สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ถ่านอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดรีด

นางสาวชุตินันท์ วิศวกิตติ
นางสาวปาริชาติ กิจส่งเสริมธน
นางสาวพิมพ์อร รุจิธนโรจน์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....62143
วัน,เดือน,ปี.....31 ก.ค. 2549

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coal Briquettes from Ground Anthracite by Extrusion Technique

Miss Chootinan Wisawakitti
Miss Parichart Kitsongsermthon
Miss Pim-on Rujitanaroj

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
2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษเรื่อง ถ่านอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดรีด

นักศึกษา	นางสาวชุตินันท์	วิศวกิตติ	รหัสประจำตัว 44050078
	นางสาวปาริชาติ	กิจส่งเสริมธน	รหัสประจำตัว 44050100
	นางสาวพิมพ์อร	รุจิธนโรจน์	รหัสประจำตัว 44050107
ภาควิชา	เคมี		
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2547		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล	แจ้งชัด	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.วันฉัตร	ชื่นชม	
	ดร.ฐานิตย์	เมธิยานนท์	

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย	.....
กรรมการ	ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร	.....
กรรมการ	คุณ ชวธร หนูใจคง	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ ถ่านอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดรีด

นักศึกษา นางสาวชุตินันท์ วิศวกิตติ รหัสประจำตัว 44050078
นางสาวปาริชาติ กิจส่งเสริมธน รหัสประจำตัว 44050100
นางสาวพิมพ์อร รุจิธนโรจน์ รหัสประจำตัว 44050107

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2547

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม
ดร.ฐานิตย์ เมธิยานนท์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Briquettes) จากผงถ่านหินแอนทราไซต์โดยใช้เทคนิคการอัดรีด ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous process) และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริงในอุตสาหกรรม การผลิตถ่านหินอัดแท่งทำโดยนำผงถ่านหินแอนทราไซต์ผสมกับผงถ่านกะลาในอัตราส่วน 60 : 40, 80 : 20 และ 90 :10 โดยใช้กากน้ำตาลเป็นสารยึด ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของกากน้ำตาลที่ใช้ คือ 9, 12 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของของแข็งทั้งหมด แล้วอัดให้เป็นแท่งด้วยกระบวนการอัดรีด โดยสกรูที่ใช้ในเครื่องอัดรีดมีลักษณะแบบเกลียวเรียว อัตราส่วนความยาวของสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกคือ 75 ต่อ 5 เซนติเมตร สภาวะที่ใช้ในการผลิตคือ ความเร็วรอบเท่ากับ 400 รอบต่อนาที กำลังมอเตอร์ 10 แรงม้า ซึ่งเมื่ออัดเป็นแท่งแล้ว จะได้ถ่านหินอัดแท่งที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในเท่ากับ 50 และ 12 มิลลิเมตรตามลำดับ จากนั้นนำถ่านหินอัดแท่งที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักของถ่านหินอัดแท่งคงที่ แล้วจึงนำถ่านหินอัดแท่งไปทดสอบสมบัติต่างๆได้แก่ ความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) สมบัติการเผาไหม้ (Combustion property) และความหนาแน่น (Density) รวมถึงได้มีการศึกษาอัตราการผลิตและค่าใช้จ่ายต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิต จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเป็น 90:10 จะให้ถ่านหินอัดแท่งที่มีค่าความแข็งแรงกดอัดสูงที่สุดคือ 3.674 เมกกะปาสคาล ระยะเวลาในการเผาไหม้นานที่สุดคือประมาณ 7 ชั่วโมง และอุณหภูมิขณะเผาไหม้สูงสุดที่วัดได้คือ 831 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส อีกทั้งยังมีต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุดคิดเป็นมูลค่าคือ 6.34 บาทต่อกิโลกรัม และจากการศึกษาผลของปริมาณกากน้ำตาล พบว่า ปริมาณที่เหมาะสม คือ กากน้ำตาล 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของของแข็งทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Coal Briquettes from Ground Anthracite by Extrusion Technique	
Name	Miss Chootinan Wisawakitti	Code 44050078
	Miss Parichart Kitsongsermthon	Code 44050100
	Miss Pim-on Rujitanaroj	Code 44050107
Department	Chemistry	
Program	Industrial Chemistry	
Academic Year	2004	
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Ittipol Jangchud	
Special Project Co-Advisors	Asst.Prof.Dr.Vanchat Chuenchom	
	Dr.Thanid Madhiyanon	

ABSTRACT

This research involved the preparation and properties of coal briquettes made from waste ground anthracite from coal separation process by using extrusion technique. This process is a continuous process in which constituents were compressed into briquettes and dried for convenience use for industrial applications. The preparation of the briquettes was carried out by mixing ground anthracite with ground charcoal in the ratios of 60 : 40, 80 : 20 and 90 : 10. Molass was used as a binder with concentrations of 9, 12, and 15 % by weight of total solid content. The screw was a taple type with a length and outside diameter ratio of 75:5. The screw speed was 400 rpm with 10 horse power. The briquettes were shaped into a hollow cylinder with outside diameter of 50 mm and inside diameter of 12 mm. The briquettes were dried in a hot-air oven at 110 °C. Properties of coal briquettes were tested including compressive strength, combustion property and density. The production rate and cost were also calculated. It was found that a suitable ratio of ground anthracite to ground charcoal was 90 : 10 which gave the highest compressive strength of 3.674 MPa, longest burning time about 7 hours, highest burning temperature of 831 °C and minimum cost of 6.34 baht/kg. It was also found that a suitable amount of binder was 15 % by weight of total solid content for the briquettes with maximum compressive strength.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากท่านคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่หลายฝ่ายที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินงานวิจัยของโครงงานพิเศษนี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือดังมีรายนามต่อไปนี้

รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนการแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัยตลอดมา รวมทั้งช่วยติดต่อประสานงานด้านต่างๆ โดยตลอด

ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม ที่กรุณาให้คำปรึกษา ตรวจทาน และแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้สมบูรณ์ถูกต้องยิ่งขึ้น รวมทั้งให้กำลังใจและรอยยิ้มมาโดยตลอด

ดร.ฐานิตย์ เมธิยานนท์ ที่กรุณาให้ความเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในโครงงานพิเศษ รวมถึงให้คำปรึกษาและแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด

อาจารย์ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและประสานงาน

คุณชวธร หนูใจคง และบริษัท V.S. Coal Dust Industry จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

คุณณัฐวุฒิ กิจชลวิวัฒน์ (พี่เบิร์ธ) ที่ช่วยประสานงานในเรื่องวัตถุดิบ และเครื่องมือกับทางบริษัท V.S. Coal Dust Industry จำกัด

คุณวีระ สุขประเสริฐ จากกองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องบดย่อยวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย และผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร ที่ให้เกียรติเป็นประธานและกรรมการในการสอบโครงงานพิเศษ ตลอดจนคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในด้านต่างๆ จนทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงมาด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนการทำงานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงเพื่อนๆ นักศึกษาจากภาควิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ประจำปีการศึกษา 2547 ซึ่งได้ช่วยเหลือและเก็บข้อมูลระหว่างการทำงานวิจัยมาตลอด

นางสาวชุตินันท์ วิศวกิตติ
นางสาวปาริชาติ กิจส่งเสริมธน
นางสาวพิมพ์อร รุจิธนโรจน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค

กิตติกรรมประกาศ ง

สารบัญ จ

สารบัญรูป ซ

สารบัญตาราง ญ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงงานพิเศษ 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ถ่านหิน (Coal) 4

2.1.1 การวิเคราะห์ถ่านหิน (Analysis of coals) 5

2.1.2 ประเภทของถ่านหิน 5

2.1.3 ประโยชน์ของถ่านหิน 6

2.1.4 กระบวนการแปรรูปถ่านหิน 7

2.1.5 การคาร์โบไนซ์ถ่านหิน (Carbonization of coal) 7

2.2 ถ่านแอนทราไซต์ (Anthracite) 9

2.3 ตัวประสาน (Binder) 10

2.3.1 กากน้ำตาลหรือโมลาส (Molasses) 10

2.4 ผงถ่าน (Charcoal) 11

2.5 เครื่องมือการอัดรีด 12

2.5.1 หลักการอัดรีด (Extrusion) 12

2.5.2 ช่วงการป้อนวัตถุดิบและการลำเลียง (Feed section) 13

2.5.2.1 องค์ประกอบสำคัญของเกลียวลำเลียง 14

2.5.2.2 ชนิดของเกลียวลำเลียง 14

2.5.3 ช่วงการอัดตัว (Compression section) 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่ง (Physical properties of briquette) 16
2.6.1 การต้านทานแรงกด (Compressive strength) 16
2.6.2 กลไกการเผาไหม้ 17
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย
3.1 วัตถุดิบ 26
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ 26
3.3 ขั้นตอนการวิจัย 31
3.3.1 การกระจายตัวของอนุภาค (Distribution) 32
3.3.2 การหาปริมาณน้ำในกากน้ำตาล 33
3.3.3 การผสมวัตถุดิบ 33
3.3.4 กระบวนการขึ้นรูป 34
3.3.5 อัตราการอบแห้ง 35
3.3.6 การทดสอบสมบัติต่างๆ ของถ่านหินอัดแท่ง 35
3.3.6.1 การทดสอบความหนาแน่น (Density) 36
3.3.6.2 สมบัติการเผาไหม้ 36
3.3.6.3 การทดสอบหาค่าปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion) โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ตามมาตรฐาน ASTM 2015 36
3.3.6.4 ความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) 38
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล
4.1 ผลของการกระจายตัวของอนุภาค 40
4.1.1 ผงถ่านหินแอนทราไซต์ 40
4.1.2 ผงถ่านจากกะลามะพร้าว 42
4.2 เวลาการอบแห้งของถ่านหินอัดแท่ง 44
4.3 ความหนาแน่น (Density) 46
4.4 สมบัติการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่ง 47
4.5 ลักษณะทางกายภาพเมื่อผ่านการเผาไหม้ 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6 สมบัติทางความร้อนของถ่านหินอัดแท่ง 50
4.7 สมบัติเชิงกลของถ่านหินอัดแท่ง 51
4.8 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงกดอัดเมื่อทำการเปลี่ยนอัตราส่วนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านจากกะลามะพร้าว 53
4.9 การเปรียบเทียบปริมาณการผลิตถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาที่อัตราส่วนต่างๆ 54
4.10 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตและสมบัติถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาที่อัตราส่วนต่างๆ 55
4.11 ตารางเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด (ต่อ 1 ชั่วโมง) กับค่าความแข็งแรงสูงที่สุด 56
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการวิจัย 58
5.1.1 การศึกษากระบวนการขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่งด้วยเทคนิคการอัดรีด 58
5.1.2 การศึกษาอัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาที่เหมาะสม 58
5.1.3 การศึกษาปริมาณของสารยึดที่เหมาะสม 58
5.2 ข้อเสนอแนะ 58
เอกสารอ้างอิง 60
ภาคผนวก ก รูปแบบและขนาดของเครื่องอัดรีด 62
ภาคผนวก ข การคำนวณค่าใช้จ่ายของต้นทุนประเภทต่างๆ 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 รูปถ่ายตัวอย่างถ่านหินอัดแท่ง 3
รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในของเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว 12
รูปที่ 2.2 โครงสร้างและการแบ่งช่วงการทำงานภายในสกรู 13
รูปที่ 2.3 ลักษณะเกลียวป้อน a) เกลียวมาตรฐาน b) เกลียวเรียว 15
รูปที่ 2.4 ลักษณะของเครื่องทดสอบ UTM (Universal testing machine) 17
รูปที่ 2.5 การกระจายของอุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซของถ่านพรุนขณะเกิดการเผาไหม้ 19
รูปที่ 2.6 การกระจายของออกซิเจนในรูปความดันย่อยขณะเกิดการเผาไหม้ในแบบต่างๆ 20
รูปที่ 2.7 ถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวในงานวิจัยของวิทูรย์ บุญยะเกตุ 22
รูปที่ 2.8 ถ่านหินอัดแท่งในงานวิจัยของวรวรรณ พฤกษะวัน 23
รูปที่ 2.9 ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งบรรจุถุงจำหน่ายในงานวิจัย ของ ปิยะนุช นาคะ 24
รูปที่ 2.10 กระบวนการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินใน Patent US. 3,980,447 25
รูปที่ 3.1 ลักษณะของเครื่องอัดรีด 27
รูปที่ 3.2 ลักษณะของสกรูที่ใช้ในเครื่องอัดรีด 27
รูปที่ 3.3 ลักษณะของหัวดายที่ใช้ในเครื่องอัดรีด 27
รูปที่ 3.4 ลักษณะของเครื่องผสมปั่นกวนเชิงกล 28
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส รุ่น Raynger® MX บริษัท Raytex 28
รูปที่ 3.6 เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ รุ่น A007303 บริษัท Callenkamp 29
รูปที่ 3.7 เครื่องบดย่อยวัสดุ จากกองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 29
รูปที่ 3.8 เตาเผาทดสอบถ่านหิน 30
รูปที่ 3.9 แผนผังขั้นตอนการวิจัย 31
รูปที่ 3.10 เครื่อง Sieve analyzer 32
รูปที่ 3.11 ลักษณะของผงถ่านกะลาที่ผ่านการบด 33
รูปที่ 3.12 ถ่านหินอัดแท่งที่ได้จากเครื่องอัดรีด 35
รูปที่ 3.13 ลักษณะของถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้ 35
รูปที่ 3.14 ลักษณะตัวอย่างถ่านหินอัดแท่งที่ใช้ก่อนการทดสอบ 38
รูปที่ 3.15 ลักษณะตัวอย่างถ่านหินอัดแท่งที่ใช้หลังการทดสอบ 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของอนุภาคผงถ่านหินแอนทราไซต์ (ครั้งที่ 1) 40
รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของอนุภาคผงถ่านหินแอนทราไซต์ (ครั้งที่ 2) 41
รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของอนุภาคผงถ่านหินแอนทราไซต์ (ครั้งที่ 3) 41
รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของอนุภาคผงถ่านหินแอนทราไซต์ (ครั้งที่ 4) 42
รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของอนุภาคผงถ่านกะลา (ครั้งที่ 1) 43
รูปที่ 4.6 การกระจายตัวของอนุภาคผงถ่านกะลา (ครั้งที่ 2) 43
รูปที่ 4.7 เวลาการอบแห้งเมื่อใช้สารละลายกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 9 % wt ของของแข็งทั้งหมด 44
รูปที่ 4.8 เวลาการอบแห้งเมื่อใช้สารละลายกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 12 % wt ของของแข็งทั้งหมด 45
รูปที่ 4.9 เวลาการอบแห้งเมื่อใช้สารละลายกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15 % wt ของของแข็งทั้งหมด 45
รูปที่ 4.10 การเผาไหม้ที่อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาต่างๆกัน 47
รูปที่ 4.11 ลักษณะของเตาเผา a) เตาเผาที่ใช้ในปีการศึกษา 2546 b) เตาเผาที่ใช้ในปีการศึกษา 2547 48
รูปที่ 4.12 ลักษณะของเถ้าที่ได้หลังจากทำการเผาไหม้ 49
รูปที่ 4.13 ค่าความร้อนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ ผงถ่านกะลา และถ่านหินอัดแท่งอัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 60 : 40 50
รูปที่ 4.14 ค่าความแข็งแรงกดอัดของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนระหว่างผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านจากกะลามะพร้าวเท่ากับ 60 : 40 51
รูปที่ 4.15 ค่าความแข็งแรงกดอัดของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนระหว่างผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านจากกะลามะพร้าวเท่ากับ 80 : 20 51
รูปที่ 4.16 ค่าความแข็งแรงกดอัดของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนระหว่างผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านจากกะลามะพร้าวเท่ากับ 90:10 52
รูปที่ 4.17 ค่าความแข็งแรงกดอัดของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่างๆกัน 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนของธาตุที่มีอยู่ในถ่านหิน (% โดยน้ำหนัก) 4
ตารางที่ 2.2 ชนิดและสมบัติบางประการของถ่านแอนทราไซต์ 10
ตารางที่ 2.3 สมบัติบางประการของผงถ่าน 11
ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของถ่านหินแอนทราไซต์ที่ใช้ในงานวิจัย 30
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนวัตถุดิบที่ทำการศึกษา 34
ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการทำถ่านหินอัดแท่ง 10 กิโลกรัมที่อัตราส่วน 60:40 โดยใช้กากน้ำตาลที่มีปริมาณของแข็ง 70.08% เป็นสารยึด 34
ตารางที่ 4.1 การหาค่าความหนาแน่นของถ่านหินอัดแท่ง 46
ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของแท่งถ่านหินที่ได้หลังจากเผาไหม้ 49
ตารางที่ 4.3 อัตราการผลิตถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาที่อัตราส่วนต่างๆ 54
ตารางที่ 4.4 ค่าใช้จ่ายของต้นทุนประเภทต่างๆ 55
ตารางที่ 4.5 ค่าใช้จ่ายของต้นทุนประเภทต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตถ่านหินอัดแท่งที่ต้นทุนต่ำที่สุดและค่าความแข็งแรงกดอัดสูงที่สุด 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมยังคงใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงหลัก ทำให้เกิดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า และนำมาซึ่งการขาดแคลนไม้ในอนาคต นอกจากนี้การใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงยังมีข้อจำกัดบางประการคือ ให้ความร้อนไม่สม่ำเสมอ พลังงานความร้อนที่ได้ต่ำ ระยะเวลาในการให้ความร้อนสั้น และยังเกิดเถ้าถ่านมากอีกด้วย จึงได้มีการพัฒนาเชื้อเพลิงอื่นๆมาทดแทนเชื้อเพลิงจากไม้ โดยถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite) เป็นทางเลือกหนึ่งที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนไม้ เนื่องจากถ่านหินชนิดนี้มีค่าความร้อนสูงและมีปริมาณกำมะถันต่ำ เมื่อติดแล้วจะไม่มีเปลวและควันเพราะมีสารระเหยน้อย ทำให้มีการใช้ถ่านหินชนิดนี้ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้มีผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหลือจากการคัดแยกขนาดเป็นจำนวนมาก จึงมีการพัฒนาผงถ่านหินแอนทราไซต์มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อเพิ่มมูลค่าทางการค้า และเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า อีกทั้งยังช่วยลดมลพิษอีกด้วย

ถ่านหินอัดแท่ง (Coal briquette) จัดเป็นเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานความร้อนและเผาไหม้ได้ดีที่อุณหภูมิสูง เหมาะแก่การนำไปใช้งานในทางอุตสาหกรรม เช่น ในกระบวนการให้ความร้อนในถังไอน้ำ (Boiler) หรือในเตาอบ (Oven) ของโรงงานอุตสาหกรรม ถ่านหินอัดแท่งประกอบด้วยผงถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite) สารตัวเติม (Fillers) และสารยึด (Binders) เป็นวัตถุดิบหลัก โดยสารตัวเติมที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ผงถ่านกะลา เนื่องจากผงถ่านกะลาง่ายต่อการติดไฟ เป็นชีวมวลที่มีมากมายมีใช้ไม่หมดสิ้น อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนและเพิ่มมูลค่าเศษเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรได้อีกด้วย สารยึดที่นำมาใช้ คือ กากน้ำตาล (Molasses) เพราะอุตสาหกรรมน้ำตาลในปัจจุบันมีแนวโน้มเติบโตขึ้นมาก จึงส่งผลให้กากน้ำตาลเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งในปริมาณที่มากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการเติมสารตัวเติมบางประเภทลงไปด้วย จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปเป็นแท่ง

ถ่านหินอัดแท่งที่ดีควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ [1]

1. สามารถให้ความร้อนสูงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ (ความร้อนไม่ควรน้อยกว่า 500 °C)
2. สามารถให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานตลอดการใช้งาน
3. ติดไฟได้ง่ายที่อุณหภูมิใช้งาน
4. ไม่มีควัน ไม่มีเขม่าหรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์
5. เผาไหม้โดยปราศจากมลภาวะที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์
6. มีรูปร่างที่เหมาะสมและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน
7. ทนทานต่อแรงกระแทกขณะขนย้าย
8. ต้นทุนการผลิตต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตถ่านหินอัดแท่ง สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การอัดแบบไฮโดรลิก (Hydraulic) การอัดด้วยมือ และใช้เทคนิคการอัดรีด (Extrusion) ซึ่งการอัดแบบไฮโดรลิกและการอัดด้วยมือ มีข้อเสียคือ กระบวนการผลิตไม่ต่อเนื่อง ทำให้กำลังการผลิตต่ำ จึงได้มีการศึกษาการผลิตถ่านหินอัดแท่งโดยเทคนิคการอัดรีด ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง และมีกำลังการผลิตสูงสามารถประยุกต์ใช้ได้ในโรงงานอุตสาหกรรม

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากโครงงานพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2546 เรื่องเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านหินแอนทราไซต์โดยใช้แป้ง (Starch) และกากน้ำตาล (Molasses) เป็นสารยึด ซึ่งองค์ประกอบหลักของถ่านหินอัดแท่ง คือ

1. ผงถ่านหินแอนทราไซต์
2. สารยึด คือ กากน้ำตาล
3. สารตัวเติม คือ ผงถ่านจากกะลามะพร้าว

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ปัญหาหลักของการผลิตถ่านหินอัดแท่งโดยการอัดด้วยมือ คือ มีการแตกหักของถ่านหิน สมบัติเชิงกลต่ำ และเป็นการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง ทำให้อัตราการผลิตต่ำ ไม่เหมาะสมนำไปใช้ได้จริงในอุตสาหกรรม สำหรับงานวิจัยนี้ จะทำการพัฒนาถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ โดยใช้เครื่องอัดรีด ซึ่งองค์ประกอบหลักของถ่านหินอัดแท่งคือ

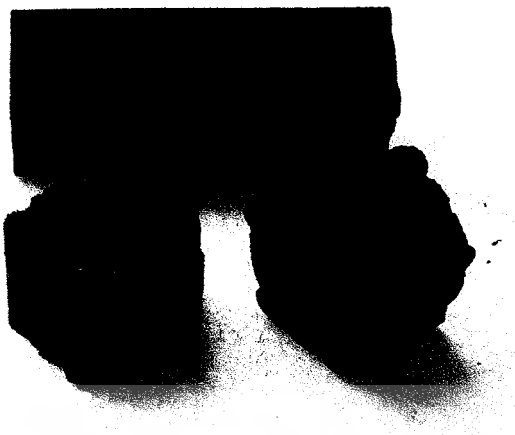
1. ผงถ่านหินแอนทราไซต์
2. สารยึด ได้แก่ กากน้ำตาล เนื่องจากมีการศึกษามาแล้วว่ากากน้ำตาลเป็นสารยึดที่ดีที่สุด มีราคาถูก หาซื้อง่าย อีกทั้งยังทำให้ถ่านหินยึดเกาะกันได้ดี ไม่แตกง่าย
3. สารตัวเติม ได้แก่ ผงถ่านจากกะลามะพร้าว

โดยงานวิจัยนี้เน้นการผลิตถ่านหินอัดแท่งโดยใช้เทคนิคการอัดรีด (Extrusion) ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง และสามารถประยุกต์ใช้ได้จริงในอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. วิจัยและพัฒนาการผลิตถ่านหินอัดแท่ง จากผงถ่านหินแอนทราไซต์โดยกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องด้วยเทคนิคการอัดรีด (Extrusion)
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของแท่งถ่านหินที่เตรียมได้ เช่น ขนาดอนุภาคของถ่านหิน อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารยึด สารตัวเติม และผงถ่านหินแอนทราไซต์
3. ศึกษาสมบัติของแท่งถ่านหินที่เตรียมได้ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และสมบัติการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 รูปถ่ายตัวอย่างถ่านหินอัดแท่ง

1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงงานพิเศษ

1. เตรียมถ่านหินอัดแท่งในอัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 60:40, 80:20 และ 90:10
2. ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของแท่งถ่านหินที่เตรียมได้ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสมบัติการเผาไหม้
3. ศึกษาอัตราส่วนของผงถ่านหิน สารยึด และสารตัวเติมที่ทำให้แท่งถ่านหินมีสมบัติที่ดี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถพัฒนาการผลิตแท่งถ่านหินจากการอัดผงถ่านหินแอนทราไซต์ โดยใช้เครื่องอัดรีด เพื่อให้ได้แท่งถ่านที่มีสมบัติที่ดี ต้นทุนการผลิตต่ำ และสามารถใช้งานได้จริงในอุตสาหกรรม มีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์
2. เพื่อให้ได้แท่งถ่านหินที่มีความแข็งแรง คงรูป เพื่อสะดวกแก่การขนส่ง และการนำไปใช้งาน
3. ช่วยลดปริมาณขยะที่เกิดจากกระบวนการคัดแยกขนาดของถ่านหินและใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด
4. ลดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์สามารถใช้แทนฟืนได้ดี
5. นำความรู้ที่ได้มาพัฒนาอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับถ่านหินอัดแท่งได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

ปัจจุบันมีการใช้เชื้อเพลิงสำหรับให้พลังงานเป็นจำนวนมาก เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านหิน ซึ่งมีประโยชน์ทั้งในด้านการใช้ในครัวเรือน และใช้ในวงการอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม การผลิตกระแสไฟฟ้า และใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ของโรงงานอุตสาหกรรม

2.1 ถ่านหิน (Coal) [2]

ถ่านหิน (Coals) เป็นเชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีสมมุติฐานว่าถ่านหินเกิดจากการทับถมของซากพืช พรรณไม้ สิ่งมีชีวิต ชิ้นส่วนของพืช (Vegetable materials) ที่ถูกพัดพามาหรือดินโคลนที่มีอินทรีย์วัตถุ (Organic materials) ถูกทับถมอยู่ภายใต้พื้นดินที่มีความกดดันและความร้อนสูงเป็นเวลานานนับหลายล้านปี ทำให้สิ่งเหล่านี้เน่า ผุพัง แล้วเกิดปฏิกิริยาทางเคมีฟิสิกส์และชีววิทยา จนกระทั่งถูกแรงกดดันบีบอัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ แปรสภาพเป็นชั้นของถ่านหิน โดยมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน เป็นต้น พิจารณาตารางที่ 2.1 ถ่านหินที่มีอายุมากจะมีลักษณะเนื้อแน่น สีดำ ถ้ามีปริมาณธาตุคาร์บอนมากก็จะให้ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงสูง ถ่านหินชนิดเดียวกัน แต่มีแหล่งกำเนิดต่างกัน อาจมีความร้อนทางเชื้อเพลิงไม่เท่ากันได้ ทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนประกอบของคาร์บอนและไฮโดรเจน และค่าความชื้น (Moisture) ของถ่านหินนั้นๆ แหล่งถ่านหินที่สำคัญของโลกอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา รัสเซีย จีน ออสเตรเลีย และประเทศในแถบยุโรป

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนของธาตุที่มีอยู่ในถ่านหิน (% โดยน้ำหนัก) [2]

ชนิดของธาตุ / ชั้นของถ่านหิน	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	ออกซิเจน	ไนโตรเจน	กำมะถัน	เถ้า
ถ่านพีท	23.1	9.6	59.6	1.3	0.4	6.0
ถ่านลิกไนต์	42.4	6.7	43.3	0.7	0.7	6.2
ถ่านซับบิทูมินัส	58.8	6.0	29.6	1.3	0.3	4.0
ถ่านบิทูมินัส	79.6	4.3	4.8	1.7	1.0	7.2
ถ่านแอนทราไซต์	86.7	2.2	2.9	0.8	0.5	6.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 **การวิเคราะห์ถ่านหิน** (Analysis of Coals)

เพื่อต้องการทราบถึงส่วนประกอบของธาตุต่างๆ ในถ่านหิน เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน สารระเหย ความชื้น ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ฯลฯ ว่ามีมากหรือน้อยเพียงใด ทั้งนี้เพื่อที่จะได้เลือกใช้ถ่านหินแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับสภาพงานที่ใช้ และใช้ให้ได้ประโยชน์มากที่สุด การวิเคราะห์ถ่านหินโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1 การวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis) เป็นการนำถ่านหินมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณหรือส่วนประกอบของถ่านหินว่า ประกอบด้วยธาตุอะไรมากและจำนวนเท่าใด เช่น การหาส่วนประกอบเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน กำมะถัน และเถ้า ซึ่งจะนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก (Percent by weight) การวิเคราะห์โดยละเอียดจำเป็นต้องหาส่วนประกอบทั้ง 6 อย่างดังกล่าว ดังนั้น การวิเคราะห์อย่างนี้ต้องทำการทดสอบโดยใช้เทคนิคขั้นสูงในการวิเคราะห์ เพราะต้องหาค่าส่วนประกอบดังกล่าวอย่างละเอียด

2 การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) เป็นการนำเอาถ่านหินมาทำการทดสอบแบบง่ายๆ ซึ่งจะแสดงส่วนประกอบที่สำคัญบางอย่างของถ่านหิน โดยไม่ต้องวิเคราะห์ทางเคมีให้ได้ค่าที่แน่นอนเหมือนการวิเคราะห์โดยละเอียด สิ่งที่ต้องทำการวิเคราะห์โดยประมาณนี้มี 4 อย่างคือ ความชื้น สารระเหย เนื้อถ่าน หรือคาร์บอนคงรูป (Fixed carbon) และเถ้า โดยนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก

2.1.2 **ประเภทของถ่านหิน**

เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทางธรณีวิทยาและทางชีววิทยาของแหล่งสะสมซากพืช ทำให้เกิดการสะสมทางอินทรีย์เคมี (Organic sediment) แล้วแปรสภาพเป็นถ่านหินที่มีอายุและคุณภาพต่างๆ กัน ถ่านหินที่จัดอยู่ในชนิดถ่านหินชั้นเลวหรือถ่านหินที่มีอายุและคุณภาพต่ำที่สุดโดยเริ่มจากถ่านพีทจนกระทั่งกลายเป็นถ่านหินแข็งต้องใช้เวลานานนับเป็นล้านๆ ปี เราสามารถแบ่งชนิดของถ่านหินตั้งแต่ชนิดที่มีคุณภาพต่ำไปจนถึงถ่านหินที่มีคุณภาพสูงได้ 4 ชนิด คือ

1. ถ่านพีท (Peat)
2. ถ่านลิกไนต์ (Lignite)
3. ถ่านบิทูมินัส (Bituminous)
4. ถ่านแอนทราไซต์ (Anthracite)

ถ่านหินประกอบด้วยธาตุต่างๆ ต่อไปนี้คือ คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน นอกจากนี้ยังมีซิลิกอน อะลูมิเนียม เหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม ธาตุเหล่านี้ที่เกิดการรวมตัวกับออกซิเจนจะได้ออกไซด์ของโลหะต่างๆ ซึ่งจะทำให้ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินประกอบด้วยออกไซด์ของโลหะเหล่านี้ด้วย ในระหว่างที่ถ่านหินมีการเปลี่ยนแปรสภาพไฮโดรเจนและออกซิเจนจะลดลงตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเกิดการระเหิด (Volatile matter) ซึ่งมีผลทำให้ความชื้นของธาตุทั้งสองที่กล่าวมาถูกขับออกไป และจะทำให้อัตราส่วนของธาตุคาร์บอนของถ่านหินเพิ่มสูงขึ้นไปด้วยโดยขึ้นอยู่กับเวลา จากเหตุผลดังกล่าวนี้เองจึงทำให้มีการแยกชั้นของถ่านหิน และมีชื่อเรียกแตกต่างกัน

สำหรับเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้จะประกอบด้วยสารต่างๆ โดยเฉลี่ยดังต่อไปนี้ คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) 45 เปอร์เซ็นต์ อะลูมิเนียมไตรออกไซด์ (Al_2O_3) 32 เปอร์เซ็นต์ เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) 10 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) 3 เปอร์เซ็นต์ ซิลเวอร์ออกไซด์ (AgO) 2 เปอร์เซ็นต์ และออกไซด์ของธาตุอื่นๆ อีก 2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอุณหภูมิของเถ้าที่จะหลอมละลายได้คือ ที่อุณหภูมิ 1100 - 1500 องศาเซลเซียส

2.1.3 ประโยชน์ของถ่านหิน

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงธรรมชาติที่ให้คุณประโยชน์แก่มวลมนุษย์โลก ทั้งในแง่การใช้ประโยชน์ในครัวเรือน (Domestic) และในแง่ที่เกิดประโยชน์ต่อเศรษฐกิจของโลกในหลายๆ ด้าน ประโยชน์ของถ่านหินสรุปได้ดังนี้

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตพลังงานไอน้ำเพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะใช้ถ่านหินที่คุณภาพต่ำ เช่น ถ่านลิกไนต์โดยอาจจะใช้เป็นชนิดก้อนขนาดเล็กหรือบดเป็นผง (Pulverized coal) ก็ได้ขึ้นอยู่กับเตาเผาที่ใช้
2. ใช้เป็นเชื้อเพลิงในงานอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก โดยการแปรสภาพให้เป็นถ่านโค้กก่อน เนื่อง จากถ่านโค้กมีคุณภาพมาตรฐานสามารถควบคุมความร้อนและการเผาไหม้ได้ง่าย นอกจากนี้แล้วยังใช้เป็นวัตถุดิบโดยตรงในการผลิตเหล็กพรุน (Sponge iron)
3. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถไฟหรือเรือเดินทะเล
4. ใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมผลิตแก้ว ปูนซีเมนต์ สิ่งทอ และอุตสาหกรรมเคมี
5. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหุงต้มและให้ความร้อนในบริเวณที่มีอากาศหนาวเย็น เช่น ประเทศแถบยุโรปตะวันตก และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการผลิตเป็นถ่านก้อนหรือเป็นแท่ง ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มได้เป็นอย่างดี
6. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซเพื่อเป็นเชื้อเพลิง
7. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารเคมีต่างๆ เนื่องจากถ่านหินมีส่วนประกอบของธาตุหลายชนิด
8. ใช้ในกิจกรรมอื่นๆ เช่น ใช้เป็นสารให้สี (Pigment) หรือ วัสดุกรอง (Filter) บดละเอียดสำหรับใช้ทาผิวหน้าแบบหล่อโลหะ สกัดเอาขี้ผึ้ง (Wax) และยาง (Resin) นำไปใช้ประโยชน์ได้ ถ้านำถ่านหินไปเผากับหินปูนที่มีอุณหภูมิสูงถึง 1100 องศาเซลเซียส ก็จะได้แคลเซียมคาร์ไบด์ และเมื่อนำไปผสมกับน้ำจะได้ก๊าซอะเซทิลีน (Acetylene)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ใช้เป็นวัตถุดิบส่วนหนึ่งในงานอุตสาหกรรม เช่น ผลิตภัณฑ์พลาสติก ยางสังเคราะห์ และวัตถุระเบิด เป็นต้น

2.1.4 กระบวนการแปรรูปถ่านหิน

นอกจากการนำถ่านหินมาเผาไหม้ให้ความร้อนโดยตรงแล้ว ยังมีวิธีการอื่นอีกหลายวิธีที่จะแปรรูปถ่านหินให้กลายเป็นเชื้อเพลิงรูปแบบต่างๆ ที่สะดวก สะอาด หรืออาจใช้ในการผลิตสารตั้งต้น (Feedstock) สำหรับอุตสาหกรรมเคมีต่างๆ กระบวนการแปรรูปถ่านหินแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. การทำถ่านหินให้เป็นคาร์บอน (Coal carbonization) หรือการคาร์บอไนซ์ถ่านหิน เป็นการกลั่นสลายถ่านหินในที่ที่ไม่มีอากาศโดยใช้ความร้อนอย่างเดียว กระบวนการนี้นิยมใช้ในการผลิตถ่านโค้กหรือเชื้อเพลิงแข็งคุณภาพดี
2. การทำถ่านหินให้เป็นก๊าซ (Coal gasification) เป็นการแปรรูปถ่านหินให้กลายเป็นเชื้อเพลิงก๊าซ
3. การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalysis) เป็นการแปรรูปถ่านหินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าช่วย สามารถเร่งปฏิกิริยาและกำหนดชนิดของปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ปฏิกิริยาตามต้องการ

ในแต่ละกระบวนการดังที่กล่าวมานี้จะมีกรรมวิธี เครื่องปฏิกรณ์และระบบที่ถูกค้นคิดประดิษฐ์ขึ้นมามากมาย ทั้งนี้เพื่อพยายามให้การแปรรูปถ่านหินเป็นไปอย่างสมบูรณ์มีประสิทธิภาพสูง และช่วยแก้ปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้นด้วย

2.1.5 การคาร์โบไนซ์ถ่านหิน (Carbonization of Coal)

แบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

1. การทำถ่านหินให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature carbonization) โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตหลักเป็นถ่านโค้กอุณหภูมิต่ำ น้ำมันดินถ่านหิน (Coal tar) รวมทั้งก๊าซถ่านหินที่มีคุณภาพสูง แต่กระบวนการนี้ไม่เป็นที่นิยมมากนักในขณะนี้ เพราะน้ำมันที่ผลิตได้สามารถเกิดอิมัลชันกับน้ำจึงแยกออกได้ยาก ส่วนถ่านโค้กที่ได้นี้ใช้ได้ดีกับการหุงต้มในครัว แต่การใช้ก๊าซหุงต้มหรือก๊าซเชื้อเพลิงจะสะดวกกว่า
2. การทำถ่านหินให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิสูง (High temperature carbonization) โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 1,000 °C ให้ผลผลิตที่สำคัญคือ ถ่านโค้กอุณหภูมิสูง น้ำมันและน้ำมันดิบ รวมทั้งก๊าซถ่านหิน คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและใช้ก๊าซที่ผลิตได้เป็นเชื้อเพลิง ในการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงสำหรับการถลุงโลหะ (Metallurgical coke) ใช้เตาเผาเฉพาะที่เรียกว่า เตาเผาโค้ก (Coke oven) มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า แคบและยาว มีประตูเปิดปิดเพื่อสามารถดันถ่านโค้กออกได้ วางติดกันเป็นชุด ส่วนก๊าซที่ได้จากการทำถ่านหินให้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอน นอกจากจะใช้ให้ความร้อนกับกระบวนการผลิตถ่านหินแล้วยังมีเหลือเพื่อจำหน่ายได้อีกด้วย การผลิตถ่านโค้กนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของถ่านหินเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะค่าการบวมตัว (Swelling) และสมบัติการเกิดโค้ก (Coking properties) โดยทั่วไปถ่านบิทูมินัสที่มีค่าการบวมตัวปานกลางจะใช้ได้ดีที่สุด

การทำถ่านหินให้เป็นก๊าซ (Gasification of coal) คือ กระบวนการที่ถ่านหินเกิดการเผาไหม้เพียงบางส่วนในบรรยากาศ ในไอน้ำ หรือในออกซิเจน ซึ่งส่วนที่เป็นเชื้อเพลิงทั้งหมดในถ่านหินจะถูกแปรสภาพให้กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิง กระบวนการนี้จัดได้ว่าเป็นกระบวนการที่มีการพัฒนามาเป็นลำดับอย่างต่อเนื่องเป็นอย่างมาก เนื่องจากในสมัยก่อนการพบน้ำมันดิบนั้น ถ่านหินจัดได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญที่สุด จึงมีการค้นคิดดัดแปลงถ่านหินให้กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิงเพื่อส่งไปตามท่อไปยังบ้านเรือนสำหรับใช้ในการหุงต้มและทำความอบอุ่นให้กับบ้านเรือนในฤดูหนาวได้อย่างสะดวก โดยเฉพาะในประเทศแถบยุโรป กระบวนการนี้เป็นวิธีการผลิตเชื้อเพลิงสะอาดจากถ่านหินที่ดีที่สุดวิธีหนึ่ง เพราะสามารถใช้กับถ่านหินคุณภาพต่ำที่มีปริมาณเถ้าและปริมาณกำมะถันสูงได้ทุกชนิด เป็นการลดปัญหามลภาวะที่เกิดจากการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง

กระบวนการทำถ่านหินให้เป็นก๊าซมีรายละเอียดของการออกแบบแตกต่างกันไป เพื่อจุดมุ่งหมายที่แตกต่างกัน เช่น เพื่อผลิตก๊าซที่มีค่าความร้อนต่ำหรือ LBG (Low btu gas) ก๊าซที่มีค่าความร้อนปานกลางหรือ MBG (Medium btu gas) และก๊าซที่มีค่าความร้อนสูงเพื่อใช้แทนก๊าซธรรมชาติ SNG (Synthesis natural gas) ซึ่งเป็นไปตามลำดับของการพัฒนาเช่นเดียวกัน

กระบวนการทำถ่านหินให้เป็นก๊าซที่ใช้การพ่นอากาศผ่านเบด (Bed) ของถ่านหินที่กำลังลุกไหม้ร้อนแดงทำให้เกิดสภาวะออกซิไดซ์ขึ้นในเบด และเกิดสภาวะรีดิวซ์ขึ้นเหนือเบด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$

$$C + CO_2 \longleftrightarrow 2CO$$

ก๊าซที่ได้จะมีค่าความร้อนสูงขึ้นประมาณ 11.4 – 11.9 เมกะจูล / ลูกบาศก์เมตร เรียกก๊าซที่ได้นี้ว่า บลูวอเตอร์ก๊าซ (Blue water gas) กระบวนการนี้ใช้วิธีการพ่นไอน้ำสลับกับการพ่นอากาศเพื่อรักษาอุณหภูมิของเบด จึงทำให้ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากในช่วงของการพ่นอากาศเพื่อทำให้ถ่านโค้กเกิดการเผาไหม้นั้น ต้องปล่อยก๊าซจากการเผาไหม้ทิ้งไป ซึ่งเป็นการสูญเสียความร้อนจากกระบวนการ

กระบวนการแกซิฟายที่ได้รับการพัฒนาต่อมา เรียกว่า กระบวนการแกซิฟายแบบเลอร์กี (Lurgi gasification process) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ออกซิเจนแทนอากาศ กระบวนการนี้ถือได้ว่าประสบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสำเร็จเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นการปฏิบัติการผลิตก๊าซอย่างต่อเนื่องและทำให้เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ

$$CO + 3H_2 \longleftrightarrow CH_4 + H_2O$$

$$CO_2 + 4H_2 \longleftrightarrow CH_4 + 2H_2O$$

$$C + 2H_2 \longleftrightarrow CH_4$$

จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ก๊าซที่ได้อาจมีก๊าซมีเทนอยู่ถึง 23% ทำให้ได้ก๊าซสังเคราะห์ที่มีค่าความร้อนปานกลาง (ประมาณ 18 เมกะจูล / ลูกบาศก์เมตร) จึงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นมาก ข้อดีคือใช้ได้กับถ่านหินทุกชนิด โดยเฉพาะใช้ได้ดีกับถ่านลิกไนต์ นอกจากนี้เนื่องจากระบบเป็นระบบภายใต้ความดันสูง ทำให้สามารถนำก๊าซที่ได้ไปผ่านการล้างทำความสะอาดได้ง่าย ไม่ต้องเสียพลังงานในการเพิ่มความดันก๊าซอีก อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้มีข้อเสียที่ต้องใช้กับการผลิตขนาดใหญ่เท่านั้น

กระบวนการเลอร์กี ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผลิตก๊าซสังเคราะห์ที่มีค่าความร้อนปานกลาง เป็นกระบวนการที่มีความคล่องตัวและใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางมาก เพราะก๊าซที่ผลิตได้มีปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนในอัตราส่วนเท่าๆ กัน มีก๊าซอื่นปนอยู่น้อยจึงสามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์ก๊าซมีเทน (Methanation) ทำให้ได้ก๊าซธรรมชาติสังเคราะห์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการสังเคราะห์สารไฮโดรคาร์บอนและแอลกอฮอล์ต่างๆ ได้อีกด้วย

2.2 ถ่านแอนทราไซต์ [3]

ถ่านแอนทราไซต์ (Anthracite) เป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดีที่สุดในบรรดาถ่านหินทั้งหลาย ถ่านหินชนิดนี้จะมีปริมาณเนื้อถ่านมาก มีสีดำสนิท เวลาเผาไหม้เกิดควันน้อยมาก ให้ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงสูง และมีความแข็งมาก จนในบางครั้งเรียกว่าถ่านหินแข็ง (Hard coal) ติดไฟยาก แต่ถ้าติดไฟแล้วจะเผาไหม้เป็นเวลายาวนาน ดังนั้นถ่านหินชนิดนี้จึงมีราคาแพง ในประเทศไทยยังไม่มีการขุดพบถ่านหินชนิดนี้ การใช้งานของถ่านหินชนิดนี้ในประเทศมีน้อย เพราะต้องสั่งจากต่างประเทศเข้ามาและมีราคาสูง ถ่านแอนทราไซต์มีค่าความร้อนประมาณ 8600 แคลอรี / กรัม ถ่านหินชนิดนี้ยังแบ่งออกได้หลายชนิด สมบัติของถ่านแอนทราไซต์ชนิดต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ชนิดและสมบัติบางประการของถ่านแอนทราไซต์

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

2.3 สารยึด (Binder) [4]

สารยึดทำหน้าที่ยึดเกาะชีวมวลที่นำมาใช้ทำเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่ง ให้มีลักษณะคงอยู่ดังรูป แบบที่ต้องการให้อัดออกมาได้ และสารยึดยังทำหน้าที่เพิ่มสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งให้มีสมบัติทางกายภาพที่ดี เช่น การต้านทานแรงกด การต้านทานแรงกระแทก ค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งสมบัติทางกายภาพที่กล่าวมานั้นสามารถบอกให้ทราบถึงระดับคุณภาพของแท่งเชื้อเพลิงแข็งว่าดีหรือไม่ โดยสารยึดทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 พวก ดังนี้

1. สารยึดที่เป็นอนินทรีย์สาร (Inorganic binders) เช่น โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) ซัลไฟท์ไล (Sulphite-lye) ไลม์-ซิลิกา (Lime-silica) นอกจากนี้ยังมีแมกนีเซียมออกซีคลอไรด์ (Magnesium oxychloride) และซีเมนต์ (Cement) เป็นต้น
2. สารยึดที่ได้จากธัญพืช (Cereal binder) เช่น แป้ง (Starches) กากน้ำตาล (Molasses)
3. ไฮโดรคาร์บอนหนัก หรือแอสฟัลต์ (Heavy hydrocarbons or asphalt) เช่น Coal-tar pitch หรือบิทูเมน (Bitumen)

2.3.1 กากน้ำตาลหรือโมลาส (Molasses)

กากน้ำตาล คือ ของเหลวมีลักษณะเป็นน้ำเชื่อมสีน้ำตาลเข้ม ของเหลวนี้จะถูกแยกออกจากเม็ดน้ำตาลโดยวิธีการปั่น (Centrifuge) ส่วนประกอบของกากน้ำตาลแตกต่างกันไปตามโรงงาน อย่างไรก็ดี ส่วนประกอบโดยประมาณคิดเป็นร้อยละตามน้ำหนักของกากน้ำตาลมีดังนี้คือ

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

นอกจากนั้นก็มีสารประกอบคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ สารประกอบไนโตรเจน กรดต่างๆ วิตามิน ไขมัน และแร่ธาตุอื่นๆ อีกเป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ผงถ่าน (Charcoal) [3]

การกลายเป็นคาร์บอน (Carbonization) ของสารประกอบเชิงซ้อนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสามารถทำได้โดยการไพโรไลซิส (Pyrolysis) คือ การให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการแยกตัวของสารประกอบที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน เช่น ไม้หรือผลิตผลทางการเกษตร ในขณะทำการไพโรไลซิสของไม้ในภาชนะปิดในสภาวะปราศจากออกซิเจน ไม้จะสลายตัวกลายเป็นสารประกอบหลายชนิด โดยองค์ประกอบหลัก คือ ถ่าน (Charcoal) มีลักษณะสีดำ มีรูพรุน องค์ประกอบหลักประกอบด้วยคาร์บอน อาจมีขี้เถ้าประมาณ 0.5 – 6.0 % ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้และปริมาณเปลือกไม้ เป็นต้น องค์ประกอบของผงถ่านแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติบางประการของผงถ่าน [5]

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, ม.ม.	60	10	35	20 - 50

ขบวนการเกิดเป็นผงถ่านของไม้มีขั้นตอนดังนี้

1. ที่ 20 – 110° C
   ไม้จะดูดซับความร้อนและจะเริ่มระเหยส่วนที่มีองค์ประกอบของน้ำ เช่น ไอน้ำ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิประมาณ 100° C ไม้จะเริ่มแห้ง
2. ที่ 110 – 270 ° C
   องค์ประกอบของน้ำส่วนสุดท้ายจะระเหยไปและไม้จะเริ่มสลายตัวให้ก๊าซต่างๆ มากมาย เช่น คาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก ก๊าซมีเทน เป็นต้น
3. ที่ 270 – 400 ° C
   ไม้จะเกิดการสลายตัวและคายความร้อนโดยความร้อนจะทำให้เกิดการแยกตัวของโครงสร้างไม้ ทำให้เกิดก๊าซที่สามารถเกิดการสันดาปได้ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซที่สามารถกลั่นตัวได้ เช่น น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก เมทานอล เป็นต้น และเริ่มมีน้ำมันดิน (Tar) ออกมา

4. ที่ 400 – 500 ° C

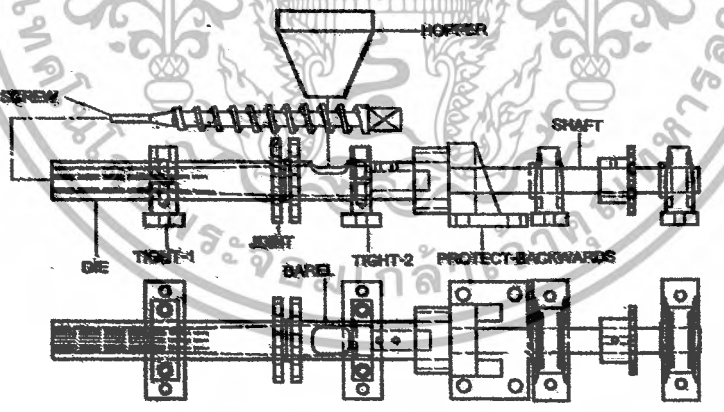
ที่อุณหภูมิประมาณ 400 ° C มีการเปลี่ยนแปลงของไม้กลายเป็นผงถ่านเกือบสมบูรณ์ โดยผงถ่านจะประกอบด้วย Tar ประมาณ 30 % โดยปกติแล้วผงถ่านจะประกอบด้วยคาร์บอนประมาณ 75 % ที่อุณหภูมิ 500 ° C การกลายเป็นคาร์บอนจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

2.5 เครื่องมือการอัดรีด [4]

การอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งโดยกระบวนการอัดรีดหรือเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักที่สำคัญในเครื่องอัดรีด (Extruder) ดังนี้ คือ เรือนเกลียวหนอน (Barrel) ดาย (Die) และต้นกำลังที่ใช้ขับสกรูอัด ซึ่งชิ้นส่วนที่สำคัญที่สุดในกระบวนอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็ง คือ ตัวสกรูอัด (Screw) โดยสกรูอัดที่ใช้เป็นแบบสกรูอัดเดี่ยวและมีหลักการทำงานของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งและองค์ประกอบของการอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งดังนี้

2.5.1 หลักการอัดรีด (Extrusion)

การอัดรีด คือ กระบวนการบังคับให้วัตถุดิบ (ชีวมวล) เคลื่อนตัวผ่านดาย (Die) เพื่อให้ได้ลักษณะของรูปทรงตามความต้องการออกมาสู่ภายนอกอย่างต่อเนื่อง



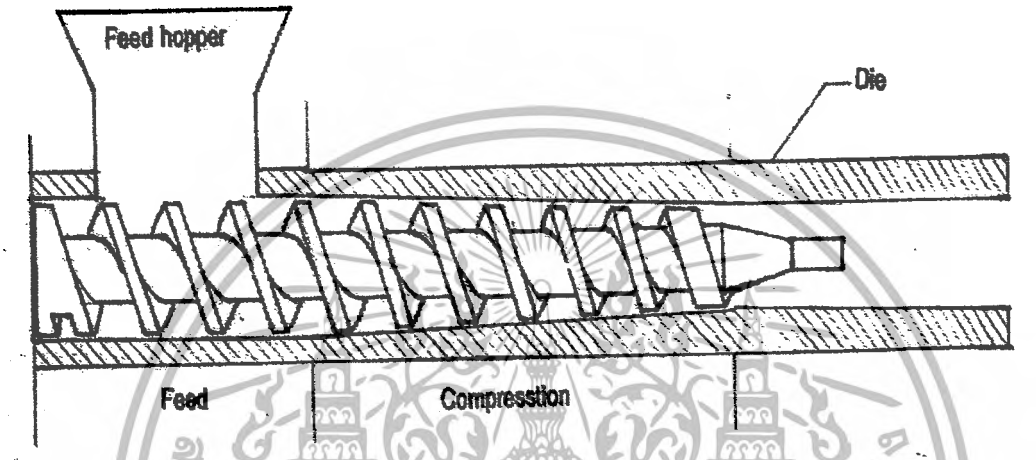
รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในของเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว [4]

หลักการพื้นฐานในการเคลื่อนตัวของอนุภาคของชีวมวล ภายในสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิงนั้นจะเกิดจากแรงเสียดทาน โดยที่แรงเสียดทานจะเป็นตัวกลางที่ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปได้และนำความรู้จากอุตสาหกรรม และกระบวนการอัดรีดพลาสติกมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งจากเชื้อเพลิงชีวมวล จำพวก กะลามะพร้าว แกลบ ขี้เลื่อย เป็นต้น เพื่ออัดชีวมวลเหล่านี้ให้รวมกันได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท่งเชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งทำการพิจารณาออกแบบได้ง่าย หลักการทำงานไม่สลับซับซ้อนและสามารถทำงานได้ต่อเนื่องรวมถึงมีต้นทุนในการสร้างที่ต่ำ โดยปกติกระบวนการอัดรีดเย็นจะแบ่งช่วงการทำงานของสกรูออกเป็น 2 ช่วง คือ

1. ช่วงการป้อนวัตถุดิบและลำเลียง (Feed Section)
2. ช่วงการอัด (Compression Section)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างและการแบ่งช่วงการทำงานภายในสกรู [4]

2.5.2 **ช่วงการป้อนวัตถุดิบและการลำเลียง** (Feed Section)

ช่วงการป้อนและการลำเลียงวัตถุดิบนั้น ชีวมวลจะถูกป้อนลงมาจากด้านบนลงมาเก็บไว้ที่**ถังพัก**ทรงกรวย (Hopper) ซึ่งชีวมวลจะอยู่ในลักษณะของเม็ดหรือผงและจะเคลื่อนตัวหล่นลงบนเกลียวลำเลียงจากนั้นเกลียวลำเลียงจะขนถ่ายชีวมวลเข้าสู่ช่องการอัดตัว การไหลของชีวมวลภายในช่องสกรูจะพิจารณาเป็นการไหลแบบจุกอัด (Plug flow) ซึ่งที่ทุกๆ หน้าตัดของเบดอนุภาคของชีวมวลจะมีความเร็วเท่าๆ กัน และไม่มีการเสียรูปของเบดอนุกรมของชีวมวลภายในขอบเขตที่กำลังพิจารณาอยู่การเคลื่อนตัวของอนุกรมชีวมวลในช่วงลำเลียง เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอนุภาค ชีวมวลที่ผิวของ Barrel และ ที่ผิวของสกรู ซึ่งถ้าหากความเร็วสัมพัทธ์ของสองตำแหน่งนี้มีค่าเป็นศูนย์ (มีความเร็วเท่ากัน) เป็นผลให้ไม่เกิดการเคลื่อนตัวไปข้างหน้าของอนุภาคชีวมวล การขนถ่ายอนุภาคที่มีผลมาจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของตำแหน่งที่ขอบเขตที่พิจารณา เรียกว่า การลำเลียงอนุภาคเนื่องจากการฉุด (Drag induced solid conveying) อัตราการไหลของเบดอนุกรมของชีวมวลหาได้จากแรงที่กระทำบนอนุภาคบริเวณขอบเขตที่พิจารณา ซึ่งแรงที่กระทำในกรณีที่ขอบเขตมีขนาดใหญ่จะเป็นแรงที่เกิดจากความเสียดทานที่กระทำบนอนุภาคของชีวมวลในขอบเขตที่พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบสำคัญของเกลียวลำเลียง

1. ใบเกลียวมี 2 ชนิด คือ ชนิดเฮลิคคอยด์ (Heliciod) หรือใบต่อเชื่อม และชนิดแยกส่วน (Sectional) แบบเฮลิคคอยด์ทำจากแถบวัตถุแบนยาว ส่วนแบบแยกส่วนจะทำจากแผ่นวงแหวน ซึ่งในการเชื่อมใบเกลียวกับเพลามีลักษณะการเชื่อมได้ 2 ลักษณะ คือ ทั้งแบบมือขวา และมือซ้าย เมื่อพิจารณาประกอบกับทิศทางการหมุนของใบเกลียวจะทราบการเคลื่อนไหลของวัสดุ เมื่อใบเกลียวเอียงลงมาทางด้านขวา เรียกว่า เกลียวขวา ส่วนเกลียวที่เอียงลงมาทางด้านซ้าย เรียกว่าเกลียวซ้าย

2. เพลาเกลียวทำด้วยเพลาตันมักจะใช้เหล็กกล้าคาร์บอน Sch.40 หรือ Sch.80 ที่ปลายเพลา ทำบูช และเจาะรูเพื่อยึดกับคับปลิงด้วยสลักเกลียว บูช และเพลามีพิกัดความเผื่อประมาณ ±0.015 ทำให้ถอดเพลาออกจากคับปลิงอาจชุบแข็งในกรณีที่ลำเลียงวัสดุที่มีความแข็ง

3. ฝาประกบราง ติดตั้งอยู่ที่ส่วนหัว และท้ายของรางมีหน้าที่ป้องกันวัตถุตกหล่น และรองรับแบริ่งรองรับเพลา ที่นี่จะมีหน้าแปลนที่มีแบริ่งติดอยู่ แบริ่งที่จุดนี้ทำด้วยโลหะผสมดีบุก แอนทิโมนี และทองแดง เรียกว่า แบ็บบิท (Babbitt) หรือบรอนซ์ อาจเป็นแบริ่งลูกกลิ้ง (Roller) หรือ แบบลูกปืนกลม (Ball) บางครั้งใช้บูชที่ทำด้วยวัสดุพิเศษ นอกจากนั้นยังมีแผ่นวัสดุผนึกกันรูรั่วไหล (Seal) ออกมาจากตำแหน่งติดตั้งเพลาที่ฝาประกบรางนี้ด้วย

4. ต้นกำลังจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าส่งกำลังผ่านชุดทดรอบ และเพลาไปลำเลียงในแนวราบ โดยที่ชุดทดรอบจะต่อกับโซ่ซึ่งส่งกำลังไปยังเพลาเกลียวลำเลียง

ชนิดของเกลียวลำเลียง

1. เกลียวตั้ง (Vertical screws)

เกลียวตั้งไม่เหมาะสำหรับการใช้งานกับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ หรือมีแนวโน้มอัดตัวกันแน่นหรือมีความแข็งสูง ราวเกลียวตั้งมีลักษณะเป็นท่อหน้าตัดเป็นวงกลมมีทางป้อนวัสดุด้านล่าง และปล่อยออกด้านบน มอเตอร์ขับอาจอยู่ด้านบนหรือล่างก็ได้ แบริ่งต้องรับแรงด้านข้างหรือแรงดัน (Thrust) ได้ การป้อนวัสดุเข้าควรใช้เกลียวป้อนในแนวราบ โดยให้ตรงต่อเกลียวตั้งเลยหรือป้อนเยื้องข้าง การป้อนตรงนั้นใช้วัสดุที่ไม่แตกง่าย หรือเสียหายเมื่อมีการติดขัดหรือถูกอัด ส่วนการป้อนเยื้องนั้นใช้วัสดุที่แตกหรือเสียหายง่าย ความเร็วรอบเกลียวต้องเพียงพอที่จะลำเลียงวัสดุ หากระยะการลำเลียงยาวต้องมีอุปกรณ์รักษาเสถียรภาพ เพื่อลดการโก่งหรือสั่นไปกระทบราง

2. เกลียวเอียง (Helical screws)

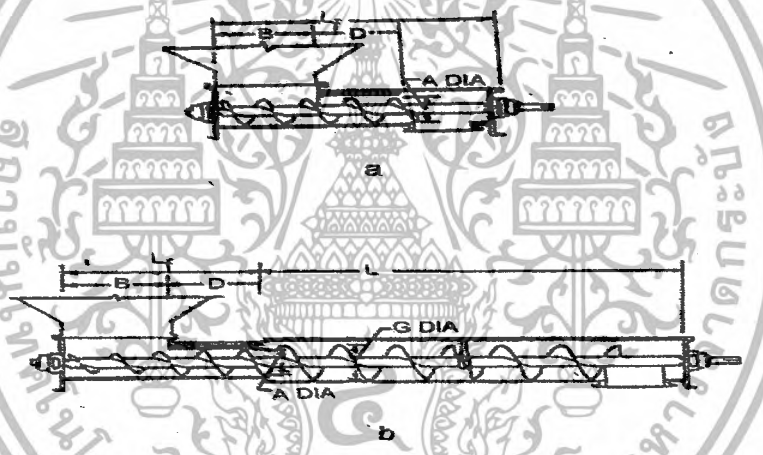
เกลียวเอียงช่วยแก้ปัญหาการลำเลียงวัสดุที่มีพื้นที่จำกัด และจำเป็นต้องมีชิ้นส่วนอุปกรณ์น้อยชิ้น แต่ก็มีข้อเสียคือ เมื่อมีมุมเอียงมาก ปริมาณการขนถ่ายยิ่งลดลง และกำลังงานที่ต้องการใช้ในการขับจากต้นกำลังจะเปลี่ยนไปด้วย เพราะมุมเอียงที่เพิ่มขึ้นทำให้ใบเกลียวผลักดันวัสดุให้เคลื่อนที่ไปน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้วัสดุมีลักษณะปั่นป่วนและเคลื่อนที่กลับไปกลับมา หากต้องการลดอาการดังกล่าวต้นกำลังจะต้องการกำลังเพิ่มขึ้น

3. เกลียวป้อน (Feeder screws)

เกลียวป้อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของวัสดุ ให้ไหลออกจากที่บรรจุอย่างสม่ำเสมอ เกลียวป้อนมักจะบรรจุอยู่ในรางปิด ในกรณีที่มีระยะพิชมาก ๆ ใช้กับวัสดุที่เคลื่อนไหลง่าย และช่วงทางออกวัสดุควรอยู่บริเวณช่วงหลังของใบเกลียวเพื่อป้องกันวัสดุไม่ให้ไหลย้อนกลับ (Feed zone) ในกรณีที่มีระยะพิชสั้นใช้กับที่วัสดุเคลื่อนไหลไม่สะดวก มีโอกาสที่จะทำให้เกลียวป้อนที่รับภาระเกินได้ง่าย ส่วนเกลียวเรียวใช้ในการป้อนวัสดุที่เป็นก้อนสามารถรับวัสดุตลอดของเกลียวเรียว โดยไม่เกิดเขตที่ไม่ถ่ายเท เกลียวแบบนี้ใช้กำลังงานน้อยกว่าเกลียวปกติที่มีระยะรับวัสดุจากถังเท่ากัน ปัจจุบันมีเกลียวป้อนที่ใช้เพลาเรียว จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดเขตไม่ถ่ายเทในรางเกลียวป้อนชนิดที่มีเกลียวลำเลียงต่อออกมาอีกนั้นจะต้องมีชุดแขวนต่อเกลียวลำเลียง และจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า



รูปที่ 2.3 ลักษณะเกลียวป้อน a) เกลียวมาตรฐาน b) เกลียวเรียว [4]

2.5.3 **ช่วงการอัดตัว** (Compression Section)

วัตถุดิบจะถูกอัดตัวโดยการเพิ่มขั้นของเกรเดียนท์ของความดันในแนวแกนสกรูซึ่งวัตถุดิบจะถูกอัดตัวกันแน่นและผ่านเข้าไปในแม่พิมพ์ แต่หากการไหลในร่องของสกรูยังไม่เกิดความดันจะทำให้ไม่เกิดเบดอนุภาคของชีวมวล และจะไม่เกิดการไหลแบบจุกอัด โดยมากจะเกิดในกรณีที่เป็นการไหลแบบไม่เต็มร่องเกลียว

การอัดตัว คือ การที่อนุภาคชีวมวลถูกแรงกระทำ (กดอัด) จนอนุภาคเกาะตัวกันเป็นก้อนแข็ง และเครื่องผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งได้ใช้สกรูในการอัดรีดชีวมวลให้ผ่านดาย (Die) ออกมาเป็นเชื้อเพลิงแท่งแข็ง โดยในการอัดรีดแบบเย็นต้องมีการเตรียมวัตถุดิบ และตัวประสานซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะอนุภาคชีวมวลให้เป็นแท่งหลังจากผ่านกระบวนการอัดรีดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่ง [4]

สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Physical properties of briquette) เป็นดัชนีที่ระบุถึงคุณภาพของถ่านหิน โดยส่วนใหญ่สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้จะขึ้นกับวัตถุดิบและตัวประสานที่ผสมกับวัตถุดิบ ซึ่งตัวประสานที่ดีจะทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีสมบัติดีขึ้น และการอบที่เหมาะสมเป็นการปรับแต่งคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยเช่นกัน

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีการใช้วัตถุดิบ และตัวประสานหลากหลายชนิดได้ถูกศึกษาเป็นจำนวนมาก ซึ่งสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่นิยมใช้ในการวัดค่า คือ การต้านทานแรงกดหรือดึง (Compressive or Tensile strength) ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง (Density) การต้านทานแรงกระแทก (Drop shatter strength, Impact resistance index) ซึ่งในบางครั้งจะวัดค่าออกมาเป็นค่าดัชนี เช่น ดัชนีการแตกสลาย (Drop shatter index) รวมถึงค่าความร้อน (Heating value) ของเชื้อเพลิงที่อัดแท่งได้ด้วย

สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมานั้น พบว่าจะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบหลักที่จะนำมาใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่ง และชนิดของตัวประสานที่นำมาใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง รวมไปถึงกระบวนการในการเพิ่มคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น การอบที่สภาวะต่างๆ ดังนั้นการจะผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจะต้องพิจารณาจากวัตถุดิบหลัก ตัวประสานและกรรมวิธีในการผลิตควบคู่กัน

2.6.1 การต้านทานแรงกด (Compressive Strength)

การต้านทานแรงกด คือ ความสามารถทนแรงกดสูงสุดที่กระทำต่อพื้นที่ของแท่งเชื้อเพลิง ก่อนที่จะเกิดการแตกหักหรือเสียหาย ซึ่งการต้านทานแรงกดนั้นจะเป็นดัชนีชี้วัดสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของแท่งเชื้อเพลิงแข็ง โดยจะทำให้ทราบถึงระดับการต้านทานแรงกดแท่งเชื้อเพลิงแข็งที่อัดได้ว่ามีความสามารถในการรับแรงกดสูงสุดได้ในปริมาณเท่าใด การต้านทานแรงกดเป็นการระบุถึงระดับคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพราะในการนำเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งไปใช้งาน จะมีการระบุถึงระดับของความแข็งแรงของเชื้อเพลิงแข็งที่ยอมรับได้ในงานแต่ละประเภท อีกทั้งจะรวมถึงความสูงของการวางซ้อนทับกันในการเก็บรักษาซึ่งหากแท่งเชื้อเพลิงต้านทานแรงกดได้น้อยก็จะเสียหายได้ ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในการพาณิชย์จะมีค่าการยอมรับเท่ากับ 375 kPa [4]

การทดสอบการต้านทานแรงกดทำได้โดยการใช้เครื่องทดสอบ UTM (Universal testing machine) ซึ่งจะนำแท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านกระบวนการอบแล้วมาทำการตัดให้มีขนาด 40 – 50 มิลลิเมตร แล้วนำมาวางลงบนผิวสัมผัสที่เรียบของแผ่นกดของเครื่อง UTM โดยให้วางตามแนวนอนของแท่งเชื้อเพลิงเพราะเป็นทิศทางที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุด จากนั้นทำการปรับเพิ่มน้ำหนักกดที่จะกดลงบนแท่งเชื้อเพลิงในอัตราคงที่ จนกระทั่งแท่งเชื้อเพลิงเกิดการแตกหักแล้วทำการบันทึกผลของน้ำหนักกดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

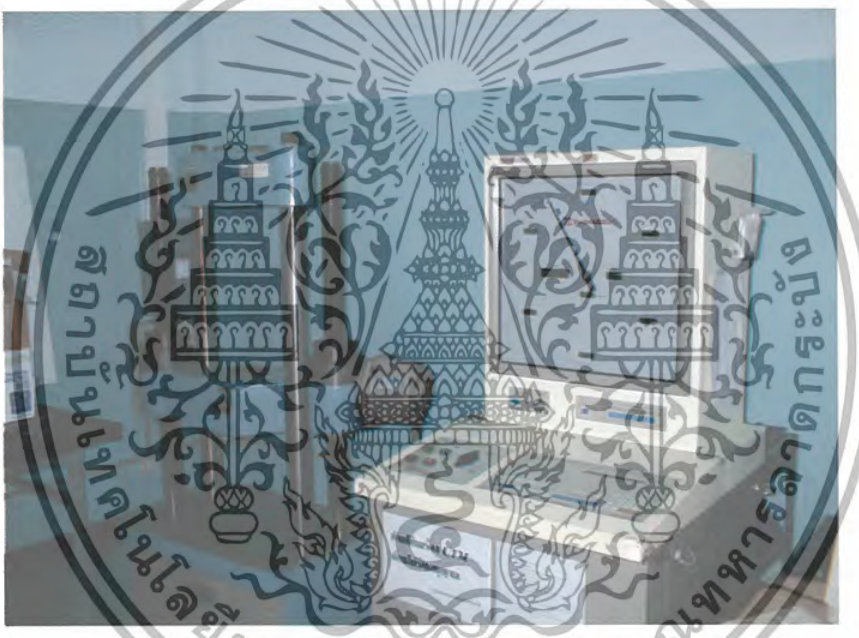
สูงสุดที่ทำให้แท่งเชื้อเพลิงเกิดการแตกหัก และวัดขนาดรอยกดบนแท่งเชื้อเพลิงที่เกิดจากการทดลอง เพื่อจะนำมาคำนวณหาค่าความต้านทานแรงกดซึ่งจะมีค่าเท่ากับ

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad ; N/m^2 \ (Pa)$$

σ คือ การต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงสูงสุด (N/m^2 , Pa)

F คือ แรงที่กดลงบนแท่งเชื้อเพลิงแล้วเกิดการแตกหัก (N)

A คือ พื้นที่ซึ่งเกิดจากน้ำหนักกดทับจนเกิดการแตกหัก (m^2)



รูปที่ 2.4 ลักษณะของเครื่องทดสอบ UTM (Universal testing machine)

2.6.2 กลไกการเผาไหม้ [6]

การเผาไหม้ถ่านหินเป็นปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับคาร์บอน และผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ CO และ CO_2 โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและมีผลของการถ่ายเทมวลเข้ามาเกี่ยวข้อง กลไกปฏิกิริยาซึ่งเป็นที่ยอมรับ คือ

$$2C_f + O_2 \longrightarrow 2C'(O)$$

$$C'(O) \longrightarrow C(O)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62143

$$C(O) \longrightarrow CO + C_f$$

$$C'(O) \longrightarrow CO + C_f$$

$$C'(O) + C'(O) \longrightarrow CO_2 + C_f$$

โดยที่ C'(O) คือ ออกไซด์ของคาร์บอนที่เคลื่อนตัวได้

C(O) คือ ออกไซด์ของคาร์บอนที่ไม่เคลื่อนตัว

C_f คือ คาร์บอนอิสระ

จากกลไกการเผาไหม้สามารถเขียนปฏิกิริยาการเผาไหม้โดยย่อได้ดังนี้

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 + 406 \text{ MJ of heat} \quad \text{.....(1)}$$

จากสมการที่ 1 หมายความว่า 1 kg-mole (12 kg) ของคาร์บอนที่ถูกเผาไหม้กับ 11 kg-mole (32 kg) ของออกซิเจน เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ 1 kg-mole (44 kg) รวมทั้งเกิดพลังงาน 406 MJ (เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน) ซึ่งแบ่งขั้นตอนการเผาไหม้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

$$C + 1/2\ O_2 \longrightarrow CO + 122 \text{ MJ}$$

$$CO + 1/2\ O_2 \longrightarrow CO_2 + 284 \text{ MJ}$$

ถ้าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดมากขึ้น และมีการสูญเสียพลังงาน 284 MJ ต่อคาร์บอน 1 โมล

การเผาไหม้ถ่านหิน [6] สามารถพิจารณาได้ 3 ขั้นตอน คือ

- ถ่านหินถูกทำให้ร้อนและเกิดการสลายตัวได้สารระเหย
- การเผาไหม้สารระเหย
- การเผาไหม้ถ่านที่เหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

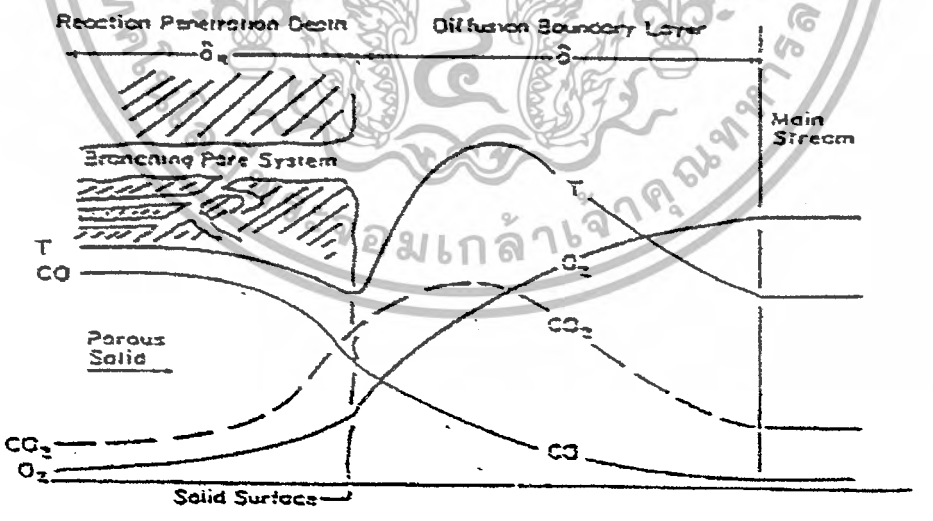
การไพโรไลซิสและเผาไหม้สารระเหย

เมื่อถ่านหินถูกทำให้ร้อนในอากาศจะเกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ และปล่อยสารระเหยออกมาจนกระทั่งถึงจุดๆ หนึ่ง สารระเหยเหล่านี้จะติดไฟเกิดการเผาไหม้ขึ้นเป็นเปลวรอบก้อนถ่านหิน จากข้อมูลของถ่านหินลิกไนต์โดยทั่วไปปริมาณสารระเหยจะมีค่าประมาณ 30-40% โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สารระเหยจะมีค่าสูงต่างกับถ่านหินแอนทราไซต์ ซึ่งมีปริมาณสารระเหยต่ำ

สำหรับถ่านหินที่มีขนาดเล็ก (< 100 μm) ปฏิกิริยาไพโรไลซิสจะขึ้นกับอัตราเร็วของการสลายตัวของถ่านหิน เมื่อถ่านหินมีขนาดใหญ่ขึ้น (> 1 μm) การถ่ายเทความร้อนและมวลสารจะมีผลกระทบต่อการไพโรไลซิสด้วย

การเผาไหม้ถ่านที่เหลือ

หลังจากที่ถ่านหินปล่อยสารระเหยออกหมดแล้ว ก็จะเหลือแต่ถ่านหินซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ได้แก่ คาร์บอน ซึ่งทำปฏิกิริยากับ O_2 ได้เป็น CO_2 รูปที่ 2.5 แสดงถึงการกระจายของอุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ ขณะเกิดการเผาไหม้ถ่านซึ่งมีรูพรุน O_2 จะแพร่เข้าไปภายในรูพรุนและทำปฏิกิริยากับคาร์บอน ได้เป็น CO และ CO_2 ขณะเดียวกัน CO ก็ทำปฏิกิริยาต่อกับ O_2 ทั้งภายในรูพรุนและในชั้นก๊าซรอบก้อนถ่าน CO_2 ที่เกิดขึ้นก็สามารถทำปฏิกิริยากับคาร์บอนได้เป็น CO เมื่อปฏิกิริยาเผาไหม้ดำเนินไปโครงสร้างภายในถ่าน (รูพรุน) ก็เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้อธิบายการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจึงยากมาก



รูปที่ 2.5 การกระจายของอุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซของถ่านพรุนขณะเกิดการเผาไหม้ [6]

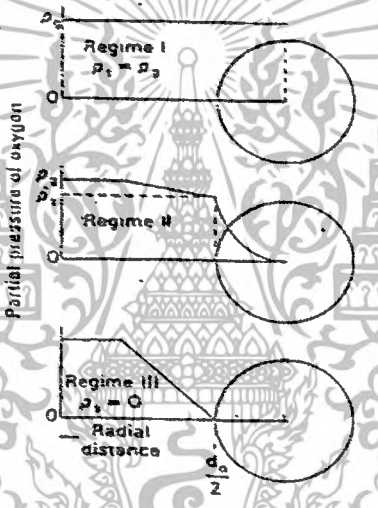
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกที่ควบคุมการเผาไหม้ [6] สามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 คือ

แบบที่ 1 การเผาไหม้ ถูกควบคุมโดยปฏิกิริยาเคมี ซึ่งมักจะเกิดขึ้นเมื่อก้อนถ่านมีขนาดเล็กและอุณหภูมิที่เผาไหม้ต่ำ สำหรับถ่านที่มีรูพรุน ปฏิกิริยาเผาไหม้จะเกิดทั่วทั้งก้อนและความหนาแน่นของถ่านจะลดลงโดยที่ขนาดคงที่ สำหรับถ่านที่มีรูพรุนน้อยการเผาไหม้จะเกิดที่ผิวนอก ขนาดของก้อนถ่านจะลดลง โดยที่ความหนาแน่นคงที่

แบบที่ 2 การเผาไหม้ถูกควบคุมโดยปฏิกิริยาเคมีและการแพร่ของ O_2 ในรูพรุนขณะเกิดการเผาไหม้ ความหนาแน่นของถ่านจะเปลี่ยนแต่ขนาดจะคงที่

แบบที่ 3 การเผาไหม้ถูกควบคุมโดยการถ่ายเทมวลของ O_2 จากอากาศที่อยู่โดยรอบมายังก้อนถ่านซึ่งมักจะเกิดขึ้นเมื่อก้อนถ่านมีขนาดใหญ่และอุณหภูมิในการเผาไหม้สูง



รูปที่ 2.6 การกระจายของออกซิเจนในรูปความดันย่อยขณะเกิดการเผาไหม้ในแบบต่างๆ [6]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ อุดม ธุวโรจน์สกุล และกัญจนา บุณยเกียรติ [7] : งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดก้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรมที่มีปริมาณมากในประเทศ 3 ชนิด คือ ชานอ้อย ขี้เลื่อย และแกลบ ซึ่งมีสมบัติเป็นเชื้อเพลิง ถ้านำมาพัฒนาสมบัติให้เป็นเชื้อเพลิงที่ดีขึ้น สะดวกแก่การใช้งานและการขนส่งแล้วจะสามารถทดแทนถ่านไม้หรือฟืนได้เป็นอย่างดี จากงานวิจัยด้านนี้พบว่า สามารถนำเทคนิคการอัดก้อน (Briquetting) เข้ามาช่วยปรับปรุงเศษวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ เช่น ผงถ่านไม้ ขี้เลื่อย เศษกระดาษ ฟางข้าว และขยะ ให้มีความหนาแน่นสูง แข็ง และคงรูป จึงได้นำเทคนิคดังกล่าวมาทดลองใช้กับวัสดุเหลือทิ้งทั้ง 3 ชนิด ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

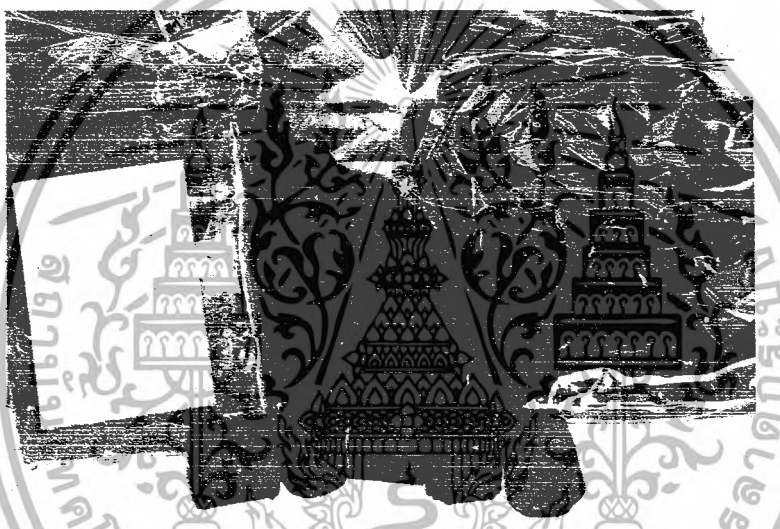
ต่อการอัดก้อนของเศษวัสดุ 3 ชนิด คือ แกลบ ชานอ้อย และขี้เลื่อย ตัวแปรที่ศึกษา คือ ขนาด (ความละเอียด) ของวัสดุ ความชื้นของวัสดุ และหาอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดก้อนที่มีผลต่อการแตกร่อนของเชื้อเพลิงที่อัดก้อนแล้ว และต่อสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงที่ดี และยังศึกษาถึงการปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงที่อัดก้อนโดยใช้เศษวัสดุที่คาร์บอไนซ์แล้วผสมลงไปด้วย จากการทดลองพบว่า ขนาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับชานอ้อย คือ ช่วงขนาด 250-150 ไมโครเมตร สำหรับแกลบ คือ ช่วงขนาด 355-250 ไมโครเมตร และขี้เลื่อย คือ ช่วงขนาดใหญ่ 1000-500 ไมโครเมตร จะให้การแตกร่วนต่ำ ส่วนความชื้นที่เหมาะสมในการอัดแบบเกลียวและให้ความร้อนอยู่ในช่วง 8-12 % อุณหภูมิที่เหมาะสมและประหยัดพลังงานในการอัดชานอ้อยและขี้เลื่อย คือ 65 ^{o}C ส่วนแกลบนั้นแม้ว่าจะเพิ่มอุณหภูมิจนสูงสุดเท่าที่แบบอัดจะให้ได้ คือ 230 ^{o}C แล้วก็ตาม มีผลเพียงทำให้แกลบเริ่มเยิ้มติดกันบ้างบริเวณขอบแต่ยังไม่ติดกันเป็นก้อน ส่วนการปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดก้อนที่เติมวัสดุที่คาร์บอไนซ์แล้วลงไปด้วย พบว่า วัสดุที่คาร์บอไนซ์แล้วโดยไม่มีความร้อนช่วยจะไม่สามารถอัดให้เป็นก้อนได้เลย แต่ถ้าใช้เศษวัสดุที่คาร์บอไนซ์แล้วผสมกันเศษวัสดุที่ยังไม่คาร์บอไนซ์ ในอัตราส่วน 1:1 เพื่อประหยัดพลังงานในการผลิตและให้ก้อนเชื้อเพลิงผสมจุดติดไฟได้ดี พบว่าสามารถอัดเป็นก้อนได้โดยไม่ต้องใช้ความร้อนเลย เพราะเศษวัสดุที่ยังไม่ได้คาร์บอไนซ์นั้น ทำหน้าที่เป็นตัวประสานไปด้วย ซึ่งสรุปได้ว่า สามารถนำชานอ้อยและขี้เลื่อยมาพัฒนาให้เป็นเชื้อเพลิงที่ดีได้ โดยใช้เทคนิคการอัดก้อนและเทคนิคการคาร์บอไนซ์ในสภาวะที่เหมาะสม ส่วนแกลบพบว่า ค่าความร้อนต่ำและการที่ต้องใช้ตัวประสานมีผลต่อค่าความร้อน และลักษณะเปลวไฟเป็นอย่างมาก

ปุญชรัศม์ และคณะ [8] : **งานวิจัยเรื่องการศึกษาการใช้ประโยชน์เถ้าจากการอัดแท่งลิกไนต์ในงานเกษตร** เป็นการศึกษาโดยใช้ประโยชน์จากขี้เถ้า การทดลอง คือ นำเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้แท่งลิกไนต์มาผสมกับดิน และนำไปใช้ในการปลูกถั่วเหลือง ในอัตราส่วน 1.30 ตันต่อไร่ แบ่งการทดลองเป็น 8 การทดลอง จากผลการทดลองทำให้ได้ข้อมูลทางกายภาพ และข้อมูลเกี่ยวกับสารตกค้างของสารพาในดินและพืช ได้ผลการทดลองดังนี้

1. การใช้ขี้เถ้าจากถ่านอัดแท่งเพียงอย่างเดียว ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง และไม่ได้ช่วยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใช้ร่วมกับอินทรียวัตถุ (Organic matter) เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก จะส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น
2. การผสมเถ้าจากถ่านอัดแท่งลิกไนต์กับดิน และผสมสารอินทรีย์วัตถุ จะส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น
3. การผสมเถ้าจากถ่านอัดแท่งลิกไนต์กับดิน ไม่ส่งผลต่อความเป็นพิษในดินและการดูดกินจุลธาตุ (Trace element) ของพืช
4. การผสมเถ้าจากถ่านอัดแท่งลิกไนต์กับดิน ค่า pH ของดินจะเพิ่มขึ้นปริมาณเล็กน้อย อยู่ในเกณฑ์ที่พืชเจริญเติบโตได้เหมือนดินปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทูรย์ บุญยะเกตุ [9] : งานวิจัยเรื่องถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งเปลี่ยนจากวัสดุเหลือทิ้งให้มีค่า ศึกษาเกี่ยวกับการนำกะลามะพร้าวมาผลิตถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่ง ขั้นตอนการทำ คือ นำกะลามะพร้าวมาเผาให้กลายเป็นถ่าน จากนั้นนำมาผสมกับสารยึดโดยใช้แป้งมัน เพื่อให้ถ่านจับตัวเป็นก้อน นำไปบดและอัดถ่านกะลามะพร้าวให้เป็นแท่ง ที่ต้องนำมาบดเพื่อช่วยให้อัดถ่านเป็นแท่งง่ายขึ้น ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการนำแท่งถ่านมาตัดเป็นท่อนตามขนาดที่ต้องการ แล้วนำไปตากแดด 5-6 วันจนแห้ง หรือนำใส่ตู้อบ 8 ชม. ซึ่งถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้ม นอกจากใช้กะลามะพร้าวเป็นวัตถุดิบแล้ว เราสามารถนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ มาทำได้ เช่น แกลบ ซังข้าวโพด ข้อไม้ไผ่ เป็นต้น เมื่อนำมาใช้งาน พบว่า คุณภาพของถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวดีที่สุด รองลงมา คือ ซังข้าวโพด ข้อไม้ไผ่ แกลบ ตามลำดับ

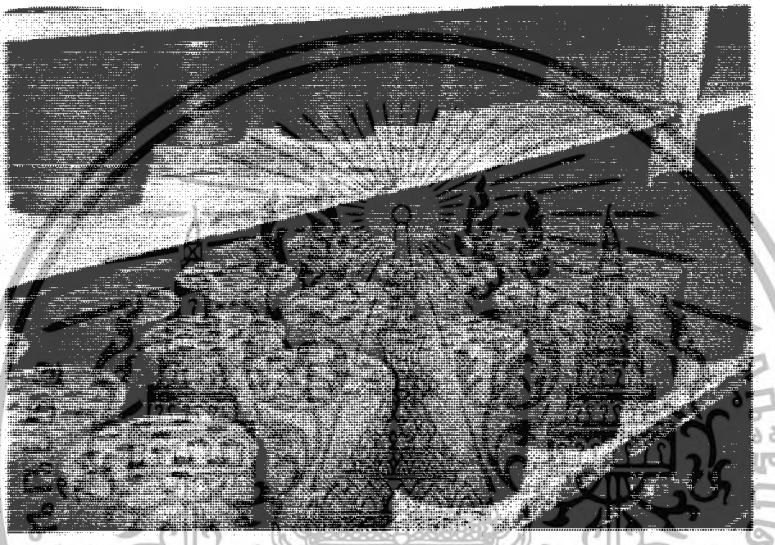


รูปที่ 2.7 ถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวในงานวิจัยของวิทูรย์ บุญยะเกตุ [9]

วรวรรณ พฤกษะวัน [10] : งานวิจัยเรื่องถ่านหินอัดแท่ง คุณค่าเก่าในบทบาทใหม่ ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหลักในหม้อไอน้ำ เพื่อส่งเสริมให้มีการลดมลภาวะจากการใช้ถ่าน การตัดไม้ทำลายป่าและให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาความเป็นอยู่ของประชาชนในประเทศและลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการลดอัตราการสูญเสียพื้นที่ป่าไม้จากการทำลายป่า งานวิจัยนี้ได้มุ่งมั่นในการพัฒนาเชื้อเพลิงในรูปของถ่านหินอัดแท่ง (Coal briquette) ถ่านอัดแท่งนี้ใช้วัตถุดิบหลักจากถ่านลิกไนต์เหมืองแม่เมาะมาผสมกับสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ คือ การนำถ่านหินมาผสมกับปูนขาวแล้วนำมาบดให้ละเอียด คลุกเคล้าให้เข้ากันในอัตราส่วนที่เหมาะสม และยังมีน้ำผสมอีก 1 ส่วนเพื่อให้เกิดการจับตัว ปูนขาวนี้จะช่วยปรับสภาพถ่านให้สะอาดปราศจากมลภาวะ เหมาะสมกับการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง คือ จะช่วยจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ถ่านอัดแท่งนี้จะประกอบด้วยก้อนถ่านและชั้นเชื้อไฟ มีลักษณะเป็นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรงกระบอกรังผึ้ง ซึ่งถ่านหินที่ได้นี้มีสมบัติพิเศษ คือ ให้ความร้อนสม่ำเสมอ ระยะเวลาที่ใช้ในการจุดติดไฟนานถึง 3-4 ชม. ขณะใช้งานไม่มีกลิ่น ไม่มีควัน ไม่มีเขม่า ไม่มีขี้เถ้าฟุ้งกระจาย มีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ร่วมกับเตาพลังงาน ใช้สำหรับการหุงต้มที่ต้องการความร้อนสม่ำเสมอ ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน มีความแข็ง คงรูป ขนาดเหมาะสม สะดวกในการขนส่ง สามารถจัดเก็บไว้ได้นานไม่หมดอายุ ณ วันนี้ถ่านหินอัดแท่งมีการจัดทำเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงให้พลังงานความร้อน ใช้ได้ทั้งในครัวเรือนและอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และยังสมารถใช้กับโรงงานไฟฟ้าพลังความร้อนขนาดเล็กอีกด้วย



รูปที่ 2.8 ถ่านหินอัดแท่งในงานวิจัยของวรวรรณ พฤกษะวัน [10]

ปิยะนุช นาคะ [11] : งานวิจัยเรื่องถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่ง การใช้กะลามะพร้าวมาทำเชื้อเพลิง โดยการเผา บด อัด เป็นถ่านกะลามะพร้าวใช้ทดแทนถ่านไม้ได้ดี ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม ไม่ก่อมลภาวะ ไม่ทำลายป่าไม้ ดังนั้น ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งจึงเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้รับรองคุณภาพ มีสมบัติที่เหนือกว่าถ่านไม้ทั่วไปในการหุงต้มอาหาร ถ่านกะลามะพร้าวสามารถให้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอและสูงกว่าถ่านไม้ถึง 2 เท่า มีขี้เถ้าน้อย ไม่มีประกายไฟปะทุ ไม่มีควัน ไม่ก่อสารพิษจากการเผาไหม้ ขั้นตอนการทำ คือ เผากะลามะพร้าวให้เป็นถ่านและนำถ่านมาคัด โดยแยกส่วนที่เป็นกะลาแห้งหรือไหม้ไม่หมดออกไป จากนั้นนำไปอัดแท่ง โดยนำมาบดให้ละเอียดแล้วนำมาผสมกับแป้ง 5% เข้าเครื่องอัดเกลียวชนิดสกรูอัดให้เป็นแท่ง และตัดเป็นท่อนๆ ที่สามารถใช้งานได้ นำไปตากแดดให้แห้ง ซึ่งถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งนี้จะใช้ประโยชน์ ได้แก่ ใช้ดับกลิ่นในรถยนต์ ตู้เย็น รองเท้าหนังที่มีความชื้นสูง และใช้ปรุงอาหารทั้งในและนอกสถานที่ ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคต้องการ เนื่องจากสะอาด ไร้ควัน ให้ความร้อนสูง และยังอนุรักษ์ธรรมชาติได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งบรรจุถุงจำหน่ายในงานวิจัย ของ ปิยะนุช นาคะ [11]

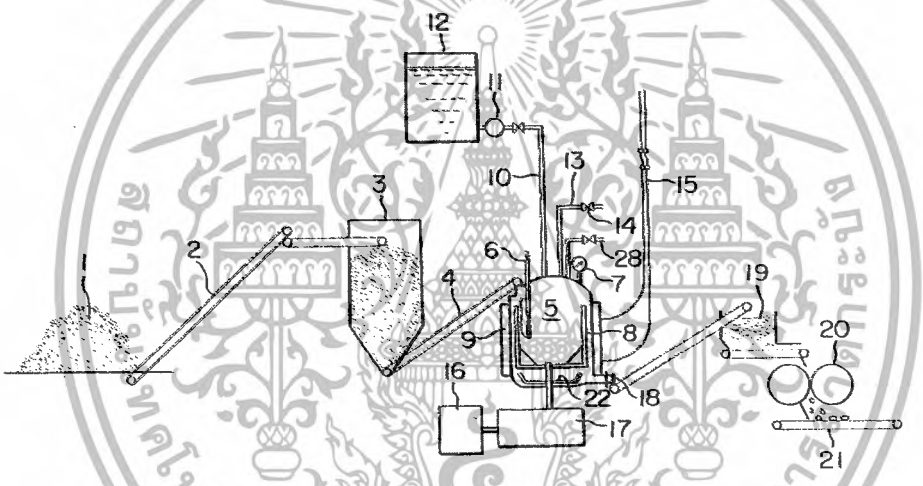
นรชัย นาคงาม กิตติ สุวรรณชัย และเอกดนัย พารอด [12] : เรื่องการออกแบบสร้างสกรู 1 ปาก 2 ปาก และแม่พิมพ์เพื่อผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งจากกะลามะพร้าวโดยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชัน ปัจจุบันการผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งจากชีวมวลเหลือใช้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในภาคใต้ซึ่งมีกะลามะพร้าวและใยกะลามะพร้าวเป็นแหล่งชีวมวลเหลือใช้เป็นจำนวนมาก ที่สามารถใช้ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงได้ จึงได้นำเสนอโครงงานการออกแบบสร้างสกรู 1 ปาก, 2 ปาก และแม่พิมพ์เพื่อใช้ในกระบวนการอัดรีด (Extrusion process) เชื้อเพลิงแท่งแข็ง เพื่อเป็นการปรับปรุงอัตราการผลิตและยังคงประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงแท่งแข็งจากกะลามะพร้าว โดยสัดส่วนที่ใช้ในการทดสอบสกรูคือ (ผงถ่านกะลามะพร้าว:ผงถ่านใยกะลามะพร้าว) 70:30, 80:20 และ 90:10 ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานโดยอัตราส่วนเท่ากับ 15:100 (น้ำหนักกากน้ำตาล : น้ำหนักวัตถุดิบ) ซึ่งพบว่าสกรู 1 ปากนั้นให้อัตราการผลิตที่มากกว่าสกรู 2 ปาก และยังคงประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงแท่งแข็งไว้ เช่น ความต้านทานต่อความเค้นอัด ความหนาแน่น และค่าความร้อนสูง รวมถึงการใช้พลังงานจำเพาะที่ต่ำด้วย

M.J.Blesa, J.L. Miranda, M.T. Izquierdo, R. Moliner [13] : **งานวิจัยเรื่องการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการคงรูป ว่ามีผลต่อความแข็งแรงเชิงกลของแท่งเชื้อเพลิงที่ไม่มีควัน ซึ่งเตรียมได้จากจากใช้กากน้ำตาลเป็นสารยึด** ได้ทำการศึกษาโดยใช้ Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) Temperature programmed decomposition (TPD) By MS และ Optical microscopy (OM) ซึ่งการใช้ TPD จะช่วยให้สามารถทราบสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงมากกว่าการใช้เทคนิค IR อย่างไรก็ตามเทคนิค TPD และ FT-IR จะสามารถใช้บอกถึงความแตกต่างของ Oxygenate function groups และการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่นได้ ส่วนเทคนิค OM ทำให้ทราบถึงโครงสร้างหรือสัณฐานวิทยาของแท่งเชื้อเพลิงได้ ในการทดลองทำการศึกษาสมบัติของแท่งเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวกับ Impact resistance index (IRI) ทำให้ทราบถึงความสามารถของแท่งเชื้อเพลิงนี้ในการรับแรงขณะขนส่งและขณะเผาไหม้ โดยใช้อุณหภูมิในการคงรูป คือ 150°C 200 °C 200 °C (2 h) และ 200 °C(4 h) พบว่า การนำแท่งเชื้อเพลิงมา cure จะทำให้เกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างสารยึดกับวัสดุคาร์บอน (Carbonise material) ซึ่งอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่สำคัญมาก และอุณหภูมิที่ทำให้แท่งเชื้อเพลิงมีความสามารถในการรับแรงขณะขนส่ง ดีที่สุด คือ ที่อุณหภูมิคงรูป 200 °C (2 h)

Patent US. 3,980,447 [14] : **งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินสีน้ำตาล (Brown coal)** โดนนำผงถ่านหินมาทำให้แห้ง จากนั้นให้ความร้อนครั้งแรก โดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 300-320 °C ด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ 30-60 °C ต่อนาที จากนั้นให้ความร้อนครั้งที่ 2 โดยการควบคุมอุณหภูมิ 350-400 °C ด้วยอัตราการให้ความร้อน 1-10 °C ต่อนาที **การให้ความร้อนครั้งแรกทำให้ผงถ่านหินเกิดการรวมตัวกัน และการให้ความร้อนครั้งที่ 2 จะให้ความดันประมาณ** 1200-2000 kp/cm^2



รูปที่ 2.10 กระบวนการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหินใน Patent US. 3,980,447 [14]

Patent US 4,093,425 [15] : **งานวิจัยเรื่องถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหิน** งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการเตรียมถ่านหินอัดแท่งจากผงถ่านหิน ซึ่งเตรียมจากผงถ่านหินที่ถูกบดเป็นผงแล้วทำการผสมด้วยเครื่องผสมโดยมีการเติม Caking agent ลงไป เพื่อให้ผงถ่านหินจับตัวเป็นก้อน จากนั้นนำไปขึ้นรูปในแม่แบบให้เป็นถ่านหินอัดแท่ง ซึ่งถ่านหินที่ใช้ ได้แก่ ชนิด Taiheiyo20, Taiheiyo 50, Taiheiyo 70 และ BK ส่วน Caking agent ที่ใช้ ได้แก่ PDA (Propane – deasphalted asphalt) ที่สัดส่วนต่างๆ กัน งานวิจัยนี้ศึกษาถึงผลของปัจจัยต่างๆ เช่น ความเร็วรอบของการผสมปริมาณและชนิดของผงถ่าน ปริมาณและชนิดของ Caking agent ที่มีผลต่อกระบวนการผลิต ค่า Crushing hardness และค่าความถ่วงจำเพาะของถ่านหินอัดแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

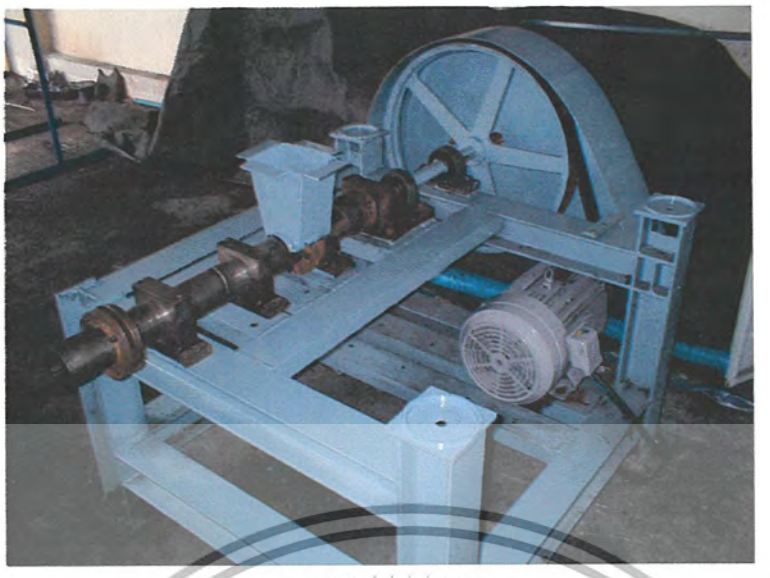
3.1 วัตถุดิบ

1. ผงถ่านหินแอนทราไซต์ขนาด 0.1-1.0 มิลลิเมตร จากบริษัท V.S. Coal Dust Industry จำกัด สมบัติบางประการของถ่านหินแอนทราไซต์ แสดงได้ดังตารางที่ 3.1
2. ผงถ่านจากกะลามะพร้าว จากบริษัท สามัคคีดำเนินคาร์บอน
3. กากน้ำตาล ปริมาณของแข็ง (Solid content) 70.08% จากโรงงานมิตรผล

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

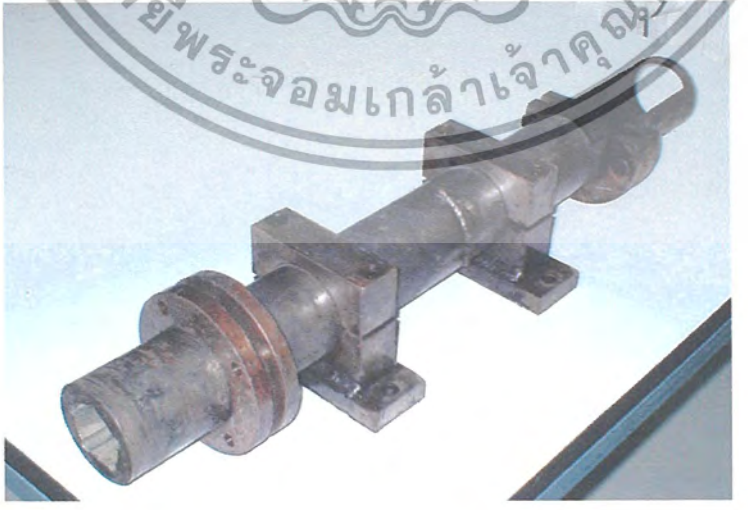
1. เครื่องอัดรีด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร แสดงดังรูปที่ 3.1 รายละเอียดของเครื่องแสดงในภาคผนวก ก เกลียวหนอน (Screw) เป็นลักษณะเกลียวเรียว แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนป้อนวัสดุและส่วนอัดตัว L/D ratio 75:5 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.2 ส่วนหัวดายมีเส้นผ่านศูนย์กลางตอนเข้า 65 มิลลิเมตร ตอนออก 50 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.3
2. เครื่องผสมปั่นกวนเชิงกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร แสดงดังรูปที่ 3.4
3. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส รุ่น Raynger® MX บริษัท Raytex แสดงดังรูปที่ 3.5
4. เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ รุ่น A007303 บริษัท Callenkamp แสดงดังรูปที่ 3.6
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. เครื่องชั่งสารอย่างละเอียด รุ่นTC-254 บริษัท Denver Instrument
7. ตู้อบแบบอากาศร้อน รุ่น UM4000 บริษัท Memmert
8. ตะแกรงร่อนสารเบอร์ 50 80 และ 100 เมช
9. เครื่อง Universal testing machine รุ่น UH-30A บริษัท Himadzu Corporation
10. เครื่องบดย่อยวัสดุ จากกองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แสดงดังรูปที่ 3.7
11. แก๊สอะเซทิลีน
12. หัวฉีดแก๊ส
13. เตาเผาทดสอบถ่านหิน แสดงดังรูปที่ 3.8
14. ครูซิเบิล (Crucible)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



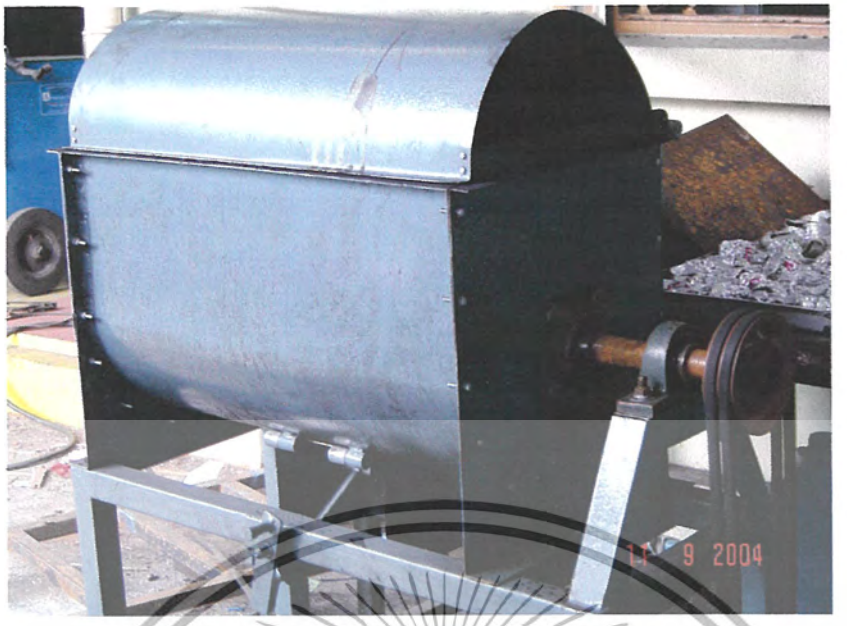
รูปที่ 3.1 ลักษณะของเครื่องอัดรีด

รูปที่ 3.2 ลักษณะของสกรูที่ใช้ในเครื่องอัดรีด

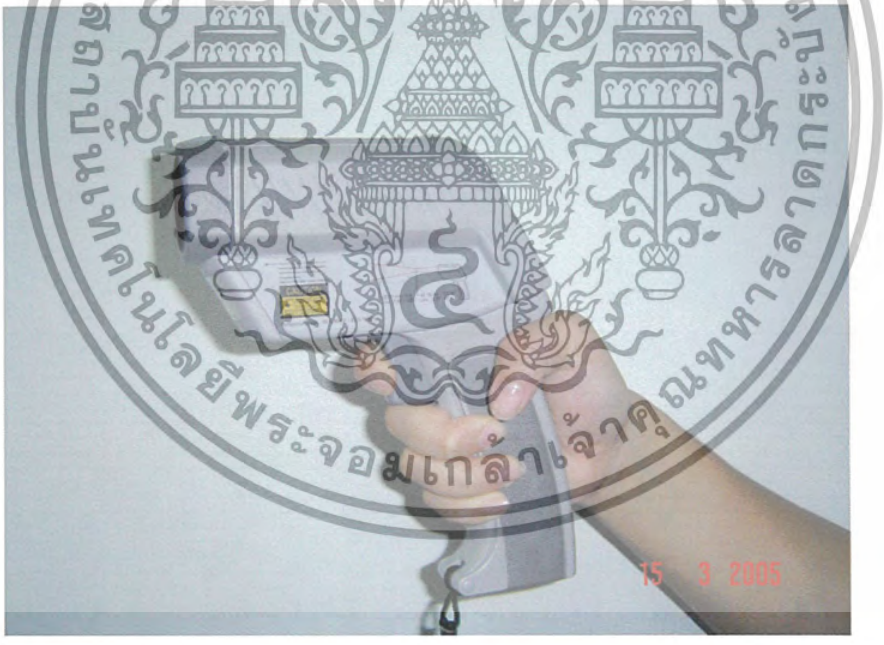


รูปที่ 3.3 ลักษณะของหัวดายที่ใช้ในเครื่องอัดรีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

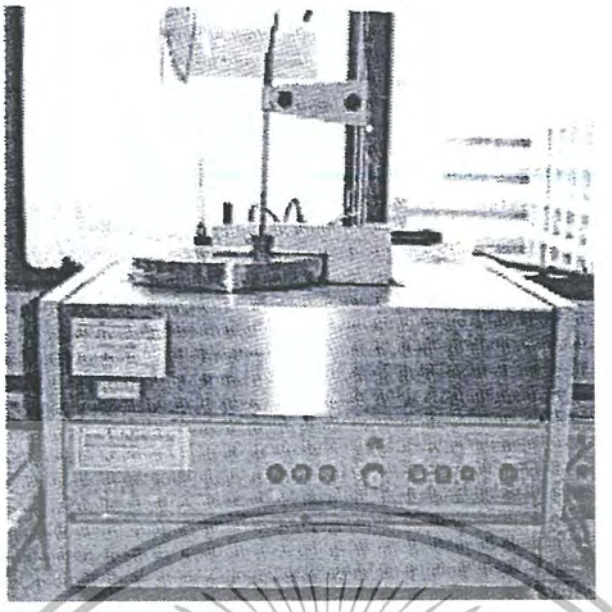


รูปที่ 3.4 ลักษณะของเครื่องผสมปั่นกวนเชิงกล



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส รุ่น Raynger® MX บริษัท Raytex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ รุ่น A007303 บริษัท Callenkamp

รูปที่ 3.7 เครื่องบดย่อยวัสดุ จากกองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 เตาเผาทดสอบถ่านหิน

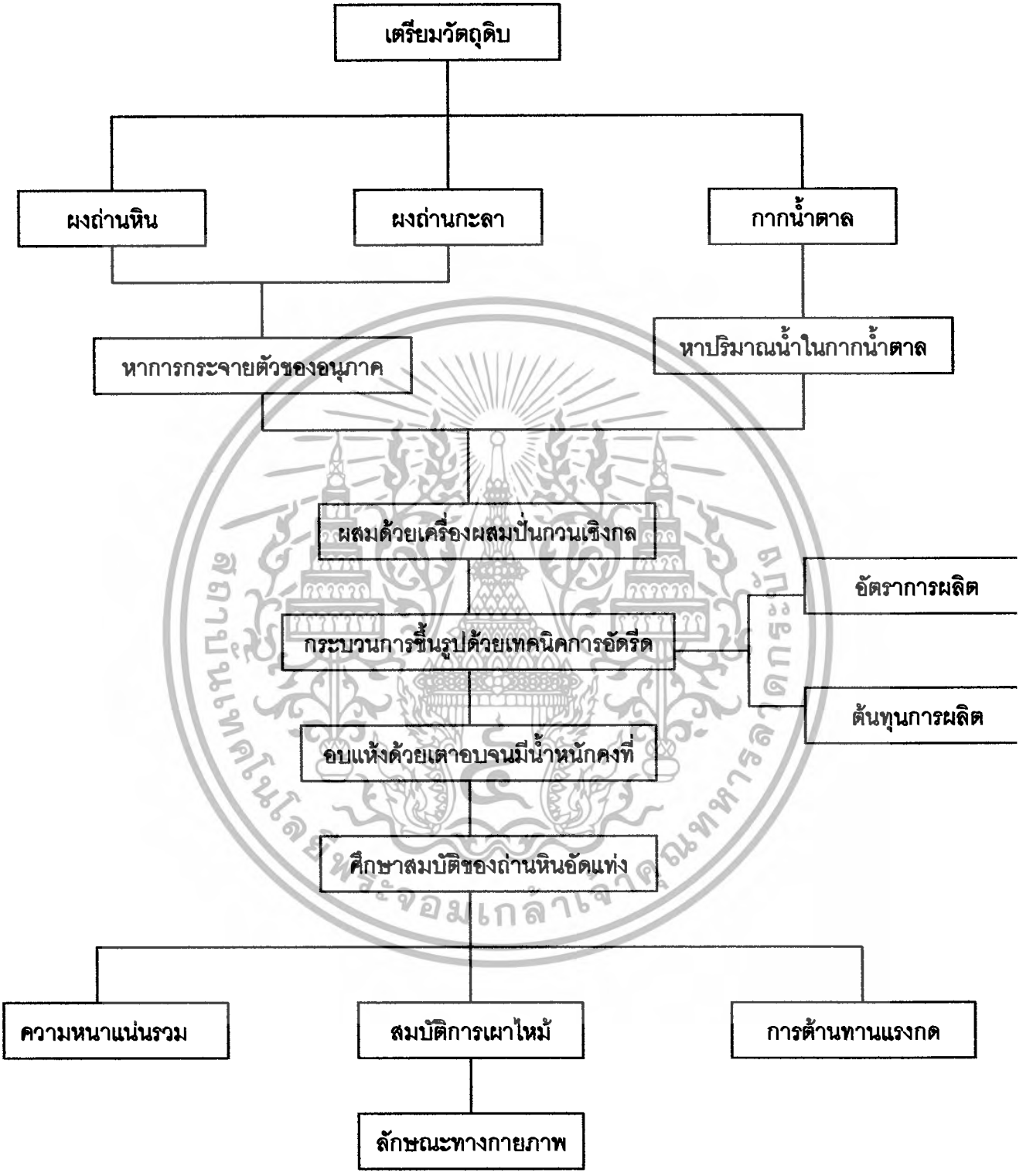
ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของถ่านหินแอนทราไซต์ที่ใช้ในงานวิจัย

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 k cal/kg
ปริมาณความชื้นรวม (Total moisture)	5.00 %

หมายเหตุ ข้อมูลจาก SGS (Thailand) Limited

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการวิจัย



รูปที่ 3.9 แผนผังขั้นตอนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การกระจายตัวของอนุภาค (Distribution)

1. ผงถ่านหินแอนทราไซต์

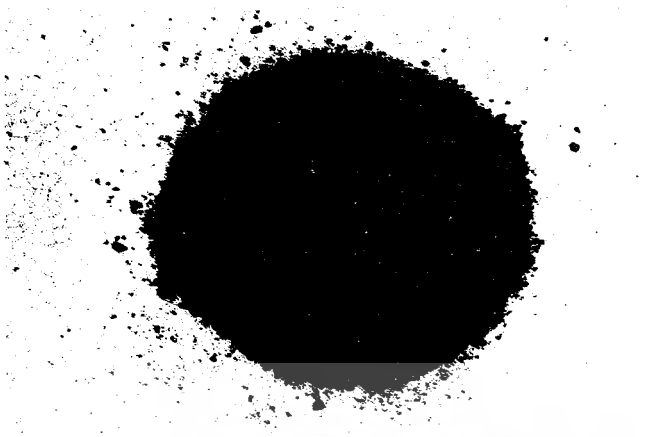
ผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่ได้รับมามีขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันหลายขนาดอยู่ปะปนกัน จึงต้องนำผงถ่านหินแอนทราไซต์มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Sieve analyzer ดังรูปที่ 3.10 เพื่อให้ทราบว่าขนาดผงถ่านหินที่ใช้มีสัดส่วนของขนาดที่ต่างกันอย่างไร ทั้งนี้เพื่อควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบให้อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน

รูปที่ 3.10 เครื่อง Sieve analyzer

2. ผงถ่านกะลา

โดยปกตินั้นกะลามะพร้าวที่ผ่านกระบวนการเผาเป็นถ่านกะลาแล้วนั้น จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมทำไส้กรองน้ำเป็นต้น ในการเผาถ่านกะลานั้นจะใช้กะลามะพร้าวแห้งมาทำการเผาในถังเปิดซึ่งจะใช้ตัวกะลาแห้งเป็นเชื้อเพลิงในการเผา โดยจะจุดกะลาแห้งแล้ววางไปด้านล่างถังแล้วปล่อยกะลาให้เผาไหม้ไประยะหนึ่ง เพื่อให้เกิดเป็นถ่านกะลา ซึ่งพบว่าลักษณะของถ่านกะลายังคงคล้ายกับกะลาแห้งอยู่ จึงต้องนำถ่านกะลาที่เผาแล้วไปบด โดยใช้เครื่องบดย่อยวัสดุ จากกองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หลังจากทำการบดด้วยเครื่องบดย่อยวัสดุแล้วถ่านกะลาจะมีลักษณะเป็นผงถ่านกะลาดังรูปที่ 3.11 ซึ่งสามารถนำมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ ขนาดของอนุภาคผงถ่านกะลาที่ได้หลังจากทำการบดแล้วจะแตกต่างกันหลายขนาด จึงต้องนำผงถ่านกะลามาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Sieve analyzer เพื่อให้ทราบว่าขนาดผงถ่านที่บดได้มีสัดส่วนของขนาดต่างๆอย่างไร และเพื่อเป็นการคัดเลือกขนาดอนุภาคในช่วงที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ลักษณะของผงถ่านกะลาที่ผ่านการบด

3.3.2 การหาปริมาณน้ำในกากน้ำตาล

เพื่อให้ทราบถึงน้ำหนักแห้ง (Dry weight) และปริมาณน้ำที่มีอยู่ในกากน้ำตาล เนื่องจากในการคำนวณหาปริมาณกากน้ำตาลที่ใช้ในแต่ละสูตร นั้นคิดจากน้ำหนักแห้งของกากน้ำตาล การหาปริมาณน้ำในกากน้ำตาล มีขั้นตอนดังนี้

- ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของกากน้ำตาล แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 ° C จนน้ำหนักคงที่
- ชั่งน้ำหนักของกากน้ำตาลที่เหลือจากการอบ แล้วนำไปคำนวณหาค่า % น้ำในกากน้ำตาล โดยใช้สูตร

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

พบว่า กากน้ำตาล 100 กรัม มีกากน้ำตาลที่เป็นของแข็งอยู่ 70.08 กรัม มีน้ำอยู่ 29.92 กรัม

3.3.3 การผสมวัตถุดิบ

นำวัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ ผงถ่านหินแอนทราไซต์ ผงถ่านกะลา และกากน้ำตาลผสมกันตามอัตราส่วนที่ศึกษาแสดงดังตารางที่ 3.2 โดยใช้น้ำในอัตราส่วน 3 -20 ส่วนต่อของแข็ง 100 ส่วนเพื่อให้ง่ายต่อการผสมและขึ้นรูป จากนั้นจึงทำการผสมด้วยเครื่องผสมปั่นกวนเชิงกล แสดงดังรูปที่ 3.8 แล้วปั่นกวนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เวลาประมาณ 5 นาที นำของผสมที่เตรียมได้ไปเข้าสู่กระบวนการอัดรีด และตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการทำถ่านหินอัดแท่ง 10 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนวัตถุดิบที่ทำการศึกษา

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
ผงถ่านหินแอนทราไซต์ : ผงถ่านกะลา	60:40, 80:20, 90:10	w/w
กากน้ำตาล	9, 12, 15	% Dry weight
น้ำ	3 - 20	ส่วนโดยน้ำหนักต่อ 100 ส่วนของแข็ง

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการทำถ่านหินอัดแท่ง 10 กิโลกรัมที่อัตราส่วน 60:40 โดยใช้กากน้ำตาลที่มีปริมาณของแข็ง 70.08% เป็นสารยึด

% กากน้ำตาล Dry weight	กากน้ำตาล (g)	แอนทราไซต์ (g)	ผงถ่านกะลา (g)
9	1284	5460	3640
12	1712	5280	3520
15	2140	5100	3400

3.3.4 **กระบวนการขึ้นรูป**

นำของผสมที่เตรียมได้ไปเข้าเครื่องอัดรีด โดยใช้สภาวะต่างๆ ของเครื่องดังต่อไปนี้

- ความเร็วรอบ 400 รอบ/นาที
- กำลังมอเตอร์ 10 HP

เมื่อทำการอัดขึ้นรูปจะได้ถ่านหินอัดแท่งที่มีความยาวต่อเนื่อง จากนั้นตัดแบ่งให้เป็นแท่งสั้นๆ ยาวประมาณ 20 เซนติเมตร แล้วนำถ่านหินอัดแท่งที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการอบให้แห้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 ถ่านหินอัดแท่งที่ได้จากเครื่องอัดรีด

รูปที่ 3.13 ลักษณะของถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้

3.3.5 **อัตราการอบแห้ง**

นำถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้ไปชั่ง เพื่อหาน้ำหนักก่อนอบแล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 °C จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักถ่านหินอัดแท่งทุกๆ 2 ชั่วโมง จนน้ำหนักของถ่านหินอัดแท่งคงที่ นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟเพื่อหาอัตราการอบแห้ง

3.3.6 **การทดสอบสมบัติต่างๆ ของถ่านหินอัดแท่ง**

การทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สมบัติการเผาไหม้ ลักษณะทางกายภาพ การทดสอบความหนาแน่น (Density) และการทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6.1 การทดสอบความหนาแน่น (Density) [3]

1. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของถ่านหินอัดแท่ง (D_1)
2. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของแท่งถ่านหินอัดแท่ง (D_2)
3. วัดความสูงของถ่านหินอัดแท่ง (h)
4. ชั่งน้ำหนักของถ่านหินอัดแท่ง (m)
5. คำนวณหาความหนาแน่นรวมของถ่านหิน (ρ) จากสมการ

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

3.3.6.2 สมบัติการเผาไหม้

1. นำถ่านหินอัดแท่งที่เตรียมได้ มาตัดจำนวน 3 - 4 แท่ง ให้มีน้ำหนักรวมประมาณ 2 กิโลกรัม
2. นำแท่งถ่านหินทั้งหมดวางลงในเตาเผาทดสอบถ่านหินโดยวางแบบสุ่ม
3. ทำการจุดหัวแก๊สอะเซทิลีน และปรับหัวแก๊สอะเซทิลีนให้มีอุณหภูมิมากกว่า 900 °C จากนั้นนำหัวแก๊สอะเซทิลีนมาจ่อถ่านหินอัดแท่งเป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงนำหัวแก๊สอะเซทิลีนออก
4. ทำการบันทึกอุณหภูมิทันทีโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส
5. ทำการเป่าลม เพื่อช่วยในการเผาไหม้
6. บันทึกอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องทุกๆ 5 นาที จนถ่านหินอัดแท่งมีอุณหภูมิ 40°C
7. ทำการเก็บตัวอย่างเถ้า
8. ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 1 - 7 จนครบทุกสูตร

3.3.6.3 การทดสอบหาค่าปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion) **โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ตามมาตรฐาน** ASTM 2015 [3]

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่า (Ignition cup) และชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่าพร้อมเส้นด้ายความยาว 12 เซนติเมตรทำการบันทึกน้ำหนัก
2. ชั่งกรดเบนโซอิกประมาณ 1.2 กรัมนำมาอัดขึ้นรูปพร้อมกับด้ายแล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ทำการบันทึกน้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำกรดเบนโซอิกที่อัดเป็นเม็ดแล้วมาใส่ในถ้วย (Ignition cup) แล้วผูกปลายด้ายกับลวดความยาว 6 เซนติเมตร ที่ต่อขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้วที่อยู่ในส่วนของ Heat bomb
4. นำ Heat bomb มาประกอบ Bomb แล้วหมุนสกรูให้แน่น
5. ทำการผ่านแก๊สออกซิเจนให้ภายใน Bomb มีความดันประมาณ 25 atm แต่ไม่ควรเกิน 30 atm
6. ทำการทดสอบการซึมผ่านของแก๊สโดยนำน้ำกลั่นมาเทบริเวณรอบๆรอยต่อของ Bomb ถ้ามีฟอง อากาศแสดงว่ามีการซึมผ่านของแก๊สเกิดขึ้น
7. นำ Bomb ใส่ไว้ในถังแล้วใส่น้ำ
8. ปรับอุณหภูมิของน้ำรอบ Bomb และถังให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันโดยไม่ควรต่างกันเกิน 1° 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 วินาที จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ นำไปเขียนกราฟเพื่อหา ΔT
12. ปิดเครื่องและนำ Bomb ออก ทำการปล่อยแก๊ส จากนั้นนำ Heat bomb ออกจาก Bomb ดูว่ามีลวดและด้ายเหลือหรือไม่ ทำการจดบันทึกความยาวที่เหลือ
13. ทำการคำนวณหาค่า Energy equivalent of calorimeter (W) เมื่อค่าความร้อนสุทธิ (Gross heat of combustion) ของกรดเบนโซอิก = 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 = (335x2.479x0.01 cal/cm) x (ความยาวลวดที่ถูกเผาไหม้ cm)

e_4 = การแก้ค่าความร้อนของด้ายฝ้าย = (4180x7.205x0.001 cal/cm) x (ความยาวด้ายที่ถูกเผาไหม้ cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1-2 แต่เปลี่ยนจากกรดเบนโซอิกเป็นถ่านหิน
15. นำค่า W ที่คำนวณได้ในข้อที่ 13 มาคำนวณค่าความร้อนของการเผาไหม้สุทธิ (Gross heat of combustion)

3.3.6.4 **ความแข็งแรงกดอัด** (Compressive strength)

ทำการทดสอบสมบัติความแข็งแรงกดอัด โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D695M [3] โดยใช้ Load cell 14.71 กิโลนิวตัน ความเร็วในการกด 22.5 มิลลิเมตร/นาที

1. ตั้งสภาวะเครื่องตามมาตรฐาน ASTM D695M
2. นำถ่านหินอัดแท่งมาตัดโดยให้มีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 40-50 mm
3. ใช้หัวกดแบบหลบครีบในการทดสอบความแข็งกด โดยวางให้แนบชิดกับชิ้นงานพอดี
4. ทำการกดอัดแล้วบันทึกค่าต่างๆ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength)

รูปที่ 3.14 ลักษณะตัวอย่างถ่านหินอัดแท่งที่ใช้ก่อนการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 ลักษณะตัวอย่างถ่านหินอัดแท่งที่ใช้หลังการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

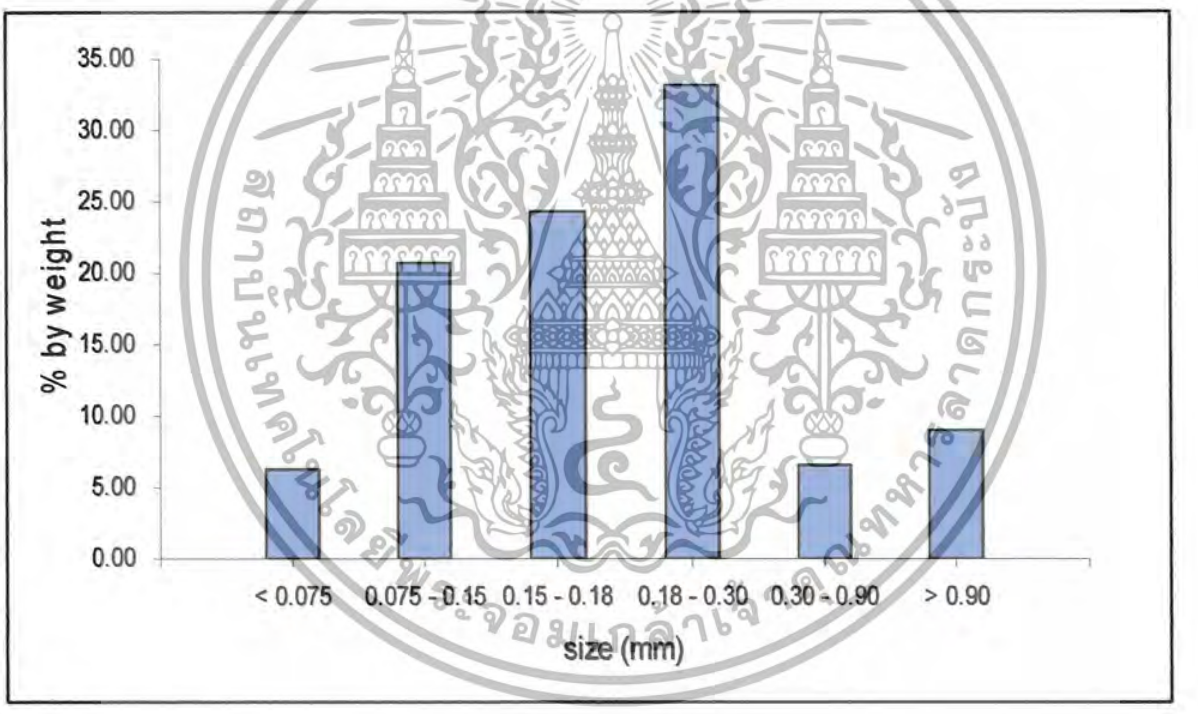
บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลของการกระจายตัวของอนุภาค

วัตถุดิบที่นำมาใช้มีความหลากหลายของขนาดอนุภาค จึงได้มีการนำวัตถุดิบมาหาการกระจายตัวของอนุภาคด้วยเครื่อง Seive analyzer

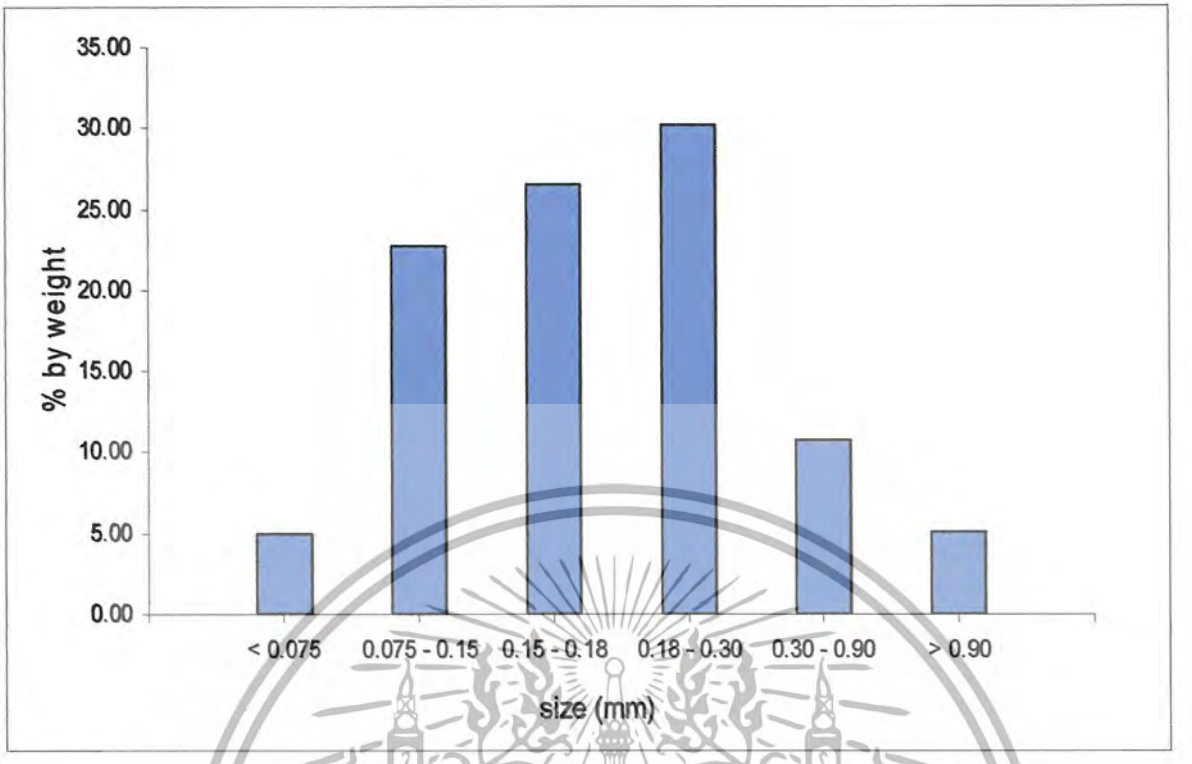
4.1.1 ผงถ่านหินแอนทราไซต์

ผงถ่านหินแอนทราไซต์ได้รับมาจากบริษัท V.S. Coal Dust Industry จำกัด ซึ่งมีขนาดของอนุภาค 0.1 ถึง 1 มิลลิเมตร จึงได้มีการนำมาหาการกระจายตัวของอนุภาค 4 ครั้ง แสดงดังรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4

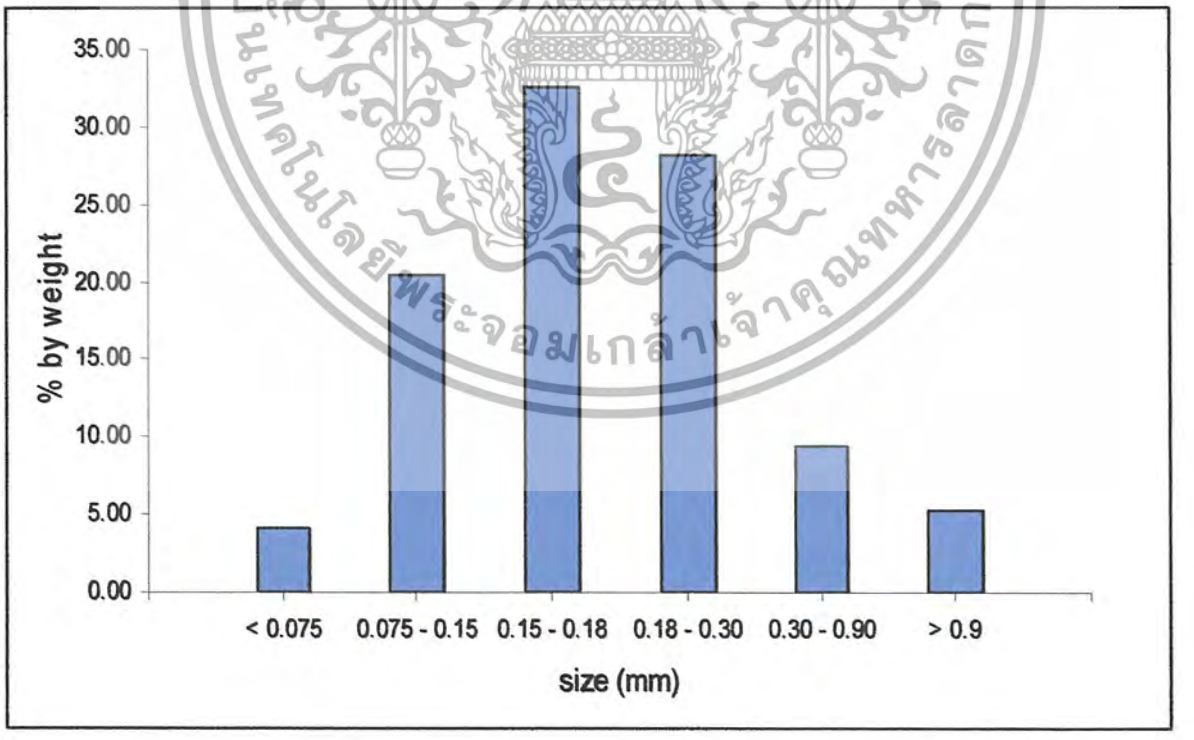


รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของอนุภาคผงถ่านหินแอนทราไซต์ (ครั้งที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

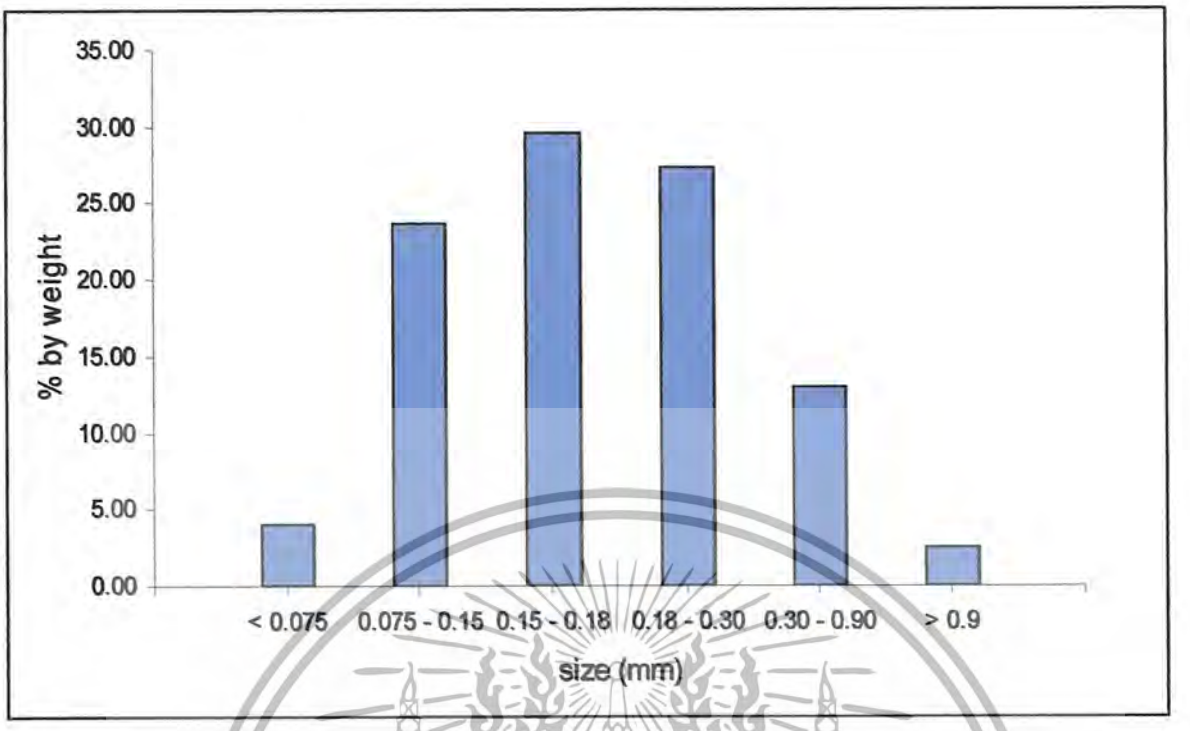


รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของอนุภาคผงถ่านหินแอนทราไซต์ (ครั้งที่ 2)



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของอนุภาคผงถ่านหินแอนทราไซต์ (ครั้งที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



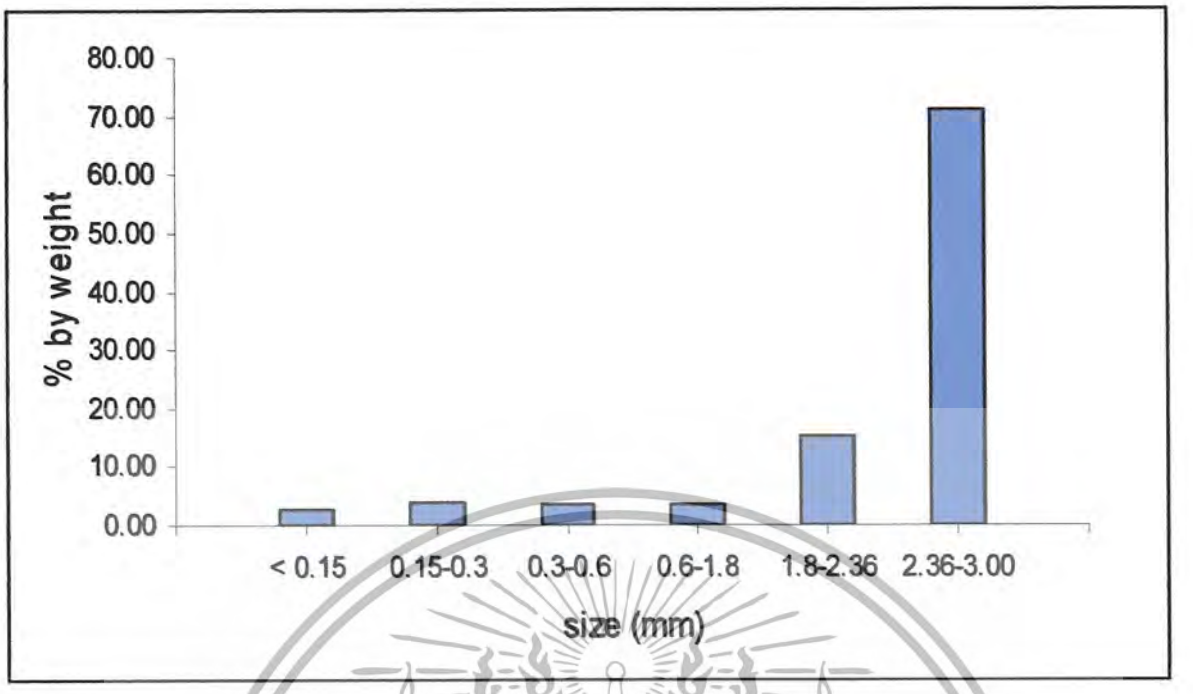
รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของอนุภาคผงถ่านหินแอนทราไซต์ (ครั้งที่ 4)

จากผลการทดลองพบว่า ผงถ่านหินแอนทราไซต์มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคอยู่ในช่วงเดียวกัน ซึ่งอนุภาคส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่ที่ประมาณ 0.075 ถึง 0.3 มิลลิเมตร และอนุภาคส่วนน้อยจะกระจายตัวอยู่ที่ประมาณ < 0.075 และ > 0.9 มิลลิเมตร ซึ่งการกระจายตัวของอนุภาคอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ 0.1 ถึง 1 มิลลิเมตร ดังนั้นปัจจัยการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินแอนทราไซต์จึงไม่มีผลต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ได้ในงานวิจัยนี้

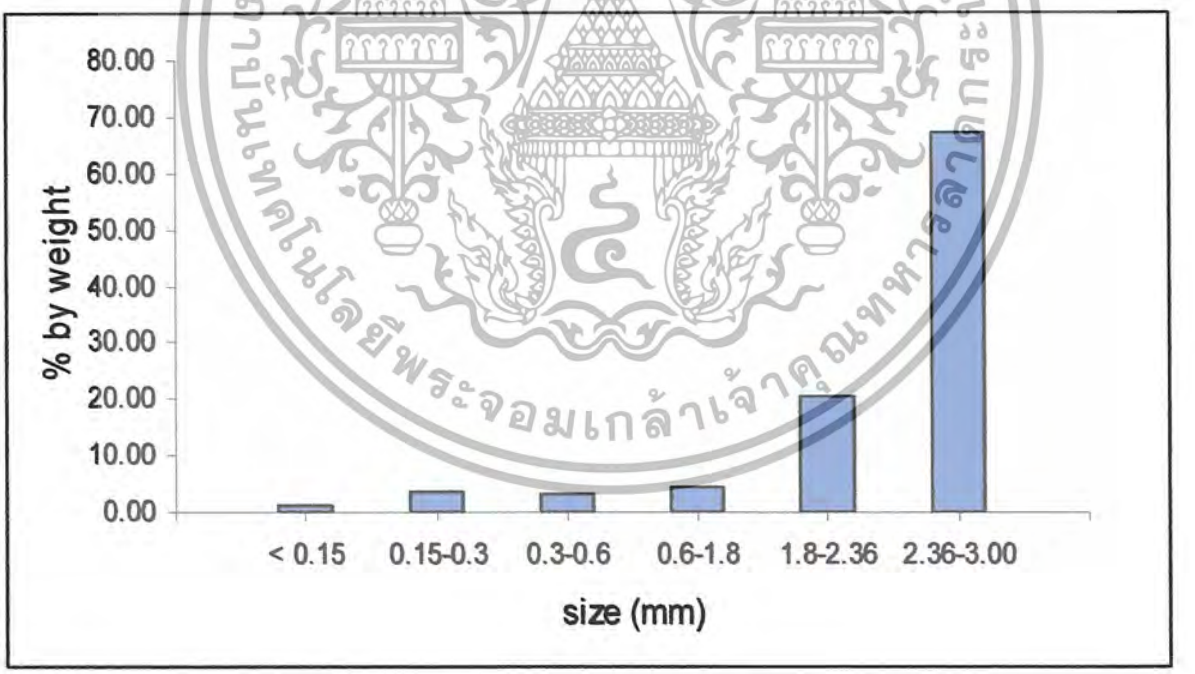
4.1.2 **ผงถ่านจากกะลามะพร้าว**

ผงถ่านกะลาที่ใช้ในงานวิจัยต้องผ่านการบดย่อยก่อน โดยใช้เครื่องบดย่อยวัสดุ จากกองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งมีขนาดตะแกรงร่อน 3 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำมาหาลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค ผงถ่านกะลาที่ใช้มี 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของอนุภาคผงถ่านกะลา (ครั้งที่ 1)



รูปที่ 4.6 การกระจายตัวของอนุภาคผงถ่านกะลา (ครั้งที่ 2)

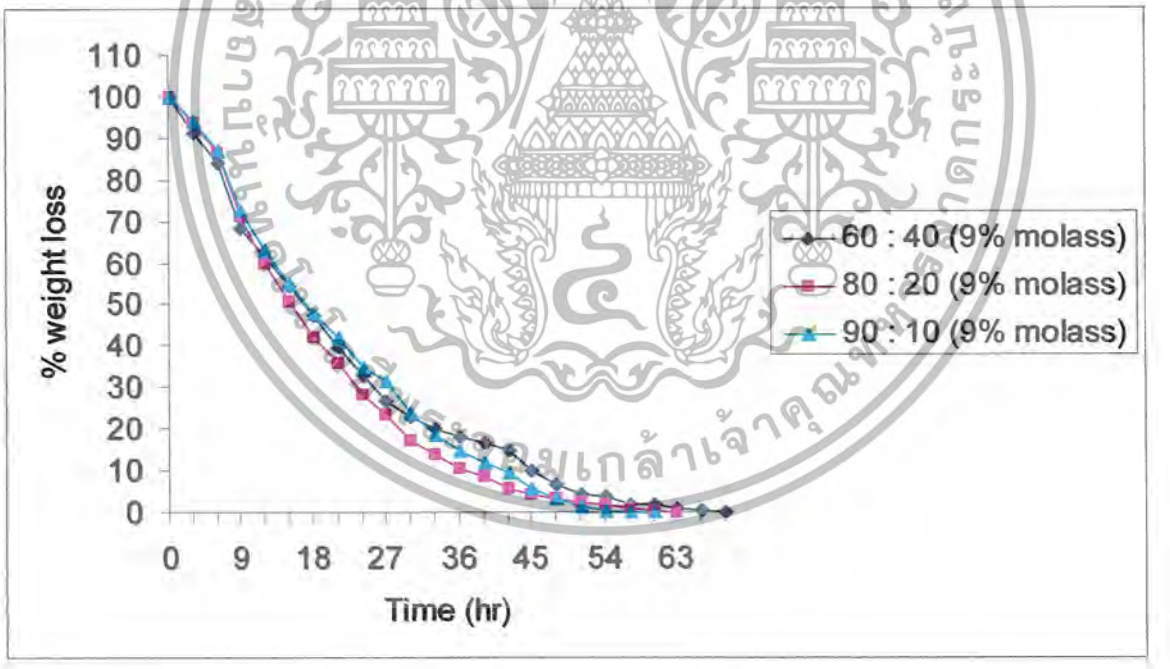
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า ผงถ่านกะลามีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคอยู่ในช่วงเดียวกัน ซึ่งอนุภาคส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่ที่ประมาณ 1.8 ถึง 2.36 มิลลิเมตร และอนุภาคส่วนน้อยจะกระจายตัวอยู่ที่ประมาณ 0.15 ถึง 0.6 มิลลิเมตร ซึ่งการกระจายตัวของอนุภาคอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ดังนั้นปัจจัยการกระจายตัวของอนุภาคถ่านกะลาจึงไม่มีผลต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ได้ในงานวิจัยนี้

การกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินแอนทราไซต์ และถ่านกะลามีการกระจายตัวอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ซึ่งเป็นการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ ทำให้ปัจจัยนี้ไม่ส่งต่อสมบัติของถ่านหินอัดแท่งที่ได้ แต่สมบัติของถ่านหินอัดแท่งจะขึ้นกับอัตราส่วนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลา และปริมาณสารยึด

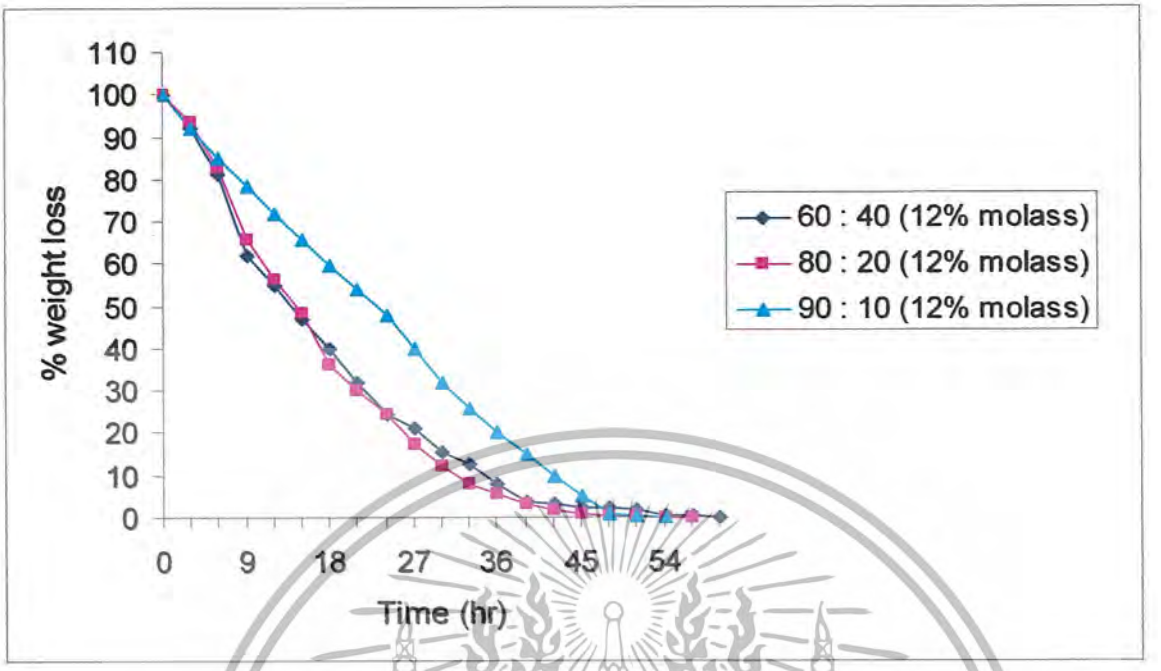
4.2 เวลาการอบแห้งของถ่านหินอัดแท่ง

ตัดถ่านหินอัดแท่งให้มีน้ำหนักประมาณ 500 กรัม นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 °C โดยจะชั่งน้ำหนักทุกๆ 3 ชั่วโมง จนน้ำหนักของถ่านหินอัดแท่งคงที่ แสดงดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.9

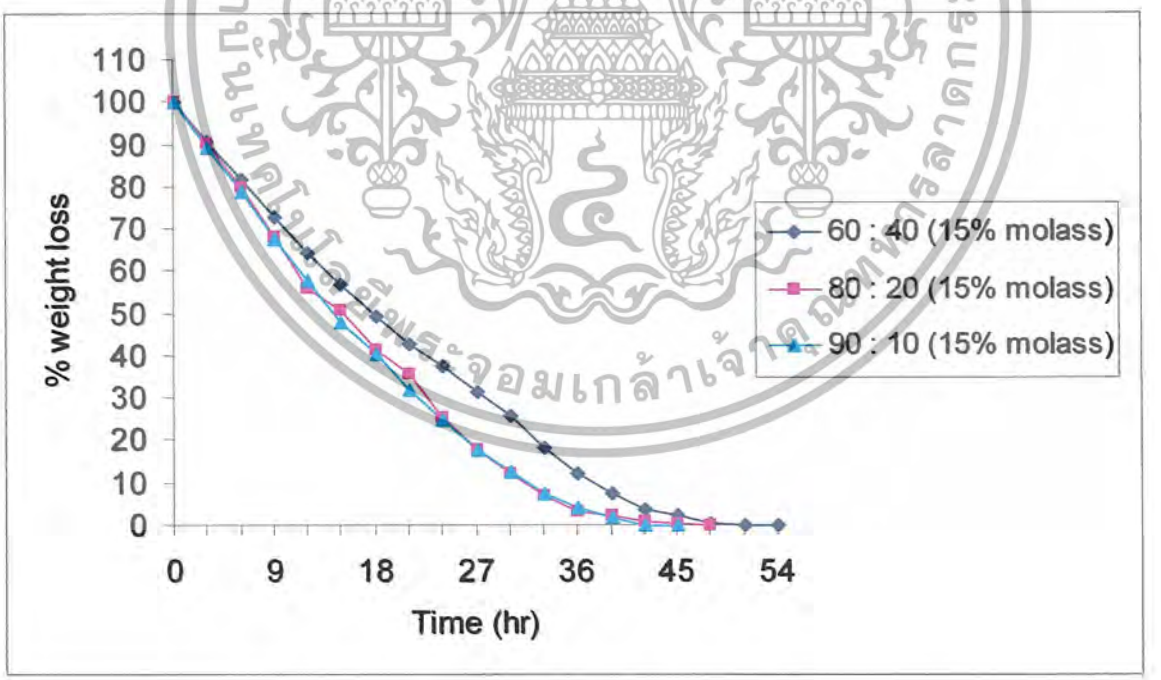


รูปที่ 4.7 เวลาการอบแห้งเมื่อใช้สารละลายกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 9 % wt ของของแข็งทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 เวลาการอบแห้งเมื่อใช้สารละลายกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 12 % wt ของของแข็งทั้งหมด



รูปที่ 4.9 เวลาการอบแห้งเมื่อใช้สารละลายกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15 % wt ของของแข็งทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้สารละลายกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 9 % wt ของของแข็งทั้งหมดเป็นสารยึดจะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 66 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 12 % wt ของของแข็งทั้งหมดจะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 60 ชั่วโมง และเมื่อใช้สารละลายกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15 % wt ของของแข็งทั้งหมดจะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 54 ชั่วโมง ซึ่งเวลาการอบแห้งในแต่ละอัตราส่วนมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 60:40 ใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด เนื่องจากผงถ่านกะลามีความแข็งแรงกดอัดที่ต่ำเมื่อเทียบกับแอนทราไซต์ จึงทำให้เกิดการอัดตัวของถ่านหินอัดแท่งที่แน่น มีช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อย ส่งผลให้น้ำแพร่ออกมาจากถ่านหินอัดแท่งได้น้อย จึงต้องใช้เวลานานในการอบแห้ง ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณของผงถ่านกะลา ปริมาณน้ำในถ่านหินอัดแท่งจะมากด้วยจึงใช้เวลาในการอบแห้งที่นานกว่าอัตราส่วนอื่น

4.3 ความหนาแน่น (Density)

นำถ่านหินอัดแท่งในแต่ละสูตรมาตัดให้สูงประมาณ 5 เซนติเมตร และทำการลบครีบจนถ่านหินอัดแท่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอก จำนวน 3 ก้อน จากนั้นนำแท่งถ่านหินทั้ง 3 ก้อนไปชั่งน้ำหนัก โดยเครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด ทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของแต่ละก้อน แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณตามสูตรในหัวข้อ 3.3.6.1 จากนั้นหาค่าเฉลี่ยค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การหาค่าความหนาแน่นของถ่านหินอัดแท่ง

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลา	% กากน้ำตาล	ความหนาแน่นเฉลี่ย (กิโลกรัม / ลบ.ม.)	Standard error ($\pm$ SD/$\sqrt{n}$)
60 : 40	9	1.8823	±0.064
	12	1.7595	±0.099
	15	1.8502	±0.048
80 : 20	9	1.9521	±0.368
	12	1.9845	±0.027
	15	1.9094	±0.042
90 : 10	9	1.9854	±0.035
	12	2.0802	±0.057
	15	1.9780	±0.062

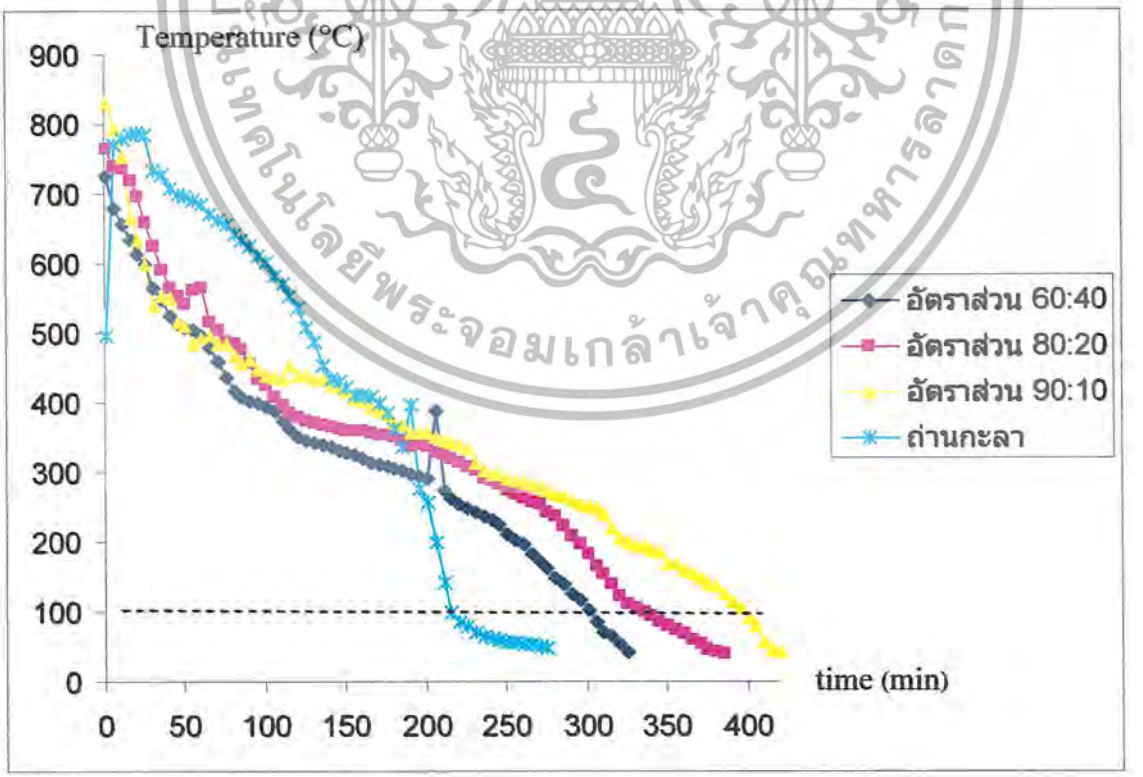
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ความหนาแน่นเฉลี่ยในแต่ละสูตรมีค่าอยู่ในประมาณ 1.8 ถึง 2.0 กิโลกรัม/ลบ.ม. และที่อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 90:10 มีความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุด เนื่องจากผงถ่านหินแอนทราไซต์มีความหนาแน่นมากกว่าผงถ่านกะลา ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณของผงถ่านหินแอนทราไซต์ ส่งผลให้ความหนาแน่นของถ่านหินอัดแท่งเพิ่มมากขึ้น

4.4 สมบัติการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่ง

การทดสอบการเผาไหม้ถ่านหินอัดแท่ง จะทำการเผาไหม้แยกตามอัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 60:40, 80:20 และ 90:10 เท่านั้น โดยจะไม่ทำการพิจารณาถึงปริมาณกากน้ำตาลที่ใช้ เนื่องจากปริมาณกากน้ำตาลที่ใช้ใกล้เคียงกัน จึงไม่ส่งผลต่อระยะเวลาในการเผาไหม้และอุณหภูมิที่ได้

ในการวัดอุณหภูมิจะวัดอุณหภูมิที่พื้นผิวของถ่านหินอัดแท่งจะทำการวัด 3 จุดแล้วหาค่าเฉลี่ย พบว่า ถ่านหินอัดแท่งแต่ละสูตรสามารถติดไฟได้มีความสามารถในการเผาไหม้ดีและให้อุณหภูมิสูง เมื่อติดไฟแล้วจะมีลักษณะเป็นถ่านแดง ไม่เกิดเปลวไฟและควัน เนื่องจากกากน้ำตาลมีความเหนียวสามารถยึดโครงสร้างหลักของถ่านหินอัดแท่งได้ดี ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้อย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ



รูปที่ 4.10 การเผาไหม้ที่อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองการทดสอบการเผาไหม้ของถ่านหินอัดแท่งตามหัวข้อ 3.3.6.2 ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่า ตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงที่อุณหภูมิ 100 °C อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 90:10 ใช้เวลาในการเผาไหม้นานที่สุดประมาณ 7 ชั่วโมง เนื่องจากสมบัติของถ่านหินแอนทราไซต์สามารถติดไฟได้เป็นระยะเวลานาน ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านหินแอนทราไซต์จึงทำให้ถ่านหินอัดแท่งมีระยะเวลาในการเผาไหม้นานขึ้น และจากการเปรียบเทียบผลการเผาไหม้ของถ่านกะลาพบว่า ถ่านกะลาใช้เวลาในการเผาไหม้ประมาณ 3 ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าการเผาไหม้ถ่านหินแอนทราไซต์ เนื่องจากแท่งถ่านหินเป็นของผสมซึ่งผสมระหว่างผงถ่านหินแอนทราไซต์กับผงถ่านกะลา ดังนั้นเมื่ออัตราส่วนใดมากแท่งถ่านหินจะแสดงสมบัติตามอัตราส่วนนั้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลการวิจัยปีการศึกษา 2546 ที่อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 60:40 ใช้กากน้ำตาลเป็นสารยึด ใช้เวลาในการเผาไหม้ 3 ชั่วโมง และที่อัตราส่วนอื่นไม่สามารถติดไฟได้ พบว่า ที่อัตราส่วนเดียวกันจะมีเวลาในการเผาไหม้นานกว่า เนื่องจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดทำให้อนุภาคเกิดการอัดตัวกันแน่น มีช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อย ไม่เกิดการแตกหักขณะทำการเผา และเตาที่ใช้ในการเผาไหม้ถ่านหินมีลักษณะแตกต่างกัน โดยในงานวิจัยปีที่ผ่านมาใช้เตาถ่านในการเผา ซึ่งผนังของเตาเป็นลักษณะเปิดทำให้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ถ่านหิน แต่ในงานวิจัยปีการศึกษานี้ได้ประดิษฐ์เตาพิเศษที่มีผนังปิดเป็นอิฐทนไฟสามารถเก็บความร้อนได้ดี ทำให้อุณหภูมิสูงจนถ่านสามารถติดไฟได้ รวมทั้งยังมีเครื่องเป่าลมช่วยให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้มีระยะเวลาในการเผานานขึ้น ลักษณะเตาเผาแสดงดังรูปที่ 4.11

a b

รูปที่ 4.11 ลักษณะของเตาเผา a) เตาเผาที่ใช้ในปีการศึกษา 2546 b) เตาเผาที่ใช้ในปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่วัดได้จากงานวิจัยนี้ จะเป็นอุณหภูมิที่พื้นผิวด้านบนของถ่านหินอัดแท่ง ซึ่งอุณหภูมิที่ได้จะต่ำกว่าอุณหภูมิผิวด้านล่างของถ่านหินอัดแท่ง เนื่องจากในการจ่อไฟเพื่อทำการทดสอบการเผาไหม้นั้นจะทำการจ่อไฟจากด้านล่างของเตา จึงอาจส่งผลให้ถ่านหินอัดแท่งด้านล่างที่สัมผัสกับเปลวไฟได้มากกว่าเกิดการเผาไหม้ได้เร็วกว่าและมีอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณผิวด้านบน

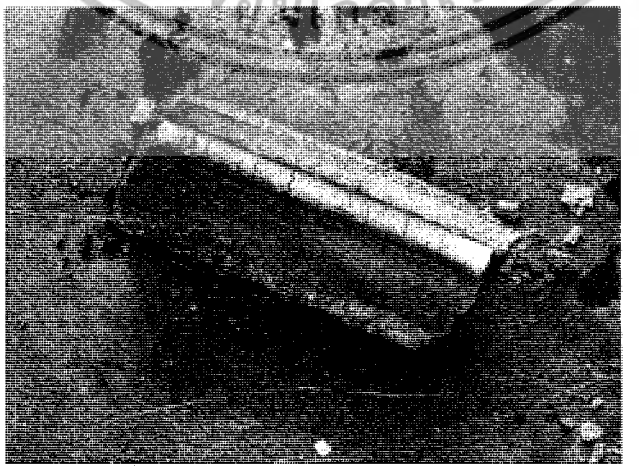
4.5 ลักษณะทางกายภาพเมื่อผ่านการเผาไหม้

เมื่อนำถ่านหินอัดแท่งมาทดสอบการเผาไหม้ ลักษณะของเถ้าที่ได้หลังจากการเผาไหม้ในแต่ละอัตราส่วนจะมีลักษณะเหมือนกัน แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของแท่งถ่านหินที่ได้หลังจากเผาไหม้

ลักษณะทางกายภาพ	ผลที่ได้จากการสังเกต
1. ขี้เถ้า • ลักษณะ • สี • ความแข็ง	 รูปร่างเหมือนถ่านหินอัดแท่งที่อัดได้ สีน้ำตาล ไม่มีผงสีดำของถ่านหินปนอยู่ นิ่ม เป็นผงละเอียด
2. ความคงรูปของถ่านหินอัดแท่ง	หลังจากเผาไหม้ยังคงสภาพเป็นแท่ง แต่เมื่อสัมผัสจะแตก

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ถ่านหินอัดแท่งที่ได้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากไม่มีผงสีดำของถ่านหินเหลืออยู่ และลักษณะของเถ้ายังคงรูปเดิม แสดงดังรูปที่ 4.12 อย่างไรก็ตามเมื่อมีแรงมากระทำจะทำให้เถ้าแตกออก

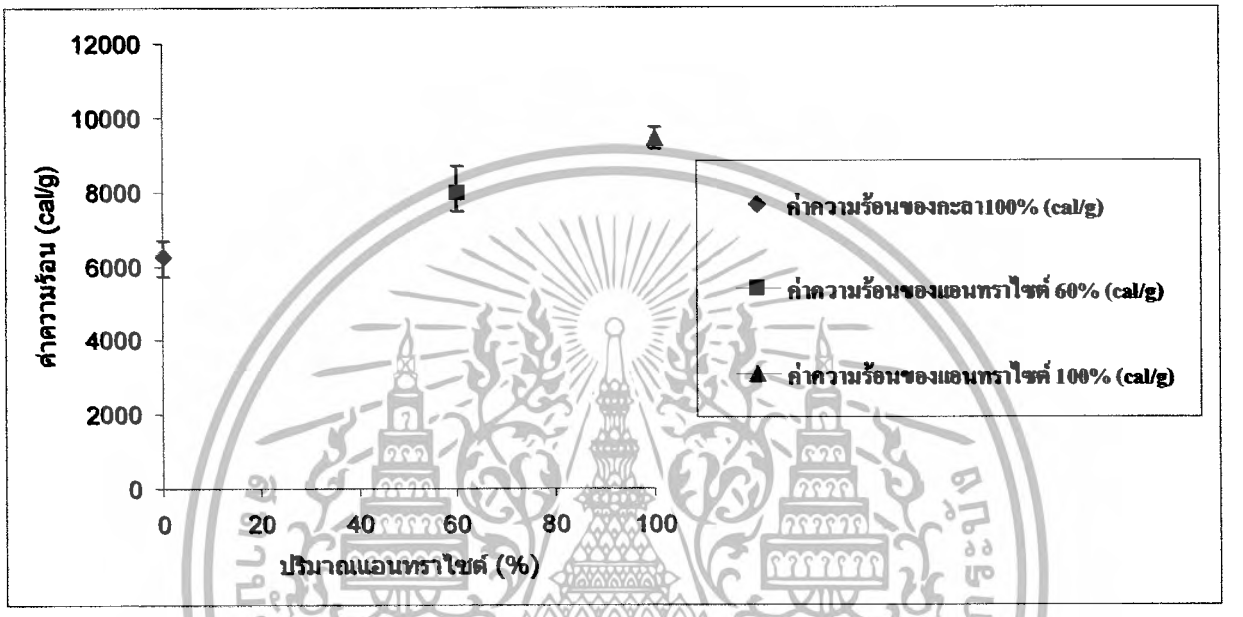


รูปที่ 4.12 ลักษณะของเถ้าที่ได้หลังจากทำการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 สมบัติทางความร้อนของถ่านหินอัดแท่ง

นำผงถ่านหินแอนทราไซต์ ผงถ่านกะลา และผงถ่านหินแอนทราไซต์ 60% มาหาค่าปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion) โดยในแต่ละชนิดจะทำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย แสดงดังรูปที่ 4.13



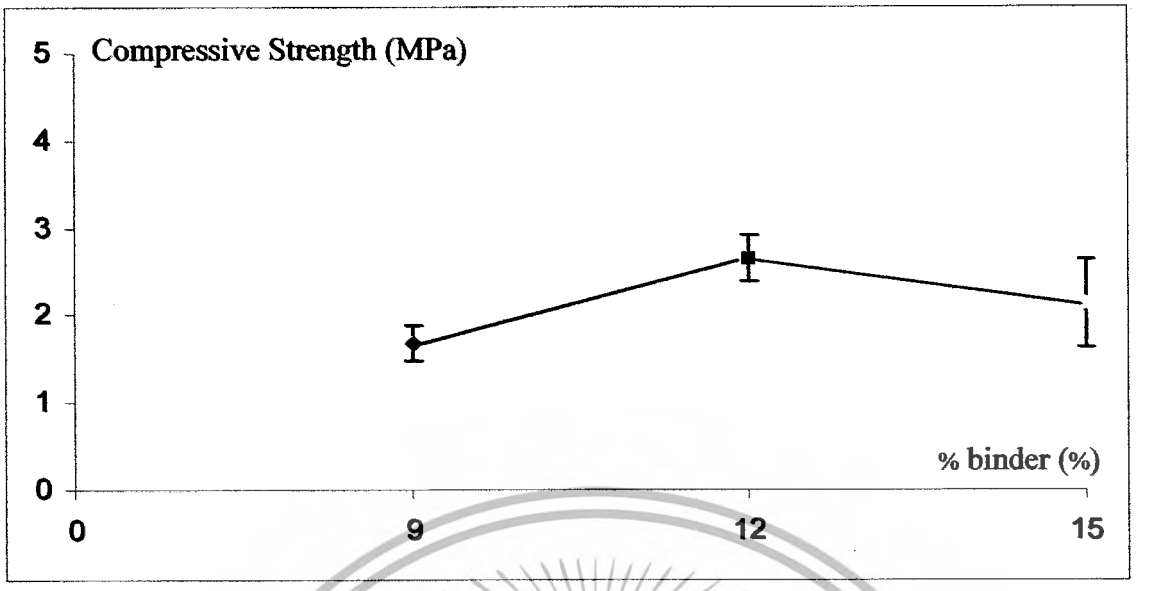
รูปที่ 4.13 ค่าความร้อนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ ผงถ่านกะลา และถ่านหินอัดแท่งอัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 60 : 40

จากผลการทดลองพบว่า ผงถ่านหินแอนทราไซต์ให้ค่าความร้อนสูงที่สุด เนื่องจากสมบัติของผงถ่านหินแอนทราไซต์สามารถให้ค่าความร้อนสูงเมื่อเทียบกับผงถ่านกะลา และที่ผงถ่านหินแอนทราไซต์ 60% ให้ค่าความร้อนสูงกว่าผงถ่านกะลา เพราะมีปริมาณผงถ่านหินแอนทราไซต์ถึง 60 ส่วนใน 100 ส่วน จึงให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าผงถ่านกะลา 100% แต่น้อยกว่าผงถ่านหินแอนทราไซต์ 100%

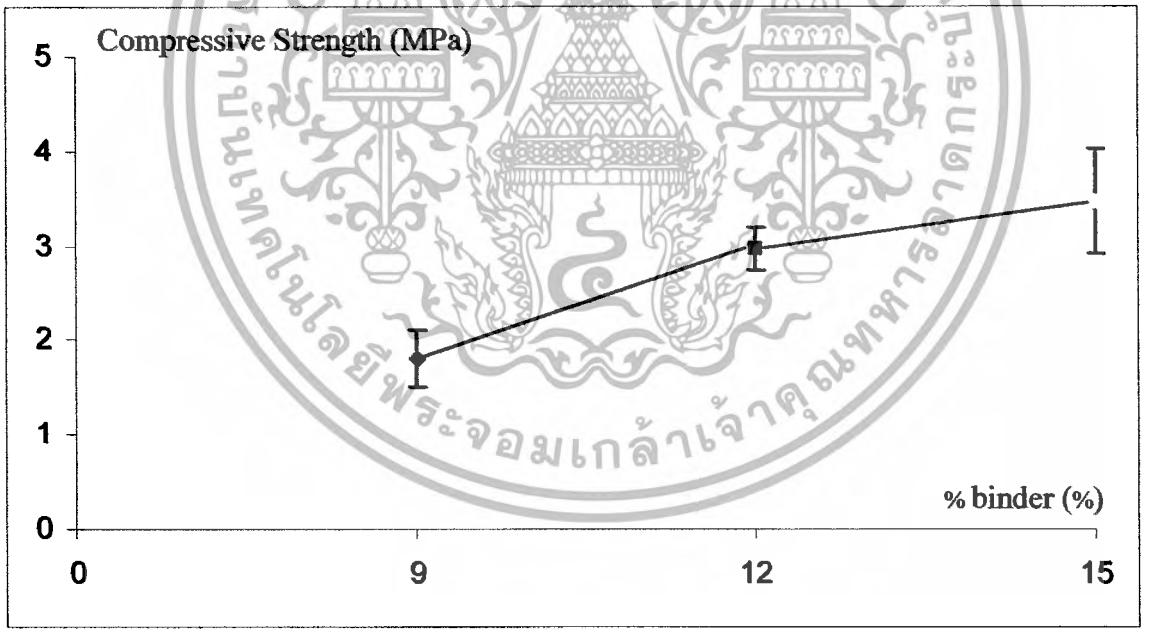
4.7 สมบัติเชิงกลของถ่านหินอัดแท่ง

ทำการทดสอบสมบัติความแข็งแรงกดอัด ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D695M ในหัวข้อ 3.3.6.4 โดยทำการทดสอบที่อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 60:40 ,80:20 และ 90:10 แสดงดังรูปที่ 4.14 – 4.16 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

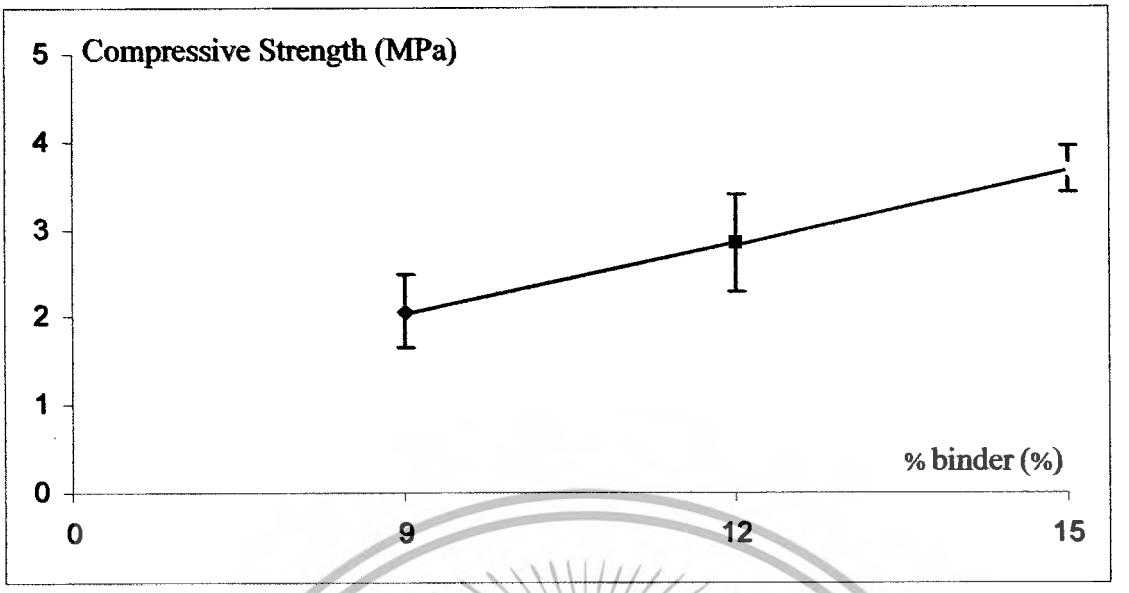


รูปที่ 4.14 ค่าความแข็งแรงกดอัดของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนระหว่างผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านจากกะลามะพร้าวเท่ากับ 60 : 40



รูปที่ 4.15 ค่าความแข็งแรงกดอัดของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนระหว่างผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านจากกะลามะพร้าวเท่ากับ 80 : 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ค่าความแข็งแรงกดอัดของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนระหว่างผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านจากกะลามะพร้าวเท่ากับ 90:10

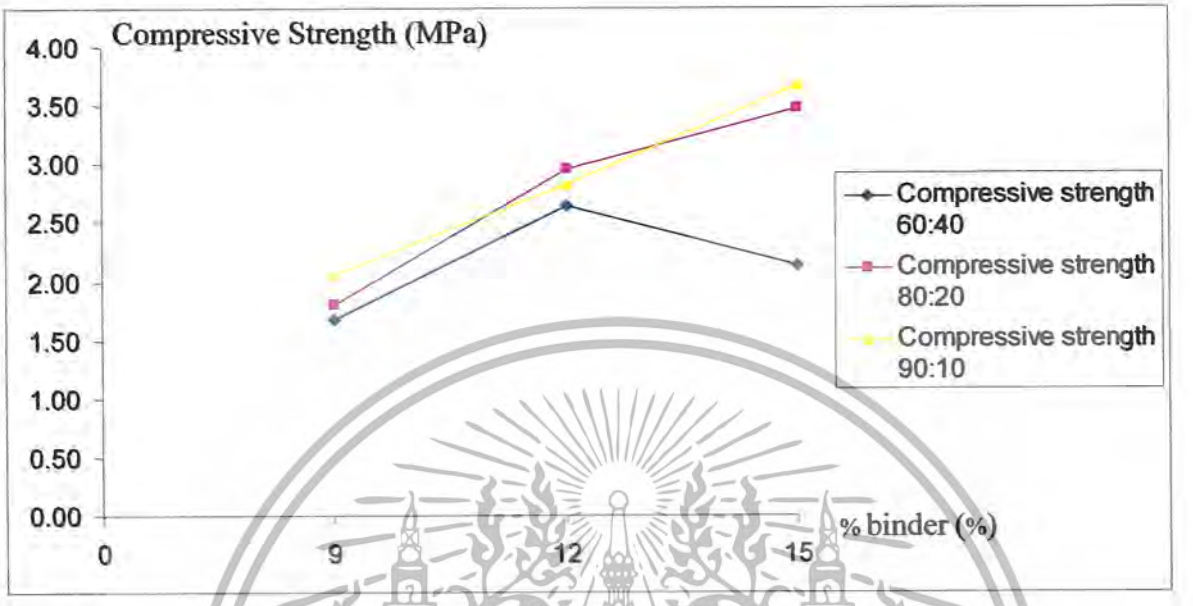
จากผลการทดลองพบว่า ในแต่ละอัตราส่วนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อเพิ่มปริมาณสารยึดจะทำให้ค่าความแข็งแรงกดอัดเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากปริมาณกากน้ำตาลที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดการยึดเกาะกันของอนุภาคในแท่งถ่านหินได้มากขึ้น ช่องว่างระหว่างอนุภาคจึงน้อยลง ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทมากขึ้น จึงมีค่าความแข็งแรงกดอัดเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ดี จากผลการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงกดอัดของถ่านหินอัดแท่งแต่ละสูตรที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ มีค่าอยู่ในช่วง 2.0 – 3.5 MPa ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าความแข็งแรงกดอัดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ทั่วไป (ประมาณ 375 kPa) [4] จึงอาจกล่าวได้ว่า ถ่านหินอัดแท่งทุกสูตรที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้มีความแข็งแรงมากกว่าค่าความแข็งแรงกดอัดของแท่งเชื้อเพลิงกับการใช้จริงในอุตสาหกรรม

4.8 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงกดอัดเมื่อทำการเปลี่ยนอัตราส่วนของผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านจากกะลามะพร้าว

การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงกดอัด โดยใช้ปริมาณกากน้ำตาล 9, 12 และ 15 % แสดงดังรูปที่ 4.17 พบว่า เมื่อปริมาณของผงถ่านหินแอนทราไซต์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงกดอัดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผงถ่านหินแอนทราไซต์มีค่าความแข็งแรงกดอัดที่มากกว่าผงถ่านกะลา ฉะนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณของผงถ่านหินแอนทราไซต์จึงทำให้ค่าความแข็งแรงกดอัดของถ่านหินอัดแท่งเพิ่มขึ้นด้วย แต่จะเห็นว่าที่อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 60:40 ที่ปริมาณกากน้ำตาล 15% ค่าความแข็งแรงกดอัดต่ำลง อาจเนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้มือในการป้อนสารเข้าสู่เครื่องอัดรีด ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณสารที่เข้าสู่เครื่องอัดรีดเกิดความไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้การอัดตัวของอนุภาคถ่านหินไม่สม่ำเสมอ ทำให้ค่าความแข็งแรงกดอัดต่ำลง



รูปที่ 4.17 ค่าความแข็งแรงกดอัดของถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนต่างๆกัน

4.9 การเปรียบเทียบปริมาณการผลิตถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาที่อัตราส่วนต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนากระบวนการผลิตถ่านหินอัดแท่ง เพื่อให้สามารถผลิตได้จริงในอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงทำการศึกษาอัตราการผลิตของถ่านหินอัดแท่ง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตทางการค้าต่อไป แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อัตราการผลิตถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลา	อัตราการผลิตที่ได้ (กิโลกรัม/นาที)
60 : 40	4.40 – 6.40
80 : 20	3.70 – 6.00
90 : 10	3.20 – 5.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 60 : 40 มีอัตราการผลิตมากที่สุด เนื่องจากผงถ่านหินแอนทราไซต์มีความแข็ง ทำให้ขึ้นรูปได้ยาก ดังนั้นเมื่อปริมาณของผงถ่านหินแอนทราไซต์เพิ่มมากขึ้น อัตราการผลิตจะลดลง

4.10 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตและสมบัติถ่านหินอัดแท่งที่อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ในกระบวนการผลิตถ่านหินอัดแท่งมีค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของวัตถุดิบ ดังนั้นในการผลิตถ่านหินอัดแท่งจึงต้องคำนึงถึงการนำไปใช้งาน เพื่อเลือกสูตรที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริง ค่าใช้จ่ายของต้นทุนประเภทต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าใช้จ่ายของต้นทุนประเภทต่างๆ

ประเภทของต้นทุน	ค่าใช้จ่าย[f]
ผงถ่านหินแอนทราไซต์[a]	5 บาท/กิโลกรัม
ผงถ่านกะลา[b]	10 บาท/กิโลกรัม
กากน้ำตาล[c]	8 บาท/กิโลกรัม
ค่าไฟฟ้า[d]	3.5 บาท/หน่วย
ค่าแรง[e]	168 บาท/วัน

หมายเหตุ [a] ข้อมูลผงถ่านหินแอนทราไซต์ จากบริษัท V.S. Coal Dust Industry จำกัด

[b] ข้อมูลผงถ่านกะลา จากบริษัท สามัคคีดำเนินคาร์บอน

[c] ข้อมูลกากน้ำตาล จากโรงงานมิตรผล

[d] ข้อมูลค่าไฟฟ้า จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

[e] ข้อมูลค่าแรง จากกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม

[f] เป็นราคาประมาณ ณ เดือนมีนาคม 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 ตารางเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด (ต่อ 1 กิโลกรัม) กับค่าความแข็งแรงสูงที่สุด

- **ค่าใช้จ่ายที่ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด**

จากผลการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 90:10 โดยใช้ปริมาณกากน้ำตาล 12% มีต้นทุนการผลิตต่ำสุด คือ 6.34 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 831.23 °C และมีระยะเวลาในการเผาไหม้นานที่สุดเท่ากับ 7 ชั่วโมง มีค่าความแข็งแรงกดอัดเท่ากับ 2.84 MPa โดยจะสูงกว่าค่าความแข็งแรงกดอัดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ทั่วไป ซึ่งมีค่าเท่ากับ 375 kPa [4]

- **ค่าใช้จ่ายที่ค่าความแข็งแรงสูงที่สุด**

จากผลการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 90:10 โดยใช้ปริมาณกากน้ำตาล 15% มีค่าความแข็งแรงกดอัดสูงที่สุดเท่ากับ 3.674 MPa ซึ่งสูงกว่าค่าความแข็งแรงกดอัดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ทั่วไป อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 831.23 °C และมีระยะเวลาในการเผาไหม้เท่ากับ 7 ชั่วโมง โดยมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 6.537 - 6.568 บาทต่อกิโลกรัม ค่าใช้จ่ายของต้นทุนประเภทต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตถ่านหินอัดแท่งที่ต้นทุนต่ำที่สุด และค่าความแข็งแรงกดอัดสูงที่สุด แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าใช้จ่ายของต้นทุนประเภทต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตถ่านหินอัดแท่งที่ต้นทุนต่ำที่สุดและค่าความแข็งแรงกดอัดสูงที่สุด

ประเภทของต้นทุน	ค่าใช้จ่ายเมื่อต้องการต้นทุนต่ำสุด (บาท/กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่ายเมื่อต้องการค่าความแข็งแรงกดอัดสูงสุด (บาท/กิโลกรัม)
ผงถ่านหินแอนทราไซต์	3.96	3.825
ผงถ่านกะลา	0.88	0.85
กากน้ำตาล	1.376	1.712
ค่าไฟฟ้า	0.049 - 0.051	0.056 - 0.072
ค่าแรง	0.072 - 0.075	0.085 - 0.109
รวม	6.337 - 6.342	6.537 - 6.568

หมายเหตุ วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการพิจารณาสมบัติต่างๆ และค่าใช้จ่าย พบว่า อัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 90:10 ปริมาณกากน้ำตาล 12% เหมาะสมต่อการผลิตเป็นถ่านหินอัดแท่ง เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด ระยะเวลาในการเผาไหม้นานสุด และค่าความแข็งแรงกดอัดสูงกว่ามาตรฐานทางการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การศึกษากระบวนการขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่งด้วยเทคนิคการอัดรีด

จากการศึกษากระบวนการขึ้นรูปถ่านหินอัดแท่งด้วยเทคนิคการอัดรีด พบว่า ถ่านหินอัดแท่งที่ได้มีค่าความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) **สูงกว่าการขึ้นรูปด้วยมือ เมื่อนำถ่านหินอัดแท่งไปทดสอบการเผาไหม้จะไม่เกิดการแตกหักขณะทำการเผา** เนื่องจากการขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้จะทำให้ถ่านหินอัดแท่งเกิดการอัดตัวกันแน่น มีช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อย ไม่เกิดการแตกหักขณะทำการเผา ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้เป็นระยะเวลานาน และเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จนหมดทั้งก้อน อีกทั้งยังเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง จึงเป็นการเพิ่มอัตราการผลิต ทำให้สามารถผลิตได้จริงในเชิงพาณิชย์

5.1.2 การศึกษาอัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาที่เหมาะสม

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนผงถ่านหินแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาที่อัตราส่วน 60:40, 80:20 และ 90:10 พบว่า ที่อัตราส่วน 90:10 จะให้ถ่านหินอัดแท่งที่มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด เผาไหม้ได้เป็นระยะเวลานาน ต้นทุนในการผลิตต่ำ เนื่องจากสมบัติของผงถ่านหินแอนทราไซต์มีความแข็ง เผาไหม้ได้เป็นระยะเวลานาน อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาณผงถ่านหินแอนทราไซต์ที่เหลือจากการคัดแยกขนาดและเพิ่มมูลค่าทางการค้าได้อีกด้วย

ในภาคอุตสาหกรรมต้องการถ่านหินอัดแท่งที่ทำจากผงถ่านหินแอนทราไซต์ 100% แต่ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากการผงถ่านหินแอนทราไซต์มีความแข็งและการใช้ในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้เกิดการเสียดสีและสึกกร่อนของสกรู

5.1.3 การศึกษาปริมาณของสารยึดที่เหมาะสม

จากการศึกษาผลของปริมาณกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 9, 12 และ 15 % wt ของของแข็งทั้งหมด พบว่า ปริมาณที่เหมาะสม คือ กากน้ำตาล 15 % wt ของของแข็งทั้งหมด เนื่องจากเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สามารถขึ้นรูปถ่านหิน และยึดโครงสร้างหลักของถ่านหินได้ดี โดยพิจารณาจากสมบัติด้านความแข็งแรงกดอัดที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับกากน้ำตาลที่ความเข้มข้นอื่นๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วอาจทำการศึกษางานวิจัยอื่นๆ เพื่อพัฒนาปรับปรุงสมบัติต่างๆของถ่านหินอัดแท่ง ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาสภาวะของเครื่องอัดรีด เช่น ความเร็วรอบของสกรู เฟืองทด เป็นต้น
2. ศึกษาลักษณะของสกรูที่เหมาะสมที่ใช้ในการอัดรีดผงถ่านหินแอนทราไซต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ศึกษาชนิดของสารตัวเติมที่มีผลต่อสมบัติต่างๆของถ่านหินอัดแท่ง เช่น สมบัติที่ช่วยในการติดไฟและสมบัติทางความร้อน เป็นต้น โดยอาจทำการใส่แกลบแทนผงถ่านกะลา
4. ศึกษาชนิดของสารอนินทรีย์ที่ช่วยในการคงรูปของถ่านหินอัดแท่ง เช่น ปูนปลาสเตอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. นายคมสรรค์ จันต๊ะยอด นางสาวคุณาวรรณ อารยะนรากูล และนางสาวอรกานต์ รุ่งพิบูลย์โสภิษฐ์. 2525. **เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์.** โครงงานพิเศษ วิยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสากรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม-เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. สำนักงานพลังงานแห่งชาติ. 2527. **เชื้อเพลิงและพลังงานประเทศ.** หน้า 7-20. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน.
3. นางสาวชุฐินันท์ แจงกระโทก นางสาวธนารัตน์ ศรีรัตนพิบูล และนางสาวนภาพร บัวจง. 2526. **เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์โดยใช้แป้งและกากน้ำตาลเป็นสารยึด.** โครงงานพิเศษ วิยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสากรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
4. นายประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์. 2546. **การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากชีวมวลโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม-เกล้าธนบุรี.
5. http://www.fao.org/docrep/x5555e/x5555e04.htm
6. นางสาวจำเนียรสุข แสงศรี นางสาวนันสินี วงศ์วิเศษ และนายวรุณรักษ์ เครือมั่น. 2542. **การผลิตถ่านอัดก้อนจากแอนทราไซต์ผงเหลือทิ้ง.** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
7. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ อุดม ธูวโรจน์สกุล และกัญจนา บุณยเกียรติ. 2525. **เคมีวิศวกรรมเทคโนโลยีทางอาหารและเชื้อเพลิง.** ปีที่ 4 ฉบับที่ 1. มกราคม, สำนักพิมพ์บารมีการพิมพ์, หน้า 61-74.
8. ปุญชรัศม์ แก้ววิเชียร และคณะทำงาน. 2526. **การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.** ปีที่ 12 เล่มที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม, กองการพิมพ์ฝ่ายประชาสัมพันธ์การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, หน้า 29-34.
9. วิทูรย์ บุญยะเกตุ. 2545. **เกษตรกรรมธรรมชาติ.** ฉบับที่ 4. ฐานการพิมพ์, หน้า 45-47.
10. วรวรรพ พฤกษะวัน. 2543. **ข่าวสารการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.** ปีที่ 30 ฉบับที่ 5-6 พฤษภาคม-มิถุนายน. กองการพิมพ์ฝ่ายประชาสัมพันธ์การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, หน้า 28-29.
11. ปิยะนุช นาคะ.2545. **น.ส.พ. กสิกร.** ปีที่ 75 ฉบับที่ 5 กันยายน-ตุลาคม. ศรีเมืองการพิมพ์. หน้า 97-99.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. นายนรชัย นาคงาม กิตติ สุวรรณชัย และเอกดนัย พารอด. 2547 **การออกแบบสร้างสกรู 1 ปาก 2 ปาก และแม่พิมพ์เพื่อผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งจากกะลามะพร้าวโดยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชัน** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

13. M.J. Blesa, J.L. Miranda, M.T. Izquierdo, R. Moliner. 2003. Curing temperature effect on mechanical strength of smokeless fuel briquettes prepared with molasses. **Fuel.** 82 : 943-947.

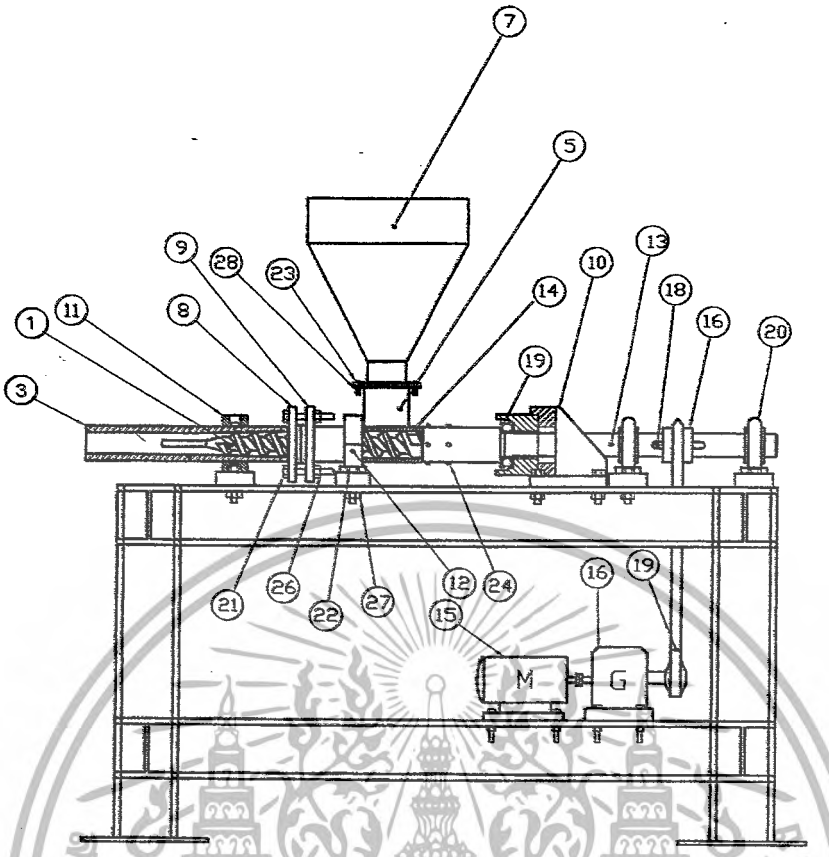
14. Franke, F. Wzel, W. Meraikib, M and Berkenkamp, H. 1976. Process for the manufacture of brown coal briquettes. **United State Patent**. 3,980,447.

15. Araki, E. Saki, 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. SCREW
2. DIE 0.0
3. DIE 1.0
4. DIE 1.1
5. DIE 1.2
6. DIE 1.3
7. HOPPER
8. PLANE 1
9. PLANE 2
10. BEARING HOUSING
11. CLAMP 1
12. CLAMP 2
13. SHAFT
14. BARREL
15. MOTOR
16. GEAR BOX
17. COUPLING
18. SPROCKET
19. CHAIN
20. WEOGE
21. THRUST BEARING
22. EYE TYPE BEARING
23. BOLT M16
24. BOLT M12
25. BOLT M5
26. BOLT M12X1.5
27. NUT M16
28. NUT M12

รูปแสดงรายละเอียดของเครื่องอัดรีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าใช้จ่ายของต้นทุนประเภทต่าง ๆ

ประเภทของต้นทุน	ค่าใช้จ่าย
ผงถ่านหินแอนทราไซต์	5 บาท/กิโลกรัม
ผงถ่านกะลา	10 บาท/กิโลกรัม
กากน้ำตาล	8 บาท/กิโลกรัม
ค่าไฟฟ้า	3.5 บาท/หน่วย
ค่าแรง	168 บาท/วัน

1. **ค่าใช้จ่ายที่ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด**

สูตรถ่านอัดแท่ง 1 กิโลกรัม อัตราส่วนผงถ่านแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 90:10

%กากน้ำตาล	ผงถ่านหินแอนทราไซต์ (kg)	ผงถ่านกะลา (kg)	กากน้ำตาล (kg)
12%	0.792	0.088	0.172

1.1 ผงถ่านหินแอนทราไซต์ 1 กิโลกรัม ราคา 5 บาท
ผงถ่านหินแอนทราไซต์ 0.792 กิโลกรัม คิดเป็น 0.792 x 5
= 3.96 บาทต่อกิโลกรัม

1.2 ผงถ่านกะลา 1 กิโลกรัม ราคา 10 บาท
ผงถ่านกะลา 0.088 กิโลกรัม คิดเป็น 0.088 x 10
= 0.88 บาทต่อกิโลกรัม

1.3 กากน้ำตาล 1 กิโลกรัม ราคา 8 บาท
กากน้ำตาล 0.172 กิโลกรัม คิดเป็น 0.172 x 8
= 1.376 บาทต่อกิโลกรัม

1.4 ค่าไฟฟ้า

$$\frac{1.732 \times 380 \times 0.8 \times 3.5 \times \textbf{กระแสที่วัดได้ (แอมแปร์)}}{60 \times 1000 \times \text{อัตราการผลิต}}$$

หมายเหตุ หน่วยของยูนิต คือ กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง จึงต้องทำการแปลงหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ค่าคงที่ของไฟ 3 เฟส = 1.732

ไฟ 3 เฟส = 380 โวลต์

Power factor = 0.8

ค่าไฟฟ้า = 3.5 บาท/ยูนิต

1 ชั่วโมง = 60 นาที

1 กิโลวัตต์ = 1000 วัตต์

วิธีคำนวณ

$$\frac{1.732 \times 380 \times 0.8 \times 3.5 \times 7.85}{60 \times 1000 \times 4.70} = 0.051 \text{ บาทต่อกิโลกรัม}$$

1.5 ค่าแรง

ค่าแรงต่อ 1 กิโลกรัมจะคิดจากอัตราการผลิตโดย

- อัตราการผลิต 4.7 กิโลกรัม จะใช้เวลา = 1 นาที

  อัตราการผลิต 1 กิโลกรัม จะใช้เวลา = (1x1) / 4.7 = 0.213 นาที

  = 0.00355 ชั่วโมง

- การทำงาน 8 ชั่วโมง ได้ค่าแรง = 168 บาท

  การทำงาน 0.00355 ชั่วโมง ได้ค่าแรง = 0.075 บาทต่อกิโลกรัม

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 3.96 + 0.88 + 1.376 + 0.051 + 0.075 = 6.342 บาทต่อกิโลกรัม

2. ค่าใช้จ่ายเมื่อต้องการค่าความแข็งแรงกดอัดสูงที่สุด

สูตรถ่านอัดแท่ง 1 กิโลกรัม อัตราส่วนผงถ่านแอนทราไซต์ต่อผงถ่านกะลาเท่ากับ 90:10

%กากน้ำตาล	ผงถ่านหินแอนทราไซต์ (kg)	ผงถ่านกะลา (kg)	กากน้ำตาล (kg)
15%	0.765	0.085	0.214

2.1 ผงถ่านหินแอนทราไซต์ 1 กิโลกรัม ราคา 5 บาท

ผงถ่านหินแอนทราไซต์ 0.765 กิโลกรัม คิดเป็น 0.765 x 5

= 3.825 บาทต่อกิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ผงถ่านกะลา 1 กิโลกรัม ราคา 10 บาท

ผงถ่านกะลา 0.085 กิโลกรัม คิดเป็น 0.085 x 10

= 0.85 บาทต่อกิโลกรัม

2.3 กากน้ำตาล 1 กิโลกรัม ราคา 8 บาท

กากน้ำตาล 0.214 กิโลกรัม คิดเป็น 0.214 x 8

= 1.712 บาทต่อกิโลกรัม

2.4 ค่าไฟฟ้า

$$\frac{1.732 \times 380 \times 0.8 \times 3.5 \times \text{กระแสที่วัดได้ (แอมแปร์)}}{60 \times 1000 \times \text{อัตราการผลิต}}$$

หมายเหตุ หน่วยของยูนิต คือ กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง จึงต้องทำการแปลงหน่วย

เมื่อ ค่าคงที่ของไฟ 3 เฟส = 1.732

ไฟ 3 เฟส = 380 โวลต์

Power factor = 0.8

ค่าไฟฟ้า = 3.5 บาท/ยูนิต

1 ชั่วโมง = 60 นาที

1 กิโลวัตต์ = 1000 วัตต์

วิธีคำนวณ

$$\frac{1.732 \times 380 \times 0.8 \times 3.5 \times 7.53}{60 \times 1000 \times 3.2} = 0.072 \text{ บาทต่อกิโลกรัม}$$

2.5 ค่าแรง

ค่าแรงต่อ 1 กิโลกรัมจะคิดจากอัตราการผลิตโดย

- อัตราการผลิต 3.2 กิโลกรัม จะใช้เวลา = 1 นาที

  อัตราการผลิต 1 กิโลกรัม จะใช้เวลา = (1x1) / 3.2 = 0.3125 นาที

  = 0.0052 ชั่วโมง

- การทำงาน 8 ชั่วโมง ได้ค่าแรง = 168 บาท

  การทำงาน 0.0052 ชั่วโมง ได้ค่าแรง = 0.1092 บาทต่อกิโลกรัม

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 3.825 + 0.85 + 1.712 + 0.072 + 0.1092 = 6.568 **บาทต่อกิโลกรัม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้