การรักษาระดับความชื้นในถ่านหินคุณภาพต่ำด้วยสารพอลิเมอร์

PRESERVATION OF MOISTURE CONTENT IN LOW RANK COAL BY POLYMERS

นายกวีร์ ไตรตียะประเสริฐ

นายกีรติ มิ่งประเสริฐ

นางสาวอภิญญา รัตนปราโมทย์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การรักษาระดับความชื้นในถ่านหินคุณภาพต่ำด้วยสารพอลิเมอร์

PRESERVATION OF MOISTURE CONTENT IN LOW RANK COAL BY POLYMERS

นายกวีร์ ไตรตียะประเสริฐ

นายกีรติ มิ่งประเสริฐ

นางสาวอภิญญา รัตนปราโมทย์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRESERVATION OF MOISTURE CONTENT IN LOW RANK COAL BY POLYMERS

MR. KAVEE TRITEEYAPRASERT
MR. GEERATI MINGPRASART
MISS APINYA RATTANAPRAMOTE

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การรักษาระดับความชื้นในถ่านหินคุณภาพต่ำด้วยสารพอลิเมอร์

Preservation of Moisture Content in Low Rank Coal by Polymers

ชื่อนักศึกษา นายกวีร์ ไตรตียะประเสริฐ

นายกีรติ มิ่งประเสริฐ

นางสาวอภิญญา รัตนปราโมทย์

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์	
อ.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	
ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การรักษาระดับความชื้นในถ่านหินคุณภาพต่ำด้วยสารพอลิเมอร์
ชื่อนักศึกษา	นายกวีร์ ไตรตียะประเสริฐ
	นายกีรติ มิ่งประเสริฐ
	นางสาวอภิญญา รัตนปราโมทย์
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์ในการรักษาระดับความชื้นของถ่านหินคุณภาพต่ำให้อยู่ในเกณฑ์การซื้อขายที่ยอมรับได้ จึงได้เลือกใช้วัสดุมาทำการเคลือบเพื่อรักษาระดับความชื้น เช่น พอลิสไตรีน และน้ำยางข้น 60% จากยางธรรมชาติ โดยนำถ่านหินจากประเทศอินโดนีเซียมาไล่ความชื้นออกให้ความชื้นทั้งหมดต่ำกว่า 35% ทำการแปรค่าอัตราส่วนถ่านหินต่อสารเคลือบเป็น 1:0.1, 1:0.25 และ 1:0.5โดยน้ำหนัก ทำการศึกษาถ่านหิน 3 ขนาด คือ 1.) อนุภาคละเอียดมากขนาดเล็กกว่า 0.85 มม. หรือขนาด 20 mesh 2.) อนุภาคละเอียดขนาดเล็กกว่า 2.36 มม. หรือขนาด 8 mesh และ 3.) อนุภาคที่ไม่ทำการคัดขนาด และศึกษาการดูดความชื้นกลับของถ่านหินที่ผ่านการเคลือบโดยจำลองสภาวะที่มีน้ำท่วมขังหรือความชื้นสูง ผลจากการทดลองพบว่าถ่านหินที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิสไตรีนและน้ำยางข้นทุกอัตราส่วนสามารถรักษาระดับความชื้นให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับในการซื้อขาย นอกจากนี้ค่าความร้อนของถ่านหินที่ผ่านการเคลือบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจาก 18 MJ/kg เป็น 19-24 MJ/kg และสารเคลือบที่เหมาะสม คือ พอลิสไตรีนอัตราส่วน 1:0.1โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

คำสำคัญ :ถ่านหินคุณภาพต่ำ,การดูดความชื้นกลับ, พอลิสไตรีน, น้ำยางข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Preservation of MoistureContent in Low Rank Coal by Polymers
Students	Kavee Triteeyaprasert
	Geerati Mingprasart
	Apinya Rattanapramote
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Environmental Chemistry
Academic Year	2013
Advisor	Asst. Prof. KrongkaewTippayasak

ABSTRACT

This special project was aimed to preserve moisture content of low rank coal for commercial trading. Therefore, the coating materials were selected to maintain moisture level such as polystyrene (PS) and concentrated latex 60% from nature rubber (R). Coal from Indonesia was dewatered to get total moisture (TM) less than 35%. The ratio between coal and coating material were varied 1:0.1, 1:0.25 and 1:0.5 (w/w) respectively. The sizes of coal particle were also studied in 3 categories: 1.) The fine particle; less than 0.85 mm. or 20 mesh, 2.) The fine particle; less than 2.36 mm. or 8 mesh, and 3.) The particle size as received. The readsorption of coated coals were investigated in wet stimulation. The results showed that TM of PS and R coated coal for all ratios met the trading criteria. Further, the heating values of coated coal were increasing from 18 MJ/kg to 19-24 MJ/kg. The suitable coating materials was PS with 1:0.1 ratio because of its economic wealthiest.

Keywords: Low rank coal, Readsorption, Polystyrene, Concentrate latex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่ จากผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัย คอยให้คำปรึกษาดูแลอย่างใกล้ชิด พร้อมเสนอแนะแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ในการทำงานโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ และอาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ คณะกรรมการคุมสอบโครงงานพิเศษที่ได้ให้ความช่วยเหลือแนะนำ ในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ สำหรับความรู้ คำแนะนำในการใช้สารเคลือบ และเป็นที่ปรึกษาในเรื่องของผลการทดลอง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด และดร.ชวาลย์ ศรีวงศ์ สำหรับความรู้ คำแนะนำ และการจัดหาวัตถุดิบในการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณ คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์, คุณชัชชัย ลัทธิลักขณา, คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และ คุณสุดใจ สอนสะอาด ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ที่คอยอำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือ รวมถึงให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณ บริษัทลานนารีซอร์สเซส ที่อำนวยความสะดวกจัดหาตัวอย่างถ่านหินมาให้เป็นจำนวนมากและทำการจัดส่งมาให้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้เป็นส่วนหนึ่งของสถาบันการศึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้ที่คอยเป็นกำลังใจ เป็นแรงผลักดันในทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ ทุกท่านและบุคคลอื่นๆ ที่ได้กล่าวมา ทางผู้จัดทำโครงงานจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นายกวีร์ ไตรตียะประเสริฐ

นายกีรติ มิ่งประเสริฐ

นางสาวอภิญญา รัตนปราโมทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
คำย่อและสัญลักษณ์	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับถ่านหิน	3
2.2 สารเคลือบผิว	
2.2.1 พอลีสไตรีน	8
2.2.2 ยางธรรมชาติ	11
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์	20
3.2 การทดลอง	
3.2.1 สมบัติก่อนและหลังเคลือบของถ่านหิน	21
3.2.2 การสุ่มตัวอย่างถ่านหิน	21
3.2.3 การหาปริมาณความร้อน	23
3.2.4 การเตรียมสารพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง	23
3.2.5 การศึกษาเวลาและอุณหภูมิในการอบไล่ความชื้นถ่านหิน	24
3.2.6 การเคลือบถ่านหิน	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.7 การทดสอบการดูดความชื้นกลับ	24
3.2.8 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์	24
แผนภาพการทดลอง	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 สมบัติทั่วไปของถ่านหิน	26
4.2 สมบัติทั่วไปของสารเคลือบ	26
4.2.1 สมบัติทั่วไปของพอลิสไตรีน	27
4.2.2 สมบัติทั่วไปของน้ำยาง	27
4.3 ผลของสารเคลือบ	
4.3.1 การหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไล่ความชื้น	27
4.3.2 ผลของสารเคลือบต่อระดับความชื้น	28
4.3.3 ผลของสารเคลือบต่อค่าความร้อน	30
4.3.4 การดูดความชื้นกลับ	32
4.3.5 ค่าความร้อนหลังการทดสอบการดูดความชื้นกลับ	33
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการทดลอง	36
5.2 ข้อเสนอแนะ	37
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก ก	42
ภาคผนวก ข	46
ภาคผนวก ค	59
ภาคผนวก ง	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติของถ่านหิน	5
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบและปริมาณของสารต่างๆ ในน้ำยางธรรมชาติ	14
ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบโดยประมาณของน้ำยางข้นจากการระเหยน้ำ	15
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง	21
ตารางที่ 4.1 สมบัติทั่วไปของถ่านหิน	26
ตารางที่ 4.2 การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบไล่ความชื้น	27
ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ของน้ำก่อนและหลังผ่านถ่านหิน	35
ตารางที่ ข-1การหาความชื้นทั้งหมดของถ่านหิน	46
ตารางที่ ข-2 การคำนวณปริมาณซัลเฟอร์ (%w/w)	47
ตารางที่ ข-3 การเคลือบถ่านหินคัดขนาด 8 mesh แบบไม่จำลองสภาวะ	52
ตารางที่ ข-4 การเคลือบถ่านหินคัดขนาด 8 mesh แบบจำลองสภาวะ	53
ตารางที่ ข-5 การเคลือบถ่านหินคัดขนาด 20 mesh แบบไม่จำลองสภาวะ	54
ตารางที่ ข-6 การเคลือบถ่านหินคัดขนาด 20 mesh แบบจำลองสภาวะ	55
ตารางที่ ข-7 การเคลือบถ่านหินไม่คัดขนาด แบบไม่จำลองสภาวะ	56
ตารางที่ ข-8 การเคลือบถ่านหินไม่คัดขนาด แบบจำลองสภาวะ	57
ตารางที่ ข-9 ค่าความร้อนของถ่านหิน	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสไตรีนมอนอเมอร์และการเกิดพอลิเมอไรเซชัน	9
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไอโซพรีนและพอลิไอโซพรีน	12
รูปที่ 3.1 การสุ่มตัวอย่างถ่านหิน (1)	21
รูปที่ 3.2 การสุ่มตัวอย่างถ่านหิน (2)	22
รูปที่ 3.3 การสุ่มตัวอย่างถ่านหิน (3)	22
รูปที่ 3.4 การสุ่มตัวอย่างถ่านหิน (4)	23
รูปที่ 4.1ผลของสารเคลือบต่อระดับความชื้นของถ่านหินขนาดน้อยกว่า 0.85 mm	28
รูปที่ 4.2ผลของสารเคลือบต่อระดับความชื้นของถ่านหินขนาดน้อยกว่า 2.36 mm	29
รูปที่ 4.3ผลของสารเคลือบต่อระดับความชื้นของถ่านหินไม่คัดขนาด	29
รูปที่ 4.4 ผลของสารเคลือบต่อค่าความร้อนของถ่านหินขนาดน้อยกว่า 0.85 mm	30
รูปที่ 4.5ผลของสารเคลือบต่อค่าความร้อนของถ่านหินขนาดน้อยกว่า 2.36 mm	31
รูปที่ 4.6ผลของสารเคลือบต่อค่าความร้อนของถ่านหินไม่คัดขนาด	31
รูปที่ 4.7 การดูดความชื้นย้อนกลับ	32
รูปที่ 4.8 ค่าความร้อนหลังทดสอบการดูดความชื้นย้อนกลับ (20 mesh)	33
รูปที่ 4.9 ค่าความร้อน หลังทดสอบการดูดความชื้นย้อนกลับ (8 mesh)	34
รูปที่ 4.10 ค่าความหลังทดสอบการดูดความชื้นย้อนกลับไม่คัดขนาด	34
รูปที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์ด้วย TGA (1)	49
รูปที่ ข-2 ผลการวิเคราะห์ด้วย TGA (2)	50
รูปที่ ข-3 ผลการวิเคราะห์ด้วย TGA (3)	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

PS	พอลิสไตรีน
R	น้ำยาง 30%
FM	ปริมาณความชื้นอิสระ
IM	ปริมาณความชื้นแฝง
TM	ปริมาณความชื้นทั้งหมด
VM	ปริมาณสารระเหย
FC	คาร์บอนคงที่
A	เถ้า
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
μS/cm	ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร
^{o}C	องศาเซลเซียส
TDS	ค่าของแข็งละลายได้
TGA	Thermal gravimetric analysis
HA	High ammonia
TGM	Total gross moisture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ถ่านหินเป็นแหล่งพลังงานที่มีความสำคัญตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย มีราคาถูก และมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอื่นๆ นิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตอย่างแพร่หลาย ทั้งในอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้า อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และสามารถแปรเป็นพลังงานอื่นได้ สำหรับถ่านหินที่พบส่วนมากเป็นถ่านหินคุณภาพต่ำ (Low rank coal) จำพวกลิกไนต์ ถ่านหินชนิดนี้มีปริมาณคาร์บอนต่ำ ปริมาณออกซิเจนสูง และความชื้นสูงถึง 30-70% ส่งผลให้ค่าความร้อนต่ำ ติดไฟช้าเนื่องจากสูญเสียความร้อนในการระเหยน้ำ จึงมีราคาต่ำไม่คุ้มค่าต่อการขนส่งและนำมาใช้งาน ทางผู้ผลิตถ่านหินจึงต้องทำการลดปริมาณความชื้นทั้งหมด (Total moisture) ไม่ว่าจะเป็นความชื้นอิสระ (Free moisture หรือ Surface moisture) ความชื้นภายใน (Inherent moisture) หรือความชื้นทางเคมีให้เป็นไปตามมาตรฐาน ทั้งในระหว่างการขนส่ง ถ่านหินมีการดูดความชื้นในบรรยากาศหรือจากน้ำฝนกลับเข้ามา ระหว่างการจัดเก็บโดยการทำเป็นลานกองกลางแจ้งต้องมีการพ่นน้ำ เพื่อป้องกันการลุกติดไฟและลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กฟุ้งกระจาย จึงเป็นสาเหตุให้ถ่านหินมีปริมาณความชื้นกลับสูงขึ้น จากสาเหตุนี้จึงต้องมีการทำการรักษาสภาพทางกายภาพของถ่านหิน ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้สารเคมีช่วยในการรวมตัวเพื่อลดปริมาณการดูดความชื้นกลับหรือใช้สารเคมีเพื่อปรับสภาพพื้นผิวของถ่านหิน

การลดปริมาณความชื้นในถ่านหินนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้อากาศร้อนทำให้แห้งในถังปฏิกิริยาแบบฟลูอิไดซ์เบต การหมุนเหวี่ยง การกรองด้วยเครื่องกรองลดความดัน และการใช้สารเคมีที่ช่วยในการรวมตัวเพื่อลดพื้นที่ผิวในการดูดความชื้นหรือใช้สารเคมีเคลือบเพื่อปรับสภาพพื้นผิวของถ่านหิน เพื่อรักษาระดับความชื้นโดยพิจารณาจากสมบัติของสารเคลือบ เช่น พอลิสไตรีน เป็นสารที่ไม่ดูดความชื้น ดูดฝุ่นละอองได้ดี มีน้ำหนักเบา พื้นที่ผิวเรียบ หาได้ง่าย มีจำนวนมาก ราคาถูก และโฟมพอลีสไตรีนที่นำมาใช้มาจากวัสดุกันกระแทกที่เหลือใช้ ซึ่งเป็นขยะที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีการกำจัดได้ยากไม่เหมาะกับวิธีการฝังกลบเพราะมีรูพรุนมาก น้ำหนักเบา ทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่และมีการย่อยสลายได้ช้า จึงนำมาย่อยให้อยู่ในรูปของกาวเพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุในการเคลือบใน ในส่วนของยางพาราเป็นวัตถุดิบที่มีการเพาะปลูกมากในทุกภาคของประเทศไทย จัดหาได้ง่าย มีราคาถูก คุณภาพของน้ำยางมีความใกล้เคียงกัน สามารถนำมาใช้แทนกันได้ เป็นการเพิ่มมูลค่าของน้ำยางให้มากขึ้นและจากการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติ พบว่ามีสมบัติในด้านการยึดติด (Adhesive) โดยไม่ทำให้โครงสร้างผิววัสดุเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปอย่างมีนัยสำคัญ ไม่เกิดการลุกติดไฟ ป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดี และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม จากคุณสมบัติที่ได้กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้พอลิสไตรีนและยางพาราเป็นสารเคลือบผิวหน้าของถ่านหิน และช่วยรวมอนุภาคที่มีขนาดเล็กเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นการลดพื้นที่ผิวของถ่านหินในการดูดความชื้นกลับของถ่านหิน ในระหว่างการกองเก็บกลางแจ้งหรือการขนส่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาผลของสารเคลือบที่มีผลต่อปริมาณความชื้นในถ่านหิน
2. ศึกษาอัตราส่วนของสารเคลือบที่มีผลต่อสมบัติของถ่านหิน
3. ศึกษาผลของขนาดถ่านหินที่นำมาใช้ในการเคลือบสารเคมี

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ถ่านหินที่ใช้ในการศึกษามาจากประเทศอินโดนีเซียโดยตัวแปรที่ศึกษา มีดังนี้

1. ชนิดของสารเคลือบพื้นที่ผิวคือ พอลิสไตรีน และยางพารา
2. อัตราส่วนของสารเคลือบพื้นที่ผิวต่อถ่านหิน โดยทำการศึกษา 3 อัตราส่วน คือ 1:0.1, 1:0.25 และ 1:0.5 โดยน้ำหนัก เพื่อดูปริมาณความชื้นในถ่านหิน
3. ศึกษาผลของขนาดถ่านหินที่นำมาใช้ในการเคลือบ ต่อการรักษาระดับความชื้น
4. ศึกษาสมบัติของถ่านหินก่อนและหลังทำการเคลือบพื้นที่ผิว เช่น ค่าความร้อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความเป็นไปได้ในการใช้ยางพาราและพอลิสไตรีนเคลือบผิวหน้าของถ่านหินเพื่อรักษาความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมและมีสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงที่ดียิ่งขึ้น
2. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการลดปัญหาการสูญเสียพลังงานความร้อนในถ่านหินเนื่องจากปริมาณความชื้นที่มากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับถ่านหิน (ยุทธนา, 2554)

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่เกิดจากการสะสมของซากพืชและซากสิ่งมีชีวิตต่างๆ ซึ่งเกิดจากการทับถมมาเป็นเวลานานหลายล้านปี นอกจากนั้นยังมีตะกอนดินทรายทับถมและมีการเปลี่ยนแปลงความร้อนและความดันจากใต้พื้นโลก ทำให้ซากสิ่งมีชีวิตที่ทับถมแปรสภาพเป็นถ่านหินประเภทต่างๆ ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกันโดยมีองค์ประกอบที่เป็นสารประกอบคาร์บอนไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก หรือไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 โดยปริมาตรช่วยให้มีสมบัติสามารถติดไฟได้ ถ่านหินมีลักษณะที่ต่างไปตามการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณไม้ที่ทับถมสะสมในบริเวณหนองน้ำ บึง และสลายตัวตามการเปลี่ยนแปลงของผิวโลก เช่น แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด หรือเกิดการทับถมมากขึ้น ทำให้แอ่งที่สะสมได้รับความกดดันและความร้อนจากภายในโลก จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นถ่านหินตามลำดับชั้นต่างๆ ในส่วนที่เป็นการทับถมของซากพืชที่ยังมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก เมื่อมองด้วยตาเปล่า สามารถมองเห็นลักษณะของพืช กิ่ง ก้าน ราก และเปลือกไม้ได้ชัดเจน ในส่วนนี้เรียกว่าเป็น พีท (Peat) การอัดทับถมจนแปรสภาพจากพีทไปเป็นถ่านหินเรียกว่า Coalification ถ่านหินเป็นแร่เชื้อเพลิงที่สามารถติดไฟได้ มีสีน้ำตาลอ่อนไปจนถึงสีดำมีทั้งแบบผิวมันวาวและผิวด้าน น้ำหนักเบา

ถ่านหินจะประกอบไปด้วยธาตุสำคัญ 4 อย่าง คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและออกซิเจน นอกจากนี้ยังมีสารอื่นปะปนอยู่เล็กน้อย เช่น กำมะถัน โดยถ่านหินที่มีจำนวนคาร์บอนสูงและมีธาตุอื่นปะปนอยู่ในจำนวนน้อยจะถือว่าเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดี เนื่องจากจะเกิดความร้อนสูงในขณะเผาไหม้ นอกจากนี้ถ่านหินยังถูกจัดเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญชนิดหนึ่งเนื่องจากมีแหล่งถ่านหินกระจายอยู่ทั่วโลกและยังมีปริมาณสำรองเป็นจำนวนมาก สามารถขุดขึ้นมาใช้ได้ง่ายและมีราคาถูก โดยที่ถ่านหินจะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ใช้หม้อน้ำร้อนในกระบวนการผลิต เช่น การผลิตไฟฟ้า การถลุงโลหะ การผลิตปูนซีเมนต์ การบ่มใบยาสูบและการผลิตอาหาร ทำให้ถ่านหินมีความสำคัญกับประเทศที่เป็นผู้นำทางอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก

ในระบบการตรวจสอบสารของ American Society for Testing and Material (ASTM) ได้มีการจำแนกคุณภาพของถ่านหินออกเป็นลำดับขั้น (Rank) โดยใช้วิธีพิจารณาจากระดับขั้นการแปรสภาพ (Degree of metamorphism) ของอินทรีย์วัตถุ สามารถจำแนกได้เป็น 4 ลำดับชั้น คือ แอนทราไซต์ (Anthracite) บิทูมินัส (Bituminous) ซับบิทูมินัส (Sub-bituminous) และลิกไนต์ (Lignite) หลักเกณฑ์การแบ่งถ่านหินพิจารณาจากองค์ประกอบ สมบัติทางเคมีและค่าความร้อน โดยถ่านหินแต่ละลำดับชั้นจะมีลักษณะดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. แอนทราไซต์ (Anthracite) จัดเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดีที่สุด มีค่าสารระเหย ค่าความชื้น และปริมาณกำมะถันต่ำ มีสีดำเงามันวาวสูง เนื้อแข็งมาก มีความหนาแน่นสูง อีกทั้งยังมีปริมาณคาร์บอนสูงถึง 86 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป และมีค่าความร้อนสูงประมาณ 32.231 MJ/kg เผาไหม้ไม่มีควัน แต่จุดติดไฟยาก เนื่องจากปริมาณออกซิเจนน้อยจึงไม่นิยมใช้เป็นเชื้อเพลิง แอนทราไซต์สามารถแบ่งย่อยตามสมบัติได้อีกดังนี้

1) เมตาแอนทราไซต์ (Meta-anthracite) ค่าคาร์บอนคงที่สูงกว่า 98 เปอร์เซ็นต์หรือสูงกว่า ค่าสารระเหย 2 เปอร์เซ็นต์ หรือต่ำกว่า

2) แอนทราไซต์ (Anthracite) มีค่าคาร์บอนคงที่ระหว่าง 92-98 เปอร์เซ็นต์ และค่าสารระเหยระหว่าง 2-8 เปอร์เซ็นต์

3) เซมิแอนทราไซต์ (Semi-anthracite) มีค่าคาร์บอนคงที่ระหว่าง 86-92 เปอร์เซ็นต์ และค่าสารระเหยระหว่าง 8-14 เปอร์เซ็นต์

ข. บิทูมินัส (Bituminous) เป็นถ่านหินเนื้อแข็ง ประกอบด้วยชั้นหินสีดำสนิท เนื้อมันวาว ไม่ผุพังมีปริมาณคาร์บอน 69-86 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้น 1.5-7 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะพิเศษคือ เผาไหม้แล้วจับตัวเป็นก้อน ค่าความร้อนโดยหักค่าสารอินทรีย์ออกแล้วมีค่าตั้งแต่ 30.212 MJ/kg ขึ้นไป นิยมนำมาใช้ในการทำถ่านโค้ก ถ่านบิทูมินัสแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย คือ บิทูมินัสที่มีสารระเหยต่ำ (Low volatile bituminous coal) บิทูมินัสที่มีสารระเหยปานกลาง (Medium volatile bituminous coal) และบิทูมินัสที่มีสารระเหยสูงขั้นเอ บี และซี (High volatile A, B and C bituminous coal)

ค. ซับบิทูมินัส (Sub-bituminous) มีลักษณะสีดำคล้ายขี้ผึ้ง อาจพบลักษณะของพืชอยู่ในถ่านหิน ปริมาณความชื้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกำมะถันต่ำให้ค่าความร้อนปานกลาง โดยมีค่าประมาณ 22.603 MJ/kg ซึ่งมีคุณค่ามากสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าถ่านหิน ประเภทนี้สามารถแบ่งย่อยได้อีกตามค่าความร้อนดังนี้ (เบ็ญจวรรณ รัตนเสถียร, 2556)

- ซับบิทูมินัส เอ (Sub-bituminous A) มีค่าความร้อนช่วง 25.564-30.212 MJ/kg
- ซับบิทูมินัส บี (Sub-bituminous B) มีค่าความร้อนช่วง 22.078-25.564 MJ/kg
- ซับบิทูมินัส ซี (Sub-bituminous C) มีค่าความร้อนช่วง 19.289-22.078 MJ/kg

ง. ลิกไนต์ (Lignite) เป็นถ่านหินชั้นต่ำสุด นิยมใช้เป็นเชื้อเพลิง อาจพบซากพืชปนอยู่ในถ่านหินเล็กน้อย มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างสูง และปริมาณความชื้นสูงถึง 30-70 เปอร์เซ็นต์ ถ่านหินชนิดนี้จัดเป็นถ่านหินที่มีความร้อนต่ำประมาณ 16.325 MJ/kg เมื่อนำมาทิ้งไว้ในอุณหภูมิปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะแตกและสลายตัว สามารถเกิดการติดไฟได้เองจากการทำปฏิกิริยากับอากาศ มีการคายความร้อนเกิดขึ้นซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า “Spontaneous combustion”

การจัดแบ่งชนิดถ่านหินโดยวิธีนี้สำหรับ High rank coal จะขึ้นกับปริมาณธาตุ และปริมาณสารระเหย ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งแบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่ แอนทราไซด์ และบิทูมินัส แต่สำหรับ Low rank coal ได้แก่ ซับบิทูมินัสและลิกไนต์ การจัดแบ่งจะขึ้นกับปริมาณค่าความร้อน นอกเหนือจากถ่านหิน 4 ลำดับที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วยังมีผลิตผลขั้นแรกในการบวนการเกิดถ่านหิน (Coalification process) เรียกว่า พีท (Peat) ซึ่งเป็นถ่านหินที่ถูกจัดให้อยู่ในระดับต่ำสุดของระบบการจำแนก (Lowest rank) ถ่านหินชนิดนี้ประกอบด้วยซากพืชซึ่งบางส่วนได้สลายตัวไปแล้ว มีปริมาณออกซิเจนและความชื้นสูง แต่สามารถนำมาใช้เป็นเพลิงได้เช่นกัน

ตารางที่ 2. 1 สมบัติของถ่านหิน

ชั้น	กลุ่ม	ปริมาณคาร์บอนคงที่, FC (%)		สารระเหย, VM (%)		ค่าความร้อน (MJ/kg)	
		≥	<	<	≥	≥	<
แอนทราไซต์	เมตะ แอนทราไซต์	98	-	-	2	-	-
	แอนทราไซต์	92	98	2	8	-	-
	ซับแอนทราไซต์	86	92	8	14	-	-
บิทูมินัส	บิทูมินัส VM ต่ำ	78	86	14	22	-	-
	บิทูมินัส VM ปานกลาง	69	78	22	31	32.536	-
	บิทูมินัส VM สูง ชนิด A	-	69	31	-	30.212	32.536
	บิทูมินัส VM สูง ชนิด B	-	-	-	-	26.726	30.212
	บิทูมินัส VM สูง ชนิด C	-	-	-	-	24.402	26.726
ซับบิทูมินัส	ชนิด A	-	-		-	24.402	26.726
	ชนิด B	-	-			22.078	24.402
	ชนิด C	-	-			19.289	22.078
ลิกไนต์	ชนิด A	-	-			14.641	19.289
	ชนิด B	-	-			-	14.641

ที่มา ศรัญญา พรหมโคตร์, 2554 หน้า 195

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 องค์ประกอบของถ่านหิน (ศรัญญา, 2554)

การวิเคราะห์ถ่านหินอย่างง่าย เป็นการศึกษาองค์ประกอบขั้นพื้นฐานของถ่านหิน ได้แก่ ความชื้น สารระเหย ขี้เถ้า และปริมาณคาร์บอนคงที่ ทำได้โดยการนำถ่านหินไปเผาภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ศรัญญา พรหมโคตร์, 2554)

ความชื้น (Moisture)

ความชื้นเป็นสมบัติที่สำคัญของถ่านหิน เนื่องจากเหมืองถ่านหินมีการใช้น้ำ น้ำใต้ดิน และความชื้นที่มากเกินพออาจจะถูกทำให้ระเหยได้ ความชื้นของถ่านหินแบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ

1. ความชื้นอิสระ (Free moisture, Surface moisture) คือ ความชื้นที่อยู่บนผิวหน้าของถ่านหินซึ่งมาจากน้ำฝนหรือน้ำใต้ดิน หรือจากการพ่นน้ำในระหว่างการเก็บกองถ่านหิน เพื่อป้องกันการลุกไหม้ด้วยตนเอง ความชื้นประเภทนี้สามารถกำจัดได้โดยการผึ่งถ่านหินไว้ในบรรยากาศจนน้ำหนักคงที่

2. ความชื้นยึดเหนี่ยวทางกายภาพหรือความชื้นภายใน (Physically bound หรือ Inherent moisture) คือ ความชื้นที่อยู่ในช่องว่าง (Microspores) ของถ่านหิน ด้วยกระบวนการทางกายภาพและความดันไอ

3. ความชื้นที่เกิดจากการระเหยของสารพวกแร่ธาตุ (Water of hydration) คือ ความชื้นที่อยู่ภายในช่องว่างของถ่านหินหรือพวกดินเหนียวหรือสารจำพวกแร่ธาตุอื่นๆ ที่สามารถระเหยออกมาได้ Hydration water เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของสารอนินทรีย์ของแร่ธาตุถ่านหิน การหาความชื้นชนิดนี้ต้องใช้ความร้อนสูงอย่างน้อย 500°C

4. ความชื้นที่เกิดจากการสลายตัว (Decomposition moisture) คือ ความชื้นที่เกิดจากการสลายตัวของพวกสารอินทรีย์ (Organic matter) จะระเหยเมื่อถูกความร้อนประมาณ 200-250°C ความชื้นประเภทนี้เป็นส่วนหนึ่งของสารระเหย (Volatile matter) และจะต้องวิเคราะห์แยกจากการหาปริมาณความชื้นอื่นๆ

สารระเหย (Volatile Matter, VM)

ในการจำแนกประเภทของถ่านหิน ได้ใช้ปริมาณสารระเหยเป็นพารามิเตอร์หนึ่งในการจำแนกประเภทของถ่านหิน นอกจากนี้ยังนำมาใช้ในการเลือกอุปกรณ์การเผาไหม้ถ่านหิน ใช้ในการประเมิน Coke yield และเลือกวิธีสำหรับทำ Gasification และ Liquefaction โดยปริมาณสารระเหยคิดจากร้อยละของน้ำหนักถ่านหินที่สูญเสียไปหลังจากหักค่าความชื้นออกแล้ว ซึ่งทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ได้จากการอบถ่านหินในเตาเผาที่ใช้สำหรับหาสารระเหยที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 7 นาที

เถ้า (Ash)

เป็นกากจำพวกสารอนินทรีย์ที่เหลืออยู่หลังจากที่ถ่านหินถูกเผาไหม้ (Non-combustion residue) ในบรรยากาศที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้มีองค์ประกอบแตกต่างจากองค์ประกอบอนินทรีย์ที่มีอยู่ในถ่านหินก่อนที่จะนำไปเผา ในการเผาไหม้นี้น้ำจะถูกไล่ออกจากดินที่แทรกอยู่ในถ่านหิน และเกิดคาร์บอนไดออกไซด์จากสารจำพวกคาร์บอเนต เถ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. Extraneous หรือ Adventitious mineral matter จะประกอบด้วยสารพวกดินเหนียว (Clay) หินดินดาน (Shale) แคลไซต์ (Calcite) ไพไรต์ (Pyrite) มาร์คาไซต์ (Marcasite) หรือส่วนประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในรูปของซัลเฟต คลอไรท์ และฟลูออไรด์

2. Inherent Ash ประกอบด้วยสารอนินทรีย์ที่รวมตัวอยู่กับสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบของถ่านหิน ซึ่งเกิดจากพวกพืช (Plant material)

คาร์บอนคงที่ (Fixed carbon)

ปริมาณคาร์บอนคงที่ในถ่านหินเป็นสารประกอบคาร์บอนในดิน และหินที่ยังเหลืออยู่หลังจากสารระเหยง่าย และความชื้นถูกกำจัดออกไปแล้ว ถูกนำมาใช้เป็นพารามิเตอร์ในการจัดลำดับคุณภาพของถ่านหิน และใช้ในการพิจารณาปริมาณถ่านโค้ก แต่ทั้งนี้จะต้องอยู่ในรูปแบบเป็นปริมาณของ dry mineral-matter-free basis สารประกอบคาร์บอนในดินและหินที่ยังเหลืออยู่ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.1

$$FC\ (\%) = 100 - (\%\ IM + \%\ VM + \%\ Ash) \qquad (2.1)$$

เมื่อ FC = คาร์บอนคงที่ (%)
IM = ความชื้นแฝง (%)
VM = สารระเหย (%)
Ash = เถ้า (%)

ปริมาณความร้อน

ค่าความร้อน คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้นี้เป็นปัจจัยสำคัญในการนำถ่านหินกลับมาใช้งาน ทั้งในแง่ผู้ผลิต และจำหน่ายสามารถขายได้ราคาสูงเมื่อความร้อนสูง ส่วนผู้ใช้ถ่านหินได้พลังงานความร้อนสูงไปใช้ในกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ ผลของการวิเคราะห์ค่าความร้อน เมื่ออยู่ในรูปพื้นฐานความชื้นที่เป็นอิสระจากแร่ และสสาร (Moist, mineral-matter-free basis) นิยมใช้เป็นพารามิเตอร์ในการแบ่งคุณภาพของถ่านหิน การวิเคราะห์ค่าความร้อน (Calorific value) ของถ่านหิน หาได้จากการเผาตัวอย่างถ่านหินในเครื่องบอมม์แคลอริมิเตอร์ และวัดอุณหภูมิที่สูงขึ้น ปริมาณค่าความร้อนที่ได้ เรียกว่า gross calorific value มีหน่วยของพลังงานต่อน้ำหนักถ่านหิน เช่น J/g, MJ/kg

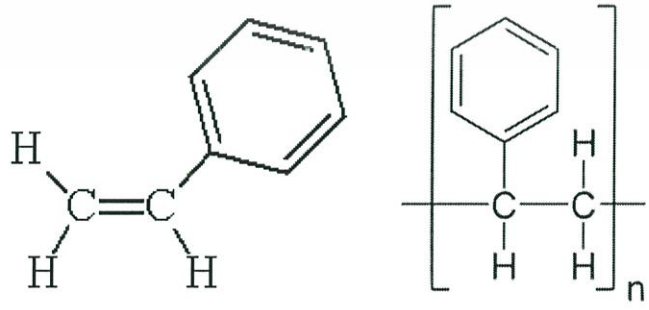
กำมะถัน (Sulfur)

การนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เป็นต้นเหตุ ทำให้เครื่องมือที่ใช้เกิดการผุกร่อน และก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงต้องทำการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันเพื่อควบคุมการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กำมะถันยังใช้เป็นข้อมูลในการเลือกกรรมวิธีในการกำจัดกำมะถันเพื่อปรับปรุงคุณภาพถ่านหินด้วย โดยกำมะถันจะพบ 3 รูปแบบ ได้แก่ กำมะถันที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ในรูปไพไรต์ (pyrite) หรือมาร์คาร์ไซต์ (Marcasite) และในรูปของสารอนินทรีย์ของซัลเฟต ผลรวมของกำมะถันทั้งสามรูปแบบนี้ คือ ปริมาณกำมะถันทั้งหมด

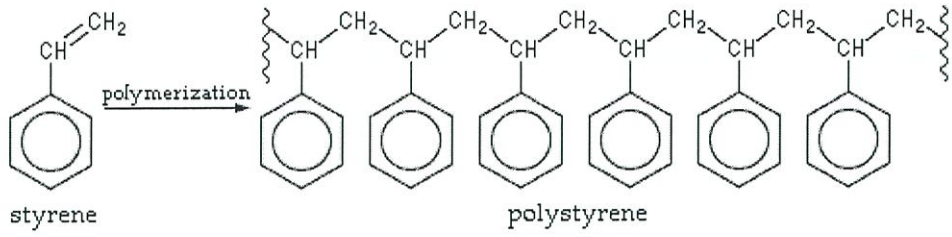
2.2 สารเคลือบผิว

2.2.1 พอลิสไตรีน (วิศว, วุฒิชัย และศิรินภา, 2551)

พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญชนิดหนึ่ง ในบรรดาพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่ผลิตจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอนุมูลอิสระของโมโนเมอร์สไตรีน พอลิเมอร์ชนิดนี้เป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน 100% คือ ไม่มีรูปร่างแน่นอนการเป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน ทำให้มีช่องว่างขนาดใหญ่ในโครงสร้าง เมื่อแสงตกกระทบเกิดการส่องผ่านทั้งหมดโดยไม่มีการสะท้อนกลับเลย ทำให้พอลิสไตรีนโปร่งใสมาก เม็ดพอลิสไตรีนมีลักษณะแวววาว จึงมักเรียกพอลิสไตรีนว่า ผลึกพอลิสไตรีน พอลิสไตรีนทั่วไปจะมีสูตรโครงสร้างเป็นโซ่ตรงอสัณฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. 1 โครงสร้างของสไตรีนมอนอเมอร์และการเกิดพอลิเมอไรเซชัน (วิกิพีเดีย, 2556)

สมบัติทางกายภาพของพอลิสไตรีนจะไม่ยั่งยืนหรือเสถียรมากนัก เนื่องจากพอลิสไตรีนเกิดการเสื่อมสภาพจากแสงอัลตราไวโอเลตและออกซิเจนในอากาศได้ง่าย ทำให้พอลิเมอร์เปลี่ยนเป็นสีเหลือง และเกิดการแตกภายในสภาพที่มีความเค้น

โฟมพอลิสไตรีน (Polystyrene foam)

การนำพอลิสไตรีนไปใช้งานนั้นมักจะนำไปใช้ทำเป็นถัง ขวด ภาชนะใส่อาหาร ชิ้นส่วนตู้เย็นหรือรถยนต์ และนำไปทำเป็นโฟมกันกระแทกซึ่งทำโดยการหลอมพอลิสไตรีนแล้วนำไปอัดด้วยเพนเทน (Pentane) จากนั้นให้ความร้อนด้วยไอน้ำ จะเกิดการขยายตัวประมาณ 40 เท่า แล้วอัดเข้าไปในเบ้าให้ได้รูปร่างและขนาดตามต้องการ หรืออาจทำให้เกิดเป็นเซลล์โดยการนำพอลิสไตรีนมาเติมสารที่ทำให้พองตัว (Blowing agent) แล้วนำใส่แบบที่เตรียมไว้ตามขนาดที่ต้องการจากนั้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยาได้ก๊าซออกมาเป็นโฟมพอลิสไตรีนโฟม แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ โฟมพอลิสไตรีนแบบขยายตัวได้ (Expandable Polystyrene Foam, EPS) และโฟมพอลิสไตรีนแบบแผ่น (Polystyrene Paper Foam, PSP)

Expandable Polystyrene (EPS) (พรรัตน์ และกฤษฎา, 2551)

Expandable Polystyrene (EPS) เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดหนึ่ง คิดค้นและพัฒนาครั้งแรกที่ประเทศเยอรมัน เริ่มนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ และฉนวนกันความร้อน – เย็น ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1958 เป็นต้นมา โดยเริ่มจากสารสไตรีนมอโนเมอร์ซึ่งได้สกัดจากกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมผ่านขบวนการ Polymerization ได้เป็น Polystyrene เมื่อผสมสารทำให้พองตัว (blowing agent หรือ expanding agent) ได้แก่ เพนเทน ในอดีตใช้สารซีเอฟซีหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารทำให้พองตัว เนื่องจากสารเหล่านี้มีสมบัติทำลายชั้นโอโซนหรือเป็นก๊าซเรือนกระจกทำให้เกิดภาวะโลกร้อนได้ จึงเปลี่ยนมาใช้เพนเทน (Pentane) ซึ่งเป็น pure hydrocarbon จะได้เป็นเม็ดพลาสติก EPS Resin ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนจากไอน้ำจะทำให้เม็ด EPS ขยายตัวขึ้น 30 – 50 เท่า แล้วแต่ความหนาแน่นที่ต้องการได้เป็น pre-foamed beads หลังจากระยะพักตัวแล้วสามารถนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปให้เป็นชิ้นโฟม (Foam, EPS Products) ภายใต้ความดันไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติของโฟม EPS

1. น้ำหนักเบา (Light weight) เนื่องจากมีรูพรุนถึง 98% ในปัจจุบันจึงนับเป็นสารที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบาที่สุด

2. ป้องกันแรงกระแทก (Protective) มีคุณสมบัติที่ในการดูดซับแรงกระแทก แรงกด (Shock absorbency and compression)

3. คงทน (Durable) ทนต่อความชื้น ความเย็น ความร้อน ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ มีผิวหน้าที่ไม่แข็งกระด้าง จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ปกป้องสินค้า

4. ฉนวนกันความร้อน-เย็น (Thermal insulating properties)

5. มีความหลากหลาย (Versatile) สามารถผลิตให้มีรูปทรงและขนาดต่างๆ ได้ตามความต้องการใช้งาน

ประโยชน์และการนำไปใช้ของพอลิสไตรีน

ใช้ทำแก้วโฟมจานหรือถาดพลาสติกใส่อาหาร บรรจุภัณฑ์กันกระแทก วัสดุช่วยพยุงให้ลอยน้ำ แผ่นฉนวนกันความร้อนในอาคารและผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกมากมาย เช่น ไม้บรรทัด ไม้แขวนเสื้อ ม้วนวีดีโอ ตลับเทป เป็นต้น

อันตรายต่อสุขภาพ

1. การใช้ภาชนะโฟมพลาสติก EPS ใส่อาหารร้อน เช่น กาแฟร้อน การคนกาแฟร้อนๆ ด้วยแท่งที่ทำจากพลาสติก EPS หรือการที่โฟมสัมผัสกับกรดแช่น้ำมะนาว หรืออาหารที่มีวิตามินเอ แล้วนำไปเข้าไมโครเวฟ สามารถทำให้สไตรีนโมโนเมอร์ในโฟมพลาสติกละลายออกมาผสมในอาหารได้

2. การเผาโฟมพลาสติกพอลิสไตรีนที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดก๊าซพิษสไตรีนออกไซด์ ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

3. สไตรีนมีความเข้มข้นสูงในอากาศ ระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ การสัมผัสสไตรีนที่ผิวหนังจะทำให้ผิวหนังแห้ง เมื่อได้รับสไตรีนจะมีอาการมึนงง การทำงานของร่างกายไม่ประสานกัน เมื่อได้รับเป็นเวลานานจะทำให้ตับ ระบบประสาทส่วนกลางและส่วนปลาย เมื่อได้รับอันตรายรวมทั้งมีผลต่อโครโมโซมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทบต่อสิ่งแวดล้อม

การผลิตพลาสติกโฟมในอดีตนั้น ใช้สาร Freon หรือ Chlorofluorocarbons (CFCs) เป็นสารช่วยในการขยายตัวของพลาสติก (Blowing agent) แต่ต่อมาพบว่า CFCs ทำให้เกิดการทำลายของโอโซนในชั้น Stratosphere ปัจจุบันมีการใช้ Propane หรือ Carbon dioxide เป็นสารที่ช่วยในการขยายตัวของพลาสติกแทน จึงช่วยให้สามารถลดปัญหาการทำลายชั้นโอโซนลงไปได้ ในขณะเดียวกันภาชนะบรรจุอาหารที่ทำจากพลาสติกโฟม เป็นภาชนะที่เหมาะกับการใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารที่ใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ประกอบกับในปัจจุบันมีการใช้ภาชนะชนิดนี้อย่างแพร่หลายทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกโฟม เป็นสารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ช้ามาก การนำไปฝังต้องใช้พื้นที่มาก การเผาก็จะทำให้เกิดมลพิษในอากาศ วิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุดคือ การลดการใช้ภาชนะบรรจุอาหารที่ทำจากพลาสติกโฟม โดยหันไปใช้ภาชนะที่ทำจากพลาสติกชนิดอื่น หรือ ภาชนะที่ทำจากแก้วหรือกระเบื้อง ที่ปลอดภัยกว่าและสามารถนำกลับมาใช้บรรจุอาหารได้อีก หรือใช้ภาชนะที่ทำจากพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastics) แทน

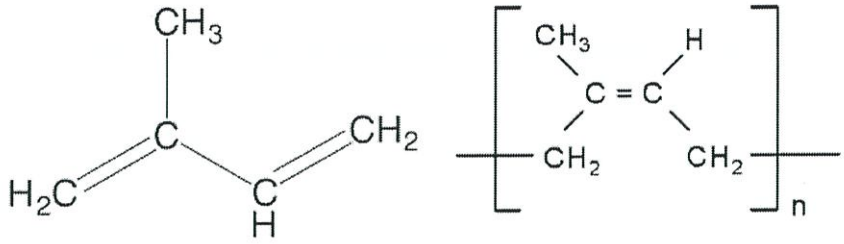
การรีไซเคิลพลาสติกพอลิสไตรีน

พลาสติกทั้ง EPS และ PSP สามารถรีไซเคิลได้ แต่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงคุณภาพของพลาสติกที่รีไซเคิลได้ต่ำลงกว่าก่อนผ่านการรีไซเคิล เมื่อเทียบกับราคาของตัวพลาสติกเอง จึงไม่นิยมที่จะรีไซเคิลกัน นอกจากนี้พอลิสไตรีนที่อยู่ในรูปพลาสติกโฟม หรือ PS foam จะมีผิวที่ถูกขูดขีดเป็นรอยได้ง่าย ทำความสะอาดได้ยาก จึงไม่นิยมนำกลับมาใช้ ทำให้มีขยะจากพลาสติกชนิดมากขึ้น จนเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม เพราะการกำจัดโดยการเผาขยะจากพลาสติกชนิดนี้ต้องใช้ความร้อนสูงและต้องมีปริมาณออกซิเจนที่มากพอ จึงจะเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การกำจัดโดยการฝังกลบต้องใช้พื้นที่มาก เนื่องจากปริมาณของพลาสติกที่มีมากและตัวพลาสติกเอง มีความคงตัวสูง ไม่สามารถย่อยสลายได้

2.2.2 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) (อิทธิพล, 2556)

ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) เป็นวัสดุที่ได้จากต้นยางพารา ที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Hevea brasiliensis* มีโครงสร้างทางเคมีคือ ซิส 1,4 -พอลิไอโซพรีน (cis-1,4 Polyisoprene, PI) เป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรง มีมอโนเมอร์ที่เป็นเหมือนหน่วยย่อยซ้ำๆ กัน คือ ไอโซพรีน (C_5H_8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. 2 โครงสร้างทางเคมีของไอโซพรีนและพอลิไอโซพรีน (คณะวิทยาศาสตร์ มหิดล, 2556)

ประวัติของยางธรรมชาติ (จิตติลัดดา, 2556)

ยางธรรมชาติมีการใช้ประโยชน์มาตั้งแต่ก่อนคริสตจักร ตามที่ได้มีการบันทึกไว้ คริสโตเฟอร์ โคลัมบัส (Christopher Columbus) นับเป็นชาวยุโรปคนแรกที่ค้นพบในช่วงยุคล่าอาณานิคมในปี พ.ศ. 2039 พบว่าชาวพื้นเมืองหรือชาวอินเดียแดงในประเทศไฮติ (Haiti) เล่นลูกบอลที่สามารถเด้งได้ซึ่งทำจากยางธรรมชาติ นอกจากนี้ชาวพื้นเมืองยังนำยางธรรมชาติมาใช้ในการทำรองเท้าและผ้ากันฝน โดยชาวอินเดียแดงพื้นเมืองเรียกพืชชนิดว่า คาอุท์ชู (Cahutchu) แปลว่าต้นไม้ที่ร้องไห้ได้ซึ่งภายหลังกลายเป็นคำศัพท์ของชาวฝรั่งเศสที่ใช้เรียกยางว่า เคาชูด (Caoutchouc) นอกจากนี้ยังให้ชื่อของเหลวที่มีลักษณะขาวขุ่นคล้ายน้ำนมที่ไหลออกมาจากต้นยางว่า ลาเทกซ์ (Latex) ในยุคแรกนั้นมีการปลูกยางกันมากในทวีปอเมริกาใต้ พบว่ายางพันธุ์ *Hevea brasilensis* มีคุณภาพดีที่สุด จึงมีการปลูกและซื้อขายกันอย่างแพร่หลาย โดยศูนย์กลางการซื้อขายอยู่ที่เมืองท่าชื่อเมืองพารา (Para) บนฝั่งแม่น้ำอะเมซอน ประเทศบราซิล จึงเป็นที่มาของชื่อยางพาราสำหรับประเทศไทยพระยารัษฎานุประดิษฐ์ มหิศรภักดี (คอซิบี้ ณ ระนอง) ได้นำยางพาราจากประเทศมาเลเซีย เข้ามาปลูกที่อำเภอกันตัง จังหวัดตรังเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ.2444 และได้ขยายการปลูกไปภาคต่างๆ ของประเทศไทย

สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีสมบัติที่ดีกว่ายางสังเคราะห์หลายประการ เช่น ความยืดหยุ่น (Elasticity) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ความเหนียวติด (Tack) และสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) แต่ยางธรรมชาติยังมีข้อด้อยหลายประการซึ่งเป็นข้อจำกัดในการใช้งาน เช่น สีที่เข้มกว่ายางสังเคราะห์และในยางธรรมชาติมีโปรตีนที่อาจทำให้เกิดการแพ้

1. ความยืดหยุ่น ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง สามารถคืนรูปร่างที่มีขนาดเดิมหรือใกล้เคียงได้รวดเร็ว ภายหลังการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการที่มีแรงภายนอกมากระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความทนทนต่อแรงดึงยางธรรมชาติมีความทนทานต่อแรงดึงที่สูงเนื่องจากเกิดการเหนี่ยวนำการตกผลึกเมื่อได้รับแรงดึง (Strain-induced crystallization) ซึ่งเชื่อกันว่าการเกิดผลึกนี้ช่วยให้ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อแรงดึงที่สูงทั้งก้อนและหลังการทำให้คงรูป

3.ความทนทานต่อการฉีกขาดยางธรรมชาติมีความทนทานต่อการฉีกขาดที่สูง ซึ่งมาจากความสามารถในการเกิดผลึกเมื่อได้รับแรงดึงโดยผลึกที่เกิดขึ้นมีการเรียงตัวในแนวเดียวกับแรงดึงและตั้งฉากกับรอยฉีกขาด ทำให้เกิดการขัดขวางการฉีกขาดที่เกิดขึ้น

4. ความทนทานต่อการขัดถู ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อการขัดถูที่ดี

5. ความเหนียวติดกันยางธรรมชาติมีความเหนียวติดกันที่สูงเมื่อเทียบกับยางสังเคราะห์โดยเฉพาะยางที่ไม่ได้ผ่านการคงรูปสามารถยึดติดกับวัสดุอื่น เช่น โลหะและสิ่งทอ

6. ทนทานต่อสารเคมียางธรรมชาติไม่สามารถทนทานต่อสารเคมีที่ไม่มีขั้วได้ เช่น น้ำมันปิโตรเลียม, ตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ เช่น เบนซีน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) และเฮกเซน (Hexane) เป็นต้น แต่ยางธรรมชาติจะทนต่อตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน (Acetone) และแอลกอฮอล์

7. การเสื่อมสภาพ เนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด ยางธรรมชาติมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ โดยเฉพาะเมื่อมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของยางได้ง่าย ยางธรรมชาติมีความทนต่อการเสื่อมสภาพที่มากกว่ายางไอโซพรีนสังเคราะห์ เนื่องจากโปรตีนในยางธรรมชาติสามารถยับยั้งการเสื่อมสภาพได้ นอกจากนี้ยางธรรมชาติไม่ทนต่อโอโซน จึงนิยมเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Anti-degrading) หรือสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Anti-oxidation) ลงในยางธรรมชาติ เช่น แอมโมเนีย

รูปแบบของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติหรือยางพาราส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยางพาราสายพันธุ์ *Hevea brazillensis* ซึ่งเป็นไม้ป่าที่มีต้นกำเนิดจากลุ่มแม่น้ำอะเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีดได้จากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นสีขาวข้นและมีเนื้อยางแห้งประมาณ 30% (โดยน้ำหนัก) แขวนลอยอยู่ในน้ำแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบใหญ่ ได้แก่

น้ำยาง (Latex)

น้ำยางจากต้นยางพารามีลักษณะเป็นของยางเหลวสีขาวข้นคล้ายน้ำนมเป็นสารแขวนลอยหรือคอลลอยด์ (Colloids) ประกอบด้วยน้ำเป็นองค์ประกอบหลักเรียก ซีรั่ม (Serum) และมีอนุภาคยางพอลิไอโซพรีน (Polyisoprene) ประมาณ 30-45% ขนาด 20-2000 นาโนเมตร มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเป็นไมเซลล์ (Micelles) แขวนลอยกระจายอยู่ในซีรั่มนอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber substances) เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรตและสารอนินทรีย์อื่นๆ เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก ทองแดง สังกะสี และแมงกานีส เป็นต้น

เนื่องจากน้ำยางสดที่กรีดได้มีปริมาณน้ำมากเกินไป จึงไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และยังทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำน้ำยางที่ได้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) เพื่อลดปริมาณน้ำในน้ำยางสดจนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นจาก 30% เป็น 60% โดยน้ำหนัก เรียกน้ำยางที่ได้นี้ว่า น้ำยางข้น (Concentrated latex) แต่น้ำยางมีสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น โปรตีนและฟอสโฟไลปิด (Phospholipids) ผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อยจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายโปรตีนเหล่านี้เป็นก๊าซหรือสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นน้ำยางจึงสามารถบูดเน่าส่งกลิ่นเหม็นได้ จึงต้องมีการเติมสารรักษาสภาพน้ำยางเพื่อช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบและปริมาณของสารต่างๆ ในน้ำยางธรรมชาติ

องค์ประกอบและสมบัติ	ปริมาณ (% w/w)
เนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC) – พอลิไอโซพรีน	25-45
สารที่ไม่ใช่ยาง	
- โปรตีน	~1.4
- ไขมัน	~1.6
- คาร์โบไฮเดรต	~1.6
- สารอนินทรีย์	~0.5
- สิ่งเจือปน	~0.4
น้ำ	จนครบ 100%

ที่มา อิทธิพล แจ้งชัด, 2556

การทำน้ำยางข้น (จิตติลัดดา, 2556)

การทำน้ำยางข้นมีวิธีการหลักที่ปฏิบัติอยู่ 3 วิธี คือ การใช้เครื่องปั่น (Centrifugation) การระเหยน้ำ (Evaporating) ทำให้เกิดครีม (Creaming) สำหรับวิธีการระเหยน้ำเป็นการแยกน้ำออกเพียงอย่างเดียว สัดส่วนของสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่เนื้อยางแห้งและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคจึงไม่ถูกกระทบการเทือน ในทางตรงกันข้ามวิธีการใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง และการทำให้เกิดครีมจะลดสัดส่วนของสารที่ไม่ใช่เนื้อยางแห้งและมีผลต่อการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. น้ำยางข้นโดยใช้เครื่องปั่น

ผู้ผลิตน้ำยางข้นส่วนมากใช้วิธีนี้ในการผลิตน้ำยางข้น โดยน้ำยางสดถูกรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย ปริมาณของสารรักษาสภาพที่ใช้จะถูกปรับให้เหมาะสมตามลักษณะการขนส่งและเก็บรักษาก่อนนำเข้าสู่สายการผลิต น้ำยางสดที่ผ่านการรักษาสภาพจะถูกลำเลียงเข้าสู่โรงงานโดยตรง และทำการเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง น้ำยางสดเหล่านี้จะถูกลำเลียงลงในถังรวมขนาดใหญ่เพื่อรอป้อนเข้าเครื่องปั่น เครื่องปั่นน้ำยางข้นมีอัตราการผลิตต่างกันขึ้นกับขนาดของเครื่อง ปกติการเดินเครื่องปั่นสามารถทำต่อเนื่องได้ไม่เกิน 3 ชั่วโมง เพราะจำเป็นต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดและล้างกาก (Sludge) ที่ติดอยู่ในหัวปั่นและที่จานแยกน้ำยาง เครื่องปั่นจะแยกน้ำยางสดเป็นส่วนของน้ำยางข้น (มีเนื้อยางแห้งหรือ Dry rubber content, DRC ไม่น้อยกว่า 60%) และส่วนหางของน้ำยางหรือ Skim latex (มีเนื้อยางแห้งประมาณ 3-6%) รวมทั้งแยกสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber contents) ออกจากน้ำยาง ทำให้ยางข้นมีสิ่งอื่นๆ เจือปนลดน้อยลง ส่วนของหางน้ำยางจะถูกแปรรูปเป็นยางสกิมบล็อกหรือสกิมเครพ และส่วนของน้ำยางข้นมีการเติมหรือปรับปริมาณแอมโมเนีย

2. น้ำยางข้นโดยการระเหยน้ำ

ปัจจุบันวิธีการระเหยน้ำมีการใช้ในเชิงพาณิชย์น้อยมาก และไม่มีการใช้แล้วในประเทศไทย วิธีการระเหยน้ำเริ่มจากน้ำยางสดที่ได้รวบรวมจากสวนจะถูกทดสอบคุณภาพและรักษาสภาพน้ำยาง แล้วนำเข้าสู่กระบวนการซึ่งควบคุมความดันต่ำและอุณหภูมิสูง น้ำยางข้นจากการระเหยน้ำมีความเสถียรสูง และมีจุดเด่นเรื่องความเหนียวติด จึงเหมาะกับการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องเติมสารอื่นๆ ปริมาณมากเพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์เช่น การใช้เป็น binder หรือ adhesives

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบโดยประมาณของน้ำยางข้นจากการระเหยน้ำ

องค์ประกอบ	%
ส่วนที่เป็นของแข็ง	75
เนื้อยาง	60
Caustic potash	1.5
สารเพิ่มความเสถียร โปรตีนและอื่นๆ	13.5

3. น้ำยางข้นโดยวิธีครีมมิ่ง

การผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีครีมมิ่งคือ รวบรวมน้ำยางสดจากสวนมาเติมแอมโมเนียประมาณ 1% w/w เติมสารละลายครีมมิ่งเอเจนต์ เช่น pectin ประมาณ 0.1% กวนน้ำยางประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ประมาณ 40 ชั่วโมง น้ำยางก็จะเกิดการครีมหรือแยกชั้น น้ำยางข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดครีมมีข้อได้เปรียบโดยวิธีอื่นๆ หลายประการ ได้แก่ การใช้อุปกรณ์เครื่องมือการผลิตที่ง่าย สะดวกและมีราคาไม่แพง ไม่ต้องใช้พลังงานสูง มีการสูญเสียส่วนของเนื้อยางไปกับส่วนของสกิมเพียงเล็กน้อย แต่ข้อด้อยคือ ใช้เวลานาน ค่อนข้างแปรปรวนได้ง่ายเมื่อน้ำยางสดมีความแปรปรวน

การรักษาสภาพน้ำยางข้น

น้ำยางข้นที่ผลิตได้จะต้องเติมแอมโมเนียหรืออาจใช้แอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่นๆ เพื่อรักษาสภาพน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางที่ใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียวจะต้องใช้แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 0.6% น้ำยางชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า High ammonia latex หรือ HA latex ส่วนน้ำยางที่ใช้แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.2% จำเป็นที่จะต้องใช้สารเคมีอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ZnO/TMTD (Zinc oxide/Tetramethylthiuramdisulphide) 0.02% หรือใช้กรดบอริก 0.2% หรือ Santobrite 0.2% เป็นต้น ซึ่งน้ำยางข้นชนิดนี้เรียกว่า Low ammonia latex หรือ LA latex

น้ำยางข้นที่ผลิตได้ส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมยางเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่

1. ผลิตภัณฑ์จุ่มแบบพิมพ์ (Latex dipping) ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ เช่น ถุงมือผ่าตัด ถุงมือตรวจโรค ถุงมือแม่บ้าน ถุงมืออุตสาหกรรม ถุงยางอนามัย หัวนมยาง และท่อสวนปัสสาวะ (Catheters) เป็นต้น
2. ผลิตภัณฑ์น้ำยางในอุตสาหกรรมพรม เช่น ในพรมที่เรียกว่า Tufted carpet จะใช้น้ำยางอาบหลังพรมเพื่อที่จะยึดเส้นพรมเอาไว้ ซึ่งเรียกชั้นน้ำยางที่ใช้ยึดว่า Anchor coat
3. ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำ (Latex foam) ใช้ทำที่นอน หมอน และเบาะรองนั่ง เป็นต้น
4. สายยางยืด (Latex thread) เช่น ยางยืดขอบกางเกง ยางรัดขาไก่ และยางรัดป้ายชื่อติดกระเป๋า เป็นต้น
5. ฟูกใยขนสัตว์และกาบมะพร้าวจะใช้น้ำยางเป็นตัวยึดขนสัตว์หรือเส้นใยกาบมะพร้าว
6. กาว น้ำยางประกบผ้า ในอุตสาหกรรมรองเท้า และเสื้อกันฝน
7. ผลิตภัณฑ์หล่อเข้าพิมพ์ (Casting) เช่น ตุ๊กตา หน้ากาก หุ่นต่างๆ เป็นต้น

2.3 งานวิจัยเกี่ยวข้อง

กานต์ ศุภนิรันดร์ และเมตตา เจริญพานิช (2555) ทำการศึกษาผลของความชื้น ขนาด ระยะเวลาและอุณหภูมิที่มีผลต่อการลุกไหม้ได้เองของถ่านหินซับบิทูมินัสจากประเทศอินโดนีเซีย และประเทศสาธารณรัฐแอฟริกาใต้ โดยใช้ตู้อบควบคุมความร้อนที่เป็นชุดทดลองซึ่งเป็นเครื่องปฏิกรณ์ในการหาอุณหภูมิจุดตัดและอุณหภูมิเริ่มต้น จากการทดลองพบว่า ความชื้นมีผลต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิที่ถ่านหินสามารถลุกไหม้ได้เอง โดยถ่านหินแหล่งเดียวกันที่มีขนาดอนุภาคเท่ากัน ถ่านหินที่มีความชื้นสูงจะมีอุณหภูมิสัมผัสแล้วสามารถลุกไหม้ได้เองสูงกว่าถ่านหินที่มีความชื้นต่ำ ถ่านหินที่มีขนาดอนุภาคเล็กสามารถลุกไหม้ได้เองที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าถ่านหินที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ และถ่านหินที่มีปริมาณสารระเหยได้สูงแต่ค่าคาร์บอนคงตัวต่ำจะมีโอกาสในการลุกไหม้ได้เองที่อุณหภูมิต่ำ ส่วนถ่านหินที่มีปริมาณสารระเหยได้ต่ำแต่ค่าคาร์บอนคงตัวสูงมีโอกาสเกิดการลุกไหม้ได้เองที่อุณหภูมิสูงกว่า

ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์ กิจจา กิรสมุทรานนท์ และรัตนะ เลหวนิช (2552) ทำการศึกษาเชิงทดลองสำหรับการลดความชื้นในถ่านอัดจากฝุ่นผงถ่านหิน โดยนำฝุ่นผงถ่านหินมาอัดเป็นก้อนโดยใช้ตัวประสานที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก พบว่าอุณหภูมิของอากาศมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในถ่านอัดโดยตรง การไล่ความชื้นโดยอาศัยความร้อนและความเร็วลม อัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิช่วยให้อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นดีขึ้น ปริมาณความชื้นแปรผันตามพื้นที่ผิวสัมผัสเมื่อใช้การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection)

พิริยะ ทองเชี่ยว และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2553) ศึกษาการประเมินปริมาณอากาศที่เหมาะสมต่อการสัดดาปภายในหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินบดละเอียดของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ เนื่องจากถ่านหินที่ใช้มีสมบัติแปรเปลี่ยนตลอด ทำให้ระบบควบคุมการสันดาปไม่สามารถทำงานได้สมบูรณ์ เกิดปัญหาเถ้าสะสม และการสูญเสียพลังงานความร้อนออกจากระบบ ทำการเก็บข้อมูลสภาพการทำงานของหม้อไอน้ำ และสมบัติทางเคมีของถ่านหิน ได้ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นขององค์ประกอบของถ่านหินและค่าความร้อนของถ่านหิน นำมาคำนวณหาปริมาณอากาศตามวิธีการดุลสมการการเผาไหม้ที่ถ่านหินคุณภาพต่างๆ นำไปเปรียบเทียบสภาพสันดาปที่เกิดขึ้นจริง นำไปออกแบบกราฟปริมาณอากาศที่เหมาะสมในแต่ละช่วงการผลิตได้ทำให้หม้อไอน้ำมีเสถียรภาพและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

มนูญ มาศนิยม (2554) ศึกษาปัญหาของการเกิดถ่านหินติดไฟเองทั้งบนพื้นดินและใต้ดินที่เกิดขึ้นในปัจจุบันมีหลายพื้นที่ทั่วโลก เช่น ประเทศจีน อเมริกา อินเดีย ยุโรป แอฟริกาใต้ ออสเตรเลีย อินโดนีเซีย เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ ทั้งที่จริงแล้วถ่านหินที่ติดไฟเองไม่ได้เกิดจากปัญหาการทำเหมืองถ่านหินเพียงอย่างเดียว แต่รวมถึงชั้นถ่านหินที่ติดไฟได้เองตามธรรมชาติในพื้นที่ที่ยังไม่ได้มีการพัฒนาการทำเหมืองถ่านหิน โดยเฉพาะประเทศจีนซึ่งเป็นประเทศที่มีการประเมินปริมาณสำรองของถ่านหินในปัจจุบันมีประมาณ 115 พันล้านตัน โดยในปี 2552 มีการผลิตถ่านหินทั้งหมดเกือบประมาณ 3 พันล้านตัน แต่ทั้งนี้มีการประเมินปริมาณถ่านหินที่มีคุณภาพดีประมาณ 100-200 ล้านตัน ที่ติดไฟได้เองทุก ๆปีนอกจากนี้ผลของการติดไฟของถ่านหิน ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึงร้อยละ 2-3 ของปริมาณการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วโลก จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ดังนั้นการป้องกันการเกิดถ่านหินติดไฟเองจึงมีการคิดค้นและทำการวิจัยอย่างต่อเนื่องมานานและทำได้หลายวิธี เช่น ใช้นำฉีดไปยังชั้นถ่านที่เกิดไฟไหม้ การใช้เครื่องจักรขุดถ่านหินติดไฟออก การระเบิดชั้นถ่านหิน การกลบถมของดินหรือวัสดุที่สามารถป้องกันการเผาไหม้ของถ่านหินได้ เป็นต้น ดังนั้นวิธีการควบคุมที่ดีจึงต้องเป็นวิธีที่บูรณาการจึงจะสามารถควบคุมให้ถ่านหินติดไฟเองลดลงให้เหลือปริมาณน้อยที่สุดได้ จากปัญหาการเกิดถ่านหินติดไฟเองมาอย่างช้านานทำให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นมีอย่างกว้างขวางทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมเศรษฐกิจ สังคมและความปลอดภัย ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาที่ยังยืนของอุตสาหกรรมการทำเหมืองถ่านหินในประเทศจีนดังนั้นต้องมีวิธีการที่ดีที่เป็นวิธีบูรณาการโดยต้องอาศัยความรู้ทั้งทางด้านวิศวกรรม เทคโนโลยีด้านต่างๆ เศรษฐกิจ สังคมและความปลอดภัยจึงจะสามารถควบคุมและป้องกันให้ถ่านหินติดไฟเองลดลงให้เหลือปริมาณน้อยที่สุดได้และสามารถนำผลพลอยได้จากการเกิดถ่านหินติดไฟบริเวณใต้ดินมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

NKolele A. (2004) ศึกษาวิธีลดความชื้นถ่านหินหลังทำความสะอาดด้วยน้ำและกรองโดยเติมสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิดจาก Ondeo-Nalco ที่มีชื่อทางการค้า Hydrogo 1 (S_1) และ Hydrogo 2 (S_2) ที่ระบุเพียงว่าเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ทำการแปรค่าความเข้มข้น 0-150 กรัม/ตัน โดยใช้ถ่านหินขนาดเล็กกว่า 0.5 มม. ผสมในช่องทางเข้าไซโคลน (Cyclone inlet) และผ่านตะแกรงที่คงที่ (Static drain screen) และปั่นเหวี่ยงไล่น้ำ ผลการทดลองพบว่า ต้องใช้สารลดแรงตึงผิวค่อนข้างสูง (80 กรัม/ตัน) ลดความชื้นจาก 20% ลงเหลือ 17-18% แสดงว่าสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้และไม่มีการประเมิณผลในเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วย

Hokyung Choi, *et.al* (2011) คณะผู้วิจัยศึกษากระบวนการปรับเกรดถ่านหินคุณภาพต่ำ (low rank coal) โดยใช้กระบวนการผสานระหว่างถ่านหินและน้ำมันเหลว (Coal-oil slurry) ด้วยการไล่น้ำป้องกันการดูดความชื้นย้อนกลับ การออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่ำและการลุกไหม้ด้วยตนเองของถ่านหินที่ปรับเกรดแล้ว ถ่านหินที่นำมาศึกษาได้รับจากประเทศอินโดนีเซีย โดยบดและร่อนให้ได้ขนาด 0.5-1.3 mm. ที่แปรค่า 0-4% ทำให้อยู่ในรูปเหลวโดยผสมกับน้ำมันก๊าดที่มียางแอสฟัลต์เป็นตัวทำละลายในอัตราส่วนของถ่านหินและตัวทำละลายอัตราส่วน 1:1 โดยยางแอสฟัลต์ทำหน้าที่เป็น heavy oil additive เมื่อนำของผสมนี้ไปให้ความร้อน 140°C นาน 30 นาที เพื่อไล่ความชื้นและแปรค่าความดันในถังที่บรรจุในช่วง 0.1-0.3 MPa หลังจากนั้นทำการกรอง และอบแห้งในตู้อบอุณหภูมิ 130°C เก็บรักษาถ่านหินจากกระบวนการในภาชนะปิดและบรรยากาศไนโตรเจน เพื่อทดสอบการดูดความชื้นย้อนกลับเทียบกับถ่านหินดั้งเดิม ในห้องทดสอบแปรค่าความชื้น (Humidity chamber) ผลการศึกษาพบว่าถ่านหินดั้งเดิมสามารถดูดความชื้นย้อนกลับได้ดีที่สุด (1.140 เท่า) ในขณะที่ถ่านหินที่ปรับเกรดโดยมีการแปรค่าความเข้มข้นยางแอสฟัลต์ เมื่ออัตราส่วนยางแอสฟัลต์เพิ่มมีการดูดความชื้นย้อนกลับในอัตราส่วนที่ลดลงด้วยสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Hydrophobic) ของยางแอสฟัลต์ ในกรณีที่กระบวนการปรับเกรดเพิ่มความดัน พบว่ามีผลต่อการดูดความชื้นกลับของถ่านหินที่ปรับเกรด ทำให้มีการดูดความชื้นย้อนกลับได้มากขึ้น ถึงแม้จะใช้อัตราส่วนของยางแอสฟัลต์สูงถึง 4% นอกจากนี้ผลยังแสดงให้เห็นว่าถ่านหินที่ปรับเกรดแล้วมีการดูดความชื้นย้อนกลับได้น้อย เกิดการออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่ำได้น้อย และลุกไหม้ด้วยตนเองได้ต่ำ เนื่องมาจากการเติมยางแอสฟัลต์ช่วยเคลือบรูพรุนขนาดเล็กมากและลดพื้นที่ผิวที่มีกลุ่มฟังชันก์ต่างๆ ที่สามารถดูดความชื้นและออกซิเจนในอากาศ อัตราส่วนที่เหมาะสมในการปรับเกรดถ่านหินของยางแอสฟัลต์ประมาณ 1%

Zhijun Zhou (2011) ศึกษาการเคลือบผิวหน้าของถ่านหินเพื่อป้องกันไม่ให้หมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนสัมผัสกับความชื้นหรือน้ำ โดยใช้สารเคมี 4 ชนิด ได้แก่ Cetyl trimethyl ammonium bromide (CTAB), SPAN-60, SPAN-40 และ Diesel โดยสารช่วยกระจายตัวทั้ง 4 ชนิดที่ใช้ในการเคลือบจะเกิดเป็นเยื่อบางๆ ระหว่างผิวหน้าของถ่านหินและน้ำ ซึ่งมีผลทำให้หมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนและมีรูพรุนบนผิวของถ่านหินไม่สัมผัสกับน้ำ และมีผลช่วยลดความหนืดของถ่านหินน้ำและเพิ่มความเสถียรของถ่านหินน้ำ

Jing Huang (2013) ศึกษาผลของสารกระจายตัว Amphiphilic copolymer 2 ชนิด คือ grafting ของ poly (styrene-co-maleic anhydride) กับ 1-napthylamine-6-sulfonic acid (SMANS) ชนิดเดียว หรือใช้ร่วมกันกับ methoxypolyethlene glycol (SMANP) ที่มีผลต่อการไหล และความเสถียรของถ่านหินน้ำ ผลของการศึกษาพบว่าพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด สามารถลดความหนืดและเพิ่มเสถียรภาพของถ่านหินน้ำ เพราะผลของแรงผลักทางไฟฟ้าและความเกะกะเนื่องจากขนาดของสารพอลิเมอร์

Fujitsuka H., Ashida R. and Miura K. (2013) คณะผู้วิจัยศึกษาวิธีการไล่น้ำจากถ่านหินเกรดต่ำจากประเทศออสเตรเลีย ความชื้น 50.6% โดยใช้ตัวทำละลายแบบไม่มีขั้ว คือ 1-methylnaphthalene นำมาอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 350°C โดยเก็บส่วนที่ได้ 3 รูปแบบ คือ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซ ของเหลว และของแข็งส่วนที่เหลือ (Residue) พบว่าสามารถไล่น้ำและปรับถ่านหินเกรดต่ำได้ ช่วยลดการลุกไหม้ด้วยตนเองของถ่านหินได้ อุณหภูมิที่สามารถเกิดออกซิเดชันได้เองสูงขึ้นถึง 65°C ในส่วนที่เป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ออกมา สามารถตกตะกอนเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง (Deposit) 0.22 kg/kg ที่มีสมบัติการเกิดออกซิเดชันได้ต่ำ (Low oxidation reactivity) ส่วนถ่านหินของแข็งที่เหลือมีความชื้นแผงต่ำ ค่าความร้อนเทียบเท่าถ่านหินซับบิทูมินัสหรือบิทูมินัส โดยอยู่ในช่วง 29.2-36.7 MJ/kg เมื่อเทียบกับถ่านหินดั้งเดิมมีเพียง 23.0 MJ/kg coal แต่ถ้ารวมทั้ง 3 รูปแบบผลิตภัณฑ์ ค่าความร้อนยังสูงถึง 26.6 MJ/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. น้ำยางข้น 60% (w/w) ของบริษัท Lucky flow
2. โฟมพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS)
3. เอทิลอะซิเทต เกรดการค้า (Ethyl acetate) ยี่ห้อ Alcohol paint and solvent
4. แบเรียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ (Barium chloride, $BaCl_2$) ยี่ห้อ Fisher scientific
5. โซเดียมซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ (Sodium sulfate, Na_2SO_4) ยี่ห้อ Rankem
6. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกรดวิเคราะห์ (Hydrogen peroxide) ยี่ห้อ Carlo erba
7. แมกนีเซียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ (Magnesium chloride, $MgCl_2$) ยี่ห้อ Carlo erba
8. กรดอะซิติก เกรดวิเคราะห์ (Acetic acid, CH_3COOH) ยี่ห้อ Carlo erba
9. โพแทสเซียมไนเทรต เกรดวิเคราะห์ (Potassium nitrate, KNO_3) ยี่ห้อ Carlo erba
10. เมทิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์ เกรดวิเคราะห์

3.1.2 อุปกรณ์

1. ตู้อบ (Drying oven) ยี่ห้อ Fisher scientific รุ่น FT01/124 model Isotemp
2. เตาเผา (Muffle furnace) ยี่ห้อ Nabertherm รุ่น Controller P 320
3. เครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ ยี่ห้อ IKA รุ่น C2000
4. เครื่อง Thermal gravimetric analysis (TGA) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA
5. เครื่องกวนสาร ยี่ห้อ Stuart รุ่น CB162
6. เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 3 และ 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น Aux 220
7. ตะแกรงร่อนขนาด 8 mesh, 20 mesh และ 60 mesh
8. ครกและสาก
9. ถาดอลูมิเนียม
10. กระดาษฟอยล์
11. ขวดน้ำหรือแก้วพลาสติก
12. ไม้สำหรับกวนสาร
13. เครื่องแก้วต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทดลอง

3.2.1 สมบัติก่อนและหลังเคลือบของถ่านหิน

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

พารามิเตอร์	วิธีการ/เครื่องมือ	หมายเหตุ
1. ความชื้น - ความชื้นทั้งหมด (Total moisture) -ความชื้นอิสระ (Free moisture) -ความชื้นแฝง (Inherent moisture)	Gravimetric method	ASTM D3302 ASTM D3173-11
2. องค์ประกอบโดยรวม - สารอินทรีย์ระเหยง่าย - เถ้า - คาร์บอนคงที่	Gravimetric method	ASTM D3175-11 ASTM D3174-12
3. ปริมาณความร้อน	Calorific method / Bomb calorimeter	
4. ปริมาณซัลเฟอร์	Turbidity method / Spectrophotometer	ASTM E775 - 87
5. พีเอช	pH meter	
6. การนำไฟฟ้า	Conductivity meter	

3.2.2 การสุ่มตัวอย่างถ่านหิน

1. ทำการกองถ่านหินรวมกันดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 การสุ่มตัวอย่างถ่านหิน (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เกลี่ยถ่านหินให้มีความหนาเท่าๆ กัน

รูปที่ 3.2 การสุ่มตัวอย่างถ่านหิน (2)

3. ทำการพลิกกลับมุมทั้ง 4 ด้านของภาชนะที่ใช้รอง

รูปที่ 3.3 การสุ่มตัวอย่างถ่านหิน (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แบ่งถ่านหินออกเป็น 4 กองดังรูป 3.4

รูปที่ 3.4 การสุ่มตัวอย่างถ่านหิน (4)

5. หยิบถ่านหินแต่ละกอง แล้วนำมาผสมเป็นกองเดียวกัน

6. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 3 จนได้น้ำหนักตามที่ต้องการ จากนั้นจึงนำไปทำการทดลองต่างๆ

3.2.3 การหาปริมาณความร้อน

1. นำถ่านหินที่ได้จากการหาความชื้นอิสระ มาบดร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 mesh

2. ชั่งน้ำหนักถ่านหินไม่เกิน 0.5 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) นำไปอัดเป็นเม็ด

3. ทำการหาค่าความร้อนด้วยบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์

*หมายเหตุ ทำการวัดค่าความร้อนของสารเคลือบทั้ง 2 ชนิด เพื่อใช้อธิบายสมบัติทั่วไปของสารเคลือบ โดยตัวอย่างที่นำไปวัดอยู่ในลักษณะของเหลว โดยชั่งน้ำหนักไม่เกิน 0.5 กรัม เช่นกัน

3.2.4 การเตรียมสารพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.4.1 การเจือจางน้ำยางเข้มข้น 60% ให้มีความเข้มข้น 30% (w/w)

1. ชั่งน้ำยางข้น 60% 50 กรัม เติมน้ำกลั่น 100 mL

*หมายเหตุ ก่อนการนำตัวอย่างออกจากภาชนะควรทำการเขย่าภาชนะบรรจุน้ำยางข้นให้เนื้อยางกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

3.2.4.2 การเตรียมสารเคลือบพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS)

1. ตัดแบ่งโฟมพอลิสไตรีนออกเป็นชิ้นเล็กๆขนาดประมาณ 1-3 เซนติเมตร

2. ชั่งน้ำหนัก 4 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ละลายในเอทิลอะซิเทต ปริมาตร 100 mL ได้ความเข้มข้นของพอลิสไตรีนเป็น 4% โดยปริมาตร (%w/v)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การศึกษาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบไล่ความชื้นจากถ่านหิน

1. ทำการชั่งน้ำหนักถ่านหินจำนวน 100 กรัม ใส่ภาชนะ

2. ทำการอบไล่ความชื้น โดยแปรค่าอุณหภูมิเป็น 60 และ 105 องศาเซลเซียส และแปรค่าเวลาเป็น 15, 30, 45, 60, 120 และ 240 นาที

3.2.6 การเคลือบถ่านหิน

1. ทำการอบไล่ความชื้นของถ่านหินที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 45-60 นาที (ได้จากการทดสอบการอบถ่านหินที่เวลาต่างๆว่าความชื้นจะหายไปเท่าใด)

2. ชั่งถ่านหินแบบไม่คัดขนาดจำนวน 100 กรัม ใส่ภาชนะแล้วทำการบันทึกน้ำหนักไว้

3. ใส่สารเคลือบพอลิสไตรีนในตัวทำละลายเอทิลอะซิเทตในอัตราส่วนถ่านหิน : สารเคลือบเป็น 1:0.1, 1:0.25 และ 1:0.5 คนให้สารเคลือบเข้ากับถ่านหินอย่างทั่วถึง ตั้งทิ้งไว้ในเดซิเคเตอร์ให้สารเคลือบแห้ง

4. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้งพร้อมทำชุดควบคุมโดยนำถ่านหินไปอบเช่นเดียวกัน แต่ไม่ต้องใส่สารเคลือบ

5. เปลี่ยนสารเคลือบที่ใช้เป็นน้ำยางข้น 30%

6. นำไปวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ความชื้นทั้งหมด, ค่าความร้อน และปริมาณซัลเฟอร์

3.2.7 การทดสอบการดูดความชื้นกลับ

1. ทำการวัดพารามิเตอร์ของน้ำ(น้ำกลั่น) ก่อนผ่านถ่านหิน ได้แก่ พีเอช, การนำไฟฟ้า (Conductivity) และของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total dissolve solid, TDS)

2. นำถ่านหินที่ผ่านการเคลือบแล้วไปทำการแช่น้ำ โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำ : ถ่านหินเป็น 1:1 และแช่ไว้เป็นเวลา 5 นาที

3. กรองน้ำออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง (ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อนทำการกรอง)

4. นำถ่านหินไปวัดค่าความชื้นทั้งหมดและค่าพลังงานความร้อน

5. ทำการวัดพารามิเตอร์ของสารละลายที่กรองได้ตามข้อ 1 อีกครั้ง

3.2.8 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

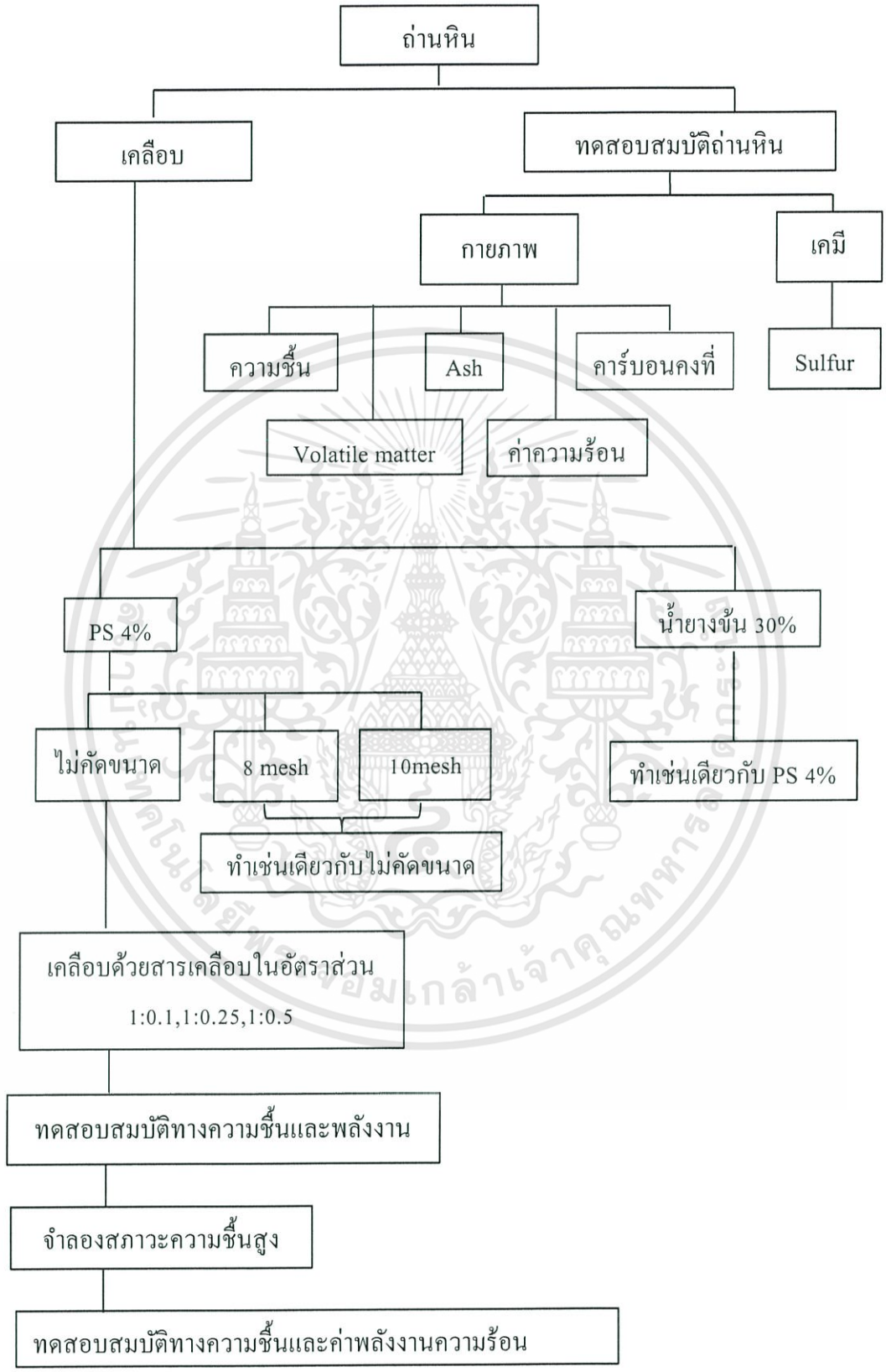
1. การสุ่มตัวอย่างถ่านหิน ได้ทำการสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการที่เหมาะสมและทำซ้ำหลายครั้ง

2. การเก็บรักษาตัวอย่าง โดยใส่ถุงพลาสติกที่ปิดมิดชิด ไม่ให้ความชื้นในถ่านหินมีการเปลี่ยนแปลง และเก็บให้ห่างจากแสง

3. ประกันคุณภาพการวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ โดยใช้สารมาตรฐานกรดเบนโซอิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

โครงงานพิเศษนี้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้สารพอลิเมอร์เพื่อรักษาระดับความชื้นในถ่านหินให้มีค่าคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงหลังจากทำการอบไล่ความชื้นออกไปบางส่วนให้น้อยที่สุด โดยทำการศึกษาดังหัวข้อต่อไปนี้

4.1 สมบัติทั่วไปของถ่านหิน

จากการนำถ่านหินจากประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งเป็นถ่านหินคุณภาพต่ำ มาวิเคราะห์สมบัติทั่วไป พบว่าถ่านหินมีสมบัติดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4. 1 สมบัติทั่วไปของถ่านหิน

พารามิเตอร์	ตัวอย่างถ่านหินจากอินโดนีเซีย
ความชื้นทั้งหมด (Total moisture,%)	40.83 ±1.44
ความชื้นอิสระ (Free moisture,%)	27.38± 1.26
ความชื้นแฝง (Inherent moisture,%)	13.44 ± 0.27
เถ้า (Ash,%)	3.20 ± 0.02
สารระเหยง่าย (Volatile matter,%)	2.96 ± 0.65
คาร์บอนคงที่ (Fixed carbon,%)	67.80 ± 1.76
ค่าความร้อน (Calorific value, MJ/kg)	18.39 ± 0.65
ซัลเฟอร์ (% w/w)	0.20 ± 0.01

เห็นได้ชัดเจนว่าถ่านหินมีปริมาณความชื้นสูง ทำให้ในการซื้อขายจึงมีราคาต่ำ จึงควรปรับเกรดถ่านหินโดยลดความชื้นให้ต่ำลงและป้องกันการดูดความชื้นย้อนกลับ เมื่อดูค่าความร้อนพบว่ามีค่าต่ำและเทียบเท่าถ่านหินลิกไนต์ A ทั้งนี้ความร้อนที่เกิดจากการสันดาปต้องใช้ในการระเหยของความชื้น จึงทำให้ค่าความร้อนสุทธิมีค่าต่ำ ส่วนปริมาณซัลเฟอร์จะเห็นได้ว่ามีปริมาณที่ต่ำกว่าถ่านหินจากแหล่งอื่น (ภาคผนวก ง) มีผลให้เกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ต่ำกว่าถ่านหินจากแหล่งอื่น

4.2 สมบัติทั่วไปของสารเคลือบ

จากวัตถุประสงค์ที่ต้องการรักษาความชื้นภายในถ่านหินด้วยสารพอลิเมอร์หลังการอบไล่ความชื้นในถ่านหิน จึงได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทั่วไปของสารเคลือบที่จะนำมาใช้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1สมบัติทั่วไปของพอลิสไตรีน

จากการนำสารพอลิสไตรีนในตัวทำละลายเอทิลอะซิเทต (4% w/v) มาทำการหาค่าความร้อนพบว่า พอลิสไตรีนมีค่าความร้อน 25.14 ± 0.47 MJ/kg

4.2.2 สมบัติทั่วไปของน้ำยาง

จากการนำน้ำยางข้น 60% ชนิด High ammonia (HA) ที่ได้จากบริษัท Lucky flow มาทำการเจือจางให้มีความเข้มข้น 30% แล้วเติมสาร Calcium stearate เพื่อช่วยในการกระจายตัวของน้ำยาง ในอัตราส่วน Calcium stearate : สารละลายน้ำยางเป็น 0.5 กรัม : 100 mL จากการนำไปวัดค่าพารามิเตอร์ พบว่า แม้ทำการเจือจางน้ำยางแล้วแต่ปริมาณแอมโมเนียที่สูงทำให้ค่าพีเอช ยังคงเป็นเบสหรือลดลงเพียงเล็กน้อยจาก 9.93 ± 0.026 เป็น 9.55 ± 0.021 ในส่วนของค่าความร้อนโดยการใช้บอมบ์แคลลอรี่มิเตอร์นั้นก่อนทำการเจือจางมีค่าความร้อน 28.40 ± 0.22 MJ/kg แต่น้ำยางที่ผ่านเจือจางไม่สามารถตรวจวัดได้ ค่าปริมาณซัลเฟอร์ก่อนทำการเจือจางมีค่า 0.08 ± 0.01%

4.3 ผลของสารเคลือบ

4.3.1 การหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบไล่ความชื้น

ก่อนทำการเคลือบถ่านหินจำเป็นต้องทำการอบไล่ความชื้นให้ระเหยออกไปประมาณ 10-20% เพื่อให้ถ่านหินมีความชื้นไม่เกิน 35% เพื่อช่วยลดภาระในการขนส่ง อันเนื่องมาจากน้ำหนักของน้ำที่มากจนเกินไปทำให้การขนส่งปริมาณของถ่านหินในแต่ละเที่ยวได้น้อยลง จึงนำถ่านหินแบบไม่คัดขนาดมาอบไล่ความชื้น โดยแปรค่าอุณหภูมิและเวลาซึ่งผลเป็นไปตามตารางที่ 4.2 จากตารางจะเห็นได้ว่าเมื่ออบถ่านหินที่อุณหภูมิ 60°C สามารถไล่ความชื้นได้ต่ำ (น้อยกว่า 10%) กว่าอุณหภูมิ 105°C ถึงแม้จะเพิ่มเวลาที่ใช้ในการอบนานขึ้นก็ตาม จึงเลือกอุณหภูมิ 105°C เกินจุดเดือดของน้ำเวลา 1 ชั่วโมง มาใช้ในการอบเพื่อประหยัดเวลาที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4. 2 การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบไล่ความชื้น

เวลา (นาที)	%การระเหยของน้ำ	
	60 องศาเซลเซียส	105 องศาเซลเซียส
15	3.30 ± 0.44	1.33 ± 0.08
30	3.40 ± 0.25	2.40 ± 0.08
45	4.88 ± 0.37	8.92 ± 2.95
60	5.62 ± 0.51	19.18 ± 1.57
120	8.72 ± 0.28	-
240	10.45 ± 1.27	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

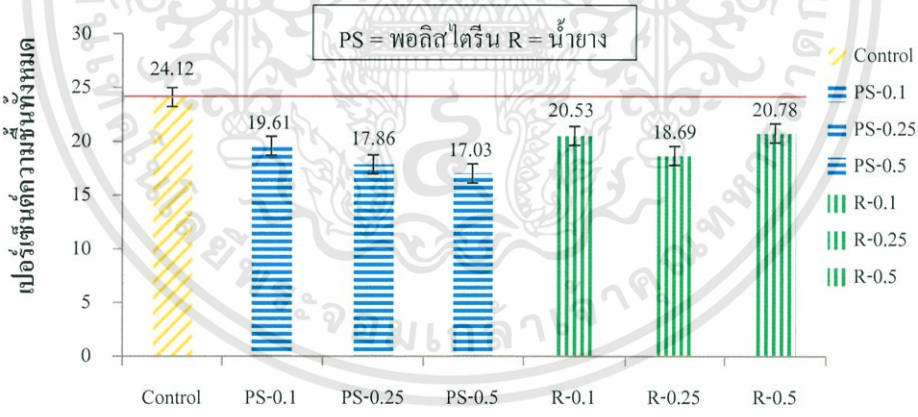
จากการอบไล่ความชื้นมีผลทำให้ค่าความชื้นของถ่านหินลดลงจาก 40.83 ± 1.44% เป็นถ่านหินที่มีความชื้นทั้งหมดเหลืออยู่ประมาณ 21.65 ± 1.24%.

4.3.2 ผลของสารเคลือบต่อระดับความชื้น

จากการนำตัวอย่างถ่านหินที่ได้รับมาทำการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105°C เวลา 1 ชั่วโมง ส่งผลให้ค่าความชื้นในตัวอย่างถ่านหินมีค่าความชื้นทั้งหมดประมาณ 21.65 ± 1.24% แล้วนำมาทำการเคลือบด้วยสารเคลือบ 2 ชนิด ได้แก่ สารละลายพอลิสไตรีนโดยมีตัวทำละลายเป็นเอทิลอะซิเทต 4% (w/v) และสารละลายยาง 30% ในอัตราส่วนถ่านหิน : สารเคลือบ ดังอัตราส่วนต่อไปนี้ คือ 1:0.1, 1:0.25 และ 1:0.5 โดยน้ำหนัก

1) อนุภาคละเอียดมาก (20 mesh หรือ น้อยกว่า 0.85 mm)

จากการทดลองนำถ่านหินที่ผ่านการคัดขนาดโดยร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 mesh (น้อยกว่า 0.85 mm.) มาทำการเคลือบด้วยพอลิสไตรีนในตัวทำละลายเอทิลอะซิลเทตและน้ำยางข้น 30% เมื่อทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน แล้วชั่งน้ำหนักพบว่า ถ่านหินที่ผ่านการเคลือบด้วยสารทั้ง 2 ชนิด พบว่ามีความชื้นลดลง เมื่อเทียบกับชุดควบคุม จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบช่วยป้องกันการดูดความชื้นหรือสารระเหยอื่นๆ เข้าไปให้ถ่านหินได้ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม แต่เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เคลือบด้วยน้ำยางพารามีค่าสูงกว่า เนื่องจากในองค์ประกอบของสารเคลือบมีน้ำอยู่ด้วยจึงเป็นการเพิ่มความชื้นจากสารเคลือบ



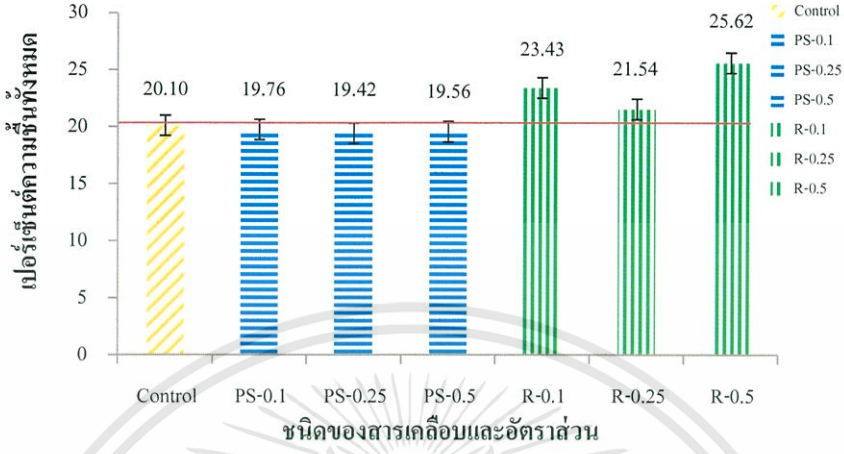
รูปที่ 4. 1 ผลของสารเคลือบต่อระดับความชื้นของถ่านหินอนุภาคละเอียดมาก

2) อนุภาคละเอียด (8 mesh หรือ น้อยกว่า 2.36 mm)

จากการนำถ่านหินอนุภาคละเอียดมาเคลือบ พบว่าความชื้นของถ่านหินมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับถ่านหินอนุภาคละเอียดมาก (0.85 mm) ซึ่งความชื้นที่เพิ่มขึ้นมีผลมาจากขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น ทำให้การเคลือบไม่สม่ำเสมอเหมือนกับอนุภาคขนาดละเอียดมาก จึงมีโอกาสที่ถ่านหินที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

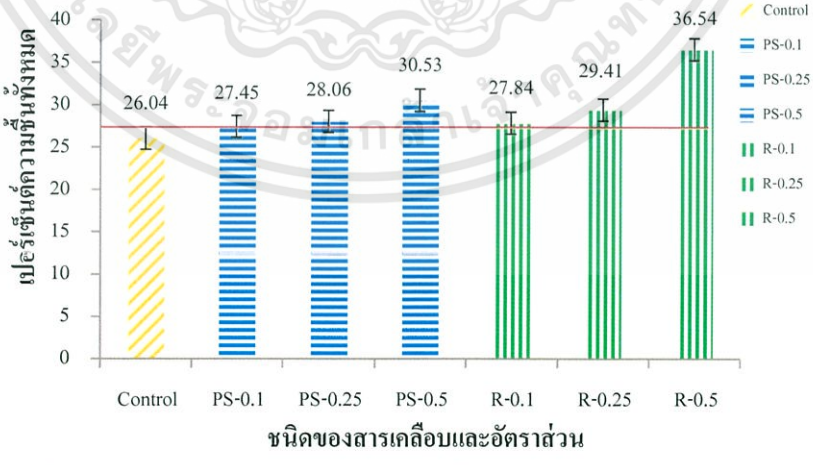
เคลือบด้วย PS มีความชื้นสูงขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย ในขณะที่เคลือบด้วยน้ำยาง มีความชื้นสูงขึ้นมาก เมื่อเทียบกับอนุภาคขนาดละเอียดมาก (รูปที่ 4.2) แต่ทั้งนี้ค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นนั้นยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (ไม่เกิน 35%)



รูปที่ 4.2 ผลของสารเคลือบต่อระดับความชื้นของถ่านหินอนุภาคละเอียด

3) ไม่คัดขนาด

เมื่อนำถ่านหินที่ไม่ผ่านการคัดขนาดมาทำการเคลือบด้วย PS และยางในอัตราส่วนต่างๆ จะเห็นได้ว่าการใช้ PS เป็นสารเคลือบจะมีความชื้นสูงขึ้นเล็กน้อยตามอัตราส่วนของสารเคลือบ ทั้งนี้อาจเป็นสาเหตุมาจากตัวทำละลายยังไม่แห้งสนิท ส่วนชุดที่ใช้สารเคลือบเป็นยางนั้นการใช้ตัวทำละลายที่เป็นน้ำมีส่วนที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงขึ้น และสารที่ใช้รักษาสภาพของน้ำยางที่เป็นแอมโมเนียซึ่งสามารถที่จะจับตัวกับความชื้นในบรรยากาศได้ ความชื้นจึงสูงขึ้นตามอัตราส่วนของน้ำยางที่ใช้



รูปที่ 4. 3 ผลของสารเคลือบต่อระดับความชื้นของถ่านหินไม่คัดขนาด

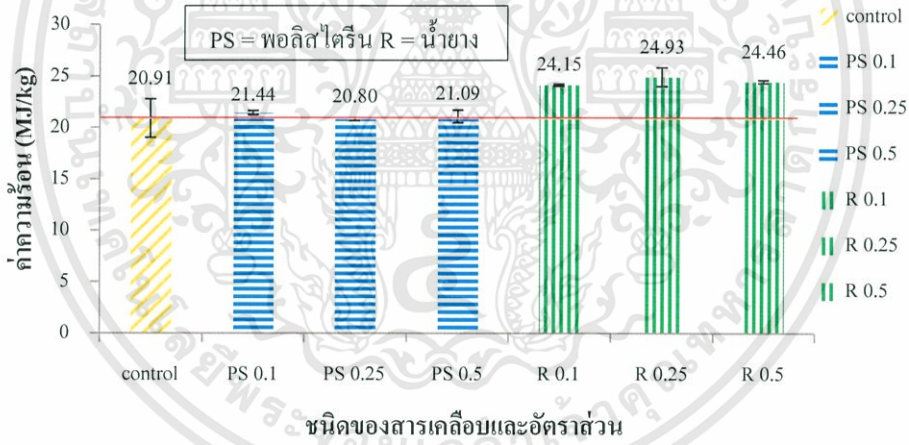
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองทั้ง 3 ขนาดถ่านหินที่ใช้นั้นพบ ว่าการใช้สารเคลือบทั้ง 2 ชนิดกับถ่านหินอนุภาคละเอียดมากมีการรักษาระดับความชื้นที่ดีกว่า เนื่องมาจากอนุภาคขนาดละเอียดมากมีพื้นที่ผิวที่มากกว่า การระเหยความชื้นออกไปย่อมทำได้มากกว่า

4.3.3 ผลของสารเคลือบต่อค่าความร้อน

1) อนุภาคละเอียดมาก (20 mesh หรือ น้อยกว่า 0.85 mm)

จากการนำถ่านหินที่เคลือบแล้วไปวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนผลที่ได้คือ ถ่านหินที่เคลือบแล้วมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น การบดถ่านหินก่อนทำการเคลือบอาจทำให้สูญเสียความชื้นออกไปบางส่วนทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น แต่จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานของถ่านหินที่เคลือบด้วยยางที่อัตราส่วน 1:0.25 กลับมีค่าความร้อนสูง (24.93 ± 0.91 MJ/kg) กว่าที่อัตราส่วน 1:0.5 อาจเป็นผลเนื่องมาจากการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ ในอัตราส่วน 1:0.25 เป็นส่วนที่มีเนื้อยางมากกว่าถ่านหินเนื่องจากน้ำยาง 60% มีความร้อนสูงถึง 28.40 ± 0.22 MJ/kg ในขณะที่ถ่านหินก่อนเคลือบมีค่าความร้อน 18.39 ± 0.65 MJ/kg และในชุดนี้จึงมีการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงของค่าความร้อนมีความแปรปรวนสูง ทำให้ค่าความร้อนสูงกว่าอัตราส่วน 1:0.5



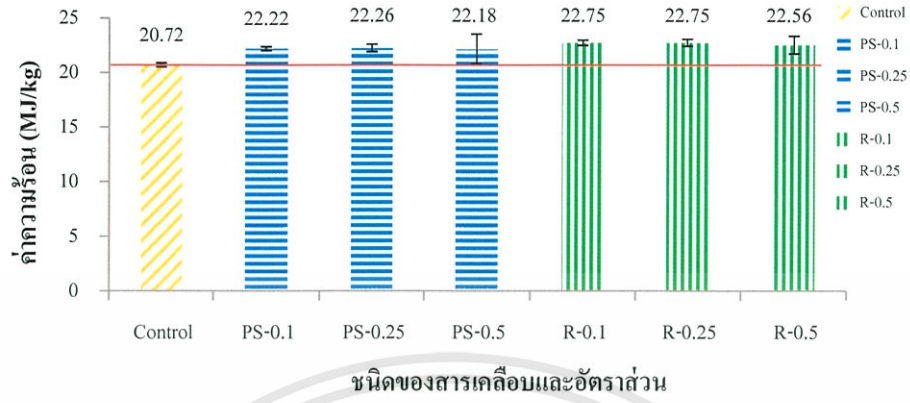
รูปที่ 4. 4 ผลของสารเคลือบต่อค่าความร้อนของถ่านหินอนุภาคละเอียดมาก

2) อนุภาคละเอียด (8 mesh หรือ น้อยกว่า 2.36 mm)

จากการนำถ่านหินไปวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน จะเห็นได้ว่า ถ่านหินที่เคลือบแล้วจะมีแนวโน้มของค่าความร้อนที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับชุดควบคุม แม้ในถ่านหินที่เคลือบด้วย PS หรือยาง ที่อัตราส่วน 1:0.5 จะมีค่าเฉลี่ยของค่าความร้อนต่ำกว่าอัตราส่วนอื่นๆ (22.18 ±1.36 MJ/kg และ 22.56 ± 0.80 MJ/kg) แต่เมื่อพิจารณาจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้ว ปรากฏว่ามีความ

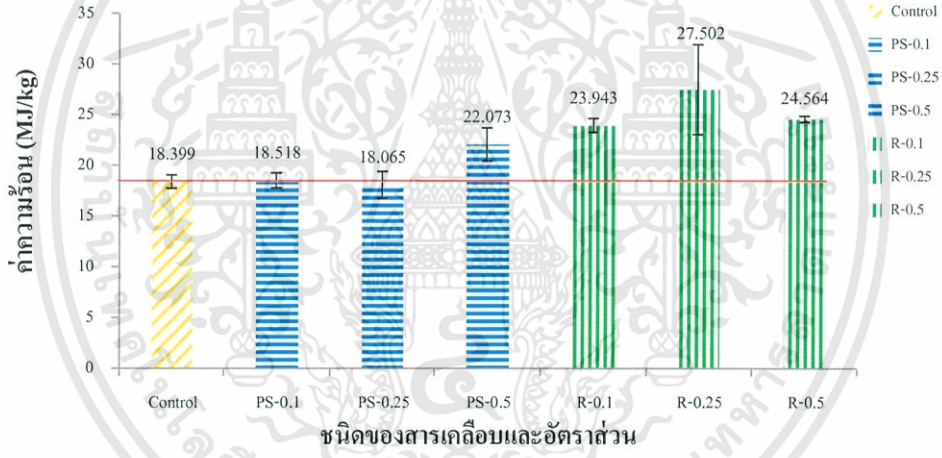
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรปรวนสูง จึงสรุปเป็นแนวโน้มได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนของสารเคลือบนั้นมีผลทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 4. 5 ผลของสารเคลือบต่อค่าความร้อนของถ่านหินอนุภาคละเอียด

3) ไม่คัดขนาด

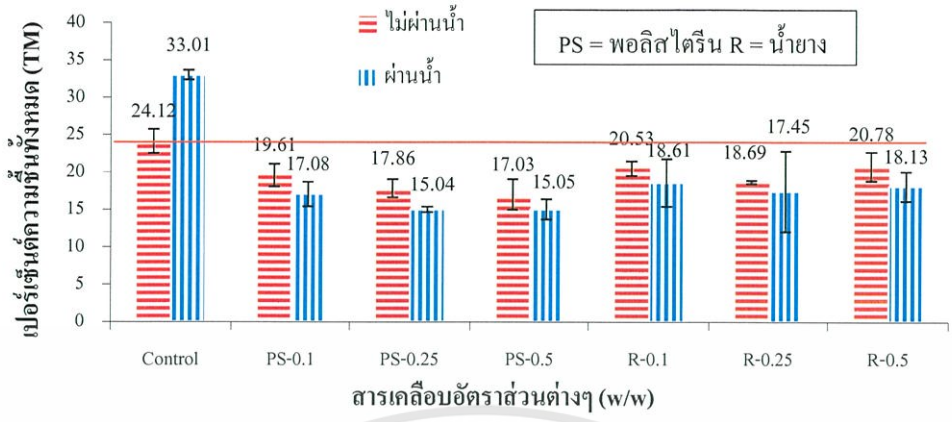


รูปที่ 4. 6 ผลของสารเคลือบต่อค่าความร้อนของถ่านหินไม่คัดขนาด

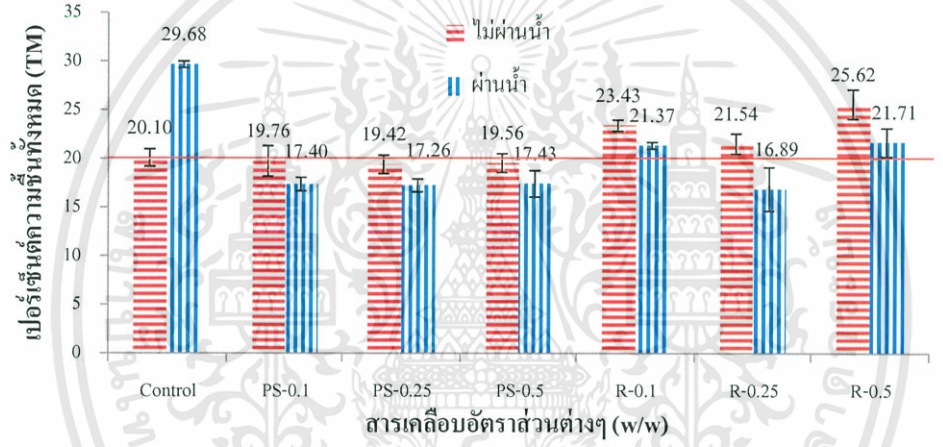
การไม่คัดขนาดถ่านหิน มีผลทำให้ไม่สามารถเคลือบได้อย่างทั่วถึง เมื่อนำไปวัดค่าความร้อน จึงไม่เป็นไปตามแนวโน้ม เนื่องจากในการสุ่มตัวอย่าง อาจจะสุ่มได้ถ่านหินที่เกิดการเคลือบอย่างไม่ทั่วถึง จึงส่งผลให้ค่าความร้อนต่ำกว่าที่ควรจะเป็น อย่างไรก็ตาม แม้จะมีสารเคลือบๆอยู่เพียงบางส่วน แต่ก็ส่งผลให้ค่าความร้อนของถ่านหินสูงขึ้น ในชุดควบคุมนั้นเมื่อเทียบกับขนาดอื่นๆจะพบว่ามีค่าความร้อนต่ำกว่า เป็นเพราะตัวอย่างไม่ผ่านการบด ความชื้นจึงยังสูง (26.04 $\pm$ 1.69%) ความร้อนจากการเผาไหม้ในเครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์บางส่วนจึงต้องนำไปใช้ในการไล่ความชื้นออกจากถ่านหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

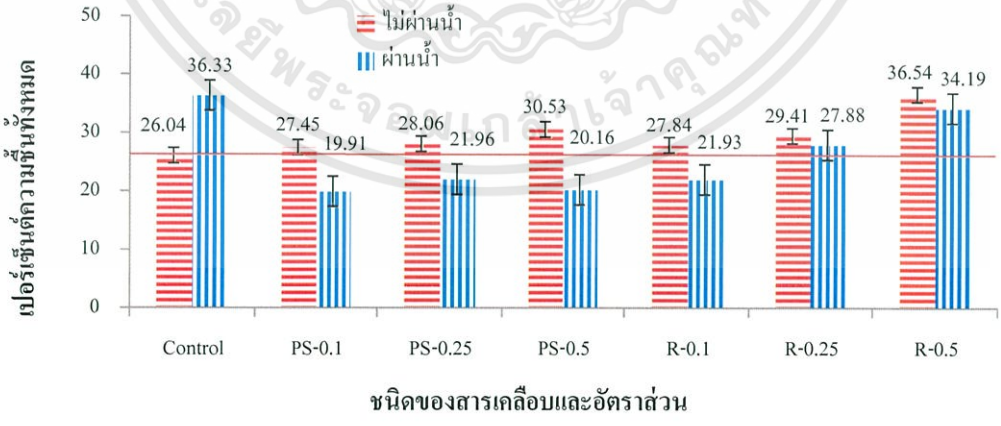
4.3.4 การดูดความชื้นกลับ



ก.อนุภาคละเอียดมาก (น้อยกว่า 0.85 mm)



ข.อนุภาคละเอียด (น้อยกว่า 2.36 mm)



ค.ไม่คัดขนาด

รูปที่ 4. 7 การดูดความชื้นกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

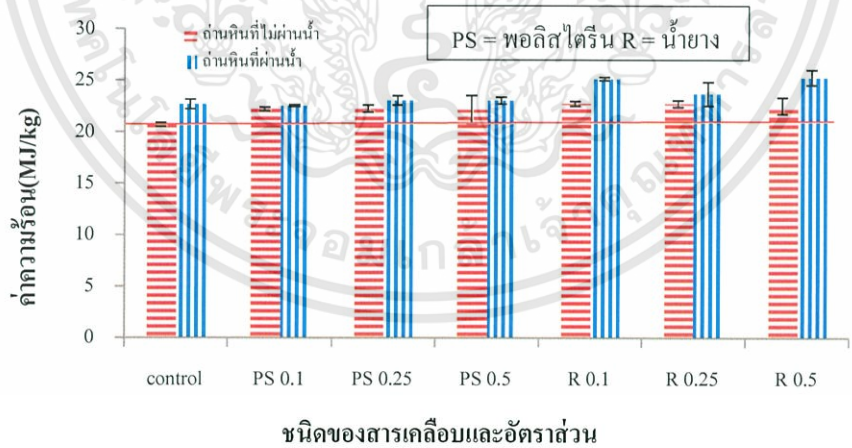
จากรูปที่ 4.7 (ก.-ค.) หลังจากทำการเคลือบถ่านหินแล้ว ทำการทดลองการดูดความชื้นกลับ ผลที่ได้สำหรับถ่านหินอนุภาคละเอียดมาก (น้อยกว่า 0.85 mm) ที่เคลือบด้วย PS และยาง ทั้ง 3 อัตราส่วน ถ่านหินยังคงสามารถรักษาระดับไม่ให้มีการดูดความชื้นกลับเข้าไปอีก และยังมีค่าความชื้นทั้งหมดต่ำกว่าก่อนทำการจำลองสภาวะที่มีน้ำท่วมขังหรือความชื้นสูง เนื่องจากอาจมีองค์ประกอบของถ่านหินที่เคลือบด้วย PS หรือยาง บางส่วนถูกชะออกมาได้บ้าง ทำให้ถ่านหินที่เคลือบมีความสามารถในการยึดจับความชื้นหรือสารระเหยได้ลดลงจึงมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำกว่าก่อนจำลองสภาวะที่มีน้ำท่วมขังหรือความชื้นสูง

เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคอื่นๆ จะพบว่าอนุภาคขนาดละเอียด (น้อยกว่า 2.36 mm.) และไม่คัดขนาด มีความชื้นสูงกว่าอนุภาคขนาดละเอียดมาก เป็นผลจากการที่อนุภาคละเอียดมากนั้นมีพื้นที่ผิวสูง มีความสามารถในการดูดหรือคายความชื้นหรือสารระเหยได้สูงกว่าอนุภาคขนาดอื่นๆที่มีพื้นที่ผิวต่ำ

4.3.5 ค่าความร้อนหลังการทดสอบการดูดความชื้นกลับ

หลังการจำลองสภาวะที่มีน้ำท่วมขังหรือมีความชื้นสูง เพื่อดูการดูดความชื้นกลับของถ่านหินที่ผ่านการเคลือบแล้ว ได้ทำการวัดค่าความร้อนของถ่านหินซ้ำ เพื่อดูผลกระทบต่อค่าพลังงานว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด ผลที่ได้ดังรูปที่4.8– 4.10

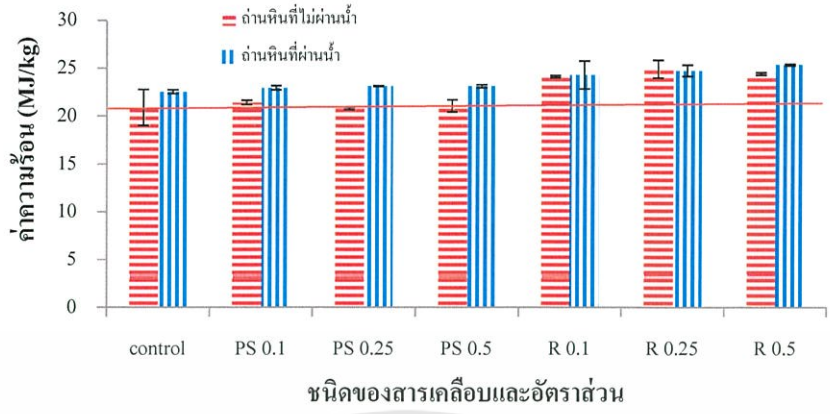
1) อนุภาคละเอียดมาก (น้อยกว่า 0.85 mm)



รูปที่ 4.8 ค่าความร้อนหลังทดสอบการดูดความชื้นกลับ (น้อยกว่า 0.85 mm)

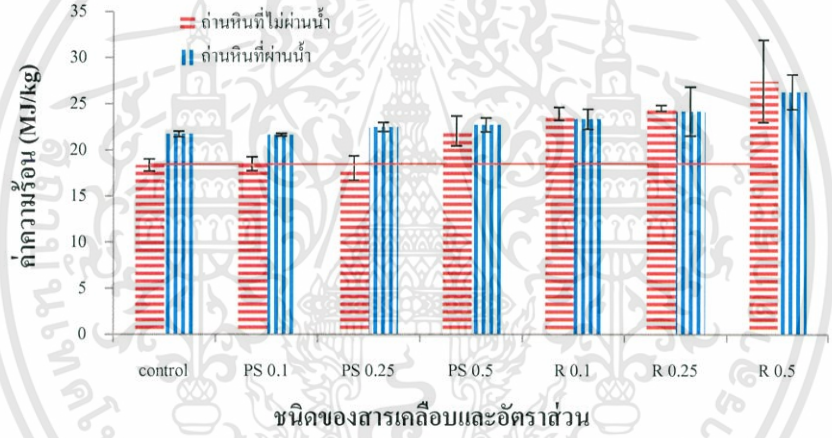
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) อนุภาคละเอียด (น้อยกว่า 2.36 mm)



รูปที่ 4.9 ค่าความร้อนหลังทดสอบการดูดความชื้นกลับ (น้อยกว่า 2.36 mm)

3) ถ่านหินไม่คัดขนาด



รูปที่ 4.10 ค่าความร้อนหลังทดสอบการดูดความชื้นกลับไม่คัดขนาด

จากกราฟทั้ง 3 นั้นแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของค่าพลังงานของถ่านหินในทุกชุด โดยเฉพาะชุดที่เป็นควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน อาจมีความเป็นไปได้ว่าน้ำได้ชะละลายสารบางชนิดที่สามารถละลายน้ำได้ออกมา ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้ค่าความร้อนของถ่านหินต่ำลง จึงได้ทำการวัดพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำก่อนและหลังผ่านถ่านหิน ดังตารางที่ 4.3ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าน้ำมีการชะละลายสารบางอย่างออกมา เช่น ไพริติกซัลเฟอร์ (pyritic sulfur) ในชุดควบคุมที่ไม่มีการเคลือบสารใดๆจะมีสารถูกชะออกมามากกว่าชุดที่มีสารเคลือบอยู่ สังเกตได้จากค่าพีเอชของน้ำหลังผ่านถ่านหินมีค่าลดลง และการนำไฟฟ้าและค่าของแข็งที่ละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก (ตารางที่ 4.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. 3 พารามิเตอร์ของน้ำก่อนและหลังผ่านถ่านหิน

ตัวอย่าง	พารามิเตอร์ของน้ำก่อนผ่านถ่านหิน			พารามิเตอร์ของน้ำหลังผ่านถ่านหิน		
	พีเอช	ค่าการนำไฟฟ้า (µs/cm)	ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (mg/L)	พีเอช	ค่าการนำไฟฟ้า (µs/cm)	ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (mg/L)
8 mesh						
ชุดควบคุม	6.33 ± 0.10	2.67 ± 1.15	2.00 ± 1.00	4.33 ± 0.08	224.33 ±8.62	121.00 ± 14.18
PS 0.1	6.22 ± 0.27	3.33 ± 0.58	2.33 ± 1.15	4.84 ± 0.19	94.00 ± 2.00	59.33 ± 6.43
PS 0.25	6.02 ± 0.09	2.67 ± 1.53	1.33 ± 0.58	4.65 ± 0.37	86.33 ± 5.51	58.33 ± 3.21
PS 0.5	6.01 ± 0.14	3.67 ± 1.53	2.67 ± 0.58	4.76 ± 0.12	78.67 ± 4.51	56.33 ± 9.29
R 0.1	5.94 ± 0.08	2.67 ± 1.15	2.67 ± 1.15	4.82 ± 0.28	91.67 ± 2.52	65.33 ± 8.62
R 0.25	6.21 ± 0.26	2.33 ± 1.15	3.33 ± 1.53	4.99 ± 0.15	79.67 ± 4.16	57.67 ± 9.07
R 0.5	6.21 ± 0.11	3.67 ± 1.53	1.33 ± 0.58	5.03 ± 0.21	76.67 ± 5.69	59.33 ±4.51
20 mesh						
ชุดควบคุม	6.38 ± 0.14	3.33 ± 0.58	2.00 ± 1.00	4.55 ± 0.26	227.00 ± 25.06	142.00 ± 27.18
PS 0.1	6.26 ± 0.25	1.33 ± 0.58	2.33 ± 0.58	4.23 ± 0.12	90.33 ± 3.06	59.33 ± 6.43
PS 0.25	6.19 ± 0.08	2.33 ± 0.58	2.33 ± 0.58	4.56 ± 0.48	85.67 ± 4.73	58.33 ± 3.21
PS 0.5	6.18 ± 0.18	2.67 ± 1.53	3.00 ± 1.00	4.66 ± 0.39	82.00 ± 8.19	56.33 ± 9.29
R 0.1	6.05 ± 0.24	1.67 ± 0.58	2.67 ± 1.15	5.27 ± 0.26	81.67 ± 2.52	65.33 ± 8.62
R 0.25	6.06 ± 0.39	2.67 ± 0.58	2.67 ± 1.53	5.20 ± 0.30	89.67 ± 4.16	57.67 ± 9.07
R 0.5	6.24 ± 0.13	3.33 ± 0.58	2.67 ± 1.15	5.35 ± 0.10	90.67 ± 3.21	59.33 ± 4.51
ไม่คัดขนาด						
ชุดควบคุม	5.95 ± 0.06	1.33 ± 2.31	0.67 ± 1.15	4.39 ± 0.06	205 ± 59	104 ± 26.96
PS 0.1	6.21 ± 0.12	2.33 ± 1.15	2.33 ± 1.15	4.27 ± 0.26	90.33 ± 3.06	59.33 ± 6.43
PS 0.25	5.87 ± 0.06	3.33 ± 3.51	2.99 ± 2.59	4.47 ± 0.03	85.00± 21.00	55.00± 19.52
PS 0.5	6.31 ± 0.18	2.67 ± 1.15	2.33 ± 1.53	4.24 ± 0.12	82.00 ± 8.19	56.33 ± 9.29
R 0.1	5.96 ± 0.09	2.67 ± 1.53	3.00 ± 1.00	5.18 ± 0.03	81.67 ± 2.52	65.33 ± 8.62
R 0.25	5.87 ± 0.37	3.00 ± 1.00	2.33 ± 0.58	5.12 ± 0.05	89.67 ±4.16	57.67 ± 9.07
R 0.5	6.45 ± 0.25	2.33 ± 0.58	2.67 ± 1.53	5.21 ± 0.04	90.67 ± 3.21	59.33 ± 4.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองได้ทำการทดสอบการอบไล่ความชื้นออกจากถ่านหิน เพื่อให้ถ่านหินมีระดับความชื้นที่เหมาะสม ผลที่ได้คือการใช้อุณหภูมิที่ 105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะทำให้ความชื้นของถ่านหินลดลงไป 19.18 ± 1.57 % เหลือประมาณ 21.94 ± 2.63% ผลการทดลองการเคลือบด้วยสารเคลือบทั้ง 2 ชนิด ในทุกขนาดของถ่านหิน มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือสารเคลือบทั้ง 2 ชนิด สามารถรักษาระดับความชื้นได้ เพราะเปอร์เซ็นต์ค่าความชื้นทั้งหมด ในทุกอัตราส่วนนั้นมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม ทั้งอนุภาคละเอียดมาก (น้อยกว่า 0.85 mm. หรือ 20 mesh), อนุภาคละเอียด (น้อยกว่า 2.36 mm. หรือ 8 mesh) และไม่คัดขนาด โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นทั้งหมดนั้นมีค่าประมาณ 20-25% ขนาดของอนุภาคเองก็มีส่วนในการดูดหรือคายความชื้นเช่นกัน อนุภาคละเอียดมาก อนุภาคมีขนาดเล็กที่สุด มีพื้นที่ผิวมาก เมื่อเทียบกับอนุภาคละเอียด หรือไม่คัดขนาด การเกิดการดูดหรือคายความชื้น จะเกิดได้ดีกว่า เพราะสามารถสัมผัสกับอุณหภูมิหรือความชื้นในบรรยากาศได้ทั่วถึงกว่า ทำให้ความชื้นของถ่านหินอนุภาคขนาดละเอียดมากที่เคลือบแล้วมีความชื้นที่ต่ำกว่าถ่านหินที่มีอนุภาคขนาดละเอียดและไม่คัดขนาด สรุปได้ว่าสารเคลือบทั้ง 2 ชนิด สามารถรักษาความชื้นภายในถ่านหินไม่ให้ดูดความชื้นจากภายนอกกลับเข้าไปได้

เมื่อพิจารณาค่าความร้อนของถ่านหินพบว่าหลังทำการเคลือบด้วย PS และน้ำยางนั้นมีผลช่วยเพิ่มค่าความร้อนแก่ถ่านหินอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากตัวของสารเคลือบเองก็มีค่าความร้อนในตัวเองอยู่แล้วโดย PS มีค่าความร้อน 25.14±0.47 MJ/kg และยางมีค่าความร้อน 28.40±0.22MJ/kg ซึ่งค่าความร้อนของถ่านหินจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารเคลือบที่ใส่เข้าไป นอกจากนี้การที่จำลองสภาวะที่มีน้ำท่วมขังหรือมีความชื้นสูง หลังจากวัดค่าความร้อนแล้วพบว่า ถ่านหินทุกขนาดมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น จึงทำการวัดพารามิเตอร์ของน้ำก่อนและหลังนำมาใช้ในการทดลอง พบว่าค่าการนำไฟฟ้าและ TDS มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ pH มีค่าลดลง จึงอธิบายได้ว่ามีสารบางชนิดที่เป็นสาเหตุให้ค่าความร้อนของถ่านหินต่ำ เมื่อสารเหล่านี้ถูกชะออกมา ทำให้เหลือแต่ปริมาณคาร์บอนคงที่ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้น

สารเคลือบที่สามารถรักษาระดับความชื้นได้ดีที่สุด คือ พอลิสไตรีนในอัตราส่วน 1:0.1 โดยน้ำหนัก เนื่องจากสามารถรักษาระดับความชื้นได้ใกล้เคียงกับค่าความชื้นที่นำไปอบเพื่อไล่ความชื้นก่อนเคลือบและต่ำกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้ทำการเคลือบ ซึ่งแสดงว่าสามารถรักษาความชื้นไม่ให้เข้าไปได้ และยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายสารเคมีได้เป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ทำละลายเอทิลอะซิเทตที่ใช้ในการละลาย PS มีกลิ่นที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง ในการทำการทดลองจึงควรทำด้วยความรวดเร็ว มีอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสม และทำการทดลองภายในตู้ดูดควัน (Hood)

2. ควรวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ เพิ่มเติม เช่น การลุกติดไฟได้เอง เป็นต้น

3. ในการทำการทดลองเรื่องการรักษาระดับความชื้นในถ่านหินครั้งนี้ มักจะเกิดปัญหาจากฝุ่นละอองของถ่านหินจึงควรที่จะมีการป้องกันฝุ่นละอองเข้าทางจมูกโดยการใส่หน้ากากป้องกันฝุ่นละออง เพื่อลดการสูดดมและไม่ให้มีการสะสมในร่างกาย

4. ในระหว่างขั้นตอนการอบไล่ความชื้นควรมีการตรวจสอบค่าความชื้นด้วยว่าเป็นไปตามค่าความชื้นที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งตรงตามเวลาและอุณหภูมิที่ได้ทดสอบในเรื่องของเวลาและอุณหภูมิในการอบไล่ความชื้นเพื่อให้ได้ค่าความชื้นที่เหมาะสม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2550. **คุณลักษณะของแร่ ตามมาตรฐานการใช้งานและมาตรฐานการซื้อขายแร่ในตลาดแร่.** กรุงเทพฯ : ศูนย์สารสนเทศอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. เอกสารอัดสำเนา.

กานต์ ศุภนิรันดร์ และเมตตา เจริญพานิช. 2555. **ผลของความชื้นที่มีผลต่อการเกิดลุกไหม้ได้เองของถ่านหินซับบิทูมินัส.** วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 81 ปีที่ 25 กรกฎาคม - กันยายน 2555. หน้า 43 – 57.

คณาจารย์ ภาควิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิยาลัยศิลปากร. 2556. **ภาชนะโฟมบรรจุอาหาร.** [Online]. Available: http://www.pharm.su.ac.th/cheminlife/cms/index.php/product-name/product-name-english/620- polystyrene.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ก.ค. 2556.

จิตติลัดดา ศักดาภิพาณิชย์. 2556. **Natural Rubber Technology.** กรุงเทพฯ : เทคโนบิช คอมมิวนิเคชั่นส์

ชญาภา นิ่มสุวรรณ. 2554. **เทคโนโลยียางผสม: เทคนิค ปัญหา และวิธีแก้ไข.** วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง. 5(3) . หน้า 3-12.

ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์, กิจจา กิรสมุทรานนท์ และรัตนะ เลหวนิช. 2551. **การศึกษาเชิงทดลองสำหรับการลดความชื้นในถ่านอัดจากฝุ่นผงถ่านหิน.** [Online]. Available: http://kucon.lib.ku.ac.th/Fulltext/KC4411031.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ก.ค. 2556.

เบ็ญจวรรณ รัตนเสถียร. 2556. **การจำแนกชนิดถ่านหิน.** เชียงใหม่ : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ประพนธ์ เลี่ยวสมบรูณ์. 2545. **การนำพอลิสไตรีน และ ยางธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่ในงานประเภททนต่อแรงกระแทก.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พรรัตน์ เพชรภักดี และกฤษฎา จันทรเสนา. 2551. **เทคโนโลยีการรีไซเคิลโฟม.** [Online]. Available: http://eco-town.dpim.go.th/webdatas/articles/ArticleFile1350.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ก.ค. 2556.

วิศว พารอด, วุฒิชัย ชวลิตอัมพร และศิรินภา คำคุ้ม. 2551. **การดัดแปลงทางเคมีของพอลีสไตรีนโฟมและขวดนมเปรี้ยวเพื่อบำบัดสารมลพิษในน้ำ.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. 2554. พอลิเมอร์. [Online]. Available: http://www.sc.sci.rmutp.ac.th /sctank/appchem/wcs- polymer.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ก.ค. 2556.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2555. **เทคโนโลยีน้ำยาง.** กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2525. **การถนอมน้ำยาง.** ยางพารา. 3(1) . หน้า 34-39.

วิภาวี พัฒนกุล. 2554. **ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์.** เชียงใหม่ : กลุ่มอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง. เอกสารอัดสำเนา.

ศรัญญา พรหมโคตร์. 2554. **การวิเคราะห์ทางธรณีเคมี Geochemical Analysis.** ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น, โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา ขอนแก่น. หน้า 187 -202.

ศรัณย์ บุญประเสริฐ. 2556. **ท่องแม่เมาะ เลาะลำปาง.** กรุงเทพฯ : วงศ์สว่างการพิมพ์.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2555. **ข้อมูลวิชาการยางพารา.** กรุงเทพฯ : ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

สุทัศน์ ภูมวิจิตรชัย. 2547. **ยางพารา.** กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตร.

สุนี ลาวัณยากุล และศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข. 2556. **ถ่านหินและการทดสอบคุณภาพ.** กรุงเทพฯ : กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ. เอกสารอัดสำเนา.

เอกชัย พฤกษ์อำไพ. 2547. **คู่มือยางพารา.** กรุงเทพฯ : เพ็ท-แพล้น.

เอเชียโพลีพลาสติกอินดัสทรี. 2556. **EPS Foam.** [Online]. Available: www.asiapolyplastic.co.th. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ก.ค. 2556.

อิทธิพล แจ้งชัด. 2556. **ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์.** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 1-5

American Society for Testing and Materials. 2000. **ASTM D2013 / D2013M – 12: Standard Practice for Preparing Coal Samples for Analysis.** Annual Book of ASTM Standards.Vol.05.06.

American Society for Testing and Materials. 2000. **ASTM E775 - 87(2008) e1: Standard Test Methods for Total Sulfur in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel.** Annual Book of ASTM Standards.Vol.11.04.

American Society for Testing and Materials. 2000. **ASTM D3175 – 11: Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke.** Annual Book of ASTM Standards.Vol.05.06.

Fujitsuka, H., Ashida, R., and Miura, K. 2013. Upgrading and dewatering of low rank coals

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

through solvent treatment at around 350°C and low temperature oxygen reactivity of the treated coals. **Fuel** ,Vol.114 p. 16–20.

Hokyung Choi, Chinnasamy Thiruppathiraja, Sangdo Kim, Youngjoon Rhim, Jeonghwan Lim, Sihyun Lee. 2011. Moisture readsorption and low temperature oxidation characteristics of upgraded low rank coal. **Fuel Processing Technology**, vol.92 p.2005–2010.

Jing Huang, Jun Xu, Dong Wang, Li Li, and Xuhong Guo. 2013. Effects of Amphiphilic Copolymer Dispersants on Rheology and Stability of Coal Water Slurry. **Industrial & Engineering Chemistry Research** (52): p. 8427-8435.

LI Xianchun, SONG Hui, WANG Qi, MEESRI Chatphol, WALL Terry and YU Jianglong. 2009. Experimental study on drying and moisture re-adsorption kinetics of an Indonesian low rank coal. **Journal of Environmental Sciences Supplement.** p. S127–S130.

Martina Švábová, Zuzana Weishauptová, Oldr ich Pr ibyl. **The effect of moisture on the sorption Process of CO_2 on coal.**

Nkolele A. 2004. Investigations into the reduction of moisture in fine coal by plant tests with Surfactants. **Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy.** p.171-176.

Singh, B.P. et al. 1998. **Use of surfactants to aid the dewatering of fine clean coal.** Fuel, vol. 77, no.12, p.1349-1356.

Zhijun Zhou, Xiang Li, Jiaming Liang, Jianzhong Liu, Junhu Zhou, and Kefa Cen. 2011. Surface Coating Improves Coal Water Slurry Formation of Shangwan Coal. **American Chemical Society.** 25(8) : p. 3590–3597.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก-1 การหาความชื้นอิสระ (ASTM D3302)

วิธีการทดลอง

1. นำถ่านหินที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างไปบด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 8 mesh ให้ถ่านหินผ่านออกมาได้น้ำหนักมากกว่าหรือเท่ากับ 95 %

2. ชั่งถ่านหินที่ผ่านการบดแล้วจำนวน 300 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 38°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ทำซ้ำอีก 2 ตัวอย่าง

3. นำไปชั่งน้ำหนักหลังอบทันที คำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปจากสมการ (1)

การคำนวณ

$$\%M = \frac{(W\text{-}D)*100}{W} \qquad (1)$$

เมื่อ M = เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)

W = น้ำหนักของถ่านหินก่อนอบ (g)

D = น้ำหนักของถ่านหินหลังอบ (g)

ก-2 ความชื้นแฝงและองค์ประกอบโดยรวม (ASTM D3173-11)

วิธีการทดลอง

1. นำถ่านหินที่ผ่านการหาความชื้นอิสระมาบดร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 mesh ให้ถ่านหินผ่านออกมาได้น้ำหนักมากกว่าหรือเท่ากับ 95%

2. แบ่งชั่งมา 1 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ภาชนะ บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 104–110°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4. นำออกมาทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปตามสมการที่ (3.1) จะได้ความชื้นแฝงของถ่านหิน

5. หาปริมาณเถ้า (ASTM D3174-12) โดยใช้ถ่านหินที่ผ่านการหาความชื้นอิสระมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh นำไปเผาที่ 750°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักที่เหลือ จะได้เปอร์เซ็นต์เถ้าของตัวอย่าง

6. หาปริมาณสารระเหยง่าย (ASTM D3175-11) และค่าคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon) โดยใช้ถ่านหินที่ผ่านการหาความชื้นอิสระมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh นำไปหาปริมาณสารระเหยง่ายด้วยเครื่องTGA นำค่าที่ได้จาก TGA ไปคำนวณตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

คาร์บอนคงที่ (Fixed carbon) = 100 – (%ความชื้น + %เถ้า + %สารระเหยง่าย)

ก-3 การหาปริมาณซัลเฟอร์ (ASTM E775–87)

วิธีการทดลอง

1. นำถังปฏิกิริยาออกจากเครื่องแคลอรี่มิเตอร์ไล่ก๊าซออกจากออกจากถังปฏิกิริยาทาง oxygen value

2. เปิดถังปฏิกิริยาออกตรวจสอบว่ายังมีสิ่งที่ยังเผาไม่หมดหรือเขม่า ถ้ามีให้นำออก แล้วล้างทุกส่วนของถังปฏิกิริยาด้วยน้ำปราศจากไอออน ทดสอบน้ำที่ล้างได้ด้วยเมทิลออเรนจ์ จนไม่ปรากฏปฏิกิริยาของกรด

3. เก็บสารละลายที่ล้างให้ได้ปริมาตร 100 mL กรองด้วยกระดาษกรองละเอียดเบอร์ 42 เพื่อกรองสิ่งเจือปนและความขุ่นออก

4. เติมสารละลายปรับสภาพ (บัฟเฟอร์ บี) 20 mL นำไปตั้งบนเครื่องกวนสารกวนด้วยความเร็วรอบคงที่

5. เติมแบเรียมคลอไรด์ชนิดผง แล้วคนสารละลายต่อ 60±2 วินาที

6. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 420 nm โดยใช้ควอซ์ตคิวเวต ปริมาตร 5 mL.

7. เตรียมกราฟมาตรฐานซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 12 และ 14 มิลลิกรัม/ลิตร

8. Correction of sample color and turbidity โดยการทำแบลงค์เหมือนตัวอย่างแต่ไม่เติม $BaCl_2$

9. หาความเข้มข้นของสารเทียบกับกราฟมาตรฐานซัลเฟต

ก-4 การหาค่าความชื้นทั้งหมดแบบ TGM

วิธีการทดลอง

1. บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบ หรือเคลือบแล้วผ่านการจำลองสถาวะที่มีน้ำท่วมขัง

2. นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 38°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง เพื่อหาความชื้นอิสระ นำออกมาชั่งน้ำหนัก

3. นำตัวอย่าง 1 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อหาความชื้นแฝง

4. นำออกมาทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักที่เหลือ คำนวณหาความชื้นทั้งหมดโดยใช้สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

%ความชื้น = (น้ำหนักก่อนอบ – น้ำหนักหลังอบ) / น้ำหนักก่อนอบ * 100

%ความชื้นทั้งหมด = %ความชื้นอิสระ + %ความชื้นแฝง

ก-5 การหาค่าความร้อน

อุปกรณ์

เครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่างถ่านหิน

- กรณีที่ตัวอย่างเป็นของแข็ง ทำการบดตัวอย่างถ่านหินที่ใช้วัดให้ละเอียดก่อน ชั่งน้ำหนักไม่เกิน 0.5 กรัม จากนั้นจึงทำการอัดให้เป็นเม็ด โดยใช้เครื่องอัดเม็ดด้วยมือ โดยทำการวางเส้นด้ายเข้าไปในตัวอย่างที่จะทำการอัดเป็นเม็ด สำหรับให้เครื่องจุดไฟวางตัวอย่างที่อัดเม็ดแล้วพร้อมเส้นด้ายวางลงไปใน Crucible

- กรณีที่ตัวอย่างเป็นสารละลาย ชั่งสารละลายตัวอย่างที่จะทำการวัดใส่ Crucible โดยน้ำหนักตัวอย่างไม่เกิน 0.5 กรัม ทำการวางเส้นด้ายเข้าไปใน Crucible ให้สัมผัสกับตัวอย่าง

2. การตั้งเครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์

- เปิดเครื่องทำความเย็นก่อนการเปิดเครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ โดยให้เครื่องทำความเย็นทำงานก่อนจนอุณหภูมิขึ้นถึง 20°C จากนั้นจึงเปิดเครื่องบอม์บแคลอรี่มิเตอร์

- เปิดเครื่องบอม์บแคลอรี่มิเตอร์ขึ้นมา เมื่ออุณหภูมิเครื่องทำความเย็นขึ้นถึงแล้ว จากนั้นตัวเครื่องจะทำการเช็คเครื่องก่อนจนขึ้นคำว่า OK For Test จึงสามารถใช้เครื่องได้

- เปิดแก๊ส ออกซิเจน ที่ถังโดยหมุนวาล์วไปที่ทางเปิดที่ตัวถัง

- เปิดเครื่องปริ้นท์ขนาดเล็ก เพื่อทำการปริ้นผลข้อมูลที่เครื่องวัดออกมาได้

3. การวัดตัวอย่าง

- เตรียมถังปฏิกิริยาและตัวอย่าง เพื่อวัดค่าพลังงานที่ต้องการ

- นำตัวอย่างที่เตรียมพร้อมเส้นด้ายใส่ใน Crucible จากนั้นวาง Crucible ไว้ที่ส่วนของ Crucible Holder ที่ติดอยู่กับ Cover (ส่วนบนของถังปฏิกิริยา) ทำการผูกเส้นด้ายกับ Ignition wire

- นำส่วนของ Cover วางลงบนถังปฏิกิริยา จากนั้นทำการปิด Cap screw ควรปิดให้แน่นมีระยะ 1 mm

- จากนั้นตั้งค่าที่เครื่องบอม์บ โดยเลือก Sample ที่ Display จะปรากฏหน้าจอ Experiment เพื่อตั้งค่าต่างๆ โดยค่าต่างๆหมายความดังนี้

- Weighed-in น้ำหนักของ Sample

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sample proper ชื่อ Sample

- User ชื่อผู้ใช้

- จากนั้นใส่ถังปฏิกิริยาเข้ากับเครื่องบอม์บแคลอรี่มิเตอร์

- กดปุ่ม OK บนหน้าจอ Display แล้วกด Start เป็นการเริ่มการ Calibration โดยจะใช้เวลาแต่ละตัวอย่างประมาณ 20-25 นาที หน้าจอจะแสดงเป็นกราฟเชิงเส้นของอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปทุกๆ นาที

- เมื่อเครื่องทำการวัดเสร็จแล้ว ผลก็จะออกมาจากเครื่องปริ้นท์ เป็นอันเสร็จขั้นตอนในการวัดค่าพลังงานความร้อนด้วยเครื่องบอม์บแคลอรี่มิเตอร์

- เมื่อเสร็จขั้นตอนการวัดแล้วนำถังปฏิกิริยาออกจากเครื่องบอร์มแคลอรี่มิเตอร์ จากนั้นนำถังปฏิกิริยาไปไล่แก๊สออก โดยใช้เหล็กแหลมกดลงไปที่ Oxygen valve เพื่อไล่แก๊สออก จากนั้นทำการล้าง Crucible และถังปฏิกิริยาให้สะอาด เก็บอุปกรณ์

- ทำการไล่แก๊สที่ตัวเครื่อง ปิดแก๊สออกซิเจนที่ตัวถัง

- กด Exit ที่หน้าจอ Display แล้วกด OK ปิดสวิตซ์ที่ตัวเครื่องบอม์บแคลอรี่มิเตอร์ จากนั้นปิดสวิตซ์เครื่องทำความเย็น

ก–6 การใช้งานเครื่อง Thermal gravimetric analysis (TGA)

1. ทำการเปิดแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจน
2. เปิดเครื่อง TGA และเปิดคอมพิวเตอร์
3. เรียกใช้งานโปรแกรม Pyris manager
4. ทำการตั้งค่าสภาวะที่ใช้งาน โดยอุณหภูมิเริ่มต้นเป็น 50°C, อุณหภูมิสิ้นสุดเป็น 900°C, Heating rate อยู่ที่ 20°C/min และตั้งให้เครื่องมีอุณหภูมิคงที่อยู่ที่ 900°C เป็นเวลา 7 นาที
5. กด Low furnace เพื่อยกเตาเผาลง
6. ทำการแขวนแพลทตินั่มเพลทบนลวดแขวนภาชนะ
7. กด Rise furnace กด Weight zero เพื่อตั้งค่าให้น้ำหนักของแพลทตินั่มเพลทเป็น 0
8. กด Low furnace แล้วทำการใส่ตัวอย่างลงบนแพลทตินั่มเพลท โดยปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ ไม่เกิน 0.1 กรัม
9. กด Rise furnace กด Go to temp สังเกตที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ รอให้อุณหภูมิที่ช่องของ Program temperature ต่ำกว่าอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 5°C แล้วกด Sample weight เพื่อบันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง เช่น ตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นไว้ 50 °C ให้กด Sample weight เมื่ออุณหภูมิขึ้นถึง 45°C
10. เครื่องจะทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างจนครบตามอุณหภูมิที่กำหนด หลังจากการวิเคราะห์แล้วพักเครื่องอย่างน้อย 30 นาทีจึทำการวิเคราะห์ตัวอย่างถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ตารางที่ ข-1 การหาความชื้นทั้งหมดของถ่านหิน

ตัวอย่างที่	น้ำหนักเริ่มต้นก่อนอบ 38°C (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ 38°C (กรัม)	น้ำหนักเริ่มต้นก่อนอบ 105°C (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ 105°C (กรัม)
1	300.089	217.046	1.0000	0.8626
2	300.036	214.549	1.0003	0.8662
3	300.034	222.014	1.0002	0.8683

ตัวอย่างการคำนวณความชื้นอิสระและความชื้นแฝง

วิธีการคำนวณ

%ความชื้น = (น้ำหนักก่อนอบ – น้ำหนักหลังอบ) / น้ำหนักก่อนอบ * 100

%ความชื้นทั้งหมด = %ความชื้นอิสระ + %ความชื้นแฝง

ตัวอย่างที่ 1

%ความชื้นอิสระ = (300.089-217.046)/300.089 * 100

= 27.67%

%ความชื้นแฝง = (1.0000-0.8626)/1.0000 * 100

= 13.44%

%ความชื้นทั้งหมด = %ความชื้นอิสระ + %ความชื้นแฝง

= 27.67 + 13.44

= 41.41%

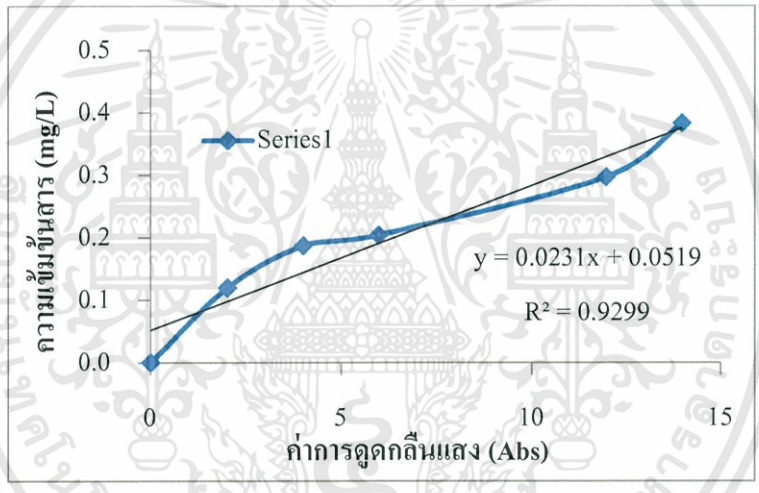
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 การคำนวณปริมาณซัลเฟอร์ (%w/w)

ตัวอย่าง	ชุดที่	น้ำหนัก	Abs 1	Abs 2	เฉลี่ย	SO_4^{2-} (mg/L)	%Sulfur	เฉลี่ย	SD
น้ำยางข้น	1	0.4938	0.3200	0.3030	0.3115	11.2380	0.07	0.08	0.01
	2	0.4908	0.3030	0.3380	0.3205	11.6277	0.08		
	3	0.4560	0.3350	0.3720	0.3535	13.0562	0.09		
ถ่านหิน	1	0.4892	0.6930	0.7130	0.7030	28.1861	0.19	0.20	0.01
	2	0.4780	0.6930	0.7130	0.7030	28.1861	0.20		
	3	0.4055	0.6080	0.6120	0.6100	24.1601	0.20		

ตัวอย่างการคำนวณ

สมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของซัลเฟต (SO_4^{2-}) คือ $y = 0.0231x + 0.0519$



<u>ถ่านหินชุดที่ 1</u>

แทนค่าการดูดกลืนแสงลงในค่า y ของสมการ จะได้

$$x = \frac{0.703-0.0519}{0.0231}$$

$$x = 28.8186 \text{ mg/L}$$

ในสารละลาย 1000 mL. มีปริมาณ SO_4^{2-} อยู่ 28.8186 mg/L

ถ้าในสารละลาย 100 mL. มีปริมาณ SO_4^{2-} อยู่ $\frac{100 \times 28.8186}{1000} = 2.8186$ mg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SO_4^{2-} 96 กรัม มีปริมาณ S อยู่ 32 กรัม

ถ้า SO_4^{2-} 2.8186 mg. มีปริมาณ S อยู่ $\frac{2.8186 \times 32}{96} = 0.9395$ mg

ถ่านหิน 0.4892 กรัม มีปริมาณ S อยู่ 0.9395×10^{-3} กรัม

ถ้าถ่านหิน 100 กรัม จะมีปริมาณ S อยู่ $\frac{0.9395 \times 10^{-3}}{0.4892} \times 100 = 0.19$ % (w/w)

การหาค่าคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon, FC) และสารระเหยง่าย (Volatile matter, VM)

จากสมการ (2.1) FC = 100 – (%M + %VM + %Ash)

ตัวอย่างการคำนวณ

จากรูปที่ ข-2

FC = 65.93 %

M = 24.81 %

Ash = 7 %

นำไปแทนค่าในสมการจะได้

65.93 = 100 – (24.81 + %VM + 7)

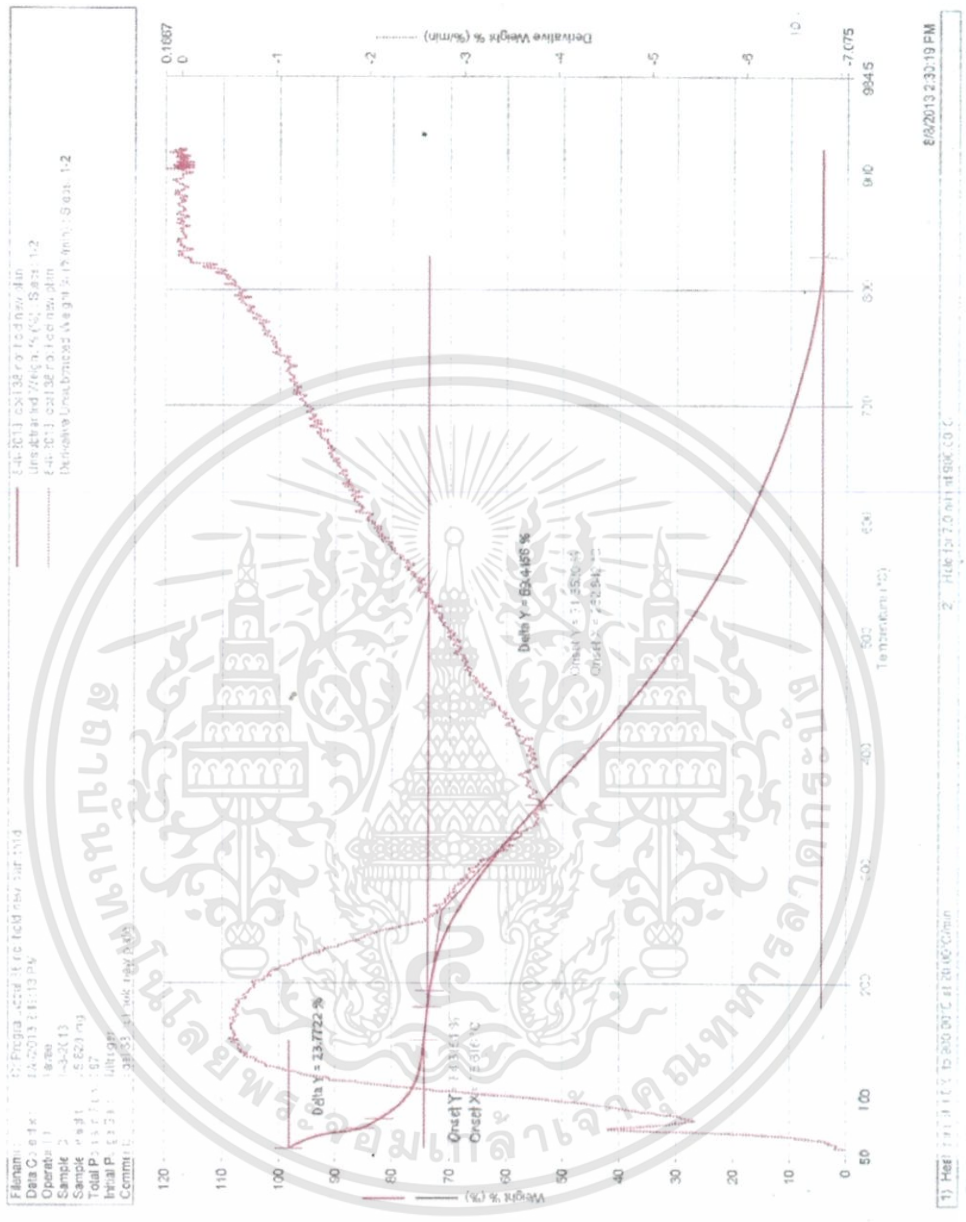
100 – 65.93 = 31.18 + %VM

%VM = 34.07 – 31.18

= 2.26 %

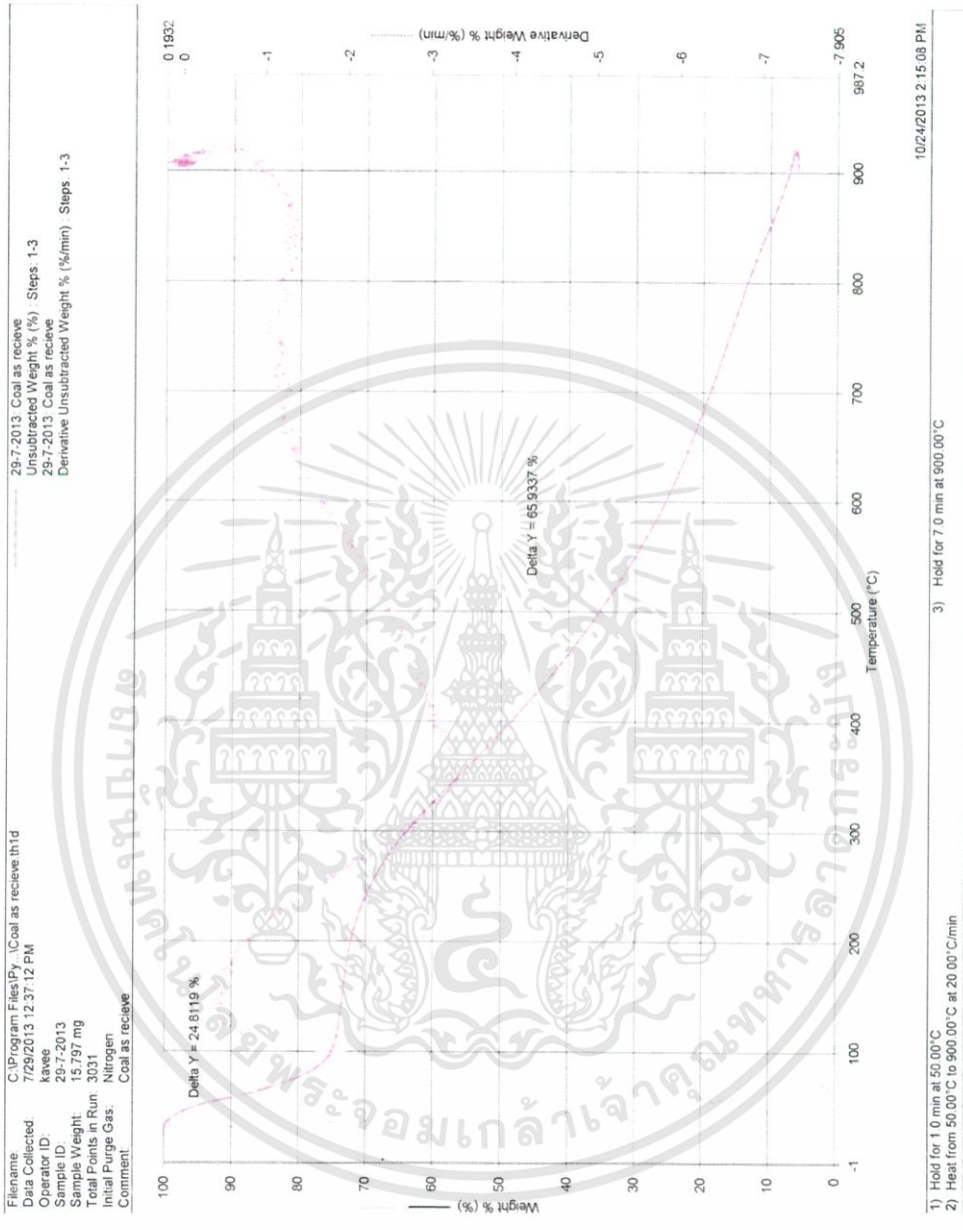
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์ด้วย TGA (1)



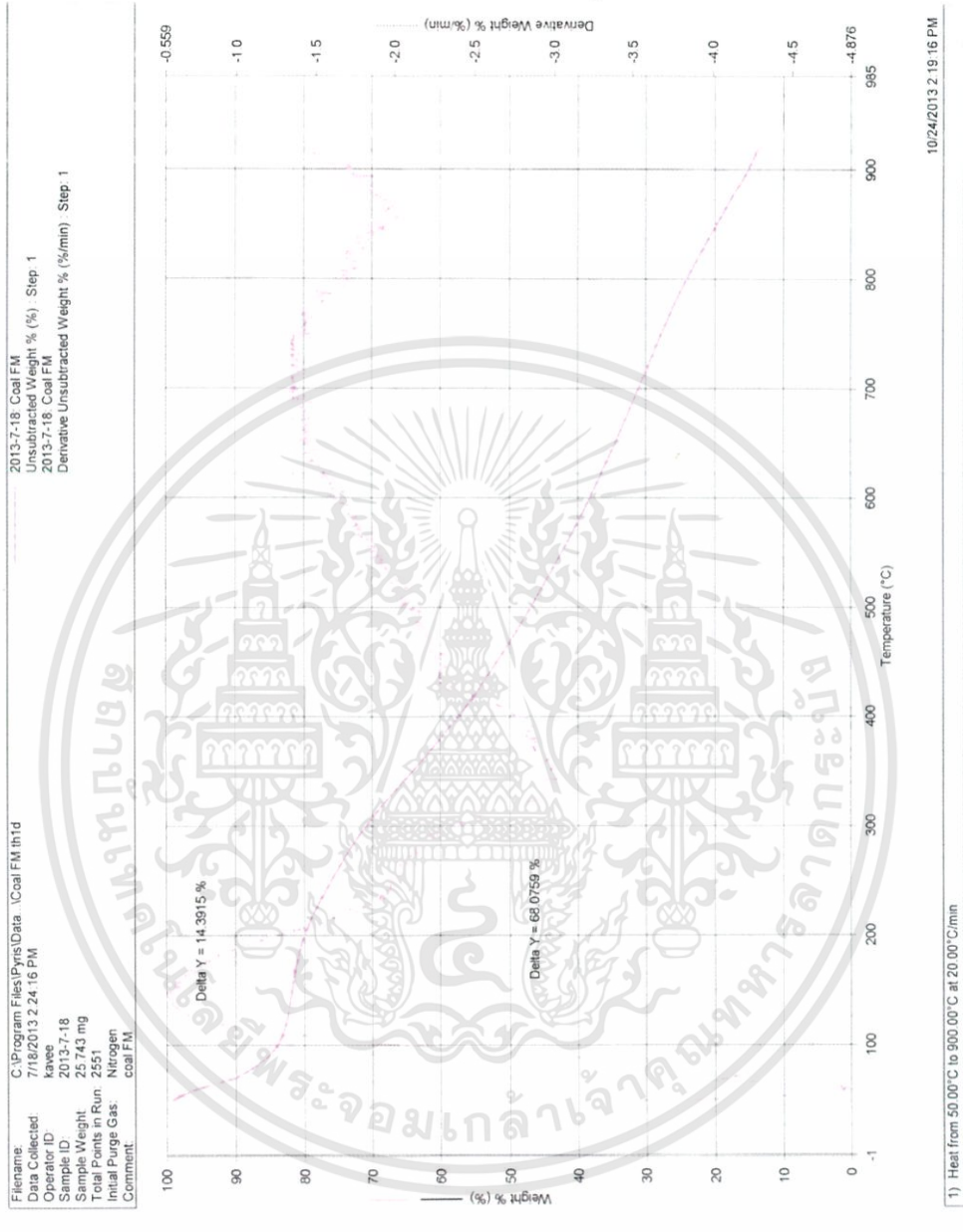
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-2 ผลการวิเคราะห์ด้วย TGA (2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-3 ผลการวิเคราะห์ด้วย TGA (3)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 การเคลือบถ่านหินคัดขนาด 8 mesh แบบไม่จำลองสภาวะ

ตัวอย่าง	น้ำหนัก(กรัม)						FM (%)	IM (%)	TM (%)
	ถ่านหิน	สาร	ก่อนอบ 38°C	หลังอบ 38°C	ก่อนอบ 105°C	หลังอบ 105°C			
$Control_1$	100.072	-	102.705	85.492	1.034	0.991	16.76	4.16	20.92
$Control_2$	100.042	-	101.487	86.619	1.038	0.991	14.65	4.53	19.18
$Control_3$	100.007	-	101.958	85.991	1.015	0.969	15.66	4.53	20.19
PS_1-0.1	100.205	10.294	96.591	80.760	1.022	0.981	16.39	4.01	20.40
PS_2-0.1	100.062	10.218	97.112	80.593	1.004	0.965	17.01	3.88	20.89
PS_3-0.1	100.107	10.017	96.577	81.714	1.005	0.979	15.39	2.59	17.98
PS_1-0.25	100.257	25.115	118.488	99.506	1.007	0.972	16.02	3.48	19.50
PS_2-0.25	100.087	25.223	118.676	100.839	1.002	0.968	15.03	3.39	18.42
PS_3-0.25	100.147	25.064	118.898	99.423	1.036	0.995	16.38	3.96	20.34
PS_1-0.5	100.244	50.014	122.002	101.323	1.011	0.976	16.95	3.46	20.41
PS_2-0.5	100.242	50.163	120.128	101.809	1.013	0.980	15.25	3.26	18.51
PS_3-0.5	100.123	50.202	118.04	99.036	1.011	0.974	16.10	3.66	19.76
R_1-0.1	100.096	10.048	108.182	85.128	1.048	1.020	21.31	2.67	23.98
R_2-0.1	100.116	10.160	107.520	84.930	1.040	1.021	21.01	1.83	22.84
R_3-0.1	100.027	10.013	104.091	81.181	1.024	1.009	22.01	1.46	23.47
R_1-0.25	100.310	25.007	114.616	94.042	1.075	1.027	17.95	4.47	22.42
R_2-0.25	100.117	25.307	119.898	100.475	1.064	1.019	16.20	4.23	20.43
R_3-0.25	100.257	25.125	118.306	96.893	1.032	0.994	18.10	3.68	21.78
R_1-0.5	100.255	50.138	139.634	107.504	1.045	1.017	23.01	2.68	25.69
R_2-0.5	100.171	50.130	142.678	107.922	1.097	1.067	24.36	2.73	27.09
R_3-0.5	100.189	50.096	140.443	109.18	1.042	1.023	22.26	1.82	24.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 การเคลือบถ่านหินคัดขนาด 8 mesh แบบจำลองสภาวะ

ตัวอย่าง	น้ำหนัก(กรัม)							FM (%)	IM (%)	TM (%)
	ถ่านหิน	สาร	น้ำ	ก่อนอบ 38°C	หลังอบ 38°C	ก่อนอบ 105°C	หลังอบ 105°C			
$Control_1$	100.098	-	100.255	108.370	80.108	1.002	0.967	26.08	3.49	29.57
$Control_2$	100.133	-	100.216	108.726	80.018	1.002	0.972	26.40	2.99	29.40
$Control_3$	100.111	-	100.039	107.822	79.661	1.013	0.973	26.12	3.95	30.07
PS_1-0.1	100.102	10.086	100.085	106.585	93.451	1.001	0.953	12.32	4.80	17.12
PS_2-0.1	100.252	10.092	100.635	106.934	94.251	1.010	0.959	11.86	5.04	16.90
PS_3-0.1	100.525	10.152	100.436	107.147	93.537	1.004	0.949	12.70	5.47	18.17
PS_1-0.25	100.100	25.065	100.265	108.302	94.530	1.004	0.966	12.71	3.80	16.51
PS_2-0.25	100.052	25.239	100.867	107.515	93.461	1.006	0.959	13.07	4.47	17.74
PS_3-0.25	100.132	25.341	100.353	108.139	93.926	1.004	0.960	13.14	4.40	17.54
PS_1-0.5	100.116	51.037	100.169	121.962	106.803	1.004	0.969	11.61	4.30	15.91
PS_2-0.5	100.137	50.033	100.721	121.539	104.797	1.002	0.956	13.77	4.70	18.47
PS_3-0.5	100.107	50.018	100.571	129.489	112.603	1.004	0.967	13.04	4.88	17.92
R_1-0.1	100.087	10.026	100.494	108.144	89.100	1.002	0.967	17.61	3.49	21.10
R_2-0.1	100.344	10.075	100.254	108.645	88.915	1.002	0.971	18.16	3.09	21.25
R_3-0.1	100.186	10.050	100.241	108.853	89.510	1.006	0.966	17.77	3.98	21.75
R_1-0.25	100.250	25.106	100.442	121.097	108.152	1.002	0.964	10.69	3.79	14.48
R_2-0.25	100.017	25.033	100.645	120.235	102.777	1.005	0.961	14.52	4.38	18.90
R_3-0.25	100.092	25.062	100.127	120.236	103.764	1.004	0.968	13.70	3.59	17.28
R_1-0.5	100.134	50.134	100.093	142.081	113.707	1.011	0.979	19.97	3.17	23.14
R_2-0.5	100.113	50.049	100.178	140.265	115.452	1.004	0.979	17.69	4.08	21.77
R_3-0.5	100.013	50.170	100.453	140.826	118.252	1.002	0.960	16.03	4.19	20.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 การเคลือบถ่านหินคัดขนาด 20 mesh แบบไม่จำลองสภาวะ

ตัวอย่าง	น้ำหนัก(กรัม)						FM (%)	IM (%)	TM (%)
	ถ่านหิน	สาร	ก่อนอบ 38°C	หลังอบ 38°C	ก่อนอบ 105°C	หลังอบ 105°C			
$Control_1$	100.039	-	107.618	82.263	1.002	0.992	23.56	1.00	24.56
$Control_2$	100.236	-	104.242	83.373	1.082	1.023	20.02	5.45	25.47
$Control_3$	100.519	-	105.158	84.989	1.045	1.012	19.18	3.16	22.34
PS_1-0.1	100.221	10.145	102.007	88.350	1.021	0.975	13.39	4.51	17.89
PS_2-0.1	100.090	10.144	101.746	85.129	1.016	0.972	16.33	4.33	20.66
PS_3-0.1	100.041	10.267	101.609	85.502	1.019	0.974	15.85	4.42	20.27
PS_1-0.25	100.091	25.002	111.058	95.043	1.017	0.973	14.42	4.33	18.75
PS_2-0.25	100.11	25.514	111.986	95.952	1.063	1.020	14.32	4.05	18.36
PS_3-0.25	100.084	25.526	112.081	98.103	1.077	1.034	12.47	3.99	16.46
PS_1-0.5	100.122	50.197	138.909	119.224	1.015	0.976	14.17	3.84	18.01
PS_2-0.5	100.005	50.375	138.638	119.203	1.074	1.027	14.02	4.38	18.39
PS_3-0.5	100.071	50.665	129.628	115.071	1.043	1.007	11.23	3.45	14.68
R_1-0.1	100.126	10.047	110.120	92.154	1.054	1.007	16.31	4.46	20.77
R_2-0.1	100.078	10.112	110.077	92.236	1.020	0.987	16.21	3.24	19.44
R_3-0.1	100.068	10.211	119.487	95.605	1.011	0.997	19.99	1.38	21.37
R_1-0.25	100.124	25.279	117.599	98.531	1.037	1.010	16.21	2.60	18.82
R_2-0.25	100.085	25.065	116.854	98.890	1.052	1.020	15.37	3.04	18.41
R_3-0.25	100.083	25.695	116.663	100.593	1.087	1.032	13.77	5.06	18.83
R_1-0.5	100.25	50.142	130.073	108.549	1.045	0.991	16.55	5.17	21.72
R_2-0.5	100.185	50.051	130.129	109.706	1.008	0.979	15.69	2.88	18.57
R_3-0.5	100.091	50.415	131.414	110.378	1.075	1.010	16.01	6.05	22.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 การเคลือบถ่านหินคัดขนาด 20 mesh แบบจำลองสภาวะ

ตัวอย่าง	น้ำหนัก(กรัม)							FM (%)	IM (%)	TM (%)
	ถ่านหิน	สาร	น้ำ	ก่อนอบ 38°C	หลังอบ 38°C	ก่อนอบ 105°C	หลังอบ 105°C			
$Control_1$	100.036	-	100.028	106.608	75.340	1.005	0.975	29.33	2.99	32.31
$Control_2$	100.155	-	100.260	107.367	76.112	1.008	0.963	29.11	4.46	33.57
$Control_3$	100.112	-	100.198	107.41	75.810	1.020	0.982	29.42	3.73	33.15
PS_1-0.1	100.200	10.002	100.676	108.619	95.609	1.003	0.970	11.98	3.29	15.27
PS_2-0.1	100.280	10.052	100.234	108.222	92.110	1.003	0.967	14.89	3.59	18.48
PS_3-0.1	100.088	10.651	100.055	108.155	94.809	1.031	0.978	12.34	5.14	17.48
PS_1-0.25	100.098	25.205	100.229	113.957	100.909	1.029	0.995	11.45	3.30	14.75
PS_2-0.25	100.099	25.193	100.211	114.174	100.282	1.056	1.027	12.17	2.75	14.91
PS_3-0.25	100.024	25.957	100.727	114.267	100.224	1.012	0.980	12.29	3.16	15.45
PS_1-0.5	100.056	50.324	100.118	128.957	113.750	1.015	0.977	11.79	3.74	15.54
PS_2-0.5	100.108	51.142	100.288	130.600	115.025	1.013	0.997	11.93	1.58	13.51
PS_3-0.5	100.078	50.258	100.065	128.257	113.215	1.007	0.963	11.73	4.37	16.10
R_1-0.1	100.012	10.014	100.497	109.746	95.169	1.046	1.025	13.28	2.01	15.29
R_2-0.1	100.232	10.229	100.670	108.955	95.881	1.151	1.071	12.00	6.95	18.95
R_3-0.1	100.025	10.183	100.097	107.795	92.440	1.171	1.085	14.24	7.34	21.59
R_1-0.25	100.052	25.064	100.025	119.550	105.850	1.014	0.982	11.46	3.16	14.62
R_2-0.25	100.073	25.378	100.365	118.701	105.228	1.023	0.995	11.35	2.74	14.09
R_3-0.25	100.069	25.293	100.452	119.381	102.059	1.061	0.964	14.51	9.14	23.65
R_1-0.5	100.005	50.073	100.045	131.915	112.788	1.030	0.988	14.50	4.08	18.58
R_2-0.5	100.044	50.129	100.036	139.231	115.666	1.068	1.037	16.93	2.90	19.83
R_3-0.5	100.080	50.414	100.391	132.965	113.535	1.028	1.014	14.61	1.36	15.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 การเคลือบถ่านหินไม่คัดขนาด แบบไม่จำลองสภาวะ

ตัวอย่าง	น้ำหนัก(กรัม)						FM (%)	IM (%)	TM (%)
	ถ่านหิน	สาร	ก่อนอบ 38°C	หลังอบ 38°C	ก่อนอบ 105°C	หลังอบ 105°C			
$Control_1$	100.115	-	106.822	94.730	1.092	0.957	11.32	12.36	23.68
$Control_2$	100.197	-	106.922	95.310	1.301	1.093	10.86	15.99	26.85
$Control_3$	100.624	-	107.552	95.291	1.056	0.885	11.40	16.19	27.59
PS_1-0.1	100.234	10.512	108.472	93.319	1.264	1.091	13.97	13.69	27.66
PS_2-0.1	100.110	11.211	109.344	96.234	1.442	1.245	11.99	13.66	25.65
PS_3-0.1	100.624	11.039	109.850	94.790	1.317	1.115	13.71	15.34	29.05
PS_1-0.25	100.466	25.620	120.216	96.389	1.256	1.089	19.82	13.30	33.12
PS_2-0.25	100.478	25.169	116.637	92.073	1.031	0.883	21.06	14.35	35.42
PS_3-0.25	100.206	25.725	118.550	92.505	1.201	1.024	21.97	14.74	36.71
PS_1-0.5	100.419	51.455	125.800	98.577	1.145	0.962	21.64	15.98	37.62
PS_2-0.5	100.764	51.362	123.667	98.637	1.149	1.041	20.24	9.40	29.64
PS_3-0.5	100.103	50.594	120.504	95.813	1.115	0.973	20.49	12.74	33.23
R_1-0.1	100.919	10.045	114.806	97.195	1.032	0.922	15.34	10.66	26.00
R_2-0.1	100.826	10.101	115.162	96.448	1.135	1.000	16.25	11.89	28.14
R_3-0.1	100.086	10.232	113.433	92.947	1.158	1.027	18.06	11.31	29.37
R_1-0.25	100.464	25.375	127.486	102.928	1.089	0.976	19.26	10.38	29.64
R_2-0.25	100.172	25.008	127.371	102.731	1.059	0.937	19.35	11.52	30.87
R_3-0.25	100.288	25.144	127.356	105.355	1.099	0.984	17.28	10.46	27.74
R_1-0.5	100.462	50.147	150.613	115.264	1.083	0.951	23.47	12.19	35.66
R_2-0.5	100.102	50.280	150.381	109.381	1.006	0.896	27.26	10.93	38.20
R_3-0.5	100.324	50.778	149.068	109.595	1.098	0.996	26.48	9.29	35.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8 การเคลือบถ่านหินไม่คัดขนาด แบบจำลองสภาวะ

ตัวอย่าง	น้ำหนัก(กรัม)							FM (%)	IM (%)	TM (%)
	ถ่านหิน	สาร	น้ำ	ก่อนอบ 38°C	หลังอบ 38°C	ก่อนอบ 105°C	หลังอบ 105°C			
$Control_1$	100.143	-	100.840	105.313	88.073	1.012	0.825	16.37	18.48	34.85
$Control_2$	100.819	-	100.333	105.747	85.296	1.012	0.829	19.34	18.08	37.42
$Control_3$	100.457	-	100.122	106.531	85.981	1.015	0.838	19.29	17.44	36.73
PS_1-0.1	100.954	10.683	100.134	108.184	94.791	1.007	0.931	12.38	7.55	19.93
PS_2-0.1	100.465	10.674	100.321	108.267	95.827	1.012	0.939	11.49	7.21	18.70
PS_3-0.1	101.079	14.053	100.002	109.031	95.784	1.016	0.925	12.15	8.96	21.11
PS_1-0.25	100.074	25.185	101.025	118.946	101.330	1.020	0.966	14.81	5.29	20.10
PS_2-0.25	101.074	25.605	100.657	118.136	97.592	1.023	0.957	17.39	6.45	23.84
PS_3-0.25	100.144	26.096	100.825	118.560	101.369	1.036	0.959	14.50	7.43	21.93
PS_1-0.5	100.495	50.062	100.610	120.527	102.279	1.008	0.956	15.14	5.16	20.30
PS_2-0.5	101.084	50.174	100.896	118.244	103.558	1.032	0.952	12.42	7.75	20.17
PS_3-0.5	100.478	50.514	100.425	119.066	102.575	1.009	0.947	13.85	6.14	19.99
R_1-0.1	100.097	10.092	100.670	112.504	98.848	1.008	0.918	12.14	8.93	21.07
R_2-0.1	100.822	10.044	100.762	114.564	99.780	1.028	0.942	12.90	8.37	21.27
R_3-0.1	100.288	10.035	100.509	114.897	98.645	1.019	0.924	14.14	9.32	23.47
R_1-0.25	100.717	25.631	100.121	118.405	98.344	1.033	0.862	16.94	16.55	33.50
R_2-0.25	100.106	25.154	100.467	119.503	100.108	1.036	0.959	16.23	7.43	23.66
R_3-0.25	100.604	25.217	100.575	118.010	98.951	1.026	0.920	16.15	10.33	26.48
R_1-0.5	100.247	50.127	100.441	140.254	115.191	1.008	0.899	17.87	10.81	28.68
R_2-0.5	100.149	250.212	100.611	142.805	111.916	1.015	0.892	21.63	12.12	33.75
R_3-0.5	101.354	50.028	100.840	145.222	112.489	1.017	0.838	22.54	17.60	40.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-9 ค่าความร้อนของถ่านหิน

ตัวอย่าง	20 mesh		8 mesh		ไม่คัดขนาด	
	หลังเคลือบ (MJ/kg)	หลังจำลองสภาวะความชื้นสูง (MJ/kg)	หลังเคลือบ (MJ/kg)	หลังจำลองสภาวะความชื้นสูง (MJ/kg)	หลังเคลือบ (MJ/kg)	หลังจำลองสภาวะความชื้นสูง (MJ/kg)
CS_1	19.481	22.679	20.668	22.439	18.045	21.671
CS_2	20.197	22.653	20.965	23.354	17.837	22.085
CS_3	23.043	22.319	20.524	22.301	19.315	21.531
PS_1-0.1	21.227	22.749	22.166	22.506	18.037	21.624
PS_2-0.1	21.440	23.172	22.033	22.481	19.577	21.879
PS_3-0.1	21.643	22.923	22.462	22.650	17.941	21.523
PS_1-0.25	20.664	23.105	21.794	22.533	19.916	22.237
PS_2-0.25	20.883	23.125	22.387	23.023	17.000	22.118
PS_3-0.25	20.858	23.164	22.597	23.644	17.280	23.208
PS_1-0.5	21.199	22.981	23.960	23.406	20.094	22.126
PS_2-0.5	21.656	23.295	20.657	23.197	24.091	22.304
PS_3-0.5	20.421	23.164	21.907	22.605	22.034	23.824
R_1-0.1	24.052	22.942	22.581	25.388	23.025	21.874
R_2-0.1	24.122	25.821	23.095	25.047	24.108	23.922
R_3-0.1	24.268	24.180	22.572	25.034	24.696	24.352
R_1-0.25	24.611	25.104	22.963	24.326	24.416	21.921
R_2-0.25	24.216	24.077	22.990	22.077	24.298	27.931
R_3-0.25	25.968	25.119	22.305	24.716	24.977	22.785
R_1-0.5	24.393	25.460	22.583	26.279	24.667	28.928
R_2-0.5	24.373	25.279	21.563	25.136	24.058	24.517
R_3-0.5	24.613	25.440	23.521	24.512	33.780	25.547

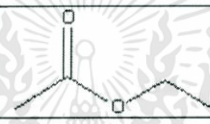
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลเคมีภัณฑ์

ข้อมูลความปลอดภัยของเอทิลอะซิเทต

1. การบ่งชี้เคมีภัณฑ์ (Chemical Identification)

ชื่อเคมี IUPAC	-
ชื่อเคมีทั่วไป	Ethyl acetate
ชื่อพ้องอื่นๆ	Ethyl acetic ester; Acetoxyethane; Acetic ether; Vinegar naphtha; Acetidin; Acetic ester
สูตรโมเลกุล	$C_4H_8O_2$
สูตรโครงสร้าง	
รหัส CAS NO	141 – 78 – 6
รหัส RTECS	AH 5425000
รหัส EUEINECS/ELINCS	205 – 500 – 4

2. การใช้ประโยชน์ (Uses)

- ใช้ทำเครื่องสำอาง , ใช้ในการกลั่นแยก, ใช้เป็นสารละลาย

3. ค่ามาตรฐานและความเป็นพิษ

LD_{50} (มก. /กก.)	5620 (หนู)
LC_{50} (มก./ม^3)	200 / หนู
PEL-TWA (ppm)	2000
TLV-TWA (ppm)	400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and chemical properties)

สถานะ	ของเหลว
สี	ใส
กลิ่น	หอม
นน.โมเลกุล (g/mol)	88.11
จุดเดือด(°C)	77.2
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง(°C)	-83
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)	0.9018
ความหนืด(mPa.sec)	0.44
ความดันไอ(มม.ปรอท)	75
ความสามารถในการละลายน้ำที่(g/100 mL)	7.9 ที่ 20 °C
ความเป็นกรด-ด่าง(pH)	7.4
แฟคเตอร์แปลงหน่วย 1 ppm	3.60mg/m^3

5. อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health effect)

สัมผัสทางหายใจ	จะเป็นอันตรายถ้าหายใจเข้าไปไอระเหยที่ความเข้มข้นสูงๆจะทำให้ปวดศีรษะมึนงงหมดสติ
สัมผัสทางผิวหนัง	การสัมผัสทางผิวหนังทำให้เกิดการอักเสบของผิวหนังบริเวณที่สัมผัสและเกิดการทำลายชั้นไขมันของผิวหนังอย่างรุนแรง
กินหรือกลืนเข้าไป	การกลืนกินเข้าไปจะทำให้คลื่นไส้อาเจียนปวดศีรษะง่วงนอนหมดสติ
สัมผัสถูกตา	การสัมผัสถูกตาทำให้เกิดอาการระคายเคือง
การก่อมะเร็ง ความผิดปกติ,อื่น ๆ	-ไม่เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งตามรายละเอียด IARC ,NTP, OSHA -สารนี้มีผลทำลายดวงตาผิวหนังและระบบหายใจ

6. ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

- ความคงตัวทางเคมี: สารนี้มีความเสถียร
- อันตรายจากการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชั่น : จะไม่เกิดขึ้น
- สภาวะที่: ควรหลีกเลี่ยงความร้อนสัมผัสกับแหล่งจุดติดไฟจะจุดติดไฟเมื่อสัมผัสกับโพแทสเซียมเตริกบิวทอกไซด์
- ปฏิกิริยารุนแรงกับกรดคลอโรซัลโฟนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สารที่ควรหลีกเลี่ยง : กรดสารออกซิไดซ์สารอัลคาไลท์ที่มีปฏิกิริยารุนแรงไนเตรท

7. การเกิดอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion)

จุดวาบไฟ (°C)	-4.44
จุดลุกติดไฟได้เอง (°C)	460
ค่า LEL (%)	2.20

- วิธีการดับไฟ: สารดับเพลิงที่เหมาะเมื่อเกิดอัคคีภัย คือ แอลกอฮอล์โฟมคาร์บอนไดออกไซด์ผงเคมีแห้ง

- ใช้น้ำฉีดเป็นฝอยเมื่อหล่อเย็นภาชนะบรรจุที่สัมผัสถูกเพลิงไหม้

- ขั้นตอนการปฏิบัติการดับเพลิงควรสวมใส่เครื่องช่วยหายใจชนิดมีถังอากาศในตัวและชุดป้องกันสารเคมี

- ไอระเหยสามารถแพร่กระจายไปสู่แหล่งจุดติดไฟและเกิดไฟย้อนกลับมาได้ผสมกับอากาศ ประกายไฟอาจจะเกิดขึ้นได้ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าประกายไฟทั่วๆไปที่เกิดขึ้นเองหรืออุณหภูมิของประกายไฟอุณหภูมิประกายไฟจะลดลงเมื่อปริมาณไอระเหยเพิ่มขึ้นและเวลา

- ประกายไฟอาจจะเกิดที่อุณหภูมิสูงเฉพาะกับห้องปฏิบัติงานภายใต้สุญญากาศถ้าอากาศเข้าไปอย่างทันทีทันใดหรือการปฏิบัติงานภาย

8. การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่ง (Storage and Handling)

- เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท

- เก็บไวในที่มีอุณหภูมิเย็น แห้ง

- เก็บไว้ในที่มีการระบายอากาศ

- เก็บให้ห่างจากแหล่งกำเนิดประกายไฟ และสารออกซิไดส์

- สารที่เหลืออยู่ในภาชนะอาจจะทำให้เกิดอันตรายได้ ควรใช้อย่างระมัดระวัง

- ข้อมูลการขนส่ง DOT ชื่อทางการขนส่งที่เหมาะสม : Ethyl acetate

- หมายเลข DOT ID UN : 1173

9.การกำจัดกรณีรั่วไหล (Leak and spoil)

- วิธีการเมื่อเกิดอุบัติเหตุสารเคมีรั่วไหล การตอบโต้กรณีหกรั่วไหล

- อพยพคนที่ไม่เกี่ยวข้องทั้งหมดออกจากพื้นที่

- สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันให้เหมาะสมที่ระบุไว้ในบัญชีรายชื่อใต้เปิด / การป้องกันอันตรายส่วนบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขจัดแหล่งการจุดติดไฟใดๆออกไฟจนกระทั่งพื้นที่ดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดอันตราย จากการระเบิดหรืออันตรายไฟ

- บรรจุส่วนที่หกรั่วไหลและแยกออกจากแหล่งสารเคมีนั้น

- ถ้าสามารถทำได้โดยปราศจากความเสี่ยงอันตรายเก็บและบรรจุสารสำหรับการ นำไปกำจัดให้เหมาะสม

- ปฏิบัติตามกฎกฎหมายและกฎระเบียบของทางราชการในการรายงานการรั่วไหลของสารเคมี

- ต้องปฏิบัติตามระเบียบข้อบังคับของทางราชการอย่างเคร่งครัด

10. การปฐมพยาบาล (First Aid)

หายใจเข้าไป	ถ้าหายใจเข้าไปให้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกไปที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ผู้ป่วยไม่หายใจให้ช่วยผายปอดผู้ป่วยหายใจลำบากให้ออกซิเจน
กินหรือกลืนเข้าไป	ถ้าผู้ป่วยยังมีสติให้ดื่มน้ำและกระตุ้นทำให้อาเจียนทันทีโดยเจ้าหน้าที่ทางการแพทย์ถ้าผู้ป่วยหมดสติห้ามไม่ให้สิ่งใดเข้าปากถอดเสื้อผ้าที่เปรอะเปื้อนและทำความสะอาดก่อนใช้อีกครั้ง
สัมผัสถูกผิวหนัง	ให้ล้างออกด้วยน้ำและสบู่ปริมาณมากๆอย่างน้อย 15 นาที
สัมผัสถูกตา	ให้ฉีดล้างตาโดยให้น้ำไหลผ่านอย่างน้อย 15 นาที

11. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental impacts)

- เมื่อรั่วไหลลงสู่น้ำ : สารนี้มีความเป็นพิษต่อปลาและแพลงค์ตอนอาจเกิดการผสมกับอากาศเหนือผิวน้ำให้ไอของสารที่ระเบิดได้

- สารนี้สามารถเกิดการสลายตัวทางชีวภาพได้ดี

- สารนี้จะไม่ส่งผลต่อระบบบำบัดน้ำทิ้งหากมีการใช้และจัดการสารอย่างเหมาะสม

12. การเก็บและวิเคราะห์ (Sampling and Analytical)

NMAM NO.: 1457

วิธีการเก็บตัวอย่าง : หลอดเก็บตัวอย่าง

วิธีการวิเคราะห์ : แก๊สโครมาโตกราฟฟี

ข้อมูลอื่นๆ : - การเก็บตัวอย่างใช้ coconut shell charcoal, 100 ml/50 mg

- อัตราการไหลสำหรับเก็บตัวอย่าง 0.01 – 0.2 L/minute

- ปริมาตรเก็บตัวอย่างต่ำสุด – สูงสุด 0.1 L – 10 L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ขั้นตอนการปฏิบัติงานฉุกเฉิน (Emergency Response)

- กรณีฉุกเฉินโปรดใช้บริการระบบให้บริการข้อมูลการระงับอุบัติภัยจากสารเคมีทางโทรศัพท์หรือสายด่วน AVERS ที่หมายเลขโทรศัพท์ 1650

- ต้องการทราบรายละเอียดเพิ่มเติมโปรดติดต่อ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย กรมควบคุมมลพิษ โทร 0 2298 2447,0 2298 2457

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

องค์ประกอบของถ่านหินจากแหล่งที่มาอื่น

พารามิเตอร์	แหล่งที่มา		
	Shenfu ประเทศจีน	Zonguldak ประเทศตุรกี	Shangwan ประเทศมองโกเลีย
Moisture (wt. %)	3.96	3.00	10.47
Ash (wt. %)	7.47	13.10	8.60
Volatile matter (wt. %)	27.53	28.80	27.89
Fixed carbon (wt. %)	54.22	55.10	53.04
Calorific value (MJ/kg)	24.22	28.11	25.76
Sulfur (wt. %)	0.47	0.42	0.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้