

การเพิ่มมูลค่าให้ขยะกระดาษและเศษผ้าสิ่งทอ
โดยใช้เทคโนโลยีการอัดผ่านชีวภาพ

สุวิทย์ คงกล้า

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2560

RECYCLING AND UPGRADING OF SHREDDED PAPER AND TEXTILE WASTE USING
BIOCOKE TECHNOLOGY

Suwit Khongkla

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School

Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2017

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเพิ่มมูลค่าให้ขยะกระดาษและเศษผ้าจากโรงงาน
อุตสาหกรรม โดยใช้เทคโนโลยีการอัดถ่านชีวภาพ

โดย

สุวิทย์ คงกล้า

สาขาวิชา

เทคโนโลยีวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์)

..... กรรมการ
(ดร. ดอน แก้วดก)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ)

สุวิทย์ คงกล้า : การเพิ่มมูลค่าให้ขยะกระดาษและเศษผ้าสิ่งทอ โดยใช้เทคโนโลยีการอัดถ่านชีวภาพ. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ, 50 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบนำวัสดุเหลือใช้จากภาคการศึกษา จากภาคอุตสาหกรรม และจากภาคการเกษตร ได้แก่ เศษกระดาษ เศษผ้าจากโรงงานสิ่งทอ และขี้เลื่อยไม้ยางพารา มาศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านชีวภาพ (Biocoke) และ หาอัตราส่วนที่เหมาะสม ในการผสมกระดาษ เศษผ้า กับขี้เลื่อย พบว่าสามารถขึ้นรูปเป็นถ่านทรงกระบอกได้ โดยอัตราส่วนแต่ละชนิดและอัตราส่วนผสมเป็นคู่จากวัสดุสามชนิดนี้ ได้แก่ ขี้เลื่อยกับกระดาษ และเศษผ้ากับขี้เลื่อย ที่อัตราส่วนการผสม 80:20 60:40 50:50 40:60 และ 20:80 อัดขึ้นรูปเป็นก้อนถ่านชีวภาพ โดยใช้อุณหภูมิ 170 °C ความดัน 16 MPa ระยะเวลา 20 นาที โดยพิจารณาลักษณะทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล สมบัติทางเคมี และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ประกอบกัน ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดที่ 1.339 g/cm³ ตามด้วยกระดาษและเศษผ้าจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีค่า 1.201 g/cm³ และ 1.073 g/cm³ ตามลำดับ กรณีวัสดุผสมจากขี้เลื่อย 80% ต่อเศษกระดาษ 20% ให้ค่าความหนาแน่นสูงถึง 1.358 g/cm³ จะมีค่าการทนต่อแรงอัดสูงสุด โดยที่เศษผ้าตัดเป็นชิ้นอัดจะให้ค่าอยู่ที่ 16.0 kg/cm²

ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเศษผ้าสิ่งทอจะให้ค่าความร้อนสูงสุดที่ 6.137 kcal/g สูงกว่าสองเท่าของค่าความร้อนถ่านที่ผลิตจากกระดาษ 100% ที่มีค่าเท่ากับ 2.991 kcal/g แต่ต่ำกว่าค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ใช้งานในปัจจุบัน ที่ประมาณ 4.2 – 5.0 kcal/g จึงจำเป็นต้องประยุกต์ใช้กระดาษผสมกับวัสดุอื่น เพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่ดีขึ้น

จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลที่กำลังขยาย 1000x พบว่ามีเพียงขี้เลื่อยเท่านั้นที่เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพของคาร์บอนกลายเป็นถ่านชีวภาพในบางส่วน ในขณะที่เศษผ้า เส้นใยผ้า และกระดาษ ยังคงสภาพคล้ายเดิมอยู่ กระบวนการอัดด้วยความร้อนนี้จึงให้ผลในทางเพิ่มความหนาแน่นและลดขนาดเพื่อการขนส่ง และลดพื้นที่การจัดเก็บ ตลอดจนช่วยเพิ่มค่าความร้อนได้หากผสมขี้เลื่อยหรือเศษผ้า ในกรณีของเศษกระดาษและเศษผ้า การผลิตเป็นถ่านชีวภาพจะช่วยเพิ่มมูลค่าได้เช่นกัน

บัณฑิตวิทยาลัย
สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม
ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

SUWIT KHONGKLA : RECYCLING AND UPGRADING OF SHREDDED PAPER AND TEXTILE WASTE USING BIOCOKE TECHNOLOGY. ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR WIPAWADEE WONGSUWAN, 50 PP.

The research has been conducted to utilizes waste from academic, industrial and agricultural sectors; i.e., shredded paper, cloth waste from fabric factory, and sawdust from Para wood. The feasibility study for biocoke production was done to find appropriate composition of mixture among shredded paper, cloth waste and sawdust. It was possible to consolidated them into cylindrical biocoke. Two from three types among these materials were coupled into two combinations; sawdust vs. paper and cloth waste vs. sawdust, with composition 80:20, 60:40 50:50 40:60 and 20:80, respectively. These raw materials were compressed into biocoke under temperature 170 °C, pressure 16 MPa and time period for 20 minutes in the production machine.

Considering integrated information from physical, thermal, mechanical, and chemical properties, and microscope photo, it can be concluded that; biocoke from Para wood sawdust provided highest density at 1.339 g/cm³, followed by those of shredded paper and cloth waste from fabric factory at 1.201 g/cm³ and 1.073 g/cm³, respectively. The composite sawdust and shredded paper 80:20 gave high density biocoke at 1.358 g/cm³.

Biocoke from cloth waste provided highest heating value at 6.137 kcal/g, nearly double of biocoke from 100% shredded paper at 2.991 kcal/g, however, lower than heating value of conventional biocoke at 4.2 – 5.0 kcal/g. Therefore, it is necessary to mix paper with the other material to increase its heating value.

Therefore, biocoke production by compression under heating would affect increasing of raw material density to reduce transportation space and storage space, also possibly increasing heating value by mixing with sawdust or cloth waste. In case of shredded paper and cloth waste, biocoke production could enhance value added as well.

Graduate School

Student's Signature.....

Field of Engineering of Technology

Advisor's Signature

Academic Year 2017

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณามอบโอกาสและให้คำแนะนำ แนวทางการศึกษาค้นคว้า สืบค้นข้อมูล แนวทางการทำวิจัย การเขียนวิทยานิพนธ์ตลอดจนการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรรัตน์ อาริรัตน์ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นประธานคณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ และคำแนะนำแนวทางการทำวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์ (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ในการให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์และแนวทางการทำวิจัยนี้ ให้คำปรึกษา และ กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ดอน แก้วดก (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ในการให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์และแนวทางการทำวิจัยนี้ ตลอดจน กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สุรัสวดี จามิกรณ์ (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่ให้คำแนะนำการใช้อุปกรณ์ทดสอบค่าความร้อนและเอนทัลปีเพื่อสถานที่ ทดสอบค่าความร้อนของวัสดุ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและแนะนำการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่ในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ นายณัฐศักดิ์ คงกล้า นางทองยูน คงกล้า ซึ่งเป็นบิดาและมารดาของผู้เขียน ที่ให้โอกาสในการศึกษาและขอบคุณอาจารย์เพื่อนๆและผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งที่กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามใน ณ ที่นี้ ผู้เขียนมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดีจากทุกท่านและขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

สุวิทย์ คงกล้า

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 ขอบเขตการศึกษาและวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	5
2 หลักการพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	9
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	17
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	17
3.2 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลอง.....	18
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	19
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	20
3.5 การตรวจสอบสมบัติของถ่านชีวภาพ.....	20

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	21
4.1 การวิเคราะห์และผลการวิจัยสมบัติทางกายภาพ.....	21
4.2 สมบัติทางกลของถ่านชีวภาพ.....	24
4.3 สมบัติทางความร้อนของถ่านชีวภาพ.....	29
4.4 โครงสร้างระดับจุลภาคของถ่านชีวภาพ.....	32
5 การวิเคราะห์และผลการวิจัย.....	38
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	38
5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนางานวิจัย.....	40
บรรณานุกรม.....	41
ภาคผนวก.....	44
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	50

TNI

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	แสดงค่าความร้อนและค่าความชื้นของงานวิจัยศักยภาพในการนำตะกอนจากระบบ บำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล.....	2
1.2	ราคาซื้อขายกระดาษของบริษัทห้วยป่าฉิม.....	3
1.3	แผนการดำเนินงาน.....	5
2.1	แสดงค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการอัดเชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....	7
2.2	อุณหภูมิการหลอมเหลวและการเกิด Glass transition ของวัสดุโพลีเมอร์.....	8
2.3	สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถ่านชีวภาพ.....	16
3.1	สรุปชนิดและขนาดของวัตถุดิบ.....	18
3.2	พารามิเตอร์ของการอัดขึ้นรูป.....	19
3.3	สัดส่วนในการผสมวัสดุต่างชนิดกัน.....	19
4.1	ค่าความต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยและกระดาษ.....	24
4.2	ลักษณะการแตกของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากส่วนผสมขี้เลื่อยและเศษกระดาษ.....	26
4.3	แสดงผลค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเศษผ้าและขี้เลื่อย.....	27
4.4	ลักษณะการแตกของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยและเศษผ้า.....	28

TNI

TAHITI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1 ตัวอย่างวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านชีวภาพ.....	1
2.1 ตัวอย่างขั้นตอนการอัดก้อนถ่านชีวภาพ.....	6
2.2 ค่าความร้อนจากชีวมวลชนิดหลากหลายชนิด.....	8
2.3 ตัวอย่างเครื่อง Automatic Hydraulic pack.....	10
2.4 ลักษณะการแตกของปูนก้อนตัวอย่างทรงกระบอก	11
2.5 ภาพตัวอย่างรูปแบบการแตกของปูนก้อนตัวอย่างทรงกระบอก.....	11
2.6 ภาพตัวอย่างบอมบ์คาลอริมิเตอร์.....	12
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	17
3.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเป็นถ่านชีวภาพ.....	18
3.3 เครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบแนวตั้ง.....	19
4.1 ถ่านชีวภาพของขี้เลื่อยและเศษกระดาษ.....	21
4.2 กราฟค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยและเศษกระดาษ.....	22
4.3 ถ่านชีวภาพผสมอัตราส่วนระหว่างขี้เลื่อยไม้ยางพาราต่อเศษกระดาษ.....	22
4.4 ถ่านชีวภาพผสมเศษผ้าและขี้เลื่อยเทียบกับถ่านจากขี้เลื่อย.....	23
4.5 กราฟค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยผสมกับเศษผ้า.....	23
4.6 ถ่านชีวภาพผสมของขี้เลื่อยต่อเศษผ้า.....	24
4.7 กราฟแสดงการต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยและกระดาษ.....	25
4.8 ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพผสมระหว่างขี้เลื่อยและจากกระดาษ.....	29
4.9 เศษขี้เถ้าที่เหลือจากการทดสอบค่าความร้อน.....	30
4.10 กราฟแสดงค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผสมระหว่างขี้เลื่อยและเศษกระดาษ.....	30
4.11 ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพถ่านชีวภาพผสมระหว่างขี้เลื่อยและเศษผ้า.....	31
4.12 กราฟแสดงค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผสมระหว่างขี้เลื่อยและเศษผ้า.....	31
4.13 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากกระดาษ 100%.....	32
4.14 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากเศษผ้า 100%.....	33
4.15 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อย 100%.....	33
4.16 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อย 80% ต่อกระดาษ 20%.....	34
4.17 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อย 60% ต่อกระดาษ 40%.....	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.18 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากซีเลื่อย 50% ต่อกระดาษ 50%.....	35
4.19 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากซีเลื่อย 80% ต่อเศษผ้า 20%.....	35
4.20 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากซีเลื่อย 60% ต่อเศษผ้า 40%.....	36
4.21 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากซีเลื่อย 50% ต่อเศษผ้า 50%	36



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

พลังงานเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ พลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนจะช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และจะทวีความสำคัญต่อการพัฒนาการด้านแหล่งพลังงานของประเทศไทยยิ่งขึ้น โดยพลังงานทดแทนในประเทศไทยแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

- 1) พลังงานธรรมชาติ อาทิ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม
- 2) เชื้อเพลิงชีวภาพ อาทิ ไบโอดีเซล และเอทานอล
- 3) **พลังงานชีวภาพ** อาทิ พลังงานจากถ่านชีวภาพ (Biocoke) พลังงานจากชีวมวล (Biomass) พลังงานจากก๊าซชีวภาพ (Biogas) พลังงานจากขยะ

พลังงานชีวภาพเป็นทางเลือกหนึ่งที่รัฐบาลเห็นความสำคัญ และต้องการเพิ่มปริมาณการใช้ในอนาคต โดยการนำผลิตภัณฑ์ที่เหลือใช้จากการเกษตร จากอุตสาหกรรมเกษตร หรือ อุตสาหกรรมมาทำให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงาน

วัตถุดิบจากเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการเกษตรดังรูปที่ 1.1 มีการนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ (Recycle) และเพิ่มมูลค่าได้โดยการอัดเป็นแท่งและใช้ความร้อนและความดันในการผลิตทำให้เกิดเป็นถ่านชีวภาพ (Biocoke) หรือ ไบโอดีค็อก ซึ่งสามารถให้ค่าความร้อนที่ค่อนข้างสูง และสามารถนำไปใช้กับอุตสาหกรรม ที่ต้องการค่าความร้อนและอุณหภูมิสูงได้ดี นอกจากนี้ขยะก็ยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นถ่านชีวภาพได้เช่นกัน



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านชีวภาพ

สำหรับพลังงานจากของเสียนั้น เมื่อปี พ.ศ. 2555 มีงานวิจัยเรื่องศักยภาพในการนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งองค์ประกอบหลักคือเยื่อกระดาษกับเศษวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ ผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 1.1 [1]

ตารางที่ 1.1 ค่าความร้อนและค่าความชื้นจากงานวิจัยศักยภาพในการนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล [1]

วัสดุที่ใช้	ค่าความร้อน (kcal/g)	ค่าความชื้น (%)
กากตะกอนเยื่อกระดาษ	2.870	3.670 %
กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมเปลือกยูคาลิปตัส	3.370	7.746 %
กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมเศษฟ่อนไม้	4.066	9.074 %

จากผลงานวิจัยที่นำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษ ซึ่งเป็นของเสียมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล พบค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากตะกอนเยื่อกระดาษอยู่ที่ 2.870 kcal/g ความชื้นอยู่ที่ 3.67 % ซึ่งสามารถปรับปรุงให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้นโดยการผสมกับวัสดุอื่น

ขยะทั่วไปประมาณเกือบครึ่งเป็นของมีมูลค่า และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยแยกเป็นกระดาษ 19% พลาสติก 13% แก้ว 8% โลหะ 5% เห็นได้ว่าขยะกระดาษมีสัดส่วนมากที่สุด และเกิดขึ้นทั่วประเทศประมาณ 2.47 ล้านตัน ซึ่งขยะกระดาษเหล่านี้ควรถูกรวบรวมป้อนให้แก่โรงงานผลิตกระดาษ เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษรีไซเคิล [2]

กระดาษแต่ละประเภทมีราคารับซื้อไม่เท่ากัน ราคาโดยรวมอย่างต่ำก็โลกรัมละ 1 บาท และที่สำคัญกระดาษที่นำมาขายต้องไม่เป็นคราบน้ำมันต่างๆ ดังนั้นจึงควรมีการแยกประเภทกระดาษก่อนที่จะนำไปขาย กระดาษที่ไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ คือ กระดาษห่อของขั้ว และกระดาษกล่องแอปเปิ้ล เพราะมีเยื่อเซลลูโลสน้อยมากไม่เหมาะสมที่จะนำมารีไซเคิลอีก ทำให้ร้านรับซื้อของเก่าไม่รับซื้อกระดาษประเภทนี้ ดังนั้นหลังจากการรวบรวมเศษกระดาษใช้แล้วในสำนักงาน โรงงานและบ้านเรือน ควรมีการแยกแยะเศษกระดาษเหล่านี้ออกจากขยะชนิดอื่น เพื่อสะดวกในการจัดเก็บและนำกลับไปรีไซเคิล เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งในทางเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และทรัพยากรธรรมชาติ

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นโอกาสในการนำกระดาษที่ผ่านการใช้งานแล้ว อาทิ กระดาษข้อสอบ กระดาษที่พิมพ์มาแล้วสองด้าน ฯลฯ มาทำการทดลองและวิจัย เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากกระดาษใช้แล้ว ซึ่งข้อมูลจากการซื้อขายของบริษัททวงษ์พาณิชย์ พบว่าราคากระดาษที่รับซื้อค่อนข้างถูก จึงเป็นโอกาสในการเพิ่มมูลค่าให้กับขยะกระดาษได้

จากตารางที่ 1.2 ที่แสดงการซื้อขายกระดาษของบริษัททวงษ์พาณิชย์ [3] ขยะกระดาษมีราคาการซื้อขายที่แตกต่างกันตามชนิดและประเภทของกระดาษ แต่โดยทั่วไปมีราคารับซื้อที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงควรหาแนวทางเพิ่มมูลค่ากระดาษเหล่านี้

ทางเลือกที่น่าสนใจคือการนำกระดาษาใช้แล้วมาผลิตถ่านชีวภาพ (Biocoke) โดยต้องมีการหาส่วนผสมที่เหมาะสมกับวัสดุชนิดอื่นที่ค่าความร้อนสูงกว่า เพราะวัตถุดิบกระดาษาให้ค่าความร้อนที่ไม่สูงนัก จึงอาจนำเศษกระดาษามาผสมกับเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร อาทิ ชี้เลื่อยไม้ยางพารา หรือวัสดุอื่นๆ ที่จะช่วยทำให้ถ่านชีวภาพที่ผลิตได้มีค่าพลังงานความร้อนที่ดี

ตารางที่ 1.2 ราคาซื้อขายกระดาษาของบริษัทห้วยพานิชย์ [3]

ลำดับ	ชนิดสินค้า	ราคา (บาท) ต่อหน่วย
1	กระดาษย่อยเคลือบมันหน้าเดียว	1.10
2	กระดาษกล่องนม/กล่องน้ำผลไม้	1.20
3	กระดาษสี/กระดาษกล่อง	2.70
4	กระดาษหนังสือในบรุฟ	2.70
5	กระดาษย่อยสวย	2.70
6	กระดาษหนังสือเล่ม/กระดาษอาร์ตมัน	2.70
7	กระดาษถุงปูน	2.70
8	กระดาษแข็งกล่องน้ำตาล	4.20
9	กระดาษหนังสือพิมพ์	5.00
10	กระดาษขาว-ดำ	6.00
11	กระดาษสมุด	6.00
12	กระดาษคอมพิวเตอร์	6.00
	เฉลี่ย	3.58

ประเด็นนี้จึงเป็นปัญหาวิจัยเกี่ยวกับการปรับค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากกระดาษาให้สูงขึ้น ทำได้โดยการผสมกับวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรหรือจากภาคอุตสาหกรรม ที่มีค่าความร้อนสูงกว่า เพื่อปรับคุณสมบัติถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ให้เหมาะสม เพื่อการเพิ่มมูลค่ากระดาษาให้เป็นไปได้ต่อการจำหน่ายถ่านชีวภาพในเชิงพาณิชย์ต่อไป

นอกจากนี้ ผู้วิจัยซึ่งทำงานในบริษัทสิ่งทอได้พบว่ามีเศษผ้าและเส้นใยที่เป็นของเสียจำนวนมากจากกระบวนการผลิต และถูกขายทิ้งจากโรงงานไปในราคาถูกๆ จึงต้องการศึกษาทางเลือกในการเพิ่มมูลค่าให้ของเสียเหล่านี้เช่นกัน และทางเลือกหนึ่งคือการนำมาทดสอบผสมกับเศษวัสดุทางการเกษตรหรืออื่นๆ เพื่ออัดขึ้นรูปเป็นถ่านชีวภาพ โดยใช้เครื่องอัดเชื้อเพลิงชีวมวลแนวตั้ง จึง

จำเป็นต้องทำวิจัยเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม ที่จะสามารถผลิตถ่านชีวภาพให้มีคุณสมบัติ มีค่าพลังงานความร้อนที่เหมาะสม

ในภาพรวมงานวิจัยนี้จะหาแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของกระดาศที่เป็นวัสดุทิ้งเปล่าจากสำนักงาน และเศษผ้าที่เป็นวัสดุทิ้งเปล่าจากภาคอุตสาหกรรม โดยการนำมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพ ที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าของวัสดุทิ้งเปล่าเหล่านี้ และในขณะเดียวกันก็จะลดปริมาณขยะได้ด้วย และนำมาซึ่งวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านชีวภาพ (Biocoke) จากกระดาศใช้แล้วจากสำนักงานที่ดัดละเอียด และ เศษผ้าของเสียจากโรงงานที่ดัดเป็นชิ้นๆ

1.2.2 หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมเศษกระดาศหรือเศษผ้า กับขี้เลื่อยจากไม้ยางพาราซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในการผลิตถ่านชีวภาพ

1.3 ขอบเขตการศึกษาและวิจัย

1.3.1 การผลิตถ่านชีวภาพจะใช้เครื่องอัดแนวตั้งในห้องปฏิบัติการวิจัย Advanced Material Processing (AMP) บริเวณอาคาร K สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น

1.3.2 วัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ กระดาศดัดละเอียด เศษผ้าทิ้งจากโรงงานสิ่งทอที่ดัดเป็นชิ้นๆ ขี้เลื่อยจากไม้ยางพารา

1.3.3 การทดสอบคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ

- i. ทางกายภาพ ได้แก่ ขนาดและการคั่นตัว ความหนาแน่นรวม ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพจากกล้องถ่ายภาพขยายขนาด $\times 1000$
- ii. ทางกล ได้แก่ ความต้านทานแรงอัดสูงสุด
- iii. ทางความร้อน ได้แก่ ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบแนวทางในการนำกระดาศใช้แล้วจากสำนักงาน หรือ เศษผ้าของเสียจากโรงงาน มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านชีวภาพ

1.4.2 ถ่านชีวภาพที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางความร้อน ที่เหมาะสมจากส่วนผสมของเศษกระดาศหรือเศษผ้า กับขี้เลื่อยจากไม้ยางพารา

บทที่ 2

หลักการพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชีวมวลหรือพลังงานชีวมวล คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถนำไปใช้ผลิตพลังงานได้ เทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวภาพ (Bio-coke) เป็นหนึ่งทางเลือกในการนำชีวมวลมาใช้ประโยชน์ ซึ่งวิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านชีวภาพ รวมถึงทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถ่านชีวภาพได้สรุปไว้ในบทนี้

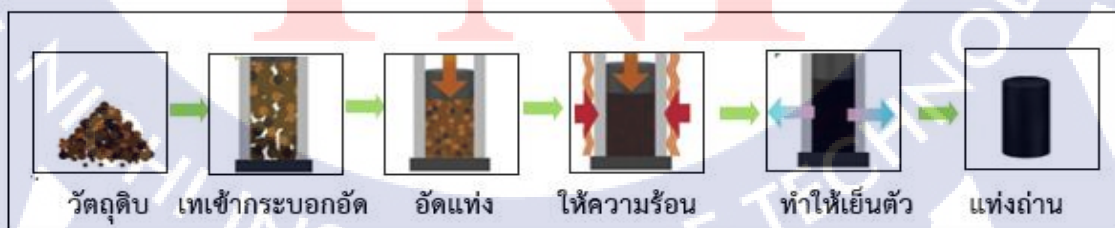
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สารชีวมวลมีความหลากหลาย โดยแตกต่างกันที่องค์ประกอบขั้นต้นคือ เซลลูโลส เฮมิ-เซลลูโลส ลิกนิน แป้ง และโปรตีน และสารอื่นๆ ต้นไม้มีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิ-เซลลูโลส ลิกนิน ธัญพืชอาจมีแป้งมาก ของเสียจากปศุสัตว์มีโปรตีนมาก [4] จึงมีผลกับสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุที่มีองค์ประกอบต่างกัน

งานวิจัยนี้จะเน้นที่การใช้เชื้อเพลิงแข็ง พบว่านอกเหนือจากถ่านชีวภาพ (Biocoke) แล้วก็ยังมีเชื้อเพลิงแข็งอื่นที่เป็นคู่แข่งอยู่ในท้องตลาด อาทิ แบบสับย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ หรืออัดเป็นเม็ดหรือเป็นแท่งเล็กๆ ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าถ่านชีวภาพ

2.1.1 เทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวภาพ (Bio-coke)

การผลิตถ่านชีวภาพ หรือ ชีวมวลอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร อาทิ เศษไม้ ขี้เลื่อย แกลบ เหมืองแร่สำหรับล้างและขังข้าวโพด จะต้องสับย่อยวัตถุดิบเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วบรรจุเข้าไปในกระบอกรีด จากนั้นอัดให้ความดันและให้ความร้อน แล้วทิ้งให้เย็นตัวลง ก็จะทำได้ถ่านชีวภาพทรงกระบอกรีด ดังภาพอย่างง่ายของกระบวนการอัดถ่านชีวภาพในรูปที่ 2.1 ที่สามารถนำถ่านชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมต่อไป



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างขั้นตอนการอัดถ่านชีวภาพ [5]

ชีวมวลแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป บางชนิดไม่เหมาะสมที่จะนำมาเผาไหม้โดยตรงเพื่อผลิตไฟฟ้า เช่น กากมันสำปะหลัง และส่าเหล้า เพราะมีความชื้นสูงถึง 80-90% บางชนิดต้องนำมาย่อยก่อนนำไปเผาไหม้ เช่น เศษไม้ยางพารา กากกะทิมะพร้าว เป็นต้น

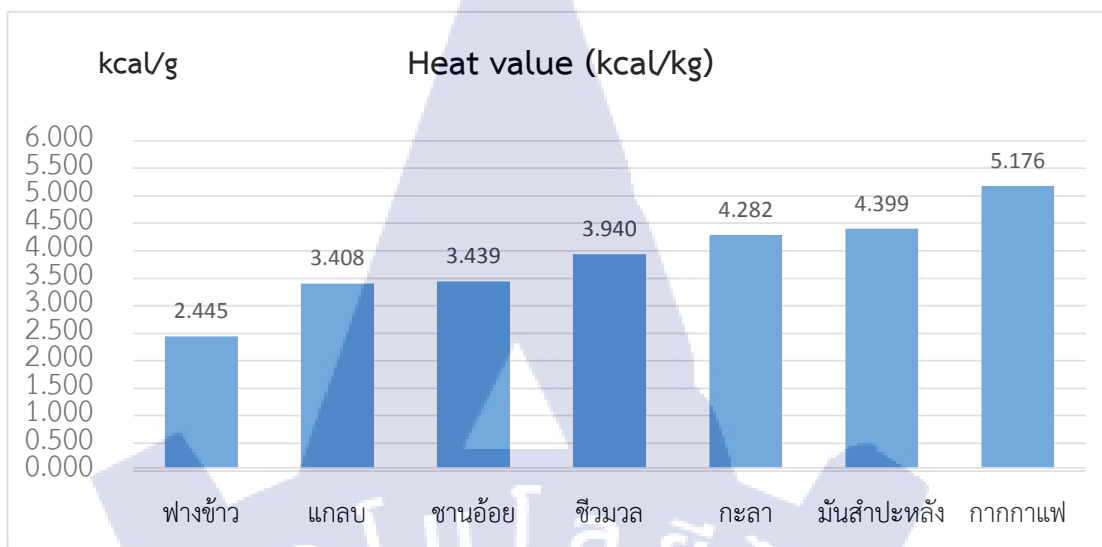
กรรมวิธีการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรม การเกษตร เช่น ชานอ้อย ชังข้าวโพด ไม้ทั้งประเภทเนื้อแข็ง เนื้ออ่อน หรือขี้เลื่อยในประเทศไทย และต่างประเทศมีรูปแบบของกระบวนการคล้ายกัน ต่างกันที่ชนิดวัสดุเหลือใช้ที่เอามาผลิต

การผลิตแท่งเชื้อเพลิง คือ การนำเอาวัตถุดิบมาผ่านกระบวนการย่อยและลดความชื้นลง หลังจากนั้นนำมาอัดเป็นแท่งและลดอุณหภูมิก่อนเก็บ และรักษาความชื้นอยู่ระหว่าง 8-10% ซึ่งข้อดีของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง หรือในงานวิจัยนี้เรียกว่า “ถ่านชีวภาพ” คือ สะดวกแก่การขนส่ง พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ประมาณ 4.8 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อตัน (MWh/ton) หรือประมาณ 16.4 ล้านบีทียู/ตัน (MBtu/ton) มีขี้เถ้าน้อย ค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้เวลานำมาใช้้น้อยกว่าถ่านหินถึง 20 เท่า ซึ่งถือว่ามีความปลอดภัยมาก จึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ได้รับความสนใจจากภาคอุตสาหกรรมในต่างประเทศ เช่น เกาหลี ญี่ปุ่น และจีน ยกตัวอย่าง การนำไปใช้ในงานเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ (Boiler) เพื่อผลิตไอน้ำ หรือใช้ในเตาเผา [6]

ขี้เถ้า (Ash) เป็นส่วนประกอบอินทรีย์ที่ไม่เผาไหม้ ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณร้อยละ 1-3 ยกเว้นแกลบและฟางข้าวจะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณร้อยละ 10-20 ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้ [7] โดยค่าพลังงานชีวมวลของประเทศไทยที่มีการทดลองและวัดค่าพลังงานความร้อน สรุปดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการอัดเชื้อเพลิงแต่ละชนิด [8]

วัตถุดิบที่ใช้	ค่าพลังงานความร้อน (Calorific Value , kcal/g)
ฟางข้าว	2.445
แกลบ	3.408
ชานอ้อย	3.439
ชีวมวลอัดเม็ด	3.940
กะลา	4.282
มันสำปะหลัง	4.399
ถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ	5.176



รูปที่ 2.2 ค่าความร้อนจากชีวมวลหลากหลายชนิด [8]

ผ้าหรือสิ่งทอสามารถผลิตได้จากวัสดุหลายชนิด ทั้งจากเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ (Polymer) ที่อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของวัสดุโพลีเมอร์แต่ละชนิด ดังสรุปในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิการหลอมเหลวและการเกิด Glass transition (TG) ของวัสดุโพลีเมอร์ [9]

Materials	TG (°C)	Melting Temperature (°C)
Polyethylene (low density)	-110	115
Polytetrafluoroethylene	-97	327
Polyethylene(high density)	-90	137
Polypropylene	-18	175
Nylon 6,6	57	265
Polyester (PET)	69	265
Polyvinyl chloride (PVC)	87	212
Polystyrene	100	240
Polycarbonate	150	265

2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การเปรียบเทียบว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ต่างกันมีคุณสมบัติเป็นอย่างไร จำเป็นต้องทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางความร้อน และเชิงกล ซึ่งหัวข้อนี้จะกล่าวถึงค่าคุณสมบัติพื้นฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุต่างชนิดกัน

2.2.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (Density) ของถ่านชีวภาพที่ขึ้นรูปได้จากเชื้อเพลิงมวล 50 g และอัดขึ้นรูปโดยเครื่องอัดทรงตั้ง ทำให้ได้ถ่านชีวภาพหรือ Biocoke เป็นทรงกระบอก ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง d และสูง h ค่าความหนาแน่นคำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\left(\frac{\pi d^2}{4} h\right)} \quad (2.1)$$

โดยที่ ρ = ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงถ่านชีวภาพ (kg/m^3)
 M = มวลของแท่งเชื้อเพลิงถ่านชีวภาพ (kg)
 V = ปริมาตรของเชื้อเพลิงถ่านชีวภาพ (m^3)

2.2.2 ค่าการทนแรงอัดสูงสุด

ค่าการทนแรงอัดสูงสุด (Compressive strength) วิเคราะห์โดยใช้เครื่องไฮดรอลิกอัตโนมัติ (Automatic Hydraulic pack) แนวตั้งหรือแนวนอน โดยต้องเตรียมชิ้นงานตัวอย่างจากถ่านชีวภาพให้พร้อม ก่อนใส่เข้าไประหว่างเครื่องอัดทดสอบ แล้วใส่แรงอัดเข้าไป จากนั้นบันทึกค่าแรงอัดสูงสุดที่แท่งเชื้อเพลิงสามารถรับได้ ยกตัวอย่างภาพเครื่อง Automatic Hydraulic pack ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างเครื่อง Automatic Hydraulic pack ทดสอบค่าการทนแรงอัดสูงสุด [9]

การคำนวณหาความต้านแรงอัดของแท่งถ่านชีวภาพที่ใช้ทดสอบ จากสมการ (2.2)

$$f_c' = \frac{Pu}{A} \quad (2.2)$$

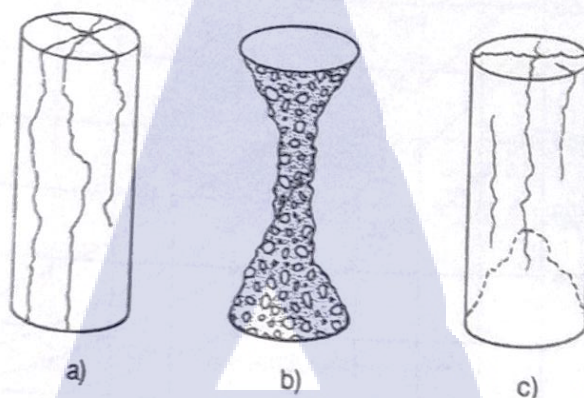
โดยที่

f_c' คือ ความต้านทานแรงอัดของแท่งทดสอบ หน่วย กิโลกรัมของแรงต่อตารางเซนติเมตร

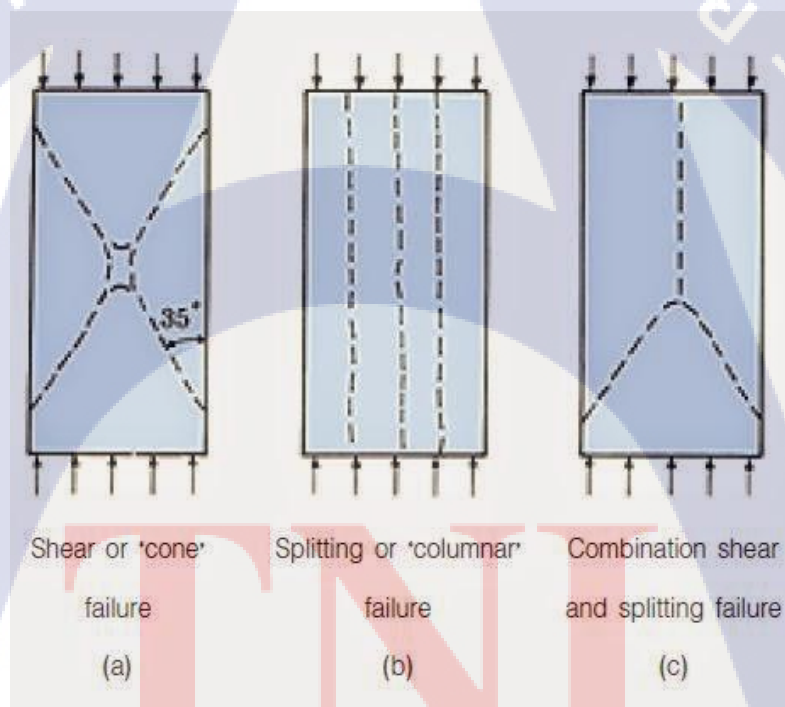
Pu คือ น้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบรับได้ หน่วย กิโลกรัมของแรง

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของแท่งทดสอบ หน่วย ตารางเซนติเมตร

ลักษณะการชำรุดแตกหักของก้อนตัวอย่างที่รับแรงอัด มันแตกออกเป็นรูปกรวยคู่ (Shear Failure) [10] โดยมีปลายกรวยอยู่ที่กึ่งกลางของทรงกระบอก โดยเกิดจากการถูกเฉือนในระนาบที่เอียงกับแรงกด อันเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุผสมและความเสียดทานภายใน ดังนั้นมุมของการแตกหักจึงมีค่าเท่ากับ $45 - \phi/2$ เมื่อ ϕ เป็นมุมของความเสียดทานภายในของวัสดุ ซึ่งสำหรับคอนกรีตจะมีค่าประมาณ 20 องศา ดังนั้นระนาบของความเสียหายของตัวอย่างจึงเบี่ยงประมาณ 35 องศา ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างอาจเป็นการแตกแบบแยกออก (Splitting Failure) หรืออาจเป็นการรวมของลักษณะการแตกของทั้ง 2 แบบ (Combination Shear and Splitting Failure)



รูปที่ 2.4 ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างทรงกระบอก [10]



รูปที่ 2.5 ภาพตัวอย่างรูปแบบการแตกของก้อนตัวอย่างทรงกระบอก [10]

2.2.3 ค่าความชื้น

ค่าความชื้น (Moisture Content) [11] เป็นสัดส่วนระหว่างน้ำที่อยู่ในชีวมวลต่อน้ำหนักชีวมวลทั้งหมด ซึ่งความชื้นนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ ความชื้นภายใน (Intrinsic Moisture) และความชื้นภายนอก (extrinsic moisture) ความชื้นภายในเป็นค่าความชื้นที่อยู่ใน

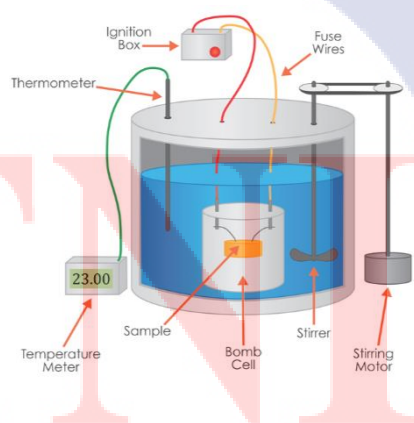
ชีวมวลซึ่งเป็นค่าคงที่ ซึ่งจะไม่คิดค่าความชื้นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ อย่างไรก็ตามค่าความชื้นก็แปรเปลี่ยนตามสภาพอากาศ

ค่าความชื้นถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ ที่มีผลต่อกระบวนการแปลงชีวมวลเป็นพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการแปลงพลังงานโดยใช้ความร้อน (Thermal conversion processing) เมื่อชีวมวลใดยังมีค่าความชื้นมากยิ่งทำให้ค่าความร้อนต่ำ (Low heating Value) ของชีวมวลนั้น ๆ ลดลง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้ความร้อนลดลง [12]

ค่าความชื้นสูงสุดของชีวมวลที่แนะนำให้ใช้ในหม้อไอน้ำต่างๆ มีดังนี้ ในหม้อไอน้ำเล็ก (Small Boiler) ค่าความชื้นของชีวมวลควรไม่เกิน 30-35 % หม้อไอน้ำแบบระบบรีซีโพรเคตติ้งเกรท (reciprocating grate system) ค่าความชื้นของชีวมวลไม่ควรเกิน 60 % และ หม้อไอน้ำแบบ สโตเกอร์ (Stoker) ค่าความชื้นของชีวมวลไม่ควรเกิน 25 % [13]

2.2.4 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

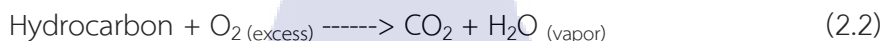
การทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Calorific value) ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.4 เป็นกระบวนการปริมาตรคงที่ โดยนำชิ้นตัวอย่างจากถ่านชีวภาพใส่เข้าไปในบอมบ์เซลล์ แล้วจุดระเบิดจนเมื่อเชื้อเพลิงเกิดการสันดาปแล้ว จะให้พลังงานความร้อนออกมา เป็นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่อหน่วยมวล อาทิ Btu/lb Cal/g หรือ kJ/kg



รูปที่ 2.6 ภาพตัวอย่างบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ [14]

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Calorific Value) คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิงเนื่องจากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ในระบบ เชื้อเพลิงจำพวกไฮโดรคาร์บอนที่เกิดการสันดาปในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน จะได้ผลผลิตเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำซึ่งอยู่ในรูป

ของไอน้ำ ถ้าไอน้ำกลั่นตัวและคายความร้อนแฝงออกมา ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นค่าความร้อนสูง แต่ถ้าไอน้ำไม่เกิดการกลั่นตัวค่าความร้อนที่ได้จะเป็นค่าความร้อนต่ำ



การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงโดยใช้ Bomb Calorimeter ทำโดยการนำเอาสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด แล้วนำมาทำการสันดาปในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ ภายใต้ความดันภายใน Bomb Calorimeter ค่าความร้อนที่เกิดจากการสันดาปจะถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็นโดยรอบตัวบอมบ์คาลอริมิเตอร์ ซึ่งสามารถวัดค่าอุณหภูมิของน้ำได้จากเทอร์โมมิเตอร์ และปริมาณความร้อนที่ได้สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.3)

$$Q = m.C_v.\Delta T \quad (2.3)$$

โดย

Q = ปริมาณความร้อน (Cal)

m = มวลของน้ำในคาลอริมิเตอร์ (g)

C_v = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (Cal/g.°C)

ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (°C)

ปริมาณความร้อนที่คำนวณได้จากสมการ (2.3) ต้องถูกปรับค่าเพราะตัวบอมบ์คาลอริมิเตอร์เองก็สามารถดูดซับความร้อนจากการสันดาปเอาไว้อีกบางส่วน นอกจากนี้ยังมีความร้อนบางส่วนที่มาจากการเผาไหม้เส้นลวดที่ใช้ในการจุดระเบิด ซึ่งจะให้อุณหภูมิสูงขึ้นและก๊าซที่ได้จะรวมตัวกับน้ำเป็นกรดไนตริกและกรดซัลฟิวริก ดังนั้นการหาค่าความร้อนที่แท้จริงของการสันดาปเชื้อเพลิงจะต้องมีการแก้ไขค่าเหล่านี้ดังนี้

- 1) ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงในการทดสอบน้อยๆ เพื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นเพียง 2-3°C เพื่อให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด
- 2) ตรวจสอบค่ามวลน้ำสมมูลทดสอบ โดยอุณหภูมินี้ต่ำกว่าบรรยากาศโดยรอบประมาณครึ่งหนึ่งของอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการเผาไหม้
- 3) ต้องเติมน้ำลงในตัวบอมบ์คาลอริมิเตอร์เพื่อให้ไอน้ำสามารถกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้
- 4) หาปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้ของขดลวดแล้วนำไปหักออกดังสมการที่ (2.4)

การคำนวณค่าความร้อนที่ใกล้เคียงความเป็นจริงต้องใช้สมการที่ปรับแก้ค่าแล้ว ดังสมการที่ (2.4)

$$Q = m.C_v.\Delta T - C_1 - C_2 - C_3 \quad (2.4)$$

โดย C_1 = ความร้อนที่เกิดจากกรดไนตริก อันเกิดจากการสันดาป
 C_2 = ความร้อนที่เกิดจากกรดซัลฟูริก อันเกิดจากการสันดาป
 C_3 = ความร้อนที่เกิดจากเส้นลวดไฟฟ้าที่ใช้จุดระเบิด

โดยทั่วไปค่า C_1 และ C_2 จะกำหนดเป็นค่ามาตรฐาน หรือสามารถกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์ได้ และ C_3 สามารถคำนวณได้จากความยาวของเส้นลวดที่ใช้ไปในการสันดาป

ความร้อนที่เกิดจากการสันดาปของเชื้อเพลิงถ่านชีวภาพ หรือ ไบโอดีเซล จะถูกถ่ายเทให้กับ น้ำที่หล่อเย็นอุปกรณ์อยู่ เมื่อวัดอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนแปลง จะสามารถคำนวณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจากสมการที่ (2.5)

$$Hg = \frac{\Delta T.W - e1 - e2 - e3}{m} \quad (2.5)$$

โดยที่ Hg = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Cal/g)

m = มวลของเชื้อเพลิงแห้ง (g)

ΔT = อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น ($^{\circ}\text{C}$)

W = ค่ามวลน้ำสมมูลย์ ของ Bomb Calorimeter

$e1$ = ความร้อนที่เกิดจากกรดไนตริกที่ได้จากการสันดาปเท่ากับ 29.3 (calories)

$e2$ = ความร้อนที่เกิดจากกรดซัลฟูริกจากการสันดาป มีค่าเท่ากับมวลของเชื้อเพลิงแห้ง คูณด้วย 13.974

$e3$ = ความร้อนที่เกิดจากเส้นลวดไฟฟ้าที่ใช้จุดระเบิด คำนวณจากความยาวของเส้นลวด (cm) ที่ใช้ในการสันดาปคูณด้วย 2.3

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยด้านถ่านชีวภาพเริ่มโดยมหาวิทยาลัยกินกิ (Kinki University) ร่วมกับบริษัท นานิวะโรกิ (Kinki University and Naniwa Roki Co., Ltd.) และจากผลงานเมื่อเดือนเมษายนปี

พ.ศ. 2553 ที่มีการพัฒนากระบวนการผลิตไบโอโค้ก่วมกัน สามารถผลิตถ่านชีวภาพได้ 1 ตันใน 24 ชั่วโมง [5]

จากนั้นในเดือนเมษายน 2554 สมาคมกลุ่มเจ้าของป่าแห่งโอซาก้าพรีเฟคเชอร์ (The Osaka Prefecture Forest Owners Association) ก็ได้สร้างโรงงานไบโอโค้กเชิงพาณิชย์แห่งแรกของโลกที่เมืองทากาซึกิ (Takatsuki City) ที่ตั้งของโอซาก้าพรีเฟคเชอร์ โรงงานยังดำเนินการอยู่โดยใช้การเลือกตัดไม้จากป่ามาเป็นวัตถุดิบ โดยตัดไม้ที่ผ่านวัยรุ่นไปแล้วและขึ้นอยู่หนาแน่นออกบ้าง เพื่อช่วยให้ต้นไม้ที่เหลือมีโอกาสเจริญเติบโตอย่างเต็มที่

จากนั้นในเดือนกันยายนปีเดียวกันทางมหาวิทยาลัยกินกิ องค์กรด้านวิศวกรรม JFE บริษัท นานิวะโรกิ และบริษัทนิฮงโกอุเก็น (Kinki University, JFE Engineering Corporation, Naniwa Roki Co., Ltd., and Nihon Kouken Co., Ltd.) ได้ร่วมกันสาธิตการใช้ไบโอโค้กในการทดแทนถ่านหินได้ถึง 56.5% ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) เพื่อการหลอมเหลวโลหะในเตาหลอมโลหะโดยตรง

ในปี พ.ศ. 2555 มหาวิทยาลัยกินกิได้พัฒนากระบวนการผลิตถ่านชีวภาพอย่างต่อเนื่องซึ่งทำได้ 4 เท่าของกระบวนการผลิตแบบธรรมดา ซึ่งโครงการนี้ได้รับการสนับสนุนโดยองค์กรพัฒนานวัตกรรม การวิจัยและพัฒนาในระดับภูมิภาค (Regional Innovation Creation and R & D) ซึ่งได้ทุนวิจัยระดับชาติของญี่ปุ่นประจำปีงบประมาณ 2555 โดยในเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ถ่านชีวภาพก็ชนะรางวัลผลงานใหม่สำหรับปีงบประมาณ 2554 จาก Director-General Prize of Agency of Natural Resources and Energy

ในเดือนธันวาคมปี พ.ศ. 2555 มหาวิทยาลัยกินกิ บริษัทโตโยต้าอินดัสทรีส์ และบริษัท นานิวะโรกิ ร่วมกับสมาคมกลุ่มเจ้าของป่าแห่งโอซาก้าพรีเฟคเชอร์ (Kinki University, Toyota Industries Corporation, Naniwa Roki Co., Ltd., and the Osaka Prefecture Forest Owners Association) ได้รับรางวัลจากรัฐมนตรีในด้านกิจกรรมป้องกันโลกร้อน (the Environment Minister's Award for Global Warming Prevention Activity) สำหรับปีงบประมาณ 2555 สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องถ่านอัดแท่งถ่านชีวภาพในประเทศไทย สรุปไว้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถ่านชีวภาพ

เดือน ปี	ชื่องานวิจัย	วัตถุประสงค์
มี.ค.2553	รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล, การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้ง้ามันสำปะหลัง, สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ [14]	ศึกษาอัตราส่วนผสมและการให้ค่าสมรรถนะทางความร้อน โดยวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์
พ.ค.2555	กิตติลา วรฉันท, ศักยภาพในการนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น [1]	ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเยื่อกระดาษกับเศษวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ คือ เปลือกยูคาลิปตัสและเศษฝุ่นไม้ มาผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล
พ.ค.2555	เพ็ญจา จิตจารุญโชคไชย, การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร [15]	วัตถุประสงค์ประกอบด้วยกากและขานอ้อยผสมกับขี้เลื่อยและหาค่าพลังงานความร้อน
ต.ค.2558	สุพิชญา เชิดเกียรติกุล, ผลกระทบของขนาดอนุภาคต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น [8]	ศึกษาผลกระทบของขนาดอนุภาคของกากกาแฟต่อสมบัติของผลิตถ่านชีวภาพ
2558	ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์, การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา [16]	ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์สายพันธุ์ปากช่อง 1 โดยนำมาผสมกับแป้งมันสำปะหลังและวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตถ่านชีวภาพ
2560	Jintawat Chaichanawong , Preparation of Biocoke for Industrial Utilisation from Leucaena Woodchips [17]	In this research, Biocoke was prepared from Leucaena woodchips at different forming temperatures. The effect of forming temperature and binder content on properties of biocoke such as bulk density and calorific.

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานและระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของถ่านชีวภาพจากเศษกระดาษที่ใช้แล้วหรือเศษผ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมกับขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่เหลือใช้ทางการเกษตร โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังรายละเอียดในบทนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนแรกของการวิจัย คือ การคัดเลือกและจัดหาวัตถุดิบ อาทิ การรวบรวมกระดาษที่ใช้แล้วจากสำนักงานคณะวิศวกรรมศาสตร์ และนำมาตัดเป็นขนาดเล็กๆ ที่แตกต่างกัน การเตรียมขี้เลื่อยจากไม้ยางพารา และการเตรียมวัสดุผ้าและเส้นใยผ้าจากโรงงานสิ่งทอ ให้มีขนาดที่เหมาะสมกับการอัดขึ้นรูป จากนั้นนำวัสดุแต่ละชนิดมาทดลองอัดขึ้นรูปเป็นถ่านชีวภาพ และนำมาผสมกันด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกันตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ จากนั้นทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางความร้อน ทางเคมี และทางจุลภาค เพื่อคัดเลือกอัตราส่วนผสมจากวัสดุที่เหมาะสมต่อไปสรุปขั้นตอนดำเนินงานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 เตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลอง

เตรียมวัตถุดิบกระดาษที่จะต้องนำมาอัดเป็นถ่านชีวภาพ โดยนำมาตัดให้มีขนาดที่ต่างกัน ตัวอย่างวัตถุดิบดังรูปที่ 3.2 และกำหนดขนาดวัสดุดังตารางที่ 3.1 ซึ่งผู้วิจัยได้ทดสอบการตัดกระดาษ และเศษผ้าหลายขนาดและทดลองอัดขึ้นรูปแล้ว พบว่าขนาดที่เหมาะสมคือตัดเป็นแถบกว้างประมาณ 0.5 cm และความยาวน้อยกว่า 0.5 cm

การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพลังงานความร้อนของถ่านชีวภาพที่อัดจากกระดาษ โดยกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเพื่อเพลิงถ่านชีวภาพดังตารางที่ 3.2 และกำหนดอุณหภูมิสำหรับการอัดวัตถุดิบ 170°C โดยตารางที่ 3.3 แสดงว่าจะแปรผันค่าอัตราส่วนผสมระหว่างขี้เลื่อยกับกระดาษ และระหว่างขี้เลื่อยกับเศษผ้าที่ อัตราส่วน 80:20 60:40 50:50 40:60 และ 20:80 โดยจะทำการอัดที่ความดัน 16 MPa ซึ่งขี้เลื่อยจากไม้ยางพารามีความชื้นประมาณ 10% ส่วนกระดาษและเศษผ้าชิ้นแห้ง จึงใช้เวลาในการอัดประมาณ 20 นาที



ก. เศษกระดาษ



ข. ขี้เลื่อยไม้ยางพารา



ค. เศษผ้าจากโรงงานสิ่งทอ

รูปที่ 3.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเป็นถ่านชีวภาพ

ตารางที่ 3.1 ชนิดและขนาดของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	ขนาดของวัตถุดิบ
เศษกระดาษ	0.5 cm
เศษผ้าทั้งจากโรงงาน	น้อยกว่า 0.5 cm
ขี้เลื่อย	ละเอียด

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของการอัดขึ้นรูป

พารามิเตอร์	รายละเอียด
ความชื้นของวัตถุดิบ	~10%
อุณหภูมิ	170 °C
ความดัน	16 MPa
เวลา	20 นาที

ตารางที่ 3.3 สัดส่วนในการผสมวัสดุต่างชนิดกัน

วัตถุดิบ		อุณหภูมิการอัดขึ้นรูป 170 (°C)						
ขี้เลื่อย	เศษกระดาด	100:0	80:20	60:40	50:50	40:60	20:80	0:100
ขี้เลื่อย	เศษผ้า	100:0	80:20	60:40	50:50	40:60	20:80	0:100

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองตัดกระดาดและอัดถ่านชีวมวล ประกอบด้วย

3.3.1 เครื่องวัดค่าความชื้น

3.3.2 เครื่องชั่งดิจิตอล

3.3.3 เครื่องอัดถ่านชีวภาพแนวตั้ง ดังรูปที่ 3.3

3.3.4 พัดลมสำหรับเป่าให้ถ่านชีวภาพอุณหภูมิลดลง



รูปที่ 3.3 เครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบแนวตั้ง

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 เปิดเครื่องวัดความชื้น ตาชั่งดิจิตอล และเครื่องอัดถ่านชีวภาพ จากนั้นตั้งค่า อุณหภูมิ และความดันที่ต้องการทดสอบ ชั่งน้ำหนักและวัดความชื้นของวัตถุดิบที่ต้องการผลิตถ่านชีวภาพ

3.4.2 เตรียมชุดอุปกรณ์สำหรับอัดถ่านชีวภาพ

3.4.3 ประกอบชุดอุปกรณ์อัดแท่งทองเหลืองและใส่วัตถุดิบสำหรับอัดแท่ง

3.4.4 อบวัสดุจนได้อุณหภูมิที่กำหนดไว้แล้วจับเวลาจนได้ความดันตามต้องการ และรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่ไว้

3.4.5 เมื่ออบเสร็จเรียบร้อยแล้วตามระยะเวลาที่ต้องการ ให้นำเอาเตาไฟฟ้าแบบท่อ (Electric Tube Furnace) ออกจากกระบอบสูบ

3.4.6 รอให้อุณหภูมิลดต่ำลงก่อน จึงใช้ไฮดรอลิกเป็นตัวดันถ่านชีวภาพออกจากกระบอบสูบ จะได้แท่งถ่านชีวภาพตามที่ต้องการ

3.4.7 ทำตามขั้นตอนที่ 3.4.2- 3.4.7 ซ้ำเพื่อผลิตถ่านชีวภาพขึ้นไป

3.5 การตรวจสอบสมบัติของถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพที่ได้จะต้องถูกตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางความร้อนและเชิงกล และบางก่อนนำมาตรวจสอบสมบัติทางจุลภาค

3.5.1 ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ คือ การหาค่าความหนาแน่น โดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงหลังการอัดเพื่อคำนวณปริมาตร และชั่งมวลของถ่านชีวภาพ และวัดขนาดซ้ำอีกครั้งเมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณหนึ่งสัปดาห์เป็นอย่างน้อยเพื่อการสปริงตัวกลับ จากนั้นคำนวณหาค่าความหนาแน่น ดังระบุในหัวข้อ 2.2.1 รวมถึงการหาค่าความชื้นดังระบุในหัวข้อ 2.2.3

3.5.2 ตรวจสอบสมบัติทางความร้อน โดยการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Calorific value) ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้เปรียบเทียบกับคุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากวัสดุต่างชนิดกัน ดังระบุวิธีการในหัวข้อ 2.2.4

3.5.3 ตรวจสอบสมบัติทางกล โดยการหาค่าการทนแรงอัดสูงสุด (Compressive Strength) ดังระบุในหัวข้อ 2.2.2

3.5.4 ตรวจสอบสมบัติทางจุลภาค โดยตัดชิ้นงานจากบางตัวอย่างที่ได้รับการคัดเลือกว่ามีค่าความร้อนดี โครงสร้างระดับจุลภาคตรวจสอบโดยเทคนิคการใช้กล้องถ่ายภาพที่สามารถส่องขยายที่กำลังขยาย $\times 1000$ แต่หากต้องการวัดให้ได้ค่ากำลังขยายมากขึ้นก็สามารถใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy (SEM)) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ให้ข้อมูลพื้นฐานของโครงสร้างจุลภาคของวัสดุที่ชัดเจนมาก จากการมองเห็นภาพจากการถ่ายภาพที่กำลังขยายสูง

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทนี้เป็นการสรุปผลการวิจัยและผลการวิเคราะห์การทดลองผลิตถ่านชีวภาพ (Biocoke) จากวัสดุ 3 ชนิด และส่วนผสมของวัสดุทั้งสามชนิด ได้แก่ เศษกระดากใช้แล้ว ขี้เลื่อยจากไม้ยางพารา และเศษผ้าทิ้งจากโรงงานสิ่งทอ นำเสนอผลทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน และโครงสร้างระดับจุลภาคของถ่านชีวภาพ

การอัดถ่านชีวภาพที่ความดัน 16 MPa อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20 นาที โดยนำเศษผ้าทิ้งจากกระบวนการผลิตในโรงงานผ้าเทนนิส หรือเศษกระดากใช้แล้วจากสำนักงานมาใช้ประโยชน์โดยผสมกับขี้เลื่อย วัสดุทั้งสามชนิดถูกนำมาผสมกันที่สัดส่วนต่างๆ เพื่อผลิตถ่านชีวภาพที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 48.0 ± 0.2 มิลลิเมตร ส่วนความสูงของแท่งถ่านจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัสดุ โดยแยกวัสดุผสมเป็น 2 กลุ่ม คือ ขี้เลื่อยผสมกับเศษกระดาก และ ขี้เลื่อยผสมกับเศษผ้าสิ่งทอ

4.1 สมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพ

4.1.1 ถ่านชีวภาพที่ผสมระหว่างขี้เลื่อยและเศษกระดาก

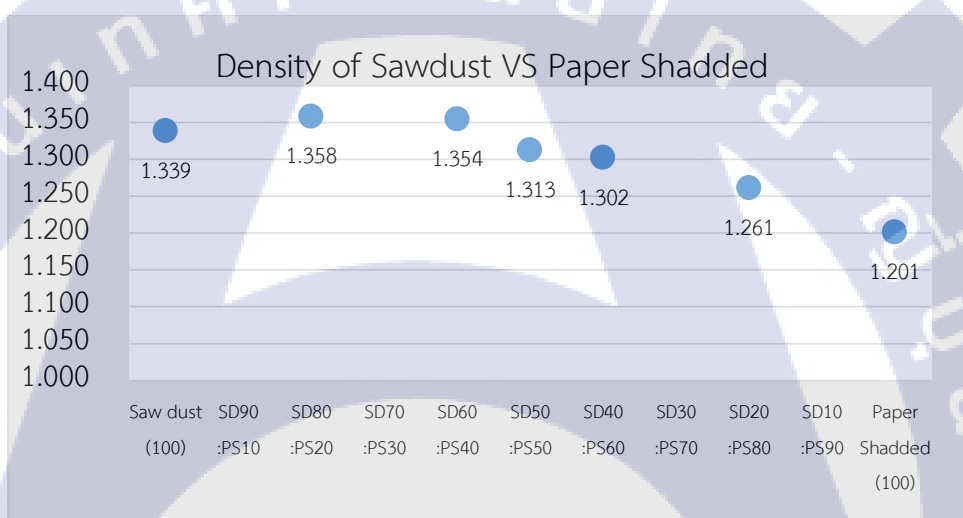
ผลจากการวัดและคำนวณค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพ ที่ผสมระหว่างขี้เลื่อยและเศษกระดาก เมื่อเทียบกับถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อย 100 เปอร์เซ็นต์ และที่ผลิตจากเศษกระดาก 100 เปอร์เซ็นต์ ที่มีค่าความหนาแน่นที่ 1.339 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 1.201 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงภาพถ่ายของถ่านชีวภาพที่อัดขึ้นรูปจากขี้เลื่อยหรือเศษกระดากดังรูปที่ 4.1 โดยไม่พบว่ามี การสปริงตัวกลับหลังจากปล่อยถ่านชีวภาพไว้ระยะหนึ่ง



รูปที่ 4.1 ถ่านชีวภาพจาก (ก) ขี้เลื่อย (ข) เศษกระดาก

รูปที่ 4.2 แสดงค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพ พบว่าถ่านชีวภาพที่มีอัตราส่วนผสมขี้เลื่อยที่มากกว่ากระดาศ ที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อยต่อกระดาศ 80:20 และ 60:40 จะยังคงมีค่าใกล้เคียงกับถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อย 100%

ค่าความหนาแน่นจะเริ่มลดลงในช่วงที่มีส่วนผสมระหว่างขี้เลื่อยและกระดาศที่อัตราส่วน 50:50 ดังกราฟในรูปที่ 4.2 กรณีที่มีส่วนผสมขี้เลื่อยมากกว่ากระดาศโดยมวล เมื่อมีการกระจายตัวของส่วนผสมทั้งสองดี ทำให้ขี้เลื่อยซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กยังคงยึดเหนี่ยวระหว่างกันอยู่ได้ง่าย ทำให้ความหนาแน่นไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง จนกระทั่งสัดส่วนของขี้เลื่อยกับกระดาศเท่ากัน เมื่อเพิ่มสัดส่วนกระดาศจนมากกว่าขี้เลื่อย ด้วยลักษณะของกระดาศที่บางและความหนาแน่นน้อยกว่าไปคั่นระหว่างอนุภาคขี้เลื่อย จึงส่งผลให้ความหนาแน่นลดลงอย่างมากตั้งแต่ช่วงอัตราส่วนผสมที่ 40:60



รูปที่ 4.2 กราฟค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยและเศษกระดาศ



รูปที่ 4.3 ถ่านชีวภาพผสมขี้เลื่อยไม้ยางพาราต่อเศษกระดาศที่อัตราส่วน 80:20 60:40 และ 50:50

โดยสรุป โดยสรุปเมื่อผสมวัสดุขี้เลื่อยกับเศษกระดาษเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่ต่างกัน พบว่าค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพมีแนวโน้มแปรผกผันกับสัดส่วนของเศษกระดาษ

4.1.2 ถ่านชีวภาพที่ผสมระหว่างขี้เลื่อยและเศษผ้า

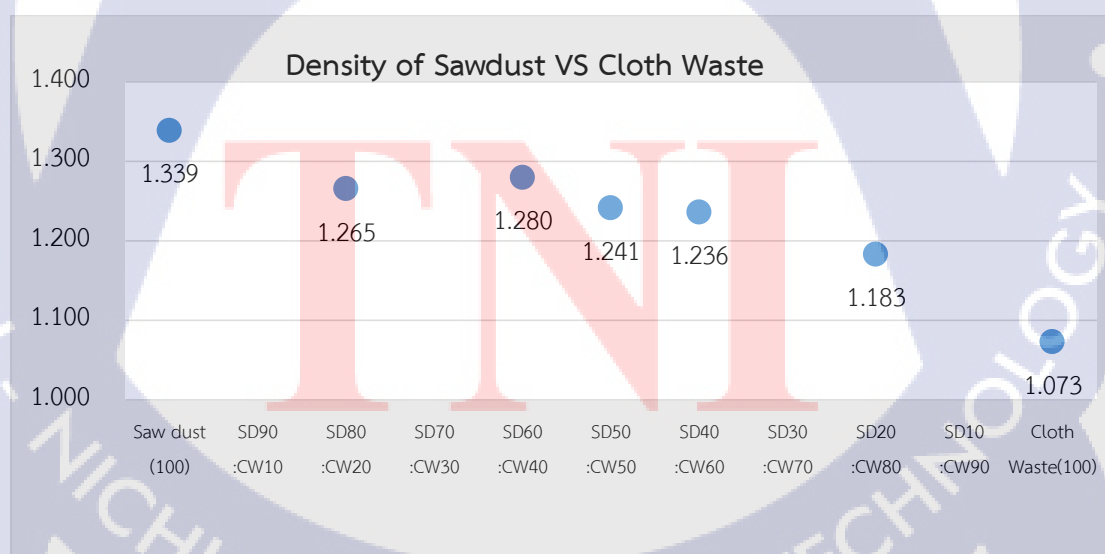
การใช้ประโยชน์เศษผ้าเหลือใช้อีกทางหนึ่ง คือการนำมาผสมกับขี้เลื่อยจากไม้ยางพารา เพื่อขึ้นรูปเป็นถ่านชีวภาพ เมื่อวัดและคำนวณค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจากวัสดุผสมระหว่างขี้เลื่อยและเศษผ้าจากโรงงานทอผ้าลูกเทนนิส โดยเทียบกับถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยร้อยเปอร์เซ็นต์ และถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเศษผ้าร้อยเปอร์เซ็นต์ ที่มีค่าความหนาแน่นที่ 1.339 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 1.073 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงภาพถ่ายถ่านชีวภาพในรูปที่ 4.4



(ก)

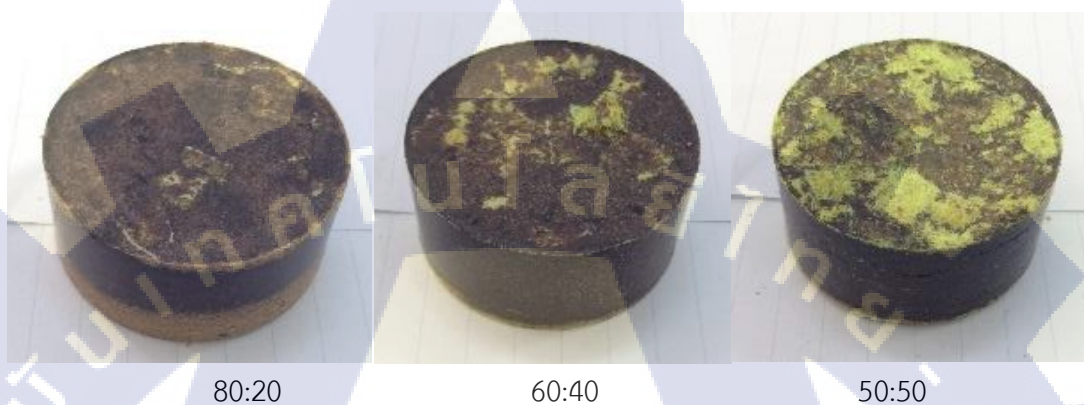
(ข)

รูปที่ 4.4 ถ่านชีวภาพจาก (ก) ขี้เลื่อย (ข) เศษผ้า



รูปที่ 4.5 กราฟค่าความหนาแน่นถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยผสมกับเศษผ้าที่อัตราส่วนผสมต่างกัน

กรณีที่ถ่านชีวภาพที่เกิดจากขี้เลื่อยผสมกับเศษผ้า เมื่อมีอัตราส่วนของขี้เลื่อยลดลงค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน เพราะคุณสมบัติของผ้าจะเด่นขึ้น เศษผ้าหนาและใหญ่กว่าและมีโครงสร้างภายในเป็นตาข่ายของเส้นด้าย รวมทั้งประกอบด้วยเส้นใยสั้นซึ่งมีลักษณะโค้งงอ ทำให้อนุภาคของขี้เลื่อยแทรกเข้าไปได้ยาก การกระจายตัวของวัสดุผสมนี้จึงไม่ดี แสดงให้เห็นดังภาพถ่ายในรูปที่ 4.6 ที่มีสัดส่วนของเศษผ้าเพิ่มขึ้นก็จะพบการผสมที่ไม่สม่ำเสมอยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.6 ถ่านชีวภาพของขี้เลื่อยต่อเศษผ้าที่อัตราส่วนผสม 80:20 60:40 และ 50:50

4.2 สมบัติทางกลของถ่านชีวภาพ

คุณสมบัติทางกลได้จากการทดสอบค่าความต้านทานแรงอัด ด้วยการทดสอบความแข็งแรงจากการอัด (Compressive Strength Test) โดยให้แรงกดกับชิ้นงานจนทำให้เกิดการเสียรูปหรือการแตกหัก ค่าแรงที่ได้แตกต่างกันตามชนิดวัสดุที่นำมาผลิตถ่านชีวภาพ

4.2.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยผสมกับเศษกระดาษ

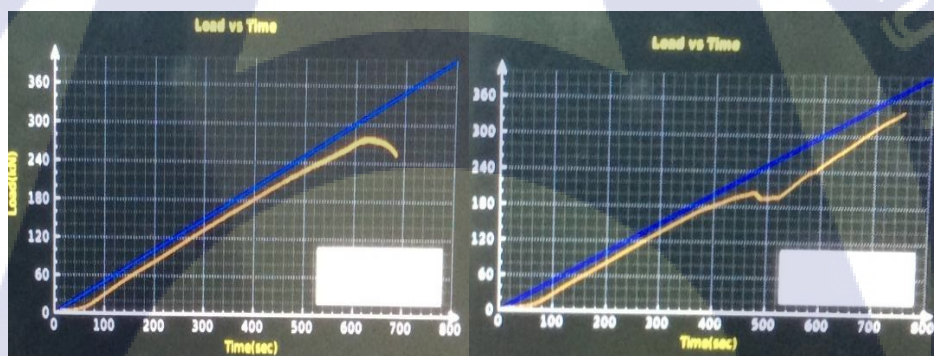
ผลจากการทดสอบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยและกระดาษ

Compressive strength	kgf/cm ²
Saw dust 100%	10.7
Saw dust: Paper shredded (80:20)	10.6
Saw dust: Paper shredded (60:40)	12.4
Saw dust: Paper shredded (50:50)	16.0
Paper shredded 100%	11.7

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าความต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยทั้งหมดและจากเศษกระดาษทั้งหมด คือ 10.7 kgf/cm^2 และ 11.7 kgf/cm^2 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อผสมวัสดุทั้งสองชนิดแล้วผลิตเป็นถ่านชีวภาพแล้วนำไปทดสอบพบว่า ค่าความต้านทานแรงอัดมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อยต่อเศษกระดาษ 60:40 และ 50:50 ซึ่งคาดว่าเกิดจากความแข็งแรงของกระดาษ และการที่ขี้เลื่อยเข้าไปเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างของกระดาษ

พิจารณารูปที่ 4.7 กราฟของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยเริ่มตกลงเมื่อแรงมีค่า 280 kN ที่เวลา 640 วินาที ในขณะที่กราฟของถ่านชีวภาพจากกระดาษจะเริ่มตกลงที่ 200 kN ที่ 480 วินาที แต่ที่เวลา 520 วินาที ค่าแรงที่รับได้ก็กลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง และยังคงสามารถทนแรงอัดต่อไปได้ด้วยความชันใกล้เคียงของเดิม แสดงว่าการผสมขี้เลื่อยกับกระดาษเข้าด้วยกัน ถ่านชีวภาพจะได้ประโยชน์จากคุณสมบัติของกระดาษที่ทนแรงอัดได้ดีกว่าขี้เลื่อย และขี้เลื่อยช่วยเสริมความแข็งแรงของถ่านส่งผลให้ได้ค่าการต้านทานแรงอัดที่สูงขึ้น ลักษณะการแตกของก้อนถ่านชีวภาพจะแสดงให้เห็นดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อย (ซ้าย) และกระดาษ (ขวา)

ภาพจากตารางที่ 4.2 แสดงว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อย 100% เมื่อได้รับแรงอัดจนกระทั่งแตกจะแตกแบบเหวี่ยงออกทางด้านนอกและแตกออกทุกด้านคล้ายกรวยที่ทำมุมประมาณ 35° โดยยังคงแกนกลางไว้ แสดงว่าวัสดุมีเนื้อที่สม่ำเสมอและมีความเปราะ โดยรับแรงได้ไม่เกิน 200 kN จากนั้นเมื่อผสมกับกระดาษเกินกว่า 40% ขึ้นไป ก็จะรับแรงได้มากกว่า 200 kN ในขณะที่แตกออกทางด้านข้างเท่านั้น ในขณะที่ผิวหน้าเกือบทั้งหมดยังคงเป็นวงกลมเช่นเดิม และมีลักษณะที่แตกเฉียงนี้แสดงถึงความเหนียวที่มากขึ้น แสดงว่าถ่านชีวภาพที่ผสมเศษกระดาษมากขึ้นก็จะแข็งแรงขึ้น แต่สำหรับถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกระดาษอย่างเดียวจะรับแรงอัดได้ดี และแตกไปทางด้านหนึ่ง

แต่ พบว่ารับแรงได้น้อยกว่าถ่านชีวภาพที่มีการผสมกับขี้เลื่อยด้วย แสดงว่าการผสมวัสดุสองชนิดนี้เข้าด้วยกันขี้เลื่อยจะช่วยเสริมความแข็งแรงของถ่านชีวภาพได้ดี โดยส่วนผสมจากวัสดุทั้งสองที่เท่ากันจะทำให้ถ่านชีวภาพคงสภาพได้ดีที่สุดที่การรับแรงได้สูงสุดที่ 288.48 kN

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะการแตกของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากส่วนผสมขี้เลื่อยและเศษกระดาก

	วัสดุ ขี้เลื่อย 100% ลักษณะการแตกของก้อนถ่านชีวภาพ จะแตกออกด้านข้างแบบ Shear (cone) Max Strength : 194.36 kN
	วัสดุ ขี้เลื่อย 80% ผสมกับเศษกระดาก 20% ลักษณะการแตกของก้อนถ่านชีวภาพ จะแตกออกด้านข้างแบบ Shear (cone) Max Strength : 191.26 kN
	วัสดุ ขี้เลื่อย 60% ผสมกับเศษกระดาก 40% ลักษณะการแตกของก้อนถ่านชีวภาพ จะแตกออกด้านข้างแบบ Shear (cone) Max Strength : 225.10 kN
	วัสดุ ขี้เลื่อย 50% ผสมกับเศษกระดาก 50% ลักษณะการแตกของก้อนถ่านชีวภาพ จะแตกออกด้านข้างแบบ Shear (cone) Max Strength : 288.48 kN

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะการแตกของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากส่วนผสมขี้เลื่อยและเศษกระดาษ (ต่อ)

	วัสดุ กระดาษ 100% ลักษณะการแตกของก้อนถ่านชีวภาพ จะแตกออกด้านข้างแบบ Shear Max Strength : 211.33 kN
---	---

นอกจากนี้พบว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกระดาษรีไซเคิลชิ้นนั้น เมื่อแตกเฉียง (shear) ก็จะไม่เสียสภาพทรงกระบอกไป ในขณะที่ปริมาตรส่วนใหญ่ของก้อนถ่านก็ยังสามารถทนต่อแรงอัดต่อไปได้อีก เพราะส่วนที่แตกนั้นเพียงแต่โย้ไปโดยยังไม่แยกตัวออกจากก้อนถ่านไป

4.2.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยผสมกับเศษผ้า

ผลจากการทดสอบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยและเศษผ้า

Compressive strength	kgf/cm ²
Saw dust 100%	10.75
Saw dust : Waste from Cloths (80:20)	7.93
Saw dust : Waste from Cloths (60:40)	9.24
Saw dust : Waste from Cloths (50:50)	10.26
Waste from cloths 100%	16.78

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าค่าความต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยล้วนหรือจากเศษผ้าจากโรงงานสิ่งทอล้วน คือ 10.75 kgf/cm² และ 16.78 kgf/cm² ตามลำดับ ซึ่งถ่านชีวภาพจากเศษผ้าจะให้ค่าที่สูงกว่าถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยอย่างชัดเจน เมื่อผสมวัสดุทั้งสองชนิดและผลิตเป็นถ่านชีวภาพแล้วนำไปทดสอบพบว่า ค่าความต้านทานแรงอัดของวัสดุผสมมีค่าต่ำกว่าค่าของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยรีไซเคิลเปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากวัสดุทั้งสองมีความแตกต่างกันในด้านขนาดอนุภาค โครงสร้าง คุณสมบัติและความยืดหยุ่น และเป็นการยากต่อการผสมให้เข้ากันจนเกิดความสม่ำเสมอ แต่การยึดเกาะกันนั้นเกิดจากแรงที่อัดขณะขึ้นรูป คาดว่าการยึดเกาะเป็นก้อนเกิดขึ้นที่ผิวของเศษผ้าเท่านั้น

จากตารางที่ 4.4 ถ่านชีวภาพที่เกิดจากขี้เลื่อยผสมกับเศษผ้าโดยมีสัดส่วนของเศษผ้ามากกว่า 20% ขึ้นไปจนถึง 50% จะรับแรงได้สูงสุดไม่เกิน 190 kN ซึ่งต่ำกว่าแรงที่ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยและจากเศษผ้า 100% รับได้ แสดงว่าหากผสมกันแล้ว คุณสมบัติการรับแรงอัดจะลดลงอย่างชัดเจน ภาพในตารางที่ 4.4 แสดงถ่านชีวภาพที่แตกเป็นแนวเอียงหลังทดสอบโดยส่วนที่แตกจะเป็นขี้เลื่อย ซึ่งถ่านชีวภาพจากเศษผ้าล้วนจะรับแรงได้สูงเกิน 300 kN และมีการแตกออกเล็กน้อยทางด้านข้าง และปริมาตรโดยรวมยังคงสภาพทรงกระบอกรักษาอยู่ได้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะการแตกของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยและเศษผ้า

	วัสดุ ขี้เลื่อย 100% ลักษณะการแตกของก้อนถ่านชีวภาพ จะแตกแบบ Shear (cone) Max Strength : 211.33 kN
	วัสดุ ขี้เลื่อย 80% ผสมกับเศษผ้า 20% ลักษณะการแตกของก้อนถ่านชีวภาพ จะแตกแบบ Shear (cone) Max Strength : 143.41 kN
	วัสดุ ขี้เลื่อย 60% ผสมกับเศษผ้า 40% ลักษณะการแตกของก้อนถ่านชีวภาพ จะแตกแบบ Shear (cone) Max Strength : 167.12 kN
	วัสดุ ขี้เลื่อย 50% ผสมกับเศษผ้า 50% ลักษณะการแตกของก้อนถ่านชีวภาพ จะแตกแบบ Shear (cone) Max Strength : 185.65 kN

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะการแตกของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยและเศษผ้า (ต่อ)

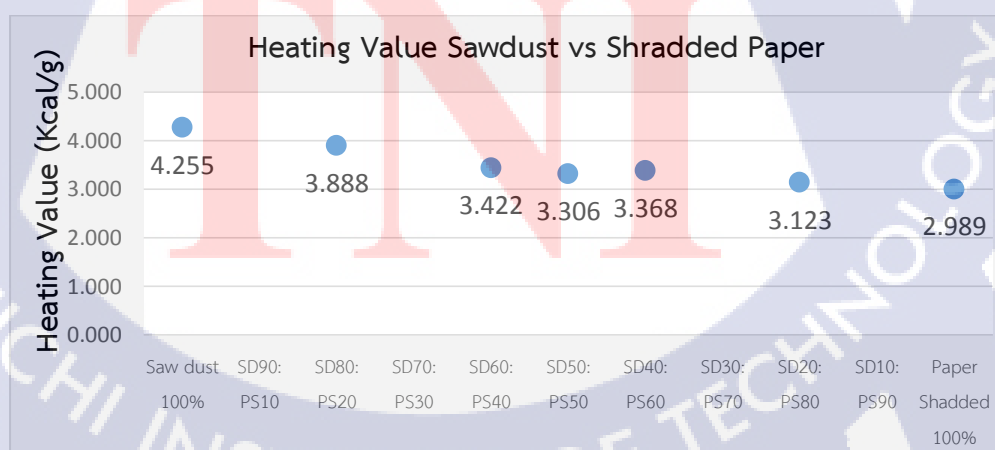
	วัสดุ เศษผ้า 100% ลักษณะการแตกของก้อนถ่านชีวภาพ จะแตกแบบ Shear (cone) Max Strength : 303.45 kN
---	--

4.3 สมบัติทางความร้อนของถ่านชีวภาพ

4.3.1 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยผสมกับเศษกระดาษ

การทดสอบหาค่าความร้อนของถ่านชีวภาพโดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ดังกล่าวถึงในหัวข้อ 2.2.4 ของบทที่ 2 หน้า 12 ผลการทดสอบถ่านชีวภาพให้ค่าความร้อนในหน่วยกิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (kCal/g) ดังกราฟรูปที่ 4.8 จะแสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าที่ผลิตจากเศษกระดาษ ซึ่งได้ค่าความร้อนอยู่ที่ 4.255 kCal/g และ 2.989 kCal/g ตามลำดับ เมื่อผสมกันตามอัตราส่วน 80:20 60:40 50:50 และ 20:80 ค่าความร้อนที่ได้มีแนวโน้มลดลง ตามอัตราส่วนของเศษกระดาษที่ผสม เพราะกระดาษมีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าขี้เลื่อย ยกเว้นที่อัตราส่วนผสมระหว่างขี้เลื่อยต่อกระดาษที่ 40:60 มีค่าใกล้เคียงกับที่อัตราส่วน 50:50

หลังจากการทดสอบค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยและเศษกระดาษพบว่าขี้เถ้าสีขาวตกค้างซึ่งคาดว่าจะมาจากส่วนของกระดาษ และเมื่อชั่งน้ำหนักขี้เถ้าพบว่าน้ำหนักที่ตกค้างประมาณ 2.499% - 9.8% ของน้ำหนักเริ่มต้น

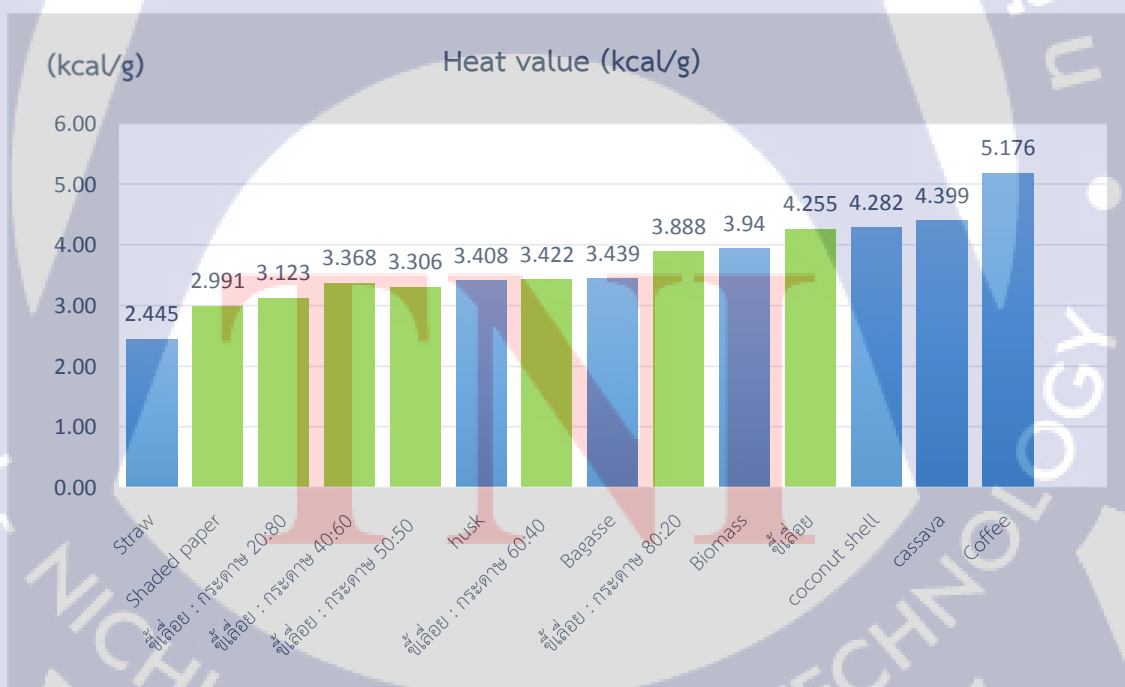


รูปที่ 4.8 ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพผสมระหว่างขี้เลื่อยและจากกระดาษ



รูปที่ 4.9 แสดงเศษขี้เถ้าที่เหลือจากการทดสอบค่าความร้อนถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยและกระดาศที่อัตราส่วนผสม 50:50

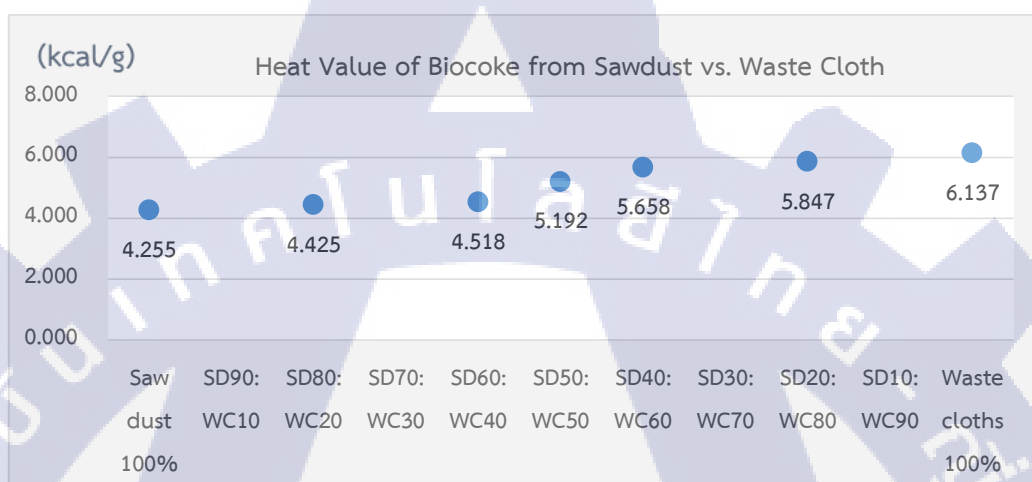
เมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนจากถ่านชีวภาพที่ได้จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยถ่านชีวภาพจากวัสดุตั้งต้นชนิดอื่นๆ พบว่าค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ 4.255 kcal/g อยู่ระดับใกล้เคียงกับถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าวที่ 4.282 kcal/g แต่จะได้ค่าความร้อนที่ลดลงเมื่อผสมขี้เลื่อยกับเศษกระดาศที่อัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผสมระหว่างขี้เลื่อยและเศษกระดาศเทียบกับวัสดุชนิดอื่น

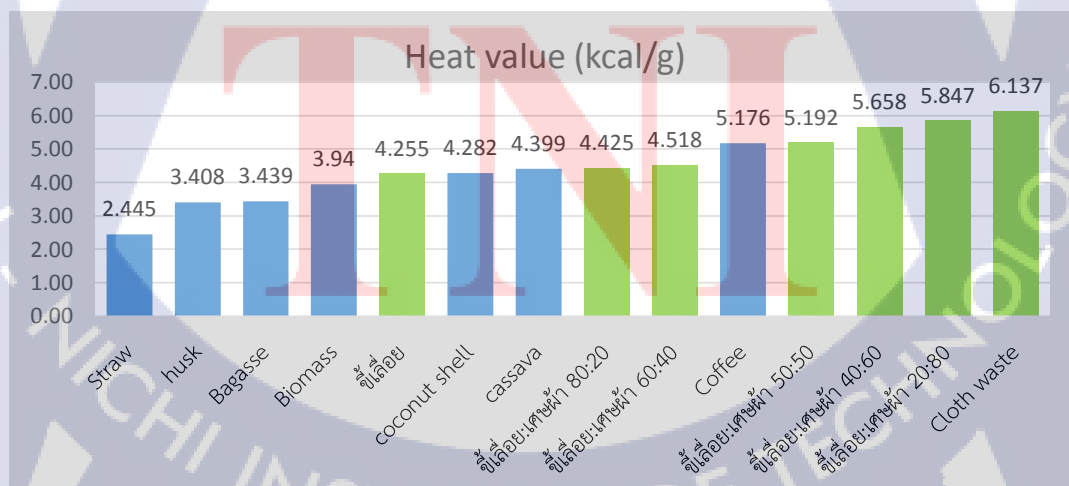
4.3.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยผสมกับเศษผ้า

ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเศษผ้าร้อยเปอร์เซ็นต์จะให้ค่าความร้อน 6.137 kCal/g ซึ่งสูงกว่าถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อย ที่มีค่าความร้อน 4.255 kCal/g เมื่อผสมกันตามอัตราส่วนต่างๆ ค่าความร้อนที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนเศษผ้าที่ผสม และที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อยต่อเศษผ้า 50:50 40:60 20:80 พบว่าค่าความร้อนถ่านชีวภาพจะสูงกว่าค่าความร้อนของถ่านชีวภาพชนิดอื่นดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพผสมระหว่างขี้เลื่อยและเศษผ้า

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับถ่านชีวภาพชนิดอื่นๆ พบว่าค่าความร้อนได้เมื่อผสม ขี้เลื่อยกับเศษผ้ามีค่ามากกว่าเมื่อผสมเศษผ้าด้วยอัตราส่วน 50% ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าความร้อนของที่ผสมระหว่างขี้เลื่อยและเศษผ้าเทียบกับวัสดุชนิดอื่น

4.4 โครงสร้างระดับจุลภาคของถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพที่เกิดจากการอัดส่วนผสมของวัสดุต่างชนิดกัน จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามลักษณะการยึดติดกันของวัสดุ การอัดและการให้ความร้อนทำให้โมเลกุลของวัสดุมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและเกิดการยึดเกาะกัน การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของวัสดุผสมที่ดีย่อมส่งผลดีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกลและทางความร้อน เมื่อเทียบกับกรณีที่มีการผสมกันไม่สม่ำเสมอ

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลกำลังขยาย $\times 1000$ ที่ถ่ายภาพด้านบน แสดงให้เห็นส่วนประกอบที่ชัดเจนมากขึ้น รูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพจากกระต่ายยังคงสภาพเดิมและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นถ่าน

ส่วนรูปถ่ายถ่านชีวภาพจากเศษผ้าที่ 4.14 แสดงให้เห็นไนลอนสีเหลืองกับขนสัตว์ที่ผสมกับโพลีเอสเตอร์ที่ยังคงสภาพเป็นเส้นใยและไม่เปลี่ยนสภาพเป็นถ่านเช่นกัน

รูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยที่เริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลบางส่วน

รูปที่ 4.16-4.18 แสดงถ่านชีวภาพของขี้เลื่อยผสมกับกระต่ายสีขาว จะเห็นความเป็นเส้นใยของกระต่ายอย่างชัดเจน

รูปที่ 4.19-4.21 แสดงภาพขยายถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยผสมเส้นใยผ้า จะเห็นขี้เลื่อยและเส้นใยในผ้าที่มีลักษณะโครงสร้างที่ต่างกันและไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

สรุปได้ว่ามีเพียงขี้เลื่อยเท่านั้นที่เกิดกระบวนการเปลี่ยนสภาพของคาร์บอนกลายเป็นถ่านในบางส่วน ในขณะที่เศษผ้า เส้นใยผ้า และกระต่าย ยังคงสภาพคล้ายเดิมอยู่



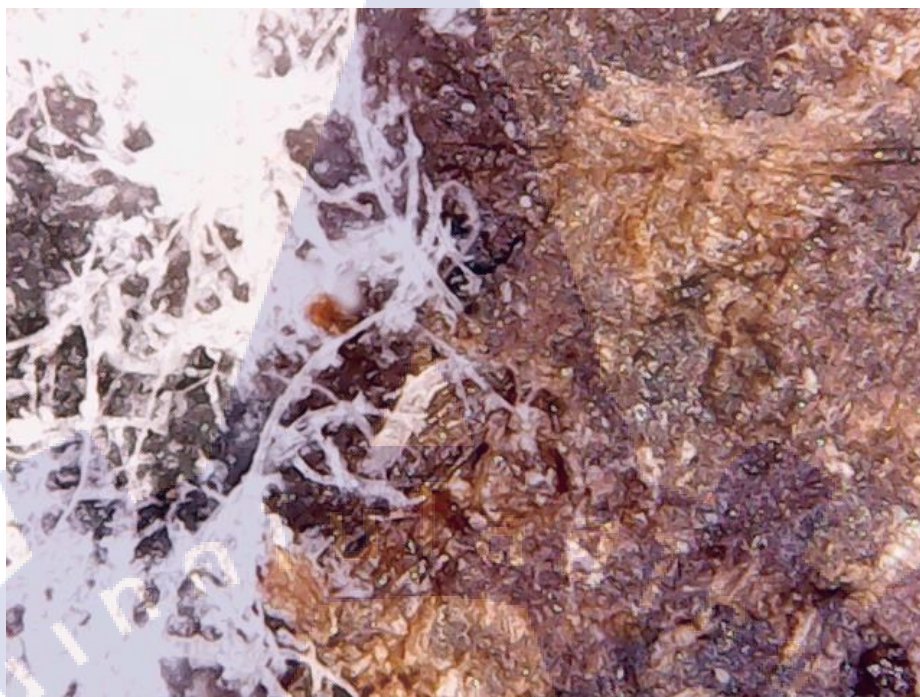
รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากกระต่าย 100% กำลังขยาย $\times 1000$ (TOP)



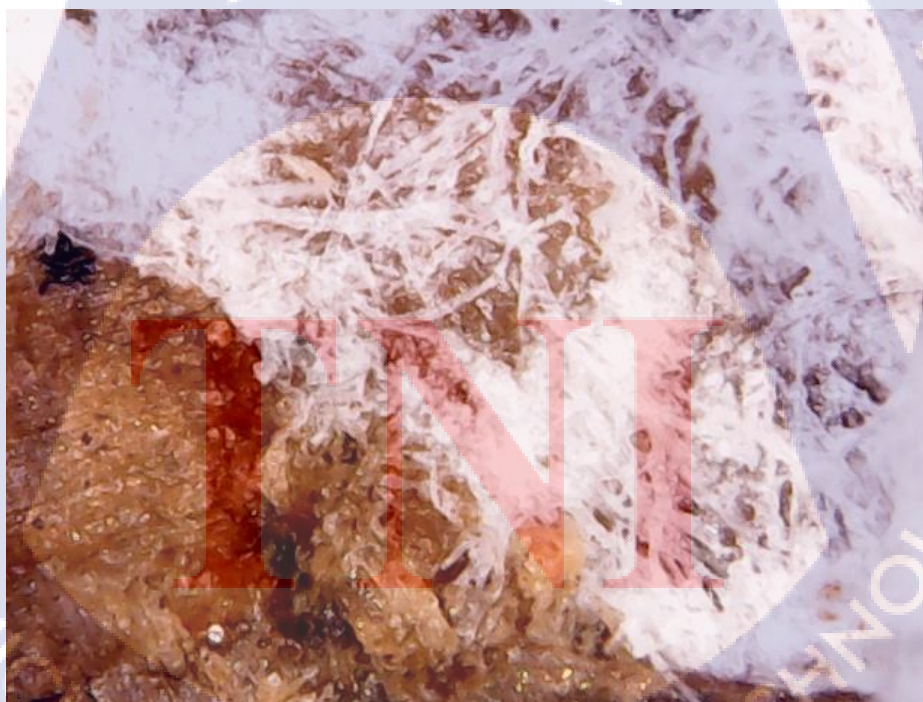
รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากเศษผ้า 100% กำลังขยาย x1000 (TOP)



รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากชี้เลี้ยง 100% กำลังขยาย x1000 (TOP)



รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากซี่เลื่อย 80% ต่อกระดาษ 20% x1000(TOP)



รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากซี่เลื่อย 60% ต่อกระดาษ 40% x1000(TOP)



รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อย 50% ต่อกระดาษ 50% x1000(TOP)



รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อย 80% ต่อเศษผ้า 20% x1000 (TOP)



รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อย 60% ต่อเศษผ้า 40% x1000 (TOP)



รูปที่ 4.21 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อย 50% ต่อเศษผ้า 50% x1000 (TOP)

อย่างไรก็ดี รูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยกับเศษผ้าที่อัตราส่วนผสม 50:50 มีการกระจายของเส้นใยผ้าที่ดี และมีการเกาะยึดกันกับขี้เลื่อยได้ดีกว่ากรณีผสมกับกระดาษ อีกทั้งยังมีคุณสมบัติของค่าความหนาแน่น 1.241 g/cm^3 ค่าความต้านทานแรงอัด 10.26 kg/cm^2 และค่าความร้อน 5.192 ซึ่งพิจารณาว่าเป็นค่าที่สูงอีกด้วย

สรุปได้ว่า การผสมขี้เลื่อยไม่อย่างพารา ซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์ที่เหลือใช้ทางการเกษตร กับ เศษผ้าซึ่งเป็นวัสดุที่เปล่าจากโรงงานเส้นใยเทนนิสด้วยอัตราส่วนผสมที่เท่ากัน จะเป็นการตอบโจทย์ ในการนำมาผลิตถ่านชีวภาพที่สภาวะความดัน 16 MPa อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา กระบวนการอัดและให้ความร้อน 20 นาที ได้เป็นอย่างดี



THAI-NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

TNI

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านชีวภาพ (Biocoke) จาก กระดาษตัดละเอียด และ/หรือ เศษผ้าหรือใยผ้าของเสียจากโรงงานสิ่งทอ ที่ปรับปรุงคุณสมบัติโดย การผสมกับขี้เลื่อยจากไม้ยางพาราที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยหาอัตราส่วนที่เหมาะสมใน การผสมกระดาษหรือเศษผ้ากับขี้เลื่อยในการผลิตถ่านชีวภาพ ซึ่งได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ คุณสมบัติถ่านชีวภาพในบทที่ 4 และจะสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาการวิจัยต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

ถ่านชีวภาพสามารถผลิตจากวัสดุผสม 3 ชนิด ได้แก่ เศษกระดาษทิ้งจากสำนักงานหรือเศษ ผ้าทิ้งจากโรงงานสิ่งทอ และขี้เลื่อย โดยสามารถขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดและให้ความร้อนจนเป็น ถ่านชีวภาพทรงกระบอกได้ จึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้เหล่านี้

การผสมวัสดุเป็นคู่จากวัสดุสามชนิด ได้แก่ ขี้เลื่อยกับกระดาษ และ ขี้เลื่อยกับเศษผ้า ที่ อัตราส่วนการผสม 100:0 80:20 60:40 50:50 40:60 20:80 และ 0:100 และอัดขึ้นรูปเป็นก้อนถ่าน ชีวภาพ โดยใช้ความดัน 16 MPa อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที จากนั้นพิจารณา ลักษณะทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล และภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ประกอบกัน

5.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพกำหนดโดยค่าความหนาแน่นที่ได้ ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยให้ค่าความ หนาแน่นสูงสุดที่ 1.379 g/cm^3 ตามด้วยความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจากเศษกระดาษและจากเศษ ผ้าจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีค่า 1.201 g/cm^3 และ 1.073 g/cm^3 ตามลำดับ

เมื่ออัดขี้เลื่อยจากไม้ยางพาราเป็นก้อนถ่านชีวภาพแล้ว จะมีช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อย จึงสามารถอัดเป็นเนื้อเดียวกันได้ ทำให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด ส่วนถ่านชีวภาพจากเศษผ้าที่มีความ หนาแน่นน้อยที่สุด เพราะผ้าทำมาจากวัสดุผสมของเส้นใยหลายชนิดรวมถึงจากขนสัตว์ที่มีความคงตัว สูงไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงสภาพ ทำให้เมื่ออัดเป็นก้อนถ่านชีวภาพแล้ว จึงได้ความหนาแน่นน้อยกว่าถ่าน ชีวภาพจากวัสดุอื่น

กรณีวัสดุผสมจากขี้เลื่อยต่อเศษกระดาษ ที่อัตราส่วนผสม 80:20 ให้ค่าความหนาแน่นถ่าน ชีวภาพสูงถึง 1.358 g/cm^3 ซึ่งไม่ได้แตกต่างจากความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยเท่าใดนัก ในขณะที่ถ่านชีวภาพจากส่วนผสมขี้เลื่อยต่อเศษผ้า 60:40 ให้ค่าความหนาแน่นสูงถึง 1.280 g/cm^3

5.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะทางค่าความร้อน

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการถูกเลือกใช้งานของก้อนถ่านชีวภาพ คือ ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพ โดยค่าความร้อนที่ได้สูงสุดคือถ่านชีวภาพจากเศษผ้า 100% เนื่องจากเป็นวัสดุเส้นใยผสมจากโพลีเอสเตอร์ ไนลอน และขนสัตว์ ซึ่งโพลีเอสเตอร์และไนลอนเป็นวัสดุสังเคราะห์ ที่มีเส้นสายของคาร์บอนมาก (Carbon chain) ทำให้ได้ค่าความร้อนสูงถึง 6.137 kcal/g

กระดาศเป็นวัสดุที่ทำมาจากเซลลูโลสที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้น มีอะตอมคาร์บอนจำนวนน้อย ทำให้ได้ค่าพลังงานที่น้อยสุดอยู่ที่ประมาณ 2.989 kcal/g ต่ำกว่าค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุทางการเกษตรที่ทำได้ในปัจจุบัน ที่มีค่าระหว่าง 4.2 - 5.0 kcal/g หากต้องการนำเศษกระดาศทิ้งเปล่ามาใช้ประโยชน์ก็จำเป็นต้องผสมกับวัสดุอื่น เพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่ดีขึ้น

เศษกระดาศสามารถผสมกับขี้เลื่อยจากไม้ยางพาราในอัตราส่วนผสม กระดาศต่อขี้เลื่อย 20:80 จะได้ค่าความร้อนสูงขึ้นจนถึง 3.888 kcal/g นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้ลองผสมกระดาศกับเส้นใยผ้าในอัตราส่วน 20:80 จนได้ค่าความร้อนสูงถึง 5.847 Kcal/g จึงคาดว่าจะสามารถลดปริมาณขยะกระดาศลงในขณะที่ได้ถ่านชีวภาพที่มีค่าความร้อนที่สูงขึ้น

5.1.3 โครงสร้างระดับจุลภาคของถ่านชีวภาพ

โครงสร้างระดับจุลภาคมาจากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลที่กำลังขยาย 1000x กับถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อย เศษกระดาศ และเศษผ้า และส่วนผสมของวัสดุเหล่านี้ พบว่ามีถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยหรือที่มีส่วนผสมขี้เลื่อยเท่านั้นที่เกิดกระบวนการเปลี่ยนสภาพคาร์บอนจนกลายเป็นถ่านชีวภาพในบางส่วน ในขณะที่เศษผ้า เส้นใยผ้า และเศษกระดาศ ยังคงสภาพคล้ายเดิมอยู่

กระบวนการอัดขึ้นรูปถ่านชีวภาพด้วยความร้อนส่งผลต่อการเพิ่มความหนาแน่น ลดขนาดถ่านชีวภาพเพื่อการขนส่ง และลดพื้นที่การจัดเก็บ ตลอดจนช่วยเพิ่มค่าความร้อนถ่านชีวภาพได้หากผสมเศษกระดาศหรือเศษผ้ากับขี้เลื่อย นอกจากนี้หากประสงค์จะลดขยะจากเศษกระดาศและเศษผ้า ตลอดจนเพิ่มมูลค่าของเศษกระดาศใช้แล้วจากออฟฟิศและเศษผ้าทิ้งจากโรงงานสิ่งทอได้เช่นกัน

5.1.4 ประเมินความอัตราส่วนผสมและราคา

ราคาถ่านชีวภาพประมาณได้ 3,200 บาทต่อตัน ที่ระดับค่าความร้อน 4.4 Kcal/g เมื่อผสมขี้เลื่อยกับเศษกระดาศ จะได้ค่าความร้อนถ่านชีวภาพที่ต่ำกว่าชีวมวลในท้องตลาด แต่เมื่อผสม ขี้เลื่อยกับเศษผ้าจะได้ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่สูงขึ้น และสูงกว่าถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยและจากวัสดุทางการเกษตรอื่นๆ และถ้าเทียบเป็นค่าความร้อนต่อราคาแล้ว คาดว่าจะสามารถขายถ่านชีวภาพจากเศษผ้าที่มีค่าความร้อน 6.137 kcal/g ได้ในราคาสูงกว่า 3,200 บาทต่อตัน [18]

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนางานวิจัย

- 1) การอัดเส้นใยผ้าควรใช้เวลาเพิ่มขึ้นกว่า 20 นาที หากทำได้ เพื่อให้ได้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น
- 2) ควรเพิ่มความดันและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดให้มากขึ้น เพื่อให้วัสดุตั้งต้นจากส่วนผสมซีเมนต์ไม่ยวบยารากับเศษกระดาษเปลี่ยนสภาพกลายเป็นถ่านชีวภาพโดยสมบูรณ์ ยกเว้นวัสดุที่ผสมกับเศษผ้าหรือเส้นใยจากผ้า เพราะจะทำให้กลายสภาพกลับไปเป็นโพลีเมอร์เช่นเดิม
- 3) การทดสอบค่าความร้อน ใช้ปริมาณน้อยและถ่านชีวภาพมีส่วนผสม 2 ชนิด ค่าความร้อนที่ได้จึงสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับสัดส่วนวัตถุดิบที่ถูกนำไปทดสอบ
- 4) ราคาซื้อขายถ่านชีวภาพ มีการขึ้นลงตามกลไกของตลาด ควรเลือกวัตถุดิบที่มีต้นทุนต่ำสุดหรือไม่มีต้นทุนในการซื้อ เพื่อให้ได้กำไรสูงสุด

บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] กิตติลดา วรฉันท, “ศักยภาพในการนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล,” *The 12th Conference On Energy Network of Thailand, E-NETT8*, จังหวัดมหาสารคาม, 4 พฤษภาคม 2555, หน้า ENETT8-RE47.
- [2] กรมคุ้มครองสิทธิและเสรี, “คู่มือการลดใช้ปริมาณกระดาษ,” [Online]. Available: www.rlpd.go.th/rlpdnew/images/rlpd_8/kumae/paper.pdf. [Accessed: September 16, 2016].
- [3] บริษัทวังพาณิชย์จำกัด, “ราคากลางรับซื้อขยะรีไซเคิล,” [Online]. Available: <http://www.wongpanit.com/wpnew/>. [Accessed: September 13, 2016].
- [4] ทรัพยากรชีวมวลเอเชีย, “บทที่ 2 ทรัพยากรชีวมวล,” [Online]. Available : http://www.jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/Thai/Part-2_T.pdf [Accessed: September 17, 2016].
- [5] Mizuho Information and Research Institute, Inc “*Feasibility Study of Biocoke technology JCM project in Thailand*,” [Online]. Available: http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2015fy/001062.pdf [Accessed: September 18, 2016].
- [6] COAL FACTSHEET #4 “ถ่านหินสะอาดคือโป๊ปดอันสกปรก,” [Online]. Available: http://www.greenpeace.org/seasia/th/PageFiles/673080/EndCoalCleanCoalFactsheet_TH.pdf [Accessed: September 19, 2017].
- [7] สุพิชฌาย์ บุญสนอง, “การประเมินศักยภาพและเทคโนโลยีการผลิตชีวมวลอัดแท่งในประเทศไทย,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2556.
- [8] สพิชญา เชิดเกียรติกุล, “ผลกระทบของขนาดอนุภาคต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีวิศวกรรม), สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2558.
- [9] J. Cressy, “*Mechanical Behavior of Polymers*,” [Online]. Available: <http://slideplayer.com/slide/3503643/> [Accessed: September, 2017].
- [10] อติศักดิ์ ดงเย็น, “คู่มือปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีต,” กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2552.

- [11] P. McKendry, "Energy Production from Biomass," *Bioresource Technology*, vol.83, no. 1, pp 37-46, May 2002.
- [12] C. Daniel, "Characteristics of Biomass as a Heating Fuel," [Online]. Available: <https://extension.psu.edu/characteristics-of-biomass-as-a-heating-fuel> [Accessed: September, 2017].
- [13] Ienergyguru "คุณสมบัติที่สำคัญของชีวมวล," [Online]. Available <https://ienergyguru.com/2015/09/properties-of-biomass-sources/> [Accessed: September 18, 2016].
- [14] รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล, "การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห่ง้ามันลำปะหลัง," กศ.ม (อุตสาหกรรมศึกษา), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ, 2553.
- [15] เพ็ญจา จิตจำรูญโชคไชย, "การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร," [Online]. Available: <http://www.crdc.kmutt.ac.th/Data%202012/CRDC6/data/153-156.pdf> [Accessed: September 18, 2016].
- [16] ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์, "การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์," วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยบูรพา, จังหวัดชลบุรี, 2558.
- [17] Jintawat Chaichanawong, "Preparation of Bicoke for Industrial Utilisation from Leucaena Woodchips" *The 6th Conference on Renewable Energy and Nanotechnology, JCREN2017*, Bangkok, Thailand, October 13, 2017, pp 9.
- [18] สุวิทย์ คงกล้า, "การเพิ่มมูลค่าให้ขยะกระดาษและเศษผ้าสิ่งทอโดยใช้เทคโนโลยีการอัดถ่านชีวภาพ," *The 6th Conference on Renewable Energy and Nanotechnology, JCREN2017*, กรุงเทพฯ, 13 ตุลาคม 2560, หน้า 15.

ภาคผนวก

TNI

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลดิบ

TNI

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก.1 ค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพ

วัสดุ	อัตราส่วน	ความหนาแน่นรวม (kg/cm ³)			
		D ₁	D ₂	D ₃	Dเฉลี่ย
Paper Shredded (PS)	100	1.196	1.229	1.179	1.201
Saw dust (SD)	100	1.364	1.320	1.332	1.339
Cloth Waste (CW)	100	1.081	1.017	1.130	1.073
Saw dust: Paper Shredded	80:20	1.347	1.378	1.351	1.358
Saw dust: Paper Shredded	60:40	1.364	1.338	1.360	1.354
Saw dust: Paper Shredded	50:50	1.326	1.298	1.314	1.313
Saw dust: Paper Shredded	40:60	1.321	1.315	1.271	1.302
Saw dust: Paper Shredded	20:80	1.259	1.261	1.263	1.261
Saw dust : Cloth Waste	80:20	1.307	1.250	1.242	1.265
Saw dust : Cloth Waste	60:40	1.290	1.242	1.310	1.280
Saw dust : Cloth Waste	50:50	1.233	1.245	1.246	1.241
Saw dust : Cloth Waste	40:60	1.241	1.225	1.240	1.236
Saw dust : Cloth Waste	20:80	1.184	1.190	1.175	1.183

ตารางที่ ก.2 ค่าการต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพ

วัสดุ	อัตราส่วน	การต้านทานแรงอัดสูงสุด				
		$FC_1(kN)$	$FC_2(kN)$	$FC_3(kN)$	$FC_{เฉลี่ย}(kN)$	$FC_{เฉลี่ย}(kN/cm^2)$
Paper Shredded	1.00	219.00	205.00	210.00	211.33	11.68
Saw dust	1.00	201.97	192.22	188.90	194.36	10.75
Cloth Waste	1.00	334.00	229.00	347.36	303.45	16.78
SD: PS	80:20	182.26	149.91	241.61	191.26	10.57
SD: PS	60:40	200.49	279.61	195.19	225.10	12.45
SD: PS	50:50	311.97	279.47	274.00	288.48	15.95
SD : CW	80:20	182.76	117.13	130.34	143.41	7.93
SD : CW	60:40	183.68	152.66	165.03	167.12	9.24
SD : CW	50:50	192.15	168.35	196.46	185.65	10.26
SD : CW	40:60	202.54	204.16	205.58	204.09	11.28

ตารางที่ ก.3 ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพ

วัสดุ	อัตราส่วน	ค่าความร้อน (kCal/kg)			
		Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q _{เฉลี่ย}
Paper Shredded	100	2.815	3.169	2.983	2.9890
Saw dust	100	4.244	4.321	4.201	4.2553
Waste cloths	100	6.2311	6.1015	6.078	6.1369
Saw dust: Paper Shredded	80:20	3.8448	3.986	3.833	3.8879
Saw dust: Paper Shredded	60:40	3.3934	3.3164	3.557	3.4223
Saw dust: Paper Shredded	50:50	3.3152	3.233	3.371	3.3064
Saw dust: Paper Shredded	40:60	3.458	2.970	3.677	3.3683
Saw dust: Paper Shredded	20:80	2.986	3.302	3.082	3.1233
Saw dust : Waste Cloths	80:20	4.402	4.372	4.5	4.4247
Saw dust : Waste Cloths	60:40	4.708	4.464	4.381	4.5177
Saw dust : Waste Cloths	50:50	5.237	5.424	4.914	5.1917
Saw dust : Waste Cloths	40:60	5.597	5.671	5.707	5.6583
Saw dust : Waste Cloths	20:80	5.786	6.0449	5.709	5.8466

ตารางที่ ก.4 ค่าความชื้นของวัสดุที่ใช้อัดถ่าน

วัสดุ	อัตราส่วน	ค่าความชื้น (%)			
		MT ₁	MT ₂	MT ₃	MT _{เฉลี่ย}
Paper Shredded	100	5.8	5.8	5.4	5.66
Saw dust	100	10.2	9.3	10.2	9.90
Waste cloths	100	4.8	5.1	5.5	5.13
Saw dust: Paper Shredded	80:20	9.1	9.1	9.1	9.10
Saw dust: Paper Shredded	60:40	8.5	8.5	8	8.33
Saw dust: Paper Shredded	50:50	7.8	7.6	7.9	7.76
Saw dust: Paper Shredded	40:60	6.4	7	7.6	7.00
Saw dust: Paper Shredded	20:80	6.2	6.1	6	6.10
Saw dust : Waste Cloths	80:20	9.3	8.9	9.1	9.10
Saw dust : Waste Cloths	60:40	8.3	8	8.1	8.13
Saw dust : Waste Cloths	50:50	7.4	7.5	7.5	7.46
Saw dust : Waste Cloths	40:60	7.7	6.9	6.5	7.03
Saw dust : Waste Cloths	20:80	6.1	5.8	5.6	5.83