนตริกเข้มข้น 4.87 % โดยน้ำหนัก จะทำให้ได้แอมโมเนียมไนโตรฮิวเมต เข้มข้น 10.75 % โดยน้ำหนัก และนำไปใช้เป็นสารยึดในการผลิตถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินลิกไนต์



รูปที่ 2.5 รูปร่างของห้องผสมสำหรับเตรียมถ่านหินอัดแท่งในงานวิจัยของ Araki, E. et.al. a) รูปด้านหน้า b) รูปด้านบน [18]



รูปที่ 2.6 กระบวนการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหิน [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Taylor, J.W. และ Hannah, L. [21] ทำการวิจัยการยึดเกาะกันของถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหิน โดยศึกษาผลกระทบที่ได้รับจากผลของอุณหภูมิต่อการยึดเกาะของผงถ่านหิน โดยการเพิ่มของอุณหภูมิจะเพิ่มการยึดเกาะของถ่านหินให้มากขึ้น ในทางตรงกันข้ามการลดลงของอุณหภูมิจะลดอัตราการอัดรวมตัว (Compaction) การให้ความร้อนแก่ถ่านหินในฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed) ที่อุณหภูมิ 500-870 °C จะทำให้ถ่านหินเกิดการเชื่อมโยงและกลายเป็นคาร์บอน (Carbonizing transform)

วีระสักร แดงประเสริฐ [22] ได้ทำการผลิตถ่านจากขี้เลื่อยอัด ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ นำขี้เลื่อยมาผ่านการอบให้แห้งก่อน จากนั้นนำมาเข้าเครื่องอัดแท่งที่ใช้เกลียวหมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยมีตัวให้ความร้อน (Heater) อยู่ที่ปลายท่ออัดที่อุณหภูมิ 220-280 °C เพื่อให้ลิกนิน (Lignin) ในขี้เลื่อยละลายและเกาะติดกันเป็นแท่ง จากนั้นนำแท่งขี้เลื่อยที่ได้มาเผาเป็นถ่าน หลังจากการเผาเป็นถ่านแล้วน้ำหนักของถ่านจะเหลือประมาณครึ่งหนึ่งของแท่งขี้เลื่อยที่ใช้เผาแท่งถ่านจากขี้เลื่อยอัดจะมีขนาดโตกลมประมาณ 2 นิ้ว ตรงกลางมีรูเพื่อผลทางด้านการเผาไหม้ แท่งถ่านที่ได้จะมีความคงทน ให้ความร้อนสูง และมีระยะเวลาในการเผาไหม้นานถึงเกือบ 2 ชั่วโมง ทั้งนี้เป็นเพราะขี้เลื่อยมีความหนาแน่นมากกว่าไม้นั่นเอง นอกจากนี้ถ่านขี้เลื่อยยังมีต้นทุนในการผลิตต่ำอีกด้วย

กัญจนา บุณยเกียรติ [23] ศึกษาการใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมและการเกษตรที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ 3 ชนิด คือ แกลบ ขี้เลื่อย และชานอ้อย โดยนำมาอัดเป็นก้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 ซม. ภายใต้ความดัน 57 – 1070 กก./ตร.ซม. สารยึดที่ใช้ได้แก่ ขี้ผึ้งและแป้งเปียก พบว่าขี้เลื่อยและชานอ้อยสามารถนำมาอัดให้ติดกันเป็นก้อนได้โดยไม่ต้องใช้สารยึด ส่วนแกลบต้องใช้สารยึดหรือผสมกับขี้เลื่อยหรือชานอ้อย จึงจะสามารถติดกันเป็นก้อนได้ หลังจากเก็บตัวอย่างไว้ในถุงพลาสติกอย่างน้อย 2 เดือนแล้วนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักร้อยละที่ร่วนออกมา ความชื้น ขี้เถ้า ปริมาณก๊าซระเหย ค่าความร้อนและสมบัติในการไหม้ไฟ สำหรับการให้ความร้อนเมื่อเทียบกับถ่านไม้ พบว่าก้อนเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบและชานอ้อยมีการแตกร่วนน้อยที่สุด (1.53 %) สำหรับสมบัติการไหม้ไฟ พบว่าก้อนเชื้อเพลิงเกือบทุกชนิดทำให้น้ำเดือดได้เร็วกว่าถ่านไม้ และมีควันมากเมื่อเริ่มลุกไหม้

สมศักดิ์ โพธิ์ถวิลเกียรติ์ [24] จากวิทยานิพนธ์เรื่องอิทธิพลของขนาดของแกลบต่อลักษณะการเผาไหม้ โดยทำการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของขนาดแกลบ และลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค ขนาดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองมี 2 ขนาด อยู่ในช่วง 0.18-1.18 มม. และขนาดแกลบปกติ (ประมาณ 2.0 x 8.0 มม.) การทดลองกระทำโดยปรับอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 0.20 0.25 และ 0.30 kg/min สำหรับแต่ละขนาดของแกลบ โดยที่ปรับค่าอัตราส่วนสมมูล, Φ เท่ากับ 0.8 1.0 และ 1.2 ที่แต่ละอัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบ ขณะเดียวกันก็ปรับอัตราส่วนของอัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด (λ) ให้เท่ากับ 0 0.15 และ 0.25 เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดเชื้อเพลิงแกลบต่อลักษณะการเผาไหม้ที่ค่าต่างๆ ของอัตราส่วนสมมูล อากาศทุติยภูมิ และอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแกลบ จากผลการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงขนาด 0.18-1.18 มม. สำหรับ Φ = 1.0 , λ = 0.25 และปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.30 kg/min พบว่าลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาสม่ำเสมอ และมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1235 $^{\circ}$C นอกจากนี้ยังพบว่าการเผาไหม้ในเตาเผามีความเสถียรสูงและง่ายต่อการควบคุม จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียของเตาเผา พบว่าจะประกอบด้วย O_2 = 3.5%, CO_2 = 6.8% และ CO = 195 ppm

บุญมาก รุ่งเรือง [25] จากวิทยานิพนธ์เรื่องการศึกษาส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าแกลบเพื่อใช้เป็นวัสดุประสาน ซึ่งนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์มาผสมกับเถ้าแกลบเพื่อใช้เป็นวัสดุประสานโดยอาศัยปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolan) ทำการแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่บดละเอียดเป็นวัสดุผสมโดยตรง ส่วนที่ 2 นำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่บดละเอียดแล้วไปเผาที่อุณหภูมิ 600 $^{\circ}$C นาน 3 ชั่วโมง แล้วใช้เป็นวัสดุผสม ส่วนเถ้าแกลบได้จากการเผาแกลบ แล้วนำไปบดจนละเอียด สมบัติที่ศึกษาประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่เหมาะสมและการก่อตัวของเพสต์ที่มีกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าแกลบเป็นส่วนผสม สำหรับมอร์ต้าร์ของวัสดุผสมจะทดสอบการไหลแผ่ และการรับกำลังอัด จากผลการทดสอบพบว่า ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ของวัสดุผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าแกลบ จะใช้ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเถ้าแกลบ และการก่อตัวเริ่มต้นของเพสต์ของวัสดุผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าแกลบจะใช้เวลามากกว่าซีเมนต์เพสต์ การรับกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ดีที่สุดคือ มอร์ต้าร์ที่ใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าแกลบเท่ากับ 50:50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. ผงถ่านหินแอนทราไซต์ ขนาด 0.1-1.0 mm จากบริษัท V.S. Coal Dust Industry จำกัด สมบัติบางประการของถ่านหินแอนทราไซต์ แสดงในตารางที่ 3.1

2. ผงถ่านจากกะลามะพร้าว ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 26 μm จากบริษัท V.S. Coal Dust Industry จำกัด

3. กากน้ำตาล ปริมาณของแข็ง (Solid content) 57.20 % จากบริษัท V.S. Coal Dust Industry จำกัด

4. แป้งมันสำปะหลัง เกรดการค้า จากบริษัท อี.ที.ซี เอี่ยมตงจั่น จำกัด

5. แกลบ จากโรงสีข้าวทรัพย์เจริญ

6. ดินเหนียว

7. ปูนปลาสเตอร์ตราช้าง จากโรงงานศรีอยุธยา

8. แร่ดินเหนียวชนิดมอนต์มอริลโลไนต์ เกรดการค้า (Cloisite®) บริษัท Southern Clay จำกัด สมบัติบางประการของแร่ดินเหนียว แสดงในตารางที่ 3.2

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องมือขึ้นรูปแท่งทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 38.8 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 13.1 mm ความยาวสูงสุด 180 mm แสดงดังรูปที่ 3.1

2. ชุดใบพัดปั่นกวน

3. เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ รุ่น A007303 บริษัท Gallenkamp แสดงดังรูปที่ 3.2

4. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส รุ่น Raynger® MX บริษัท Raytex แสดงดังรูปที่ 3.3

5. เทอร์โมมิเตอร์

6. เครื่องชั่งสารอย่างละเอียด รุ่น TC-254 บริษัท Denver Instrument

7. ตู้อบแบบอากาศร้อน รุ่น UM4000 บริษัท Memmert

8. ตะแกรงร่อนสารเบอร์ 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เครื่องให้ความร้อน

10. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal Testing Machine) รุ่น LR 30 K : Llyod Instrument Ltd.

11. ก๊าซอะเซทิลีน

12. ก๊าซออกซิเจน

13. หัวฉีดก๊าซ แสดงดังรูปที่ 3.4

14. เตาเผาทดสอบถ่านหิน แสดงดังรูปที่ 3.5

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่ใช้ในงานวิจัย

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

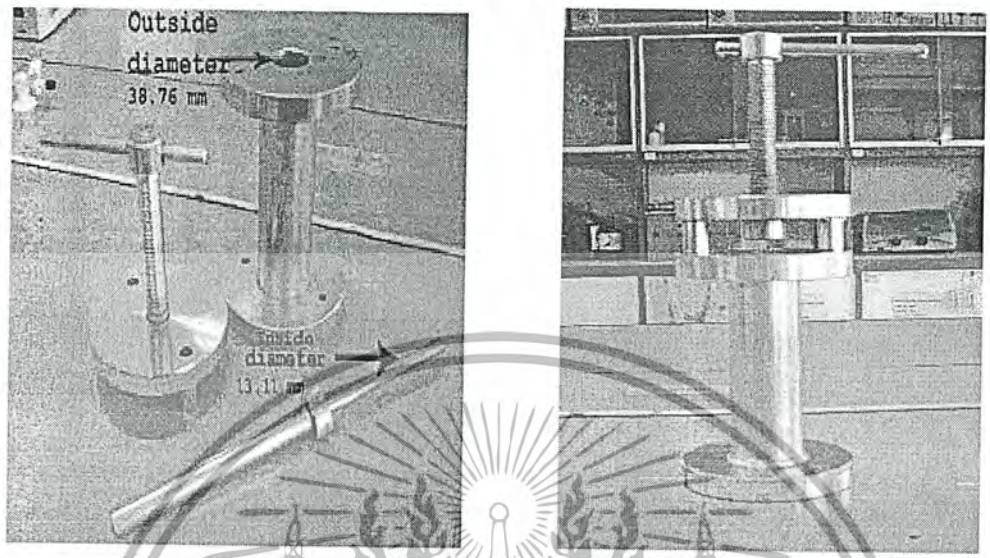
หมายเหตุ ข้อมูลจาก SGS (Thailand) Limited

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite®) ที่ใช้ในงานวิจัย

สมบัติ	ค่าที่ได้
ลักษณะ	ผงสีขาว
ความจุ	95 meg/100 g
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย	13 μm
ความถ่วงจำเพาะ	2.6

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัท Southern Clay จำกัด

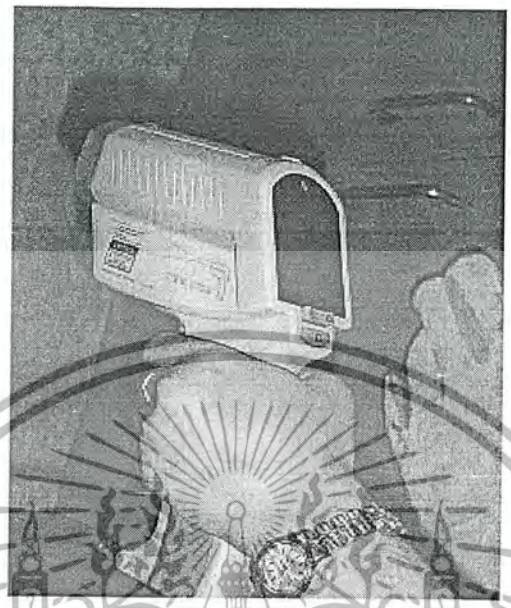
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



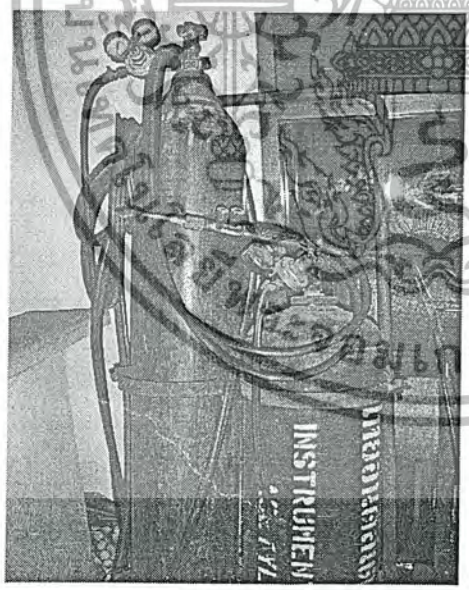
รูปที่ 3.1 เครื่องมืออัดขึ้นรูปก่านหินที่ใช้ในงานวิจัยนี้

รูปที่ 3.2 เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ รุ่น A007303 บริษัท Gallenkamp

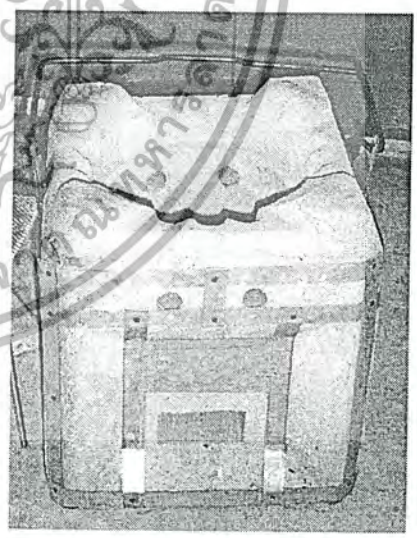
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส รุ่น Raynger ® MX บริษัท Raytex



รูปที่ 3.4 ถังก๊าซและหัวฉีดก๊าซอะเซทิลีน



รูปที่ 3.5 เตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 เครื่อง Universal Testing Machine รุ่น LR 30 K : Llyod Instrument Ltd.

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

ถ่านหินอัดแท่งในงานวิจัยนี้มีส่วนผสมหลักคือผงถ่านหินแอนทราไซต์ คลุกเคล้าเข้ากับสารยึด (รวมทั้งผงถ่านกะลาและสารช่วยคงรูปในกรณีที่มีการใช้) และน้ำ ในอัตราส่วนของของแข็ง (ผงถ่านหินแอนทราไซต์ สารยึด สารตัวเติมและสารช่วยคงรูป) ต่อของเหลว (น้ำ) เท่ากับ 5 : 1 จากนั้นอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด ซึ่งอาศัยแรงอัดจากการหมุนเกลียวด้วยมือ น้ำหนักของแข็งทั้งหมดที่ใช้ในการขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่งแต่ละแท่งคือ 150 g และใช้น้ำ 30 ml สำหรับสารยึดที่ใช้ได้แก่ สารละลายแป้งและกากน้ำตาล สารตัวเติมได้แก่ ผงถ่านกะลา และสารช่วยคงรูปได้แก่ มอนต์มอริลโลไนต์ ดินเหนียว แกลบและปูนปลาสเตอร์ ตามลำดับ

3.3.1 การเตรียมส่วนผสม

1) การเตรียมถ่านหินแอนทราไซต์

นำผงถ่านหินแอนทราไซต์มาร่อนด้วยตะแกรงร่อนสารขนาด 35 Mesh ทำให้ได้ผงถ่านหินที่มีขนาด 0.1-1.0 mm ตามต้องการ

2) การเตรียมสารละลายแป้ง

- ชั่งแป้งมันน้ำหนัก 9 g ผสมกับน้ำ 30 ml
- คนให้แป้งมันละลายในน้ำแล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C จะได้สารละลายแป้งที่มีความเข้มข้น 6 % wt ของของแข็งทั้งหมด
- ทำซ้ำแต่เปลี่ยนปริมาณของแป้งดังตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ปริมาณแป้งที่ใช้ในการเตรียมสารละลายแป้งเพื่อใช้เป็นสารยึด

% สารละลายแป้ง (% wt)	แป้ง (g)	น้ำ (ml)
6	9	30
10	15	30
14	21	30

3) การเตรียมสารละลายกากน้ำตาล

- ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของกากน้ำตาล แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C จนน้ำหนักคงที่
- ชั่งน้ำหนักของกากน้ำตาลที่เหลือจากการอบ แล้วนำไปคำนวณหาค่า % น้ำในกากน้ำตาล โดยใช้สูตร

$$\%\ \text{น้ำในกากน้ำตาล} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

พบว่ากากน้ำตาล 100 g มีกากน้ำตาลที่เป็นของแข็งอยู่ 57.20 g มีน้ำอยู่ 42.80 g

- ชั่งกากน้ำตาลน้ำหนัก 7.87 g (มีน้ำอยู่ 3.37 ml) ผสมกับน้ำ 26.63 ml
- คนให้เข้ากัน จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 3 % wt ของของแข็งทั้งหมด
- ทำซ้ำแต่เปลี่ยนปริมาณของกากน้ำตาลดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ปริมาณกากน้ำตาลที่ใช้ในการเตรียมสารละลายกากน้ำตาลเพื่อใช้เป็นสารยึด

% สารละลายกากน้ำตาล (% wt)	กากน้ำตาล (g)	น้ำในกากน้ำตาล (ml)	น้ำที่เติม (ml)
3	7.87	3.37	26.63
6	15.73	6.73	23.27
9	23.60	10.10	19.90

หมายเหตุ กากน้ำตาลที่ใช้มีความเข้มข้น 57.20 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารยึดที่มีต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ไม่ใส่ผงถ่านกะลาและสารช่วยคงรูป

3.3.2.1 การขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่งที่ไม่ใส่ผงถ่านกะลาและสารช่วยคงรูป

1. นำสารละลายแป้งที่มีความเข้มข้น 6 % wt ปริมาตร 30 ml มาผสมกับผงถ่านหินแอนทราไซต์ 141.0 g

2. ปั่นกวนโดยใช้ชุดใบพัดปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 300 rpm จนผสมเข้ากันได้ดี

3. นำของผสมที่ได้มาใส่แม่แบบและทำการอัดขึ้นรูป จะได้ถ่านหินอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกประมาณ 39.0 mm และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (ช่องว่างแกนกลาง) ประมาณ 12.8 mm ความสูงประมาณ 150 mm

4. นำชิ้นงานที่ได้ออกจากแม่แบบ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่

5. ทำซ้ำข้อ 1 ถึง 4 แต่เปลี่ยนปริมาณของผงถ่านหินแอนทราไซต์และความเข้มข้นของสารละลายแป้งเป็น 10 % และ 14 % wt ของของแข็งทั้งหมด ตามลำดับ ปริมาณแป้งและผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่ใช้ แสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการอัดแท่งถ่านหินโดยใช้สารละลายแป้งเป็นสารยึด

% สารละลายแป้ง (% wt)	น้ำหนักแป้ง (g)	น้ำหนักผงถ่านหินแอนทราไซต์ (g)	น้ำ (ml)
6	9	141.00	30
10	15	135.00	30
14	21	129.00	30

6. เปลี่ยนชนิดของสารยึดจากสารละลายแป้งเป็นสารละลายกากน้ำตาลความเข้มข้น 3 % wt ปริมาตร 30 ml และใช้ปริมาณของผงถ่านหินแอนทราไซต์เป็น 145.5 g แล้วทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำซ้ำข้อ 6 แต่เปลี่ยนปริมาณของผงถ่านหินแอนทราไซต์และเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายกากน้ำตาล โดยปริมาณของผงถ่านหินแอนทราไซต์และกากน้ำตาลที่ใช้ แสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการอัดแท่งถ่านหินโดยใช้กากน้ำตาลเป็นสารยึด

% สารละลายกากน้ำตาล (% wt)	น้ำหนักกากน้ำตาล (g)	น้ำหนักผงถ่านหินแอนทราไซต์ (g)	น้ำ (ml)
3	7.87	145.50	26.63
6	15.73	141.00	23.27
9	23.60	136.50	19.90

หมายเหตุ กากน้ำตาลที่ใช้มีความเข้มข้น 57.20 %

3.3.2.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทดสอบสมบัติความแข็งแรงกดอัดและ % ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D695M [26]

1. ตั้งสภาวะเครื่องตามมาตรฐาน ASTM D695M
2. นำถ่านหินอัดแท่งมาตัดโดยให้มีความสูงอยู่ในช่วง 20-25 mm ตามมาตรฐาน
3. นำถ่านหินอัดแท่งที่ตัดแล้วมาวัดความสูงโดยเฉลี่ย
4. ใช้หัวกดแบบหน้าเรียบในการทดสอบความแข็งกด โดยวางให้แนบชิดกับชิ้นงานพอดี
5. ทำการกดอัดแล้วบันทึกค่าต่างๆ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) และค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ (% Strain at rupture)

3.3.2.3 การศึกษาความสามารถในการเผาไหม้

1. นำถ่านหินอัดแท่งที่ต้องการทดสอบมาตัดให้มีความสูง 7 cm จำนวน 3 แท่ง
2. นำถ่านหินทั้ง 3 แท่งในแต่ละสูตรไปชั่งน้ำหนักก่อนการเผาแล้วบันทึกน้ำหนัก
3. นำถ่านหินสูตรเดียวกันทั้ง 3 แท่งวางลงในเตาเผาทดสอบถ่านหินโดยวางแบบสุ่มกัน
4. ทำการจุดก๊าซอะเซทิลีน แล้วปรับให้มีอุณหภูมิสูงมากกว่า 900 °C
5. ทำการเผาแท่งถ่านหินโดยมีการจ่อไฟไปรอบๆ แท่งถ่านหินทั้ง 3 แท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อถ่านหินติดไฟแล้ว จึงทำการจับเวลาและวัดอุณหภูมิของแท่งถ่านหินทุกๆ 5 นาที โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส บันทึกอุณหภูมิที่วัดได้

7. เมื่อถ่านหินดับ นำเถ้าที่เหลือไปชั่งน้ำหนักหลังเผา

8. คำนวณหาน้ำหนักที่หายไปต่อหนึ่งหน่วยเวลา

3.3.2.4 การทดสอบหาค่าปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion) โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM 2015 [27]

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่า (Ignition cup) และชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่าพร้อมเส้นด้ายความยาว 12 cm ทำการบันทึกน้ำหนัก

2. ชั่งกรดเบนโซอิกประมาณ 1.2 g นำมาอัดขึ้นรูปพร้อมกับด้ายแล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ทำการบันทึกน้ำหนักของสารตัวอย่าง (g)

3. นำกรดเบนโซอิกที่อัดเป็นเม็ดแล้วมาใส่ในถ้วย (Ignition cup) แล้วผูกปลายด้ายกับลวดความยาว 6 cm ที่ต่อขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้วที่อยู่ในส่วนของ Head bomb

4. นำ Head bomb มาประกอบ Bomb แล้วหมุนสกรูให้แน่น

5. ทำการผ่านก๊าซออกซิเจนให้ภายใน Bomb มีความดันประมาณ 25 atm แต่ไม่ควรเกิน 30 atm

6. ทำการทดสอบการซึมผ่านของก๊าซโดยนำน้ำกลั่นมาทาบริเวณรอบๆ รอยต่อของ Bomb ถ้ามีฟองอากาศแสดงว่ามีการซึมผ่านของก๊าซเกิดขึ้น

7. นำ Bomb ใส่ไว้ในถังแล้วใส่น้ำ

8. ปรับอุณหภูมิของน้ำรอบ Bomb และ Jacket ให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันโดยไม่ควรต่างกันเกิน 1 ^{o}C

9. ปิดฝาของ Bomb calorimeter แล้วทดสอบว่าขั้วจุดระเบิดตรงกับขั้วของอิเล็กโทรดหรือไม่ โดยกดปุ่ม Test ถ้าไฟติดแสดงว่าตรงกัน

10. กดปุ่ม Vibration ประมาณ 2 วินาที แล้วทำการติดไฟ (Spark) ประมาณ 3 วินาที

11. ทำการบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นและบันทึกอุณหภูมิของน้ำรอบ Bomb ทุกๆ 10 วินาทีจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ นำไปเขียนกราฟเพื่อหา ΔT

12. ปิดเครื่องและนำ Bomb ออก ทำการปล่อยก๊าซ จากนั้นนำ Head bomb ออกจาก Bomb ดูว่ามีลวดและด้ายเหลือหรือไม่ ทำการจดบันทึกความยาวที่เหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. นำน้ำที่ได้จากข้อ 12 มาไทเทรตกับสารละลาย Na_2CO_3 จนได้จุดยุติเป็นสีเหลือง บันทึกปริมาตรที่ใช้ไปเพื่อนำไปคำนวณค่าความร้อนของตัวอย่าง

14. ทำการคำนวณหาค่า Energy equivalent of calorimeter (W) เมื่อค่าความร้อนสุทธิ (Gross heat of combustion) ของ กรดเบนโซอิก = 26,463.72 J / g

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

เมื่อ

W = Energy equivalent of calorimeter

e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิด HNO_3 = 1.4 x ml ของ 0.0725 N Na_2CO_3

e_2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิด H_2SO_4 = 22.6 x (% S)

e_3 = การแก้ค่าความร้อนของขดลวด = (335 x 2.479 x 0.01 cal/cm) x (ความยาวลวดที่ถูกเผาไหม้ cm)

e_4 = การแก้ค่าความร้อนของด้ายฝ้าย = (4180 x 7.205 x 0.001 cal/cm) x (ความยาวด้ายที่ถูกเผาไหม้ cm)

15. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1-12 แต่เปลี่ยนจากกรดเบนโซอิกเป็นถ่านหินที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงร่อนเบอร์ 60

16. นำค่า W ที่คำนวณได้จากข้อที่ 13 มาคำนวณค่าความร้อนของการเผาไหม้สุทธิ (Gross heat of combustion)

3.3.3 การศึกษาผลของชนิดสารยึดที่มีต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาแต่ไม่ใส่สารช่วยคงรูป

นำถ่านหินอัดแท่งที่มีค่าความแข็งแรงกดอัดใกล้เคียงกัน (แป้ง 14 % wt และกากน้ำตาล 9 % wt) มาทำการทดลองดังนี้

3.3.3.1 การขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาแต่ไม่ใส่สารช่วยคงรูป

1. ผสมสารละลายแป้งเข้มข้น 14 % wt ของของแข็งทั้งหมด ปริมาตร 30 ml กับผงถ่านหินแอนทราไซต์ 77.4 g และผงถ่านกะลา 51.6 g โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงถ่านหินแอนทราไซต์และผงถ่านเป็น 60 : 40 ดังตารางที่ 3.7

2. ทำการขึ้นรูปตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.3.2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำซ้ำแต่เปลี่ยนชนิดของสารยึดจากสารละลายแป้งเป็นสารละลายกากน้ำตาลเข้มข้น 9 % wt และเปลี่ยนปริมาณผงถ่านหินแอนทราไซต์และผงถ่านกะลาตามสัดส่วน ดังแสดงในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.7 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการอัดแท่งถ่านหิน โดยเลือกสูตรที่มีค่าความแข็งแรงกดอัดใกล้เคียงกัน

ชนิดสารยึด	ปริมาณสารยึด (% wt)	น้ำหนักผงถ่านหินแอนทราไซต์ (g)	น้ำหนักผงถ่านกะลา (g)
สารละลายแป้ง	14	77.4	51.6
สารละลายกากน้ำตาล	9	81.9	54.6

3.3.3.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

- การทดสอบสมบัติความแข็งแรงกดอัดและ % ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D695M [26] ทำการทดลองตามข้อ 3.3.2.2

3.3.3.3 การศึกษาความสามารถในการเผาไหม้

- ทำการทดลองตามข้อ 3.3.2.3

3.3.4 การศึกษาผลของชนิดสารช่วยคงรูปที่มีต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาและสารช่วยคงรูป

ในหัวข้อนี้เลือกใช้กากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 9 % wt ของของแข็งทั้งหมดเป็นสารยึดและใช้สารช่วยคงรูปคือ มอนต์มอริลโลไนต์ ดินเหนียว ปูนปลาสเตอร์และแกลบ

3.3.4.1 การขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่งโดยใส่ผงถ่านกะลาและสารช่วยคงรูป

1. ผสมสารละลายกากน้ำตาลเข้มข้น 9 % wt ของของแข็งทั้งหมด ปริมาตร 30 ml กับผงถ่านหินแอนทราไซต์ 63.9 g ผงถ่านกะลา 42.6 g และมอนต์มอริลโลไนต์ 30 g

2. ทำการขึ้นรูปตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.3.2.1

3. ทำซ้ำโดยเปลี่ยนชนิดสารช่วยคงรูปจากมอนต์มอริลโลไนต์ เป็นดินเหนียว ปูนปลาสเตอร์ และแกลบตามลำดับ ปริมาณของส่วนผสมที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการอัดแท่งถ่านหินโดยใช้สารช่วยคงรูปต่างชนิดกัน

ชนิดสารช่วยคงรูป	ความเข้มข้นสารละลายกากน้ำตาล (% wt)	น้ำหนักสารช่วยคงรูป (g)	น้ำหนักผงถ่านหินแอนทราไซต์ (g)	น้ำหนักผงถ่านกะลา (g)
มอนต์มอริลโลไนต์	9	30	63.9	42.6
ดินเหนียว	9	30	63.9	42.6
ปูนปลาสเตอร์	9	30	63.9	42.6
แกลบ	9	30	63.9	42.6

3.3.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทดสอบสมบัติความแข็งแรงกดอัดและ % ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D695M [26] ทำการทดลองตามข้อ 3.3.2.2

3.3.4.3 การศึกษาความสามารถในการเผาไหม้

- ทำการทดลองตามข้อ 3.3.2.3

3.3.5 การศึกษาผลของปริมาณสารช่วยคงรูปที่มีต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาและสารช่วยคงรูป

ในหัวข้อนี้เลือกใช้สารละลายกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 9 % wt ของของแข็งทั้งหมดเป็นสารยึด และเลือกมอนต์มอริลโลไนต์เป็นสารช่วยคงรูปถ่านหินอัดแท่ง

3.3.5.1 การขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่งโดยใส่ผงถ่านกะลาและสารช่วยคงรูป

1. ผสมสารละลายกากน้ำตาลเข้มข้น 9 % wt ของของแข็งทั้งหมด ปริมาตร 30 ml กับผงถ่านหินแอนทราไซต์ 63.9 g และผงถ่านกะลา 42.6 g และมอนต์มอริลโลไนต์ 30 g
2. ทำการขึ้นรูปตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.3.2.1
3. ทำซ้ำโดยเปลี่ยนปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ จาก 30 g เป็น 15 และ 10 g ตามลำดับ ปริมาณของส่วนผสมที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการอัดแท่งถ่านหินโดยใช้ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ต่างกัน และใช้กากน้ำตาลเป็นสารยึด

มอนต์มอริลโลไนต์ (g)	ความเข้มข้นสารละลายกากน้ำตาล (% wt)	น้ำหนักผงถ่านหินแอนทราไซต์ (g)	น้ำหนักผงถ่านกะลา (g)
30	9	63.9	42.6
15	9	72.9	48.6
10	9	75.9	50.6

3.3.5.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

- การทดสอบสมบัติความแข็งแรงกดอัดและ % ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D695M [26] ทำการทดลองตามข้อ 3.3.3.1

3.3.5.3 การศึกษาความสามารถในการเผาไหม้

- ทำการทดลองตามข้อ 3.3.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลของชนิดและปริมาณของสารยึดต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ไม่ใส่ผงถ่านกะลา และสารช่วยคงรูป

ในขั้นตอนนี้ใช้สารละลายแป้ง และสารละลายกากน้ำตาลเป็นสารยึด

4.1.1 สมบัติเชิงกลของถ่านหินอัดแท่ง

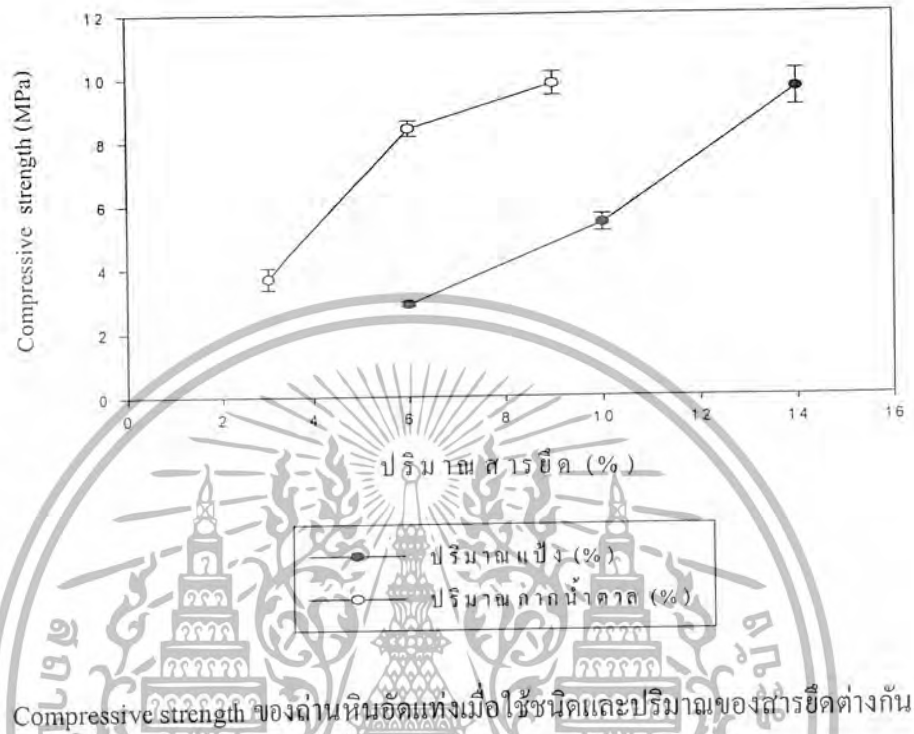
1) ความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength)

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารยึด จะทำให้ค่าความแข็งแรงกดอัดเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากปริมาณสารยึดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการยึดเกาะกันของอนุภาคในแท่งถ่านหินได้มากขึ้น ช่องว่างระหว่างอนุภาคจึงน้อยลง ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทแรงมากขึ้น จึงมีค่าความแข็งแรงกดอัดมากขึ้น โดยเมื่อใช้สารละลายแป้งเป็นสารยึด พบว่าที่ความเข้มข้น 14 % wt ของของแข็งทั้งหมด จะมีค่าความแข็งแรงกดอัดสูงที่สุด และเมื่อใช้สารละลายกากน้ำตาลเป็นสารยึด พบว่าที่ความเข้มข้น 9 % wt ของของแข็งทั้งหมด จะมีค่าความแข็งแรงกดอัดสูงที่สุด เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นเดียวกันพบว่ากากน้ำตาล มีค่าความแข็งแรงกดอัดมากที่สุด เนื่องจากกากน้ำตาลเป็นของเหลวที่มีลักษณะหนืดข้น มีความเหนียว และมีซูโครสเป็นส่วนประกอบหลัก จึงมีความสามารถในการยึดติดระหว่างอนุภาคของถ่านหินได้ดี แป้งมีความเหนียวน้อยกว่ากากน้ำตาล จึงมีค่าความแข็งแรงกดอัดน้อยกว่า ผลการทดสอบแสดงดังกราฟรูปที่ 4.1

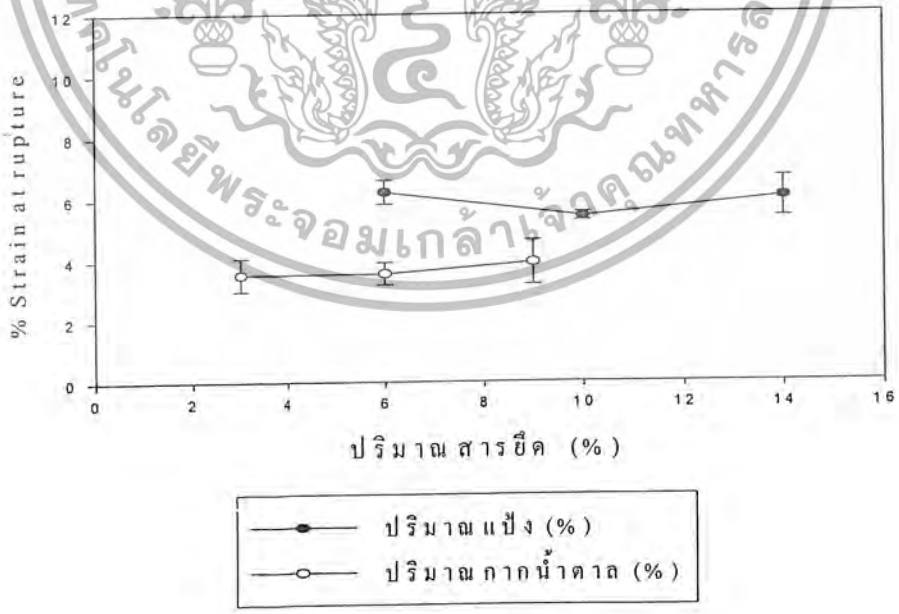
2) ค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ (% Strain at rupture)

จากการทดลองพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพของสารยึดชนิดเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกัน แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณที่ใช้ ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารยึดทำในช่วงที่ไม่กว้างนัก ปริมาณของสารยึดที่เปลี่ยนไปมีสัดส่วนน้อยเมื่อเทียบกับเนื้อถ่านหินทั้งหมด ปริมาณของสารยึดจึงไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ ผลการทดสอบแสดงดังกราฟรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 Compressive strength ของถ่านหินอัดแท่งเมื่อใช้ชนิดและปริมาณของสารยึดต่างกัน



รูปที่ 4.2 % Strain at rupture ของถ่านหินอัดแท่งเมื่อใช้ชนิดและปริมาณของสารยึดต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2. สมบัติการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่ง

จากผลการทดลองเผาถ่านหินอัดแท่งโดยใช้เปลวไฟจากก๊าซอะเซทิลีน พบว่าเมื่อนำเปลวไฟจ่อไปที่ก้อนถ่านในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ถ่านหินอัดแท่งจะสามารถลุกติดไฟได้ แต่เมื่อนำเปลวไฟออกก็จะดับมอดอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เพราะถ่านหินแอนทราไซต์มีอุณหภูมิติดไฟที่สูง เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายนอกของเตาเผาที่ใช้ทดสอบมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในเตามาก อีกทั้งไม่มีสารที่เป็นชนวนช่วยรักษาอุณหภูมิให้ถ่านหินติดไฟได้ต่อไป ถ่านหินอัดแท่งจึงมอดลง

4.1.3 สมบัติทางความร้อนของถ่านหินอัดแท่ง

จากการทดลองหาค่าปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion) พบว่าใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าปริมาณสารยึด (Binder) ไม่มีผลต่อค่าปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion) เนื่องจากมีการใช้ในปริมาณที่น้อย ผลการทดสอบแสดงดังกราฟรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 ค่าความร้อนของถ่านหินอัดแท่งที่มีสารยึดต่างกันโดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของผงถ่านกะลาต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ไม่ใส่สารช่วยคงรูป

ในขั้นตอนนี้ใช้ผงถ่านจากกะลามะพร้าว ในปริมาณตามสัดส่วนดังตารางที่ 3.8 และเลือกสูตรที่มีค่าความแข็งแรงกดอัดใกล้เคียงกัน คือ สารละลายแป้งที่ความเข้มข้น 14 % wt ของของแข็งทั้งหมด และสารละลายกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 9 % wt ของของแข็งทั้งหมด มาทำงานวิจัยต่อไป

4.2.1 สมบัติเชิงกลของถ่านหินอัดแท่ง

1) ความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength)

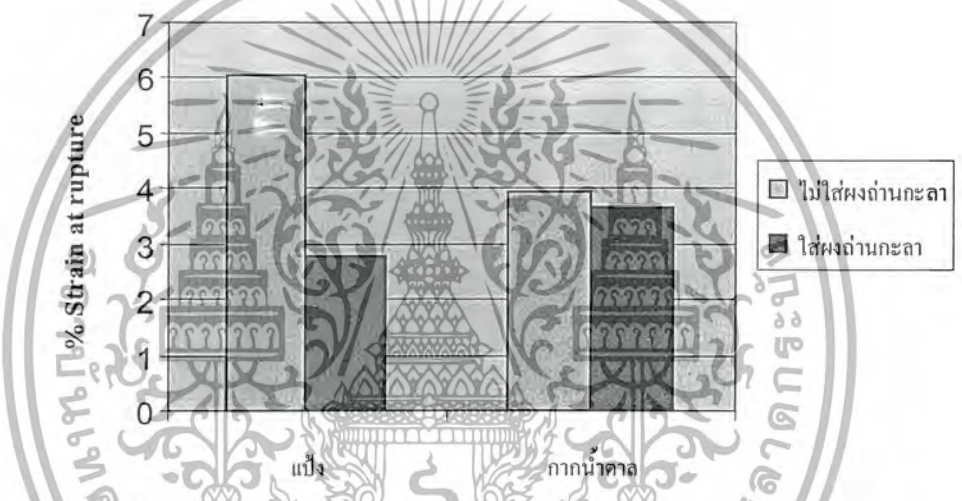
จากการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) ระหว่างถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาและไม่ใส่ผงถ่านกะลา เมื่อใช้ชนิดของสารยึดต่างกันพบว่า ถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาจะมีค่าความแข็งแรงกดอัดต่ำกว่าที่ไม่ใส่ผงถ่านกะลา เนื่องมาจากสมบัติที่แตกต่างกันของผงถ่านหินแอนทราไซต์กับผงถ่านกะลา โดยเมื่อใส่ผงถ่านกะลาลงไปจะทำให้ปริมาณของถ่านหินแอนทราไซต์ลดลง ซึ่งถ่านหินแอนทราไซต์มีความแข็งแรงมากกว่าผงถ่านกะลา จึงทำให้ถ่านหินอัดแท่งที่ได้มีค่าความแข็งแรงกดอัดลดลง ผลการเปรียบเทียบแสดงดังกราฟรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่า Compressive strength ระหว่างถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาและไม่ใส่ผงถ่านกะลา เมื่อใช้ชนิดของสารยึดต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ (% Strain at rupture)

จากการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ (% Strain at rupture) ระหว่างถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาและไม่ใส่ผงถ่านกะลา เมื่อใช้ชนิดของสารยึดต่างกันพบว่า ถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาจะมีเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพต่ำกว่าที่ไม่ใส่ผงถ่านกะลา ซึ่งมีแนวโน้มไปในทางเดียวกับค่าความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) ผลการเปรียบเทียบแสดงดังกราฟรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่า % Strain at rupture ระหว่างถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาและไม่ใส่ผงถ่านกะลา เมื่อใช้ชนิดของสารยึดต่างกัน

4.2.2 สมบัติการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่ง

จากผลการทดลองพบว่าถ่านหินอัดแท่งแต่ละสูตรที่มีการเติมผงถ่านกะลานั้น สามารถลุกติดไฟได้ โดยที่ถ่านหินอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาลเป็นสารยึด มีความสามารถในการเผาไหม้ได้ดีและให้อุณหภูมิคงที่กว่าถ่านหินที่ใช้แป้งเป็นสารยึด เนื่องจากกากน้ำตาลมีความเหนียวกว่าแป้ง สามารถยึดโครงสร้างหลักของถ่านอัดแท่งได้ดีและร่วงช้ากว่าแป้ง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้อย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ส่วนแป้งจะสลายตัวได้เร็วกว่ากากน้ำตาล จึงทำให้ผงถ่านหินร่วงลงยังด้านล่างของเตาเผาเร็วกว่า เป็นสาเหตุให้ถ่านหินแอนทราไซต์บางส่วนที่ยังไม่ติดไฟร่วงลงด้านล่าง ทำให้เมื่อเผาไปแล้วช่วงเวลาหนึ่งอุณหภูมิจึงลดลงอย่างรวดเร็ว และทำให้ระยะเวลาในการเผาไหม้ลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ดีเมื่อเผาไหม้แล้วพบว่าถ่านหินอัดแท่งที่ใช้สารยึดทั้งสองชนิดไม่สามารถคงรูปอยู่ได้ ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้จะเห็นได้ชัดเจนในกรณีที่ใช้แป้งเป็นสารยึด ผลการทดสอบแสดงดังกราฟรูปที่ 4.6 สามารถคำนวณค่าน้ำหนักที่หายไปต่อหนึ่งหน่วยเวลาของถ่านหินอัดแท่งได้โดยใช้สูตร

$$\frac{\text{น้ำหนักถ่านหินอัดแท่งก่อนเผาไหม้ - น้ำหนักถ่านหินอัดแท่งหลังเผาไหม้}}{\text{เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเผาไหม้}}$$

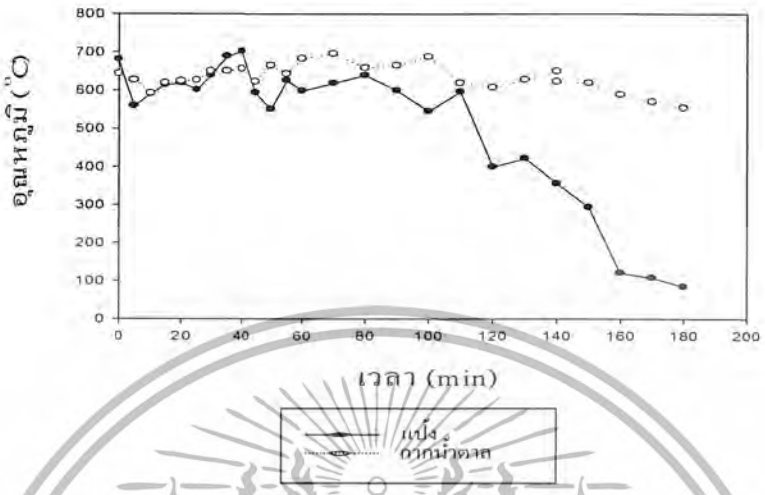
ตารางที่ 4.1 น้ำหนักถ่านหินอัดแท่งก่อนและหลังทดสอบการเผาไหม้เมื่อใช้แป้งและกากน้ำตาลเป็นสารยึด

ชนิดสารยึด	น้ำหนักก่อนเผา (g)	น้ำหนักหลังเผา (g)	อัตราการเผาไหม้ (g/min)
แป้ง	184.7	38.75	0.971
กากน้ำตาล	207.41	32.72	0.811

หมายเหตุ ชั่งน้ำหนักหลังเผาเมื่อเวลาผ่านไป 180 min

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อใช้กากน้ำตาลเป็นสารยึด สามารถคำนวณค่าน้ำหนักที่หายไปต่อหนึ่งหน่วยเวลาได้เท่ากับ 0.971 g/min และเมื่อใช้แป้งเป็นสารยึดคำนวณได้เท่ากับ 0.811 g/min แสดงว่าเมื่อใช้กากน้ำตาลเป็นสารยึดจะมีอัตราการเผาไหม้สูงกว่าการใช้แป้ง แต่จากการทดลองพบว่าช่วงเวลาการเผาไหม้เมื่อใช้แป้งเป็นสารยึดสั้นกว่าการใช้กากน้ำตาลเป็นสารยึด เนื่องจากแป้งจะสลายตัวและทำให้ผงถ่านหินแอนทราไซต์ร่วงเร็วกว่ากากน้ำตาล จึงทำให้มีระยะเวลาในการเผาไหม้สั้นกว่ากากน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาและใช้สารยึดต่างชนิดกัน

4.3 ผลของชนิดของสารช่วยคงรูปต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่ง

ในขั้นตอนนี้ใช้ปริมาณผงถ่านหินแอนทราไซต์ 63.9 g ปริมาณผงถ่านกะลา 42.6 g และเลือกใช้สารละลายกากน้ำตาลความเข้มข้น 9 % wt ของของแข็งทั้งหมดเป็นสารยึด เนื่องจากทำให้แท่งถ่านหินมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด มีความสามารถในการเผาไหม้ได้ดีและอุณหภูมิคงที่ต่อเนื่อง และใช้สารช่วยคงรูปได้แก่ มอนต์มอริลโลไนต์ ดินเหนียว ปูนปลาสเตอร์และแกลบ ในปริมาณ 30 g (20 % wt ของของแข็งทั้งหมด)

4.3.1 สมบัติการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่ง

เมื่อนำถ่านหินอัดแท่งที่เติมสารช่วยคงรูปมาทดสอบสมบัติการเผาไหม้ พบว่าแกลบไม่ช่วยในการคงรูปแท่งถ่านหิน เนื่องจากแกลบไม่สามารถเปลี่ยนเป็นซิลิกาที่ช่วยในการคงรูปได้ ทำให้ไม่สามารถยึดติดอนุภาคของแท่งถ่านหินได้ จึงไม่นำแกลบมาใช้เป็นสารช่วยคงรูปในการศึกษาสมบัติอื่นๆ

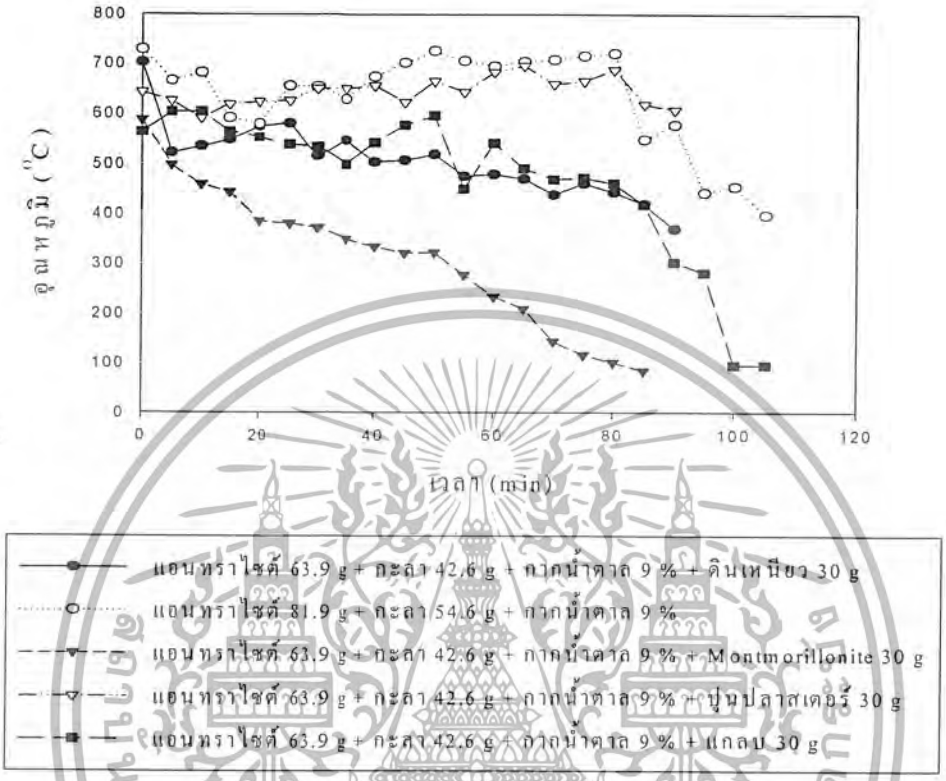
เมื่อใช้ปูนปลาสเตอร์เป็นสารช่วยคงรูป พบว่าอุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าสูงและต่อเนื่องกว่าสารช่วยคงรูปชนิดอื่น ทั้งนี้เนื่องจากไม่เกิดการหลุดร่อนของถ่านหินระหว่างการเผาไหม้และปูนปลาสเตอร์ก็ยังมีลักษณะโครงสร้างที่มีรูพรุนมาก ทำให้เกิดการถ่ายเทและกระจายความร้อนได้ดีอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์ และดินเหนียวเป็นสารช่วยคงรูป พบว่าให้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต่ำกว่า และระยะเวลาการเผาไหม้ที่สั้นกว่าเมื่อใช้ปูนปลาสเตอร์ ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุมาจากโมเลกุลน้ำที่ถูกกักอยู่ภายในโครงสร้าง (Bound water) ของมอนต์มอริลโลไนต์ และดินเหนียว หลังจากขั้นตอนการขึ้นรูป มีปริมาณมากกว่าปูนปลาสเตอร์ ทำให้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สูญเสียไปกับการระเหยน้ำเหล่านี้ และอาจเนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์ และดินเหนียว เป็นสารช่วยคงรูปที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่าปูนปลาสเตอร์ จึงสามารถหุ้มผงถ่านหินแอนทราไซต์บางส่วนไว้ได้มากกว่า ทำให้สัมผัสกับไฟได้น้อยลง จนเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นอุณหภูมิการเผาไหม้จึงต่ำลงด้วย

ดังนั้นการใช้ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ และดินเหนียวที่ลดลงจากเดิมในการขึ้นรูปถ่านหินอัดแห่งอาจจะช่วยลดปัญหาข้อนี้ได้ นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้ดินเหนียวจะให้อุณหภูมิในการเผาไหม้สูงกว่าการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าขนาดอนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์มีขนาดเล็กและละเอียดกว่าดินเหนียว จึงห่อหุ้มผงถ่านหินแอนทราไซต์ไว้ได้มากกว่า จึงมีถ่านหินบางส่วนที่ไม่ได้สัมผัสกับความร้อน ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จึงมีอุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำกว่า และในดินเหนียวมีปริมาณของน้ำที่ถูกกักในโครงสร้าง (Bound water) อยู่น้อยกว่า จึงทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยน้ำน้อยกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ อีกทั้งในดินเหนียวยังมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มากกว่าทำให้เกิดช่องว่างมากขึ้น โอกาสสัมผัสกับอากาศมากขึ้น จึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ ผลการทดสอบแสดงดังกราฟรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาและใช้สารช่วยคงรูปต่างชนิดกัน

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักถ่านหินอัดแท่งก่อนและหลังทดสอบการเผาไหม้เมื่อใช้สารช่วยคงรูปต่างชนิดกัน

ชนิดสารช่วยคงรูป	น้ำหนักก่อนเผา (g)	น้ำหนักหลังเผา (g)	อัตราการเผาไหม้ (g/min)
แกลบ	175.55	32.74	0.793
มอนต์มอริลโลไนต์	267.19	130.68	0.726
ดินเหนียว	238.17	95.22	0.794
ปูนปลาสเตอร์	237.78	71.65	0.923

หมายเหตุ ชั่งน้ำหนักหลังเผาเมื่อเวลาผ่านไป 180 min

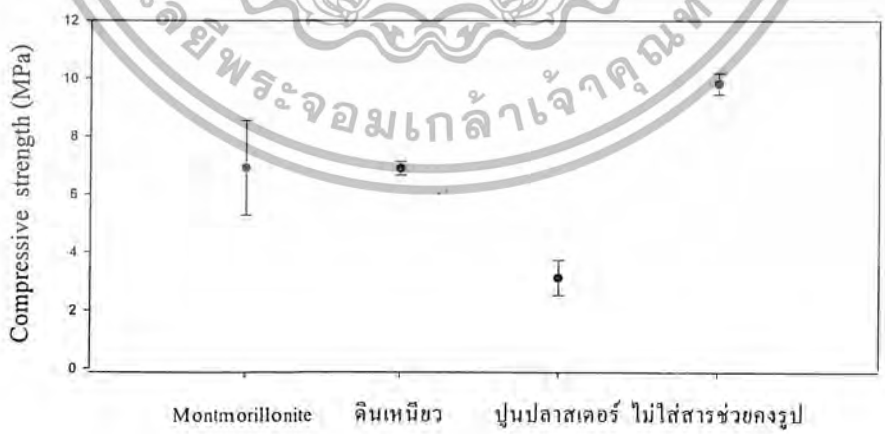
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 คำนวณหาค่าน้ำหนักที่หายไปต่อหนึ่งหน่วยเวลา เมื่อใช้แกลบ มอนต์มอริลโลไนต์ ดินเหนียวและปูนปลาสเตอร์เป็นสารช่วยคงรูป ได้เท่ากับ 0.793 0.726 0.794 และ 0.923 g/min ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อใช้ปูนปลาสเตอร์เป็นสารช่วยคงรูป จะมีอัตราการเผาไหม้สูงกว่าการใช้สารช่วยคงรูปชนิดอื่น

4.3.2 สมบัติเชิงกลของถ่านหินอัดแท่ง

1) ความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength)

การทดสอบจะทำกับสารช่วยคงรูปทุกตัวยกเว้นแกลบ โดยพบว่าเมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์เป็นสารช่วยคงรูป จะได้ค่าความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) สูงที่สุด เนื่องจากเม็ดผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์มีความละเอียดมาก โครงสร้างผลึกแตะกันแบบหลวมๆ ทำให้ผสมเข้ากับอนุภาคของของแข็งในแท่งถ่านหินได้ดี มีความหนาแน่นมาก ค่าความแข็งแรงกดอัดจึงสูง ส่วนดินเหนียวมีโครงสร้างบางส่วนเป็นมอนต์มอริลโลไนต์ จึงทำให้ค่าความแข็งแรงกดอัดใกล้เคียงกับมอนต์มอริลโลไนต์ และปูนปลาสเตอร์นั้นมีองค์ประกอบหลักคือ แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต ซึ่งมีผลึกค่อนข้างใหญ่ รูปร่างไม่เป็นระเบียบและมีรูพรุนมาก ทำให้มีความแข็งแรงน้อย ค่าความแข็งแรงกดอัดจึงต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมสารช่วยคงรูปจะทำให้ค่าความแข็งแรงกดอัดลดลง เนื่องจากถ่านหินแอนทราไซต์มีความแข็งแรงมาก เมื่อเติมสารช่วยคงรูปซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่า จึงทำให้ปริมาณถ่านหินแอนทราไซต์ลดลง ดังนั้นความแข็งแรงจึงลดลงด้วย ผลการทดสอบแสดงดังกราฟรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ค่า Compressive strength ของถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาโดยเปลี่ยนชนิดสารช่วยคงรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ (% Strain at rupture)

การทดสอบจะทำกับสารช่วยคงรูปทุกตัวยกเว้นแกลบ โดยพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ (% Strain at rupture) ของมอนต์มอริลโลไนต์ และดินเหนียวมีค่าต่ำและใกล้เคียงกัน เนื่องจากเม็ดของผลึกมีความละเอียดมาก ทำให้มีความหนาแน่นสูง จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดเพียงเล็กน้อยเมื่อทำการกดอัด ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพมีค่าต่ำ ส่วนปูนปลาสเตอร์มีผลึกค่อนข้างใหญ่ รูปร่างไม่เป็นระเบียบและมีรูพรุนมาก จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดได้มากเมื่อทำการกดอัด ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพมีค่าสูง นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมสารช่วยคงรูปจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมสารช่วยคงรูปที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าเข้าไปแทนที่ถ่านหินแอนทราไซต์ จะทำให้ความแข็งแรงโดยรวมลดลง ซึ่งเมื่อทำการกดอัดจะทำให้เกิดการยุบตัวลงไปมาก จึงทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพสูงขึ้น ผลการทดสอบแสดงดังกราฟรูปที่ 4.9

รูปที่ 4.9 % Strain at rupture ของถ่านหินอัดแท่งที่ใส่ผงถ่านกะลาโดยเปลี่ยนชนิดของสารช่วยคงรูป

4.4 ผลของปริมาณสารช่วยคงรูปต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่ง

ในขั้นตอนนี้ใช้สารละลายกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 9 % wt ของของแข็งทั้งหมด เป็นสารยึดโดยเลือกใช้มอนต์มอริลโลไนต์ เป็นสารช่วยคงรูป เนื่องจากถ่านหินอัดแท่งที่มีมอนต์มอริลโลไนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นส่วนประกอบจะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่า ถึงแม้จะให้ค่าความร้อนในการเผาไหม้ที่ต่ำกว่าสารช่วยคงรูปชนิดอื่นๆ แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่เป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีอยู่ปริมาณมากและขนาดอนุภาคที่ละเอียด จึงทำให้ห่อหุ้มอนุภาคถ่านหินแอนทราไซต์บางส่วนไว้ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเผาไหม้ จึงได้มีการศึกษาโดยลดปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีอยู่ในถ่านหินอัดแท่งลง

4.4.1 สมบัติเชิงกลของถ่านหินอัดแท่ง

1) ความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength)

จากการทดลองพบว่าค่าความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ให้มากขึ้น แต่ถ้าใส่ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์มากเกินกว่าระดับหนึ่งจะทำให้ค่าความแข็งแรงกดอัดสดต่ำลง เนื่องจากการใส่สัดส่วนของมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น จะทำให้สัดส่วนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ลดลงนั่นเอง จึงเลือกใช้มอนต์มอริลโลไนต์ในปริมาณ 15 g เนื่องจากเป็นปริมาณที่ทำให้เกิดการผสมและยึดเกาะกันได้ดี และมีค่าความแข็งแรงกดอัดที่สูง ผลการทดสอบแสดงดังกราฟรูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10 ค่า Compressive strength ของถ่านหินอัดแท่งกับปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ (% Strain at rupture)

จากการทดลองพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ (% Strain at rupture) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์มากขึ้น ซึ่งที่ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ 15 และ 30 g มีค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้มอนต์มอริลโลไนต์ 15 g เนื่องจากมีค่าความแข็งแรงกดอัดที่สูงกว่า ผลการทดสอบแสดงดังกราฟรูปที่ 4.11

รูปที่ 4.11 % Strain at rupture ของถ่านหินอัดแท่งกับปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์

4.4.2 สมบัติการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่ง

จากการทดลองพบว่าในสูตรที่ใช้มอนต์มอริลโลไนต์ 10 g ให้ความร้อนสูงและอุณหภูมิคงที่ต่อเนื่องมากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณสารอนินทรีย์ (Inorganics) ที่พอเหมาะต่อการยึดเกาะให้คงรูป ทำให้ไม่เกิดการหลุดร่อนของถ่านหินอัดแท่ง เกิดการถ่ายเทและกระจายความร้อนได้ดี จึงมีค่าอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงที่สุด ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.12

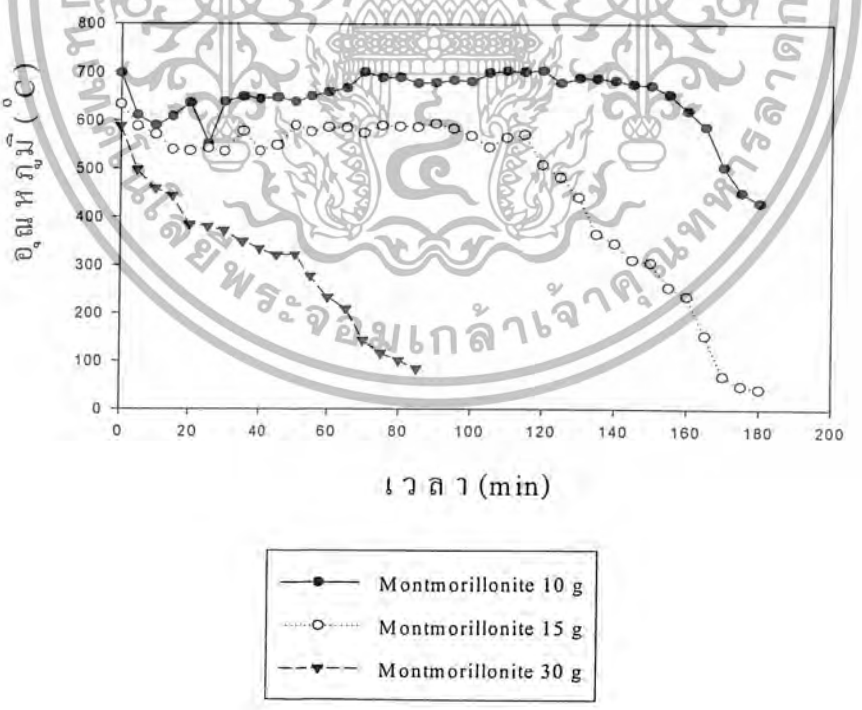
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักถ่านหินอัดแท่งก่อนและหลังทดสอบการเผาไหม้เมื่อใช้ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ต่างกัน

ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ (g)	น้ำหนักก่อนเผา (g)	น้ำหนักหลังเผา (g)	อัตราการเผาไหม้ (g/min)
10	239.67	45.77	1.077
15	235.20	55.53	0.998
30	267.19	130.68	0.726

หมายเหตุ ชั่งน้ำหนักหลังเผาเมื่อเวลาผ่านไป 180 min

จากตารางที่ 4.3 สามารถคำนวณค่าน้ำหนักที่หายไปต่อหนึ่งหน่วยเวลาของถ่านหินอัดแท่งสูตรที่ใช้มอนต์มอริลโลไนต์ 10 15 และ 30 g เป็นสารช่วยคงรูป ได้เท่ากับ 1.077 0.998 และ 0.726 g/min ตามลำดับ แสดงว่าสูตรที่ใช้มอนต์มอริลโลไนต์ 10 g มีอัตราการเผาไหม้ดีที่สุด



รูปที่ 4.12 การเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่งโดยใช้มอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารยึดที่เหมาะสม

จากการศึกษาผลของการใช้สารยึดต่างชนิดในการเตรียมถ่านหินอัดแท่ง ได้แก่ สารละลายแป้งและสารละลายกากน้ำตาล พบว่าชนิดของสารยึดที่เหมาะสม คือ กากน้ำตาล เนื่องจากกากน้ำตาลเป็นของเหลวที่มีลักษณะหนืดข้น มีความเหนียว จึงสามารถยึดโครงสร้างหลักของแท่งถ่านหินได้ดีกว่า ทำให้ช่วยถ่ายเทแรงที่ได้รับมาได้ดีจึงมีความแข็งแรงมาก และเกิดการกระจายความร้อนได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ มีอัตราการเผาไหม้สูงกว่าแป้ง ทำให้สมบัติเชิงกลและสมบัติการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาลเป็นสารยึดดีกว่าเมื่อใช้สารละลายแป้งเป็นสารยึด

และเมื่อศึกษาผลของปริมาณของกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 3 6 และ 9 % wt ของของแข็งทั้งหมด พบว่าปริมาณที่เหมาะสม คือ กากน้ำตาลเข้มข้น 9 % wt ของของแข็งทั้งหมด เนื่องจากเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สามารถขึ้นรูปถ่านหินและยึดโครงสร้างหลักของถ่านหินได้ดี โดยดูจากสมบัติด้านความแข็งแรงกดอัด (Compressive Strength) ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับกากน้ำตาลที่ความเข้มข้นอื่นๆ

5.1.2 การศึกษาชนิดและปริมาณสารช่วยคงรูปที่เหมาะสม

จากการศึกษาผลของการใช้สารช่วยคงรูปต่างชนิดในการเตรียมถ่านหินอัดแท่ง ได้แก่ มอนต์มอริลโลไนต์ ดินเหนียว ปูนปลาสเตอร์และแกลบ พบว่าชนิดของสารช่วยคงรูปที่เหมาะสม คือ มอนต์มอริลโลไนต์ เนื่องจากโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์สามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างหลักของถ่านหินและช่วยยึดเหนี่ยวอนุภาคของแท่งถ่านหินได้ดี ทำให้ค่าความแข็งแรงกดอัดสูงและช่วยให้ถ่านหินคงรูปอยู่ได้หลังการเผาไหม้

และเมื่อศึกษาผลของปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ที่ช่วยในการคงรูปจำนวน 10 15 และ 30 g พบว่าปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ที่เหมาะสม คือ 15 g (คิดเป็น 10% wt ของของแข็งทั้งหมด) โดยพบว่าจะให้ค่าความแข็งแรงกดอัดและค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดเสียสภาพ (% strain at rupture) ที่สูง ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้งานที่ทนต่อแรงกระแทก สะดวกต่อการใช้งานและการขนส่ง เมื่อพิจารณาความสามารถในการเผาไหม้จะพบว่า มอนต์มอริลโลไนต์ 10 และ 15 g (คิดเป็น 7% และ10% wt ของของแข็งทั้งหมด) ให้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงใกล้เคียงกันแต่มอนต์มอริลโลไนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 g จะให้ความร้อนที่ต่อเนื่องและยาวนานกว่า ดังนั้นการเลือกใช้ปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์เพื่อช่วยในการคงรูป จะต้องคำนึงถึงความต้องการและลักษณะการนำไปใช้งานด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่ง ซึ่งจะนำผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหลือใช้จากการคัดแยกมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยนำผงถ่านหินแอนทราไซต์มาผสมกับสารยึด (Binder) ผงถ่าน และสารช่วยคงรูป เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมต่างๆ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วอาจทำการศึกษางานวิจัยอื่นๆ เพื่อพัฒนาปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของถ่านหินอัดแท่ง ดังต่อไปนี้

- ศึกษาปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการขึ้นรูปที่มีผลต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่ง เช่น ความดันที่ใช้อัดขึ้นรูป
- พัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นกระบวนการต่อเนื่อง (Continuous process) เพื่อเพิ่มอัตราการผลิต เช่น กระบวนการอัดรีด (Extrusion) กระบวนการใช้ความดันช่วยในการขึ้นรูป เป็นต้น
- ศึกษาชนิดของสารตัวเติม ที่มีผลต่อกระบวนการขึ้นรูปและสมบัติต่างๆ ของถ่านหินอัดแท่ง เช่น สมบัติที่ช่วยในการติดไฟและสมบัติทางความร้อน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. คมสรรค์ จันต๊ะยอด คุณาวรรณ อารยะนรากูล และอรกานต์ รุ่งพิบูลโสภิษฐ์. 2545. **เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์**. โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. BP Statistical Review of World Energy. 2003. **China's Energy Market**. [Online]. Available: http://wci.rmid.co.uk/uploads/ECOALJune.pdf.
3. สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. 2543. **นโยบายการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า**. [Online]. Available: http://www.eppo.go.th/vrs/VRS48-01-coal.html.
4. Michiaki, H. 2528. ความสำคัญของเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด. ใน **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ เรื่อง อุตสาหกรรมถ่านหินลิกไนต์ในประเทศไทย**, หน้า 5-14. กรุงเทพฯ: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
5. สำนักงานพลังงานแห่งชาติ. 2527. **เชื้อเพลิงและพลังงานประเทศ**. หน้า 7–20. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน.
6. Perry, R. and Chilton, C. 1974. **Chemical Engineers' Handbook**. 5 th ed. Mcgraw-Hill.
7. ไพโรจน์ อนุพันธนันธ์. 2544. การใช้ประโยชน์จากถ่านหินอัดแท่งของเหมืองแม่เมาะ. ใน **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ เรื่องเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด**, หน้า 1-7. กรุงเทพฯ: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
8. ฐิติพงศ์ กรประภากุล และนิลเนตร แซ่อึ้ง. 2540. **การผลิตเชื้อเพลิงอัดก้อนจากทะลายปาล์มน้ำมัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
9. กล้าณรงค์ ศรีรอด, เทคโนโลยีของแป้ง, (2543), สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 2
10. National Starch and Chemical Company. 2004. **Starch Structure.** [Online]. Available: http://www.eco-foam.com/structure.asp.
11. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่ม 5. 2540. **อ้อย**. [Online]. Available: http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK5/chapter3/t5-3-l4.htm#sect4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. FAO Technical Papers. 1985. **Modern carbonizing retort systems.** [Online]. Available: http://www.fao.org/docrep/x5555e/x5555e04.htm.

13. เอิบ เขียวรื่นรมณ์, **การสำรวจดิน,** (2542) ,สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

14. กฤษณ์ เรืองธรรม. 2544. **การศึกษาไคโตซานนาโนคอมโพสิตชนิดใหม่.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

15. C.T.Kang. 1996. **Properties & Applications of silica Powers.** [Online]. Available: http://www.concentric.net/~ctkang/sio2.shtml.

16. อัญชุลี สุทธิประการ, แร่ในดิน, (2534), สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

17. รักชนก พรวัฒก และวิภา อภิบาลธรรม. 2531. **การศึกษาสภาวะการเตรียมปูนปลาสเตอร์.** โครงงานพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

18. Araki, E. Sakai, T. Takai, S. and Komori, S. 1978. Process for preparing coal Briquettes for coke and apparatus for the process. **United State Patent**. 4,093,425.

19. Franke, E. Wenzel, W. Meraikib, M. and Berkenkamp, H. 1976. Process for the manufacture of brown coal briquettes. **United State Patent**. 3,980,447.

20. Yildirim, H. and Ozbayoglu, G. 1997. Production of ammonium nitrohumate from Elbistan -lignite and its use as a coal binder. **Fuel**. 76(5): 385-389.

21. 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.

22. วีระสักร แดงประเสริฐ. 2524. แท่งเชื้อเพลิงเศรษฐกิจ. ใน **เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาทางวิชาการเรื่อง เตาเศรษฐกิจและเชื้อเพลิงถ่าน**, หน้า 46-51. กรุงเทพฯ: องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้.

23. กัญจนา บุณยเกียรติ. 2524. ถ่านจากขี้เลื่อย. ใน **เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาทางวิชาการเรื่อง เตาเศรษฐกิจและเชื้อเพลิงถ่าน**, หน้า 41-45. กรุงเทพฯ: องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. สมศักดิ์ โพธิ์ถวิลเกียรติ์. 2545. **อิทธิพลของขนาดของแกลบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

25. บุญมาก รุ่งเรือง. 2541. **การศึกษาส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าแกลบเพื่อใช้เป็นวัสดุประสาน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

26. American Society for Testing and Materials, Philadelphia (1991): 204-209.

27. Annual Book of ASTM. 05.05 (1992):256-263.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้