

การศึกษาคุณสมบัติของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง
เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง



นายสุทธิพงษ์ ศรีสุธรรม
นางสาวสุนทรียา ชัดดินานนท์

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....40042.....
วัน, เดือน, ปี.....กค. 2544.....

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of the Characteristic of Sludge from Wastewater
Treatment System for Fuel Production



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อปี 2000 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาคุณสมบัติของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
ตะกอนเร่งเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง
นักศึกษา นายสุทธิพงษ์ ศรีสุวรรณ
นางสาวสุนทรียา ชัดตินานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์
ภาควิชา เคมี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นำโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต


หัวหน้าภาควิชาเคมี
(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

คณะกรรมการโครงการพิเศษ


ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.เมธิชญชัย ไชยสิทธิ์)


กรรมการ
(ผศ.ดร.ประยงค์ ทองดี)


กรรมการ
(ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาคุณสมบัติของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง
นักศึกษา	นายสุทธิพงษ์ ศรีสุวรรณ นางสาวสุนทรียา ชัดตินานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์
ภาควิชา	เคมี
สาขา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและค่าความร้อนของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ถ่านไม้และถ่านหิน ตะกอนจากระบบบำบัดดังกล่าวจะถูกนำมาคาร์บอนไนซ์ด้วยเตาเผาแบบท่อ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการคาร์บอนไนซ์ที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการทดสอบหาคุณสมบัติของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ได้

จากผลการคาร์บอนไนซ์แสดงให้เห็นว่า ตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน เนื่องจากมีการใช้พลังงานในการคาร์บอนไนซ์น้อยที่สุด และให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้มากที่สุด คือ 54.61 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณความร้อนของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าเพียง 1.61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้ตะกอนคาร์บอนไนซ์ไม่ต้องสูญเสียความร้อนในการไล่ความชื้นเมื่อทำการเผาไหม้ ปริมาณสารระเหยมีค่าค่อนข้างสูงถึง 34.51 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ตะกอนดังกล่าวติดไฟง่าย ปริมาณคาร์บอนคงที่ของตะกอนคาร์บอนไนซ์มีค่าเท่ากับ 20.58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์ ซึ่งทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีค่าความร้อนสูงถึง 5820.58 แคลอรีต่อกรัม แต่การคาร์บอนไนซ์ตะกอนมีข้อเสียคือ ปริมาณเถ้าของตะกอนคาร์บอนไนซ์มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์ โดยมีปริมาณเถ้าเท่ากับ 43.31 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณกำมะถันนั้นจะลดลงเหลือประมาณ 0.44 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นเมื่อทำการคาร์บอนไนซ์ ตะกอนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสพบว่ามีค่าเท่ากับ แต่ตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะยังคงมีปริมาณกำมะถันอยู่สูงถึง 0.96 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะลดลงจากตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์เพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project	Study of Characteristic of Sludge from Wastewater Treatment System for Fuel Production
Students	Mr.Sutthipong Sriisutham Miss Soontreeya Kattinanon
Special Project Advisor	Chompoonut Chairaksa
Department	Chemistry
Academic	2000

Abstract

In this study , activated sludge , charcoal , and coal were characterized their chemical properties and heating value. Activated sludge was carbonized by using tube furnace at various times and temperatures. The properties of carbonized sludge were then tested.

The results showed that the carbonization of sludge at 300 degreecelcius and one hour was an optimum condition because it gave the highest yield (54.61percents) and spent the least energy. The moisture content of carbonized sludge from carbonization at 300 degreecelcius and one hour was 1.61 percents which considered to be low. This could help to minimized heat loss when applying this carbonized sludge for combustion. Its volatile matter content was 43.51 percents and this could make it easily flammable. Its fixed carbon content was 20.58 percents which was higher than uncarbonized sludge , therefore the heating value was also increased. Its heating value was as high as 5820.58 caloriespergram. The carbonized sludge gave high ash content (43.31 percents) which was higher than uncarbonized sludge. And this could be its disadvantage. It was also found that sulfur content was decreased (0.44 percents) when carbonized at 500 degreecelcius . On the other hand , when carbonized at 300 degreecelcius and one hour sulfur content was just a little decreased (0.96 percents) when compared to the uncarbonized sludge.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ อาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา ช่วยแก้ไขปัญหา และเอาใจใส่ดูแลการทำงานของผู้วิจัย จนกระทั่งโครงการพิเศษฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี และ ผศ.ดร.เมธิญชัย ไชยสิทธิ์ อาจารย์คณะกรรมการรวมทั้งอาจารย์ภาคเคมีทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนกระทั่งโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร. ตะวัน สุขน้อย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณคุณสุนทร เหล่าพระจันทร์ และคุณกัญญา มงคลโกชนม์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่เอื้ออำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ สารเคมี จนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่จากบริษัท SANYO Gallenkamp จำกัด ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และสาคิววิธีการใช้วัสดุอุปกรณ์ เพื่อใช้ในโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทำโครงการพิเศษนี้ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณคุณนันทวัน หมั่นเดช ที่เอื้อเฟื้อในการถ่ายรูปภาพประกอบการจัดทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ข้าพเจ้าเข้ามาศึกษา ณ ที่แห่งนี้ได้พบกับสิ่งดี ๆ ต่าง ๆ มากมายที่ไม่มีวันลืม

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ ช่วยอบรมสั่งสอนมาโดยตลอด จนสามารถสำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาที่เคารพรักอย่างสูงที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนการทำโครงการพิเศษนี้มาตลอด ขอขอบพระคุณพี่ ๆ น้อง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่แสนดีที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือทุกสิ่งทุกอย่างเสมอมา

สุทธิพงษ์ ศรีสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สุทธิยา ชัดดีนันทน์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ญ
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ระยะเวลาการดำเนินการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 ขบวนการผลิตของบริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด	4
2.1.1 การไม่มันสำปะหลัง	4
2.1.2 การ Modified Starch	4
2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด	5
2.2.1 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic)	5
2.2.2 ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ (aerobic)	6
2.3 การเกิดตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง	6
2.4 การนำตะกอนมาใช้ประโยชน์	7
2.4.1 การผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas Production)	7
2.4.2 การทำปุ๋ยหมัก (Composting)	7
2.4.3 การผลิตสาหร่าย (Algae Production)	8
2.4.4 การเลี้ยงปลา	8
2.4.5 เป็นแหล่งให้พลังงาน	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 กระบวนการคาร์บอนไนซ์ (Carbonization)	9
2.5.1 นิยาม	9
2.5.2 ขั้นตอนในการเกิดถ่าน (The Stages in Charcoal Formation)	10
2.5.3 แฟกเตอร์ที่มีผลต่อการคาร์บอนไนเซชัน	11
2.6 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชัน	17
2.6.1 ถ่าน (Charcoal)	18
2.6.2 องค์ประกอบทางเคมีของถ่าน	22
2.7 ประมาณการใช้ประโยชน์จากถ่านหิน	25
2.7.1 การใช้ถ่านในครัวเรือน	25
2.7.2 การใช้ถ่านในอุตสาหกรรม	25
2.7.3 การใช้ถ่านในส่วนบริการสังคม	25
2.8 การใช้พลังงานในครัวเรือน	26
2.9 แหล่งวัสดุที่มีศักยภาพเป็นเชื้อเพลิง	27
2.10 การประเมินคุณภาพของถ่าน	28
2.11 ถ่านหิน	29
2.11.1 ธรรมชาติของถ่านหิน	29
2.11.2 ถ่านหินชนิดต่าง ๆ	30
2.11.3 ชั้นถ่านหิน (Coal Seams)	30
2.11.4 ประโยชน์ของถ่านหิน	31
2.12 การวิเคราะห์ถ่านหินและสมบัติของถ่านหิน	31
2.12.1 การวิเคราะห์ถ่านหิน	31
2.12.2 สมบัติของถ่านหิน	33
2.13 ถ่านหินในประเทศไทย	35
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	43
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	43
3.3 แหล่งที่มาของตะกอน	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 3.3 แหล่งที่มาของตะกอน 44

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การดำเนินการทดลอง	45
3.4.1 การศึกษาคุณสมบัติของตะกอนเบื้องต้นของถ่านไม้ ถ่านหิน และตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์	45
3.4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อคุณสมบัติในการคาร์บอนไนซ์	45
3.4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของตะกอนคาร์บอนไนซ์กับถ่านไม้ ถ่านหิน และตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์	46
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของถ่านไม้ ถ่านหินและตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์	51
4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อคุณสมบัติในการคาร์บอนไนซ์	51
4.3 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางความร้อนของตะกอนคาร์บอนไนซ์ เปรียบเทียบกับถ่านไม้ ถ่านหิน และตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์	53
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
บรรณานุกรม	59
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	60
ภาคผนวก ข	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	11
ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการคาร์บอนไเซชันสุดท้าย (final carbonization temperature) กับองค์ประกอบทางเคมีของถ่านและปริมาณถ่านที่ได้	
ตารางที่ 2.2	20
องค์ประกอบของถ่านที่ได้จากไม้ชนิดต่าง ๆ	
ตารางที่ 2.3	24
เปอร์เซ็นต์ของสารระเหยได้ และปริมาณถ่านที่ได้จากการทำคาร์บอนไนซ์ไม้ชนิดต่าง ๆ	
ตารางที่ 2.4	24
เปอร์เซ็นต์ซีเถ้าและองค์ประกอบทางเคมีของซีเถ้าที่ได้จากไม้ชนิดต่าง ๆ	
ตารางที่ 2.5	29
คุณภาพถ่านที่ได้จากวัตถุดิบบางชนิดโดยการเผาด้วยเตาอิฐและกลั่นในรีทอร์ท	
ตารางที่ 2.6	41
ตัวอย่างการรายงานผลการวิเคราะห์ถ่านหิน	
ตารางที่ 2.7	42
เหมืองถ่านหินและคุณภาพของถ่านหินในประเทศไทย	
ตารางที่ 4.1	55
แสดงคุณสมบัติของถ่านไม้ ถ่านหินและตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์	
ตารางที่ 4.2	56
แสดงคุณสมบัติของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	
ตารางที่ ข.1	76
แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตะกอนที่เพิ่งออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง	
ตารางที่ ข.2	76
แสดงเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ตะกอนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	
ตารางที่ ข.3	77
แสดงเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ตะกอนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	
ตารางที่ ข.4	77
แสดงเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ตะกอนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	
ตารางที่ ข.5	77
แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของถ่านไม้	
ตารางที่ ข.6	78
แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของถ่านหิน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข.7	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์ 78
ตารางที่ ข.8	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 78 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
ตารางที่ ข.9	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 79 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
ตารางที่ ข.10	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 79 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ตารางที่ ข.11	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของถ่านไม้ 79
ตารางที่ ข.12	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของถ่านหิน 80
ตารางที่ ข.13	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์ 80
ตารางที่ ข.14	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ 80 อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
ตารางที่ ข.15	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ 81 อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
ตารางที่ ข.16	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ 81 อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ตารางที่ ข.17	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ของถ่านไม้ 81
ตารางที่ ข.18	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ของถ่านหิน 82
ตารางที่ ข.19	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ของตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์ 82
ตารางที่ ข.20	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 82 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
ตารางที่ ข.21	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 83 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
ตารางที่ ข.22	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 83 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ตารางที่ ข.23	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านไม้ 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข.24	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านหิน 83
ตารางที่ ข.25	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงที่ของตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์ 84
ตารางที่ ข.26	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงที่ของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 84
ตารางที่ ข.27	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงที่ของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 84
ตารางที่ ข.28	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงที่ของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 84
ตารางที่ ข.29	ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์คุณค่าความร้อนของถ่านไม้ 84
ตารางที่ ข.30	ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์คุณค่าความร้อนของถ่านหิน 85
ตารางที่ ข.31	ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์คุณค่าความร้อนของตะกอนก่อน คาร์บอนไนซ์ 85
ตารางที่ ข.32	ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์คุณค่าความร้อนของตะกอนคาร์บอนไนซ์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 85
ตารางที่ ข.33	ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์คุณค่าความร้อนของตะกอนคาร์บอนไนซ์ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 86
ตารางที่ ข.34	ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์คุณค่าความร้อนของตะกอนคาร์บอนไนซ์ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 86

สารบัญรูปภาพ

	หน้า	
รูปที่ 2.1	อิทธิพลของอุณหภูมิต่อคุณภาพของถ่าน (ซึ่งค่าปริมาณถ่าน , องค์ประกอบของถ่าน มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ของไม้แห้ง ปริมาณน้ำ การสูญเสียอันเนื่องมาจากการลวกติดไฟ การดูดซับของกรด มีหน่วยเป็น มิลลิลิตรต่อกรัมของถ่าน ค่าความต้านทานการนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโอห์ม การดูดซับน้ำ มีหน่วยเป็นกรัมต่อ 100 กรัมของถ่านแห้ง)	13
รูปที่ 2.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ และปริมาณ ของถ่านกับค่าอุณหภูมิในการทำคาร์บอนไนซ์	14
รูปที่ 2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของถ่านที่เหลือ ค่าพลังงานความร้อน จากการเผาไหม้ และประสิทธิภาพในการผลิตถ่าน กับค่าอุณหภูมิในการทำคาร์บอนไนซ์ของไม้ red oak , southern yellow pine , black cherry และ hybrid poplar	15
รูปที่ 2.4	แสดงค่าการสูญเสียน้ำหนักของไม้ red wood ที่ค่าอัตราการให้ความร้อน 3 ค่า โดยมีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 250 , 300 , 350 , 400 และ 600 องศาเซลเซียส	16
รูปที่ 2.5	กราฟแสดงการสูญเสียน้ำหนักขององค์ประกอบต่าง ๆ ในไม้เนื้อแข็งที่ สภาวะอุณหภูมิในการทำคาร์บอนไนซ์	17
รูปที่ 2.6	Proximate Analysis	32
รูปที่ 3.1	แสดงการคาร์บอนไนซ์ด้วย Tube Furnace	47
รูปที่ 3.2	ถ่านไม้	48
รูปที่ 3.3	ถ่านหิน	48
รูปที่ 3.4	ตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์	49
รูปที่ 3.5	ตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	49
รูปที่ 3.6	ตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	50
รูปที่ 3.7	ตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	50

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

			หน้า
รูปที่	ก.1	แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสาร A ไปเป็นสาร B	61
รูปที่	ก.2	TGA51 Location of Components	64
รูปที่	ก.3	Schematic Representation of Temperature Program	65
รูปที่	ก.4	Dupont thermobalance	69
รูปที่	ก.5	แสดงเครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA)	70
รูปที่	ก.6	แสดงเครื่อง Bomb Calorimeter	75
รูปที่	ก.7	แสดงอุปกรณ์สำหรับอัดเม็ดสารตัวอย่างของ Bomb Calorimeter	75
รูปที่	ข.1	แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยของถ่านไม้	88
รูปที่	ข.2	แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยของถ่านหิน	89
รูปที่	ข.3	แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยของตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์	90
รูปที่	ข.4	แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยของตะกอนคาร์บอนไนซ์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	91
รูปที่	ข.5	แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยของตะกอนคาร์บอนไนซ์ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	92
รูปที่	ข.6	แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยของตะกอนคาร์บอนไนซ์ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ

ความหมาย

ASTM	American Standard Test Method
BOD	Biological Oxygen Demand
cal / g	แคลอรีต่อกรัม
°C	องศาเซลเซียส
cm ³	ลูกบาศก์เซนติเมตร
DS	Dissolved Solid
°E	องศาตะวันออก
F / M	Food Microorganism ratio
g / l	กรัมต่อลิตร
GJ	Gigajoule
hr	ชั่วโมง
kcal / m ³	กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร
kg	กิโลกรัม
mg / l	มิลลิกรัมต่อลิตร
ml / min	มิลลิลิตรต่อนาที
mm	มิลลิเมตร
mV	มิลลิโวลต์
N	นอร์มัล
pH	พีเอช
SS	Suspended Solid
TGA	Thermogravimetric Analysis
°W	องศาตะวันตก
%	เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำวิจัย

ในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา ประเทศไทยได้ขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมอย่างมาก มีการใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ไฟฟ้า ไม้และอื่นๆ ซึ่งจากการบริโภคไม้ทั้งในภาคครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม ภาคสังคมและบริการ จึงทำให้ไม้ในประเทศไทยเริ่มขาดดุล และจากการสำรวจของ FAO พบว่า ปริมาณการขาดดุลของป่าไม้มีค่ามากถึง 30 – 35 ล้านลูกบาศก์เมตรทุกปีในช่วงปี 2523 – 2533 จากการบริโภคไม้เป็นจำนวนมากขนาดนี้ จึงทำให้ประเทศต้องประสบกับปัญหาการบุกรุกตัดไม้ทำลายป่าจนทำให้เกิดสภาพป่าเสื่อมโทรม ปัญหาดังกล่าวได้สะสมเป็นเวลานานจนทำให้รัฐบาลจำเป็นต้องดำเนินนโยบายการปิดป่า ซึ่งแน่นอนจากนโยบายนี้ย่อมทำให้ไม้หาได้ยากขึ้นและราคาแพง

นอกจากนี้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 5 ได้มีการสนับสนุนการใช้ถ่านหินในอุตสาหกรรม เพื่อลดการใช้น้ำมันซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ประเทศต้องเสียดุลการค้าอย่างมาก แต่ถ่านหินในประเทศไทยนั้นส่วนใหญ่จะเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำ อีกทั้งยังเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดใช้แล้วหมดไปได้เช่นเดียวกับป่าไม้ที่มีการนำไม้มาทำเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิงต่างๆ ดังกล่าว สามารถกระทำได้ด้วยการพยายามหาแหล่งเชื้อเพลิงอื่นมาทดแทน

ตะกอนจากน้ำทิ้งเป็นวัสดุที่เหลือจากการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในแง่ของพลังงาน โดยการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยตะกอนของอุตสาหกรรมจะมีปริมาณมากและถูกทิ้งโดยมิได้นำมาใช้ประโยชน์ การพัฒนาการผลิตเชื้อเพลิงจากตะกอนเพื่อใช้ทดแทนถ่านไม้และถ่านหิน จึงเป็นลู่วางที่ดีที่สามารถทำได้.

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของถ่านไม้ ถ่านหินและตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์
- 1.2.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อคุณสมบัติในการคาร์บอนไนซ์
- 1.2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของตะกอนคาร์บอนไนซ์กับถ่านไม้ ถ่านหินและตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของถ่านไม้ ถ่านหินและตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์ อันได้แก่ ความชื้น สารระเหย ซี้เก้้า คาร์บอนคงที่ คุณค่าความร้อน และกำมะถัน

1.3.2 ทำการคาร์บอนไนซ์ตะกอนโดยแปรผันอุณหภูมิและเวลาเป็นดังนี้

- 300 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการคาร์บอนไนซ์ 1 ชั่วโมง
- 500 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการคาร์บอนไนซ์ 1 ชั่วโมง
- 500 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการคาร์บอนไนซ์ 3 ชั่วโมง

1.3.3 ทดสอบองค์ประกอบทางเคมี อันได้แก่ ความชื้น สารระเหย ซี้เก้้า คาร์บอนคงที่ และกำมะถัน และคุณสมบัติทางความร้อนของตะกอนที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์ รวมทั้งหาเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้

1.3.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของตะกอนคาร์บอนไนซ์กับถ่านไม้ ถ่านหินและตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์

1.4 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เป็นการลดการใช้ปริมาณไม้ และถ่านหินให้น้อยลง
- 1.4.2 เป็นการนำเอาวัสดุที่เหลือจากการบำบัดน้ำเสียมาใช้ให้เป็นประโยชน์
- 1.4.3 เป็นการลดปัญหาการหาวิธีการกำจัดตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสีย
- 1.4.4 เป็นแนวทางในการนำตะกอนมาใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ระยะเวลาการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย												
	เมย	พค	มิย	กค	สค	กย	ตค	พย	ธค	มค	กพ	มีค	
ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล	=====												
จัดทำและเสนอเค้าโครงงานวิจัย			=====										
เตรียมอุปกรณ์และสารเคมี						=====							
ทำการคาร์บอนไนต์ตัวอย่างตะกอนด้วยอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด								=====					
ทดสอบหาค่าประกอบทางเคมีของตะกอนคาร์บอนไนต์เปรียบเทียบกับตะกอนก่อนคาร์บอนไนต์ ถ่านไม้และถ่านหิน								=====					
ทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของตะกอนคาร์บอนไนต์เทียบกับตะกอนก่อนคาร์บอนไนต์ ถ่านไม้และถ่านหิน										=====			
รวบรวมและวิเคราะห์ผลการทดลอง												=====	
สรุปและวิจารณ์													=====
จัดเตรียมและเสนอรายงานการวิจัย													=====

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ขบวนการผลิตของบริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด

2.1.1 การไม่มันสำปะหลัง

รถขนมันสำปะหลังจะมาส่งมันที่ลานและจะมีสายพานเคลื่อนย้ายมันสำปะหลังไปเพื่อทำการปอกมัน จากนั้นจะทำการล้างมันสำปะหลัง และจะเข้าสู่ระบบการไม่มันสำปะหลัง ซึ่งใน 1 วัน จะมีการไม่มันสำปะหลังประมาณ 2,500 ตัน ซึ่งจะได้แป้งประมาณ 400 ตันของมันสด

ขั้นตอนการไม่มันสำปะหลังเกิดของเสียดังนี้ คือ

1. เปลือกที่เกิดจากการปอกมัน
2. น้ำเสียที่เกิดจากการล้างมันสำปะหลังจะส่งไปยังระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่

ใช้ออกซิเจน

2.1.2 การ Modified Starch

จากการไม่มันสำปะหลังจะได้แป้งที่มีความชื้นพอสมควรซึ่งชื้นประมาณ 20-22 โบลเม่ จะเข้าสู่การ modified starch ดังนี้

1. ถังปฏิกรณ์

น้ำแป้งที่ชื้นจะเข้าสู่ถังปฏิกรณ์มีการอุ่นน้ำแป้งโดยใช้ Heat Exchanger จากนั้นมีการเติมสารเคมีและกำหนดระยะเวลาที่ให้น้ำแป้งอยู่ในถังปฏิกรณ์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ โดยระยะเวลาที่ใช้ขึ้น ขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการซึ่งอาจจะเป็น 4 , 5 หรือ 20 ชั่วโมง และเมื่อเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์แล้ว จะหยุดการ Operate ในขั้นตอนนี้จะมีการสุ่มตัวอย่างไปตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่าตรงตามต้องการหรือไม่ จากนั้นจะบ่มไปยังถังพัก

2. ถังพัก

เมื่อบ่มน้ำแป้งเข้าสู่ถังพัก น้ำแป้งจะถูกนำไปกรองล้างเอากากอ่อนหรือสารเคมีที่สกปรกออก และมีการทำให้น้ำแป้งชื้นมากขึ้น น้ำที่ได้จะมีหางน้ำแป้งและจะนำไปกรอง

ขั้นตอนนี้เกิดของเสีย คือ

1. กากอ่อนที่ได้จากการกรองถูกบ่มไปอัด ส่วนกากส่งไปอัดเม็ดใช้ทำอาหารสัตว์
2. น้ำเสียจากการล้างกากอ่อน สารเคมีที่สกปรกและหางน้ำแป้งจะเข้าสู่ระบบ

บำบัดแบบเติมอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. hydrocyclone

จะมีการทำให้น้ำแบ่งชั้นขึ้นอีกครั้ง ซึ่งน้ำที่เกิดขึ้นจะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบเติมอากาศ ส่วนน้ำแบ่งที่ชั้นและตะกอนจะถูกปั๊มไปยัง feed tank

4. feed tank

เมื่อน้ำแบ่งเข้าสู่ feed tank และมีการป้อนเข้าไปทำการ centrifuge ทำให้น้ำที่หนักจะตกลงและน้ำที่เบาจะลอยขึ้น น้ำที่หนักจะผ่านเข้าสู่ magnetic separator เพื่อทำการแยกเศษโลหะออกจากรวม น้ำที่เบาจะเข้าสู่เครื่องบดละเอียดและเข้าสู่ตู้แบ่ง จะมีตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh แบ่งที่ไม่ผ่านตะแกรงจะเป็นน้ำหยาบต้องให้ผ่านเครื่องเป่าลมใหม่ ส่วนน้ำที่ผ่านการร่อนแล้วจะทำการบรรจุให้ ลูกค้า

น้ำเสียที่ได้ทั้งหมดจะนำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโดยแบ่งเป็น

1. น้ำเสียจากขบวนการไม่แบ่งจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic)

2. น้ำเสียจากขบวนการ modified starch จะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ (aerobic) เนื่องจากน้ำเสียที่มีสารเคมีสูง ถ้านำเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic) อาจทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้อยู่ตายได้

2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทสำปะหลังพัฒนาจำกัด

2.2.1 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic)

มีลักษณะเป็นโดมพลาสติกทำด้วยไฟเบอร์ชนิดพิเศษที่ทนต่อความร้อน เป็นระบบปิด โดย น้ำเสียก่อนเข้าระบบนี้จะทำการ pretreat เพื่อปล่อยให้ตกตะกอนก่อน แล้วจึงเข้าสู่หมัก

1. high load

น้ำเสียที่เข้ามาจะมี BOD 12,000 – 18,000 mg/L เริ่มต้นจะใช้ acid bacteria ทำการย่อยน้ำเสียก่อน ซึ่งทำให้เกิดสภาวะกรด ผลพลอยได้ของผลิตภัณฑ์จะเป็นอาหารของ methane bacteria ใน low load ส่วนแก๊สที่เกิดขึ้นจะเป็น biogas คือ CH_4 และ CO_2 ซึ่งจะใช้ในการเป็นเชื้อเพลิงโดยจ่ายไปยังระบบ modified starch สามารถจุดไฟได้ในเตาที่ใช้ความร้อนในการอบแป้ง สุดท้ายน้ำเสียที่ออกจากระบบนี้จะมี BOD ประมาณ 10,000 mg/L

กรณีนี้ค่า pH ของระบบนี้ต่ำมาก ต้องมีการ return sludge จาก activated sludge ที่มี pH เป็น 7 – 8 มาช่วยปรับ pH ให้เหมาะสม แต่มีการ return sludge นี้น้อยเนื่องจากถ้าใช้จำนวนมากจะมีพิษต่อเชื้อได้ เพราะเชื้อเป็น acid bacteria

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. low load

จะทำการปรับน้ำเสียจาก high load ให้เป็นกลางโดยใช้โซดาไฟ แล้วน้ำจะเข้าสู่ระบบ aerobic

2.2.2 ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ (aerobic)

น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ จะมีน้ำเสียจากขบวนการ modified starch และน้ำเสียจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic) ระบบนี้มีการเติมอากาศได้น้ำด้วย blower หัวจ่ายอากาศจะทำให้เกิดฟองอากาศเล็กๆขึ้น ทำให้มีการแลกเปลี่ยนที่ดี มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบทั่วไป เมื่อผ่านจากบ่อเติมอากาศเพื่อให้ จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายอินทรีย์แล้วจะเข้าสู่ถังตกตะกอน เมื่อตกตะกอนแล้วน้ำที่ออกจากระบบจะปล่อยออกสู่ทะเล ซึ่งมี BOD ต่ำกว่า 20 mg/L pH 8 – 9 มีของแข็งที่แขวนลอย (SS) ประมาณ 50 mg/L และของแข็งที่ละลายได้ (DS) ประมาณ 2,800 mg/L ซึ่งอยู่ในมาตรฐานการปล่อยน้ำเสียออกสู่ สิ่งแวดล้อม ส่วนตะกอนที่ได้จะเข้าสู่บ่อพักตะกอน เพื่อนำบางส่วนเติมลงระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ เพื่อปรับ pH ส่วนที่เหลือจะเข้าสู่การรีดตะกอนโดยมีการเติมสารโพลีเมอร์เพื่อให้ตะกอนรวมตัวกันและสามารถรีดออกมาเป็นแผ่นได้ ปริมาณตะกอนที่ได้ประมาณ 20 – 30 ตัน/วัน

อุปสรรคในระบบนี้คือ ในน้ำเสียของโรงงานแปงมันสำปะหลังจะมีเกลือซัลเฟตมากซึ่งไม่สามารถนำตะกอนมาทำการ return sludge ไปยังระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศได้ เนื่องจากถ้าเติมลงไปจะทำให้เป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์จึงทำให้เกิดตะกอนสะสมปริมาณมาก

2.3 การเกิดตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

ในระยะแรก ปริมาณแบคทีเรียในระบบจะน้อยมาก เมื่อเทียบกับอาหาร หรือ BOD ในน้ำทิ้ง ดังนั้น อัตราส่วน F/M (Food Microorganism ratio) จะสูงกว่า 2.5 เพราะมีอาหารเหลืออยู่มาก แบคทีเรียสามารถเจริญได้อย่างไม่มีขีดจำกัด อัตราการทำลาย BOD ก็สูงขึ้นด้วย แบคทีเรียแต่ละตัวจะมีพลังงานมาก เมื่อสัมผัสก็จะผลัดจากกันได้ ซึ่งในระยะนี้จะไม่เกิดตะกอนเร่ง

เมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ ปริมาณสารอาหาร และ BOD ลดลงต่ำลง ในขณะที่ปริมาณแบคทีเรียยังคงสูงอยู่ และยังคงเพิ่มจำนวนเรื่อยๆ ค่า F/M ลดลงอย่างรวดเร็ว จนถึงจุดที่ปริมาณแบคทีเรียบางตัวจะตาย และจับกันเป็นตะกอนเล็กๆ ที่เรียกว่า “ floc ” โดยบางส่วนจะมีพลังงานลดลง และเมื่อสัมผัสกันจะเกิดการจับกันและตกตะกอนเกิดตะกอนเร่ง ขึ้นในระบบการบำบัดดังกล่าว และจะต้องควบคุมอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียด้วยการแยกตะกอนเร่งบางส่วนออก และเติมน้ำเสียที่มีอาหารและค่า BOD เข้าไปใหม่ในอัตราที่เหมาะสม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และนำเอาตะกอนเร่งเดิมของระบบกลับมาใช้ใหม่ เพื่อรักษาสมดุลของปริมาณอาหารหรือค่า BOD กับปริมาณของแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์

2.4 การนำตะกอนมาใช้ประโยชน์

ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานมันสำปะหลังมีการเกิดตะกอนในระบบ โดยตะกอนที่เกิดขึ้นนี้ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้โดย

2.4.1 การผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas Production)

เกิดขึ้นในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนมาก จะมีสารเกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยานับร้อยชนิด แต่ละปฏิกิริยาก็จะมีเอนไซม์ที่เฉพาะเจาะจงเข้ามาเกี่ยวข้อง

องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพจะไม่คงที่ องค์ประกอบคร่าวๆ มีดังนี้

CH ₄	55 – 65 %
CO ₂	35 – 45 %
N ₂	0 – 3 %
H ₂	0 – 1 %
H ₂ S	0 – 1 %

แก๊สที่ได้ต้องการให้มีมีเทน (CH₄) มากที่สุดเพราะว่าเป็นแก๊สที่มีค่าความร้อนสูง (High Calorific Value) ถึงประมาณ 9,000 kcal/m³ โดยทั่วไปค่าความร้อนของแก๊สชีวภาพประมาณ 4,500 – 6,300 kcal/m³ ขึ้นกับปริมาณแก๊สอื่นๆ ที่ปนอยู่กับมีเทน

2.4.2 การทำปุ๋ยหมัก (Composting)

การทำปุ๋ยหมัก คือ กระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาและทำให้ได้สารอินทรีย์ที่อยู่ตัว ซึ่งสามารถนำไปใช้กับพื้นดินโดยไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม หรือคือการควบคุมกระบวนการที่ใช้ อากาศ (Aerobic Process) ภายใต้อุณหภูมิที่จุลินทรีย์เจริญได้ดีทั้ง mesophilic และ thermophilic bacteria ทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ, แร่ธาตุ และสารอินทรีย์ที่อยู่ตัว โดยทั่วไปการทำปุ๋ยหมักใช้กับสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งและกึ่งของแข็ง

การทำปุ๋ยหมักแบ่งได้เป็น

การหมักแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Composting) คือการย่อยสลายของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ (Organic Waste) ในที่มีออกซิเจน (อากาศ) ได้ผลผลิตขั้นสุดท้ายจากกระบวนการเมตาบอลิซึม คือ คาร์บอนไดออกไซด์ , แอมโมเนีย , น้ำ และความร้อน

การหมักแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Composting) คือการย่อยสลายของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ (Organic Waste) ในที่ที่ไม่มีออกซิเจน ผลผลิตขั้นสุดท้ายคือ มีเทน , คาร์บอนไดออกไซด์ , แอมโมเนีย , trace amounts of other gases และ low – molecular – weight organic acids แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไนเตรตโดย nitrifying bacteria ระหว่างเก็บไว้

สำหรับกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจนจะมีอัตราการย่อยสลายเร็วกว่าแบบไร้ออกซิเจน จึงนิยมใช้กับขยะอินทรีย์ปริมาณมาก ๆ ส่วนกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นช้า มีกลิ่นเหม็นของพวก mercaptans และซัลไฟด์ ขบวนการนี้อาจ operate ให้มีอุณหภูมิสูงได้ถึง thermophilic levels ได้และสามารถทำได้ง่าย

2.4.3 การผลิตสาหร่าย (Algae Production)

การเลี้ยงสาหร่ายในน้ำเสียจะทำให้ได้โปรตีนที่อยู่ในเซลล์ของสาหร่าย การผลิตสาหร่ายจากน้ำเสียจึงเป็นการเปลี่ยนของเสียที่อยู่ในรูปโปรตีนที่มีประโยชน์ แต่สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีตะกอนเกิดขึ้นปริมาณมาก อาจทำการกำจัดตะกอนโดยการนำมาใช้เลี้ยงสาหร่าย

ซึ่งสาหร่ายสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดย

- ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์
- ใช้เป็นปุ๋ย
- ให้พลังงาน

2.4.4 การเลี้ยงปลา

วิธีการผลิตสาหร่ายจากการบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูง ซึ่งได้โปรตีนถึงประมาณ 50 % แต่เนื่องจากสาหร่ายมีขนาดเล็กโดยทั่วไปเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ทำให้ยากต่อการเก็บเกี่ยวและไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สาหร่ายที่เจริญในบ่อบำบัดน้ำเสียจัดเป็น phytoplankton ใช้เป็นอาหารให้กับปลากินพืชได้ (herbivore fish) สาหร่ายไม่เหมาะเป็นอาหารสัตว์ ยกเว้น Spirulina เพราะมีผนังเซลล์แข็งทำให้ย่อยยาก

การใช้ organic waste ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมี 3 รูปแบบ คือ

- เลี้ยงปลาในบ่อด้วย excreta , sludge หรือ manure
- ปล่อยน้ำจากบ่อบำบัดน้ำเสียลงในบ่อปลา
- เพาะเลี้ยงปลาโดยตรงในบ่อบำบัดน้ำเสีย

2.4.5 เป็นแหล่งให้พลังงาน

สำหรับของเสียหรือตะกอนที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ปริมาณมากย่อมเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นอาจเป็นแบบใช้ออกซิเจนและแบบไร้ออกซิเจนหรืออาจเกิดขึ้นร่วมกัน ซึ่งในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนจะให้ปริมาณความร้อนสูงกว่าแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้นหากมีการควบคุมระบบให้มีสภาวะที่เหมาะสมก็จะได้แหล่งพลังงานความร้อนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ และตะกอนแห้งก็สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อกำเนิดไอน้ำด้วย

2.5 กระบวนการคาร์บอนไนซ์ (Carbonization)

2.5.1 นิยาม

คาร์บอนไนเซชันเป็นรูปแบบหนึ่งของกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ไพโรไลซิส ซึ่งไพโรไลซิส คือ การทำให้สารที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนเกิดการแตกออกเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างแบบง่ายโดยการใช้ความร้อน คาร์บอนไนเซชันจึงเป็นเทอมที่ใช้เมื่อสารที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อน (เช่นไม้หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร) เกิดการแตกออกโดยความร้อนได้ เป็นคาร์บอนพื้นฐานและสารประกอบทางเคมีที่มีคาร์บอนอยู่บ้างในโครงสร้างเคมี ดังนั้นผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการในกระบวนการคาร์บอนไนเซชันคือ ถ่าน ส่วนผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้แก่ กรดไพโรไลกนีส (Pyrolygineous acid) ก๊าซที่เกิดจากไม้ (wood gas) ทาร์และกรดอะซิติกจะถือเป็นผลิตภัณฑ์รอง (By - product) และโดยปกติผลิตภัณฑ์รองนี้ไม่ถูกเก็บไว้แต่จะถูกเผาเปลี่ยนให้เป็นความร้อนเพื่อใช้สำหรับการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชัน นอกจากนี้เทอมคาร์บอนไนเซชันยังสามารถใช้ได้กับการไพโรไลซิสถ่านหินให้กลายเป็นถ่านโค้ก

ถ่าน (Charcoal) เป็นของที่ได้หรือของที่เหลือเมื่อไม้หรือวัสดุจำพวกไม้อื่น ๆ ถูกให้ความร้อนในภาชนะปิดที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส โดยปราศจากอากาศและถูกทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องโดยไม่ให้อากาศเข้าไป ถ่านไม้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นธาตุคาร์บอนโดยปกติมีค่าประมาณ 60 – 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือจะเป็นสารระเหยได้จำพวกทาร์ น้ำที่ถูกดูด

ซิมไ้ตลอดจนซี้เก้ (ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ธาตุ) ตัวอย่างของการวิเคราะห์ทางเคมีของถ่านที่ใช้ ในทางการค้าแสดงไว้ดังนี้

ปริมาณคาร์บอนคงที่	72	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
สารระเหยได้	17	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
น้ำ	8	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ซี้เก้	3	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ทั้งหมด	100	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.5.2 ขั้นตอนในการเกิดถ่าน (The Stages in Charcoal Formation)

เมื่อไม้ในเตาได้รับความร้อน มันจะผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ที่จะเปลี่ยนไปเป็นถ่านซึ่งในระดับห้องทดลองได้มีการศึกษาการเกิดถ่านในภาชนะร้อนที่ไม่ให้อากาศเข้า การเปลี่ยนแปลงต่อไปนี้จะเกิดขึ้นในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น

- ที่อุณหภูมิ 20 ถึง 110 องศาเซลเซียส ไม้จะดูดซับความร้อนและถูกทำให้แห้ง โดยความชื้นในไม้จะถูกทำให้กลายเป็นไอน้ำ อุณหภูมิของเตาจะยังคงอยู่ที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งไม้ทั้งหมดถูกทำให้แห้ง
- ที่อุณหภูมิ 110 ถึง 270 องศาเซลเซียส ในขั้นนี้ความชื้นที่ยังคงหลงเหลืออยู่บ้างจะถูกดึงออกไปและองค์ประกอบบางอย่างของไม้จะเริ่มสลายตัวและให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีกรดอะซิติกและเมทานอลปนบ้าง ความร้อนจะถูกดูดโดยไม้
- ที่อุณหภูมิ 270 ถึง 290 องศาเซลเซียส การสลายตัวแบบคายความร้อนของไม้เริ่มเกิดขึ้นและการแตกตัวยังคงดำเนินต่อไปโดยไม่ต้องเพิ่มความร้อน ในขั้นนี้จะเริ่มมีก๊าซและไอน้ำรวมทั้ง tar ออกมาด้วย
- ที่อุณหภูมิ 290 ถึง 400 องศาเซลเซียส ก๊าซที่เผาไหม้ได้ (Combustible gas) เช่น ไฮโดรเจนและมีเทน จะเกิดขึ้นและออกไปจากระบบ รวมทั้งของเหลวที่ควบแน่นได้ ไอน้ำ กรดอะซิติก เมทานอล อะซีโตน ฯลฯ และทาร์ซึ่งจะมากและเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น
- ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส การคาร์บอนไนเซชัน (การเปลี่ยนจากไม้ไปเป็นถ่าน) จะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ที่อุณหภูมินี้ แต่จำเป็นจะต้องให้ความร้อนต่อไปเพื่อลดปริมาณสารระเหยง่ายและเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) ของถ่าน
- ที่อุณหภูมิ 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส สารระเหยง่าย ส่วนใหญ่อยู่ในรูปทาร์จะออกไปรวมทั้งไฮโดรเจนและมีเทนที่เหลือด้วย ปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านจะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 80% ซึ่งทำให้ได้ถ่านที่มีคุณภาพดีแข็งแรง เมื่อถึงขั้นนี้แล้วปกติจะเป็นการสิ้นสุดกระบวนการคาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอไนเซชัน แต่ถ้ายังคงให้ความร้อนต่อไป จนถึงอุณหภูมิ 800 ถึง 900 องศาเซลเซียส แล้ว สารระเหยง่ายจะถูกลดลงจนไม่มีอยู่เลย และถ่านที่ได้ก็จะประกอบด้วยคาร์บอนและซีดีเอ็นเท่านั้น

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการคาร์บอนไนเซชันสุดท้าย (final carbonization temperature) กับองค์ประกอบทางเคมีของถ่านและปริมาณถ่านที่ได้

อุณหภูมิคาร์บอนไนเซชัน(° C)	การวิเคราะห์ทางเคมีของถ่าน		ปริมาณถ่านที่ได้ (bone dry basis)
	% คาร์บอนคงที่	% สารระเหยง่าย	
300	68	31	42
500	86	13	33
700	92	7	30

ซึ่งจะเห็นว่าถ้าอุณหภูมิต่ำถ่านที่ได้จะมีสารระเหยอยู่มากและถ่านนั้นจะไม่เปราะแต่จะมีควันมากเมื่อนำไปเผา และยังกีดกรรอนต่อถูกกระดาษและถุงปอและโลหะที่ใช้เก็บถ่าน ทั้งนี้เนื่องจากการที่มีกรดอะซิติกหลงเหลืออยู่ในถ่าน ส่วนถ่านที่ได้จากกระบวนการอุณหภูมิสูงก็จะแข็งแต่เปราะ และยากต่อการตีไฟ แต่เมื่อเผาไหม้แล้วจะไม่มีควัน และไม่กีดกรรอนต่อวัสดุ

2.5.3 แพกเตอร์ที่มีผลต่อการคาร์บอนไนเซชัน

ขั้นตอนการคาร์บอนไนเซชันในกระบวนการผลิตถ่านเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด เนื่องจากในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนนี้มีอิทธิพลมากต่อคุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ถ่านที่ได้ ดังนั้นการศึกษาแพกเตอร์ที่มีผลต่อการคาร์บอนไนเซชันจึงเป็นสิ่งจำเป็น

แพกเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการทำคาร์บอนไนเซชันมีดังนี้

- ปริมาณความชื้นของไม้
- อุณหภูมิของการทำคาร์บอนไนเซชัน
- อัตราการให้ความร้อน
- ชนิดของอุปกรณ์ทำคาร์บอนไนซ์ ซึ่งรวมถึงการออกแบบ การควบคุมการทำงานของกระบวนการผลิตถ่าน
- องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของความชื้นของไม้

ไม้จะไม่สามารถคาร์บอนไนต์ได้เลยจนกว่าจะถูกทำให้แห้งแบบ bone dry น้ำที่อยู่ในไม้สีเขียว (บางครั้งมากกว่า 50 %) ต้องถูกทำให้ระเหยไปก่อนที่การคาร์บอนไนต์จะเริ่มขึ้น วิธีการปฏิบัติที่ดีนี้คือทำให้ความชื้นของไม้แห้งไปในอากาศ โดยอาศัยความร้อนจากดวงอาทิตย์ก่อนที่จะนำไม้เข้าไปในเตาเผา ปัญหาที่เกิดขึ้นคือจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมระหว่างราคาของการเก็บไม้ไว้ในห้องเก็บเทียบกับผลผลิตที่สูงขึ้นจากการคาร์บอนไนต์แห้ง ในป่าแถบร้อนชื้นนั้นจะต้องพิจารณาถึงการสูญเสียอันเนื่องมาจากการสลายตัวและการทำลายโดยแมลง ในขณะที่ไม้อยู่ในระหว่างการทำให้แห้งด้วยและนี่ก็เป็นเหตุผลอย่างหนึ่งที่ว่าทำไมการผลิตถ่านในบริเวณป่าไม้แบบซาวันนา (savannah) จึงประสบความสำเร็จมากกว่าในป่าไม้แบบร้อนชื้น ในบริเวณป่าไม้แบบซาวันนานั้น ไม้จะแห้งอย่างรวดเร็วและสิ่งนี้เป็นการลดการสลายตัวและการทำลายโดยแมลงลงได้

ในเตาที่ได้รับการออกแบบอย่างดีโดยสามารถควบคุมอากาศที่เข้าได้นั้น ไม้ที่แห้งก็จะสามารถกลายเป็นถ่านได้เร็วกว่าและได้ถ่านที่สม่ำเสมอมากกว่าไม้ที่ชื้น สำหรับเตาที่มีอากาศรั่วเข้ามาและเตาที่ได้รับการออกแบบไม่ดีนั้นผู้ทำกรวดเครื่องจะไม่ชอบไม้ที่แห้งเพราะการคาร์บอนไนต์จะเกิดอย่างรวดเร็วมากเกินไป ดังนั้นวิธีการที่ดีคือต้องเลือกเตาที่ได้รับการออกแบบที่ดี ซึ่งจะทำให้ควบคุมปริมาณอากาศเข้าได้

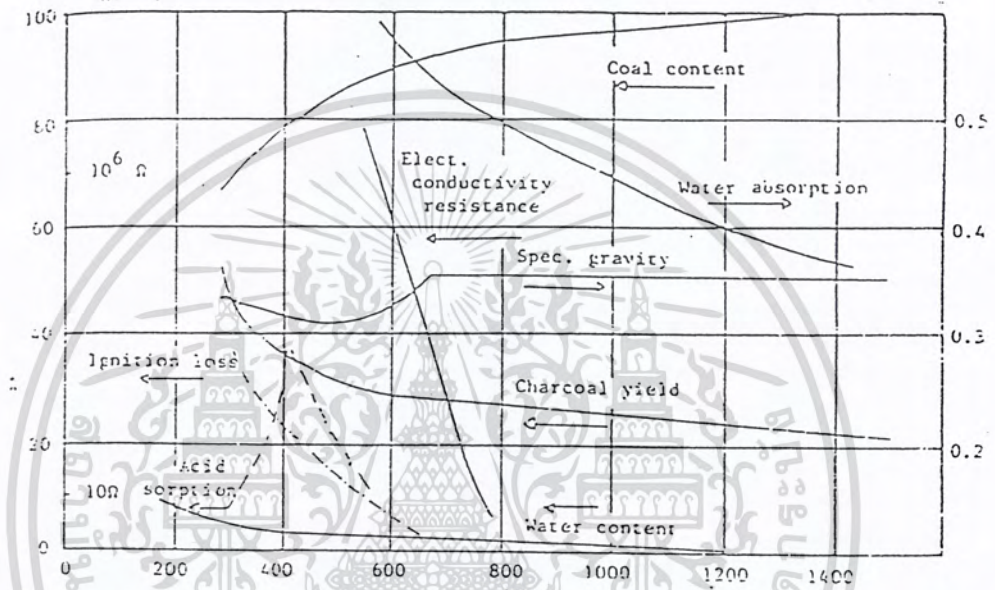
มีผู้ที่ทำการศึกษาอิทธิพลของความชื้นในไม้หลายท่าน พบว่าสำหรับไม้ที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 35 % นั้น อิทธิพลของความชื้นจะมีผลต่อปริมาณของถ่านที่ได้ ค่าความแข็งแรงกด (Compressive strength) ของถ่าน ปริมาณของถ่านที่ละเอียดมีเพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามค่าความชื้นของไม้จะมีอิทธิพลต่อปริมาณและคุณภาพของถ่านมาก เมื่อค่าปริมาณความชื้นมีค่ามากกว่า 35 %

อิทธิพลของอุณหภูมิของการทำคาร์บอนไนต์

จากการทดสอบของห้องปฏิบัติการ U.S. Forest Products พบว่าแพ็คเกจหลักที่สำคัญที่สุดต่อกระบวนการคาร์บอนไนต์คือ อุณหภูมิของการทำคาร์บอนไนต์ อิทธิพลของอุณหภูมิการทำคาร์บอนไนต์ที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของถ่านที่ผลิตได้นี้ได้รับ จากการศึกษารายงานของ Bergstrom (ในปี 1954) และของ Pohl (ปี 1957)

- อิทธิพลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติทางกายภาพของถ่าน

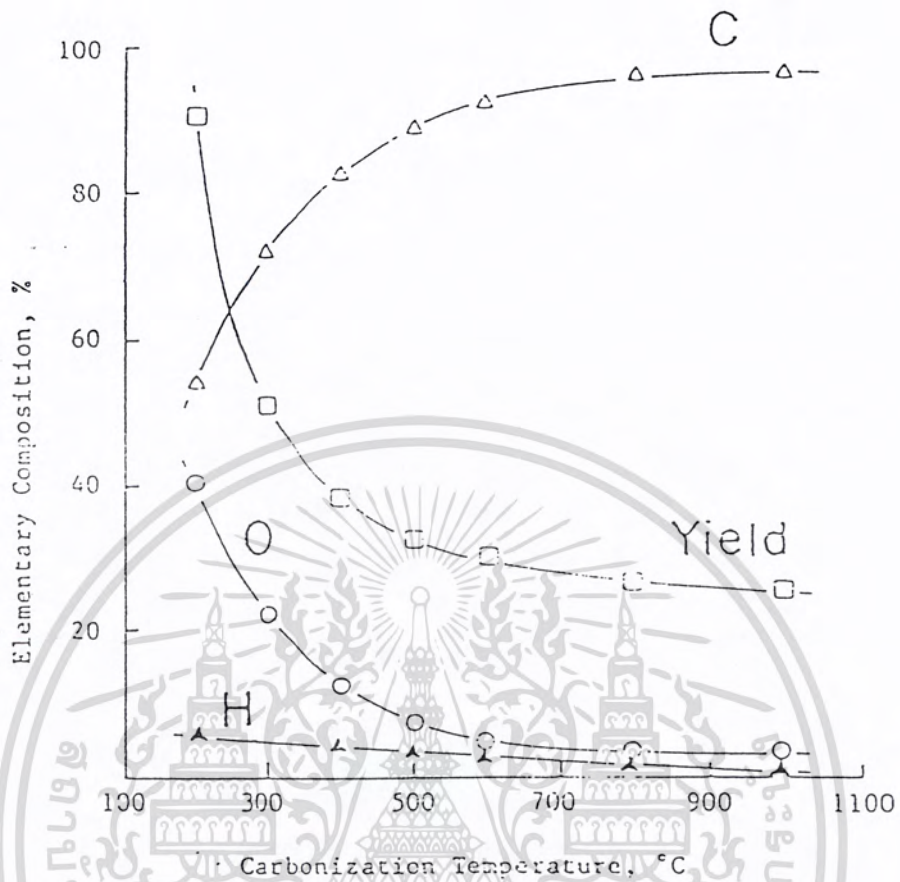
Bergstrom ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านต่างๆ ของถ่านที่เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิการทำคาร์บอนไนซ์สูงกว่า 600 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption) และค่าการนำทางไฟฟ้าของถ่าน (electrical conductivity) มีค่าขึ้นกับอุณหภูมิ ในขณะที่ปริมาณถ่าน ค่าความถ่วงจำเพาะ ปริมาณความชื้นและปริมาณถ่านมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิน้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อคุณภาพของถ่าน (ซึ่งค่าปริมาณถ่าน , องค์ประกอบของถ่านมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ของไม้แห้ง ปริมาณน้ำ การสูญเสียอันเนื่องมาจากการลุกติดไฟ การดูดซับของกรด มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกรัมของถ่าน ค่าความต้านทานการนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโอห์ม การดูดซับน้ำ มีหน่วยเป็นกรัมต่อ 100 กรัมของถ่านแห้ง)

- อิทธิพลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ และปริมาณถ่าน

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณถ่านและองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ กับอุณหภูมิของการทำคาร์บอนไนซ์ได้แสดงในรูปที่ 2.2 (Pohl, 1957) ค่าสัดส่วนของธาตุคาร์บอนในถ่านมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิของการทำคาร์บอนไนซ์มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าสัดส่วนของไฮโดรเจนและออกซิเจนมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิการทำคาร์บอนไนซ์มีค่าเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบต่าง ๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างมากในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 200 – 500 องศาเซลเซียส



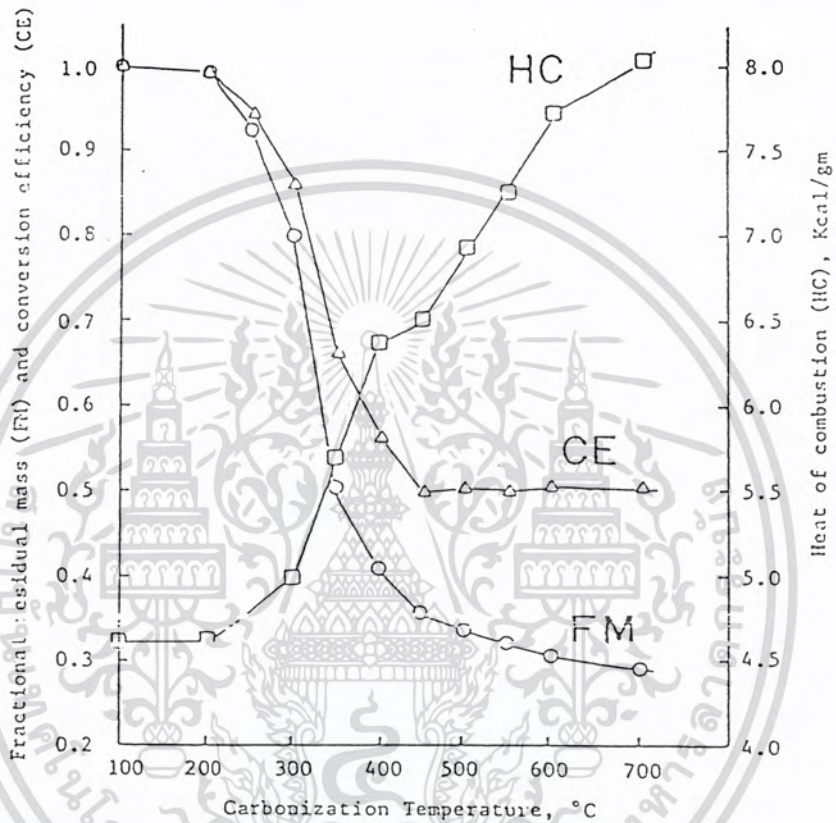
รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ และปริมาณของถ่านกับค่าอุณหภูมิในการทำคาร์บอนไนซ์

- อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการสูญเสียน้ำหนัก (Mass Loss) คุณค่าทางความร้อน (heat content) และประสิทธิภาพในการเกิดถ่าน (Conversion efficiency) ในกระบวนการคาร์บอนไนซ์

ในการศึกษาการสูญเสียของน้ำหนักในระหว่างกระบวนการคาร์บอนไนซ์นั้น สรุปได้ว่าการสูญเสียน้ำหนักส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 200 - 400 องศาเซลเซียส จากการทดลองของ Bailey และ Blankenhorn (1981) ซึ่งได้ทำการทดสอบการทำคาร์บอนไนซ์จากไม้เนื้อแข็ง 3 ชนิด และไม้เนื้ออ่อน 1 ชนิด ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 100 ถึง 700 โดยทำการวัดน้ำหนักของถ่านที่เหลือและความร้อนซึ่งได้จากการเผาไหม้ (ดังแสดงในรูป 2.3) พบว่า น้ำหนักของถ่านที่เหลือโดยเฉลี่ย และประสิทธิภาพในการเกิดถ่านมีค่าการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงอุณหภูมิระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

200 - 450 องศาเซลเซียส และค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่ออุณหภูมิมีค่ามากกว่า 300 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการนี้อาจกล่าวได้ว่าการผลิตถ่านในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 350 - 450 องศาเซลเซียส จะให้ผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพในการเกิดถ่านที่ดีกว่า โดยมีค่าความร้อนจากการเผาไหม้ปานกลาง แต่ทั้งนี้ผลของการศึกษาเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของไม้ด้วย

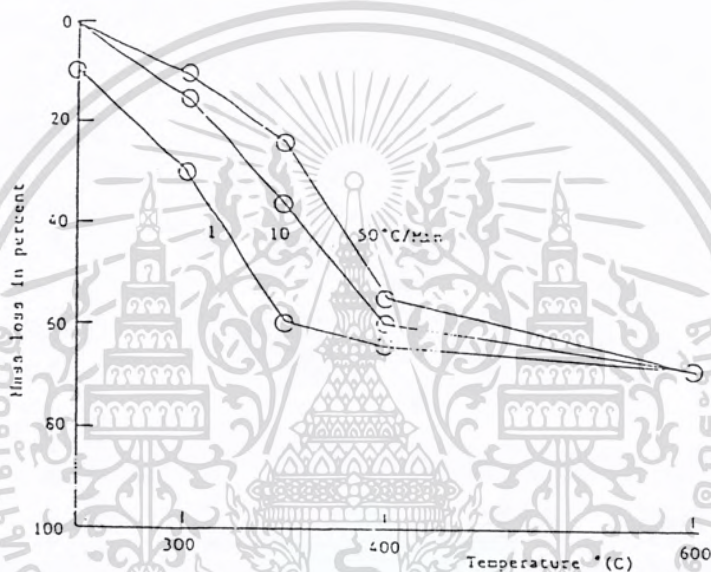


รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของถ่านที่เหลือ ค่าพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ และประสิทธิภาพในการผลิตถ่าน กับค่าอุณหภูมิในการทำคาร์บอนไนซ์ของไม้ red oak , southern yellow pine , black cherry และ hybrid poplar

อิทธิพลของค่าอัตราการให้ความร้อน (Heating rates)

การศึกษาในแง่ของอิทธิพลของ อัตราการให้ความร้อนที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักมีอยู่ น้อย Beall (1977) และ Slocum, McGinnes และ Beall (1978) ได้รายงานผลการทดลองว่า การสูญเสียของน้ำหนักไม้ Redwood ที่ค่าอัตราการให้ความร้อน 1 องศาเซลเซียส / นาที มีค่ามากกว่าที่ค่าอัตราให้ความร้อน 50 องศาเซลเซียส / นาที เมื่ออุณหภูมิในการทำคาร์บอนไนซ์มีค่า ต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตาม ค่าการสูญเสียน้ำหนักของไม้ที่ค่าอัตราการให้ความ ร้อนนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนทั้งสองมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิการทำคาร์บอนไนซ์มีค่าสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส (ดังแสดงในรูปที่ 2.4) และสังเกตได้ว่าเมื่ออัตราการให้ความร้อนมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณของถ่านมีค่าสูงตามไปด้วย แต่ในการศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราการให้ความร้อนนี้ยังต้องอาศัยข้อมูล ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของไม้และถ่าน และการสูญเสียน้ำหนักอีกมาก



รูปที่ 2.4 แสดงค่าการสูญเสียน้ำหนักของไม้ redwood ที่ค่าอัตราการให้ความร้อน 3 ค่า โดยมีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 250 , 300 , 350 , 400 และ 600 องศาเซลเซียส

อิทธิพลขององค์ประกอบทางเคมีของไม้

ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารสกัดได้ องค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามประเภทของไม้ต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ไม้เนื้อแข็งที่เจริญเติบโตใน southern pine ประกอบด้วย เซลลูโลส 33.8 – 48.7 % เฮมิเซลลูโลส 23.2 - 37.7 % ลิกนิน 19.1 – 30.3 % และสารสกัดได้ 1.1 – 9.6 % (Karchey and Koch, 1979) สารอินทรีย์เหล่านี้สามารถให้ปริมาณของถ่านแตกต่างกันที่อุณหภูมิในการคาร์บอนไนซ์ต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียส แต่จะให้ปริมาณของถ่านแตกต่างกันเล็กน้อยที่อุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ค่าความแตกต่างของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูญเสียของน้ำหนักจากองค์ประกอบต่าง ๆ ในผนังของเซลล์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียส อาจเกิดขึ้นเนื่องจากองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ และโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกัน การสูญเสีย น้ำหนักของเซลลูโลสถูกพบว่ามีค่ามากกว่าลิกนินและเฮมิเซลลูโลส (Shafizadeh และ Chin, 1977) แต่อย่างไรก็ตามที่สภาวะอุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส พบว่าองค์ประกอบทางเคมี ขององค์ประกอบในผนังเซลล์ถูกเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ค่าความชันของเส้นกราฟการสูญเสีย น้ำหนักขององค์ประกอบต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน จากลักษณะเฉพาะของกราฟ การสูญเสีย น้ำหนัก ขององค์ประกอบต่าง ๆ ของผนังเซลในไม้เนื้อแข็ง แสดงให้เห็นว่าไม้เนื้อแข็งบางชนิดสามารถให้ ปริมาณผลิตภัณฑ์ถ่านได้สูงกว่า ถ้าองค์ประกอบในผนังเซลล์ประกอบด้วยลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ในปริมาณที่สูงกว่า

สำหรับอิทธิพลของสารสกัดได้ในไม้ที่มีผลต่อปริมาณถ่านนั้นยากที่จะสรุป ทั้งนี้เนื่องจาก ปริมาณและคุณภาพของสารสกัดได้ในไม้แต่ละประเภทมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างมาก แต่ปริมาณ รวมทั้งหมดของสารสกัดได้เมื่อเทียบกับองค์ประกอบในผนังเซลล์ทั้งหมดจะมีค่าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ได้เพียงเล็กน้อย



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงการสูญเสีย น้ำหนักขององค์ประกอบต่างๆในไม้เนื้อแข็งที่ สภาวะอุณหภูมิในการทำคาร์บอนไนซ์

2.6 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ชั้น

การคาร์บอนไนซ์ชั้นไม้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อนหลายอย่างเช่น ของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ ซึ่งมีสารเคมีจำนวนมากที่สามารถสกัดแยก (extract) ออกจากของเหลวที่กลั่นตัวได้ (liquid condensate) ถ้ามีความคุ้มค่าในทางปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ถ่าน (Charcoal)

คุณสมบัติจำเพาะส่วนใหญ่ที่ใช้ควบคุมคุณภาพถ่านนั้นเริ่มมาจากอุตสาหกรรมเหล็กกล้า และเคมี คุณภาพของถ่านถูกกำหนดโดยคุณสมบัติหลายอย่างได้แก่

1. ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ถ่านที่ได้จากเตาใหม่ ๆ นั้นมีความชื้นอยู่น้อยมาก โดยปกติมีน้อยกว่า 1 % แต่ถ้ามีการดูดซึมความชื้นจากความชื้นของอากาศจะทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 5 -10 % ไม่ว่าจะเป็ถ่านที่เผาใหม่ได้ดีก็ตาม และความชื้นของถ่านสามารถเพิ่มเป็น 15 % หรือสามารถมากกว่านี้ได้ถ้ากรดและทาร์จากถ่านยังหลงเหลืออยู่

ความชื้นเป็นสิ่งเจือปนที่ทำให้คุณค่าทางความร้อน (calorific or heating value) ของถ่านลดลง ทั้งนี้เนื่องจากจะต้องมีการสูญเสียความร้อนส่วนหนึ่งเพื่อใช้ในการระเหยน้ำที่มีอยู่ในไม้นั้น

คุณลักษณะเฉพาะสำหรับถ่านนั้นปกติจะจำกัดปริมาณความชื้นให้มีค่าอยู่ในช่วง 5 - 15 % ของน้ำหนักทั้งหมดของถ่าน (gross weight of the charcoal) การหาปริมาณความชื้นทำได้โดยนำตัวอย่างถ่านมาชั่งน้ำหนักแล้วนำไปอบในเตาอบให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ซึ่งจะได้เป็นเปอร์เซ็นต์ของความชื้นต่อน้ำหนักเปียกเริ่มต้น

ถ่านที่มีความชื้นสูง (10% หรือมากกว่า) เมื่อนำไปใช้ในเตาพ่นลม (Blast furnace) ที่ใช้ในการถลุงเหล็กนั้น เมื่อได้รับความร้อนจะแตกกระจายเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ

2. สารระเหยได้นอกเหนือจากน้ำ (volatile matter)

โดยปกติแล้วสารระเหยได้นอกเหนือจากน้ำ ซึ่งประกอบด้วยของเหลวและสารจำพวกทาร์จะถูกขับดันออกจากกระบวนการคาร์บอนซีไม่หมด ถ้าการคาร์บอนเซชันนั้นดำเนินต่อไปที่อุณหภูมิสูงแล้วปริมาณของสารระเหยได้จะมีค่าต่ำ แต่ถ้าอุณหภูมิการคาร์บอนเซชันมีค่าต่ำและเวลาสั้นแล้วปริมาณของสารระเหยได้ในถ่านจะมีค่าสูง

อิทธิพลเหล่านี้จะส่งผลถึงน้ำหนักของถ่านที่ได้ ถ้าอุณหภูมิการเผาต่ำ (300 องศาเซลเซียส) จะได้ถ่านประมาณ 50 % ถ้าอุณหภูมิคาร์บอนเซชันประมาณ 500 - 600 องศาเซลเซียส สารระเหยได้จะต่ำลงและได้ปริมาณถ่าน 30 % ที่อุณหภูมิสูงมาก (ประมาณ 1000 องศาเซลเซียส) ปริมาณสารระเหยได้เกือบมีค่าเป็นศูนย์และปริมาณถ่านที่ได้มีค่าประมาณ 25%

สารระเหยได้ในถ่านจะมีค่าเปลี่ยนแปลงจาก 40 % หรือมากกว่าลงไปจนถึง 5 % หรือน้อยกว่า ซึ่งสามารถวัดได้โดยการเผาไหม้ถ่านแห้งในที่ที่ไม่มีอากาศที่ 900 องศาเซลเซียส จน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทั่งน้ำหนักคงที่ น้ำหนักที่สูญเสียไปคือสารที่ระเหยง่ายนั่นเอง โดยปกติสารที่ระเหยง่ายจะบอกแยกโดยไม่รวมกับปริมาณความชื้น

ถ่านที่มีสารระเหยได้อยู่สูงสามารถจุดไฟติดได้ง่าย แต่จะมีควันมาก ส่วนถ่านที่มีสารระเหยต่ำจะจุดติดไฟได้ยาก คุณภาพถ่านทางการค้าที่ดีจะมีปริมาณสารระเหยได้ค่าหนึ่ง (ไม่รวมปริมาณน้ำประมาณ 30 %) ถ่านที่มีสารระเหยได้สูงจะแตกออกได้ง่ายกว่าถ่านที่มีสารระเหยได้ต่ำซึ่งแข็ง

3. ปริมาณคาร์บอนคงที่ (fixed carbon)

ปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านมีค่าอยู่ในช่วง 50% - 95% ดังนั้นถ่านจึงประกอบด้วยคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ ปริมาณคาร์บอนนั้นโดยปกติหาได้จากค่าความแตกต่างก็คือเอา 100 % แล้วหักด้วยปริมาณสารอื่น ๆ ปริมาณคาร์บอนคงที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากในการถลุงโลหะ เนื่องจากเป็นปริมาณคาร์บอนที่ใช้ถลุงเหล็กออกไซด์ของแร่เหล็กเพื่อให้ได้โลหะ แต่ผู้ใช้ในอุตสาหกรรมจะคำนึงถึงสมดุลย์ระหว่างการแตกของถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนคงที่สูง และความแข็งแรงมากกว่าของถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนคงที่ต่ำและสารระเหยได้สูง เพื่อให้ได้การดำเนินการเผาพ่นลมที่ดี

4. ปริมาณขี้เถ้า

ขี้เถ้าที่พิจารณาโดยการให้ความร้อนแก่สารในที่ที่มีอากาศมากพอจนสารนั้นถูกเผาไหม้จนหมด สิ่งที่เหลือก็คือขี้เถ้าที่ตัวเอง ซึ่งจะเป็นพวกสารแร่ธาตุ (mineral matter) เช่น ดิน ออกไซด์ของซิลิกา แคลเซียมและแมกนีเซียม ฯลฯ ซึ่งสารเหล่านี้อาจเป็นองค์ประกอบของไม้เอง และอาจเป็นสิ่งเจือปนบนผิวโลกที่เจือปนมาระหว่างกระบวนการ

ปริมาณขี้เถ้าของถ่านจะมีค่าแปรเปลี่ยนจาก 0.5 % ถึงมากกว่า 5 % ขึ้นกับชนิดของไม้ ปริมาณของไม้และสิ่งเจือปนต่าง ๆ ถ่านที่มีคุณภาพดีจะมีปริมาณเถ้าต่ำประมาณ 3 % ยิ่งถ่านที่ละเอียดก็จะมีปริมาณเถ้าที่สูง เช่น ถ่านที่มีขนาดเล็กกว่า 4 mm. จะมีปริมาณเถ้าประมาณ 5-10 %

การวิเคราะห์ถ่าน

ตารางที่ 2.2 แสดงถึงองค์ประกอบของถ่านที่ได้จากไม้หลายชนิดจากการทำคาร์บอนไนซ์ในเครื่องคาร์บอนไนซ์แบบต่าง ๆ โดยทั่วไปไม้ทุกชนิดและระบบคาร์บอนไนซ์ขั้นทุกระบบสามารถผลิตถ่านให้อยู่ในช่วงกำหนดทางการค้าได้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของถ่านที่ได้จากไม้ชนิดต่าง ๆ

Wood species	Production Method	Moisture content %	Ash %	Volatile matter-%	Fixed carbon %	Bulk density raw kg/m ³	Bulk density pulverised kg/m ³	Gross calorific value kJ/kg Oven dry basis	Remarks
Dakama	Earth pit	7.5	1.4	16.9	74.2	314	708	32410	Pulverised fuel for rotary kilns 1/
Wallaba	"	6.9	1.3	14.7	77.1	261	563	35580	" 1/
Kautaballi	"	6.6	3.0	24.8	65.6	290	596	29990	" 1/
Mixed Tropical Hardwood	"	5.4	8.9	17.1	68.6				Low grade charcoal fines 1/
"	"	5.4	1.2	23.6	69.8				Domestic charcoal 1/
Wallaba	Earth mound	5.9	1.3	8.5	84.2				Well burned sample 1/
"	"	5.8	0.7	46.0	47.6				Soft burned sample 1/
Oak	Portable steel kiln	3.5	2.1	13.3	81.1			32500	2/
Coconut shells	"	4.0	1.5	13.5	83.0			30140	4/
Eucalyptus Saligna	Retort	5.1	2.6	25.8	66.8				3/

1/ = Guyana. 2/ = U.K. 3/ = Brazil. 4/ = Fiji.

คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นนั้นจะเป็นคุณสมบัติทางเคมี แต่คุณสมบัติทางกายภาพสำหรับถ่านแล้ว ก็มีความสำคัญเช่นกันโดยเฉพาะถ่านที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้า คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านจะมีอิทธิพลจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเตาพ่นลม ในขณะที่คุณสมบัติทางเคมีมีความสัมพันธ์กับปริมาณถ่านที่จำเป็นต่อตันของเหล็กและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้

ถ่านที่ใช้ในเตาพ่นลมจะต้องมีความแข็งแรงทนต่อการแตกหักจากการเติมวัตถุดิบ คุณสมบัติที่สำคัญได้แก่ ความต้านทานการฉีกขาด (fracturing resistant) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญที่จะรักษาคุณสมบัติการเชื่อมผ่านให้คงที่ได้

การวัดค่าความต้านทานการฉีกขาดนั้นค่อนข้างยาก แต่ก็สามารถวัดความต้านทานของถ่านต่อการแตกกระจายได้โดยการปล่อยถ่านตัวอย่างจากความสูงระดับหนึ่งลงไปบนพื้นเหล็กกล้าแข็ง หรือโดยทิ้งลงในถังทรงกระบอกเพื่อดูการแตกหักและขนาดหลังจากแตกหัก ผลที่ได้จะอยู่ในเทอมของเปอร์เซ็นต์ของขนาดต่าง ๆ ของวัตถุหลังจากการแตกกระจาย ถ่านที่มีค่าความต้านทานการแตกกระจายต่ำจะให้เปอร์เซ็นต์ของขนาดวัตถุที่มีขนาดเล็กสูง ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity)

ถ่านไม้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญของ activated charcoal ธรรมดาแล้วถ่านไม้ที่ผลิตได้จะไม่ไวดูดซับไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือไอ เนื่องจากโครงสร้างละเอียดของถ่านนั้นจะถูกกีดขวางด้วยปริมาณของทาร์ที่เคลือบอยู่ ดังนั้นการเปลี่ยนถ่านนี้ให้มีโครงสร้างที่ไวหรือเปิดนั้นจะต้องกำจัดทาร์ที่เคลือบอยู่ออก วิธีการที่ใช้กันอยู่ปัจจุบันประกอบด้วยให้ความร้อนแก่ถ่านดิบที่บดละเอียดมาก (pulverised raw charcoal) ในเตาเผาจนถึงสภาวะเริ่มร้อนแดง (low red heat) ในบรรยากาศของไอน้ำร้อนยิ่งยวด (superheated steam) ไอน้ำนี้จะป้องกันถ่านไม่ให้ไหม้ อันเนื่องมาจากการป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเข้าไปนั่นเอง และในขณะที่ทาร์ที่ระเหยได้นี้ระเหยขึ้นไปและถูกพาไปโดยไอน้ำก็จะทำให้เกิดโครงสร้างที่เปิดขึ้น จากนั้นนำถ่านนี้ไปไว้ในภาชนะปิดและปล่อยให้เย็น เตาเผา activation นี้มักจะเป็นเตาแบบต่อเนื่องเช่น ถ่านผงจะถูกผ่านตกลงไปยังเตาเผาในบรรยากาศของไอน้ำอย่างต่อเนื่อง

หลังจากการทำ activation ถ่านแล้วจะนำถ่านนี้ไปทดสอบคุณสมบัติการลดสี โดยการทดสอบกระบวนการดูดซับของสารละลายน้ำ เช่น น้ำอ้อยดิบ (rum sugar juice) น้ำเหล้าไวน์ (rum wine) หรือของสารละลายน้ำมันเช่นน้ำมันพืช และยังมีคุณสมบัติการดูดซับตัวทำละลาย เช่น เอทิลอะซิเตท (ethyl acetate) ในอากาศด้วย

ถ่านที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับก๊าซและไอน้ำมักจะทำมาจากถ่านของกะลามะพร้าว ถ่านชนิดนี้จะมีพลังงานในการดูดซับสูง และต้านทานต่อการแตกเป็นผงในเครื่องมือดูดซับได้สูง ซึ่งเป็นแพคเกจที่สำคัญ

2.6.2 องค์ประกอบทางเคมีของถ่าน

องค์ประกอบของถ่าน คือ คาร์บอน ทาร์ และซีเถ้า สัดส่วนของสารแต่ละอย่างจะขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ที่นำมาใช้ทำถ่าน และอุณหภูมิสิ้นสุดของการคาร์บอนในเซชัน ตารางที่ 2.3 แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของสารระเหยได้และปริมาณถ่านที่ได้จากการทำคาร์บอนไม้ชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิสุดท้ายของการทำคาร์บอนไม้ชนิดต่าง ๆ กัน ส่วนเปอร์เซ็นต์ของซีเถ้าและองค์ประกอบทางเคมีของซีเถ้าที่ได้จากไม้ชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

1. กรดไพโรลิกเนียส (Pyrolygneous acid)

ของเหลวละลายน้ำที่ได้จากการควบแน่นของไอที่ออกจากเครื่องคาร์บอนนั้นเรียกว่า กรดไพโรลิกเนียส ส่วนทาร์ซึ่งไม่ละลายน้ำจะควบแน่นในเวลาเดียวกันและแยกออกจากเฟสน้ำ องค์ประกอบของกรดไพโรลิกเนียส นี้ซับซ้อนมากและพิจารณาได้เฉพาะองค์ประกอบที่มีอยู่มากเท่านั้น ปริมาณสารที่ได้นี้เป็นสิ่งสำคัญต่อการพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่จะนำกลับมาใช้และปริมาณสารก็จะแปรเปลี่ยนตามชนิดของไม้ที่ถูกคาร์บอน ไม้ เช่น ต้น European beech ซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งชนิดหนา มีปริมาณของน้ำตาลเพนโทแซน (pentosan sugars) อยู่มาก ซึ่งสามารถให้กรดอะซีติกในปริมาณมากได้ด้วย ส่วนไม้ยูคาลิปตัสจะให้กรดอะซีติกและสารอื่นต่ำกว่า นอกจากนี้ชนิดของเครื่องคาร์บอนก็ยังมีผลต่อปริมาณสารที่ได้ด้วย จึงเป็นการยากที่จะทำนายปริมาณที่ได้อย่างแน่ชัด ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองก่อนที่จะลงทุนทำการนำสารเหล่านี้กลับมาใช้

ข้อมูลต่อไปนี้เป็นผลผลิตที่ได้จาก pyrolygneous acid ซึ่งผลิตได้จากการคาร์บอนไม้เนื้อแข็ง

ปริมาณสารที่ได้ต่อ 1000 กิโลกรัมของไม้แห้ง		
กรดอะซีติก	50	kg.
เมทานอล	16	kg.
อะซีโตนและเมทิลอะซีโตน	8	kg.
ทาร์ที่ละลายได้	190	kg.
ทาร์ที่ละลายไม่ได้	50	kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กรดอะซิติก (Acetic acid)

กรดอะซิติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่ามากที่สุดที่สามารถได้กลับคืนมาจากกรดไพโรลิกเนียส ถึงแม้ว่ากรดอะซิติกที่ได้จากไม้จะไม่ค่อยสำคัญนักในปัจจุบันและใช้ในงานบางอย่างเท่านั้น วิธีการที่เอากรดนี้มาจากสารควบแน่นปกติทำได้จากการสกัดกรดที่ได้จากการคาร์บอนซ์ด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท (ethyl acetate) หลังจากที่ทำลวและเมทานอล / อะซีโตน อะซีโตนได้ถูกแยกออกไปแล้ว กรดอะซิติกจะถูกแยกออกจากเฟสน้ำโดยผ่านเข้าไปในเฟสของเอทิลอะซิเตท เอทิลอะซิเตทสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการกลั่นและป้อนกลับไปยังคอลัมน์สกัดสารใหม่ กรดอะซิติกจะถูกทำให้บริสุทธิ์โดยการกลั่น กรดที่ได้จะมีคุณภาพแตกต่างกันขึ้นกับความบริสุทธิ์และปริมาณเนื่อกรด

3. เมทานอลและอะซีโตน

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทั้งสองนี้สามารถผลิตได้จากกระบวนการปิโตรเคมีคัลซึ่งมีราคาต้นทุนต่ำกว่า และค่าใช้จ่ายในการแยกสารทั้งสองให้มีความบริสุทธิ์สูงจากกรดไพโรลิกเนียสมีค่าใช้จ่ายสูงกว่า จึงมักแยกสารทั้งสองออกมาจากกรดไพโรลิกเนียสในรูปของผสมที่เรียกว่า methyl acetone ซึ่งของผสมนี้จะถูกขายไปในรูปของตัวทำละลายเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสี

ตัวทำละลายผสมนี้จะดึงออกมาได้โดยการกลั่นสารละลายของกรดไพโรลิกเนียสนี้หลังจากที่ได้แยกเอาสารที่ไม่ละลายออกไปแล้ว ของเหลวนี้อาจถูกกลั่นในหม้อต้ม กรดอะซิติก เมทานอล อะซีโตน ฯลฯ จะระเหยเป็นไอออกไปจากหม้อต้ม ส่วนสารที่ละลายในน้ำจะยังอยู่ในหม้อต้ม ไอจะถูกส่งเข้าไปในคอลัมน์หม้อกลั่น เพื่อกลั่นแยกตัวทำละลายผสม (ประมาณ 85 % เมทานอล) ให้ออกจากของผสมของกรดอะซิติกและน้ำ ของผสมระหว่างกรดอะซิติกและน้ำนี้สามารถแยกออกจากกันโดยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) สำหรับเมทานอลที่กลั่นได้ (85 % เมทานอล) สามารถทำให้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นได้เช่นเดียวกันแต่เสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงนิยมขายในรูปของตัวทำละลายผสม

4. ทาร์ (tars)

ทาร์ที่ไม่ละลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อทางด้านสัตวแพทย์ในรูปของยาป้องกันโรคติดต่อ (antiseptic) และเป็นสารทากันไม้และสารทากันร้ว ถ้าทาร์ผลิตได้จากการกลั่นไม้เนื้ออ่อนจะเรียกทาร์นั้นว่า Stockholm tar การแยกทาร์ที่ไม่ละลายน้ำออกทำได้โดยการตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกตัวออกจากกันโดยอาศัยความหนาแน่นที่แตกต่างกันซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย สารอะโรเมติกที่มีค่าในการทำยาและน้ำหอมสามารถแยกออกมาจากทาร์ที่ไม่ละลายน้ำได้โดย กระบวนการทางเคมีที่ซับซ้อน ถ้าทาร์นี้ถูกผลิตขึ้นในโลกที่กำลังพัฒนาแล้วก็สามารถหาตลาดที่จะขายในราคาที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เปอร์เซ็นต์ของสารระเหยได้และปริมาณถ่านที่ได้จากการทำคาร์บอนไนซ์ไม้ชนิดต่าง ๆ

Species		Carbonization Temperature °C							
		350	400	450	500	590	700	800	950
Euc camaldulensis	% volatiles	39.4	35.8	31	26	16.7	4.4	0	0
	% yield	49.7	46.8	43.6	40.7	36.2	31.5	30.1	30.1
Euc saligna	% volatiles	40.4	37.8	30	24.9	15.8	4.1	0	0
	% yield	49.9	47.9	42.6	39.8	35.4	31.1	29.8	29.8
Mean of 15 spp	% volatiles	39.8	35.3	29.9	24.6	16.2	4.6	.5	0
	% yield	47.4	44.1	40.7	37.8	34.1	30	28.7	28.5

ตารางที่ 2.4 เปอร์เซ็นต์ของซีเถ้าและองค์ประกอบทางเคมีของซีเถ้าที่ได้จากไม้ชนิดต่าง ๆ

Species	Percentage		parts per million											
	% Ash	% Silica	P	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Zn	S	Cl	
Euc camaldulensis	bark	9.65	1.768	385	32150	2765	4185	1060	130	70	415	15	-	2455
	sapwood	.49	.004	155	675	220	1858	303	20	38	83	5	-	910
	heartwood	.07	trace	14	235	100	53	33	8	18	7	4	-	-
Euc saligna	bark	9.19	1.208	185	32030	1700	3250	1955	125	75	330	8	1660	2615
	sapwood	.43	.056	100	550	250	900	215	15	50	15	9	660	440
	heartwood	.07	.002	5	280	60	100	60	10	25	4	4	340	65

ทาร์ที่ละลายนั้นยากต่อการขายในตลาดสารนี้เป็นของผสมที่ซับซ้อนของสารที่ละลายได้ในน้ำและนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย สารนี้ได้ถูกนำมาใช้เป็นสารผสมกับดินขาว (clay) ในการทำอิฐเพื่อผลิตอิฐฉนวนที่มีรูพรุน และยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ด้วย

ทาร์ที่ได้จากการกลั่นไม้จะเห็นว่าเป็นสิ่งเจือปนต่อสิ่งแวดล้อมและไม่อนุญาตให้ปล่อยลงในกระแสน้ำ ส่วนของเหลวที่เหลือทุกชนิดจากกระบวนการแยกจะนำไปใส่ในบ่อตื้นเพื่อระเหยเอาน้ำออกได้เป็นทาร์ และทาร์ที่เหลือทิ้งไว้เมื่อสะสมได้ปริมาณมากก็จะนำไปเผาทิ้ง

ในอีกแง่หนึ่งทาร์และสารระเหยได้ยกเว้นน้ำสามารถเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงได้ ดังนั้นจึงมีผู้ที่นิยมใช้สารดังกล่าวนี้เป็นเชื้อเพลิงแทนที่จะลงทุนสร้างโรงงานที่ใช้ในการแยกสารดังกล่าว และเนื่องจากการที่ต้องใช้พลังงานมากในการระเหยน้ำ ดังนั้นจึงเป็นการดีที่สุดที่จะเผาก๊าซผสมและสารที่ควบแน่นได้ในรูปของก๊าซร้อนที่ไม่เกิดการควบแน่นในบริเวณที่ใกล้กับเครื่องคาร์บอนไนซ์มากที่สุด

2.7 ประมาณการใช้ประโยชน์จากถ่าน

2.7.1 การใช้ถ่านในครัวเรือน

พบว่ามีการใช้ในระดับหมู่บ้าน (นอกเขตเทศบาล และสุขาภิบาล) สูงสุดถึงปีละประมาณ 2,219,617,666.32 กิโลกรัม รองลงมาคือเขตสุขาภิบาล และเขตเทศบาล ปีละประมาณ 498,423,476.28 กิโลกรัม และ 479,290,583.92 กิโลกรัม ตามลำดับ รวมการใช้ถ่านในครัวเรือนทั้งหมดปีละประมาณ 3,197,331,726.52 กิโลกรัม (ชวลิต อรุณีพัฒน์พงศ์, 2525) การใช้ถ่านในครัวเรือนในรอบปี 2525 คิดเป็นร้อยละในส่วนต่างๆ ได้ดังนี้คือ ในเขตสุขาภิบาล 16.3% ในเขตเทศบาล 15.7% นอกเขตเทศบาลและสุขาภิบาล 68.0% (กองวิจัยผลิตผลป่าไม้, 2526)

2.7.2 การใช้ถ่านในอุตสาหกรรม

พบว่าในปัจจุบันอุตสาหกรรมส่วนมากจะใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ส่วนที่ใช้ถ่านก็คือ อุตสาหกรรมตีเหล็ก ซึ่งมีปริมาณใช้ถ่านปีละประมาณ 556,332 กิโลกรัม

2.7.3 การใช้ถ่านในส่วนบริการสังคม

พบว่าร้านอาหารเป็นส่วนที่ใช้ถ่านมากที่สุดถึงปีละประมาณ 290,089,570.71 กิโลกรัม รองลงมาคือ วัด ปีละประมาณ 19,237,219.56 กิโลกรัม รวมการใช้ถ่านทั้งหมดในส่วนนี้ ปีละประมาณ 309,326,790.26 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรวมการใช้ถ่านในทุกส่วนทั้งหมดจะมีการใช้ปีละประมาณ 3,507,215,448.79 กิโลกรัม

2.8 การใช้พลังงานในครัวเรือน

ครัวเรือนทั่วประเทศไทยในปัจจุบันพลังงานที่ใช้ในการหุงต้มยังคงเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล โดยเฉพาะจากถ่านไม้และฟืนเป็นหลัก

จากการสำรวจ และศึกษาความต้องการใช้พลังงานในครัวเรือนในชนบทของประเทศไทย ของสำนักงานพลังงานแห่งชาติ (2528) ได้รายงานอันดับความต้องการใช้พลังงานในครัวเรือนดังนี้

อันดับ 1	การหุงต้ม 77 เปอร์เซ็นต์ (ส่วนใหญ่ยังใช้ฟืนและถ่าน)
อันดับ 2	แสงสว่าง 11 เปอร์เซ็นต์ (ในท้องที่ไม่มีไฟฟ้ายังคงใช้น้ำมันก๊าด)
อันดับ 3	การให้ความอบอุ่นโดยเฉพาะในฤดูหนาว อุตสาหกรรมในครัวเรือน, ไล่แมลง (ใช้ฟืนและถ่าน)

จากการสำรวจการใช้ฟืนและถ่านในชนบทเมื่อปี 2523 ของสำนักงานพลังงานแห่งชาติ (2523) ปรากฏว่า ปริมาณการใช้ฟืนในครัวเรือนชนบทเท่ากับ 13.3 X 106 ลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือ 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี และปริมาณการใช้ถ่านในครัวเรือนชนบทเท่ากับ 2,848.2 X 106 กิโลกรัมต่อปี หรือ 97.1 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ส่วนการใช้ถ่านในครัวเรือนแยกตามเขตชุมชนของประเทศปี 2525 (กองวิจัยป่าไม้, 2526) ดังนี้

นอกเขตเทศบาลและสุขาภิบาลใช้ถ่าน	68	เปอร์เซ็นต์
เขตสุขาภิบาลใช้ถ่าน	16.3	เปอร์เซ็นต์
เขตเทศบาลใช้ถ่าน	15.7	เปอร์เซ็นต์

จากการสำรวจและศึกษาแนวโน้มการใช้ไม้ของประเทศไทยโดย de Backer และ Openshaw (1972) ได้รายงานและทำนายความต้องการใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงของประเทศดังนี้

พ.ศ. 2513	ประมาณ	50	ล้านลูกบาศก์เมตร
พ.ศ. 2528	ประมาณ	70	ล้านลูกบาศก์เมตร
พ.ศ. 2543	ประมาณ	85	ล้านลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่ง การประเมินนี้พบว่าใกล้เคียงความจริงมาก จากตัวเลขดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงจากไม้ของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ Ariz และ Jalal (1983) กล่าวถึงชนบทในประเทศกลุ่มเอเชียแปซิฟิกทั้งหมดว่ามีการใช้เชื้อเพลิงคิดเป็นค่า GJ (Gigajoule) (1 GJ = ฟืน 71.5 กิโลกรัม) คิดเป็น 10 GJ/คน/ปี ในพื้นที่ราบ (สูงกว่าผลการสำรวจของสำนักงานพลังงานแห่งชาติกว่า 3 เท่า) และ 22 GJ/คน/ปี ในพื้นที่ภูเขา สำหรับประเทศไทยมีการใช้ฟืนและถ่านเป็นเชื้อเพลิงกันมาก และกำลังเผชิญกับการขาดแคลน ดังนั้น ถ้าสามารถหาเชื้อเพลิงที่มีราคาถูก หาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีศักยภาพสูงมาใช้ทดแทนฟืนและถ่านจะเป็นการช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่าลงได้

2.9 แหล่งวัสดุที่มีศักยภาพเป็นเชื้อเพลิง

โดยมีประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีของเหลือใช้หรือเหลือทิ้งจากการเกษตร หลังเก็บเกี่ยวหลายชนิด และอุตสาหกรรมของประเทศส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น อุตสาหกรรมโรงสี อุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมยาสูบ อุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋อง ปลากระป๋อง ผลไม้ และผักกระป๋อง เป็นต้น ดังนั้น จึงมีวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม อีกมากมาย สิ่งเหล่านี้สามารถนำมาผสมผสานทำเป็นเชื้อเพลิง ได้แก่

1. เศษพืชหรือวัสดุเหลือทิ้งหลังจากเก็บเกี่ยว (crop residues) ซึ่งมีอยู่กระจัดกระจายทั้งในไร่นา สวนและป่า ในโรงงาน เช่น โรงเลื่อย โรงสี เป็นต้น
2. วัชพืช (weeds) คือ พืชที่เราไม่ต้องการ ขึ้นอยู่ทั่วไปในพื้นที่เพาะปลูก หรือในพื้นที่ที่ไม่ได้ทำการเพาะปลูก ไม่ว่าจะเป็นที่ดอน ที่ลุ่ม หนองน้ำ ลำคลอง เป็นต้น วัชพืชเป็นแหล่งชีวมวลที่ใหญ่ที่สุดแหล่งหนึ่งของประเทศ วัชพืชที่ขึ้นในพื้นที่ป่าเมื่อถึงฤดูแล้งจะแห้ง เป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่จะก่อให้เกิดไฟฟ้าได้ง่าย ความสูญเสียจากไฟฟ้าจะตกปัดเป็นพันๆ ล้านบาท
3. สิ่งเหลือทิ้งหรือสูญเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม(industrial wastes) เช่น กากส่าเหล้า จากโรงงานสุรา กากส่งเบียร์จากโรงงานเบียร์ แป้งบุดเน่าจากโรงงานแห่ง แกลบจากโรงสี ฯลฯ
4. ขยะมูลฝอย (municipal wastes) ประเทศไทยนับวันก็จะมีขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เฉพาะในกรุงเทพฯ แห่งเดียว จะมีขยะมูลฝอยถึงวันละ 3,500 ตันเป็นอย่างน้อย หากนำมาใช้พลังงานน่าจะเป็นประโยชน์อย่าง โดยเฉพาะใช้เป็นพลังงานของโรงงานไฟฟ้า

2.10 การประเมินคุณภาพของถ่าน

การประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิง จะใช้องค์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงเป็นหลักในการประเมินคุณค่า

1. คาร์บอนเสถียร (fixed carbon)
2. สารที่ระเหยได้ (volatile matters)
3. ปริมาณเถ้า (ash)
4. ความชื้น (moisture)
5. กำมะถัน (sulfuer content)
6. ค่าความร้อน (calorific value or heating value)

เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณคาร์บอนเสถียรเป็นองค์ประกอบอยู่สูง แต่มีสารที่ระเหยได้และปริมาณเถ้าอยู่ต่ำ เชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงจะมีผลทำให้ค่าความร้อนต่ำ (กัญจน และ สมชาย, 2526; อรุณ, 2521) และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก็เป็นตัวชี้คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอย่างหนึ่ง เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดี เช่น ถ่านที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดี

ตัวอย่างการวิเคราะห์คุณภาพถ่านที่ได้จากการเผาถ่านไม้ชนิดต่างๆ (Estudillo, 1977; Tamolang, 1976; Villanueva, 1965) ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณภาพถ่านที่ได้จากวัตถุดิบบางชนิด โดยการเผาด้วยเตาอิฐ และกลั่นในรีทอร์ต

วัตถุดิบ	ผลผลิตถ่าน (%)	ปริมาณขององค์ประกอบในถ่าน (%)			ค่าความร้อนถ่านอบแห้ง กิโลแคลอรี/กิโลกรัม
		คาร์บอนเสถียร	สารที่ระเหยได้	ขี้เถ้า	
เศษไม้จากโรงเลื่อย	31.3	80.5	15.2	4.3	6796
กะลามะพร้าว	-	77.4	18.8	4.5	6610
กะลามะพร้าว (จากการกลั่น)	34.0	83.9	12.7	3.4	7860
ไม้กระถินยักษ์	-	72.1	26.6	1.3	6555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่สำหรับการใช้ถ่านเพื่อการหุงต้มในครัวเรือนนั้น ถ่านที่ถือว่ามีคุณภาพดีที่สุดนั้นไม่จำเป็นต้องเป็นถ่านที่มีค่าความร้อนสูงสุด แต่จะต้องมีคุณสมบัติที่ดีของถ่านทางด้านอื่นๆ ด้วย คือ (กองวิจัยผลิตผลป่าไม้, 2526)

1. การแตกประทุขณะติดไฟ ถ่านที่แตกประทุขณะติดไฟ จะเป็นที่ยังเกียจของผู้ใช้เป็นอันดับหนึ่ง ดังนั้น ถ่านที่มีคุณภาพดีจะไม่มีการแตกประทุเลย หรือมีการปะทุบ้างเล็กน้อยในช่วงหาที่แรกที่ติดไฟ
2. น้ำหนักถ่าน ถ่านที่หนักจะลุกไหม้ให้ความร้อนแรงได้นาน
3. คว้น ถ่านที่มีคุณภาพดีไม่ควรจะมีคว้น และกลั่นจนขณะลุกไหม้
4. ความแข็งและการปนของถ่าน ถ่านที่มีความแข็งสูงจะช่วยลดการแตกหักหรือปนเป็นผง ทำให้สะดวกต่อการใช้ การขนส่ง และการเก็บรักษา

ในการแปรสภาพไม้เป็นถ่านจะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเบื้องต้นซึ่งเกิดจากมวลแต่สถานะดังนี้ ปริมาณของคาร์บอนจะเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณของออกซิเจนจะลดลง ซึ่งจะเป็นผลทำให้ค่าความร้อนของถ่านเพิ่มขึ้น ดังเช่นองค์ประกอบเบื้องต้นของถ่านที่เกิดจากอุณหภูมิในการผลิตระหว่าง 400-500 องศาเซลเซียส จะประกอบไปด้วยคาร์บอนร้อยละ 83-90 ออกซิเจนร้อยละ 7-13 และไฮโดรเจนร้อยละ 3.1-3.8 (Wenzl, 1970) และที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียสนี้ค่าความร้อนของถ่านจากไม้ใบกว้างจะอยู่ระหว่าง 5,900-7,400 แคลอรีต่อกรัม

2.11 ถ่านหิน

2.11.1 ธรรมชาติของถ่านหิน

ถ่านหิน (COAL) มีสถานะเป็นของแข็ง ไม่มีรูปผลึกที่แน่นอน โดยทั่วไปมีสีเข้ม ตั้งแต่สีน้ำตาลถึงสีดำสนิท ประกอบด้วย คาร์บอน สารระเหย ความชื้น และแร่ธาตุต่างๆ ในปริมาณน้อย เกิดเนื่องจากเมื่อประมาณ 250-300 ล้านปีมาแล้วมีต้นไม้และพืชจำพวกเฟิร์น (ferns) คลับมอส (club mosses) และอื่นๆ เกิดอกงามขึ้นตามหนองน้ำต่างๆ จำนวนมากมาย ซากพืชและต้นไม้จะโคนล้มจมอยู่ในหนองน้ำ และถูกทับถมด้วยโคลนตามธรรมชาติ เป็นอยู่เช่นนี้ตลอดมารุ่นแล้วรุ่นเล่า จนผ่านพันมาหลายๆ ล้านปี ทราบและโคลนจับพอกตัวติดกับซากพืชเหล่านั้น กอทับถมกันมากยิ่งขึ้นจนสูงขึ้น 100 ฟุต และในบางแห่งก็สูงกว่านี้ ความดันจากน้ำหนักที่ทับถมอยู่ข้างบน ความร้อนและการแตกสลายตัว (decomposition) เป็นผลทำให้ซากพืชเหล่านั้นเปลี่ยนแปลงสภาพกลายเป็น พีท (peat) ลิกไนต์ (lignite) ซับบิทูมินัส (sub-bituminous) บิทูมินัส (bituminous) และแอนทราไซต์ (anthracite) ตามลำดับ ถ่านหินตามแหล่งต่างๆ ในโลกนี้จึงมี

คุณสมบัติต่างกันขึ้นกับชนิดซากพืช อายุการเปลี่ยนแปลงและสภาพแวดล้อมของแหล่งที่เกิด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยถ่านหินจัดเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่ามากเพราะเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ และสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้เป็นอย่างดี

2.11.2 ถ่านหินชนิดต่างๆ

ถ่านหินแบ่งออกเป็นประเภทหรือเกรดต่างๆ ได้ตามส่วนประกอบของมัน ถ่านหินชนิดดีจะมีคาร์บอนมาก ความชื้นน้อย และส่วนประกอบอื่นๆ สามารถเปลี่ยนสภาพเป็นไอได้ง่าย ถ่านหินที่ดีจะพบอยู่ใต้ดิน ในระดับที่ลึกลงไปมากๆ ยิ่งอยู่ในชั้นที่ลึกมากก็จะได้ถ่านหินที่ดีขึ้น

ถ่านหินที่ดีที่สุดได้แก่ แอนทราไซต์ (anthracite) หรือถ่านหินแข็ง (hard coal) ถ่านหินประเภทนี้มีคุณสมบัติเผาไหม้อย่างช้าๆ เปลวไฟเป็นสีน้ำเงินจางๆ และเกือบไม่มีควันเลย

ถ่านหินชนิดที่ดื่รองลงมา ได้แก่ ถ่านหินไบทูมินัส (bituminous coal) เป็นถ่านหินชนิดที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด นิยมใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับทำความร้อนในอาคารบ้านเรือน และทำเป็นก๊าซด้วย ถ่านหินชนิดที่ดื่รองต่อไปอีก คือ ซับไบทูมินัส (sub-bituminous)

สำหรับถ่านหินที่อยู่ในชั้นใต้ดินที่ระดับสูงขึ้นมา ได้รับความกดดันจากน้ำหนักทับถมน้อยกว่าจะมีสีน้ำตาลเข้ม ความจริงก็ยังคงอยู่ในประเภทถ่านหิน แต่โดยทั่วไปนิยมเรียกกันว่า ลิกไนท์ (lignite) หรือถ่านหินสีน้ำตาล มีลักษณะแตกเปราะ และร่วนได้ง่าย และถ้าเก็บไว้ไม่มีอากาศถูกติดไฟขึ้นเองได้ จัดเป็นประเภทถ่านหินเนื้ออ่อน (soft coal) ถ่านหินเนื้อแข็งที่สุดก็คือ แอนทราไซต์ สารที่มีเนื้อแข็งกว่าแอนทราไซต์ได้แก่ กราไฟท์ (graphite) ซึ่งไม่สามารถใช้เป็นถ่านหินได้ แต่มันเป็นตะกั่วที่ใช้ทำไส้ดินสอ

2.11.3 ชั้นถ่านหิน (Coal Seams)

เนื่องจากถ่านหินเกิดจากซากพืชที่ถูกทับถมอยู่ใต้ดินมาเป็นเวลานานมาก ดังนั้น จึงปรากฏแถบชั้น (layers หรือ seams) ของถ่านหินอยู่ใต้ดินในระดับความลึกต่างๆ กัน บางแห่งก็อยู่ลึก บางแห่งก็ตื้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการเปลี่ยนแปลงและการเคลื่อนตัวทางด้านธรณีวิทยาด้วย บางแห่งปรากฏมีชั้นถ่านหินถูกประกอบอยู่ในระหว่างชั้นของหิน (rock layers) หรือชั้นของหินเชล (shale layers) ในลักษณะแซนดวิช

ความหนาของแถบชั้นถ่านหิน อาจแคบเพียง 1 ฟุต หรืออาจหนาถึงหลายฟุต ก็ได้ แหล่งถ่านหินในประเทศอังกฤษบางแห่งลึกถึงหลายพันฟุต โดยมีชั้นถ่านหินแคบๆ เรียงซ้อนกันลงไปในระดับต่างๆ รวมถึง 40 ชั้น และบางทีก็มีแต่ชั้นถ่านหินหนาๆ รวมถึง 20 ชั้น

2.11.4 ประโยชน์ของถ่านหิน

นอกเหนือจากใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงแล้ว ถ่านหินนับว่าเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่ามาก มันสามารถให้ผลพลอยได้ (by-products) อีกหลายอย่าง ซึ่งสามารถสกัดออกมาได้จากถ่านหิน ถ่านหินโดยทั่วๆ ไปต่อน้ำหนัก 1 ตัน เมื่อนำมาสกัดจะได้ผลผลิตผลอย่างอื่นโดยถ่วงเฉลี่ยดังนี้ คือ ก๊าซถ่านหิน 13,000 ลบ.ฟุต ถ่านโค้กประมาณ ¾ ตัน น้ำมันทาร์และน้ำมันอื่นๆ ประมาณ 15 แกลลอน และแอมโมเนียมซัลเฟตประมาณ 25 ปอนด์

นอกจากนี้ ถ่านหินยังให้ครีโอสต์ (creosote) สำหรับใช้ทาเนื้อไม้ป้องกันการผุกร่อน เบนซีนสำหรับทำพลาสติก สีย้อมผ้า น้ำหอม สารเคมีใช้ในการทำภาพถ่าย วัตถุระเบิด สารละลาย และยางสังเคราะห์

แอมโมเนียก็ได้มาจากถ่านหิน สามารถนำไปใช้ในการทำปุ๋ย กรดไนตริก และวัตถุระเบิด

จากสารละลายแนพทา (naptha) ซึ่งพบในถ่านหิน ก็นำไปใช้ในการทำแลคเกอร์ สีทา อีนาเมล (enamels) และยาหลายอย่าง

จากแนพทาลีน (naphthalene) ใช้ในการทำยาฆ่าแมลง สีย้อมผ้า และพลาสติก

2.12 การวิเคราะห์ถ่านหินและสมบัติของถ่านหิน

2.12.1 การวิเคราะห์ถ่านหิน

การวิเคราะห์ถ่านหินมีประโยชน์เพื่อ

1. การจำแนกถ่านหิน
2. การกำหนดราคาถ่านหินตามคุณภาพ
3. การควบคุมคุณภาพถ่านหิน
4. การเลือกใช้หรือออกแบบอุปกรณ์เผาไหม้
5. การคำนวณปริมาณ เช่น ปริมาณถ่านหินและปริมาณอากาศที่ต้องใช้ในการเผาไหม้

เป็นต้น

การวิเคราะห์ถ่านหินมีสองแนวทางคือ proximate analysis และ ultimate analysis

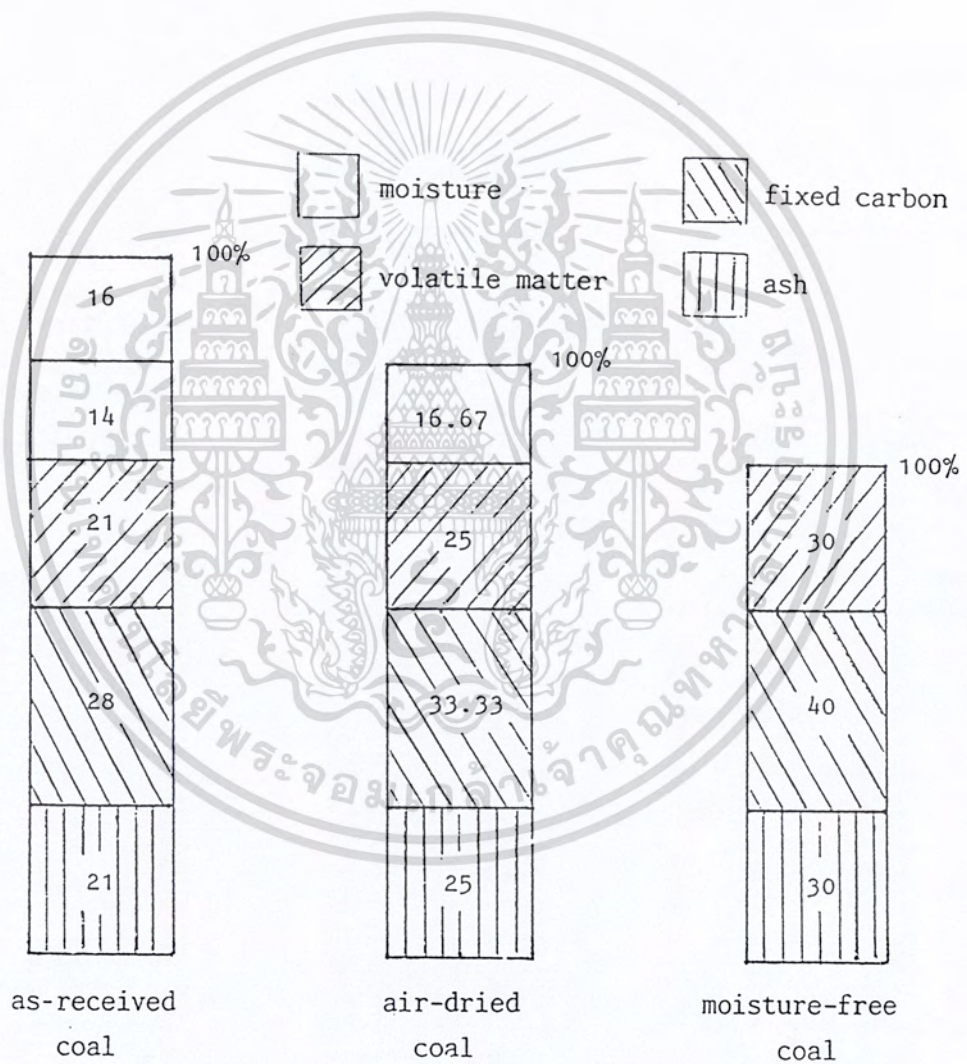
1. PROXIMATE ANALYSIS ได้แก่การวิเคราะห์หาปริมาณสารดังต่อไปนี้ :

- Fixed carbon
- Volatile matter
- Moisture
- Ash

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ULTIMATE ANALYSIS ได้แก่การวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุดังต่อไปนี้ :

- Carbon
- Oxygen
- Hydrogen
- Nitrogen
- Sulfur



รูปที่ 2.6 Proximate Analysis (ใช้ข้อมูลวิเคราะห์ในตารางที่ 2.6)

การรายงานปริมาณสารหรือธาตุจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของถ่านหิน ดังตัวอย่างเอกสารนี้เริ่มเอกสารที่สมบูรณ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 อย่างในตารางที่ 2.6
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการ proximate analysis อาจรายงานบนฐาน (basis) ต่างๆ ได้ดังนี้ as-received, air-dried, และ moisture-free และ ash-and moisture-free รูปที่ 2.6 เปรียบเทียบ การรายงานบนฐานแบบ as-received, air-dried, และ moisture-free นอกจากนี้ในรายงานแบบ proximate analysis นี้ มักรายงานค่า calorific value และปริมาณกำมะถันไว้ด้วย

ultimate analysis ไม่ใช่เป็นการวิเคราะห์ที่ทำกันเป็นประจำ – แต่เป็นการวิเคราะห์ที่มีประโยชน์ในการจัดประเภทถ่านหิน และมีประโยชน์ในการคำนวณเกี่ยวกับการเผาไหม้ เช่น การคำนวณหาปริมาณอากาศที่ต้องการเพื่อการเผาไหม้ เป็นต้น

2.12.2 สมบัติของถ่านหิน

1. MOISTURE (ความชื้น)

ในถ่านหินแบ่งได้เป็น free moisture และ inherent moisture free moisture เป็นความชื้นส่วนที่ให้เราเห็นว่าถ่านหินนั้นชื้น ถ่านหินที่ชื้นมักเกาะติดภาชนะหรือเครื่องมือทำให้การไหลโดยน้ำหนักของมันเองไม่ได้ดี inherent moisture คือความชื้นที่ยังเหลืออยู่ในถ่านหินหลังจากได้ free moisture ออกจากถ่านหินแล้ว เราอาจใช้ inherent moisture เป็นแนวทางบอก rank ของถ่านหินได้ high rank coal มี inherent moisture น้อย lignite อาจมี inherent moisture มากกว่า 50% ความชื้นไม่มีคุณค่าทางด้านความร้อนในการเผาไหม้ถ่านหินจะต้องสูญเสียค่าความร้อนเกือบ 0.1% ต่อทุกๆ 1% ของความชื้นในถ่านหิน

ปริมาณ free moisture หาได้จากการวัดน้ำหนักของถ่านหินที่หายไปเมื่ออบถ่านหินด้วยอากาศในบรรยากาศ ที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และ 70% relative humidity ในภาครอบนี้ต้องใช้เวลาหลายวันจึงถึงจุดสมดุลย์

ปริมาณ inherent moisture หาได้โดยการนำเอาถ่านหินมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักของถ่านหินคงที่ น้ำหนักที่หายไปลบด้วยน้ำหนักของ free moisture คือน้ำหนักของ inherent moisture

2. VOLATILE MATTER (สารระเหย)

ในถ่านหินได้แก่สารระเหย (ก๊าซและ tar) ที่ระเหยออกจากถ่านหิน เมื่อถ่านหินถูกเผาในภาชนะที่ปราศจากอากาศ เราหาปริมาณ volatile matter ได้โดยการเผาถ่านหินที่ 800 องศาเซลเซียส ในภาชนะปิดที่ปราศจากอากาศเพื่อไม่ให้เกิดการเผาไหม้ ของแข็งที่เหลืออยู่คือ coke หรือ char ส่วนน้ำหนักที่หายไปเป็นน้ำหนักของ total moisture (free moisture + inherent moisture) กับ volatile matter ดังนั้นเมื่อหักน้ำหนักของ total moisture ออกก็จะได้น้ำหนักของ volatile matter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ASH (ขี้เถ้า)

เป็นแร่ธาตุต่างๆ ที่เหลือจากเผาไหม้ถ่านหิน ตารางที่ 2.6 แสดงตัวอย่างแร่ธาตุที่มีในขี้เถ้า ถ้าสัดส่วนของ CaO, MgO และ FeO ในขี้เถ้าเพิ่มขึ้น fusion temperaturer ของขี้เถ้า นั้นจะลดลง

4. FIXED CARBON (คาร์บอนคงที่)

เป็นของแข็งที่เหลือจากการไล่ volatile matter และ moisture ออกจากถ่านหินและไม่รวมขี้เถ้า

5. SULFUR (กำมะถัน)

ถ่านหินมักจะมีกำมะถันปนอยู่ในรูปของสารประกอบ organic sulfur นอกจากนี้กำมะถันยังมาจากแร่ iron pyrites และ gypsum ที่ปะปนมากับถ่านหิน เมื่อเกิดการเผาไหม้กำมะถันจะติดไฟได้ก๊าซ SO₂ พร้อมกับให้ความร้อนออกมา ก๊าซ SO₂ ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นมลสารที่จะเปลี่ยนแปลงเป็นสารกัดกร่อนและเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้

6. CALORIFIC VALUE

หรือ heating value คือประมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินหนึ่งหน่วยน้ำหนักอย่างสมบูรณ์ ค่าความร้อนนี้อาจรายงานได้ 2 วิธี คือ gross calorific value (หรือ higher heating value) และ net calorific value (หรือ lower heating value) gross calorific value เป็นปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหิน เมื่อไอน้ำในก๊าซที่เกิดขึ้นกลั่นตัวเป็นน้ำ หมายความว่าค่าความร้อนนี้รวมค่าความร้อนแฝง (latent heat) ของน้ำด้วย ในทางปฏิบัติเราไม่ได้ใช้ประโยชน์จากค่าความร้อนแฝงของน้ำ จึงมีผู้ใช้ค่าความร้อนอีกค่าหนึ่ง ซึ่งต่ำกว่า เรียกว่า net calorific value เป็นค่าความร้อนที่ไม่รวมค่าความร้อนแฝงของน้ำ

ค่า gross calorific value อาจประมาณได้จาก Dulong's formula ดังนี้

$$Q = [8080 \times \%C + 34460 (\%H_2 - \%O_2/8) + 2250 \times \%S]/100$$

โดยที่ Q คือ gross calorific value มีหน่วยเป็น kcal/kg และ %C, %H₂, %O₂, %S เป็นเปอร์เซ็นต์ carbon, เปอร์เซ็นต์ hydrogen, เปอร์เซ็นต์ oxygen และเปอร์เซ็นต์ sulfur ในถ่านหิน ตามลำดับ

Dulong's formula ใช้ประมาณค่า gross calorific value ของถ่านหินประเภท high rank ได้แก่ bituminous และ anthracite coals ได้ดี แต่ถ้าใช้กับถ่านหินประเภท low rank แล้วค่าที่ได้ไม่สู้จะดีนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 ถ่านหินในประเทศไทย

แหล่งที่พบถ่านหินในประเทศนั้นมามากมายหลายแหล่งด้วยกัน บางแหล่งได้มีการสำรวจและเปิดทำเหมืองไปแล้ว บางแหล่งอยู่ในระหว่างการสำรวจ ปัจจุบันมีหน่วยงานที่ทำการสำรวจอย่างจริงจังอยู่ 3 หน่วยงาน คือ กรมทรัพยากรธรณี สำนักงานพลังงานแห่งชาติ และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การสำรวจบางแหล่งก็มีการสำรวจอย่างละเอียด บางแหล่งก็มีการสำรวจเพียงเบื้องต้นเท่านั้น

สำหรับเหมืองถ่านหินที่เปิดการทำเหมืองในปัจจุบัน มีทั้งหมด 12 เหมือง โดยเป็นเหมืองของภาครัฐบาล ได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และสำนักงานพลังงานไฟฟ้าแห่งชาติ รวม 3 เหมือง และเหมืองของภาคเอกชนอีก 9 เหมือง ตามรายละเอียด ดังนี้

ต.บ้านดง อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง

เหมืองแม่เมาะได้เริ่มผลิตถ่านหินตั้งแต่ปี พ.ศ. 2498 โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ ต.บ้านดง อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง และสามารถผลิตถ่านให้โรงจักรไฟฟ้าจนถึงสิ้นปี พ.ศ. 2527 รวมประมาณ 10.373 ล้านตัน

ถ่านหินในแอ่งแม่เมาะนี้จัดอยู่ในชั้นลิกไนต์ และบางส่วนเป็นซับบิทูมินัส แห่งลิกไนต์ที่พบเกิดในแอ่งรูปกะทะหงายในยุคเทอร์เชียรี (Tertiary) ด้านทิศเหนือเป็นหิน Quartzite ด้านตะวันออกและตะวันตกเป็นหินปูน ด้านใต้เป็นหินบะซอลท์ วางตัวบนหินปูน เปลือกดินชั้นบนเป็นดินเหนียวและหินลูกรัก หนาประมาณ 10 เมตร ส่วนชั้นดินถัดลงไปเป็นดินเหนียวแข็ง พวก Shale หรือ Mudstone วางตัวอยู่บนชั้นถ่านลิกไนต์ซึ่งมีความหนาของชั้นถ่านประมาณ 15-20 เมตร ชั้นถ่านลิกไนต์มีอยู่ 2 ชั้น แทรกคั่นด้วยดินดาน ชั้นถ่านมีลักษณะเป็นรูปกะทะหงายความยาวในแนวเหนือ-ใต้ ประมาณ 6 กิโลเมตร ขนาดกว้างไม่น้อยกว่า 3 กิโลเมตร ทางด้านตะวันออกชั้นลิกไนต์วางตัวในแนว $N 25^{\circ} E$ ความลาดเอียง $10^{\circ}-18^{\circ}$ ส่วนด้านเหนือความลาดเอียง $4^{\circ}-10^{\circ}$ สำหรับทิศใต้ชั้นลิกไนต์บางมาก

คุณภาพของถ่านหิน : ถ่านหินในแหล่งนี้เป็นถ่านหินชั้นลิกไนต์ และบางส่วนเป็นซับบิทูมินัส มีค่าความร้อนต่ำ มีความชื้นสูง และมีซัลเฟอร์มาก เมื่อกองทิ้งไว้จะแตกร่วน มีสีน้ำตาลถึงสีดำ ผลวิเคราะห์ถ่านในแหล่งโดยเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ต.คลองขนาน อ.เมือง จ.กระบี่

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เริ่มทำเหมืองผลิตถ่านหินในปี พ.ศ. 2507 ในพื้นที่ แหล่งบางปุดำ และแหล่งคลองหวายเล็ก ต.คลองขนาน อ.เมือง จ.กระบี่ จนถึงปี พ.ศ. 2527 สามารถผลิตถ่านหินจากแห่งรวมทั้งหมดประมาณ 4,789 ล้านตัน

เหมืองกระบี่ เป็นแหล่งถ่านหินที่เกิดในแอ่งกระบี่ในยุคเทอร์เชียรี ถ่านหินในบริเวณนี้จัด อยู่ในชั้นถ่านลิกไนต์ถึงซับบิทูมินัส ชั้นถ่านวางตัวอยู่ได้ชั้นหินพวก Claystone Shale Sandstone Limestone โดยมีชั้นเปลือกดินพวกดินเหนียวและหินลูกรัง พบพวก Ligneous Clay เกิดสลับอยู่ในชั้นถ่านลิกไนต์ แหล่งคลองบางปุดำ ชั้นถ่านหนา 3-20 เมตร เปลือกดินหนารวม 4-80 เมตร แหล่งคลองหวายเล็ก ชั้นถ่านหนา 0.50-26 เมตร ลึกจากผิวดิน 3.50-27.50 เมตร ชั้นถ่านวางตัวในแนวประมาณ $N 25^{\circ}W$ เฉียงประมาณ 30° (Dip)

คุณภาพของถ่านหิน : ถ่านหินในแหล่งนี้เป็นถ่านหินชั้นลิกไนต์-ซับบิทูมินัส โดยมีผลวิเคราะห์ถ่านในแหล่งเฉลี่ย ตามตารางที่ 2.7

ต.ดงดำ อ.ลี้ จ.ลำพูน

สำนักงานพลังงานแห่งชาติ เปิดการทำเหมืองถ่านหินที่บ้านปาดำ ต.ดงดำ อ.ลี้ จ.ลำพูน เมื่อปี พ.ศ. 2513 มีผลผลิตถ่านหินออกจำหน่ายจนถึงปี พ.ศ. 2527 รวมทั้งหมด 0.586 ล้านตัน

ชั้นถ่านหินบริเวณนี้พบเป็น 2 ชั้น วางตัวในแนวประมาณเหนือ-ใต้ มีมุมเอียง (Dip) ประมาณ 10° ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ความหนาของชั้นถ่านแต่ละชั้นประมาณ 8-10 เมตร ชั้นถ่านหินชั้นบนถึงระดับความลึกประมาณ 60 เมตร ส่วนถ่านชั้นล่างถึงระดับความลึกประมาณ 100 เมตร จากผิวดิน ระยะห่างระหว่างชั้นถ่านทั้งสองประมาณ 20 เมตร แทรกคั่นด้วยชั้นดินดานและดินขาว และพบชั้นหินปูนรองรับถ่านชั้นล่าง ในเนื้อถ่านจะมีดินแทรกปนเป็นชั้นบางๆ ทำให้ถ่านที่ผลิตได้มีสิ่งเจือปน (Parting) มาก บริเวณของแอ่งถ่านถูกปิดทับด้วยชั้นหินลูกรัง และชั้นดินดาน ความหนาประมาณ 40-50 เมตร

คุณภาพของถ่านหิน : ถ่านหินในแหล่งนี้จัดอยู่ในชั้นซับบิทูมินัส มีลักษณะแข็ง ผิวก่อนข้างเป็นมัน ดำ ให้ค่าความร้อนที่สูง ในขณะที่มีซัลเฟอร์ และกำมะถันน้อย เมื่อทิ้งไว้ถูกอากาศ นานๆ จะไม่แตกร่วนง่าย แต่ในชั้นถ่านพบชั้นดินแทรกเป็นชั้นบางๆ ทำให้ถ่านมีสิ่งเจือปนสูง ผลวิเคราะห์ถ่านในแหล่งโดยเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 2.7

ต.แม่ตึบ อ.งาว จ.ลำปาง

บริษัท แพร่ลิกไนต์ จำกัด เปิดทำเหมืองที่ ต.แม่ตึบ อ.งาว จ.ลำปาง เมื่อปี พ.ศ. 2519 และผลิตถ่านออกจำหน่ายถึงปี พ.ศ. 2527 รวมทั้งหมด 299,548.1 ตัน ตามสถิติการชำระค่าภาคหลวง

ถ่านหินในแหล่งนี้ เป็นถ่านหินในยุคเทอร์เชียรี ตะกอนที่สะสมในแอ่งแม่ตึบนี้ชั้นล่างสุดจะเป็นชั้นหินภูเขาไฟ และหินตะกอนภูเขาไฟหลายชนิด ถัดขึ้นมาเป็นหินตะกอนพวกคาร์บอเนตเหนือขึ้นมาเป็นชั้นถ่านหินสลับทับชั้นหินดินดาน ตะกอนชั้นบนสุดเป็นตะกอนแม่น้ำ พวกทรายและโคลนสะสมตัว บริเวณที่เปิดทำเหมืองในปัจจุบันชั้นถ่านมีความหนาประมาณ 7 เมตร วางตัวในแนว N 30 °E มีมุมเอียง (Dip) 40°-45° SE วางตัวอยู่ใต้ชั้นดินดานความหนาประมาณ 15-20 เมตร ชั้นเปลือกดินมีความหนาระหว่าง 0-20 เมตร

คุณภาพของถ่านหิน : ถ่านหินในบริเวณนี้จัดอยู่ในชั้นซับบิทูมินัส-บิทูมินัส ที่มีสารระเหยสูง มีลักษณะมีสีดำเป็นมัน น้ำหนักเบา รอยแตกเป็นรูปคล้ายฝ่าหอยเนื้อถ่านแน่น มีผลวิเคราะห์เฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ต.ลี อ.ลี จ.ลำพูน

บริษัท เวอร์ดฟีวล์ เปิดการทำเหมืองเมื่อ ปี พ.ศ. 2522 ที่บ้านปู ต.ลี อ.ลี จ.ลำพูน ได้หยุดการทำเหมืองชั่วคราวเมื่อปลายปี พ.ศ. 2526 หลังจากได้ผลิตถ่านออกจำหน่ายรวม 192,522.25 ตัน (ขณะนี้หยุดการทำเหมืองแล้ว)

จากการสำรวจพบชั้นถ่านหินวางตัวในแนวราบ หนาประมาณ 30-40 เมตร มีชั้นหินดินดานเกิดแทรกสลับอยู่บ้างเป็นบางครั้ง เปลือกดินเป็นดินตะกอนใหม่ พวกทราย และดินร่วน ความหนาประมาณ 6 เมตร แหล่งถ่านหินนี้เกิดสะสมตัวเป็นแอ่งเล็ก ในแอ่งลี (Li-Tertiary Basin) วางตัวในแนวประมาณ เหนือ-ใต้

คุณภาพของถ่านหิน : ถ่านหินในบริเวณแอ่งบ้านปูนี้ จัดอยู่ในถ่านหินชั้นซิกไนต์-ซับบิทูมินัส มีผลวิเคราะห์ถ่านโดยเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ต.ลี อ.ลี จ.ลำพูน

เหมืองนายตัน เมาคำลี ดำเนินงานโดย บริษัท เวอร์ดฟีวล์ จำกัด บริเวณบ้านปู ต.ลี อ.ลี จ.ลำพูน เริ่มทำเหมืองผลิตถ่านออกจำหน่ายตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 และสามารถผลิตถ่านออกจำหน่ายถึงปี พ.ศ. 2527 รวมทั้งหมด 55,146 ตัน

แหล่งถ่านหินแหล่งนี้เกิดสะสมตัวแบบ Swamp Deposit เป็นแอ่งเล็กในแอ่งลี (Li-Tertiary Basin) ความหนาของชั้นถ่านประมาณ 40 เมตร วางตัวในแนวประมาณเหนือ-ใต้ เอกสารนี้เปิดเผยเป็นครั้งแรกแก่สาธารณชนโดยกรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ กระทรวงพลังงาน อย่างไรก็ตามไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอียง (Dip) ประมาณ 15 องศา พบมีชั้นของดินดานเกิดแทรกสลับเป็นบางระยะเปลือกดิน
ชั้นบนหนาประมาณ 5 เมตร เป็นตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวพวก Silt และ Clay

คุณภาพของถ่านหิน : ถ่านหินในประทานบัตรแหล่งนี้ จัดอยู่ในชั้นลิกไนต์-ซับบิทูมินัส
ลักษณะของถ่านโดยทั่วไปมีสีตั้งแต่ สีน้ำตาลดำ ถึงสีดำ อัดตัวค่อนข้างแน่นทำให้เนื้อถ่านแข็ง
มีรอยแตกแบบ Subconchoidal และมี Woody Texture ในบางส่วน เมื่อปล่อยทิ้งไว้จะแตกร่วน
เป็นก้อนเล็ก ผลวิเคราะห์ถ่านโดยถ่านเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ต.นาทราย อ.ลี้ จ.ลำพูน

เมืองนายประสิทธิ์ ธรรมปรีดา บริเวณ ต.นาทราย อ.ลี้ จ.ลำพูน เปิดการทำเหมือง
เมื่อปี พ.ศ. 2526 แต่ในปลายปีนั้นเองก็ต้องหยุดการทำเหมืองชั่วคราว เนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่าย
จ่ายในการเปิดเปลือกดินสูงมาก แต่มีโครงการที่จะเปิดการทำเหมืองใหม่ในเร็วๆ นี้ ถ่านนี้ได้
ผลิตออกจำหน่ายมีเพียง 6,009 ตันเท่านั้น

แอ่งบ้านนาทรายเป็นแอ่งถ่านขนาดกว้างที่ไม่แสดงขอบเขตชัดเจนเหมือนแอ่งบ้านปู
หรือแอ่งลี้ ชั้นถ่านมีความหนา 2-7 เมตร วางตัวอยู่ได้ชั้น Mudstone Shale Sandstone และ
Conglomerated Sandstone ซึ่งมีความหนาตั้งแต่ 10-80 เมตร เปลือกดินเป็นพวก Sand และ
Gravel หนาประมาณ 3-10 เมตร

คุณภาพของถ่านหิน : ถ่านหินในบริเวณนี้ จัดเป็นถ่านลิกไนต์ เนื้อค่อนข้างเหนียว เมื่อ
แห้งจะแตกเป็นร่องลึก มีน้ำหนักเบา และแตกอยู่ได้ง่าย ผลวิเคราะห์ของถ่านโดยเฉลี่ย ดัง
แสดงในตารางที่ 2.7

ต.ลี้ อ.ลี้ จ.ลำพูน

บริษัทเหมืองบ้านปู จำกัด ได้เข้าช่วงการทำเหมืองจากสำนักงานพลังงานแห่งชาติที่
บ้านปู ต.ลี้ อ.ลี้ จ.ลำพูน เมื่อปี พ.ศ. 2527 โดยผลิตถ่านออกจำหน่ายในปีนั้นรวม 134,027.6
ตัน

แหล่งถ่านหินในบริเวณบ้านปูเกิดอยู่ในแอ่ง Ban Pu-Ban Na Klang Sub-Basin ชั้นถ่าน
หินวางตัวในแนวประมาณเหนือ-ใต้ มีมุมเอียง (Dip) ประมาณ 5° - 8° มีหินตะกอนที่ยังไม่แข็ง
ตัวพวก Sand Silt และ Clay ปิดทับอยู่ พบหินปูนทางทิศเหนือไปจนถึงทิศตะวันตกของพื้นที่
ทางทิศตะวันตกและตะวันออกพบพวกหิน Shale Quartzite Sandstone Shale โดยมีหิน Chert
เกิดแทรกสลับอยู่ ชั้นถ่านหินจะเกิดแทรกตัวอยู่ในตะกอน พวก Clay Silt โดยมีหิน Mudstone
และ Shale แทรกสลับอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพของถ่านหิน : ถ่านหินในประทานบัตรแปลงนี้ จัดอยู่ในถ่านชั้นลิกไนต์ถึงชั้นบิทูมินัส ลักษณะของถ่านมีสีตั้งแต่ สีน้ำตาลดำ ถึงสีดำ เนื้อถ่านหิวนค่อนข้างแข็ง ผลวิเคราะห์ถ่านในแหล่งโดยเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ต.แม่ตื่น อ.แม่ระมาด จ.ตาก

บริษัท ไทยลิกไนต์ จำกัด ที่แม่ตื่น อ.แม่ระมาด จ.ตาก เปิดทำเหมืองในปี พ.ศ. 2523 และผลิตถ่านออกจำหน่ายถึงปี พ.ศ. 2527 รวม 233,072.4 ตัน เป็นแอ่งเทอร์เชียรีขนาดเล็ก ชั้นถ่านมีความหนา 5-30 เมตร พบพวก Claystone และ Oil Shale เกิดแทรกเป็น Parting ในชั้นถ่านหินที่ปิดทับชั้นถ่านเป็นพวก Sandstone Claystone และ Oil Shale ความหนาประมาณ 10-60 เมตร ส่วนชั้นเปลือกดินเป็นพวกกรวดทราย หนาประมาณ 3 เมตร พบชั้นถ่านบางๆ ความหนาประมาณ 1-3 เมตร เกิดแทรกในชั้นหิน Sandstone ด้วย

คุณภาพของถ่านหิน : ถ่านหินแหล่งนี้จัดเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดี เป็นถ่านหินชั้นบิทูมินัส - บิทูมินัส มีปริมาณซีดำและกำมะถันต่ำ ถ่านมีสีดำ รอยแตกแบบฝายหอย สามารถเก็บได้นานโดยไม่ยุ่ยพังสลายตัว ผลวิเคราะห์ของถ่าน ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ต.นาดำรง อ.นาดำรง จ.เลย

บริษัท สยามแกรไฟท์ (เลย) จำกัด เปิดการทำเหมืองเมื่อปี พ.ศ. 2525 ที่ ต.นาดำรง อ.นาดำรง จ.เลย ผลิตถ่านออกจำหน่ายรวมทั้งสิ้น 17,220 ตัน หลังจากนั้นไม่มีรายงานการจำหน่ายถ่านตั้งแต่กลางปี พ.ศ. 2526 เป็นแหล่งถ่านหินและแกรไฟท์เกิดร่วมกัน เป็นกระเปาะไม่มีความแน่นอนเกิดแทรกอยู่ระหว่างชั้นของหินดินดานและหินทราย ชั้นเปลือกดินหนาประมาณ 7-10 เมตร

คุณสมบัติของถ่านหิน : ถ่านหินที่พบจัดอยู่ในชั้นเซมิแอนทราไซต์-แอนทราไซต์ เกิดร่วมกับแกรไฟท์ โดยมีผลวิเคราะห์ถ่านเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ต.นาแก อ.นาแก จ.อุดรธานี

หจก. จินดาทรัพย์ (2525) เปิดทำเหมืองเมื่อปี พ.ศ. 2526 ที่ ต.นาแก อ.นาแก จ.อุดรธานี โดยผลิตถ่านหินออกจำหน่ายถึงสิ้นปี พ.ศ. 2527 รวม 6,400 ตัน เป็นแหล่งถ่านหินและแกรไฟท์ พบอยู่ใต้ชั้นดินและหินลูกรังลึกประมาณ 10 เมตร เป็นกระเปาะไม่มีความแน่นอน มีการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยามาก

คุณภาพของถ่านหิน : ถ่านหินแหล่งนี้จัดเป็นถ่านชั้นแอนทราไซต์ เกิดร่วมกับแร่แกรไฟท์

และมีผลวิเคราะห์โดยเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต.หนองหญ้าปล้อง อ.หนองหญ้าปล้อง จ.เพชรบุรี

บริษัท เอเชียลิกันต์ จำกัด ที่ ต.หนองหญ้าปล้อง อ.หนองหญ้าปล้อง จ.เพชรบุรี เปิดทำเหมืองผลิตถ่านออกจำหน่ายในปี พ.ศ. 2527 โดยมีผลผลิตถ่านจำหน่ายรวมในปี พ.ศ. 2527 เท่ากับ 62,763 ตัน เป็นแหล่งถ่านหินในแอ่งยูคเทอร์เชียรี เกิดเป็นชั้นสลับกับชั้นตะกอนดินทราย จนถึงความลึกประมาณ 30-40 เมตร โดยมีชั้นเปลือกดินหนาประมาณ 3 เมตร

คุณภาพของถ่านหิน : ถ่านหินในแหล่งจัดเป็นถ่านหินชั้นซับบิทูมินัส-บิทูมินัส โดยมีผลวิเคราะห์ของถ่านเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 2.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างรายงานผลการวิเคราะห์ถ่านหิน

Coal Mine	: Li, Lumphum Province, Thailand.		
Rank of Coal	: Sub-bituminous		
Total Moisture	%	ar	30
Free Moisture	%	ar	16
Inherent Moisture	%	ar	14
Calorific Value	Kcal/kg	ar	3500
Proximate Analysis	%	db	30
Ash	%	db	30
Volatile Matter	%	db	40
Fixec Carbon	%	db	30
Ultimate Analysis			
Corrected Ash	%	db	28
Total Carbon	%	db	53
Hydrogen	%	db	4
Oxygen	%	db	12
Nitrogen	%	db	1
Total Sulphur	%	db	2
Grindability	H.G.I		45
Fouling Index			0.03
Slagging Index			1296
Fuel Ratio			0.75
Combustibility			4666.67
Ash Composition			
SiO ₂	%	db	45.0
Al ₂ O ₃	%	db	28.0
TiO ₂	%	db	1.0
Fe ₂ O ₃	%	db	9.0
MgO	%	db	1.5
CaO	%	db	8.0
MnO	%	db	0.5
BaO	%	db	0.2
Na ₂ O	%	db	0.1
K ₂ O	%	db	1.0
P ₂ O ₅	%	db	0.2
SO ₃	%	db	5.0
Ash Fusion Temperature			
Initial Deformation Temp.	c		1290
Softening Temp.	c		1310
Hemispherical Temp.	c		1320
Fluid Temp.	c		1380

Remark

- ar : As received Basis
 db : Dry Basis or Moisture Free Basis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 เหมืองถ่านหินและคุณภาพของถ่านหินในประเทศไทย

เหมืองถ่านหิน	สถานที่				คุณภาพของถ่านหิน						
	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	เปิดการเมื่อ	ชนิดถ่านหิน	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	ซี้ดำ (%)	ความชื้น (%)	กำมะถัน (%)	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงที่ (%)
เหมืองแม่เมาะ (กฟผ.)	บ้านดง	แม่เมาะ	ลำปาง	พ.ศ.2496	ลิกไนท์-ซับบิทูมิ นัส	2,725 (as-received)	25.4	30.2	2.41	28.5	16.5
เหมืองกระบี่ (กฟผ.)	คลองขนาน	เมือง	กระบี่	พ.ศ.2507	ลิกไนท์-ซับบิทูมิ นัส	2,400-4,560 (as-received)	5.69-44.63	14.16- 41.81	2.22	47	41
สำนักงานพลังงานแห่งชาติ	ดงดำ	ลิ	ลำพูน	พ.ศ.2513	ซับบิทูมินัส	6,000 (dry basis)	11.0	8.59	1.4	41.1	38.9
บริษัทแพร์ลิกไนต์ จำกัด	แม่ตีบ	งาว	ลำปาง	พ.ศ.2519	ซับบิทูมินัส-บิทูมิ นัส	4,500-4,800 (as-received)	7-11	19.21	1.5-2.7	27-31	38-41
บริษัทเวอร์ดีพาวส์ จำกัด	ลิ	ลิ	ลำพูน	พ.ศ.2522	ลิกไนท์-ซับบิทูมิ นัส	2,900-4,800 (as-received)	3-9	28-30	1-2	29-34	32-36
นายตัน เมาคำลี	ลิ	ลิ	ลำพูน	พ.ศ.2526	ลิกไนท์-ซับบิทูมิ นัส	4,800 (as-received)	8.9	30-32	2.5	44.7	48.2
นายประสิทธิ์ ธรรมปริดา	นาทราย	ลิ	ลำพูน	พ.ศ.2526	ลิกไนท์ นัส	2,900-3,600 (as-received)	7-17	25-47	1.0-2.8	25-31	16-32
บริษัทเหมืองบ้านปู่ จำกัด	ลิ	ลิ	ลำพูน	พ.ศ.2527	ลิกไนท์-ซับบิทูมิ นัส	5,500 (dry basis)	20	2-3	1.2-1.7	30	35-40
บริษัทไทยลิกไนท์ จำกัด	แม่ตื่น	แม่ระมาด	ตาก	พ.ศ.2523	ซับบิทูมินัส-บิทูมิ นัส	4,500-5,800 (as-received)	9-24	6-13	0.9-2.1	22-37	33-51
บริษัทสยามแกรไฟท์ (เลย) จำกัด	นาด้าง	นาด้าง	เลย	พ.ศ.2525	เซมิแอนทราไซต์- แอนทราไซต์	4,707-6,978 (dry basis)	17.48- 35.43	2.31-4.23	0.52-1.07	2.78-7.71	54.87-72.99
หจก. จินดาทรัพย์ (2525)	นาแก	นากลาง	อุดรธานี	พ.ศ.2526	แอนทราไซต์	6,000 (avg) (dry basis)	18.62	3.42	0.60	2.34	75.62
บริษัทเอเชียลิกไนท์ จำกัด	หนองหญ้าปล้อง	หนองหญ้าปล้อง	เพชรบุรี	พ.ศ.2527	ซับบิทูมินัส-บิทูมิ นัส	5,000-7,500 (dry basis)	6-16	2-8	0.7-1.08	32.5	43-58

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ตะกอนแห้งบดละเอียด
2. ถ่านไม้
3. ถ่านหิน
4. Benzoic acid บริสุทธิ์ สำหรับ calibrate เครื่อง
5. Wash solution : เตรียมโดยเติม methyl orange 1 ml ลงในน้ำกลั่น

แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

6. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เข้มข้น 0.0725 N
7. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH)
8. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 1:1 เตรียมโดยผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นกับน้ำ กลั่นในปริมาตรที่เท่ากัน
9. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) เข้มข้น 100 g/l
10. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เตาคาร์บอนไนต์ชนิด Tube Furnace ยี่ห้อ Vecstar Model : VCTF4
2. ถังบรรจุก๊าซไนโตรเจน
3. crucible สำหรับ Tube Furnace
4. Automatic Bomb Calorimeter ยี่ห้อ GALLENKAMP
5. ถังบรรจุก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์
6. สายท่อสำหรับบรรจุออกซิเจนเข้า Bomb Calorimeter
7. ชุดอัดก้อน Bomb Calorimeter
8. เชือก
9. ลวด
10. Thermogravimetric Analysis ยี่ห้อ TA Instruments รุ่น TGA51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ตู้อบไฟฟ้า
12. เตาเผา (Furnace) ยี่ห้อ Carbolite Furnaces รุ่น CSF 1200
13. Porcelain crucible
14. ตะเกียงบนเสนาพร้อมขาตั้ง 1 ชุด
15. Volumetric flask 1 ลิตร 1 ใบ
16. Volumetric flask 250 ml 2 ใบ
17. Volumetric flask 100 ml 1 ใบ
18. Beaker 100 ml 2 ใบ
19. Beaker 250 ml 4 ใบ
20. Erlenmeyer flask 250 ml 4 ใบ
21. Pipett 10 ml 2 อัน
22. เครื่องกรองบุชเนอร์
23. กระจกตวง 100 ml 1 อัน
24. Hot plate
25. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และเบอร์ 42
26. pH meter ยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น Model 250
27. ถ้วยกระเบื้อง
28. เดซิเคเตอร์
29. สายยางสำหรับเตาเผาคาร์บอน
30. แท่งกวนแม่เหล็ก
31. ขวดน้ำกลั่น
32. เครื่องชั่งละเอียด ยี่ห้อ Precise รุ่น 205A
33. นาฬิกาจับเวลา

3.3 แหล่งที่มาของตะกอน

ตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ที่ผ่านการรีดตะกอนด้วยเครื่องรีดตะกอน ของบริษัท สัมปะหลังพัฒนา จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การดำเนินการทดลอง

3.4.1 การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของถ่านไม้ ถ่านหินและตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของตะกอนที่เพิ่งออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนแฉ่ง โดยต้องการให้เหลือความชื้นต่ำกว่า 35% ดังวิธีการวิเคราะห์ความชื้นตามมาตรฐานในภาคผนวก ก.

ทำการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางความร้อนของถ่านไม้ ถ่านหินและตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์ ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างจะทำการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ชี้เถ้า สารระเหยง่าย คาร์บอนคงที่และกำมะถัน ซึ่งขั้นตอนและรายละเอียดต่าง ๆ ของการวิเคราะห์ แสดงในภาคผนวก ก

องค์ประกอบที่ต้องการวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์
ปริมาณความชื้น	ASTM D 3173 - 73
ปริมาณสารระเหยง่าย	Thermogravimetric Analysis
ปริมาณชี้เถ้า	ASTM D 3174 - 73
ปริมาณคาร์บอนคงที่	คำนวณจากปริมาณความชื้น
ปริมาณกำมะถัน	ปริมาณสารระเหย และปริมาณชี้เถ้า
	Bomb Calorimeter and titration

2. การวิเคราะห์หาคุณค่าทางความร้อน

สำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาคุณค่าทางความร้อนนั้น จะทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยใช้ Bomb Calorimeter ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อคุณสมบัติในการคาร์บอนไนซ์

การเตรียมตะกอนเพื่อทำคาร์บอนไนซ์

1. นำตะกอนไปอบหรือตากแดดให้แห้ง โดยให้เหลือความชื้นประมาณต่ำกว่า 35%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ นำตะกอนที่แห้งแล้วมาบดอย่างหยาบ ๗ อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคาร์บอนไนซ์ตะกอน

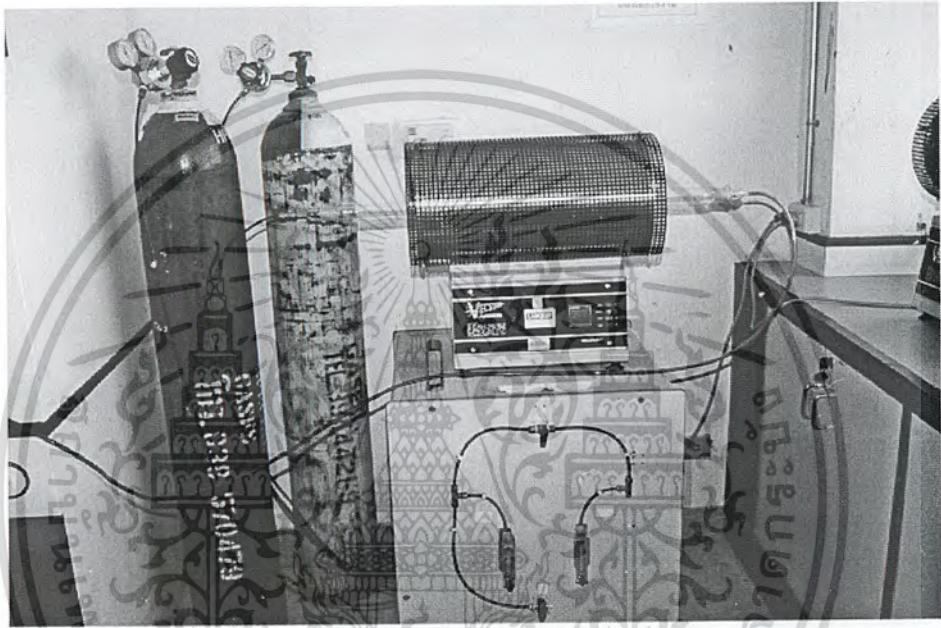
1. นำตะกอนแห้งที่เตรียมไว้มาบรรจุใส่ในครุชีเบลจนเต็ม และชั่งน้ำหนักเริ่มต้น
2. นำครุชีเบลที่บรรจุตะกอนเรียบร้อยแล้วมาใส่ในท่อแก้วทนความร้อน
3. นำท่อแก้วเข้าเตาเผาชนิด Tube Furnace และต่อสายไนโตรเจนเข้าทางด้านหนึ่งของท่อแก้ว ส่วนอีกด้านหนึ่งของท่อแก้วต่อสายระบายไนโตรเจนเข้าสู่เครื่องกำจัดอากาศเสีย ดังแสดงในรูปที่ 3.1
4. เปิดไนโตรเจนให้ไหลผ่านเข้าสู่ท่อแก้วเพื่อไม่ให้เกิดการเผาไหม้ จากนั้นทำการเปิดเตาเผา โดยกำหนดอุณหภูมิและเวลาในการทำคาร์บอนไนซ์เป็นดังนี้
 - อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำคาร์บอนไนซ์ 1 ชั่วโมง
 - อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำคาร์บอนไนซ์ 1 ชั่วโมง
 - อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำคาร์บอนไนซ์ 3 ชั่วโมง
5. ปลดปล่อยให้ตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ได้มีอุณหภูมิต่ำลงภายในเตาเผาคาร์บอนไนซ์
6. นำเอาตะกอนคาร์บอนไนซ์ออกจากเตาเผา พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ได้ และนำไปทดสอบในช่วงอื่นต่อไป
7. ทำซ้ำเดิมอีกตัวอย่างละ 2 ซ้ำ
8. นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้
9. นำตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี อันได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณซีเถ้า ปริมาณคาร์บอนคงที่และปริมาณกำมะถัน ตามวิธีการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 3.4.1
10. นำตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ได้ไปหาค่าทางความร้อน ตามวิธีการในหัวข้อที่ 3.4.1

3.4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของตะกอนคาร์บอนไนซ์กับถ่านไม้ ถ่านหินและตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์

ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีและคุณค่าทางความร้อนแสดงดังรูปที่ 3.2 - 3.7

1. ถ่านไม้
2. ถ่านหิน
3. ตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์
4. ตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ 300 องศาเซลเซียส / 1 ชั่วโมง
5. ตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ 500 องศาเซลเซียส / 1 ชั่วโมง
6. ตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ 500 องศาเซลเซียส / 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงการคาร์บอนไนต์ด้วย Tube Furnace

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

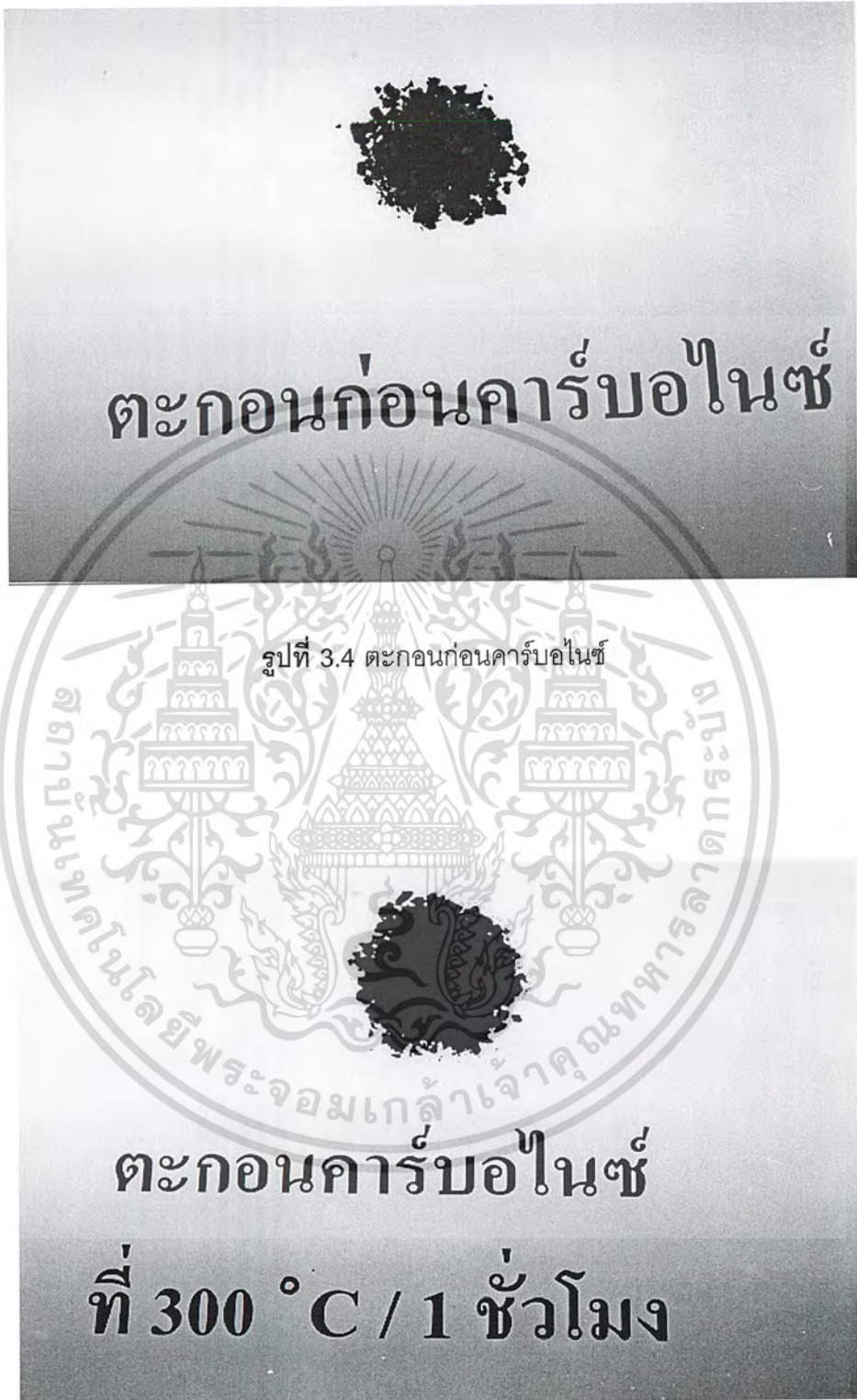


รูปที่ 3.2 ถ่านไม้



รูปที่ 3.3 ถ่านหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ตะกอนคาร์บอนที่ 300 องศาเซลเซียส / 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ 500 องศาเซลเซียส / 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.7 ตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ 500 องศาเซลเซียส / 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของถ่านไม้ ถ่านหินและตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์

โดยปกติตัวอย่างที่ต้องการทำให้เป็นถ่านจะไม่สามารถเกิดการคาร์บอนไนซ์ได้จนกว่าจะถูกทำให้แห้ง แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความชื้นของสารตัวอย่างที่ต้องการคาร์บอนไนซ์ มีผลต่อการคาร์บอนไนซ์ จาก Forest Products Research Division (1984) อิทธิพลของความชื้นต่อการคาร์บอนไนซ์นั้น พบว่า ควรทำให้ตัวอย่างมีความชื้นต่ำกว่า 35 % จึงทำให้อิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อคุณภาพถ่านนั้นมีเพียงเล็กน้อย ดังนั้น จึงต้องมีการศึกษาปริมาณความชื้นของตะกอนที่เพิ่งออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งเป็นคุณสมบัติเบื้องต้นก่อนทำการคาร์บอนไนซ์ ตะกอน จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นของตะกอนดังกล่าว มีค่าสูงถึง 90.49 % ซึ่งไม่สมควรที่จะทำการคาร์บอนไนซ์ตะกอนดังกล่าวในทันที จะต้องมีการนำเอาตะกอนไปตากแดดหรืออบให้แห้ง เพื่อให้ตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์มีค่าความชื้นต่ำกว่า 35 % จึงสามารถนำไปทำการคาร์บอนไนซ์ต่อไปได้

ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางความร้อนของถ่านไม้ ถ่านหินและตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์ โดยใช้วิธีแบบ Proximate Analysis เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณซีเถ้าและปริมาณคาร์บอนคงที่ Thermogravimetric Analysis เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย Bomb Calorimeter and titration เพื่อหาปริมาณกำมะถันและ Bomb Calorimeter เพื่อวิเคราะห์หาคุณค่าทางความร้อน ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1

4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อคุณสมบัติในการคาร์บอนไนซ์

การทดลองนี้ได้มีการคาร์บอนไนซ์ตะกอนที่ผ่านการตากแห้งแล้วในเครื่องคาร์บอนไนซ์แบบ Tube Furnace (ดังรูปที่ 3.1) เมื่อนำตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ มาวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของการวิเคราะห์เชื้อเพลิง โดยปริมาณของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ได้จากการทดลอง เมื่อให้อุณหภูมิและเวลาในการคาร์บอนไนซ์ที่แตกต่างกัน ถูกนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (% yield) ดังแสดงในตารางที่ 4.2

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางความร้อนของตะกอนคาร์บอน

ไนซ์ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ พบว่าตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปรากฏว่าทั้งสีและกลิ่น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุดเท่ากับ 1.61% เนื่องจากตะกอนคาร์บอนที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะมีความสามารถในการดูดซึมความชื้นจากอากาศน้อยกว่าตะกอนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 3 ชั่วโมง จึงทำให้สูญเสียความร้อนน้อยในการไล่ความชื้นเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ ส่วนปริมาณสารระเหยมีมากที่สุดถึง 34.51 % เนื่องจากอุณหภูมิในการคาร์บอนเพียง 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะทำให้สารระเหยถูกขับดันออกจากตะกอนน้อยกว่าตะกอนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 3 ชั่วโมง ทำให้มีคุณสมบัติในการจุดติดไฟง่าย นอกจากนี้ยังมีปริมาณซีเอนน้อยกว่าที่สุดคือ 43.31% เนื่องจากตะกอนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีองค์ประกอบที่สามารถสลายตัวด้วยความร้อน เช่น สารระเหย มากกว่าตะกอนคาร์บอนที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 3 ชั่วโมง แต่ยังคงมีปริมาณกำมะถันอยู่สูงถึง 0.96 % เนื่องจากตะกอนคาร์บอนที่มีปริมาณกำมะถันอยู่สูงถึง 1.07% และการคาร์บอนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ยังมีอุณหภูมิและเวลาไม่มากเพียงพอที่จะกำจัดกำมะถันออกจากตะกอนให้เหลือปริมาณน้อยได้ และตะกอนคาร์บอนที่สภาวะดังกล่าวจะมีค่าคาร์บอนคงที่และคุณค่าทางความร้อนใกล้เคียงกับตะกอนคาร์บอนที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง เนื่องจากคาร์บอนคงที่เป็นองค์ประกอบที่เมื่อเผาไหม้จะสลายตัวให้พลังงานความร้อน หากค่าคาร์บอนคงที่ใกล้เคียงกันจะทำให้คุณค่าทางความร้อนใกล้เคียงกันด้วย ส่วนตะกอนคาร์บอนที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง นั้นจะมีคุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้ (% yield) จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าคาร์บอนที่ตะกอนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้มากกว่าตะกอนที่คาร์บอนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง เนื่องจากการคาร์บอนที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้องค์ประกอบเกิดการสลายตัวน้อยกว่าการคาร์บอนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักมากกว่า ส่วนตะกอนคาร์บอนที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะมีเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้ใกล้เคียงกับตะกอนคาร์บอนที่อุณหภูมิเดียวกัน เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เนื่องจากการคาร์บอนที่อุณหภูมิเดียวกันและเวลาใกล้เคียงกันทำให้เกิดการสลายตัวขององค์ประกอบในตะกอนใกล้เคียงกัน

4.3 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางความร้อนของตะกอนคาร์บอนไนท์เปรียบเทียบกับถ่านไม้ ถ่านหิน และตะกอนก่อนคาร์บอนไนท์

ในการทดลองวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนคาร์บอนไนท์ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ เปรียบเทียบกับถ่านไม้ ถ่านหินและตะกอนก่อนคาร์บอนไนท์ ตามวิธี Proximately Analysis วิธี Thermogravimetric Analysis (TGA) และวิธี Bomb Calorimeter ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ตะกอนคาร์บอนไนท์มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับถ่านหิน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านไม้จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของตะกอนคาร์บอนไนท์มีความแตกต่างกับถ่านไม้ จึงทำให้คุณภาพของตะกอนคาร์บอนไนท์แตกต่างจากถ่านไม้

นอกจากนี้ตะกอนคาร์บอนไนท์ที่ได้จากการทดลอง มีปริมาณความชื้น และปริมาณสารระเหยลดลงเมื่อเทียบกับตะกอนก่อนคาร์บอนไนท์ ในทางตรงกันข้ามตะกอนคาร์บอนไนท์จะมีปริมาณซี้ถ่านและคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตะกอนก่อนคาร์บอนไนท์

คุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นส่งผลทั้งข้อดีและข้อเสียต่อตะกอนคาร์บอนไนท์ กล่าวคือตะกอนคาร์บอนไนท์มีปริมาณความชื้นลดลงเป็นคุณสมบัติที่ดีสำหรับการนำไปเป็นเชื้อเพลิง เพราะไม่ต้องสูญเสียความร้อนในการไล่ความชื้นออกไป ตะกอนคาร์บอนไนท์มีปริมาณสารระเหยลดต่ำลงทำให้ควันเกิดไม่มาก และลุกติดไฟง่าย (เทียบกับถ่านไม้) ตะกอนคาร์บอนไนท์มีปริมาณคาร์บอนคงที่สูงขึ้นมา จึงทำให้คุณค่าความร้อนของตะกอนคาร์บอนไนท์มีค่าสูงกว่าตะกอนก่อนคาร์บอนไนท์ เนื่องจากคาร์บอนคงที่เป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิงที่เมื่อเกิดการเผาไหม้จะสลายตัวให้เป็นพลังงานความร้อนออกมา แต่ยังคงมีปริมาณคาร์บอนคงที่น้อยกว่าของถ่านไม้อยู่มาก จึงทำให้คุณค่าความร้อนของตะกอนคาร์บอนไนท์ต่ำกว่าถ่านไม้ ส่วนปริมาณซี้ถ่านของตะกอนคาร์บอนไนท์จะมีมากกว่าตะกอนก่อนคาร์บอนไนท์ ซึ่งถือว่าเป็นข้อเสียของการคาร์บอนไนท์ตะกอน

นอกจากนี้ปริมาณกำมะถันในเชื้อเพลิงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ควรคำนึงถึง เนื่องจาก หากในเชื้อเพลิงมีปริมาณกำมะถันอยู่มากก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศได้เมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงดังกล่าว จากการศึกษาพบว่าคาร์บอนไนท์ตะกอนทำให้ปริมาณกำมะถันในตะกอนมีปริมาณลดลงต่ำกว่าตะกอนก่อนคาร์บอนไนท์ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณกำมะถันของตะกอนคาร์บอนไนท์กับ ถ่านไม้และถ่านหิน พบว่าปริมาณกำมะถันในตะกอนคาร์บอนไนท์ต่ำกว่าปริมาณกำมะถันในถ่านหิน แต่ยังคงสูงกว่าปริมาณกำมะถันในถ่านไม้

จากการศึกษาคุณค่าทางความร้อนของตะกอนคาร์บอนไนท์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าตะกอนที่ผ่านการคาร์บอนไนท์จะมีค่าความร้อนสูงขึ้นมาสูงกว่าตะกอนก่อนคาร์บอนไนท์ ประมาณ 1659.48 cal / g และเมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนของตะกอนคาร์บอนไนท์กับถ่านไม้

และถ่านหิน จะเห็นได้ว่า ค่าความร้อนของตะกอนคาร์บอนีท์จะมีค่ามากกว่าถ่านหินประมาณ 2456.81 cal / g แต่ยังคงมีค่าน้อยกว่าถ่านไม้ประมาณ 926.25 cal / g



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของถ่านไม้ ถ่านหินและตะกอนก่อนคาร์บอนไนท์

ตัวอย่าง	ค่าการวิเคราะห์					
	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณสารระเหย (%)	ปริมาณที่เถ้า (%)	ปริมาณคาร์บอนคงที่ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)	ค่าความร้อน (cal / g)
ถ่านไม้	4.00	24.96	2.11	68.93	0.20	6746.84
ถ่านหิน	11.93	32.51	28.81	26.75	3.34	3363.78
ตะกอนก่อนคาร์บอนไนท์	9.02	61.06	25.78	4.14	1.07	4161.11

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติของตะกอนคาร์บอนไนท์ที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตะกอนคาร์บอนไนท์ที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ ตะกอนคาร์บอนไนท์ที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	ค่าการวิเคราะห์						
	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณสารระเหย (%)	ปริมาณซี้ด (%)	ปริมาณคาร์บอนคงที่ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)	ค่าความร้อน (cal / g)	% ผลิตภัณฑ์
ตะกอนคาร์บอนไนท์ที่ 300 °C / 1 hr	1.61	34.51	43.31	20.57	0.96	5820.58	54.61
ตะกอนคาร์บอนไนท์ที่ 500 °C / 1 hr	2.07	19.24	56.03	22.66	0.44	5850.68	43.32
ตะกอนคาร์บอนไนท์ที่ 500 °C / 3 hr	2.64	13.52	56.29	27.55	0.44	5975.71	41.40

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองเพื่อศึกษาแนวโน้มของความเป็นไปได้ในการใช้ตะกอนคาร์บอนเป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยเริ่มตั้งแต่การศึกษาถึงการคาร์บอนที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน โดยใช้เครื่องคาร์บอนแบบ Tube Furnace การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและค่าความร้อนของตะกอนคาร์บอน เปรียบเทียบกับถ่านไม้ ถ่านหิน และตะกอนก่อนคาร์บอน ได้ข้อสรุปดังนี้

1. การคาร์บอนที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน อันได้แก่ ตะกอนคาร์บอนที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตะกอนคาร์บอนที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตะกอนคาร์บอนที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการคาร์บอนที่เหมาะสมมากที่สุดคือ ตะกอนคาร์บอนที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เนื่องจากใช้พลังงานในการคาร์บอนน้อยที่สุดแต่คุณสมบัติต่าง ๆ ของตะกอนมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ และเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่ามากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 54.61 %

2. ตะกอนคาร์บอนมีคุณสมบัติที่เหมาะสมเพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนทั้งนี้เนื่องจาก ตะกอนคาร์บอนที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีความชื้นต่ำกว่าถ่านไม้และถ่านหิน ทำให้ตะกอนคาร์บอนมีคุณภาพดี เพราะไม่ต้องสูญเสียความร้อนในการไล่ความชื้นเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ มีเปอร์เซ็นต์สารระเหยสูงกว่าถ่านไม้และถ่านหิน ทำให้สามารถจุดติดไฟได้ง่าย และมีปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับตะกอนก่อนคาร์บอน แต่ตะกอนคาร์บอนจะมีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสม คือ ตะกอนคาร์บอนจะมีปริมาณซัลเฟอร์สูงชันมากกว่าตะกอนก่อนคาร์บอน ซึ่งตะกอนคาร์บอนที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีองค์ประกอบเป็นดังนี้

เปอร์เซ็นต์ของความชื้นเท่ากับ	1.61
เปอร์เซ็นต์ของสารระเหยเท่ากับ	34.51
เปอร์เซ็นต์ของซัลเฟอร์	43.31
เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนคงที่	20.58

3. ตะกอนคาร์บอนจะมีปริมาณกำมะถันลดลงต่ำกว่าตะกอนก่อนคาร์บอน แต่

ตะกอนคาร์บอนที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ยังคงมีปริมาณกำมะถันค่อนข้างสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเทียบกับถ่านไม้ แต่ยังคงมีปริมาณกำมะถันน้อยกว่าถ่านหินอยู่มาก ซึ่งตะกอนคาร์บอนที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะมีปริมาณกำมะถันเท่ากับ 0.96 %

4. คุณค่าความร้อนของตะกอนคาร์บอนจะมีค่าค่อนข้างสูง โดยตะกอนคาร์บอนที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะมีคุณค่าความร้อนเท่ากับ 5820.58 cal / g

5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษนี้ผู้ทำการทดลอง มีข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะทำการศึกษางานวิจัย ต่อจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ดังนี้

1. ศึกษาการคาร์บอนที่ตะกอนโดยใช้เครื่องคาร์บอนที่แบบอื่น ๆ ที่ทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนมากพอต่อการนำไปใช้
2. ควรมีการทดลองกับตะกอนจากระบบ Activated Sludge ของอุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ เพื่อหาตะกอนที่มีปริมาณกำมะถันอยู่น้อย ซึ่งจะส่งผลให้ตะกอนคาร์บอนที่มีปริมาณกำมะถันน้อยลงไปอีก
3. ศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของตะกอนคาร์บอนที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้จริงมากน้อยเพียงใด
4. ควรทำการอบตัวอย่างก่อนทำการทดสอบคุณค่าทางความร้อนด้วย bomb calorimeter เนื่องจากปริมาณความชื้นมีผลต่อคุณค่าความร้อนของตัวอย่าง
5. ศึกษาการคาร์บอนที่ตะกอนที่มีการใช้อุณหภูมิ หรือระยะเวลาของการคาร์บอนที่ตะกอนน้อยกว่าการศึกษาในโครงการพิเศษฉบับนี้เพื่อหาพลังงานต่ำสุดที่สามารถคาร์บอนที่ตะกอนได้
6. ทำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการนำตะกอนคาร์บอนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- เกริกชัย สุภาบุญงษ์. **ไอน้ำและพลังงานจากถ่านหิน.** กรุงเทพมหานคร:จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
- จารุณี แสงสุวรรณวาท. **การศึกษาการทำเชื้อเพลิงชีวจากเศษวัสดุเกษตรผสมกากส่าเหล้า และกากน้ำตาลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืนและถ่าน.** ปรินญาณิพนธ์ วท.ม. เกษตรศาสตร์: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530. อัดสำเนา.
- ธีระชัย จันทรเสนา. **การผลิตถ่านและคุณภาพของถ่านจากไม้ป่าชายเลนโดยใช้เตาอิฐขนาดเล็ก.** ปรินญาณิพนธ์ วท.ม. เกษตรศาสตร์:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2528.
- ปรีชา เกียรติกระจาย, เมธากุล เกียรติกระจาย และสุเรียร เกียรติสุนทร. **การผลิตถ่านอัดก้อนจากเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตร.** กรุงเทพมหานคร:โครงการวิจัยสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ, 2532.
- เพยาร์ รดโพธิ์ทอง. " ถ่านก้อนจากดินพุด ," เทคโนโลยีสำหรับชาวชนบท (4):11 – 12; 2531.
- รฤทธิ ไหญ่ไธมานัง. " การกำจัดตะกอนจากระบบ Activated Sludge ," อาหาร เคมี สิ่งแวดล้อม . (22):41 – 47; มกราคม 2539.
- วัฒนา เสถียรสวัสดิ์. " แหล่งของวัสดุที่มีศักยภาพในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งในประเทศไทย," รายงานการประชุมวิชาการครั้งที่ 23, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ :63 – 64; 4 – 5 กุมภาพันธ์ 2528.
- ศศิเกษม ทองยงค์. **พลังงาน.** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, 2523.
- สุภาภรณ์ มานะรังสรรค์ และ อภิชัย เทอดเทียนวงษ์. **การใช้แกลบข้าวที่ถูกคาร์บอนไนซ์แล้วเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในครัวเรือน.** ขอนแก่น:สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2532.
- อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล. **การปฏิบัติการปิโตรเคมีและพอลิเมอร์.** กรุงเทพมหานคร:ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,-

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximately Analysis) ของตัวอย่าง
นำตัวอย่างมาหาค่าคุณสมบัติมาตรฐาน ได้แก่ การหาปริมาณความชื้น ปริมาณคาร์บอนคง
ที่ และปริมาณซีเถ้า

ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง ต้องมีการเตรียมตัวอย่างสำหรับการ
วิเคราะห์แบบ Proximate ต้องนำสารตัวอย่างมาบดจนสามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 60
เมช (250 ไมโครเมตร) จากนั้นจึงนำตัวอย่างประมาณ 1 กรัม นำไปหาปริมาณความชื้น ปริมาณ
คาร์บอนคงที่ และปริมาณซีเถ้า

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (ASTM D 3173 – 73)

- นำครุชิลเปิดเข้าไปอบในเตาเผาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ $750 \pm 25^{\circ}\text{C}$ นาน 30
นาที
- ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโหลอบความชื้น
- ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งที่วัดได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม ทำกา
รอบครุชิลซ้ำจนได้น้ำหนักคงที่
- ชั่งตัวอย่างประมาณ 1.0 กรัม ในครุชิลเปิด ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างให้ได้ละเอียด
ถึง 0.1 มิลลิกรัม
- นำตัวอย่างเข้าอบในเตาอบที่อุณหภูมิ $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- ปล่อยให้ตัวอย่างให้เย็นในโหลอบความชื้น ชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง แล้วนำเข้าอบ
ในตู้อบที่อุณหภูมิ $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ อีก 1 ชั่วโมง
- ปล่อยให้ตัวอย่างให้เย็นในโหลอบความชื้นและ ชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง ทำซ้ำจน
ได้น้ำหนักของตัวอย่างคงที่
- นำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณความชื้น (\%)} &= 100(A-B) / A \\ \text{เมื่อ } A &= \text{น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ} \\ B &= \text{น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ} \end{aligned}$$

การวิเคราะห์หาปริมาณซีเถ้า (ASTM D 3174 – 73)

- นำตัวอย่างจำนวน 1 กรัม บรรจุในครุชิลเปิด นำไปเข้าเตาเผาไฟฟ้าที่ตั้ง
อุณหภูมิไว้ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำครุชิวีลออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น
3. ชั่งน้ำหนักครุชิวีลและนำไปเผาซ้ำที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยให้มีน้ำหนักลดลงไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม จึงถือว่าใช้ได้
4. ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักครุชิวีล
5. คำนวณหาปริมาณซีเมนต์ดังนี้

$$\text{ปริมาณซีเมนต์ (\%)} = (D / B) \times 100$$

เมื่อ B = น้ำหนักของตัวอย่างอบแห้ง
 D = น้ำหนักที่เหลือจากเตาเผาที่ 750 องศา

เซลเซียส

การคำนวณหาปริมาณคาร์บอนคงตัว

ปริมาณคาร์บอนคงตัวคำนวณได้จากปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย และปริมาณซีเมนต์ดังต่อไปนี้

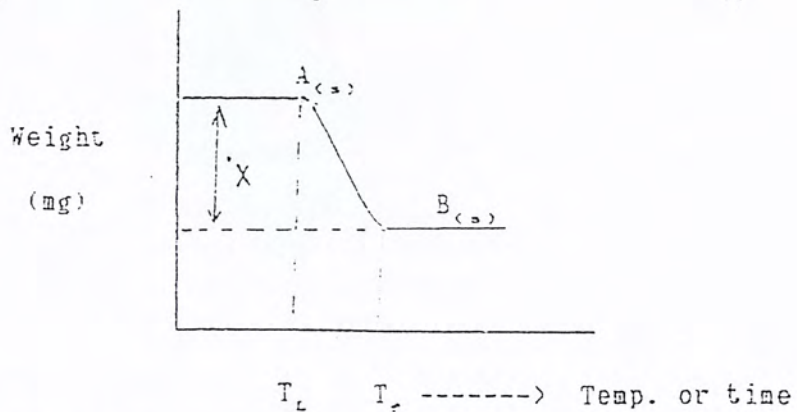
$$\text{ปริมาณคาร์บอนคงตัว (\%)} = 100 - \% \text{ความชื้น} - \% \text{สารระเหย} - \% \text{ซีเมนต์}$$

การวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย

ทฤษฎีหลักการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย

Thermogravimetric Analysis (TGA) เป็นเทคนิคหนึ่งของการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักความร้อน (Thermal Analysis , TA) นำมาใช้ประโยชน์มากโดยเฉพาะการหาความทนทานต่อความร้อน (thermal stability) และหาองค์ประกอบทางเคมีของสาร

เครื่อง TGA เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนเทียบกับเวลาหรืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ TGA Thermogram มีลักษณะโดยทั่วไปของ Thermogram ที่ได้จะเป็นดังแสดงในรูปที่ ข.1 เช่น ถ้าสมมติว่าเผาสาร A_(s) แล้วเปลี่ยนไปเป็นสาร B_(s)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานหรือการเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย โปรดใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ TL คือ อุณหภูมิเริ่มต้น (initial temperature) ที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก
 Tf คือ อุณหภูมิสุดท้าย (final temperature) ที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก
 X คือ น้ำหนักของสารที่สูญหายไปหรือเปลี่ยนแปลงไป

เครื่อง TGA นี้มีประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างพวกโพลีเมอร์ ถ่านหินและผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยใช้วิเคราะห์หาความชื้น ชนิดของโพลีเมอร์ สารที่สลายตัวเมื่อได้รับความร้อน (volatile matter) และองค์ประกอบอื่น ๆ นอกจากนี้ยังใช้ในการควบคุมคุณภาพและวิเคราะห์ทดสอบคุณลักษณะของวัสดุอีกด้วย

การใช้เครื่อง TGA เพื่อการวิเคราะห์ทดสอบมีอยู่ 2 ประการ ดังนี้

1. ใช้เพื่อศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของปฏิกิริยาทาง kinetics (characterize the kinetics of a reaction) เช่น ปฏิกิริยา decomposition , evaporation และ dehydration

2. ใช้ในการศึกษาหาปริมาณของส่วนประกอบต่าง ๆ ในของผสม ดังต่อไปนี้

ก. วิเคราะห์หาปริมาณของ plasticizer , antioxidants หรือ organic accelerations โดยน้ำหนักที่หายไปในช่วงแรกเมื่อโพลีเมอร์ได้รับความร้อน ก็คือ น้ำหนักของ plasticizer นั้นเอง จากนั้นโพลีเมอร์จะเกิด decomposition และ combustion ต่อไปตามลำดับ

ข. ใช้ในการวิเคราะห์ polymer blends เนื่องจากในปัจจุบันมีการนำโพลีเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดมาผสมกัน เพื่อใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ หรือเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ เช่น ใช้ยางธรรมชาติผสมกับยางสังเคราะห์ (Styrene - butadiene rubber, SBR) หรือยางธรรมชาติผสมกับ Ethylene-propylenediene monomer (EPDM) เป็นต้น เครื่อง TGA สามารถวิเคราะห์ได้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นทำมาจากยางชนิดเดียวกัน หรือ 2 ชนิดผสมกัน โดยดูจากคุณสมบัติในการสลายตัวของยางที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ค. ใช้วิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนแบล็ค (carbon black) และตัวเติมอนินทรีย์ (inorganic fillers)

เครื่อง TGA (TGA51) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนของตัวเครื่อง TGA เอง (the TGA unit itself) แสดงในรูปแบบที่ ข.2 ซึ่งประกอบด้วย

ก. Thermal System หรือ Furnace System เป็นระบบที่ให้ความร้อนกับสารตัวอย่าง โดยอาศัยลวด platinum ที่ทนต่อความร้อน (Platinum resistance wire heating element) เป็นตัวให้ความร้อน ซึ่งใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ อุณหภูมิห้อง (Ambient) ถึง 1200 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน (heating rate) และอุณหภูมิของเตา (furnace) จะถูกควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. sample pan คือ ภาชนะใส่สารตัวอย่างทำด้วย platinum ชั่งน้ำหนักที่ใช้ได้ตั้งแต่ 0.02 – 500 mg full scale.

ค. thermocouple คือ เครื่องตรวจวัดความร้อนในเครื่อง TGA มี thermocouple 2 อัน ดังนี้

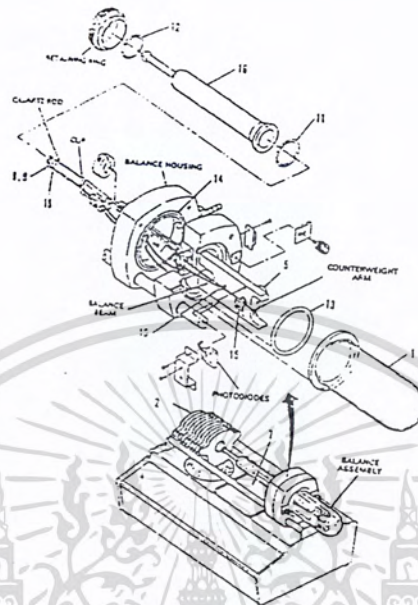
- control thermocouple ทำด้วยลวด Platinel อยู่ในเตาจะเป็นตัววัดอุณหภูมิในเตาเพื่อให้เป็นไปตามโปรแกรมที่ตั้งไว้

- sample thermocouple ทำด้วยลวด Chromel – Alumel อยู่ติดกับสารตัวอย่าง จะวัดอุณหภูมิของสารตัวอย่างขณะได้รับความร้อนและปรากฏผลที่ recorder หรือคือค่าอุณหภูมิที่อยู่บนแกน y ของกราฟ TGA

ง. balance system หรือ gravimetric part คือ เครื่องชั่งน้ำหนัก ซึ่งอาจจัดว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของเครื่อง TGA ก็ได้ ในที่นี้เราใช้เครื่อง TGA ที่มีระบบการชั่งเป็นแบบ Null point balance

จะเห็นว่า balance beam ทำด้วย quartz อยู่ในตำแหน่งที่เป็นแนวนอน โดยปลายหนึ่งของ balance beam จะมี sample pan แขวนอยู่ และอีกปลายหนึ่งจะมีลำแสงจากหลอดไฟที่มีความเข้มแสงคงที่ตกกระทบผ่านไปยัง slit ลำแสงจะถูกโฟกัสไปยัง photodiode 2 อัน ที่ตั้งซ้อนกันอยู่ในแนวตั้งเมื่อ balance beam อยู่ในตำแหน่งที่สมดุล ลำแสงที่ตกกระทบ photodiode ทั้งสองจะเท่ากัน แต่ถ้า balance beam อยู่ในตำแหน่งที่ไม่สมดุลอันเนื่องมาจากน้ำหนักของสารใน sample หายไปหรือเพิ่มขึ้นก็ตาม มีผลให้ลำแสงที่ตกกระทบ photodiode ทั้งสองอันไม่เท่ากัน โดย photodiode อันหนึ่งจะมีแสงตกกระทบมากกว่า ปริมาณแสงที่เพิ่มขึ้นจะถูกแปลงออกมาในรูปของค่าศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าตามลำดับ ผ่านเข้าเครื่องขยาย (amplifier) กระแสจะไหลผ่านเข้าไปใน tautband meter จะทำให้เกิดแรงดันให้ balance beam กลับคืนสู่สภาพสมดุล (restoring force หรือ restoring current) โดยกระแสที่ทำให้เกิดแรงดันกลับนี้ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักของสารตัวอย่างที่หายไปหรือเพิ่มขึ้น แต่เครื่อง TGA จะแสดงผลในรูปของน้ำหนักหรือร้อยละของน้ำหนักที่หายไปหรือเพิ่มขึ้นของสารตัวอย่าง

องค์ประกอบต่าง ๆ ของส่วนนี้พิจารณาได้จากรูปที่ ก.2



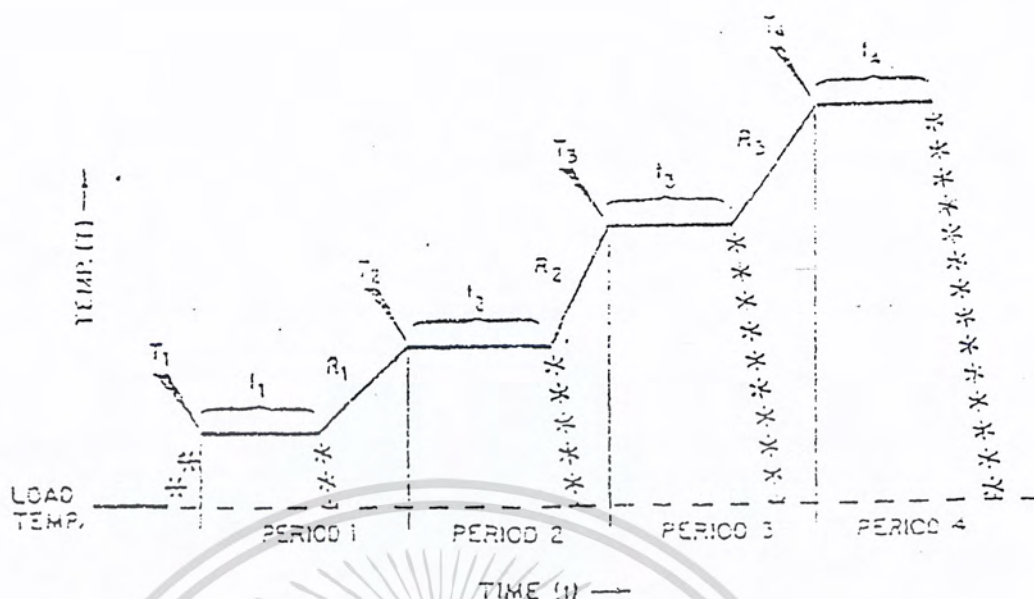
รูปที่ ก.2 TGA51 Location of Components.

2. ส่วนควบคุมหรือโปรแกรมอุณหภูมิพร้อมจอแสดงผล (temperature programming unit or control unit with with screen) ส่วนนี้จะเชื่อมโดยตรงกับส่วนที่ 1 อุณหภูมิ หรือความร้อนที่เตาได้รับจะถูกควบคุมด้วย temperature programming โดยทั่ว ๆ ไปจะทำได้ 2 แบบคือ

ก. Isothermal Programme เป็นการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยอัตราส่วนที่คงที่ตลอด เช่น 10 องศาเซลเซียส / นาที หรือ 15 องศาเซลเซียส / นาที เป็นต้น วิธีนี้เหมาะกับการใช้ศึกษาความทนทานต่อความร้อน หรือต่อการถูกออกซิไดซ์ของสาร

ข. Multi-stage Temperature Programme เป็นการโปรแกรมให้ความร้อนเป็นช่วง ๆ (segment) ดังแสดงในรูปที่ ก.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 Schematic Representation of Temperature Program

จากรูปจะประกอบด้วย 4 segment แต่ละ segment ประกอบด้วย การให้ความร้อนคงที่ หรืออุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่งในช่วงเวลาที่จำกัด จากนั้นให้ความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่แน่นอนจนถึง อุณหภูมิที่กำหนด นั่นคือแต่ละ segment จะประกอบด้วย isothermal temperature , holding time และ scanning rate

Multi-stage temperature programme ใช้ได้ดีกับการวิเคราะห์ทางองค์ประกอบในสาร โดยเฉพาะจะให้ผลที่ถูกต้องแน่นอนในการหาองค์ประกอบในสารพวกโพลีเมอร์

3. ส่วนบันทึกข้อมูล หรือแสดงผล (the digital plotter , printer) เป็นตัวบันทึกน้ำหนัก ของสารเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิจะได้ TGA thermogram อุณหภูมิของสารตัวอย่าง และแกน y เป็นร้อยละโดยน้ำหนักของสารตัวอย่าง

การวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย

1. เปิด switch ที่เครื่อง power supply , TGA unit (จะมี 2 switch คือ power และ heater) , programmer และ plotter ที่จอภาพจะปรากฏ " confidence test" เป็นการตรวจเช็คระบบวงจรไฟฟ้าของเครื่อง หลังจากนั้น 15 วินาที จะมีไฟแดงปรากฏขึ้นที่ด้านข้างของเครื่อง และมีเสียงดังขึ้น

หมายเหตุ ต้องปล่อยให้เครื่อง heat up อย่างน้อย 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Setting Up the TGA 51 Unit

2.1 ตั้งอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน ไว้ที่ 50 ml / min

2.2 ค่อย ๆ เลื่อน The whole balance assemble unit ไปทางซ้ายอย่างระมัดระวัง จนกระทั่ง The quartz furnace tube เข้าไปอยู่ใน furnace

2.3 คลายเกลียววงแหวนของ quartz furnace tube และค่อย ๆ เลื่อน the balance assemble unit ไปทางขวา (จะเหลือ quartz tube อยู่ใน furnace)

2.4 ใช้คีบคืบ Pt sample pan ออกจากแท่งแก้วควอทซ์ (quartz rod) อย่างระมัดระวัง เพราะ quartz rod มีขนาดเล็กและแตกหักง่าย (ห้ามใช้มือจับ Pt sample pan เด็ดขาด)

2.5 เช็คว่า Pt pan สะอาดหรือไม่ ถ้าสะอาดใช้คีบคืบ Pt pan กลับขึ้นไปแขวนที่ quartz rod ตามเดิม (โดยจะต้องให้ลวดที่แขวน Pt pan อยู่ในร่องของ quartz rod พอดี)

2.6 ใช้ beaker ขนาด 500 ml ครอบส่วนของ balance beam unit ไว้เพื่อป้องกันการแกว่งหรือ air currents

2.7 กดปุ่ม SIGNAL / ZERO บนจอจะปรากฏค่า Signal - A อยู่ในช่วง 0.0 ถึง ± 200 mV ถ้าค่าเกินช่วงนี้ให้ add หรือ remove appropriate counterbalance weightes ต่อจากนั้นกดปุ่ม ENTER

2.8 จะปรากฏ "Auto zero" บนจอ กดปุ่ม YES

2.9 เลื่อน میکเกอร์ออกอย่างระมัดระวัง จากนั้นให้ใช้ microspatular ตักสารตัวอย่าง ประมาณ 10 mg ใส่ลงบน Pt pan ที่แขวนอยู่บน quartz rod อย่างระมัดระวัง น้ำหนักของสารตัวอย่างจะปรากฏบนจอในหน่วย mV โดยที่สาร 1 mg = 20 mV (น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ ประมาณ 10 - 30 mg)

2.10 ตรวจสอบให้แน่ใจไม่ให้ thermocoupleแตะกับ Pt pan แล้วค่อย ๆ เลื่อน the balance housing unit ทางซ้ายและต่อเข้ากับ furnace tube หมุนเกลียวให้ทั้งสองส่วนยึดติดกันโดยไม่แน่นมากเกินไป (ใช้มือหมุนเท่านั้น)

3. Programming The Dupont 9000 TA Controller

3.1 กดปุ่ม MODULE ENTER

3.2 เลือกค่าบนแกน Y เป็น mg และกดปุ่ม ENTER

3.3 Maximum number of run ? 1

3.4 Change Module Parameter ? NO

3.5 Method Number ? ขึ้นเองอัตโนมัติ ENTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Name ? ใส่ชื่อไม่เกิน 20 ตัวอักษร (การใส่ตัวอักษรให้กดปุ่ม shift ค้างเอาไว้เสมอ แล้วกดตัวอักษรที่ต้องการจะปรากฏเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ และถ้ามีการพิมพ์ผิดก็กดปุ่ม Clear) ENTER

3.6 เริ่ม create method โดย method หนึ่ง ๆ อาจจะประกอบด้วย segment เดียวหรือหลาย ๆ segment ก็ได้ เราสามารถเลือก segment types ได้ 12 types

จากข้อ 3.5 บนจอจะปรากฏ

Segment : 1 Type : 3 Edit : 0 ENTER (เลื่อน cursor ขึ้นข้างบนได้)

Initial temperature 40 ° C ENTER

3.7 Segment : 2 Type : 5 Edit : 0 ENTER

Isothermal 5 min ENTER

3.8 Segment : 3 Type : 4 Edit : 0 ENTER

Ramp 20 ° C / min TO 900 ° C ENTER

3.9 Add another segment ? NO

3.10 Sample ? ใส่ชื่อตัวอย่าง ENTER

3.11 Operator ? ใส่ชื่อผู้ทำการทดลอง ENTER

3.12 Comment ? For example "QC Check" ENTER

3.13 QC Check ? For example "ABC Chemical Co Ltd." ENTER

3.14 Run Number ? เครื่องมือจะเปลี่ยนหมายเลขหลังจากการ run แต่ละครั้งโดยอัตโนมัติ ENTER

3.15 X – Axis Signal : 2 (2 คือ temp) ENTER

3.16 Start 0 ° C ENTER limit scale สำหรับ แกน X

Stop 900 ° C ENTER

3.17 Y – Axis Signal : 3 (for signal –A หมายถึง %wt) ENTER

3.18 Start 0 mg ENTER

Stop 20 mg ENTER

3.19 กดปุ่ม START / HOLD เพื่อให้สารตัวอย่างได้รับความร้อนจนอุณหภูมิขึ้นถึง "Initial Temp" ในที่นี้คือ 40 ° C และคงที่ ที่จอจะปรากฏ "Ready"

3.20 กดปุ่ม START / HOLD อีกครั้งเพื่อให้เครื่อง TGA ทำงาน

3.21 ถ้าเครื่อง TGA ทำงานจนถึง Segment ที่ 3 เสร็จสิ้นบนจอจะปรากฏ "Complete" ให้เปิด switch ของพัดลมไปที่ ON รอจนอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จึงค่อยใช้ที่คีบคีบ Pt sample pan ออกมาทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนที่มหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Plotting the TGA curve

4.1 กดปุ่มบนเครื่อง Plotter เพื่อเปิด printer

4.2 วางกระดาษขนาด A4 ลงบน printer โดยให้ส่วนขอบบนของกระดาษอยู่ที่เส้นขีดขาวบนเครื่อง ใส่ปากกาสำหรับเครื่องในช่องที่ 1 และ 2

4.3 กดปุ่มเพื่อกระดาษยึดติดกับเครื่อง printer

4.4 กดปุ่ม PLAY / BACK

4.5 Run Number ? ขึ้นอัตโนมัติ

4.6 Function ? 1 (plot the data) ENTER

4.7 TGA unit ? 1 ENTER

4.8 Skip Points Factor 0 (plot ทุกจุด) ENTER

4.9 Plot Limit Option 0 (no limits imposed) ENTER

4.10 Plot signal X-Axis : 2 (for temp) ENTER

Curve 1 = 3 (for signal A) Curve 2 = 4 (for derivative A) Curve 3 = 0

ENTER

4.11 X-Axis Autoscale ? NO

4.12 START = 0°C ENTER x-axis range

STOP = 900°C ENTER

4.13 Curve 1 Autoscale ? NO

START = 0 mg ENTER y-axis range

STOP = 20 mg ENTER

4.14 Curve 2 Autoscale ? YES

4.15 Ready to plot ? YES เป็นสัญญาณที่ plotter เริ่มทำงาน

4.16 หลังจากที่ plotter ทำงานเสร็จ กดปุ่มเพื่อนำกระดาษออก

4.17 เก็บปากกาให้เรียบร้อยในกล่องเครื่องมือ

4.18 คำนวณหาปริมาณสารระเหย

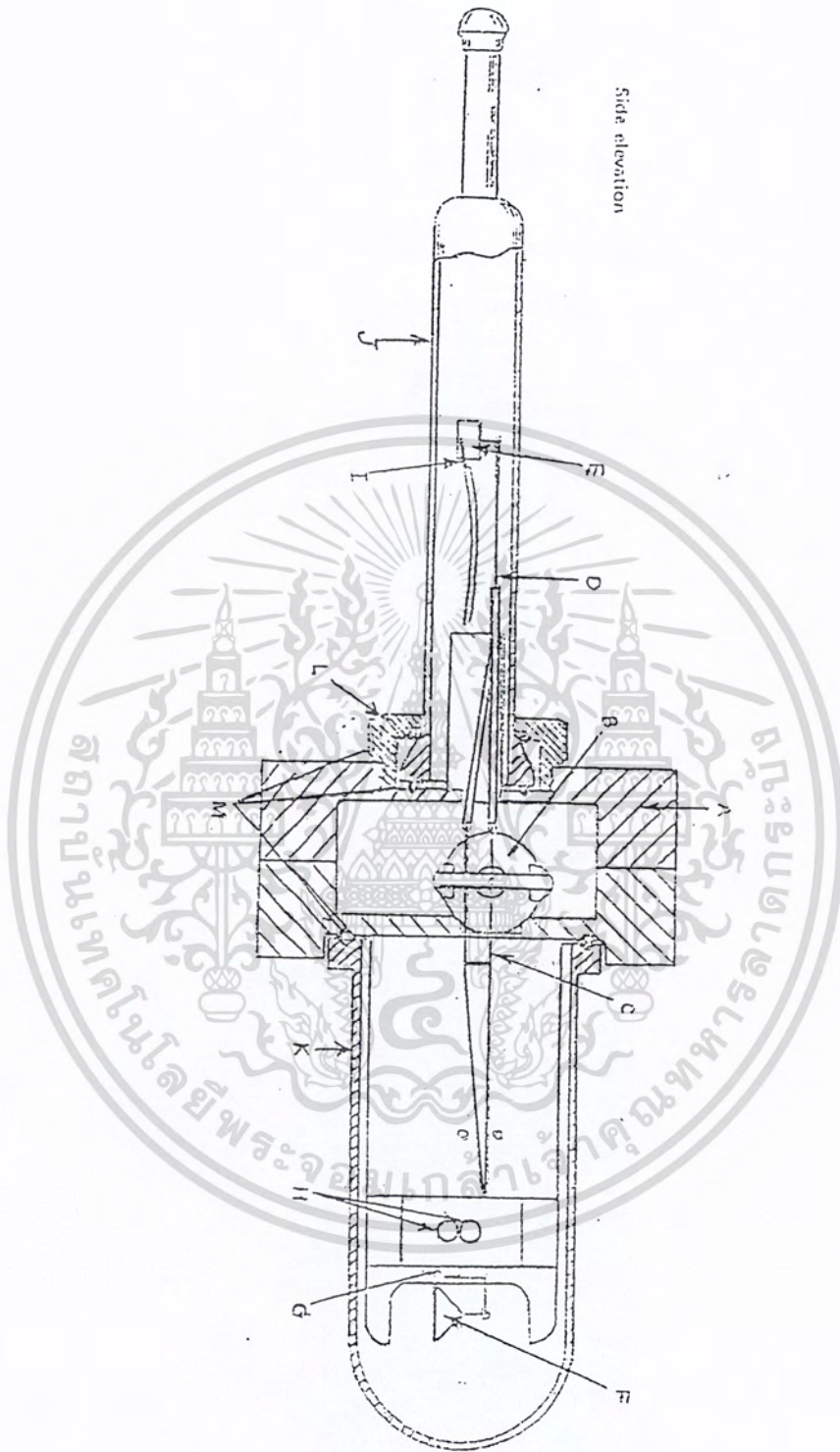
- สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณสารระเหย

$$\% \text{ สารระเหย} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังผ่านการอบที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



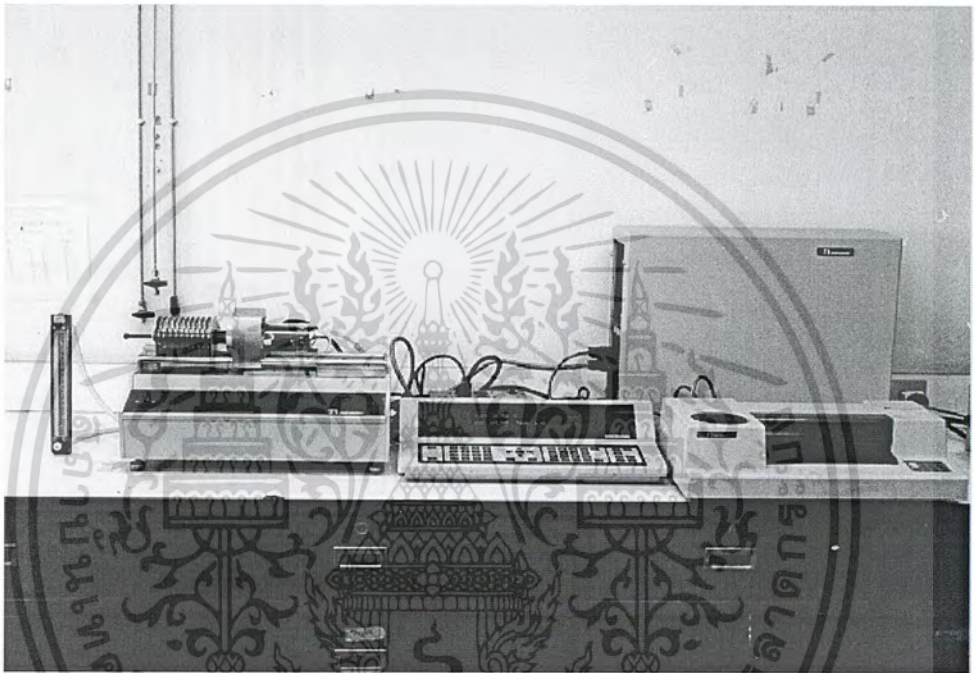
รูปที่ ก.4 Dupont thermobalance A,balance housing; B,laul-band meter

movement; C,rear beam; D,quartz beam-hot member (removable); E,sample boat;

F,counterweight pan; G,signal flag; H,photovoltaic cells; I,"floating" thermocouple;

J,quartz furnace tube; K,pyrex envelope(cold); L,threaded collar; M,O-rings.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปโดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 แสดงเครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาคุณค่าความร้อนและปริมาณกำมะถันด้วย Bomb Calorimeter

ทฤษฎีหลักการวิเคราะห์หาคุณค่าความร้อนด้วย Bomb Calorimeter

Bomb Calorimeter เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง โดยอาศัยหลักการทำงานด้วยกระบวนการปริมาณคงที่ เมื่อเชื้อเพลิงเกิดการสันดาปแล้วจะให้พลังงานความร้อนออกมาซึ่งจะกำหนดให้อยู่ในรูปของค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงต่อหน่วยน้ำหนัก เช่น บีทียู / ปอนด์ กิโลแคลอรี / กิโลกรัม และกิโลจูล / กิโลกรัม

ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงคือ ปริมาณความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิง เนื่องจากการสันดาปที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระบบ โดยปกติการสันดาปของเชื้อเพลิงจำพวกสารไฮโดรคาร์บอนเมื่อสันดาปในบรรยากาศของออกซิเจน ผลของการสันดาปจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ซึ่งอยู่ในสถานะของไอน้ำ) ถ้าไอน้ำสามารถกลั่นตัวแล้วคายความร้อนแฝงออกมา ค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นค่าความร้อนสูงสุด แต่ถ้าไอน้ำไม่กลั่นตัว ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงจะเป็นค่าความร้อนต่ำ การหาค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงโดยใช้ Bomb Calorimeter โดยการนำเอาเชื้อเพลิงที่จะทำการทดสอบไปชั่งน้ำหนักให้ละเอียดมาเผาไหม้กับออกซิเจนบริสุทธิ์ ภายใต้ความดันภายใน Bomb Calorimeter ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็นรอบตัว Bomb Calorimeter ซึ่งจะสามารถวัดอุณหภูมิของน้ำได้โดยใช้เทอร์มิเมตรและปริมาณความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = mc\Delta T$$

เมื่อ

Q	=	ปริมาณความร้อน
m	=	มวลของน้ำในแคลอรีมิเตอร์
c	=	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ
ΔT	=	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

ปริมาณความร้อนที่คำนวณได้จากสมการมิใช่ค่าความร้อนที่ถูกต้อง เพราะตัวของ Bomb Calorimeter ยังสามารถดูดความร้อนบางส่วนไว้ในตัวของมันเอง และความร้อนบางส่วนก็สูญเสียไปให้กับบรรยากาศรอบ ๆ ไอน้ำบางส่วนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้และยังกลั่นตัวไม่หมด ซึ่งไอน้ำดังกล่าวจะดูดความร้อนเอาไว้ นอกจากนั้นยังมีความร้อนบางส่วนที่มาจากขดลวดขณะจุดเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในบรรยากาศของออกซิเจน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิสูงมาก และจะรวมตัวเป็นกรดไนตริกและกรดซัลฟูริก

ดังนั้นการคำนวณที่ให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ควรจะใช้สมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = mc\Delta T - e_1 - e_2 - e_3$$

เมื่อ

e_1	=	ความร้อนที่เกิดจากกรดไนตริก
e_2	=	ความร้อนที่เกิดจากกรดซัลฟูริก
e_3	=	ความร้อนที่เกิดจากขดลวดไฟฟ้า

การวิเคราะห์หาคคุณค่าทางความร้อนและปริมาณกำมะถัน

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่ลงใน crucible โลหะ โดยควรจะใช้น้ำหนักตัวอย่างเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้ว มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 3 K โดยน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละประเภทควรเป็นดังนี้

ตะกอนบดละเอียด	ประมาณ	1	กรัม
เชื้อเพลิงเหลว	ประมาณ	0.7	กรัม
Benzoic acid	ประมาณ	1.2	กรัม

2. นำ crucible ใส่ลงใน ring support จากนั้นผูกลวดให้ความร้อน (fire wire) ที่มีความยาว 90 mm. จาก electrode หนึ่งไปยังอีก electrode หนึ่ง แล้วนำด้าย cotton ที่ยาวประมาณ 30 mm. ผูกที่กึ่งกลางของลวดให้ความร้อน โดยให้ปลายของลวด cotton สัมผัสกับตัวอย่างใน crucible (ควรใช้ความยาวของลวดและด้ายคงที่ในแต่ละครั้งของการทดลอง)

3. บีบน้ำกลั่น 1 ml. ใส่ลงใน bomb เพื่อดูดกลืนไอน้ำจากการสันดาป ประกอบ bomb แล้วปิดฝาให้แน่น

4. ค่อย ๆ อัดก๊าซออกซิเจนลงใน bomb ผ่านทาง filling tube อย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันออกซิเจนที่เข้าไปเป่าตัวอย่างหกจาก crucible ทำการอัดก๊าซให้ได้ความดันประมาณ 30 bar เมื่อได้ความดันที่ต้องการแล้วใช้ sealing cap ปิด filling tube ให้แน่น เพื่อป้องกันก๊าซออกซิเจนซึมออก

5. นำน้ำประปา 2100 กรัม ใส่ลงใน calorimeter vessel จากนั้นนำ bomb ที่ได้ตัวอย่างและก๊าซออกซิเจนเรียบร้อยแล้วใส่ลงไป สังเกตฟองอากาศที่รั่วออกมาจากฝา bomb ถ้ามีให้รีบแก้ไขโดยนำ bomb ขึ้นจาก calorimeter vessel แล้ว release ก๊าซออกซิเจนออก แล้วทำข้อ 4 ใหม่จนกว่าจะไม่มีก๊าซออกซิเจนรั่วออกมา

6. ถ้าไม่มีก๊าซออกซิเจนรั่วออกมาแล้ว ให้เลื่อนฝาปิด calorimeter vessel ลงมา โดยให้ bomb firing plug เสียบเข้าไปในรูของ electrode socket ที่ด้านบนของ bomb เราสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้โดยกดปุ่มเปิดเครื่อง " ON/OFF " แล้วตามด้วยกดปุ่ม "TEST" บนแผงควบคุม จะต้องมียลสัญญาณไฟติด

7. กรณีถ้าใน water jacket กับใน calorimeter vessel มีอุณหภูมิต่างกัน ควรจะทำ

ให้นำทั้ง 2 ส่วนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน โดยปรับที่ " Balance control " โดยถ้าหมุนตามเข็มนาฬิกาจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิ ส่วนการปรับเพื่อการลดอุณหภูมิ หมุนไปใช้ประโยชน์ในการปรับค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาฬิกา จะเพิ่มอุณหภูมิของน้ำใน jacket แต่ถ้าหมუნทวนเข็มนาฬิกา จะลดอุณหภูมิของน้ำใน jacket

8. เมื่อสัญญาณไฟขึ้นที่ปุ่ม " Ready " แสดงว่าเครื่องพร้อมจะทำงานแล้ว ให้ทำการวัดอุณหภูมิตอนเริ่มต้น (T_1) ให้กดปุ่ม " THERMOMETER READER/VIBRATOR" จากนั้นตามด้วยปุ่ม "FIRE" เพื่อเป็นการจุดระเบิด โดยต้องกดปุ่มนาน 2 วินาที และเพื่อจะตรวจสอบการจุดระเบิดว่าสำเร็จหรือไม่ ให้กดปุ่ม "TEST" จะต้องไม่มีสัญญาณไฟติด

9.ให้อ่านค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 วินาที ไปจนกว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงสุดและคงที่ (T_2) (ประมาณ 6-8 นาที) อุณหภูมิสุดท้ายไม่ควรจะต่างกันเกิน 0.002°C

10.นำ bomb ออกจาก calorimeter vessel ทำการ release ก๊าซออกซิเจนที่เหลือออกก่อน จากนั้นเปิดฝา bomb นำ wash solution มาล้าง crucible ข้างในตัวและฝา bomb จนกระทั่งหมดความเป็นกรด สังเกตได้จากน้ำที่ล้างออกมาไม่เป็นสีชมพูแล้ว โดยเก็บน้ำที่ล้างไว้ในบีกเกอร์ขนาด 250 ml. ทำการวัดความยาวหลอดที่เหลือหลังการเผาไหม้ บันทึกผล

11.นำน้ำที่ได้จากข้อ 10 มาไทเทรตกับสารละลาย Na_2CO_3 จนได้จุดยุติเป็นสีเหลือง บันทึกปริมาตรที่ใช้ไปเพื่อนำไปคำนวณค่าความร้อนของตัวอย่าง

12.นำสารละลายจากข้อ 11 มาทำการปรับ pH ด้วยสารละลาย NH_4OH ให้มีค่า pH อยู่ในช่วง 5.5 - 7.0 โดยทดสอบด้วยกระดาษวัด pH

13.ต้มสารละลายที่ปรับ pH แล้วจนเดือด นำมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 และล้างด้วยน้ำร้อนต่อ 5-6 ครั้ง ปริมาตรด้วยน้ำร้อนให้ได้ 250 ml หยด HCl 1:1 จำนวน 1 ml ลงไป นำสารละลายที่ได้ไปต้มให้เดือด ขณะเดียวกันก็เติมสารละลาย BaCl_2 ลงไป 10 ml ด้วย pipett อย่างช้า ๆ พร้อมกับคนไปด้วยตลอดเวลา

14.นำไปต้มให้เดือดนาน 15 นาที แล้วนำมาตั้งทิ้งไว้ไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ที่เป็น fine ashless paper แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้งจนหมดคลอไรด์ ซึ่งทดสอบโดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3)

15.นำ porcelain crucible พร้อมฝามาทำการอบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

16.นำกระดาษกรองที่กรองตะกอนของ BaSO_4 มาใส่ใน porcelain crucible แล้วเผากระดาษกรองจนไหม้หมดโดยใช้ตะเกียงเบนเสน จากนั้นนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 800°C นาน 2 ชั่วโมง

17.นำ porcelain crucible มาทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ บันทึกน้ำหนักของ porcelain crucible พร้อมกระดาษกรองหลังอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 8. คำนวณหาค่าปริมาณกำมะถัน และค่าความร้อนของตัวอย่างนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ก่อนทำการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ควรทำการ calibrate เครื่อง
เสียก่อนโดยใช้ตัวอย่างเป็น Benzoic acid ประมาณ 1.2 กรัม

ข้อมูลเพิ่มเติม

- heat release from firing cotton = 4180 cal/g
- heat release from firing wire = 335 cal/g
- heat formation of sulfuric acid = 22.6 cal/1% sulfur
- heat formation of nitric acid = 1.40 cal/ml of nitric acid

formed

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

- สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณกำมะถัน

$$\% \text{ Sulfur in the analysis sample} = \frac{(\text{weight Baso}_4)(13.738)}{\text{weight sample}}$$

- สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความร้อนของตัวอย่าง

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

เมื่อ ΔT = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ($T_2 - T_1$), °C

W = Energy equivalent of calorimeter, (cal/°C)
= 2500 cal / °C

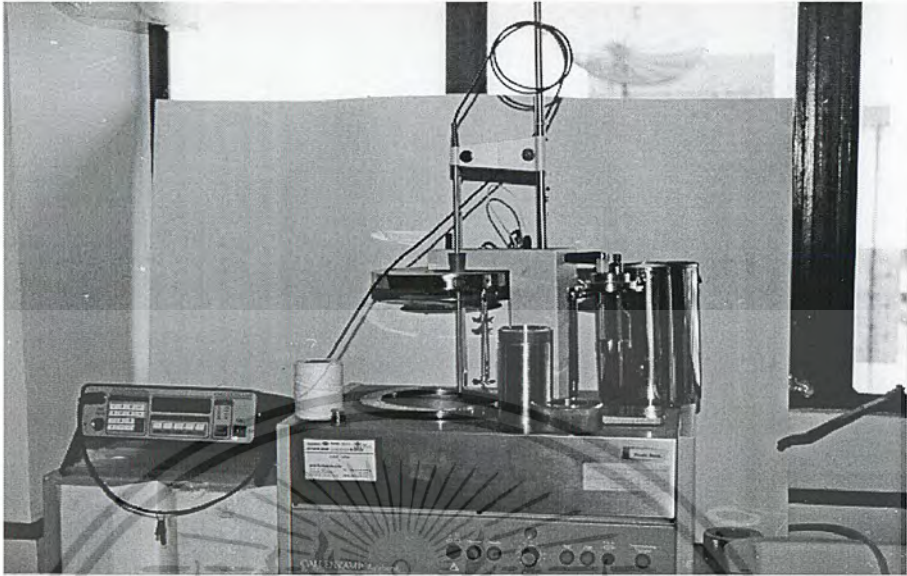
e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิด HNO_3 , cal
= 1.4 X ml ของ 0.0725 N Na_2CO_3

e_2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิด H_2SO_4 , cal
= 22.6 X (% S)

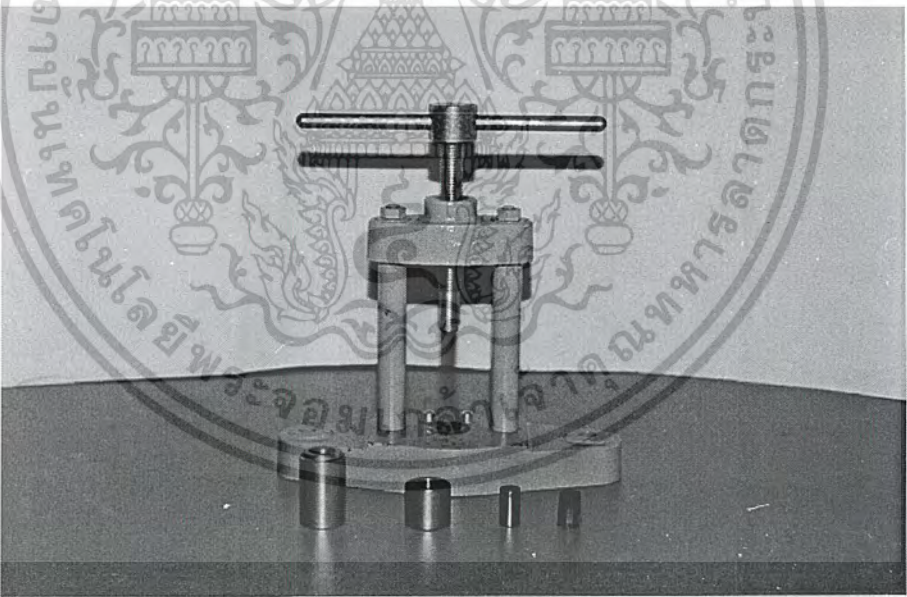
e_3 = การแก้ค่าความร้อนของขดลวด, cal
= $(335 \times 2.479 \times 10^{-3})$ (ความยาวลวดที่ถูกเผาไหม้)

e_4 = การแก้ค่าความร้อนของด้าย cotton, cal
= $(4180 \times 8.80 \times 10^{-3})$ (ความยาวด้ายที่ถูกเผาไหม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 แสดงเครื่อง Bomb Calorimeter



รูปที่ ก.7 แสดงอุปกรณ์สำหรับอัดเม็ดสารตัวอย่างของ Bomb Calorimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตะกอนที่เพิ่งออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 105°C (กรัม)	% ความชื้น
1	1.5404	0.1437	90.67
2	1.5214	0.1432	90.59
3	1.8059	0.1770	90.20
ค่าเฉลี่ย	—	—	90.49

เปอร์เซ็นต์ความชื้นของตะกอนที่เพิ่งออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (ครั้งที่ 1)

$$\begin{aligned} \% \text{ ความชื้น} &= \frac{1.5404 - 0.1437}{1.5404} \times 100 \\ &= 90.67 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ตะกอนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (กรัม)	% ผลิตภัณฑ์ที่ได้
1	6.9102	3.7102	53.69
2	7.3795	4.0676	55.12
3	7.2971	4.0144	55.01
เฉลี่ย	—	—	54.61

เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (% yield) ของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ครั้งที่ 1)

$$\begin{aligned} \% \text{ yield} &= \frac{3.7102}{6.9102} \times 100 \\ &= 53.69 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ตะกอนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (กรัม)	% ผลิตภัณฑ์ที่ได้
1	7.0662	2.9931	42.36
2	7.1823	3.1492	43.85
3	7.1991	3.1500	43.76
เฉลี่ย	—	—	43.32

ตารางที่ ข.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ตะกอนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (กรัม)	% ผลิตภัณฑ์ที่ได้
1	7.2265	3.0180	41.76
2	7.2511	3.0146	41.57
3	7.8820	3.2228	40.88
เฉลี่ย	—	—	41.40

ตารางที่ ข.5 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของถ่านไม้

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 105 °C (กรัม)	% ความชื้น
1	1.0018	0.9609	4.08
2	1.0158	0.9749	4.03
3	1.0096	0.9702	3.90
เฉลี่ย	—	—	4.00

ปริมาณความชื้นของถ่านไม้ (ครั้งที่ 1)

$$\begin{aligned} \% \text{ ความชื้น} &= \frac{1.0018 - 0.9609}{1.0018} \times 100 \\ &= 4.08 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของถ่านหิน

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 105 °C (กรัม)	% ความชื้น
1	1.1150	0.9817	11.96
2	1.0406	0.9084	12.70
3	1.0021	0.8907	11.12
เฉลี่ย	—	—	11.93

ตารางที่ ข.7 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตะกอนก่อนคาร์บอนไนท์

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 105 °C (กรัม)	% ความชื้น
1	0.9849	0.8935	9.28
2	0.9962	0.9098	8.67
3	1.0028	0.9114	9.12
เฉลี่ย	—	—	9.02

ตารางที่ ข.8 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตะกอนคาร์บอนไนท์ที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 105 °C (กรัม)	% ความชื้น
1	1.0420	1.0259	1.55
2	1.0606	1.0434	1.62
3	1.0543	1.0368	1.66
เฉลี่ย	—	—	1.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตะกอนคาร์บอนที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 105 °C (กรัม)	% ความชื้น
1	0.8845	0.8672	1.96
2	0.9205	0.9008	2.14
3	0.9363	0.9166	2.10
เฉลี่ย	—	—	2.07

ตารางที่ ข.10 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตะกอนคาร์บอนที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 105 °C (กรัม)	% ความชื้น
1	1.0536	1.0253	2.69
2	1.0147	0.9883	2.60
3	1.0155	0.9889	2.62
เฉลี่ย	—	—	2.64

ตารางที่ ข.11 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของถ่านไม้

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 900 °C (กรัม)	% สารระเหย
1	11.5570	8.7500	24.29
2	11.9285	8.8194	26.07
3	12.4180	9.3721	24.53
เฉลี่ย	—	—	24.96

ปริมาณสารระเหยของถ่านไม้ (ครั้งที่ 1)

$$\begin{aligned} \% \text{ สารระเหย} &= \frac{11.5570 - 8.7500}{11.5570} \times 100 \\ &= 24.29 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของถ่านหิน

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 900 °C (กรัม)	% สารระเหย
1	11.7949	7.9458	32.63
2	12.8081	8.6111	32.77
3	12.6203	8.5662	32.12
เฉลี่ย	—	—	32.51

ตารางที่ ข.13 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 900 °C (กรัม)	% สารระเหย
1	11.8152	4.7917	59.44
2	10.4979	3.8889	62.96
3	13.4156	5.2615	60.78
เฉลี่ย	—	—	61.06

ตารางที่ ข.14 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 900 °C (กรัม)	% สารระเหย
1	13.2070	8.5000	35.64
2	14.7734	10.0000	32.31
3	13.1489	8.4714	35.57
เฉลี่ย	—	—	34.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.15 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของตะกอนคาร์บอนที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 900 °C (กรัม)	% สารระเหย
1	15.6174	12.5000	19.96
2	13.1877	10.8333	17.85
3	12.4031	9.9312	19.92
เฉลี่ย	—	—	19.24

ตารางที่ ข.16 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของตะกอนคาร์บอนที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 900 °C (กรัม)	% สารระเหย
1	12.6836	11.0417	12.94
2	13.0653	11.2500	13.89
3	12.3848	10.6831	13.74
เฉลี่ย	—	—	13.52

ตารางที่ ข.17 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณซี้เถ้าของถ่านไม้

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 750 °C (กรัม)	% ซี้เถ้า
1	1.0100	0.0205	2.02
2	1.0010	0.0222	2.22
3	1.0082	0.0210	2.08
เฉลี่ย	—	—	2.11

ปริมาณซี้เถ้าของถ่านไม้ (ครั้งที่ 1)

$$\begin{aligned} \% \text{ ซี้เถ้า} &= \frac{0.0205}{1.0100} \times 100 \\ &= 2.02 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.18 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณซีเมนต์ของถ่านหิน

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 750 °C (กรัม)	% ซีเมนต์
1	1.0019	0.2940	29.34
2	1.1207	0.3186	28.43
3	1.1125	0.3188	28.66
เฉลี่ย	—	—	28.81

ตารางที่ ข.19 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของตะกอนก่อนคาร์บอน

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 750 °C (กรัม)	% ซีเมนต์
1	0.9248	0.2379	25.72
2	0.9219	0.2382	25.84
3	0.9216	0.2377	25.79
เฉลี่ย	—	—	25.78

ตารางที่ ข.20 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณซีเมนต์ของตะกอนคาร์บอนที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 750 °C (กรัม)	% ซีเมนต์
1	1.0252	0.4361	42.54
2	1.0435	0.4577	43.86
3	1.0373	0.4514	43.52
เฉลี่ย	—	—	43.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.21 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณซี้เถ้าของตะกอนคาร์บอนซี้เถ้าที่500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 750 °C (กรัม)	% ซี้เถ้า
1	0.9882	0.5477	55.42
2	0.9865	0.5558	56.34
3	1.0121	0.5700	56.32
เฉลี่ย	—	—	56.03

ตารางที่ ข.22 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของตะกอนคาร์บอนซี้เถ้าที่500องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง หลังอบที่ 750 °C (กรัม)	% ซี้เถ้า
1	0.9847	0.5362	54.45
2	0.8967	0.5151	57.44
3	0.9869	0.5623	56.98
เฉลี่ย	—	—	56.29

ตารางที่ ข.23 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านไม้

% คาร์บอนคงที่	68.93
----------------	-------

ปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านไม้

$$\begin{aligned} \% \text{ คาร์บอนคงที่} &= 100 - 4.00 - 24.96 - 2.11 \\ &= 68.93 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข.24 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านหิน

% คาร์บอนคงที่	26.75
----------------	-------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.25 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงที่ของตะกอนก่อนคาร์บอนไนท์

% คาร์บอนคงที่	4.14
----------------	------

ตารางที่ ข.26 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงที่ของตะกอนคาร์บอนไนท์ที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

% คาร์บอนคงที่	20.57
----------------	-------

ตารางที่ ข.27 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงที่ของตะกอนคาร์บอนไนท์ที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

% คาร์บอนคงที่	22.66
----------------	-------

ตารางที่ ข.28 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงที่ของตะกอนคาร์บอนไนท์ที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

% คาร์บอนคงที่	27.55
----------------	-------

ตารางที่ ข.29 ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันและคุณค่าทางความร้อนของถ่านไม้

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิสุดท้าย (°C)	ปริมาณ Na_2CO_3 ที่ไทเทรต (cm^3)	น้ำหนัก BaSO_4 (กรัม)	ความยาวหลอดที่ใช้ไป (cm)
1	0.9128	24.46	32.22	7.30	0.0132	0.1
2	0.9885	28.02	30.73	9.70	0.0154	0.0
3	0.9412	28.00	30.74	7.80	0.0136	0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.30 ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันและคุณค่าทางความร้อนของถ่านหิน

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิสุดท้าย (°C)	ปริมาณ Na_2CO_3 ที่ไทเทรต (cm^3)	น้ำหนัก BaSO_4 (กรัม)	ความยาวหลอดที่ใช้ไป (cm)
1	1.0252	30.41	31.99	14.10	0.2590	0.1
2	1.1284	30.92	32.64	16.20	0.2742	0.0
3	1.1257	31.05	32.81	16.00	0.2628	0.0

ตารางที่ ข.31 ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันและคุณค่าทางความร้อนของตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิสุดท้าย (°C)	ปริมาณ Na_2CO_3 ที่ไทเทรต (cm^3)	น้ำหนัก BaSO_4 (กรัม)	ความยาวหลอดที่ใช้ไป (cm)
1	0.6914	29.71	31.05	11.50	0.0538	0.0
2	0.6703	30.06	31.38	11.90	0.0517	1.2
3	0.6811	30.09	31.41	14.30	0.0530	0.0

ตารางที่ ข.32 ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันและคุณค่าทางความร้อนของตะกอนคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิสุดท้าย (°C)	ปริมาณ Na_2CO_3 ที่ไทเทรต (cm^3)	น้ำหนัก BaSO_4 (กรัม)	ความยาวหลอดที่ใช้ไป (cm)
1	0.5735	29.08	30.61	8.20	0.0403	0.0
2	0.5463	30.19	31.67	10.30	0.0406	0.2
3	0.5414	30.56	31.99	10.40	0.0350	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.33 ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันและคุณค่าทางความร้อนของ ตะกอนคาร์บอนไนท์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิสุดท้าย (°C)	ปริมาณ Na ₂ CO ₃ ที่ไทเทรต (cm ³)	น้ำหนัก BaSO ₄ (กรัม)	ความยาวหลอดที่ใช้ไป (cm)
1	0.3968	30.07	31.17	5.10	0.0126	0.0
2	0.4231	30.53	31.70	4.70	0.0132	0.1
3	0.4314	30.70	31.91	6.00	0.0142	0.0

ตารางที่ ข.34 ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันและคุณค่าทางความร้อนของ ตะกอนคาร์บอนไนท์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิสุดท้าย (°C)	ปริมาณ Na ₂ CO ₃ ที่ไทเทรต (cm ³)	น้ำหนัก BaSO ₄ (กรัม)	ความยาวหลอดที่ใช้ไป (cm)
1	0.3970	30.00	31.14	4.85	0.0124	0.0
2	0.4307	31.14	32.34	5.90	0.0135	0.0
3	0.3859	31.48	32.59	4.90	0.0127	0.0

การคำนวณหาปริมาณกำมะถันและค่าความร้อนของถ่านไม้ (ครั้งที่ 1)

$$\begin{aligned} \% \text{ sulfur} &= \frac{0.0132 \times 13.738}{0.9128} \\ &= 0.1987 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } \Delta T &= 32.22 - 29.46 \text{ (}^\circ\text{C)} \\
 &= 2.76 \text{ }^\circ\text{C} \\
 W &= 2500 \text{ cal / }^\circ\text{C} \\
 e_1 &= 1.4 \times 7.30 \\
 &= 10.22 \\
 e_2 &= 22.6 \times 0.1987 \\
 &= 4.4906 \\
 e_3 &= (335 \times 2.479 \times 10^{-3}) \times 0.1 \\
 &= 0.0830 \\
 e_4 &= (4180 \times 8.80 \times 10^{-3}) \times 12 \\
 &= 441.408
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Gross heat of combustion (cal / g)} &= \{ (2.76 \times 2500) - 10.22 - 4.4906 - \\
 &\quad 0.0830 - 441.408 \} / 0.9128 \\
 &= 7059.3
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



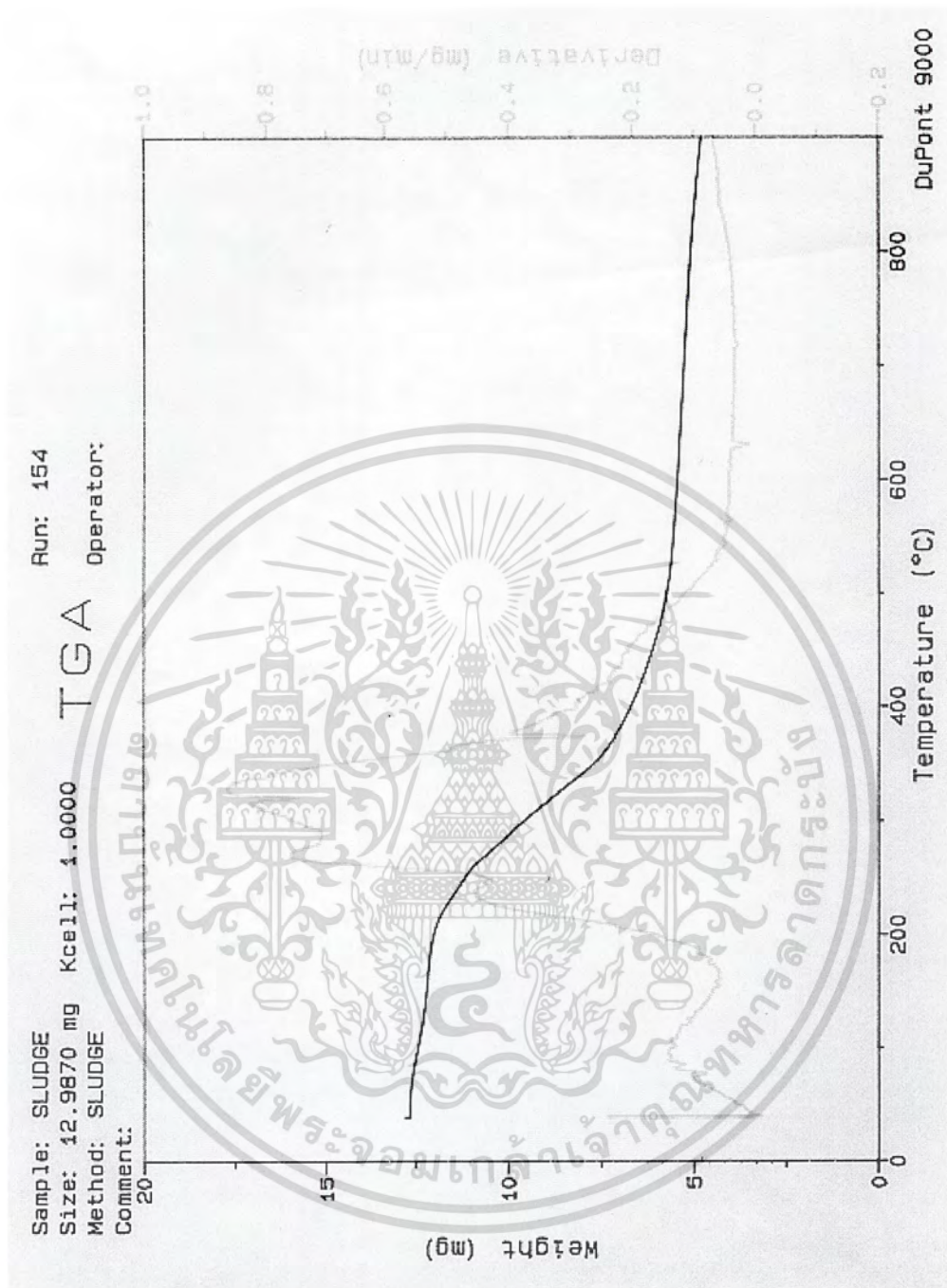
รูปที่ ข.1 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยของถ่านไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



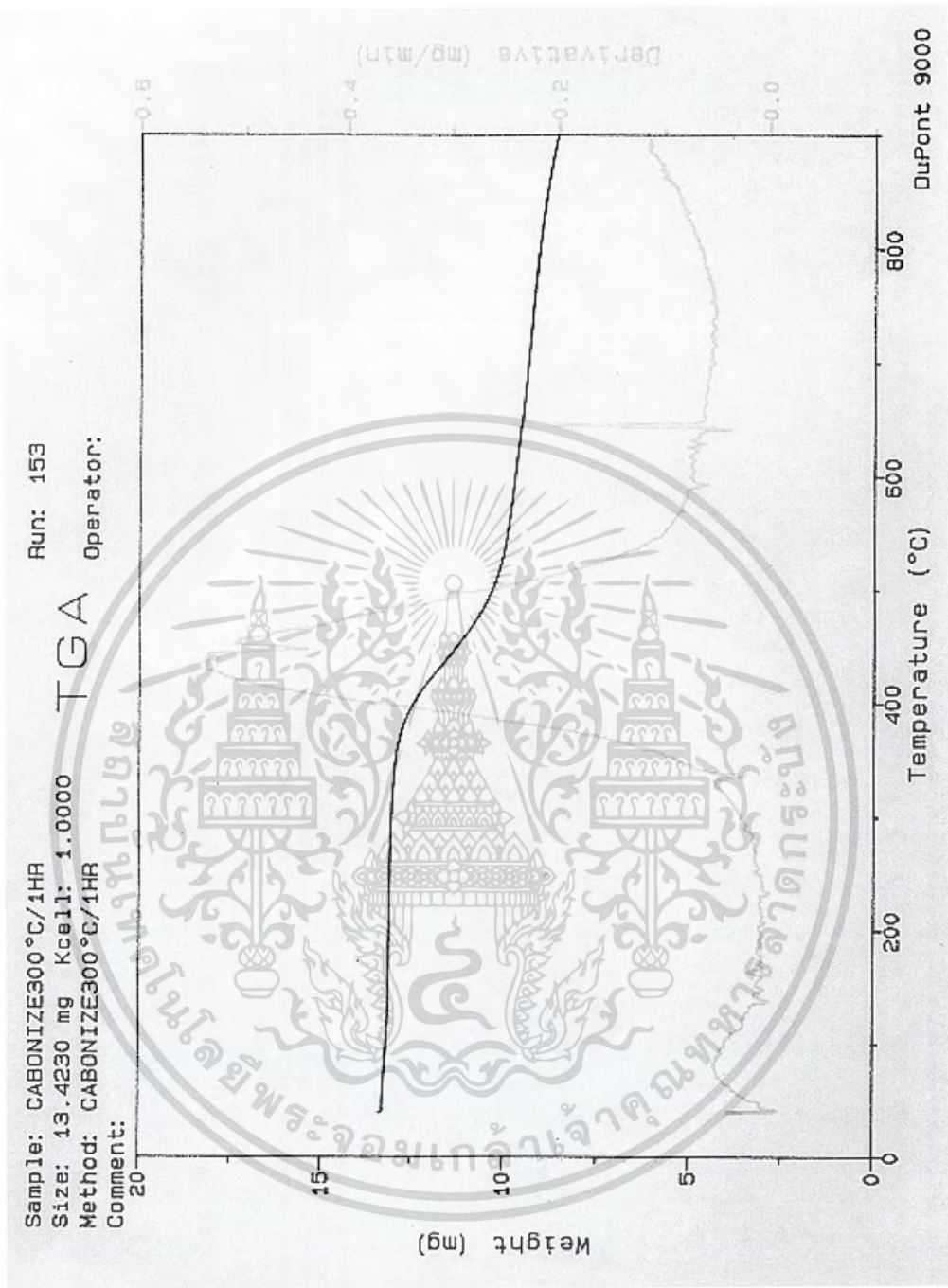
รูปที่ ข.2 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยของถ่านหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยของตะกอนก่อนคาร์บอนไนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยของตะกอนคาร์บอนที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยของตะกอนคาร์บอนที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.๖ แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยของตะกอนคาร์บอนที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้