สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยเครื่องอัดแบบเกลียว

STUDY ON CHARACTERISTICS OF GREEN TEA WASTE BRIQUETTE PRODUCED BY SCREW PRESS

T061233

วท.
ว174ว
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61233
วัน,เดือน,ปี 17 ก.ค. 2549

b.11595000
i.....

วนิตา จาดดำ

WANITA JADDAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2548

ISBN 974-15-2054-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON CHARACTERISTICS OF GREEN TEA WASTE BRIQUETTE PRODUCED BY SCREW PRESS

WANITA JADDAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2005

ISBN 974-15-2054-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยเครื่องอัดแบบเกลียว
นักศึกษา	นางสาววนิตา จาดดำ
รหัสประจำตัว	46064505
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. สุวรรณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียว โดยศึกษาวิธีการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียวโดยวิธีอัดแบบร้อนและอัดแบบเย็น ศึกษาขนาดกากชาเขียวที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง ศึกษาสัดส่วนของการผสมแป้งมันสำปะหลังซึ่งใช้เป็นตัวประสานในอัตราส่วนของกากชาเขียวต่อแป้งมันสำปะหลังต่าง ๆ จากการทดลองพบว่าวิธีการอัดแบบเย็นดีกว่าวิธีการอัดแบบร้อน ขนาดของกากชาเขียวแบบบดละเอียดซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 12-35 เมช ให้ผลดีกว่ากากชาแบบไม่บดในด้านคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และที่อัตราส่วนของกากชาเขียวต่อแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมคือ 9.5:0.5 จากการศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว พบว่า ความชื้น เถ้า สารระเหย และค่าความร้อนมีค่าเท่ากับ 5.20%±0.26, 7.67%±0.21, 20.10%±0.46 และ 6,110 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของถ่านอัดแท่ง แต่ค่าคาร์บอนคงตัวมีค่าเท่ากับ 66.67%±0.35 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของถ่านอัดแท่ง จากการปรับปรุงคุณภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวโดยผสมกับเศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้ พบว่าการผสมเศษไม้มีผลทำให้ค่าความร้อนและคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น ในขณะที่เถ้าและสารระเหยมีค่าลดลง นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบประสิทธิภาพถ่านอัดแท่งจาก กากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วกับถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่าถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวมีข้อดีกว่าคือ ใช้เวลาในการจุดติดไฟเร็ว มีปริมาณเถ้าต่ำกว่า และต้นทุนการผลิตขึ้นอยู่กับสัดส่วนของเศษไม้ที่ใช้

คำสำคัญ: กากชาเขียว การอัดแบบร้อน การอัดแบบเย็น ถ่านอัดแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Study on Characteristics of Green Tea Waste Briquette Produced by Screw Press
Student	Ms. Wanita Jaddam
Student ID.	46064505
Degree	Master of Science
Program	Environmental Chemistry
Year	2005
Thesis Advisor	Dr. Suwannee Junyapoon

ABSTRACT

This research studied characteristics of green tea waste briquette produced by screw press with hot and cold densification techniques. Size of green tea waste and amount of binder affecting characteristics of briquette were investigated. In this study, tapioca was used as a binder. It was found that cold densification technique was better than hot densification technique. Optimum sizes of ground green tea waste were 12-35 mesh. Optimum proportion of green tea waste and binder was 9.5 :0.5. Characteristics of green tea waste briquette were examined. It was found that moisture content, ash content, volatile matter, and heating value were 5.02%±0.26, 7.67%±0.21, 20.10%±0.46 and 6,110 cal/g, respectively, which met the requirement for briquette. Whilst fixed carbon content was 66.67%±0.35 which was lower than standard of briquette. Wood residues were used to improve quality of briquette. It was found that wood residues increased heating value and fixed carbon content while it decreased ash and volatile contents. Efficiency of green tea waste briquette and market briquette was also compared. It was found that green tea waste briquette had better characteristics than market briquette. It employed shorter time for ignition and less ash content produced. In addition, cost of tea waste briquette depended on the amount of wood residue used.

Keywords : green tea waste, hot densification, cold densification, briquette

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร. สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ ดร.สายจิตร จะวะนะ และ อ. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ที่ได้ให้คำปรึกษา และแนะนำเป็นอย่างดี ตลอดเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อ.น้อย เรียงวงศ์ และเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ทดลองวิชาการด้านพลังงานธรรมชาติ และเชื้อเพลิงพลังงาน กระทรวงพลังงาน จ.ปทุมธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ ตลอดจนคำปรึกษา และแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณลุงขนิษฐ สุทธิพงษ์ คุณวรนนท์ ประทุมมานนท์ และเจ้าหน้าที่ประจำโรงบดแกลบ โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลา ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ ตลอดจนคำปรึกษา และแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท ยูนิ-เพรสซิเดนท์ ประเทศไทย จำกัด จ.นครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างกากชาเขียวที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือ และความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว รวมทั้งเพื่อน ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดเวลาในการทำวิทยานิพนธ์

นอกเหนือจากบุคคลที่กล่าวมาแล้ว ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ

วนิตา จาดคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....I

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....X

รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....XI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 แหล่งพลังงาน.....4

2.2 พลังงานชีวมวล.....7

2.2.1 ชีวมวล.....7

2.2.2 แหล่งกำเนิดชีวมวล.....8

2.3 ชา.....8

2.3.1 ประวัติของชา.....8

2.3.2 พันธุ์ชาและวิธีการปลูก.....9

2.3.3 องค์ประกอบของชา.....10

2.3.4 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของชา.....11

2.3.5 ผลิตภัณฑ์จากชา.....12

2.3.6 ชาเขียว.....13

2.3.7 ประโยชน์ของชา.....13

2.4 เชื้อเพลิงอัดแท่ง.....14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง.....15
2.4.2 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....18
2.4.3 ขั้นตอนการอัดแท่ง.....19
2.4.4 วิธีการอัดแท่ง.....20
2.4.4.1 การอัดแบบร้อน (Hot Densification).....20
2.4.4.2 การอัดแบบเย็น (Cold Densification).....22
2.4.4.3 ตัวประสาน (Binder).....23
2.4.5 เครื่องอัดแท่ง.....26
2.4.5.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press).....26
2.4.5.2 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press).....26
2.4.5.3 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Palletizing Press).....27
2.4.5.4 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press).....28
2.4.6 การตาก หรืออบแห้งเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....30
2.5 ถ่าน (Charcoal).....31
2.5.1 การเผาถ่าน (Carbonization).....31
2.5.2 การเก็บรักษาถ่านอัดแท่ง.....33
2.5.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....33
2.5.3.1 คุณสมบัติทางด้านเคมี.....33
2.5.3.2 คุณสมบัติทางด้านกายภาพ.....34
2.5.4 ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด.....35
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....36

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....39
3.1 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี.....39
3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมี.....39
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การดำเนินการวิจัย.....40

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของกากชาเขียว.....40

3.2.1.1 การเตรียมตัวอย่างกากชาเขียว.....40

3.2.1.2 การศึกษาคุณสมบัติกากชาเขียวก่อนนำไปผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง.....40

3.2.2 ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบร้อนและอัดแบบเย็น.....42

3.2.2.1 การอัดกากชาเขียวเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบร้อน.....42

3.2.2.2 การอัดกากชาเขียวเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบเย็น.....43

3.2.2.3 การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยวิธีอัดแบบร้อนและอัดแบบเย็น.....44

3.2.3 การศึกษาขนาดของกากชาเขียวที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง.....44

3.2.4 การศึกษาสัดส่วนของตัวประสานที่มีผลต่อการขึ้นรูปของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว.....45

3.2.5 การปรับปรุงคุณภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว โดยใช้เศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้.....46

3.2.6 การเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวกับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด.....46

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....47

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของกากชาเขียว.....47

4.2 ผลการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบร้อนและวิธีอัดแบบเย็น.....48

4.2.1 การอัดกากชาเขียวเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบร้อน.....48

4.2.2 การอัดกากชาเขียวเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบเย็น.....49

4.2.3 ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยวิธีอัดแบบร้อนและวิธีอัดแบบเย็น.....49

4.3 ผลการศึกษาขนาดของกากชาเขียว.....50

4.4 ผลการอัดแท่งกากชาเขียวโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน.....53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5 ผลการปรับปรุงคุณภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว โดยใช้เศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้.....55
4.6 ผลการเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวกับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด.....58

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....60
5.1 สรุปผลการทดลอง.....60
5.2 ข้อเสนอแนะ.....61

บรรณานุกรม.....62

ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพ.....66
ภาคผนวก ข. ผลการทดลอง.....73

ประวัติผู้เขียน.....90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ปริมาณการใช้ถ่านและไม้ฟืน ตั้งแต่ปี 2534-2538 6

2.2 เนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทยปี 2531-2541.....6

2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของชา 11

2.4 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง.....17

2.5 คุณสมบัติของถ่านไม้แต่ละชนิด.....18

2.6 อุณหภูมิและขั้นตอนการเปลี่ยนเป็นถ่านในเตาเผา.....32

2.7 คุณสมบัติที่ดีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....35

4.1 คุณสมบัติทางด้านเคมีของกากชาเขียว.....47

4.2 องค์ประกอบทางด้านเคมีของกากชาเขียว วิเคราะห์โดยเครื่อง EDS.....47

4.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยวิธีอัดแบบร้อนและอัดแบบเย็น.....49

4.4 ขนาดของกากชาเขียว.....50

4.5 น้ำหนักถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ได้จากการเผาเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....51

4.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบไม่บดและแบบบด.....52

4.7 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบไม่บดและแบบบด.....52

4.8 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่สัดส่วนของตัวประสานต่าง ๆ.....53

4.9 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่สัดส่วนของตัวประสานต่าง ๆ.....53

4.10 องค์ประกอบทางด้านเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว วิเคราะห์โดยเครื่อง EDS.....54

4.11 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเคมีและด้านกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้งมันสำปะหลัง 5% กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 55

4.12 คุณสมบัติทางด้านเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงด้วยเศษไม้ที่สัดส่วนต่าง ๆ.....56

4.13 คุณสมบัติทางด้านกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงด้วยเศษไม้ที่สัดส่วนต่าง ๆ.....57

4.14 ต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว.....58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.15 ต้นทุนถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด....58

ข.1 ค่าความชื้น....74

ข.2 ปริมาณเถ้า....75

ข.3 ปริมาณสารระเหย....76

ข.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว....77

ข.5 ค่าความร้อน....78

ข.6 ความคงตัวของเถ้า....79

ข.7 ระยะเวลาในการจุดติดไฟ....80

ข.8 ค่าความหนาแน่น....81

ข.9 ค่าการทนแรงอัด....82

ข.10 ดัชนีการแตกร่วน....83

ข.11 องค์ประกอบทางเคมีของกากชาเขียว....84

ข.12 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบด....84

ข.13 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 9.5:0.5....85

ข.14 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 9:1....85

ข.15 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 8:2....86

ข.16 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 7:3....86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ห่วงโซ่อาหาร 5

2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส.....15

2.3 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส.....16

2.4 โครงสร้างของลิกนิน.....16

2.5 กลไกการอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....19

2.6 โครงสร้างของอะไมโลส.....24

2.7 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน.....25

2.8 เครื่องอัดแบบลูกสูบ.....26

2.9 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง.....27

2.10 เครื่องอัดเม็ด หรือแท่งเล็ก ๆ.....28

2.11 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย 29

2.12 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด 29

2.13 ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด.....36

3.1 ขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว.....41

3.2 เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวแบบโดยวิธีอัดแบบร้อน.....42

3.3 เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวแบบโดยวิธีอัดแบบเย็น.....43

3.4 เครื่องบด.....44

4.1 กากชาเขียวอัดแท่งที่ผลิตโดยวิธีอัดแบบร้อน.....49

4.2 กากชาเขียวอัดแท่งที่ผลิตโดยวิธีอัดแบบเย็น.....49

4.3 ลักษณะทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงจากกากชาเขียว.....51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
%	เปอร์เซ็นต์
°C	องศาเซลเซียส
kg/m^2	กิโลกรัมต่อตารางเมตร
β	เบตา
α	เอลฟา
kg/cm^2	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
kg/hr	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
kw	กิโลวัตต์
cal/g	แคลอรีต่อกรัม
m^2/g	ตารางเมตรต่อกรัม
MPa	เมกะปาสคาล
μm	ไมโครเมตร
Hz	เฮิร์ท
kg	กิโลกรัม
g	กรัม
Hp	แรงม้า
V	โวลต์
cm^2	ตารางเซนติเมตร
g/cm^3	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ml	มิลลิลิตร
atm	บรรยากาศ
L	ลิตร
pH	พีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

ปัญหาการขาดแคลนพลังงาน และราคาน้ำมันที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน นับเป็นปัญหาระดับโลก ดังนั้น การลดปริมาณการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมด หรือพลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยชะลอปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิง นอกจากนี้ ยังช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้น ๆ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน ปัจจุบันการใช้พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ น้ำ แสงอาทิตย์ ลม คลื่น และชีวมวล จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เชื้อเพลิงอัดแท่งจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่ง ซึ่งได้รับความสนในใจในปัจจุบัน

เชื้อเพลิงอัดแท่ง (briquette) เป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดเศษพืช เศษวัสดุจากการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร หรือที่เรียกว่ากากชีวมวล (biomass waste) ให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เพื่อสะดวกในการขนส่ง เศษวัสดุที่นำมาอัดแท่งต้องมีขนาดเล็ก จากนั้นนำไปคลุกเคล้าให้ได้สัดส่วน และความชื้นที่เหมาะสม แล้วจึงอัดเป็นแท่งด้วยตัวประสาน ซึ่งเศษวัสดุธรรมชาติบางชนิดมีคุณสมบัติของตัวประสานในตัวเอง ได้แก่ ยางไม้ ลิกนิน ในกรณีที่เศษวัสดุไม่มีคุณสมบัติของตัวประสานสามารถผสมกับตัวประสานอื่น ๆ เช่น กากส่าเหล้า แป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น แต่มีข้อเสียคือ มีควันมาก ความชื้นสูง ค่าความร้อนน้อย และความหนาแน่นต่ำ ทำให้ไม่คุ้มค่าในการขนส่ง ดังนั้นการเผาเชื้อเพลิงอัดแท่งให้กลายเป็นถ่านอัดแท่ง เป็นการลดปริมาณความชื้นและสารระเหย และเพิ่มค่าความร้อน ทำให้ถ่านอัดแท่งมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงดีกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากการที่ประเทศไทยเป็นประเทศกึ่งอุตสาหกรรม (agro-industry) ดังนั้น จึงมีการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีกากอุตสาหกรรมที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ปริมาณมาก ได้มีงานวิจัยต่าง ๆ ที่ศึกษาการนำกากชีวมวลมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง ได้แก่ แกลบ ชานอ้อย และขี้เลื่อย ในขณะที่กากชาเขียว (green tea waste) นับเป็นกากอุตสาหกรรมที่เหลือทิ้งอีกชนิดหนึ่งที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากได้รับความนิยมจากผู้บริโภค จากการที่กากชาเขียวประกอบด้วยเซลลูโลส และลิกนินโดยส่วนใหญ่ จึงมีค่าความร้อนสูงเหมาะสำหรับผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำกากชาเขียวที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปเครื่องดื่มมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง โดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวด้วยวิธีอัดแบบร้อนและอัดแบบเย็น และศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมี และกายภาพ เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่ง รวมทั้งปรับปรุงคุณสมบัติทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว โดยการผสมกับเศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้ นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบคุณสมบัติและต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวกับถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากชาเขียวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปชามาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน
2. เพื่อเปรียบเทียบวิธีการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียวโดยวิธีอัดแบบร้อนและอัดแบบเย็น
3. เพื่อศึกษาถึงขนาดของกากชาเขียวและสัดส่วนตัวประสานที่เหมาะสมในการอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง
4. เพื่อปรับปรุงคุณภาพถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว โดยผสมกับเศษไม้ที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปไม้
5. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพและต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวกับถ่านอัดแท่งที่มีขายในท้องตลาด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวโดยใช้ตัวอย่างกากชาเขียวจากโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่มประเภทชา
2. เปรียบเทียบวิธีการอัดกากชาเขียวที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยวิธีการอัดแบบร้อนและแบบเย็น
3. ศึกษาขนาดของกากชาเขียวที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว โดยแบ่งกากชาเขียวออกเป็น 2 แบบ คือ แบบไม่บด และแบบบด แล้วนำมาอัดแท่ง โดยใช้วิธีการอัดที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2 จากนั้นนำไปเผาให้กลายเป็นถ่านอัดแท่ง และศึกษาคุณสมบัติด้านเคมีและกายภาพ ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว ค่าความร้อน ความคงตัวของเถ้า เวลาในการจุดติดไฟ ความหนาแน่น การทนแรงอัด และดัชนีการแตกร่วน
4. ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง) ในสัดส่วนต่าง ได้แก่ กากชาเขียวต่อแป้งมันสำปะหลัง 10:0, 9.5:0.5, 9:1, 8:2 และ 7:3 แล้วนำมาอัดแท่ง จากนั้นนำไปเผาให้กลายเป็นถ่านอัดแท่ง และศึกษาคุณสมบัติด้านเคมีและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านกายภาพ ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว ค่าความร้อน ความคงตัว-ของเถ้า เวลาในการจุดติดไฟ ความหนาแน่น การทนแรงอัด และดัชนีการแตกร่วน องค์ประกอบทางเคมี และลักษณะผิวภายนอก โดยเปรียบเทียบกับคุณสมบัติที่ดีของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

5. ปรับปรุงคุณภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว โดยผสมกับเศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าความร้อนสูง และปริมาณเถ้าต่ำ โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพกับถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด
6. เปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวกับถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้พลังงานเชื้อเพลิงทดแทน เพื่อใช้ในครัวเรือน ร้านอาหาร และภัตตาคารต่าง ๆ
2. เป็นการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุที่เหลือใช้
3. ช่วยลดปัญหาในการกำจัดขยะ
4. ช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

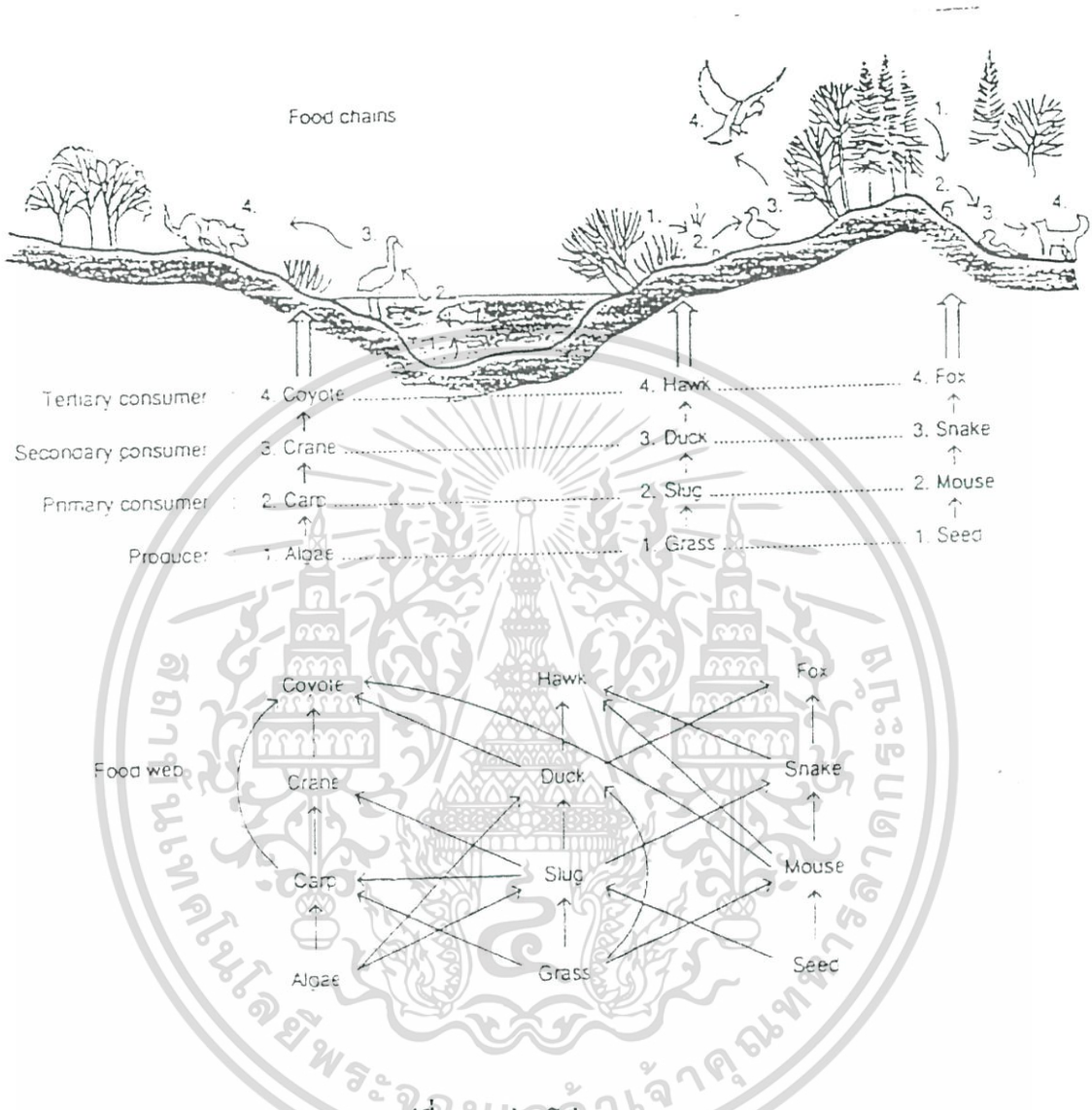
2.1 แหล่งพลังงาน

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดแตกต่างกัน ได้แก่ พลังงานจากน้ำมัน เชื้อเพลิง ถ่านหิน เป็นต้น ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดและเป็นแหล่งเริ่มต้นของพลังงานทั้งหมดที่มีอยู่ในโลก พืชสีเขียวสามารถใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสง โดยสะสมพลังงานจากดวงอาทิตย์ไว้ในรูปสารประกอบคาร์บอน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต พืชสีเขียวจึงทำหน้าที่เป็นผู้ผลิต (producer) ในระบบนิเวศ พลังงานเบื้องต้นที่สะสมไว้ในพืชจะถูกนำไปใช้และสูญเสียไปในกิจกรรมต่าง ๆ จากนั้นพลังงานจะถูกถ่ายทอดไปสู่สัตว์ที่กินพืชเป็นอาหาร (herbivores) และพลังงานบางส่วนที่เหลือก็จะถูกถ่ายทอดไปสู่สัตว์ที่กินสัตว์เป็นอาหาร (carnivores) และไปจนถึงพวกมนุษย์ ซึ่งถือว่าระดับสุดท้าย (top carnivore) ของโซ่อาหาร (food chains) ในขณะเดียวกันเมื่อผู้ผลิตและผู้บริโภคตายไป พลังงานต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ก็ถูกถ่ายทอดไปสู่ผู้ย่อยสลาย (decomposers) ซึ่งเป็นช่วงสุดท้ายของการถ่ายทอดพลังงาน (เกษม จันทร์แก้ว. 2524) ดังแสดงในรูป 2.1 ดังนั้น การนำพืชซึ่งเป็นแหล่งสะสมพลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นอันดับแรกมาใช้โดยตรง จึงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่ถ่ายทอดจากดวงอาทิตย์น้อยที่สุด และเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถสร้างทดแทนขึ้นมาใหม่ได้ในเวลาไม่นานนัก ซึ่งมนุษย์รู้จักใช้กันมาตั้งแต่โบราณในรูปของไม้ฟืน อย่างไรก็ตาม หลังจากการปฏิวัติอุตสาหกรรม น้ำมันเชื้อเพลิงและถ่านหินจัดเป็นพลังงานที่สำคัญ จากการเพิ่มจำนวนประชากรของมนุษย์อย่างรวดเร็ว ทำให้พลังงานต่าง ๆ ถูกใช้หมดไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้น การหาแหล่งพลังงานทดแทนจึงเป็นสิ่งจำเป็น

พลังงานทดแทน เป็นพลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป หรือเรียกว่าพลังงานประเภทสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรม-ชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนประเภทที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่าพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล และน้ำ เป็นต้น ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2546) จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานทดแทนของประเทศปี พ.ศ. 2546 โดยพิจารณาเฉพาะพลังงานชีวมวลที่สามารถนำมาใช้ในรูปแบบการเผาไหม้โดยตรง หรือการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ได้แก่ วัสดุเหลือใช้ในการเกษตร ฟืน ถ่านไม้ และขยะชุมชน คิดเป็นพลังงานปริมาณเท่ากับ 7,307 พันตัน (เทียบเท่าน้ำมันดิบ) ซึ่งแบ่งออกเป็นพลังงานจากวัสดุเหลือใช้การเกษตร 30,613 พันตัน (เทียบเท่าน้ำมันดิบ) ฟืนและถ่านไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8 พันตัน (เทียบเท่าน้ำมันดิบ) และขยะชุมชน 0.01 พันตัน (เทียบเท่าน้ำมันดิบ) (กรมส่งเสริมธุรกิจไทยในต่างประเทศ. 2546)



รูปที่ 2.1 ห่วงโซ่อาหาร

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ยังคงใช้ฟืน และถ่านไม้เป็นพลังงาน โดยเฉพาะประชาชนในชนบทเนื่องจากมีราคาถูก และหาง่าย จากการศึกษาพบว่าประเทศไทยมีปริมาณการใช้ฟืน และถ่านไม้เพิ่มขึ้น (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2538) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการใช้ถ่านและไม้ฟืนตั้งแต่ปี 2534-2538

ประเภทพลังงาน	2534 (KTOE)	2535 (KTOE)	2536 (KTOE)	2537 (KTOE)	2538 (KTOE)
ถ่าน	3,409	3,705	4,125	4,458	4,589
	(4.987)	(5.42)	(6.034)	(6.521)	(6.713)
ไม้ฟืน	3,426	3,555	3,765	3,902	3,786
	(9.052)	(9.393)	(9.948)	(10.310)	(10.003)

ที่มา : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2538

หมายเหตุ : หน่วยเป็น Kiloton of Equivalent (KTOE) /ส่วนหน่วยในวงเล็บเป็นล้านตัน

อย่างไรก็ตาม ป่าไม้ในปัจจุบันมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว ในปี พ.ศ. 2541 ประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไม้เหลือเพียงร้อยละ 25.28 ของพื้นที่ในประเทศ (สำนักสารนิเทศ. 2541) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทยปี 2531-2541

พ.ศ.	พื้นที่ป่า(ล้านไร่)	ร้อยละ	พ.ศ.	พื้นที่ป่า(ล้านไร่)	ร้อยละ
2531	143.803	28.03	2536	133.554	26.03
2532	143.417	27.95	2538	131.485	25.62
2534	136.698	26.64	2541	129.722	25.28

ที่มา : สำนักสารนิเทศ. 2541

การนำเข้าถ่านอัดแท่งที่มีคุณภาพสูงเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืนและถ่านไม้จึงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น จากสถิติปริมาณการนำเข้าถ่านอัดแท่งในปี พ.ศ. 2544 คิดเป็นมูลค่า 27.41 ล้านบาท โดยมีการนำเข้าจากประเทศพม่ามากที่สุดถึงร้อยละ 73.02 (สมเจตน์ คุ้งโพธิ์. 2546 : 32) อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยมีการส่งออกถ่านอัดแท่งโดยมีตลาดส่งออกอยู่ในประเทศที่นิยมใช้ถ่านในการประกอบอาหาร เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี และไต้หวัน แต่ยังมีปริมาณน้อยคิดเป็นร้อยละ 10.45, 6.50 และ 5.81 ตามลำดับ (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์. 2545) ถึงแม้ว่ามูลค่าการส่งออกถ่านอัดแท่งในปัจจุบันไม่สูงเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ของประเทศ แต่เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่งเป็นเศษวัสดุทางการเกษตร และอุตสาหกรรมทางการเกษตร ซึ่งมีปริมาณมากในประเทศไทย จึงควรสนับสนุนให้มีการผลิตถ่านอัดแท่งเพิ่มขึ้น

จากการสำรวจการใช้พลังงานในครัวเรือนทั่วประเทศในปีพ.ศ. 2543 (สมเจตน์ คุ้งโพธิ์. 2546 : 34) พบว่าจำนวนของครัวเรือนที่ใช้พลังงานประเภทถ่านไม้ และฟืนในปีพ.ศ. 2543 คิดเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละ 17.0 และ 22.6 ของจำนวนครัวเรือนที่ใช้พลังงานประเภทต่าง ๆ ตามลำดับ การจัดหาไม้ฟืนปริมาณดังกล่าว จะต้องปลูกไม้โตเร็วถึงหลายล้านต้น ซึ่งเป็นไปได้ยากที่จะจัดหาไม้ให้เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศ เนื่องจากปัจจุบันมีกฎหมายห้ามตัดต้นไม้ในป่าสงวน ดังนั้น การใช้พลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่สำคัญ โดยเฉพาะการนำวัสดุเหลือใช้ที่มีมูลค่าทางพลังงานมาใช้ ได้แก่ แกลบ กากอ้อย เศษไม้ เศษหญ้า เศษเหลือทิ้งจากการเกษตร ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางเกษตร เช่น เปลือกสับปะรดจากโรงงานสับปะรดกระป๋อง (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. 2543) มูลสัตว์ กากกาแฟจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกาแฟ และกากชาเขียวจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์จากชา เป็นต้น

2.2 พลังงานชีวมวล (Biomass Energy)

2.2.1 ชีวมวล (Biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น

- แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือก
- ชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย
- เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพารา หรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่
- กากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด
- กากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง
- ซังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพด เพื่อนำเมล็ดออก
- กาบและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาปลอกเปลือกออก เพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตเป็นกะทิ และน้ำมะพร้าว
- ส่าเหล้า ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์

ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เนื่องจากในขั้นตอนของการเจริญเติบโต พืชเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นแป้ง และน้ำตาล โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช ดังนั้น เมื่อใช้พืชเป็นเชื้อเพลิงก็จะได้พลังงานออกมา การใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวล สามารถใช้ได้ทั้งในรูปของพลังงานความร้อน ไอน้ำ หรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยจะใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดใดชนิดหนึ่งที่กล่าวมาข้างต้น หรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ จากการที่ชีวมวลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูก และมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย การนำชีวมวลมาใช้จึงช่วยลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิง และสร้างรายได้ให้กับคนในท้องถิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 แหล่งกำเนิดชีวมวล (Biomass sources) ประเภทของแหล่งพลังงานชีวมวลที่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแบ่งเป็น 4 ประเภท (Best, G. et.al. 2000) ดังนี้

1. Woody biomass ได้แก่ ต้นไม้ พุ่มไม้ และต้นไม้ขนาดเล็ก แขนงหรือกิ่งก้าน เช่น กาแฟ ชา ไม้ไผ่ และต้นปาล์ม เป็นต้น

2. Non- woody biomass ได้แก่ ธัญพืช เช่น ต้นอ้อย มันสำปะหลัง ฝ้าย ก้านและรากของต้นยาสูบ พืชตระกูลหญ้า กล้วย ต้นถั่ว มันสำปะหลัง พวกวัชพืช เป็นต้น

3. Processed waste ได้แก่ แกลบ ซังข้าวโพดชานอ้อย ขยะจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น กากสัปปะรด กากชาเขียว ขยะชุมชน เป็นต้น

4. Processed fuels ได้แก่ ถ่านที่ทำจากไม้และเศษวัสดุเหลือใช้ ชีวมวลอัดแท่ง เอทานอล หรือเมทานอล และก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นต้น

การนำชีวมวลมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อใช้แทนน้ำมันเตา ถ่านหิน ฟืน และถ่านไม้ จึงเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญ นอกจากนี้เชื้อเพลิงอัดแท่งยังมีปริมาณกำมะถันต่ำกว่าน้ำมันเตา และถ่านหิน จึงช่วยลดปัญหามลพิษอากาศ

2.3 ชา

เป็นพืชสวนอุตสาหกรรมที่ใช้แปรรูปเป็นเครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย

2.3.1 ประวัติของชา

ชาถือกำเนิดขึ้นในโลกมานานกว่า 5,000 ปี มีแหล่งกำเนิดอยู่ศูนย์กลางตะวันออกเฉียงใต้ของจีนใกล้กับต้นน้ำอิระวดี และกระจายพันธุ์ไปตามพื้นที่คล้ายรูปพัด ตามแนวชายแดนของรัฐอัสสัม และพม่าไปถึงจังหวัดซีเกียงของจีนทางทิศตะวันออก และลงสู่ทิศใต้ตามเทือกเขาของพม่า ตอนเหนือของไทยจนไปสิ้นสุดที่เวียดนาม (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2538)

การปลูกชาในประเทศไทยมีแหล่งกำเนิดเดิมอยู่ตามภูเขาทางภาคเหนือของประเทศแถบจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน แพร่ น่าน ลำปาง และตาก ในการทำสวนชา ป่าและต้นไม้ชนิดอื่นจะถูกถางออกเหลือไว้แต่ต้นชาที่พบขึ้นอยู่ในสภาพธรรมชาติ ชาวบ้านเรียกว่าต้นเมี่ยง ชาป่านี้พบว่าเป็นชาอัสสัม ซึ่งเป็นชาที่ชาวบ้านนำมาผลิตเป็นเมี่ยง และเริ่มนำมาบริโภคโดยการเคี้ยว สำหรับในประเทศไทยอุตสาหกรรมการผลิตชาได้เริ่มพัฒนาขึ้นในรูปของชาจีนในปี พ.ศ.2528 เกิดโรงงานชาขึ้นในประเทศ ในนามบริษัทใบชาตราภูเขา ต่อมาได้มีการขยายพื้นที่ปลูกสวนชา และส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกชามากขึ้นในจังหวัดเชียงใหม่ในนามบริษัทชาระมิงค์ ผลิตทั้งชาจีนและชาฝรั่ง และในปี พ.ศ.2530 บริษัทชาระมิงค์ได้ขยายสัมปทานให้แก่บริษัทชาสยาม มีการส่งเสริมให้เกษตรกรทำสวนชาแบบใหม่ และรับซื้อใบชาสดจากเกษตรกรนำมาผลิตชาฝรั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในนามชาลิปตันจนถึงปัจจุบัน ทางภาครัฐได้มีการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมชาโดยมีการทดลองนำพันธุ์ชาเข้ามาจากไต้หวัน อินเดีย และญี่ปุ่น เพื่อทดลองปลูกตามสถานีทดลองพืชสวนต่าง ๆ ซึ่งต่อมาฝ่ายรักษาความมั่นคงแห่งชาติได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลไต้หวันในด้านพันธุ์ชาและเทคโนโลยี ได้สาธิตการปลูกชาในพื้นที่หมู่บ้านอพยพรวมถึงหมู่บ้านบนดอยแม่สลอง จังหวัดเชียงราย หลังจากนั้นอุตสาหกรรมการปลูกชาแห่งดอยแม่สลองก็ได้เติบโตขึ้น มีการลงทุนจากภาคเอกชนโดยเฉพาะจากไต้หวันเข้ามาตั้งโรงงานผลิตชาขึ้นมากมายในเขตพื้นที่ดอยแม่สลองและดอยวาวี จังหวัดเชียงราย เนื่องจากบริเวณนี้มีสภาพภูมิประเทศและอากาศเหมาะสมสำหรับการปลูกชา ซึ่งชาที่ผลิตส่วนใหญ่เป็นชาจีน ทำให้เป็นที่รู้จักกันดีว่าชาจีนคุณภาพดีที่ผลิตในเมืองไทย คือ ชาจากจังหวัดเชียงราย เพราะได้มาตรฐานในด้านการผลิต และเทคโนโลยีในระดับสากล (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2538)

2.3.2 พันธุ์ชาและวิธีการปลูก

2.3.2.1 พันธุ์ชา

ต้นชามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Camellia sinensis* จัดเป็นพืชสวนอุตสาหกรรมที่ใช้แปรรูปเป็นเครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หลายชนิด ซึ่งผลิตภัณฑ์ชาแต่ละชนิดล้วนมาจากต้นชาตระกูลเดียวกัน (ยกเว้นชาสมุนไพรที่ไม่ได้ทำจากต้นชา) จะแตกต่างกันที่พันธุ์ ซึ่งพันธุ์ชาแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. กลุ่มชาอัสสัม (*Camellia sinensis* Var. assamica) เช่น พันธุ์อัสสัมใบจาง อัสสัมใบเข้ม มานิปุริ พม่า และลูไช
2. กลุ่มชาจีน (*Camellia sinensis* Var. sinensis) เช่น พันธุ์หย่วนจือ ชินชิงเบอร์ 12 ชินชิง อูหลง เถกวนอิน ฯลฯ
3. กลุ่มชาเขมร *(Camellia sinensis* Var. Indo-China)
4. ลูกผสมระหว่าง 3 กลุ่ม เช่น ลูกผสมระหว่างชาอัสสัมและชาจีนที่ปลูกในศรีลังกา

ในเมืองไทยนิยมปลูกชา 2 กลุ่ม คือกลุ่มชาอัสสัม และกลุ่มชาจีนซึ่งนำมาผลิตเป็นชาใบในรูปของชาจีนและชาเขียว (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2538)

2.3.2.2 ปัจจัยที่สำคัญในการปลูกชา

1. ดิน ควรเป็นดินร่วน ระบายน้ำได้ดี มีอินทรีย์วัตถุสูง มีธาตุไนโตรเจนมาก เป็นกรดเล็กน้อย (pH 4.5-6.0) ความลาดชันไม่ควรเกิน 45 องศา
2. ความชื้นและปริมาณน้ำฝน พื้นที่ปลูกชาต้องมีแหล่งน้ำที่สมบูรณ์และมีฝนตกสม่ำเสมอตลอดปี ปริมาณน้ำฝน ควรอยู่ในช่วง 40-50 นิ้วต่อปี เนื่องจากเป็นพืชที่ต้องการความชื้นสูง เพื่อให้มีการเจริญเติบโตทางใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 25-30 °C และอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ตลอดปี ทำให้ชาสามารถสร้างยอดใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง

4. ความสูงพื้นที่ พื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 1,000-2,200 เมตร ขึ้นไป ซึ่งสภาพอากาศเย็นจะให้ใบชาที่มีคุณภาพสูง ชามีกลิ่นหอมและรสชาติดี แต่ปริมาณผลผลิตที่ได้จะต่ำกว่าการปลูกชาในที่ต่ำ ส่วนพื้นที่ราบ ควรเลือกพันธุ์ปลูกที่เหมาะสม มีอากาศเย็นตลอดปี อุณหภูมิระหว่าง กลางวันและกลางคืนไม่แตกต่างกันมากนัก ความสูงจากระดับน้ำทะเล 400 เมตร ขึ้นไป มีแหล่งน้ำสะอาดพอเพียง อยู่ใกล้โรงงานแปรรูปชา สามารถผลิตชาที่มีคุณภาพดีได้ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี

5. แหล่งน้ำสะอาด ทั้งพื้นที่ราบและพื้นที่สูง ควรมีแหล่งน้ำสะอาดเพียงพอต่อการใช้น้ำของต้นชา โดยเฉพาะช่วงที่ตัดแต่งกิ่ง ช่วงการเจริญของยอดชาและก่อนการเก็บเกี่ยว มีความจำเป็นต้องให้น้ำระบบสปริงเกิล เพื่อชำระฝุ่นผงออกจากยอดชาก่อนเก็บเกี่ยว 1 วัน นอกจากนี้การมีน้ำสะอาดอย่างเพียงพอยังมีส่วนช่วยในการลดอุณหภูมิในพื้นที่ลงได้

6. แสงแดด เป็นพื้นที่ที่สามารถรับแสงแดดได้ตลอดทั้งวัน โดยไม่มีต้นไม้อื่นบังแสงแดด (ยกเว้นในระยะเริ่มปลูกระยะแรกเท่านั้น ควรใช้ร่มบังแดดแก่ต้นชา) โดยเฉพาะช่วงเช้าต้นชาจะต้องได้รับแสงแดดอย่างทั่วถึง เพื่อต้นชาสามรถปรุงอาหารได้ เพื่อการเจริญเติบโตให้ยอดชาที่สมบูรณ์ สามารถเก็บเกี่ยวได้ตามกำหนด ไม่ควรให้ต้นชาได้รับแสงแดดในช่วงบ่าย เพราะต้นชาที่เป็นโรคบางชนิด เช่น โรคสาหร่ายแดง จะทำให้ขยายตัวในวงกว้างได้

2.3.3 องค์ประกอบของชา

สารประกอบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในใบชาประมาณ 52% เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ คือ cellulose, protein, fat, chlorophyll และ starch ส่วนอีก 48% จะเป็นพวกที่ละลายในน้ำ คือ polyphenols, caffeine, sugar, gummy, amino acids และแร่ธาตุอื่น ๆ (Marly. 1988 : 85-88) องค์ประกอบโดยประมาณของส่วนยอดของชาที่ผลิตจากชาอัสสัมแห้ง ประกอบด้วยสารประกอบโพลีฟีนอลิค (ส่วนใหญ่เป็นสารคาเทชินฟลาวานอล 6 ชนิด) 30-35 % โพลีแซคคาไรด์และคาร์โบไฮเดรต 22 % โปรตีน 15 % คาเฟอีน 3-5 % กรดอะมิโน 4 % สารอินทรีย์ 5 % กรดอินทรีย์ (ส่วนใหญ่เป็นแอสคอร์บิค) 0.5 % สารระเหย 0.01 % รวมทั้งสารเซลลูโลสที่ไม่ละลายน้ำ 7 % ลิกนิน 6 % และไขมัน 3 % (นิรนาม. 2546) ในใบชาจะมีตัวกำหนดคุณภาพคือ polyphenol ซึ่งสารนี้จะมีอยู่ในใบแต่ละใบในต้นชาจะมีปริมาณของสารนี้อยู่แตกต่างกันคือ ใบแรกจะมี 35% ใบที่ 2 มี 25% และใบที่ 3 มีอยู่ 15% ดังนั้นในการเก็บใบชาจะต้องคำนึงถึงอายุของใบ และใบจะต้องอยู่ส่วนบนหรือส่วนยอดมากที่สุด ในการรับซื้อจากเกษตรจึงมีการกำหนดคุณภาพใบชาที่จะซื้อต้องเก็บไม่เกินใบที่ 3 (Marly. 1988 : 85-88)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของชา (กรมวิชาการเกษตร. 2548)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของชาแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของชา

ชื่อสามัญ	Tea
ชื่อวิทยาศาสตร์	*Camellia sinensis*
ต้น	เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก ทรงต้นรูปกรวย สูงประมาณ 30 ฟุต
ใบ	ใบเดี่ยวเรียงตัวแบบสลับ มี 1 ใบใน 1 ข้อ ขอบใบหยักแบบฟันเลื่อย ปลายใบแหลม แผ่นใบหน้า ด้านบนใบมัน ใต้ใบมีขนอ่อนปกคลุม ใบยาว 7-30 เซนติเมตร ชาจีนมีใบแคบ สีเขียวแก่ ชาอัสสัมมีใบขนาดใหญ่ ปากใบมีมากบริเวณใต้ใบ
ดอก	มีทั้งดอกเดี่ยวและดอกช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศ เกสรตัวผู้มีจำนวนมาก ยอดเกสรตัวเมียมี 3-5 ช่อ กลีบดอกประดับสีขาว 5-8 กลีบ มีกลีบเลี้ยงสีเขียว 5-6 กลีบ ดอกมีกลิ่นหอมเล็กน้อย
ผล	เป็นแคปซูล มี 3 ช่อง เปลือกหุ้มผลหนา สีน้ำตาลปนเขียว ผลแก่ 9-12 เดือน หลังติดผล ผลแก่แตกง่าย ภายในมีเมล็ดในช่องแคปซูล 1-3 เมล็ด ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของผล
เมล็ด	รูปร่างกลม มีใบเลี้ยง 2 ใบ งอกได้ 2-3 สัปดาห์หลังเพาะ โดยเพาะในกระบะที่มีทรายหรือถ่านแกลบเป็นวัสดุเพาะ วิธีการนี้ใช้สำหรับการปรับปรุงพันธุ์ชาเท่านั้น แต่การปลูกชาโดยทั่วไปมักใช้วิธีปลูกด้วยกิ่งปักชำ
ราก	ต้นเพาะเมล็ดเป็นระบบรากแก้ว หยั่งลึก 1.5-3 เมตร มีรากฝอยหาอาหาร กิ่งปักชำเป็นระบบรากฝอย ส่วนต้นที่ปลูกจากกิ่งปักชำ เป็นระบบรากฝอย

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 ผลิตภัณฑ์จากชา

ผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการนำใบชามาผ่านขบวนการแปรรูป มีหลายชนิดได้แก่

1. ชาเขียว (Green Tea) หมายถึง ใบ ยอด และก้านที่ยังอ่อนอยู่ของต้นชาสกุล *Camellia* sp.

2. ชาใบ หรือชาจีน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากส่วนที่เป็นใบอ่อน ยอดอ่อนที่ใบยังไม่คลี่ และก้านใบที่ยังอ่อนอยู่ของต้นชาสกุล *Camellia* sp. ซึ่งนำมาผึ่งให้อ่อนตัว (Withering) อบหรือคั่วพอหมาด บดคลึงให้ม้วนตัว แล้วทำให้แห้งโดยการอบหรือคั่ว

3. ชาผง หรือชาฝรั่ง (Black tea) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากส่วนที่เป็นใบอ่อน ยอดอ่อนที่ใบยังไม่คลี่ และก้านใบที่ยังอ่อนอยู่ของต้นชาสกุล *Camellia* sp. ซึ่งนำมาผึ่งให้อ่อนตัว นวดจนฉีกขาด และม้วนตัว และการหมักให้เกิดกลิ่น และรสเฉพาะ แล้วอบให้แห้ง

4. ชาขาว เป็นการนำตาอ่อนของต้นชา กับใบชาอ่อน หลาย ๆ ชนิดมาผสมกัน แล้วอังความ ร้อน (ไฟ) ให้แห้งสนิท

5. ชาผงสำเร็จรูป (Instant tea) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำของเหลวซึ่งสกัดมาจากชา เช่น ชาเขียว และชาขาว เป็นต้น และนำมาทำให้เป็นกระจายตัวได้ง่ายเพื่อใช้เป็นเครื่องดื่มได้ทันที

6. ชาปรุงสำเร็จ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากชามาปรุงแต่งรสพร้อมบริโภค และบรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ไม่ว่าจะเป็นชนิดเหลวหรือแห้ง

ผลผลิตชาของโลกเป็นชาดำ หรือชาฝรั่ง (Black Tea) ประมาณ 70% อีก 30%เป็นชาใบ ซึ่งรวมถึงชาจีน (Oolong Tea) และชาเขียว (Green Tea) โดยในช่วงปี ค.ศ. 1995 - 1998 มีผลผลิตชาโดยเฉลี่ย 2.6 ล้านตันต่อปี จากปริมาณพื้นที่ปลูกรวม 15.6 ล้านไร่ ใน 30 ประเทศ โดยประเทศจีนมีพื้นที่ปลูกชามากที่สุด (6.87 ล้านไร่) แต่มีผลผลิตรวม 580,000 ตันต่อปี จึงมีผลผลิตเป็นอันดับสองรองจากอินเดีย ซึ่งมีผลผลิต 755,000 ตันต่อปี จากพื้นที่ปลูก 2.65 ล้านไร่ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อินโดนีเซียเป็นประเทศผู้ผลิตสำคัญที่สุด มีพื้นที่ปลูกเป็นแปลงขนาดใหญ่ 500,000 ไร่ และเกษตรกรรายย่อย 312,500 ไร่ ซึ่งประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกชาประมาณ 62,500 ไร่ (นิรนาม. 2546)

ในปีพ.ศ. 2540 มีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ชาจากต่างประเทศรวม 500 ตัน มูลค่า 33 ล้านบาท และส่งออกรวม 197 ตัน มูลค่า 18 ล้านบาท แต่ในปีพ.ศ.2544 มีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ชาคุณภาพดีจากต่างประเทศรวม 574.72 ตัน มูลค่า 62.22 ล้านบาท และส่งออกรวม 1,249.36 ตัน มูลค่า 85.97 ล้านบาท โดยที่ผลผลิตของชาเขียวรวมทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2541 เท่ากับ 22,861 ตัน (กรมวิชาการเกษตร. 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 ชาเขียว

ผลผลิตชาเขียวของโลกระหว่างปี ค.ศ. 1995-1998 โดยเฉลี่ย 572,000 ตันต่อปี โดยประเทศจีนมีปริมาณชาเขียวมากที่สุด คือ 406,000 ตันต่อปี สำหรับในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศอินโดนีเซียเป็นประเทศผู้ผลิตที่สำคัญที่สุด มีผลผลิตรวม 30,000 ตันต่อปี สำหรับประเทศไทยมีปริมาณการใช้ชาเขียวประมาณ 2,600 ตันต่อปี (นิรนาม. 2546) โดยในปี พ.ศ. 2542 มีการส่งออกใบชาเขียว 43 ตัน มูลค่า 6.6 ล้านบาท และปีพ.ศ. 2541 มีการนำเข้าใบชาเขียวประมาณ 347 ตัน มูลค่า 25.1 ล้านบาท

2.3.7 ประโยชน์ของชา (กรมวิชาการเกษตร. 2548)

1. มีธาตุอาหารหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ เช่น วิตามินซี โปรตีน น้ำตาล ใช้บำรุงร่างกาย ทำให้มีสุขภาพดี

2. ช่วยกระตุ้นให้ระบบประสาทให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยกระตุ้นระบบไหลเวียนของโลหิต ช่วยขยายหลอดเลือด ช่วยป้องกันโรคหัวใจตีบตัน ช่วยรักษาอาการกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด ช่วยรักษาอาการเจ็บหน้าอก ช่วยให้กล้ามเนื้อผ่อนคลาย ช่วยรักษาโรคหวัด ช่วยรักษาโรคปวดหัว อิทธิพลต่อระบบเมตาโบลิซึมของเซลล์ร่างกาย

3. มีคาแฟอีนเป็นองค์ประกอบ

4. มีสาร โพลีฟีนอลช่วยฆ่าเชื้อแบคทีเรียสาเหตุของโรคไทฟอยด์ อหิวาตกโรค

5. มีสาร ไดเมธิลแซนธีน ช่วยระบบขับถ่ายให้ดีขึ้น

6. ช่วยแก้กระหาย ดื่มแล้วชุ่มคอ ชื่นใจ ช่วยย่อยอาหาร แก้ร้อนใน และลดไขมัน

7. ช่วยลดอาการอักเสบ และช่วยสมานแผล

8. ช่วยชะล้างสารพิษออกจากร่างกาย

9. ใช้เป็นส่วนประกอบของยา

10. ชาผงใช้ในการแต่งกลิ่นในอาหาร

11. ใช้ระงับกลิ่น เช่น กากใบชาที่เหลือจากการชงชาแล้ว ผึ่งไว้ให้แห้งบรรจุภาชนะต่าง ๆ เช่นถุงผ้า เป็นต้น สามารถดับกลิ่นในตู้เสื้อผ้า ดับกลิ่นในตู้เย็น ดับกลิ่นในตู้ไมโครเวฟ ดับกลิ่นในตู้ที่อับชื้น ดับกลิ่นในรถยนต์ ดับกลิ่นในห้องน้ำ ดับกลิ่นในห้องครัว เป็นต้น

12. ขยายหลอดลม

13. ป้องกันมะเร็งที่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ได้แก่ ปอด ผิวหนัง กระเพาะอาหาร ตับ และลำไส้เล็ก เป็นต้น

14. ลดโคเลสเตอรอล และน้ำตาลในเลือด

15. ลดอัตราการแบ่งตัวของไวรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในประเทศจีน ไต้หวัน และญี่ปุ่นยังมีการศึกษาการใช้ประโยชน์ของชาในรูปอื่น ๆ เช่น กากชาเขียวที่เหลือจากการชงชา สามารถนำมาประกอบอาหารชนิดต่าง ๆ ได้ เนื่องจากในใบชายังคงอุดมไปด้วยแร่ธาตุ วิตามิน โปรตีน และเส้นใย ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยนำกากชาเขียวที่เหลือจากการชงมาอบหรือคั่วให้แห้งเก็บไว้ใช้ประกอบอาหารได้นาน (Kazuyoshi. 2002) ใบชายังมีคุณสมบัติในการดูดกลิ่นโดยเฉพาะสารเทอพีน (terpene) ที่อยู่ในใบ จึงมีการนำใบชาหรือกากชามาประดิษฐ์เป็นของใช้ในบ้านเรือน เช่น พื้นรองเท้า หรือกระดาษ เป็นต้น (Kazuyoshi. 2002)

2.4 เชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดแท่งวัสดุชีวมวลหรือเศษวัชพืชต่าง ๆ หรือเศษวัสดุที่เหลือจากภาคเกษตรกรรม เช่น ชานอ้อย ผักตบชวา และแกลบ เป็นต้น ซึ่งการอัดแท่งนี้ได้ถือกำเนิดมาจากการอัดถ่านเขียว (Green charcoal) ของประเทศฟิลิปปินส์ เมื่อ พ.ศ. 2523 ซึ่งค้นพบโดย มร.กอนซาโล คาแทน (Gonzalo O. Catan) และคณะ โดยนำเศษใบไม้ใบหญ้าไปหมักให้เน่าเปื่อยด้วยจุลินทรีย์บางชนิดแล้วจึงอัด โดยใช้ตัวประสานเป็นตัวเชื่อม (ประลอง ดำรงค์ไทย. 2547) ถึงแม้ว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและไม้ได้ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นเวลานานแล้วก็ตาม แต่ประสิทธิภาพการใช้งานนั้นอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก และมีข้อจำกัดหลายประการ คือ

1. มีความหนาแน่นต่ำ ต้องใช้เนื้อที่มากในการเก็บและเสียค่าใช้จ่ายสูงในการขนส่ง ทำให้การใช้ถูกจำกัดอยู่ในบริเวณใกล้เคียงแหล่งผลิตเท่านั้น การขนส่งไปบริเวณห่างไกล จะให้ผลไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับค่าความร้อนที่ได้รับ

2. การเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็ว เพราะมีความหนาแน่นต่ำ และมีค่าความร้อนต่อหน่วยต่ำ ทำให้ต้องใช้ปริมาณมาก จึงเสียค่าขนส่งและใช้แรงงานมากกว่า ทำให้การใช้วัสดุเหลือใช้หรือฟืนถูกจำกัดอยู่ในวงแคบ เช่น ในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการค่าความร้อนสูงมาก ๆ และไม่จำเป็นต้องควบคุมระดับอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลา

3. มีความชื้นสูง ทำให้จุดติดไฟได้ยากและมีค่าความร้อนน้อยกว่าวัสดุที่ผ่านการอบแห้งหรือตากให้แห้ง นอกจากนี้ วัสดุที่เปียกยังเกิดการผุ เน่าเปื่อย เนื่องจากการทำลายของเห็ด รา และการกัดกินของแมลง

เนื่องจากวัสดุทางการเกษตรต่าง ๆ ก่อนอัดแท่งมีความหนาแน่นต่ำ มีปริมาตรมาก ไม่สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา วัสดุทางการเกษตรก่อนอัดแท่งจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 1/3 ของถ่านหินโดยน้ำหนัก แต่เมื่อมีการอัดแท่งแล้วสามารถเพิ่มค่าความร้อนเป็น 2/3 ของถ่านหินโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

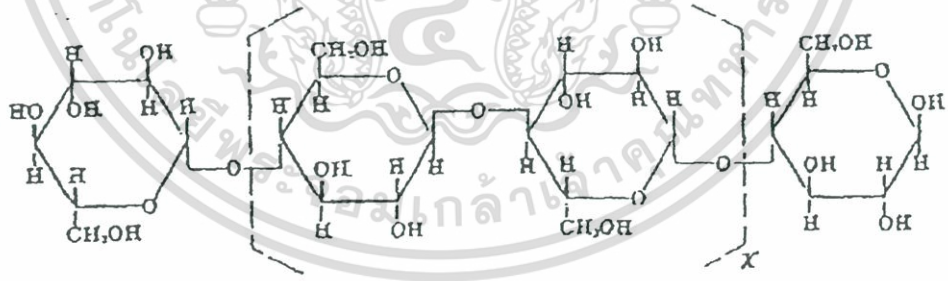
น้ำหนัก (Reed and Bryant. 1978) ดังนั้น การอัดแท่งจะทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นและสะดวกในการขนส่ง

2.4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง มีองค์ประกอบหลักเป็นพวกไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เศษไม้ ใบไม้ ขยะของเหลือใช้ หรือของเสียต่าง ๆ จากภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม หรือชุมชน ได้แก่ ต้นมันสำปะหลัง กากอ้อย ซังข้าวโพด แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวา เป็นต้น โดยที่วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันดังตารางที่ 2.4

ผนังเซลล์ของพืชประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตและลิกนิน ส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตแบ่งเป็นเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส จากการวิเคราะห์เนื้อไม้จำนวน 18 ชนิด พบว่าประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 33.8-48.7 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 23.2-37.7 ลิกนินร้อยละ19.1-30.3 และเถ้าร้อยละ 0.1-1.3 (Karchesy and Koch. 1979)

- เซลลูโลส เป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำ ๆ กัน เชื่อมต่อกันด้วย β (1 - 4) glycosidic เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ส่วนใหญ่จะเป็นรูปผลึกที่มีระเบียบ มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $C_6H_{12}O_6$ (มนตรี จุฬาวัฒนทล และคณะ. 2530) แสดงดังรูปที่ 2.2

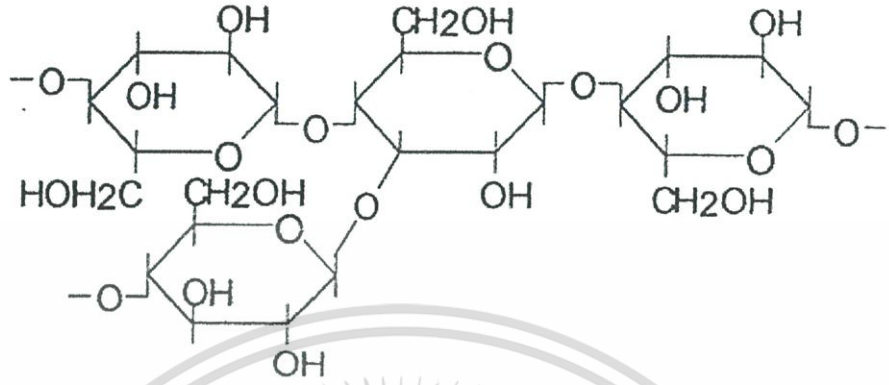


รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส

- เฮมิเซลลูโลส เป็นพอลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายเซลลูโลส และเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ แต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ไซโลส และอะราบิโน เป็นต้น เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่น ๆ เช่น

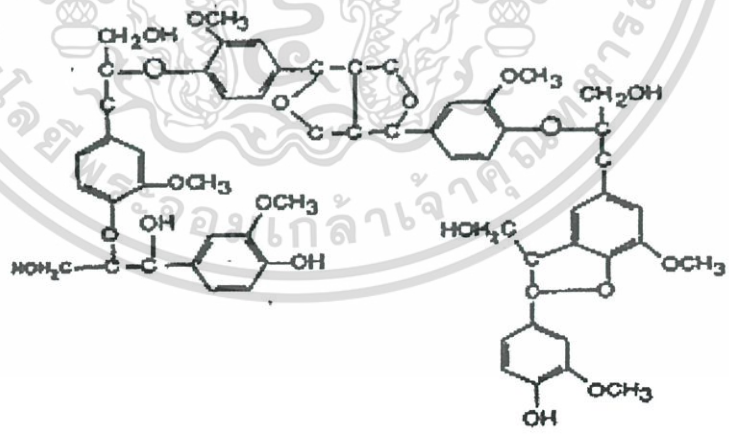
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิกนิน เซลลูโลส พบมากในแกลบ ซังข้าวโพด เฮกโซแซน สูตรทางเคมีคือ $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$ โครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

- ลิกนิน เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของพืชประกอบด้วยโครงสร้างของอะโรมาติกของหน่วยฟีนิลโพรเพนที่เชื่อมต่อกันด้วยคาร์บอนสายตรง (aliphatic chain) ดังรูปที่ 2.4 ลิกนินมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะเป็นผนังเซลล์ของพืช ช่วยยึดและเพิ่มความแข็งแรงของเซลล์พืช และอยู่ในรูปอสัณฐานเช่นเดียวกับพวกเฮมิเซลลูโลส



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของลิกนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

ตัวอย่าง	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	เถ้า (%)	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)
1.ขี้เลื่อย	71.3	27.2	1.5	4,990
2.ชานอ้อย	71.8	23.4	4.8	4,510
3.แกลบ	62.7	17.4	20.0	3,860
4.ฟางข้าว	74.4	18.9	7.3	4,300
5.ต้นมันสำปะหลัง	76.2	19.1	4.7	4,300
6.เหง้ามันสำปะหลัง	75.0	17.0	8.0	4,050
7.ซังข้าวโพด	76.1	21.8	2.1	4,540
8.ขุยมะพร้าว	63.3	29.4	7.1	4,380
9.กะลามะพร้าว	73.7	25.5	0.7	4,830
10.ถ่านกะลามะพร้าว	15.2	82.4	2.4	7,760
11.ต้นถั่วเหลือง	72.5	19.1	8.4	4,150
12.ผักตบชวา	58.9	15.3	25.8	3,010
13.เปลือกหวาย	70.5	23.7	5.7	4,480
14.ไมยราบยักษ์	71.2	25.1	3.7	4,460
15.ไม้ยางพารา	74.9	23.0	2.1	4,560
16.ถ่านไม้ยางพารา	17.5	79.1	3.4	7,650
17.ถ่านหิน	42.8	49.5	7.7	5,860

ที่มา: ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลังงาน ฝ่ายวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2548

เนื้อไม้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 50-55 ออกซิเจนร้อยละ 40-45 ไฮโดรเจนร้อยละ 6-7 ไนโตรเจน และเถ้าประมาณร้อยละ 1 ซึ่งธาตุที่ให้ความร้อนเมื่อเกิดการเผาไหม้คือคาร์บอนและไฮโดรเจน (Karchesy and Koch. 1979) จากการที่ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนมีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าความร้อนของไม้ชนิดต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงดังตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
61233

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของถ่านไม้แต่ละชนิด

ชนิดของไม้	คาร์บอนเสถียร (%)	สารระเหย (%)	เถ้า (%)	ค่าความร้อน(cal/g)
สีเสียดแก่น (Acacia catechu)	75.2	20.8	4.0	7,240
กระถินณรงค์ (Acacia auriculiformis)	71.1	24.0	2.9	7,890
สนประดิพัทธ์ (Casuarina equisetifolia	83.3	13.8	2.9	7,890
สนทะเล (Casuarina junghuniana)	77.8	18.9	3.3	7,590
สะแก (Combretum quadrangulare)	79.9	16.2	3.9	6,900
ยูคาลิปตัส (Eucalyptus camaldulensis)	79.8	16.7	3.5	7,350
กระถินยักษ์ (Leuceana leucocephala)	78.3	18.9	2.7	7,430
เลี่ยน (Melia azedarach)	73.2	24.1	2.8	7,430
นนทรี (Peltopherum dasyrachis)	75.8	20.5	3.7	7,030
โกงกางใบเล็ก (Rhizophora apiculata)	79.9	17.2	2.9	7,500
มะกอก (Spondias pinnata)	73.8	21.6	4.6	7,190

ที่มา : พุฒินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ. 2546

2.4.2 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การอัดแท่ง เป็นการใช้แรงกดต่ออนุภาคเล็ก ๆ ทำให้เกิดการอัดแน่นพอเหมาะที่จะรวมตัวกันเป็นก้อน โดยอาศัยหลักการคือ สสารทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วยสนามของแรงดึงดูด (attractive force) ความแข็งแรง (strength) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาคของสนามของแรงนี้ล้อมรอบด้วยอะตอม โมเลกุล และสารแขวนลอย เป็นการเชื่อมต่อกันที่สำคัญเป็นพิเศษกับการเชื่อมติดกันแน่นของอนุภาคที่ถูกกดอัดเข้าด้วยกัน

กระบวนการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วยการให้แรงดันแก่มวลของอนุภาค โดยอาจมีตัวประสาน หรือไม่มีตัวประสาน เพื่อให้มวลสารรวมตัวกันและเกาะกันได้ดี โดยแบ่งตามแรงดันออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ (Mishra and Grover. 1996)

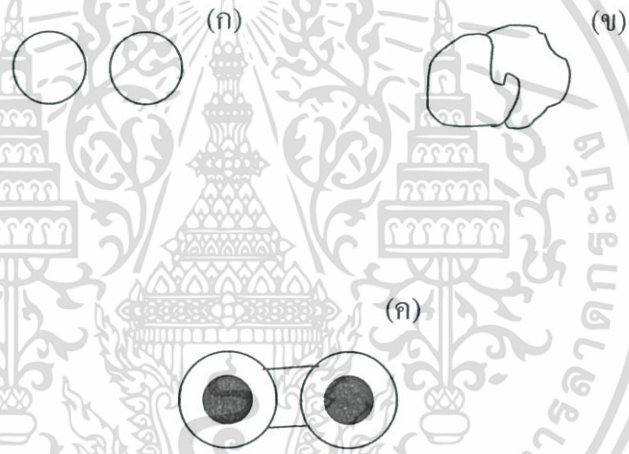
1. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันสูงเกิดจากการเพิ่มขึ้นของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่เป็นของเหลว (liquid) และของแข็ง (solid) เรียกว่า แรงแอดฮีชัน (adhesion forces) และการเกิดพันธะอินเตอร์ลอคกิง (interlocking bond) ระหว่างวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันปานกลางโดยอาศัยความร้อนช่วยในการอัดตัวของวัสดุ ความร้อนทำให้วัสดุที่มีสารพวกลิกนิน และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ อ่อนตัวยึดเกาะกันได้

3. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันต่ำโดยอาศัยตัวประสาน (binders) ช่วยในการอัดตัวของวัสดุ สำหรับกลไกการอัดแท่งแบบใช้ตัวประสาน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสาน โดยตัวประสานที่ดีจะต้องมียางเหนียวที่ทำหน้าที่ยึดเกาะกับวัสดุได้ดี เช่น ทาร์ และสารอินทรีย์ที่มียางเหนียวเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ กลไกการยึดติดของตัวประสานขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของแข็งกับของเหลว (adhesion forces) แรงดึงดูดระห่างโมเลกุลของวัสดุชนิดเดียวกัน (cohesion forces) และ พันธะอินเตอร์ลอคกิ้ง (Interlocking bond) ระหว่างวัสดุ

วัสดุที่มีขนาดเล็กสามารถอัดแท่งโดยใช้แรงดันสูง ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประสาน โดยที่ความแข็งของวัสดุอัดแท่งขึ้นอยู่กับแรงแวนเดอร์วาลล์ (van der Waals forces) และการเกิดพันธะอินเตอร์ ลอคกิ้ง ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กลไกการอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง

(ก) แรงแวนเดอร์วาลล์ (van der Waals forces)

(ข) พันธะอินเตอร์ลอคกิ้ง (interlocking bond)

(ค) ชั้นยางเหนียวของตัวประสาน (viscous binders adsorption layers)

2.4.3 ขั้นตอนการอัดแท่ง

วัสดุที่นำมาอัดแท่ง ทั้งที่ต้องใช้ตัวประสานหรือไม่ใช้ตัวประสาน โดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนในการอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังนี้

- การบด (Grinding) เพื่อให้วัสดุมีขนาดเล็กลง ทำให้การอัดติดเป็นก้อนทำได้ง่ายขึ้น
- การอบ (Drying) วัสดุที่ผ่านการบดแล้วจะถูกอบให้มีความชื้นที่เหมาะสมในการอัดก้อน ถ้าความชื้นมากเกินไป เชื้อเพลิงอัดแท่งจะแตกเมื่อสูญเสียความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การผสม (Mixing) การผสมวัสดุกับตัวประสานและสารเคมีต่าง ๆ เพื่อให้อัดเชื้อเพลิงเป็นแท่งได้ โดยที่เวลาในการผสมจะต้องมากพอที่จะผสมสารต่าง ๆ เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ในขั้นนี้อาจมีการผสมน้ำ ถ้าความชื้นของส่วนผสมน้อยเกินไป โดยทั่วไปชีวมวลต่าง ๆ มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน

- การอัดขึ้นรูป (Pressing) ส่วนผสมจะถูกใส่เข้าไปในเครื่องอัด แรงในการอัดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับชนิดและกระบวนการในการอัด ดังนั้น คุณภาพของเชื้อเพลิงที่ได้ขึ้นกับแรงอัดและระยะเวลาที่อัด

2.4.4 วิธีการอัดแท่ง

สามารถแบ่งตามวิธีการอัดเป็น 2 แบบ คือ

2.4.4.1 การอัดแบบร้อน (Hot Densification) เป็นวิธีที่นิยม สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้อย่างกว้างขวาง ไดแก้ ขี่เลื่อย แกลบ และเศษไม้ เป็นการอัดที่ถือกำเนิดในประเทศสหรัฐอเมริกาประมาณ 57 ปี โดยมี R.T.Bowling เป็นผู้คิดค้นประดิษฐ์ฟืนสังเคราะห์จากขี่เลื่อยให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีประสิทธิภาพสูง ไม่มีเขม่าควัน เถ้า และกลิ่นเหม็น มีข้อดีคือ ให้เปลวไฟสะอาด สามารถทำสีเปลวไฟได้ตามต้องการ (Fitzgerald. 1980) ซึ่งวิธีการอัดแท่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ตามชนิดของเครื่องอัด คือ

- การอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ (Palletizing)
- การอัดแท่งด้วยเกลียว (Screw Press Densification)
- การอัดแท่งด้วยลูกสูบ (Piston Press Densification)
- การอัดแท่งด้วยลูกกลิ้ง (Roll Press Densification)

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้ความร้อน ได้แก่

1. ปริมาณความชื้น (Moisture content) ชีวมวลที่มีความชื้นสูงจะสูญเสียพลังงานมากในการทำให้วัสดุแห้ง และมีค่าความร้อนต่ำกว่าชีวมวลที่มีความชื้นต่ำกว่า (Mishra and Grover. 1996) ส่วนวัสดุที่มีความชื้นต่ำ มีข้อเสียในการจับตัวเป็นก้อน และการอัดแท่งทำให้มีรอยแตกบนผิวของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งน้ำที่อยู่ในวัตถุดิบมีส่วนช่วยกระจายความร้อนในมวลวัตถุ ถ้าวัตถุดิบมีน้ำไม่เพียงพอทำให้การส่งผ่านความร้อนไม่ดี แรงดันที่ต้องการใช้ในการอัดแท่งจึงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าวัสดุมีน้ำมากเกินไป ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นถูกกระจายไป ส่งผลให้น้ำกลายเป็นไอ และบ่อยครั้งทำให้เกิดการระเบิดออกมาจากกระบอกอัด โดยทั่วไป พบว่าปริมาณความชื้นของวัสดุที่เหมาะสมควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ทั้งนี้เพื่อให้วัสดุดังกล่าวเกาะกันเป็นแท่งได้ง่าย ไม่มีรอยแตกร้าว และมีความแข็งแรงเพียงพอ สามารถขนส่งได้โดยไม่แตกหัก (Reed and Bryant. 1978)

วิธีการลดความชื้นขึ้นอยู่กับสภาพของเศษวัสดุเหลือใช้ชนิดนั้น ๆ ว่ามีปริมาณความชื้นอยู่มากน้อยเพียงใด และสภาพดินฟ้าอากาศ ในกรณีที่สภาพดินฟ้าไม่อำนวย เช่น ในฤดูฝน จำเป็นต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบให้แห้งด้วยเครื่องอบ เครื่องอบมีหลายแบบ อาจเป็นเตาหมุน (rotary drying kiln) เพื่อให้ความร้อนที่ส่งผ่านมาตามท่อกระจายไปสู่เศษวัสดุที่กำลังอบอยู่อย่างทั่วถึง และเครื่องอบนี้จะมีท่อดูดเอาเศษวัสดุที่อบแห้งแล้ว และมีความชื้นพอเหมาะไปสู่ไซโลเพื่อรอการนำไปอัดต่อไป หรืออาจใช้พลังงานความร้อนจากเตาเผาขยะ หรือความร้อนที่เหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม

2. ขนาดของชิ้นวัตถุดิบ (Particle size) เศษวัสดุแต่ละชนิดมีลักษณะแตกต่างกัน เช่น เศษเหลือจากการทำไม้ จะได้เศษไม้ที่มีทั้งปลายไม้ ส่วนที่ผุ หรือมีตำหนิ ได้แก่ ขี้เลื่อย ขี้กบ เพื่อให้วัสดุเหลือใช้ที่มีขนาดยาวและใหญ่ มีขนาดเล็กลงได้ โดยการนำไปย่อยและบด เพื่อให้เหมาะสมกับการป้อนเข้าเครื่องอัดแท่ง Intermediate Technology Development Grop รายงานว่า ขนาดชิ้นส่วนของวัสดุโดยเฉลี่ยควรจะมีขนาด 3 มิลลิเมตร โดยที่ร้อยละ 20 ของวัสดุควรมีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร และส่วนที่เหลือควรมีขนาด 2-4 มิลลิเมตร (ITDG. 1984: 3-5) ในวัสดุที่มีขนาดเล็กอยู่แล้วอาจไม่ต้องย่อยหรือบด แต่ต้องผ่านทำการร่อนด้วยตะแกรงเสียก่อน มิฉะนั้นวัสดุที่มีขนาดใหญ่ที่ปะปนอยู่ จะทำให้ไม่สามารถอัดเป็นแท่งได้ดี ทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร เพราะมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ

3. แรงดัน (Pressure) แรงดันในกระบอกอัดเกิดจากการที่สกรูอัดหมุนดันให้วัสดุที่ป้อนเข้าเครื่องอัดติดกับผนังกระบอกอัด โดยแรงดันขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเกลียวอัด ความสูงของเกลียว ความเร็วของสกรู ตลอดจนระยะห่างระหว่างผนังกระบอกอัดกับสกรู เมื่อวัสดุถูกสกรูหมุนดันให้ติดกับกระบอกอัดที่ได้รับความร้อนจากแผ่นให้ความร้อน จะทำให้เกิดการเกาะตัวกันและแรงเสียดทานระหว่างกระบอกกับแท่งเชื้อเพลิงที่กำลังเคลื่อนตัวออก จะช่วยทำให้เกิดแรงดันที่เหมาะสม ทำให้วัสดุเกิดการอัดตัวแน่นยิ่งขึ้น ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของแรงดันที่ใช้ ณ อุณหภูมิเฉพาะ (Reed, T .et.al. 1980 : 169-177) นอกจากนี้ Intermediate Technology Development Grop รายงานว่า การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยการให้ความร้อน ควรทำภายใต้แรงดัน ณ ที่อุณหภูมิห้อง โดยทั่วไปใช้ความดันในช่วง 0.5-1,200 kg/m^2 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการอัดและอุณหภูมิ (ITDG. 1984 : 3-5) การอัดวัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ โดยใช้ความดันในกระบอกอัดประมาณ 600 kg/m^2 พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีการอัดตัวแน่นดี (นารา พิทักษ์อรรณพ. 2529) นอกจากนี้ ขี้เลื่อย และชานอ้อยสามารถอัดเป็นก้อนได้ภายใต้ความดันตั้งแต่ 453 kg/m^2 ขึ้นไป (กัญจนา บุณยเกียรติ และเพียรพรรค ทัศคร. 2523)

4. อุณหภูมิ (Temperature) Rougerie (1980) ได้คิดหาวิธีการอัดแท่งกับวัสดุประเภทลิกนินเซลลูโลส (ขี้เลื่อย) ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 85-160 °C เพื่อที่จะให้ลิกนินอ่อนตัวยึดเกาะกันได้แน่นขึ้น ทำให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีความแข็ง ขณะที่ Crepean, P. et. al. (1983) ได้ทดลองการทนแรงอัด (Compressive strength) ของชีวมวลอัดแท่ง การทนแรงอัดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ระหว่างการอัด พบว่าการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อุณหภูมิ 220 °C ทำให้ได้แท่งอัดก้อนที่มีความแข็งแรงสูงสุด นอกจากนี้ Intermediate Technology Development Grop รายงานว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิง ควรจะน้อยกว่า 150 °C และพบว่าช่วงเวลาการอัดแท่งที่เหมาะสมนั้น ควรจะน้อยที่สุดไม่เกิน 2 วินาที (ITDG. 1984 : 3-5)

อุณหภูมิของเครื่องอัดร้อนที่เหมาะสม ควรอยู่ในช่วง 260-300 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถทำให้วัสดุเหลือใช้ เช่น แกลบ ขี้เลื่อย กากอ้อย เกาะกันเป็นแท่งได้อย่างมีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด (นารา พิทักษ์อรรณพ. 2529) จากงานวิจัยที่กล่าวมาพบว่า อุณหภูมิเหมาะสมต่อการอัดแท่งเชื้อเพลิงควรอยู่ระหว่าง 200–300 °C

ข้อดีของการอัดแบบร้อนคือ
1. สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้อย่างกว้างขวาง
2. ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประสาน
3. ให้เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูง

ข้อเสียของการอัดแบบร้อนคือ
1. สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าการอัดเย็น
2. วัสดุที่ใช้ในการอัดต้องมีความชื้นต่ำ คือไม่เกินร้อยละ 10
3. อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดสูง
4. เครื่องอัดแท่งมีราคาแพงและดูแลรักษายาก

2.4.4.2 การอัดแบบเย็น (Cold Densification) วิธีนี้จะใช้อุณหภูมิในระหว่างการอัดต่ำ สามารถแบ่งเป็นการอัดแบบใช้ตัวประสาน และแบบไม่ใช้ตัวประสาน (Bhattacharya, S.C. et. al. 1988) ตัวประสานทำหน้าที่ยึดเกาะวัสดุของแท่งเชื้อเพลิงที่อัดด้วยแรงอัดปานกลาง

ข้อดีของการอัดแบบเย็นคือ
1. สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการอัดแบบร้อน
2. ค่าความร้อนที่ได้แตกต่างจากการอัดแบบร้อนเพียงเล็กน้อย
3. ขั้นตอนวิธีการเตรียมวัตถุดิบไม่ยุ่งยาก
4. อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดต่ำ
5. เครื่องอัดแท่งมีราคาถูกและดูแลรักษาง่าย

ข้อเสียของการอัดแบบเย็นคือ ต้องใช้ตัวประสาน หรือถ้าไม่ใช้ตัวประสานสามารถทำได้กับวัสดุชีวมวลที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน

การอัดแบบเย็นหรือไม่ใช้ความร้อนที่มีการวิจัยในประเทศไทยนั้นหลายมีวิธี ได้แก่ (ITDG. 1984 : 3-5)

- การอัดโดยใช้พืชสดชนิดเดียวกันเป็นตัวประสาน ได้แก่ เพกติน เยลลาตินกัม เป็นต้น
- การอัดโดยใช้พืชสดชนิดอื่น ๆ เป็นตัวประสาน เพราะตัวมันเองไม่มียางเหนียวเพียงพอหรือมีน้อยมาก เช่น การอัดผักตบชวาผสมชานอ้อย
- การอัดโดยใช้ตัวเชื่อมประสานจากภายนอกเป็นตัวผสม เพื่อให้การจับตัวเป็นก้อนดีขึ้น เช่น การอัดไมยราบยักษ์ผสมกับลิกไนท์ผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การอัดพืชที่หมักจนเหม็นบูด (ferment) พืชบางชนิดใช้เวลาเพียง 3-4 วัน บางชนิดใช้เวลานานกว่านี้ พืชบางชนิดไม่จำเป็นต้องหมักถึงขั้นเหม็นบูด แต่หมักพอให้ชุ่มน้ำก็พอจะทำให้การอัดง่ายขึ้น

- การอัดพืชที่หมักที่มีการเน่าเปื่อยบางส่วน จนถึงเน่าเปื่อยดี ในพืชบางชนิดใช้เวลาหมัก 3 - 4 สัปดาห์ ทำให้การอัดง่ายขึ้น ซึ่งปุ๋ยหมักก็อาจนำมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้

- การอัดพืชที่หมักโดยผสมตัวประสานจากภายนอก ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง โมลาส และแอสฟัสท์

- การอัดเปียกโดยใช้ตัวเชื่อมประสาน สามารถใช้อัดเศษอาหารที่ยังไม่เน่าบูด หรือเศษอาหารที่เน่าบูดแล้ว เศษใบตองที่ห่ออาหาร เปลือกข้าวโพด ฝักอ่อนที่ยังสด ๆ เศษกระดาษที่แช่น้ำ ฯลฯ

- การอัดแห้งวัสดุแห้งที่เป็นชีวมวลทุกชนิดผสมตัวประสาน ได้แก่ เศษพืช ฟางข้าว เศษกระดาษ หรือขยะมูลฝอยเมื่อผสมกับตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสม ก็สามารถนำมาอัดเป็นแท่งได้

การอัดเย็นแบบไม่ใช้ตัวประสาน สามารถทำได้กับวัสดุชีวมวลที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน คือ มีน้ำยางเหนียว เช่น พืชสด และวัสดุชีวมวลที่เน่าเปื่อยหรือผ่านการหมัก เนื่องจากการหมักชีวมวลทำให้เส้นใยหรือเนื้อเยื่ออ่อนตัวและสร้างสารที่เป็นยางเหนียว ทำให้ใช้พลังงานที่ใช้ในการอัดลดลง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าการอัดโดยวิธีอัดแบบร้อน การอัดวิธีนี้ ถ้าวัตถุดิบที่ใช้เป็นพืชที่ไม่มีวัสดุประสาน ได้แก่ Gelatin, Pectin, Lignin ฯลฯ หรือมีปริมาณน้อย จะต้องผสมกับตัวประสานเพื่อให้การอัดแท่งได้ผลดี (Stienswat and Buachanda. 1986 : 132-147)

2.4.4.3 ตัวประสาน (Binder)

ชนิดของตัวประสาน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท (Bryand. 1985) คือ

1. ตัวประสานที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ ยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์ น้ำมันดิบ มูลสัตว์ ขยะเน่าเปื่อย สาหร่าย และแป้ง เป็นต้น

2. ตัวประสานที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ได้แก่ โคลน เลน และดินเหนียว เป็นต้น

คุณสมบัติที่ดีของตัวประสาน

1. มีความเหนียวมากเพียงพอในการเป็นตัวประสาน
2. สามารถเผาไหม้ได้หรือลุกติดไฟได้ดี และไม่ทำให้เกิดควัน
3. เมื่อถูกอากาศภายนอกจะต้องไม่ทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแตกร่วน หรืออ่อนตัวเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

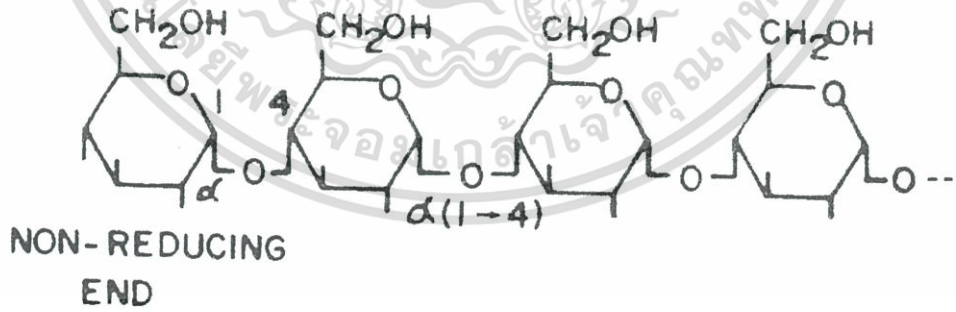
4. เสียค่าใช้จ่ายน้อย

แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่นิยมใช้โดยทั่วไป เป็นแป้งที่ได้จากหัวมันสำปะหลัง ประกอบด้วยเม็ดแป้งตั้งแต่ 2-8 เม็ดรวมตัวกัน แต่ละเม็ดมีความยาวตั้งแต่ 5-35 ไมโครเมตร เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นรูปไข่ ซึ่งปลายข้างหนึ่งถูกตัดออก และผิวตรงส่วนที่ตัดออกมีลักษณะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ดอาจมีริมด้านหนึ่งโค้งอีกด้านแบนไม่สม่ำเสมอกัน เม็ดแป้งเหล่านี้จะแสดงให้เห็นรอยบุ๋มอย่างชัดเจน ในบางครั้งอาจเห็นชั้นของแป้ง (โสภิตา บุญเอนกทรัพย์ และคณะ. 2542)

- โครงสร้างของแป้ง

แป้ง (Starch) เป็นโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ที่สำคัญที่สุดในธรรมชาติ เกิดจากโมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) หลาย ๆ หน่วย มาต่อกัน สูตรทั่วไปคือ $(CH_2O)_n$ โดยปกติแป้งจะมีอยู่ในเมล็ด ราก และลำต้นของพืช ลักษณะของแป้งจะเป็นเม็ดเล็ก มีรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช แป้งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

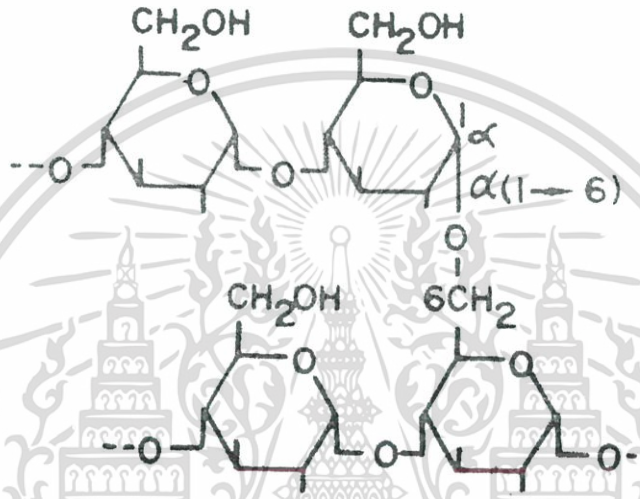
1. อะไมโลส (Amylose) ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 500-2,000 หน่วย ต่อกันเป็นลูกโซ่ยาวด้วยพันธะα,1-4 glycosidic linkage น้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไปตั้งแต่ 2,000-500,000 โดยทั่วไปอะไมเลสจะไม่ละลายน้ำ แต่สามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำเป็นไมเซลล์ และเมื่อรวมกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน มีอยู่ประมาณ 20–25 % ของแป้งทั้งหมด (มนตรี จุฬาวัฒนทล และคณะ. 2530) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของอะไมโลส (มนตรี จุฬาวัฒนทล และคณะ. 2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อะไมโลเพคติน (Amylopectin) เป็นลูกโซ่กลูโคสซึ่งต่อกันด้วยพันธะ α,1-4 - glycosidic linkage เช่นกัน แต่มีแขนงออกไปทุก ๆ 25-30 หน่วยของกลูโคส ตรงจุดที่เกิดแขนงจะต่อกันด้วยพันธะ α, 1-6 glycosidic linkage (มนตรี จุฬาวัฒนทล และคณะ. 2530) (รูปที่ 2.7) โดยทั่วไปอะไมโลเพคตินจะเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ≥ 1,000,000 เมื่อรวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีม่วงแดง มีอยู่ประมาณ 75-80% ของแป้งทั้งหมด (โสภิตา บุญเอนกทรัพย์ และคณะ. 2542)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของอะไมโลแพคติน (มนตรี จุฬาวัฒนทล และคณะ. 2530)

- คุณสมบัติของแป้ง

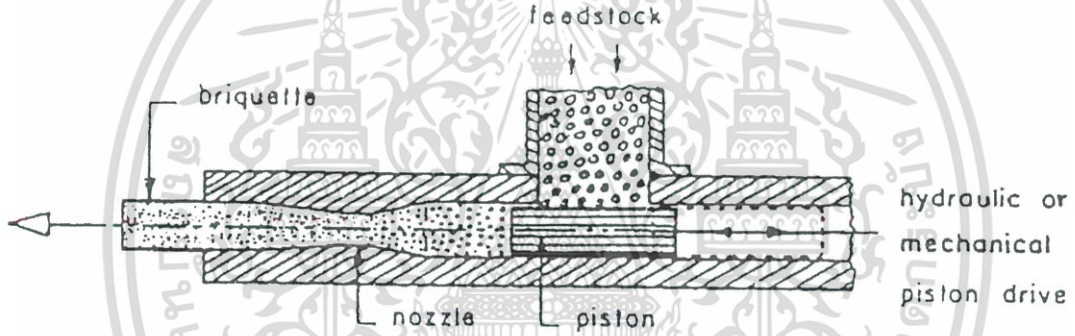
โดยปกติเมื่อแป้งผสมอยู่ในน้ำ แป้งจะแตกตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำ แต่จะไม่ละลายน้ำ เนื่องจากอนุภาคของแป้งมีขนาดใหญ่เกินไปที่จะสามารถละลายน้ำได้ แป้งมีความหนาแน่นสูงประมาณ 1.45-1.64 g/cm^3 (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) ดังนั้น แป้งจึงพร้อมที่จะตกตะกอนหลังจากแขวนลอยอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารแขวนลอยสูงขึ้นประมาณ 60-70 °C (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) น้ำจะเข้าไปใน amorphous region และพลังงานความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนใน crystalline region ทำให้สามารถเข้าไปในเม็ดแป้งมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดบวมอย่างรวดเร็ว ความหนาแน่นจะลดลง แต่ความหนืดจะสูงขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นผิวของเม็ดแป้งจะเปิดมากขึ้น จนเม็ดแป้งเกิดการแตกตัวอย่างฉับพลัน ทำให้อะไมโลสออกจากเม็ดแป้งเกิดเป็นเจลขึ้น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเกิดเจล (Gelatinization) (โสภิตา บุญเอนกทรัพย์ และคณะ. 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 เครื่องอัดแท่ง

เครื่องอัดแท่งสามารถแบ่ง เป็น 4 กลุ่มใหญ่ (Karchesy and Koch. 1979) คือ

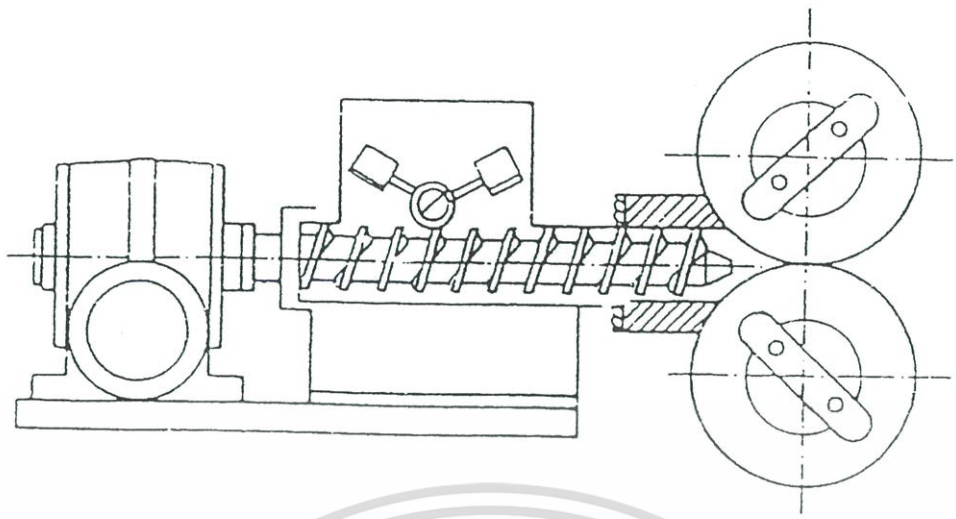
2.4.5.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press) ประกอบด้วยลูกสูบชัก (reciprocation piston) เพื่อดันวัตถุดิบเข้าไปในกระบอกรูปเรียว (tapered die) (รูปที่ 2.8) หลักการทำงานคือ ลูกสูบอัดวัสดุเข้าไปในกระบอกอัด ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวรีดรูปกรวย (conical choke) หรือเป็นรูปเรียวทำหน้าที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัสดุ ผลจากการต้านรวมทั้งการขัดสีของวัสดุกับผนังท่อนี้ ทำให้เกิดความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 150-300 °C ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50-100 มิลลิเมตร เครื่องอัดแบบนี้มีความสามารถในการผลิตได้ 40-1,000 kg/hr และมีปัญหาที่พบโดยทั่วไปของเครื่องอัดแบบลูกสูบนี้คือ การขัดสีของกระบอกอัด และการแตกของลูกสูบ (Bhattacharya, S.C. et.al. 1988)



รูปที่ 2.8 เครื่องอัดแบบลูกสูบ

2.4.5.2 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press) หลักการทำงานคือกระบวนการอัดจะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุดิบตกลงมาในระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองที่หมุนทิศทางตรงกันข้าม ทำให้วัตถุดิบถูกอัดแน่นเข้าไปในร่องไว้ แล้วหมุนมาประกบกันได้เชื้อเพลิงอัดก้อนเป็นรูปหมอน (Pillow-shaped briquettes) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 การอัดแท่งแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าการอัดแบบอื่น โดยที่แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จะมีความทนทานน้อยกว่าการอัดแบบอื่น เนื่องจากช่วงเวลาในการอัดสั้น ทำให้แรงอัดต่ำ และอุณหภูมิในกระบอกอัดไม่สูงพอที่จะหลอมละลายลิกนินเพื่อช่วยในการอัดตัวกันเป็นแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

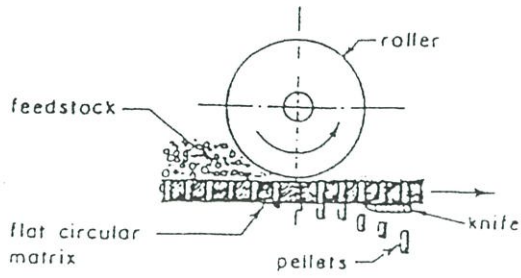


รูปที่ 2.9 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง

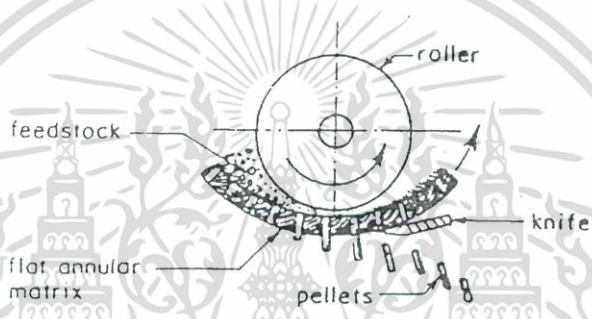
2.4.5.3 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ (Palletizing Press) ประกอบด้วยแม่พิมพ์ โดยที่แรงอัดระหว่างลูกกลิ้ง (roller) และแม่พิมพ์ (matrix) โดยที่แรงอัดระหว่างลูกกลิ้งกับแม่พิมพ์ทำให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดสี และทำการอัดวัตถุดิบผ่านแผ่นแม่พิมพ์ที่เจาะเป็นรู มี 2 แบบ คือ เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม (Disk matrix press) และเครื่องอัดแบบแม่พิมพ์วงแหวน (Ring matrix press) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ก และ 2.10 ข แท่งอัดเม็ดที่ถูกอัดออกมา จะถูกตัดด้วยใบมีดตามขนาดความยาวที่กำหนดไว้ ซึ่งปกติจะมีความยาวน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-15 มิลลิเมตร ถ้าแท่งอัดมีขนาดใหญ่กว่านี้จะใช้การอัดแบบเป็นลูกบาศก์ (Cubing) แทนการอัด เป็นเม็ด (pelleting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)

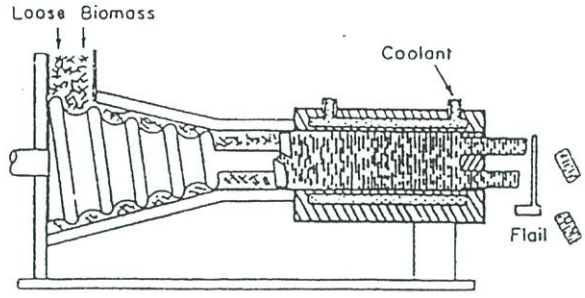


รูปที่ 2.10 เครื่องอัดเม็ด หรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ
(ก) แบบแม่พิมพ์แผ่นกลม (ข) แบบแม่พิมพ์วงแหวน

2.4.5.4 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) เป็นเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้ เป็นแท่งฟืนซึ่งนิยมใช้ในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งมีความสะดวกหลายประการ ได้แก่ เชื้อเพลิงที่ผลิตได้สะดวกต่อการเก็บ การนำมาใช้งาน และการขนส่ง โดยแบ่งเครื่องอัดออกเป็น 3 ประเภท คือ

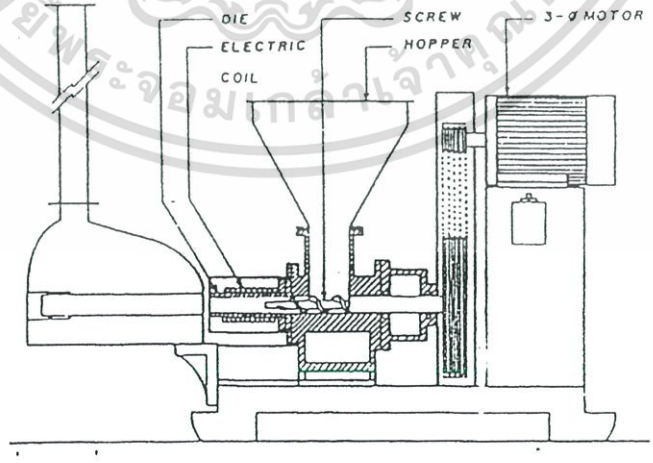
1. เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย (Conical Screw Press) มีหลักการทำงานคือ เกลียวรูปกรวยจะดันวัสดุให้เคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อพ้นเกลียวไปวัสดุถูกดันผ่านกระบอกอัดขนาด 25 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.11 การไหลของวัสดุเข้าไปในกระบอกอัดเพิ่มขึ้นพร้อมกับแรงเสียดทานที่มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 100-200 °C กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแท่งแบบนี้อยู่ในช่วง 500-1,000 kg/hr อัตรากำลังของมอเตอร์อยู่ระหว่าง 35-75 kw วัสดุที่ใช้ทำการอัดควรมีลักษณะเม็ดละเอียดและมีปริมาณความชื้นร้อยละ 8-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย

2. เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด (Screw Press with a Heat) มีหลักการทำงาน คือ เกลียวรูปกรวยจะดันวัสดุให้เคลื่อนตัวเข้าไปในท่อ (barrel) หรือกระบอกอัดที่มีอุณหภูมิจากขดลวดความร้อนประมาณ 200-350 °C ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ความร้อนทำให้วัสดุพวกลิกนินและเซลลูโลสหลอมละลาย แล้วทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกอัดยึดเกาะตัวกันดี ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อนทรงกระบอกหกเหลี่ยมขนาดประมาณ 50 มิลลิเมตร มีรูกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร เพื่อเป็นช่องให้ก๊าซหรือควันที่เกิดในระหว่างการอัดถ่ายเทออกมา กำลังในการผลิตอยู่ในช่วง 50-500 kg/hr (Karchesy and Koch. 1979) วัสดุที่ใช้ควรมีลักษณะเม็ดละเอียด และมีความชื้นในช่วงร้อยละ 8 -12 ปัญหาของเครื่องอัดแบบนี้คือ การขัดสีของกระบอกอัดและเกลียว



รูปที่ 2.12 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องอัดแบบเกลียวคู่ (Twin-Screw Press) ประกอบด้วยเกลียวอัด 2 อัน ต่อกับเพลาที่สวมเข้ากับชิ้นส่วนของเกลียว ที่เปลี่ยนความเร็วในการหมุนได้ เนื่องจากแรงอัด และแรงเสียดสีสูง ทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบสูงถึง 250 °C จึงต้องมีส่วนหล่อเย็นที่กระบอกอัด วัตถุดิบที่ใช้ควรมีปริมาณความชื้นร้อยละ 25 ขึ้นไป สามารถทำการอัดได้โดยไม่ต้องทำให้แห้งก่อน กำลังการผลิตของเครื่องอัดนี้อยู่ในช่วง 2,800-3,600 kg/hr ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้

จากการศึกษาการอัดเชื้อเพลิงแบบอัดเม็ด หรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ ด้วยเครื่องจักรที่ทางโครงการวิจัยพืชเพื่อพลังงานทดแทน และอุตสาหกรรมประดิษฐ์ขึ้นเอง พบว่าผักยาง โสน สน-ปฏิพัทธ์ (ใบ) และยูคาลิปตัส (ใบ) ให้ค่าความร้อน 3,546.35, 4,150.16, 4,562.69 และ 4,563.50 cal/g ตามลำดับ ซึ่งฟืนและถ่านไม้นนทรีให้ค่าความร้อน 4,314.74 และ 7,003.22 cal/g ตามลำดับ แต่เมื่อทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของเตาหุงต้มสำหรับเชื้อเพลิงเขียว (เตาโลหะ) โดยใช้เชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับฟืนและถ่านไม้มะขามเทศ พบว่า ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเพเลทมีค่าสูงกว่าฟืนและถ่านไม้นนทรี (เริงศักดิ์ ฤทธิ์ประเสริฐ. 2528)

2.4.6 การตาก หรืออบแห้งเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากการอัดแท่งเชื้อเพลิง โดยเฉพาะการอัดเย็น จะทำให้แท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีความชื้นสูง ดังนั้นการตากจึงมีความจำเป็น การตาก หรืออบทำได้หลายวิธี เช่น

1. การตากแดดโดยตรง อาจจะตากบนพื้นซีเมนต์ บนสังกะสีลูกฟูก ฯลฯ
2. การตากในตู้อบแสงอาทิตย์
3. การอบด้วยความร้อนจากเตาเผาขยะ
4. การอบด้วยความร้อนที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
5. การอบด้วยความร้อนจากเครื่องทำความร้อน หรือตู้อบไฟฟ้า

จากการทดลองผลิตเชื้อเพลิงเขียวจากผักตบชวาและผักตบชวาผสมถ่านลิกไนท์ โดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวเชื่อมประสาน โดยทำการเปรียบเทียบวิธีการตากให้แห้ง 3 วิธี คือ 1) ตากในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์อุณหภูมิเฉลี่ย 50 °C เป็นเวลา 4 วัน 2) ตากบนพื้นปูนซีเมนต์อุณหภูมิเฉลี่ย 46 °C เป็นเวลา 3 วัน 3) ตากบนแผ่นสังกะสีอุณหภูมิเฉลี่ย 41 °C เป็นเวลา 3 วัน พบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการทำให้แห้งโดยวิธีดังกล่าวจะมีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 6-7 สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ (อาทิตย์ มะลิทอง. 2536)

การเก็บรักษาเชื้อเพลิงอัดแท่ง ควรเก็บในที่แห้ง ไม่ให้ถูกน้ำ ถ้าเปียกชื้นอาจทำให้แท่งเชื้อเพลิงขึ้นราได้ และถ้าเปียกมาก ๆ จะสลายตัวและไม่เป็นแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ถ่าน (Charcoal)

2.5.1 การเผาถ่าน (Carbonization) (พุฒินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ. 2546 : 3-6)

เมื่อวัตถุดิบได้รับความร้อนจนกระทั่งมีอุณหภูมิสูงถึง 300 °C จะลุกไหม้จนเกิดก๊าซ และกลายเป็นถ่าน ซึ่งถ้าเป็นการเผาไหม้ในอากาศเปิด การเผาไหม้จะดำเนินไปจนถึงที่สุด กล่าวคือ จนกระทั่งเหลือแต่ขี้เถ้า แต่ถ้าเผาในสภาพอากาศปิดหรือจำกัดอากาศ วัตถุดิบจะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นถ่าน

กระบวนการผลิตถ่านไม้ แบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1 การไล่ความชื้น (Dehydration) อุณหภูมิ 20 °C–270 °C ขั้นตอนนี้จำเป็นต้องใช้ความร้อนจากภายนอก เพื่อให้ไม้ฟืนเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic reaction) สะสมไว้ให้ได้มากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) ในขั้นตอนต่อไป แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิระหว่าง 20 °C–180 °C โดยธรรมชาติอากาศร้อนจะลอยขึ้นสูง และถูกบังคับให้ไหลลงท่อเพราะจะต้องไหลออกทางปล่องควันที่อยู่ด้านล่างเสมอ อากาศร้อนที่มีไอน้ำซึ่งเกิดจากการคายตัวของไม้ จะกระทบกับความเย็นที่พื้นเตาแล้วควบแน่นจากไอน้ำเป็นหยดน้ำที่พื้นเตา ดังนั้น จึงต้องมีท่อระบายน้ำออกจากเตา และควรรองพื้นเตาด้วยไม้ฟืนขนาดเล็ก เพื่อไม่ให้ไม้ฟืนที่ใช้ทำถ่านสัมผัสโดยตรงกับพื้นเตาที่เปียกชื้น เพราะจะทำให้ไม้ฟืนเปลี่ยนเป็นถ่านได้ไม่หมด

เมื่อเริ่มจุดฟืนหน้าเตา อุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง 180 °C ช่วงนี้ไม้จะคายน้ำที่ดูดซับอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (free water) และน้ำที่อยู่ในผนังเซลล์ (bond water) เท่านั้น จะไม่มีน้ำที่เกิดจากการสลายตัวของโครงสร้างเจือปนออกมาเลย ควันที่ออกมามีสีขาวปนน้ำเงินอ่อน และมีแต่ไอน้ำเท่านั้น

ช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิระหว่าง 180 °C–270 °C ช่วงนี้เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) จะเริ่มสลายตัวออกมา และจะสลายตัวจนหมดที่อุณหภูมิ 260 °C ควรรักษาอุณหภูมินี้ไว้นานพอสมควร เพื่อให้ไม้ฟืนสะสมความร้อนได้ใกล้เคียงกันทั่วทุกจุดของเตา ควันที่ออกมาจะเริ่มมีสีเหลืองจาง ๆ เจือปนอยู่ด้วย และจะมีก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กรดน้ำส้ม (acetic acid) และเมทธานอล (methanol) เจือปนออกมากับควันด้วย แต่มีปริมาณต่ำมาก ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ขั้นตอนที่ 2 การเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน (Carbonization) อุณหภูมิ 270 °C–400 °C ช่วงนี้ไม้ในเตาสะสมความร้อนไว้มากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน โดยไม่ต้องเติมฟืนหน้าเตาอีก ไม้ฟืนจะลุกไหม้และสลายตัวโดยความร้อนที่สะสมไว้ในตัวเอง เซลลูโลสจะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 275 °C การสลายตัวจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ควันที่ออกมาจากปล่องจะมีสีขาวปนเหลือง มีกลิ่นฉุนจัด และเมื่ออุณหภูมิถึง 310 °C ลิกนินจะเริ่มสลายตัว ซึ่งการสลายตัวจะเสร็จสมบูรณ์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 400 °C ควันที่ออกมาจะประกอบด้วยสารประกอบต่าง ๆ ที่เกิดใหม่มากมายหลายชนิดจากการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อน (pyrolysis) และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย

ขั้นตอนที่ 3 การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ (Refinement) ถึงแม้ว่าขั้นตอนการเปลี่ยนไม้เป็นถ่านจะเสร็จสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 400 °C แต่ยังมีปริมาณคาร์บอนเสถียร (fixed carbon) ต่ำ และยังคงมีน้ำมันดิน (tar) เป็นส่วนประกอบในปริมาณที่สูงมาก หากนำไปใช้ประโยชน์จะได้ถ่านคุณภาพต่ำ และถ้านำไปประกอบอาหารปิ้ง ย่าง น้ำมันดินที่ยังคงค้างอยู่ในถ่านเมื่อถูกเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 425 °C จะเกิดเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นจึงต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็น 500 °C ควันที่ออกมาในขั้นตอนนี้จะมีสารก่อมะเร็งปนออกมาด้วยเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 425 °C จึงไม่ควรเก็บควันในช่วงนี้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ

ขั้นตอนที่ 4 การทำให้เย็น (Cooling) หลังจากปิดปล่องเตาแล้ว ต้องปล่อยไว้ให้เตาเย็นจึงจะนำถ่านออกมาใช้งานได้ ก่อนจะเปิดเตาต้องให้อุณหภูมิในเตาต่ำกว่า 50 °C เพราะถ่านไม้ที่อุณหภูมิ 60 °C-70 °C สามารถลุกติดไฟได้เอง (spontaneous combustion) ถ้าได้รับออกซิเจนจากอากาศ ดังนั้นการเปิดเตาต้องเริ่มที่ปล่องควันก่อน เพื่อระบายความร้อนและแก๊สที่ยังคงค้างอยู่ในเตาให้หมด หลังจากนั้นจึงเปิดหน้าเตา

กระบวนการผลิตถ่านทุกขั้นตอน จะใช้เวลามากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความชื้นของไม้ฟืน การควบคุมอุณหภูมิและขนาดของเตา หากเตามีขนาดใหญ่มาก กระบวนการทุกขั้นตอนก็จะใช้เวลามาก

การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์เพียงอย่างเดียวอาจผิดพลาดได้ ดังนั้น การดูสีควัน และนำกระเบื้องเคลือบสีขาวมาอังที่ปล่องควัน เพื่อดูสีควันที่กลั่นตัวติดกระเบื้องเคลือบ จึงเป็นการตรวจสอบซ้ำการวัดอุณหภูมิ แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 อุณหภูมิและขั้นตอนการเปลี่ยนเป็นถ่านในเตาเผา

สีของควัน	สีของควันที่กลั่นตัวติดกระเบื้องเคลือบ	อุณหภูมิที่ปล่องควัน	อุณหภูมิภายในเตา	หมายเหตุ
ขาวปนเหลืองอ่อน (ควันบ้า)	หยดน้ำใส	80 °C – 82 °C	320 °C – 350 °C	เริ่มขั้นตอนเปลี่ยนเป็นถ่าน
น้ำตาลปนเทา	ของเหลวสีน้ำตาล	82 °C – 85 °C	350 °C – 380 °C	-
น้ำตาลปนเทา	ของเหลวสีชา	90 °C – 100 °C	380 °C – 400 °C	-
น้ำตาลปนขาว	ของเหลวสีน้ำตาลเป็นเส้นใหญ่	100 °C – 150 °C	400 °C – 430 °C	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 อุณหภูมิและขั้นตอนการเปลี่ยนเป็นถ่านในเตาเผา (ต่อ)

สีของควัน	สีของควันที่กลั่นตัวติดกระเบื้องเคลือบ	อุณหภูมิที่ปล่องควัน	อุณหภูมิภายในเตา	หมายเหตุ
น้ำตาลปนขาว	ของเหลวสีน้ำตาลเป็นเส้นใหญ่	150 °C - 170 °C	430 °C – 450 °C	-
น้ำตาลปนขาว น้ำเงินอ่อนปนขาว น้ำเงินปนขาว	ของเหลวสีน้ำตาลเป็นจุด	150 °C – 230 °C 230 °C – 250 °C 260 °C – 300 °C	450 °C – 500 °C 500 °C – 530 °C 530 °C – 570 °C	ขั้นตอนเปลี่ยนเป็นถ่านเสร็จสิ้นสมบูรณ์
ม่วงน้ำเงิน	จุดสีเทาไม่มีความชื้น	330 °C – 350 °C	600 °C – 650 °C	เริ่มขั้นตอนทำให้ถ่านบริสุทธิ์
ควันใส	สีเทาไม่มีจุด	-	700 °C – 800 °C	ปิดเตา

ที่มา : พุฒินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ. 2546

2.5.2 การเก็บรักษาถ่านอัดแท่ง

การเก็บรักษาถ่านอัดแท่ง ควรเก็บในที่แห้ง ไม่ให้ถูกน้ำ ถ้าเปียกชื้นจะทำให้มีผลต่อค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง คือ ถ้าถ่านอัดแท่งมีความชื้นสูง จะส่งผลให้มีค่าความร้อนต่ำ (Reed and Bryant. 1978)

2.5.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การวิเคราะห์คุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล จะใช้องค์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงเป็นหลัก (Fitzgerald. 1980) โดยแบ่งออกเป็นคุณสมบัติทางด้านเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ

2.5.3.1 คุณสมบัติทางด้านเคมี

1. การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) เป็นการวิเคราะห์แบบง่าย ๆ โดยการเผาเชื้อเพลิงภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงส่วนประกอบที่สำคัญบางอย่างของเชื้อเพลิง ได้แก่

- ความชื้น (Moisture content) คือ ปริมาณความชื้นต่อปริมาณของเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้ง ความชื้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลง และจะทำให้จุดติดไฟยาก เพราะสูญเสียความร้อนในการทำให้แห้ง และทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแตกร่วนได้ง่าย โดยที่ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่ง จะต้องไม่เกินร้อยละ 10 (Reed and Bryant. 1978 ; Mishra and Grover. 1996)

- ปริมาณเถ้า (Ash content) คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการเผาไหม้ภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุพวกอัลคาไลน์ (alkaline

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

minerals) เช่น SiO_2 Na_2O และ K_2O เป็นต้น โดยส่วนใหญ่ชีวมวลจะมีปริมาณเถ้าต่ำ ยกเว้นแกลบมีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 20 (Mishra and Grover. 1996)

- สารระเหย (Volatile matters) คือ ส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้งที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ

- คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) คือ มวลของคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังจากที่ระเหยสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 °C

- ค่าความร้อน (Calorific value or Heating value) ค่าความร้อนในการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2. การวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis) เป็นการวิเคราะห์หาส่วนประกอบของเชื้อเพลิง โดยจะรายงานเป็นปริมาณร้อยละของธาตุต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ %C, %N, %O, %S และ %Si เป็นต้น การวิเคราะห์แบบนี้ต้องทำการทดสอบโดยใช้เทคนิคขั้นสูงเพราะต้องหาค่าส่วนประกอบดังกล่าวอย่างละเอียด

2.5.3.2 คุณสมบัติทางด้านกายภาพ

เป็นการประเมินคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยศึกษาคุณสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น การทนแรงอัด และดัชนีการแตกร่วน เป็นต้น

เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเป็นองค์ประกอบสูง แต่มีสารระเหยได้ และปริมาณเถ้าต่ำ สำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความชื้นสูง จะมีผลทำให้มีค่าความร้อนต่ำ (สมชาย โอสุวรรณ และ กัญจนา บุณยเกียรติ. 2525 : 74-95) อย่างไรก็ตาม ชีวมวลที่ได้จากพืชมีคุณสมบัติที่ดีกว่าน้ำมันธรรมชาติ และถ่านหิน คือมีธาตุกำมะถันน้อย และไม่มีมลภาวะหรือสารพิษอื่น ๆ เช่น ปรอท ตะกั่ว นอกจากนี้ยังมีปริมาณเถ้าต่ำ (นารา พิทักษ์อรรณพ. 2529) เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีควรมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.7

ข้อดีของเชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถสรุปได้ ดังนี้ (Aqa. 1990)

1. มีขนาดและรูปร่างเป็นแบบเดียวกัน สามารถใช้ป้อนเป็นเชื้อเพลิงในทางอุตสาหกรรมได้อย่างต่อเนื่อง

2. มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สมบูรณ์

3. ปราศจากมลภาวะ เนื่องจากมีปริมาณกำมะถัน ฟอสฟอรัส และขี้เถ้าลอยถูกปล่อยออกมาในระหว่างการเผาไหม้น้อยมากหรืออาจไม่มีเลย จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมมลภาวะที่มีราคาสูง ในขณะที่ถ่านหินและน้ำมันจะมีกำมะถันเจือปนอยู่ราวร้อยละ 3 และอาจสูงถึง ร้อยละ 7

4. สะดวกต่อการเก็บ ขนส่ง และการนำมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติที่ดีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

คุณสมบัติ	ปริมาณ
คาร์บอนเสถียร (fixed carbon)	ไม่น้อยกว่า 75%
สารระเหยง่าย (volatile)	ไม่เกิน 25%
ขี้เถ้า (ash)	ไม่เกิน 8%
ความชื้น (moisture)	ไม่เกิน 10%
ค่าความร้อน (heating value)	ไม่น้อยกว่า 5,000 cal/g
ความพรุน (porosity)	สูง

ที่มา : พุฒินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ. 2546 ; มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

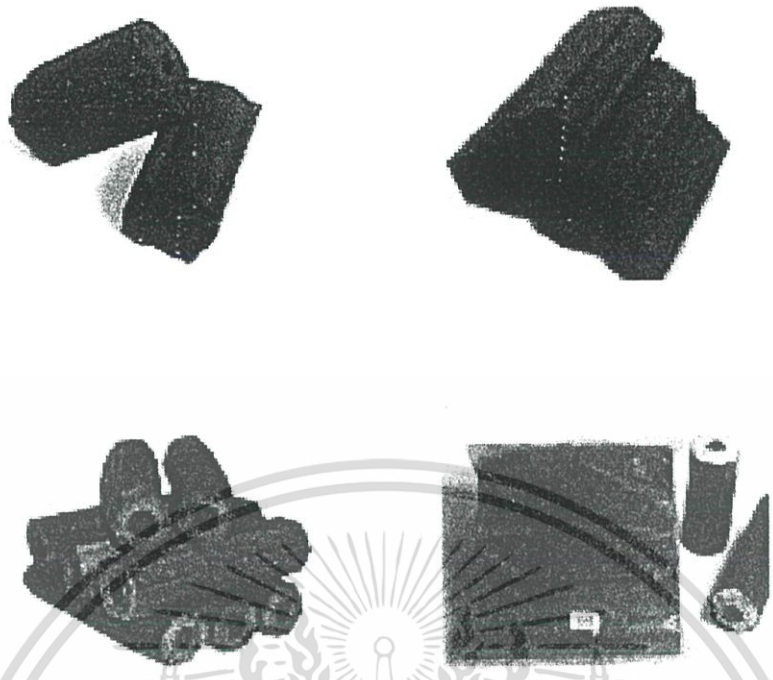
โดยทั่วไปเชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณลักษณะคล้ายฟืน มีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านมาก เวลาจุดมีควันมาก ถ้าใช้กับเตาปล่องจะช่วยลดควัน เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงเขียวมีค่าความหนาแน่น (density) ใกล้เคียง 1 ดังนั้น สามารถนำไปเผาเป็นถ่านได้ (carbonization) โดยจากการทดลองเผาแบบแกลบกลบ ใช้เวลาประมาณ 20-24 ชั่วโมง และถ่านที่ได้สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้ และให้ความร้อนได้สูง เชื้อเพลิงเขียวที่ใช้วัชพืช (ไมยราบยักษ์) สับเป็นชิ้นเล็ก ๆ ผสมกับลิกไนท์ผง 20-30% จะเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะกับโรงบ่มยาสูบ หากใช้ลิกไนท์ผงล้วน ๆ อัดแท่ง เถ้าจะจับตัวเป็นก้อนแตกยาก หากผสมชีวมวลจะช่วยให้เถ้าแตกง่าย (วัฒนา เสถียรสวัสดิ์. 2529)

2.5.4 ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด

ถ่านอัดแท่งที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันและมีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด แสดงดังรูปที่ 2.13 (นิรนาม. 2547) ได้แก่

- ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว เป็นถ่านที่ผลิตด้วยวิธีอัดแบบเย็น โดยใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมกับตัวประสาน
- ถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพารา เป็นถ่านที่ผ่านการอัดด้วยวิธีอัดแบบเย็น โดยใช้ไม้ยางพาราที่ผ่านการเผา และบดละเอียดแล้วอัดออกมาเป็นถ่านอัดแท่งผสมกับตัวประสาน
- ถ่านอัดแท่งจากขี้เลื่อย เป็นถ่านที่ผ่านการอัดด้วยวิธีอัดแบบร้อนโดยใช้ขี้เลื่อย ซึ่งนำมาจากโรงเลื่อยไม้ แล้วก็เผาออกมาเป็นถ่านอัดแท่ง
- ถ่านอัดแท่งจากแกลบ เป็นถ่านที่ผ่านการอัดแบบร้อน โดยใช้แกลบแล้วก็เผาออกมาเป็นถ่านอัดแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทองม้วน นาเสงี่ยม (2524) ได้ทำการศึกษาและวิจัยการทำถ่านจากใบฉำฉา โดยนำใบฉำฉาแห้งไปเผาให้เป็นถ่าน แล้วจึงนำถ่านใบฉำฉาไปคลุกกับน้ำแป้งมันสำปะหลังประมาณ 6 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก คลุกให้ทั่วแล้วนำไปอัดในกระบอกโลหะด้วยความดัน 115.1 kg/cm^2 เมื่อนำไปทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติกับถ่านไม้ พบว่าถ่านใบฉำฉามีคุณภาพต่ำอยู่ ความร้อนโดยประมาณได้เป็นครึ่งหนึ่งของถ่านไม้ ส่วนการติดไฟ พบว่าถ่านใบฉำฉาจะใช้ได้นานกว่าถ่านไม้

จารุวรรณ แสงสุวรรณวาว (2530) ได้ทำการศึกษาการทำเชื้อเพลิงเขียวจากเศษวัสดุเกษตร 3 ชนิด คือ กากอ้อย แกลบ และซังข้าวโพด โดยผสมกับกากส่าเหล้าและกากน้ำตาลเป็นตัวประสานแล้วอัดเป็นแท่งด้วยเครื่องอัดที่ทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 Hp เมื่อเปรียบเทียบกับฟืนและถ่านไม้มะขามเทศ ปรากฏว่าเชื้อเพลิงเขียวมีองค์ประกอบและคุณสมบัติคล้ายกับฟืน คือให้ค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 4,000 cal/g แต่ค่าความร้อนน้อยกว่าถ่านไม้มะขามเทศ ซึ่งให้ค่าความร้อน 7,390 cal/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัญจนา บุณยเกียรติ และเพียรพรรค ทัศคร (2532) ได้ทดลองหาตัวประสานที่เหมาะสมสำหรับแกลบ เช่น โมลาส แอสฟัสท์ แป้งเปียก ขี้ผึ้ง และปูนขาว (CaO) พบว่าโมลาสเป็นตัวประสานที่ไม่ดี เนื่องจากโมลาสดูดความชื้นได้ง่าย ทำให้การผลิตยุ่งยาก ส่วนแอสฟัสท์มีปริมาณกำมะถันสูง ทำให้เกิดกลิ่นเมื่อนำก้อนเชื้อเพลิงมาใช้งาน ดังนั้น การอัดแกลบกับขี้ผึ้ง และแป้งเปียกเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ แกลบร้อยละ 65 แป้งเปียกร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ที่ความดัน 277 kg/cm^2 เมื่อใช้ขี้ผึ้งสามารถใช้แกลบได้สูงถึงร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก ที่ความดัน 365 kg/cm^2 ขี้ผึ้งมีข้อดี คือ เพิ่มค่าความร้อนให้กับแท่งเชื้อเพลิง แต่มีข้อเสียคือ มีควันมากเมื่อติดไฟ

Wayne (1999) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากฝ้ายผสมเปลือก Pecan (ผลไม้เปลือกแข็ง) และเยื่อกระดาษ พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากฝ้ายผสมเปลือก Pecan มีความทนทานมากกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเยื่อกระดาษ แต่เชื้อเพลิงจากเยื่อกระดาษมีระยะเวลาในการเผาไหม้นานที่สุด และมีปริมาณเถ้าต่ำกว่า

Ooi and Siddiqui (2000) ได้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวลต่าง ๆ เช่น แกลบ เปลือกถั่วลิสง ใยมะพร้าว และเส้นใยปาล์ม ทำการอัดแท่งภายใต้ความดัน 5-7 MPa โดยศึกษาถึงความแข็งและคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากแกลบ มีคุณสมบัติดีที่สุดในด้านความแข็งแรง และความทนทานในระหว่างการขนส่ง

Ndiema, C.K.W. et.al. (2001) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวล รวมทั้งวัสดุที่เหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม โดยพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการอัดแท่งเชื้อเพลิง ศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณลักษณะของแท่งเชื้อเพลิง (ความยาว และความพรุน) นอกจากนี้ยังศึกษาความดันในการอัดแท่งซึ่งมีผลต่อความพรุน (ช่องว่างภายในแท่งเชื้อเพลิง) คือเมื่อความดันในการอัดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ช่องว่างภายในแท่งเชื้อเพลิงลดลง เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ความดัน ไม่มีผลต่อขนาดความยาวของแท่งเชื้อเพลิง

Yaman, S. et.al. (2002) ได้ทดลองอัดแท่ง olive refuse และของเสียจากโรงงานกระดาษโดยบดย่อยวัตถุดิบ แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร ก่อนอัดแท่งด้วยระบบไฮโดรลิคที่ความดันในช่วง 150-250 MPa ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีขนาดความยาว 100 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร โดยศึกษาถึงคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจาก olive refuse มีค่าความชื้น, ปริมาณเถ้า, ปริมาณสารระเหย, ค่าความร้อน, %C, %H และ %N เท่ากับ 7.5%, 5.0%, 67.5%, 5,113 cal/g, 39.0%, 4.8% และ 1.5% ตามลำดับ และเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียจากโรงงานกระดาษเท่ากับ 9.0%, 15.5%, 65.55%, 3,224 cal/g, 35.2%, 4.9% และ 0.2% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Husain, Z. et.al. (2002) ได้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกะลาปาล์มที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นน้ำมันปาล์ม โดยอัดแท่งที่ความดันระหว่าง 5–13.5 MPa ด้วยระบบไฮดรอลิก (hydraulic press) ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40, 50 และ 60 มิลลิเมตร และศึกษาถึงคุณสมบัติด้านต่าง ๆ พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีความหนาแน่นระหว่าง 1,100 และ1,200 kg/m^2 มีค่าความร้อน 3,917 cal/g ปริมาณเถ้า 6% และค่าความชื้น 12%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. กากชาเขียว (บริษัท ยูนิ-เพรสซิเดนท์ (ประเทศไทย) จำกัด จ.นครปฐม)
2. กรดเบนโซอิก (Benzoic acid) (บริษัท Carlo Erba Reagent, เกรดวิเคราะห์)
3. เมทิลออเรนจ์ (Methyl orange) (บริษัท Carlo Erba Reagent, เกรดวิเคราะห์)
4. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) (บริษัท Carlo Erba Reagent, เกรดวิเคราะห์)
5. แบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) (บริษัท Carlo Erba Reagent, เกรดวิเคราะห์)
6. แป้งมันสำปะหลัง ตรามังกร (เกรดอาหาร)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องบด (Grinding Machine), บริษัท อุตสาพัฒนเศรษฐกิจ จำกัด, ประเทศไทย
2. เครื่องอัดเชื้อเพลิงแท่ง, บริษัท อุตสาพัฒนเศรษฐกิจ จำกัด, ประเทศ ไทย
3. เครื่องวัดอุณหภูมิ (Digital Thermometer), Yokogawa Co. Ltd., ประเทศเกาหลี
4. เครื่อง Energy Dispersive Spectrometer (EDS), Leo Co., Ltd. รุ่น 1455 VP, ประเทศ อังกฤษ
5. เครื่อง Automatic Bomb Calorimeter ของ SANYO GALLENKEMP PLO Model: CBA-350-K, ประเทศ เยอรมัน
6. เตาเผา (Muffle Furnace), Thermulyne 6000, ประเทศ เยอรมัน
7. ตู้อบ (Drying Oven), Memmert, ประเทศ เยอรมัน
8. เครื่องดูดความชื้น (Desiccator)
9. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง, บริษัท Sartorius AG GTTINGEN, ประเทศ เยอรมัน
10. เครื่อง Universal Testing Machine, LLOYD, รุ่น LR 30 K
11. เครื่องชั่งน้ำหนัก (หน่วยเป็นกิโลกรัม)
12. แผ่นให้ความร้อน (Hot Plate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ตะเกียงบุนเสนพร้อมขาตั้ง
14. เตาอั้งโล่
15. หม้อต้มน้ำ
16. นาฬิกาจับเวลา
17. ครูซิเบิล (Crucible) พร้อมฝาปิด
18. อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ
19. กระดาษกรองเบอร์ 1 และเบอร์ 42
20. กระดาษทดสอบพีเอช (pH paper)

3.2 การดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แสดงดังรูปที่ 3.1 ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมี และกายภาพของกากชาเขียว

3.2.1.1 การเตรียมตัวอย่างกากชาเขียว นำตัวอย่างกากชาเขียวที่ผ่านกระบวนการผลิตเครื่องดื่มประเภทชา (มีลักษณะเปียก) ไปตากแห้งประมาณ 1 วัน เก็บในถุงพลาสติก มัดปากถุงให้แน่น แล้วขนส่งกลับมายังห้องทดลอง จากนั้นทดสอบหาค่าความชื้นในตัวอย่างกากชาเขียว ถ้าความชื้นมีมากกว่าร้อยละ 10 ให้นำไปตากแดดเพื่อลดความชื้นจนกว่าจะได้ค่าความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ10 เก็บตัวอย่างไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

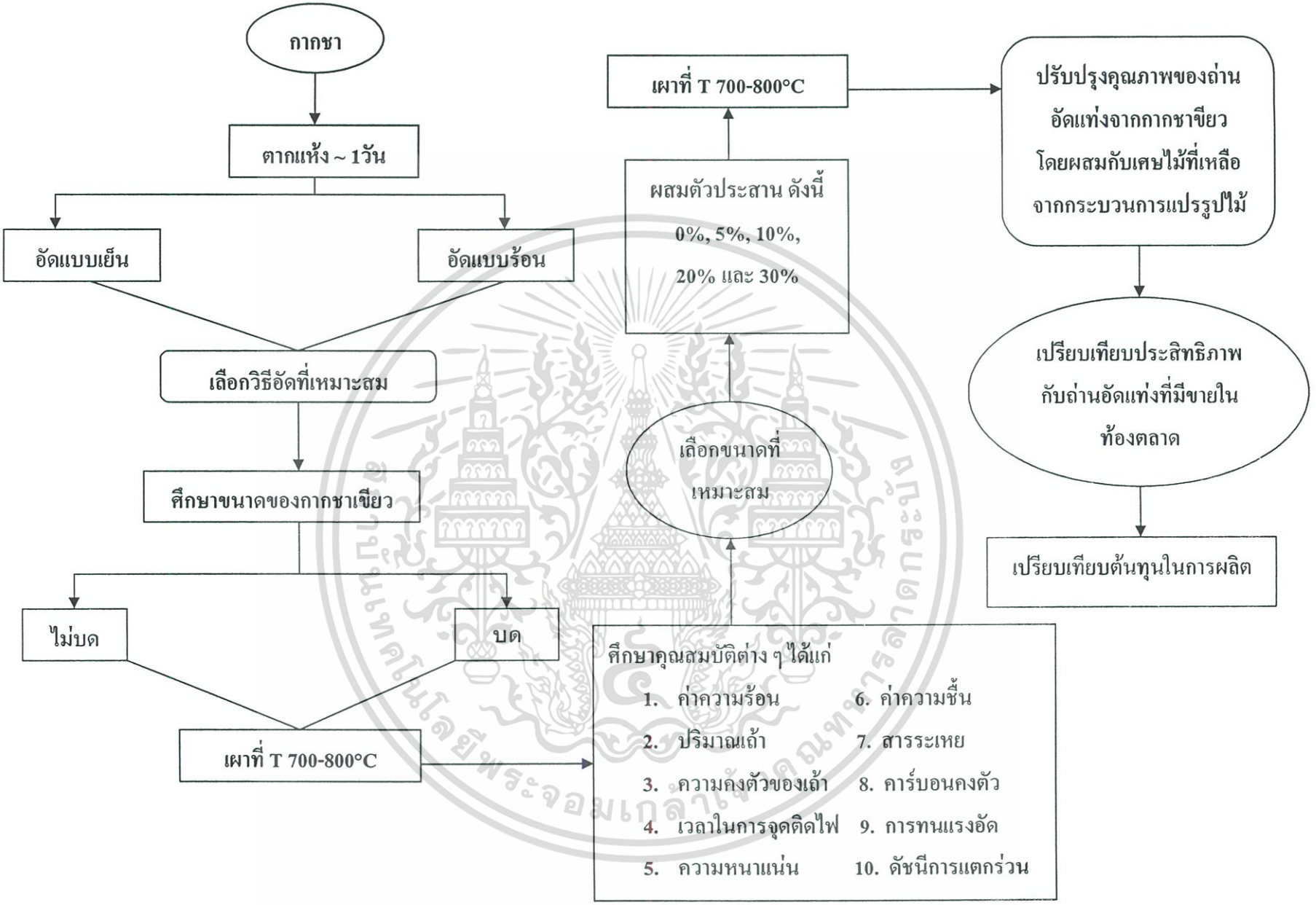
3.2.1.2 การศึกษาคุณสมบัติกากชาเขียวก่อนนำไปผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง

1. วิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis) เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางด้านเคมีของกาก-ชาเขียวด้วยเครื่อง Energy Dispersive Spectrometer (EDS)

2. วิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมี ตามวิธีมาตรฐาน ASTM (ภาคผนวก ก) ได้แก่

- ปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173
- ปริมาณเถ้า (Ash content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174
- ปริมาณสารระเหย (Volatile matters) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3175
- ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3176
- ค่าความร้อน (Calorific value) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว

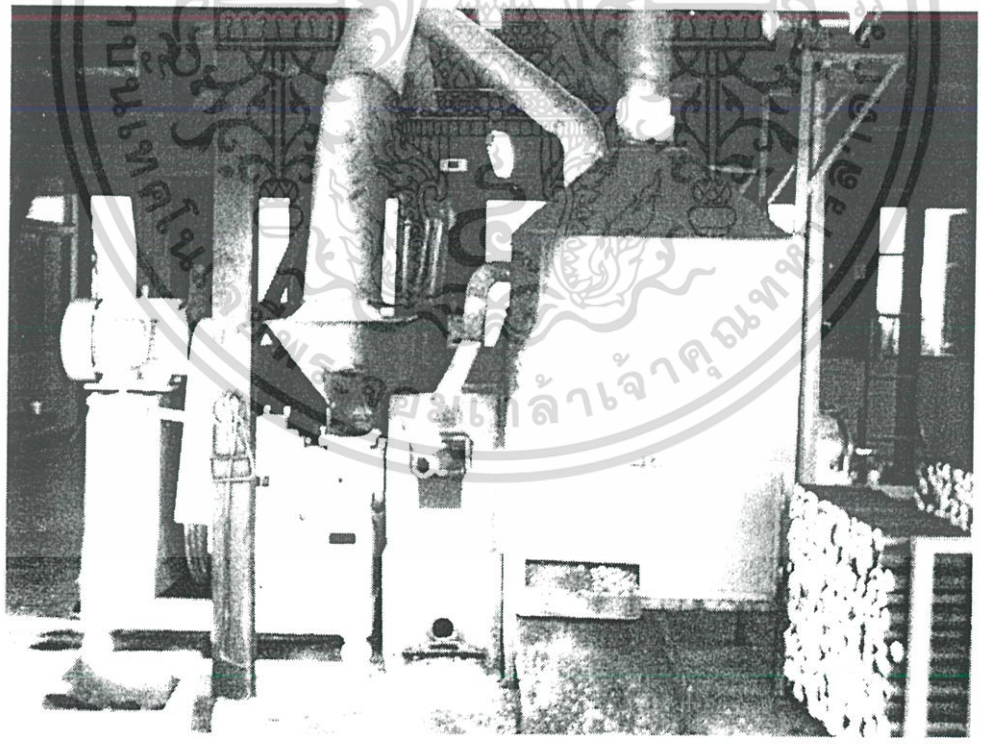
3.2.2 ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบร้อนและอัดแบบเย็น

3.2.2.1 การอัดกากชาเขียวเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบร้อน

สภาวะที่ในการอัดกากชาเขียวโดยวิธีการอัดแบบร้อน

วัตถุดิบ	:	กากชาเขียว 2 กิโลกรัม (จากข้อ 3.2.1.1)
เครื่องอัดแท่ง	:	แบบเกลียวมีการให้ความร้อน (Screw press)
มอเตอร์ขับ	:	ไฟฟ้า 3 phase มอเตอร์กำลัง 10 แรงม้า
อุณหภูมิของ	:	อุณหภูมิอยู่ในช่วง 250 - 300 ° C
เครื่องทำความร้อน		เป็นการให้ความร้อนโดยใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากแกลบ
แรงดันไฟฟ้า	:	ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 200 – 220 V 50 Hz

วิธีการอัดแท่งทำโดยนำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ เข้าเครื่องอัดแท่งแบบใช้ความร้อน (รูปที่ 3.2) จากนั้นเกลียวที่หมุนด้วยมอเตอร์กำลัง 10 แรงม้า จะบีบอัดกากชาเขียวเข้าไปยังกระบอกอัดที่ร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิในช่วง 200-350 °C จากนั้นวัตถุดิบจะถูกดันออกมาอย่างต่อเนื่องทางรางที่รองรับไว้ที่ปลายกระบอกอัดอีกข้างหนึ่ง จะได้แท่งเชื้อเพลิงยาวประมาณ 30 เซนติเมตร



รูปที่ 3.2 เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวโดยวิธีอัดแบบร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 การอัดกากชาเขียวเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบเย็น

สภาวะที่ใช้ในการอัดกากชาเขียวโดยวิธีอัดแบบเย็น

วัตถุดิบ	:	กากชาเขียว 2 กิโลกรัม (จากข้อ 3.2.1.1)
เครื่องอัดแท่ง	:	แบบเกลียวไม่มีการให้ความร้อน (Screw press)
มอเตอร์ขับ	:	ไฟฟ้า 1 phase มอเตอร์กำลัง 5 แรงม้า
แรงดันไฟฟ้า	:	ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 200 – 220 V 50 Hz
ขนาดกระบอกอัด	:	ยาว 27.5 เซนติเมตร

วิธีการอัดแท่งทำโดยนำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ ผสมกับน้ำประมาณ 2 กิโลกรัม เพื่อให้ความชื้นเพิ่มเป็นประมาณ 40-50 % ใส่เข้าเครื่องอัดแท่งแบบไม่ใช้ความร้อน (รูปที่ 3.3) จากนั้นเกลียวที่หมุนด้วยมอเตอร์กำลัง 5 แรงม้า จะบีบอัดกากชาเขียวเข้าไปยังกระบอกอัด จากนั้นวัตถุดิบจะถูกดันออกมาอย่างต่อเนื่องทางรางที่รองรับไว้ที่ปลายกระบอกอัดอีกข้างหนึ่ง จะได้แท่งเชื้อเพลิงยาวประมาณ 50-60 เซนติเมตร แล้วตัดแท่งเชื้อเพลิงให้มีขนาดประมาณ 10 เซนติเมตร แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อไล่ความชื้น

รูปที่ 3.3 เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวโดยวิธีอัดแบบเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

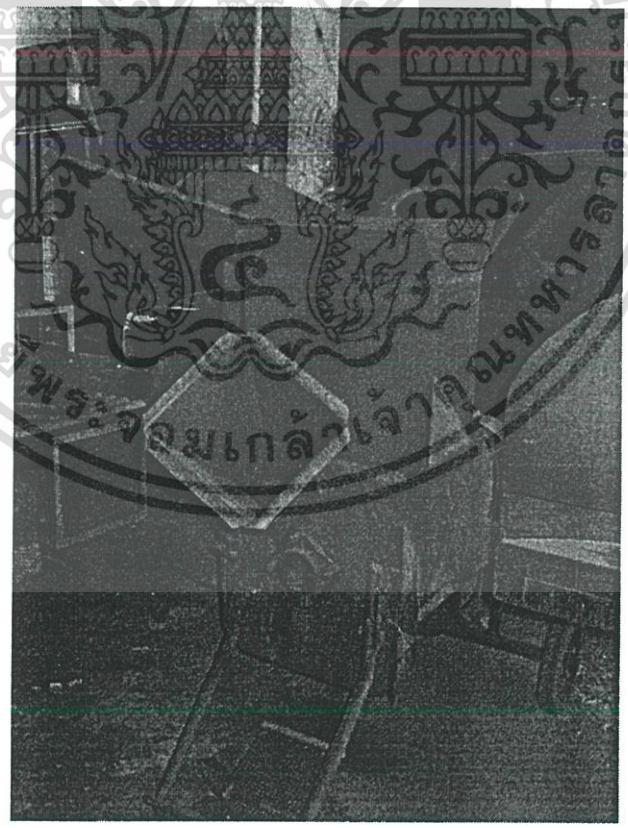
3.2.2.3 การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยวิธีอัดแบบร้อนและอัดแบบเย็น

นำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้จากวิธีทั้งอัดแบบร้อน และอัดแบบเย็นมาศึกษาหาคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และเคมีขั้นพื้นฐานที่สำคัญของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังนี้

- ปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173
- ค่าความร้อน (Calorific value) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2015
- ความหนาแน่น (Density)
- เวลาในการจุดติดไฟ
- การทนแรงอัด (Compressive Strength) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D1621

3.2.3 การศึกษาขนาดของกากชาเขียวที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง

1. แบ่งกากชาเขียวออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ไม่บด และส่วนที่ 2 นำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด (grinding machine) (รูปที่ 3.4) แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ เพื่อหาขนาดของกากชาเขียวที่ผ่านการบดละเอียด



รูปที่ 3.4 เครื่องบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำกากชาเขียวแบบไม่บดและแบบบดละเอียด อย่างละ 2 กิโลกรัม ไปทำการอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้วิธีอัดที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.2

3. เปรียบเทียบความแตกต่างในด้านความยากง่ายของการอัดกากชาเขียวทั้ง 2 แบบ

4. ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของกากชาเขียวอัดแท่ง ได้แก่ ความเรียบของผิวภายนอกของกากชาเขียวอัดแท่ง ความสวยงาม ความคงรูป และการอัดตัวกันแน่นของกากชาเขียวอัดแท่ง

5. นำกากชาเขียวอัดแท่งมาเผาที่อุณหภูมิ 700 – 800 °C ให้กลายเป็นถ่าน ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วจึงนำถ่านอัดแท่งออกจากเตา และเก็บไว้ในถุงพลาสติก ปิดปากถุงให้แน่น เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และเคมี

6. ทดสอบคุณสมบัติทางด้านเคมี โดยทำการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) (ภาคผนวก ก) ดังนี้

- ปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173
- ปริมาณเถ้า (Ash content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174
- ปริมาณสารระเหย (Volatile matters) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3175
- ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3176
- ค่าความร้อน (Calorific value) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2015

7. ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ (ภาคผนวก ก) ดังนี้

- ความคงตัวของเถ้า
- เวลาในการจุดติดไฟ
- ความหนาแน่น (Density)
- การทนแรงอัด (Compressive Strength) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D1621
- ดัชนีการแตกร่วน ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3038

3.2.4 การศึกษาสัดส่วนของตัวประสานที่มีผลต่อการขึ้นรูปของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว

งานวิจัยนี้ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติเป็นตัวประสานที่ดี และหาได้ง่าย (กัญจนา บุญเกียรติ และเพียรพรรค ทัศดร. 2532)

1. นำกากชาเขียวขนาดที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.2.3 ทำการอัดแท่งโดยใช้วิธีอัดที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้อ 3.2.2 โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่สัดส่วนของตัวประสานต่าง ๆ ดังนี้

- สัดส่วนของกากชาเขียวต่อแป้งมันสำปะหลัง = 10 : 0
- สัดส่วนของกากชาเขียวต่อ แป้งมันสำปะหลัง = 9.5 : 0.5
- สัดส่วนของกากชาเขียวต่อแป้งมันสำปะหลัง = 9 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สัดส่วนของ กากชาเขียวต่อแป้งมันสำปะหลัง = 8 : 2
- สัดส่วนของกากชาเขียวต่อแป้งมันสำปะหลัง = 7 : 3

2. ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และเคมี เพื่อหาสัดส่วนของตัวประสานที่เหมาะสม เช่นเดียวกับข้อ 3.2.3

3. วิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis) เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางด้านเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว ด้วยเครื่อง Energy Dispersive Spectrometer (EDS)

4. เปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว กับมาตรฐานของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน และชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์ และพลังงานจากไม้

3.2.5 การปรับปรุงคุณภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว โดยใช้เศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้

1. ปรับปรุงคุณภาพถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว โดยใช้ขนาดของกากชาเขียวที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้อ 3.2.3 และตัวประสานที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.4 ทำการอัดแท่ง โดยใช้วิธีอัดแท่งที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้อ 3.2.2 โดยผสมกับเศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้ในสัดส่วนของเศษไม้ ดังนี้

- สัดส่วนของกากชาเขียวผสมตัวประสานต่อเศษไม้ = 9.5 : 0.5
- สัดส่วนของกากชาเขียวผสมตัวประสานต่อเศษไม้ = 9 : 1
- สัดส่วนของกากชาเขียวผสมตัวประสานต่อเศษไม้ = 8 : 2
- สัดส่วนของกากชาเขียวผสมตัวประสานต่อเศษไม้ = 7 : 3

2. นำถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว และถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด มาเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านกายภาพ และเคมี เช่นเดียวกับข้อ 3.2.3

3.2.6 การเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว กับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด

ศึกษาต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวเปรียบเทียบกับราคาถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาดที่ใช้วัสดุธรรมชาติชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของกากชาเขียว

ผลการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) และวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis) เพื่อหาคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากชาเขียว ที่ผ่านการตากแดด 1 วัน เพื่อไล่ความชื้น แสดงดังตารางที่ 4.1 (ตารางที่ ข.1-ข.5, ภาคผนวก ข) และ 4.2 (ตารางที่ ข.11, ภาคผนวก ข) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางด้านเคมีของกากชาเขียว

คุณสมบัติ	กากชาเขียว
ความชื้น (ร้อยละ)	8.57 ± 0.67
เถ้า (ร้อยละ)	7.10 ± 0.20
สารระเหย (ร้อยละ)	75.43 ±0.35
คาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)	8.90 ± 1.01
ค่าความร้อน (cal/g)	4,390

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางด้านเคมีของกากชาเขียว วิเคราะห์โดยเครื่อง EDS

องค์ประกอบทางด้านเคมี	กากชาเขียว (ร้อยละ)	เนื้อไม้ (ร้อยละ)*	ถ่านหิน (ร้อยละ)**
คาร์บอน (C)	66.32 ± 3.21	50-55	75.50
ออกซิเจน (O)	27.70 ±3.00	40-45	4.90
ไนโตรเจน (N)	4.94± 0.89	1	5.00
ซัลเฟอร์ (S)	0.07 ± 0.06	-	2.90
แมกนีเซียม (Mg)	0.25 ± 0.17	-	-
ซิลิกอน (Si)	0.11 ± 0.08	-	-
โพแทสเซียม (K)	0.63± 0.57	-	-

* Karchesy and Koch. 1979 ; **นิรนาม. 2548

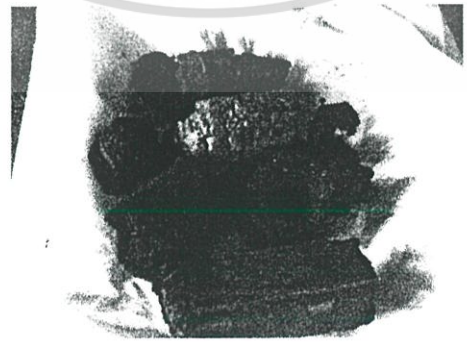
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติทางด้านเคมีของกากชาเขียว (ตารางที่ 4.1) พบว่า ความชื้นของกากชาเขียวมีค่าน้อยกว่าร้อยละ10 ซึ่งสามารถนำมาอัดแท่งได้โดยวิธีอัดแบบร้อน ส่วนอัดแบบเย็นต้องเพิ่มความชื้น โดยการผสมน้ำให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 40-50 เถ้าของกากชาเขียวมีค่าร้อยละ 7.1 ซึ่งถือว่ายังมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับไม้ ซึ่งมีเถ้าไม่เกินร้อยละ 5 (พุฒินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ. 2546) ทำให้เมื่อเผาไหม้แล้วเหลือเถ้าปริมาณมาก ปริมาณสารระเหยของกากชาเขียวยังมีปริมาณสูง ทำให้เมื่อเผาไหม้แล้วเกิดควันมาก คาร์บอนคงตัวของกากชาเขียวมีปริมาณน้อย ทำให้มีค่าความร้อนน้อย ซึ่งค่าความร้อนของกากชาเขียวมีค่า 4,390 cal/g ซึ่งใกล้เคียงกับฟางข้าว ต้นมันสำปะหลัง ชานอ้อย ขุยมะพร้าว แต่มีค่ามากกว่า ผักตบชวา แกลบ และเหง้ามันสำปะหลัง (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม. 2548) นั่นคือ กากชาเขียวไม่เหมาะที่จะนำมาเผาเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง อย่างไรก็ตาม จากองค์ประกอบทางด้านเคมี (ตารางที่ 4.2) พบว่า กากชาเขียวมีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 66.32 ออกซิเจนร้อยละ 27.70 และไนโตรเจนร้อยละ 4.94 เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบของเนื้อไม้แล้วพบว่า กากชาเขียวมีองค์ประกอบของคาร์บอนและไนโตรเจนสูงกว่าเนื้อไม้ แต่มีออกซิเจนต่ำกว่าเนื้อไม้ (Karchesy and Koch. 1979) และมีซัลเฟอร์ปริมาณน้อย จึงทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) น้อยกว่าถ่านหิน ดังนั้น กากชาเขียวมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่สามารถนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งได้

4.2 ผลการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบร้อนและวิธีอัดแบบเย็น

4.2.1 การอัดกากชาเขียวเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบร้อน

ผลการอัดกากชาเขียวให้เป็นแท่งเชื้อเพลิงโดยวิธีอัดแบบร้อน พบว่ากากชาเขียวสามารถอัดเป็นแท่งได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 300-370 °C อย่างไรก็ตาม กากชาเขียวจะถูกดันออกมาจากกระบอกอัดอย่างไม่ต่อเนื่อง จึงได้แท่งเชื้อเพลิงมีขนาดแตกต่างกัน กำหนดขนาดความยาวที่ต้องการได้ยาก (รูปที่ 4.1) แท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีลักษณะแข็งและรอยแตกร้าว ทำให้ดูไม่น่าใช้งาน

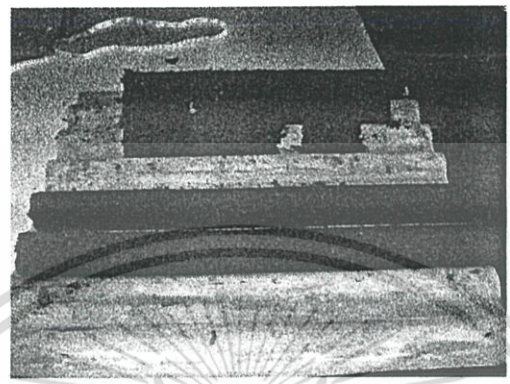


รูปที่ 4.1 กากชาเขียวอัดแท่งที่ผลิตโดยวิธีอัดแบบร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การอัดกากชาเขียวเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบเย็น

ผลการอัดกากชาเขียวให้เป็นแท่งเชื้อเพลิงโดยวิธีอัดแบบเย็น พบว่ากากชาเขียวสามารถอัดเป็นแท่งได้ดี โดยแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีลักษณะผิวค่อนข้างเรียบ สามารถอัดขึ้นรูปได้ตามลักษณะของกระบอกอัด ดังรูปที่ 4.2 ทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีลักษณะน่าใช้งาน



รูปที่ 4.2 กากชาเขียวอัดแท่งที่ผลิตโดยวิธีอัดแบบเย็น

4.2.3 ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยวิธีอัดแบบร้อนและวิธีอัดแบบเย็น

ผลการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยวิธีอัดแบบร้อนและวิธีอัดแบบเย็น แสดงดังตารางที่ 4.3 (ตารางที่ ข.1,3,5,7-9, ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยวิธีอัดแบบร้อนและอัดแบบเย็น

คุณสมบัติ	วิธีอัดแบบร้อน	วิธีอัดแบบเย็น
ความชื้น (ร้อยละ)	6.17 ± 0.25	6.37 ± 0.38
สารระเหย (ร้อยละ)	75.13 ± 0.85	75.70± 0.52
ค่าความร้อน (cal/g)	4,300	4,360
ความหนาแน่น (g/cm^3)	1.14 ± 0.06	0.59 ± 0.03
ระยะเวลาในการจุดติดไฟ (นาที)	5.33 ± 0.67	2.50 ± 0.26
การทนแรงอัด (kg/cm^2)	44.30 ± 0.10	42.27± 0.25

จากตารางที่ 4.3 พบว่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ใช้วิธีอัดแบบร้อนมีค่ามากกว่าวิธีอัดแบบเย็น ทำให้การจุดติดไฟของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดร้อนสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดติดไฟได้ไม่ดีเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเย็น ส่วนปริมาณความชื้น ค่าความร้อน และการทนแรงอัด พบว่าทั้งวิธีการอัดแบบร้อน และอัดแบบเย็นมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตโดยวิธีทั้งสองวิธีเมื่อจุดติดไฟจะมีควันมาก เนื่องจากยังคงมีปริมาณสารระเหยสูง ถึงแม้ว่าคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากการอัดโดยวิธีทั้งสองจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดเย็นสามารถจุดติดไฟได้ง่าย และมีรูปร่างน่าใช้ ดังนั้น การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียว โดยวิธีการอัดแบบเย็นจึงเหมาะกว่าการอัดโดยวิธีอัดแบบร้อน

4.3 ผลการศึกษาขนาดของกากชาเขียว

ขนาดและปริมาณของกากชาเขียวแบบบดละเอียดด้วยเครื่องบดย่อย หลังจากร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ขนาดของกากชาเขียว

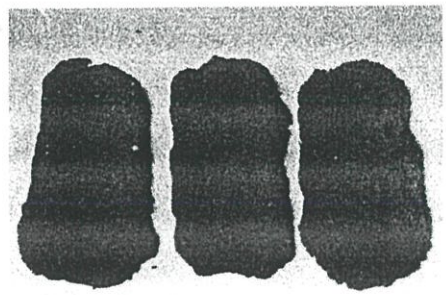
ขนาดของตะแกรงร่อน	ร้อยละของกากชาเขียวที่ร่อนผ่านตะแกรง
12 - 35 mesh	91
35 - 50 mesh	5
50 - 80 mesh	2.5
80 - 100 mesh	1.2
>100 mesh	0.3

จากตารางที่ 4.4 พบว่ากากชาเขียวที่บดละเอียดมีขนาด 12–35 mesh ร้อยละ 91 ส่วนขนาดอื่น ๆ จะมีปริมาณเล็กน้อย ดังนั้น ในการทดลองต่อไปจึงไม่คัดแยกขนาดของกากชาเขียวแบบบดละเอียด เนื่องจากกากชาที่บดละเอียดมีขนาดใกล้เคียงกัน และเป็นการใช้ประโยชน์จากกากชาทั้งหมด

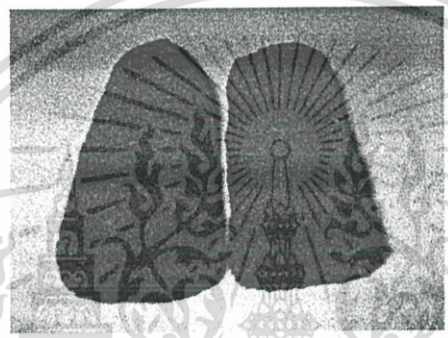
จากผลการทดลองในการอัดกากชาเขียวทั้งแบบไม่บดและแบบบดโดยวิธีอัดแบบเย็น พบว่ากากชาเขียวแบบไม่บดจะได้แท่งกากชาเขียวที่มีรอยแตกร้าวมากกว่ากากชาเขียวแบบบด และอัดตัวเป็นแท่งได้ยากกว่ากากชาเขียวแบบบด (รูปที่ 4.3) เนื่องจากขนาดที่ไม่เท่ากันของกากชาเขียวแบบไม่บด ทำให้แท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน ทำให้แท่งกากชาเขียวที่ได้มีลักษณะผิวไม่เรียบ ทำให้ต้องอัดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ซึ่งทำให้เสียพลังงานในการอัดเพิ่มขึ้น และทำให้คุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงจากกากชาเขียว
(ก) กากชาแบบไม่บด (ข) กากชาแบบบด

ผลของการเผากากชาเขียวอัดแท่งให้กลายเป็นถ่านอัดแท่ง พบว่าเมื่อเผาแล้วจะได้น้ำหนักของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่เหลือหลังจากเผาประมาณร้อยละ 50 (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 น้ำหนักถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ได้จากการเผาเชื้อเพลิงอัดแท่ง

	ก่อนเผา (กรัม/แท่ง)	หลังเผา (กรัม/แท่ง)	ร้อยละของน้ำหนักถ่านที่ได้หลังเผา
กากชาเขียวแบบบด	101.25 ± 8.54	52.50 ± 6.45	51.85

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านเคมี และกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว แสดงดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ พบว่าคุณสมบัติทางด้านเคมี ได้แก่ ค่าความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว ค่าความร้อน และคุณสมบัติทางด้านกายภาพ ได้แก่ ความคงตัวของเถ้า ระยะเวลาใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีความหนาแน่น การทนแรงอัด และดัชนีการแตกร่วนแตกต่างกัน นั่นคือ ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดมีความหนาแน่นมากกว่าแบบไม่บด ทำให้มีข้อดีคือ สามารถติดไฟได้นานและทนแรงอัดได้ดีกว่าถ่านอัดแท่งแบบไม่บด อย่างไรก็ตาม ความหนาแน่นต้องมีค่าไม่มากเกินไปจนทำให้จุดติดไฟยาก สำหรับค่าดัชนีการแตกร่วน พบว่าถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดละเอียดมีค่าดัชนีการแตกร่วนเข้าใกล้ 1 แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจับตัวเป็นก้อนได้ดีกว่ากากชาเขียวแบบไม่บดที่มีค่าดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ 0.17 ซึ่งสอดคล้องกับ Eriksson, S. และ Prior, M. (1990) ที่กล่าวว่า ในการทดสอบความแข็งแรงของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าดัชนีการแตกร่วนเป็นศูนย์ แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งไม่จับตัวกัน แตกง่าย ทำให้คุณภาพไม่ดี แต่ถ้ามีค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน ดังนั้น กากชาเขียวแบบบดเหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง เนื่องจากอัดง่าย มีผิวเรียบน่าใช้ และไม่แตกร่วนง่าย เหมาะสำหรับผลิตเพื่อใช้เป็นการค้า

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบไม่บดและแบบบด

คุณสมบัติ	แบบไม่บด	แบบบด
ความชื้น (ร้อยละ)	5.57 ± 0.32	5.03 ± 0.15
เถ้า (ร้อยละ)	7.47 ± 0.31	7.83 ± 0.25
สารระเหย (ร้อยละ)	21.50 ± 0.40	21.30 ± 0.70
คาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)	65.47 ± 0.40	65.70 ± 0.96
ค่าความร้อน (cal/g)	5,869	5,980

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบไม่บดและแบบบด

คุณสมบัติ	แบบไม่บด	แบบบด
ความคงตัวของเถ้า	เถ้าไม่คงตัว	เถ้าไม่คงตัว
ระยะเวลาในการจุดติดไฟ (นาที)	1.06 ± 0.04	1.25 ± 0.05
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.43± 0.03	0.55 ± 0.03
การทนแรงอัด (kg/cm^2)	30.33± 0.15	34.00 ± 0.70
ดัชนีการแตกร่วน	0.17 ± 0.06	0.91 ± 0.01
ลักษณะของถ่าน	พื้นผิวไม่เรียบ	พื้นผิวเรียบสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการอัดแท่งกากชาเขียวโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน

นำกากชาเขียวที่ผ่านการบดแล้วมาอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบเย็น โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ในอัตราส่วนของกากชาเขียวแบบบดต่อแป้งมันสำปะหลังที่สัดส่วนต่าง ๆ ดังนี้ คือ 10:0, 9.5:0.5, 9:1, 8:2 และ 7:3 พบว่าที่อัตราส่วนของตัวประสานต่าง ๆ จะมีคุณสมบัติทางด้านเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพแสดงดังตารางที่ 4.8 (ตารางที่ ข.1-ข.5, ภาคผนวก ข) และ 4.9 (ตารางที่ ข.6-ข.10, ภาคผนวก ข) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่สัดส่วนของตัวประสานต่าง ๆ

คุณสมบัติ	สัดส่วนของแป้งมันสำปะหลัง				
	10:0	9.5:0.5	9:1	8:2	7:3
ความชื้น (ร้อยละ)	5.03±0.15	5.20±0.26	6.43±0.15	5.90±0.30	5.63±0.21
เถ้า (ร้อยละ)	7.83±0.25	7.67±0.21	7.93±0.15	7.57±0.21	7.30±0.17
สารระเหย (ร้อยละ)	21.30±0.70	20.10±0.46	22.23±0.35	20.43±0.15	19.77±0.47
คาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)	65.70 ±0.96	66.67±0.35	63.38±0.42	66.10±0.10	65.23±1.07
ค่าความร้อน (cal/g)	5,980	6,110	5,880	5,960	6,000

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่สัดส่วนของตัวประสานต่าง ๆ

คุณสมบัติ	สัดส่วนของแป้งมันสำปะหลัง				
	10:0	9.5:0.5	9:1	8:2	7:3
ความคงตัวของเถ้า (คงตัว/ไม่คงตัว)	ไม่คงตัว	ไม่คงตัว	ไม่คงตัว	ไม่คงตัว	ไม่คงตัว
ระยะเวลาในการจุดติดไฟ (นาที)	1.25±0.05	1.28±0.08	1.30±0.06	1.40±0.06	1.42±0.04
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.55±0.03	0.56±0.03	0.52±0.02	0.57±0.08	0.55±0.06
การทนแรงอัด (kg/cm^2)	34.00 ± 0.70	35.57±0.35	34.83±2.41	37.07±0.59	34.57±0.70
ดัชนีการแตกร่วน	0.91 ± 0.01	0.98± 0.01	0.98± 0.01	0.99± 0.01	0.98± 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่สัดส่วนกากชาเขียวต่อแป้งมันสำปะหลังต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.10 (ตารางที่ ข.12-ข.16, ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผสมแป้งมันสำปะหลังในสัดส่วนต่าง ๆ พบว่า องค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ซิลิกอน (Si) คลอรีน (Cl) โพแทสเซียม (K) และอลูมิเนียม (Al) มีค่าใกล้เคียงกัน และลักษณะพื้นผิวของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว มีลักษณะใกล้เคียงกัน จากผลการทดลอง พบว่าการผสมแป้งมันสำปะหลังไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมี เนื่องจากในองค์ประกอบของใบชาประกอบด้วยเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน ถึงแม้ว่าจะใช้วิธีอัดแบบเย็น แต่อุณหภูมิในกระบอกอัดจะประมาณ 60-90 °C ซึ่งจะทำให้เซลลูโลส และลิกนิน หลอมเยิ้มได้ (Rougerie. 1980) อย่างไรก็ตาม พบว่าขั้นตอนการอัดแบบไม่ใช้ตัวประสานจะอัดยากกว่าแบบใช้ตัวประสาน ผิวของแท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้ไม่เรียบ ทำให้ต้องทำการอัดซ้ำ ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้นจึงใช้แป้งมันสำปะหลัง 5% เป็นตัวประสาน

ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบทางด้านเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว วิเคราะห์โดยเครื่อง EDS

องค์ประกอบทางด้านเคมี	ถ่านอัดแท่งที่ผสมแป้งมันในสัดส่วนต่าง ๆ				
	10:0	9.5:0.5	9:1	8:2	7:3
คาร์บอน (C)	75.71±0.08	74.92±0.64	74.54±0.19	76.21±0.35	76.66±0.05
ออกซิเจน (O)	14.26±0.26	15.68±0.23	14.84±0.42	14.44±0.29	15.06±0.61
ไนโตรเจน (N)	4.74±0.35	5.38±0.03	5.75±0.34	4.80±0.20	4.80±0.21
ซิลิกอน (Si)	0.34±0.02	0.33±0.02	0.43±0.03	0.16±0.01	0.22±0.01
คลอรีน (Cl)	1.09±0.08	0.57±0.05	0.26±0.02	1.07±0.04	0.55±0.05
โพแทสเซียม (K)	2.90±0.01	2.28±0.02	3.66±0.18	2.45±0.09	1.94±0.11
อลูมิเนียม (Al)	0.45±0.04	0.46±0.03	0.50±0.03	0.38±0.01	0.46±0.02
ซัลเฟอร์ (S)	0.64±0.03	0.55±0.02	0.66±0.03	0.57±0.04	0.41±0.04

ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเคมี และกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดที่สัดส่วนของกากชาเขียวต่อแป้งมันสำปะหลัง 9.5 : 0.5 กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน แสดงดังตารางที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเคมีและด้านกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้งมันสำปะหลัง 5 % กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

คุณสมบัติ	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว	คุณสมบัติที่เหมาะสมของถ่านอัดแท่ง
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	5.20±0.26	< 10
ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	7.67±0.21	< 8
ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)	20.10±0.46	< 25
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)	66.67±0.35	> 75
ค่าความร้อน (cal/g)	6,110	> 5,000
ความพรุน	สูง	สูง

จากตารางที่ 4.11 พบว่าคุณสมบัติทางด้านเคมีที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ได้แก่ ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และค่าความร้อน แต่ปริมาณคาร์บอนคงตัว มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ทำให้มีค่าความร้อนต่ำ สำหรับคุณสมบัติทางด้านกายภาพ พบว่าปริมาณความชื้นและความพรุน มีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน

4.5 ผลการปรับปรุงคุณภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว โดยใช้เศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้

จากการที่ค่าคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน และมีปริมาณเถ้าค่อนข้างสูง จึงผสมกับเศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้ ซึ่งเศษไม้จากกระบวนการแปรรูปไม้จะประกอบด้วยไม้หลายชนิดผสมกันอยู่ อย่างไรก็ตาม พบว่าไม้ประเภทต่าง ๆ มีคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงใกล้เคียงกันดังกล่าวในบทที่ 2 (พุฒินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ. 2546) ดังนั้น การทดลองนี้จึงไม่ได้ทำการศึกษาผลของชนิดของไม้ต่อการปรับปรุงคุณภาพถ่านอัดแท่ง

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมี และกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ โดยใช้อัตราส่วนกากชาเขียวผสมกับ 5%แป้งมันสำปะหลังต่อเศษไม้ 10 : 0, 9.5 : 0.5, 9 : 1, 8 : 2 และ 7 : 3 แสดงดังตารางที่ 4.12 (ตารางที่ ข.1-ข.5, ภาคผนวก ข) และ4.13 (ตารางที่ ข.6-ข.10, ภาคผนวก ข) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 คุณสมบัติทางด้านเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงด้วยเศษไม้ที่สัดส่วนต่าง ๆ

คุณสมบัติ	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผสมเศษไม้ในสัดส่วนต่าง ๆ					ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด
	10:0	9.5:0.5	9:1	8:2	7:3	
ความชื้น (%)	5.03±0.15	6.03±0.15	5.60±0.20	5.53±0.35	5.27±0.21	6.1±0.10
เถ้า (%)	7.83±0.25	7.10 ±0.20	6.70±0.17	6.07±0.15	5.90±0.10	7.9±0.85
สารระเหย (%)	21.30± 0.70	19.77 ± 0.47	18.67± 0.74	16.50± 0.58	15.07± 0.21	15.05±0.20
คาร์บอนคงตัว (%)	65.70 ±0.96	67.10 ± 0.62	69.03± 0.65	71.87± 0.57	73.77± 0.21	78.9±1.01
ค่าความร้อน (cal/g)	5,980	5,900	6,010	5,880	6,250	6,040

จากตารางที่ 4.12 พบว่าเมื่อผสมเศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้ จะมีผลทำให้คุณสมบัติทางด้านเคมีเปลี่ยนแปลง โดยทำให้ปริมาณเถ้าและสารระเหย มีแนวโน้มลดลง คาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ที่อัตราส่วน 8:2 มีค่าความร้อนลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในขั้นตอนการผสมเศษไม้อาจจะผสมกันไม่ดีพอ ทำให้กากชาเขียวกับเศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้ผสมกันไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวกับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด พบว่าคุณสมบัติทางด้านเคมีมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นค่าความชื้นของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวมีค่าน้อยกว่า ทำให้เมื่อนำไปจุดไฟจะติดไฟง่าย และมีควันน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 คุณสมบัติทางด้านกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงด้วยเศษไม้ที่สัดส่วนต่าง ๆ

คุณสมบัติ	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผสมเศษไม้ในสัดส่วนต่าง ๆ					ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด
	10:0	9.5:0.5	9:1	8:2	7:3	
ความคงตัวของเถ้า	ไม่คงตัว	ไม่คงตัว	ไม่คงตัว	ไม่คงตัว	ไม่คงตัว	ไม่คงตัว
ระยะเวลาในการจุดติดไฟ (นาที)	1.25±0.05	1.24 ±0.05	1.27 ±0.01	1.28 ±0.04	1.28 ±0.04	1.45±0.01
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.55±0.03	0.56± 0.06	0.58± 0.06	0.53± 0.03	0.53± 0.04	0.80±0.04
การทนแรงอัด (kg/cm^2)	34.00± 0.70	35.53± 0.83	37.40± 0.46	34.90± 0.70	35.57± 0.95	40.11± 0.25
ดัชนีการแตกร่วน	0.91±0.01	0.98±0.01	0.99±0.01	0.98±0.01	0.97±0.01	1.00±0.01

จากตารางที่ 4.13 พบว่าเมื่อผสมเศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้ จะมีผลทำให้คุณสมบัติทางด้านกายภาพมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น การปรับปรุงคุณภาพของถ่านอัดแท่งจะขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน พบว่าคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวจะดีขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเศษไม้ ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวกับถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่าคุณสมบัติทางด้านกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวมีค่าน้อยกว่าถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ทำให้มีข้อดีคือสามารถจุดติดไฟได้เร็วกว่า ซึ่งจะทำให้ไม่เสียเวลาในการจุดติดไฟ แต่การทนแรงอัดมีค่าน้อยกว่า ทำให้ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวมีความทนทานต่อแรงกระแทกได้ต่ำกว่าถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด อย่างไรก็ตาม ดัชนีการแตกร่วนมีค่าใกล้เคียง 1 ทำให้ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวมีความทนทานในระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา ใกล้เคียงกับถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว กับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด

ผลการศึกษาต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข. พบว่าต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนของเศษไม้ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 (ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.14 ต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว

ต้นทุน	บาท/กิโลกรัม
1. ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบด	2.78
2. ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5%	4.18
3. ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยผสมกับเศษไม้ 5%	4.25
4. ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยผสมกับเศษไม้ 10%	4.32
5. ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยผสมกับเศษไม้ 20%	4.46
6. ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยผสมกับเศษไม้ 30%	4.60

จากการคำนวณต้นทุนถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว (ภาคผนวก ข) จะเห็นได้ว่าแป้งมันสำปะหลังเป็นค่าใช้จ่ายที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่น เนื่องจากในการทดลองนี้ใช้แป้งมันสำปะหลังเกรดอาหาร ดังนั้น เพื่อลดต้นทุนการผลิตลง ควรใช้แป้งมันสำปะหลังเกรดการค้า หรือตัวประสานอื่นที่มีราคาถูก

ตารางที่ 4.15 ต้นทุนถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

ต้นทุน	บาท/กิโลกรัม*
1. ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด	3.0
2. ถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพารา	4.2
3. ถ่านอัดแท่งจากไม้ยูคาลิปตัสผสมไม้ยางพารา	4.5
4. ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว	5.0
5. ถ่านอัดแท่งจากไม้โกงกางผสมกะลามะพร้าว	5.5
6. ถ่านอัดแท่งจากขี้เลื่อยไม้เนื้อแข็ง	5.5

* ข้อมูลได้จากการสอบถามจากผู้ประกอบการ เมื่อวันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบต้นทุนถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวกับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาดจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และ 4.15 พบว่าต้นทุนของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยผสมกับเศษไม้ในสัดส่วนมากที่สุดมีต้นทุนสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด ถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพารา และถ่านอัดแท่งจากไม้ยูคาลิปตัสผสมไม้ยางพารา อย่างไรก็ตาม พบว่าต้นทุนของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยผสมกับเศษไม้ในสัดส่วนมากที่สุดมีต้นทุนต่ำกว่าถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว ถ่านอัดแท่งจากไม้โกงกางผสมกะลามะพร้าว และถ่านอัดแท่งจากขี้เลื่อยไม้เนื้อแข็ง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของกากชาเขียวโดยประมาณ (Proximate analysis) เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมี พบว่ากากชาเขียวมีค่าความชื้นเท่ากับ 8.57%, เถ้า 7.1%, สารระเหย 75.43%, คาร์บอนคงตัว 8.36% และค่าความร้อน 4,390 cal/g และผลการวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis) เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมี พบว่ากากชาเขียวมีคาร์บอน 66.32%, ออกซิเจน 27.70%, ไนโตรเจน 4.94% และซัลเฟอร์ 0.07% ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถผลิตเป็นถ่านอัดแท่งได้

5.1.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยวิธีอัดแบบร้อนและอัดแบบเย็น พบว่าวิธีการอัดแบบเย็นเป็นวิธีที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียว

5.1.3 ผลการศึกษาขนาดของกากชาเขียวที่มีผลต่อการอัดแท่ง และคุณสมบัติต่าง ๆ พบว่ากากชาเขียวที่บดละเอียดส่วนใหญ่มีขนาด 12–35 mesh สามารถใช้กากชาเขียวบดละเอียดทั้งหมดในการทำถ่านอัดแท่งที่มีลักษณะน่าใช้งาน

5.1.4 ผลการศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน พบว่าการผสมแป้งมันสำปะหลังไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และเคมี อย่างไรก็ตาม พบว่าการอัดแบบไม่ใช้ตัวประสานจะอัดยากกว่าแบบใช้ตัวประสาน ผิวของแท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้ไม่เรียบ ทำให้ต้องทำการอัดซ้ำ ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและเวลา จากการทดลองพบว่า การผสมแป้งมันสำปะหลัง 5% เป็นตัวประสานทำให้อัดถ่านอัดแท่งได้ดีขึ้น

5.1.5 ผลการเปรียบเทียบถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวผสมแป้งมันสำปะหลัง5% กับมาตรฐานถ่านอัดแท่ง พบว่าความชื้น เถ้า สารระเหย และค่าความร้อน มีค่าเท่ากับ 5.20%, 7.67%, 20.10% และ 6,110 cal/g ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของถ่านอัดแท่ง แต่ค่าคาร์บอนคงตัวมีค่าเท่ากับ 66.67 % ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของถ่านอัดแท่ง

5.1.6 ผลการปรับปรุงคุณภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว โดยใช้เศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้ พบว่าเศษไม้มีผลทำให้คุณสมบัติทางด้านเคมีเปลี่ยนแปลง โดยค่าความร้อนและคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น ปริมาณเถ้าและสารระเหยลดลง ในขณะที่คุณสมบัติทางด้านกายภาพมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของถ่านอัดแท่งจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.7 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเคมี และกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เศษไม้กับถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่าคุณสมบัติทางด้านเคมีมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ พบว่าความหนาแน่นและการทนแรงอัดของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวมีค่าน้อยกว่า ทำให้ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวมีความทนทานต่อแรงกระแทกได้ต่ำกว่าถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ส่วนความทนทานในระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการนำมาใช้งานมีค่าใกล้เคียงกับถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

5.1.8 ผลการเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เศษไม้ กับถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่าต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เศษไม้ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของเศษไม้ที่ใช้ โดยที่ต้นทุนจะสูงขึ้นตามสัดส่วนของการใช้เศษไม้ และถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผสมกับเศษไม้ในสัดส่วนมากที่สุดมีต้นทุนต่ำกว่าถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว ถ่านอัดแท่งจากไม้โกงกางผสมกะลามะพร้าว และถ่านอัดแท่งจากขี้เลื่อยไม้เนื้อแข็ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ทดลองโดยใช้ตัวประสานอื่นแทนแป้งมันสำปะหลังเกรดอาหาร ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังเกรดการค้า สลัดจ์จากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง และขยะมูลฝอย เป็นต้น

5.2.1 ควรมีการสำรวจประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว โดยสอบถามจากผู้ใช้งาน ได้แก่ ประชาชนทั่วไป ตลอดจนผู้ประกอบการร้านอาหารประเภทปิ้ง ย่าง โดยเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด

5.2.3 ควรมีการปรับปรุงรูปทรงของถ่านอัดแท่งให้แตกต่างออกไป เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่ง เช่น แบบเม็ดเล็ก ๆ หรือแท่งสี่เหลี่ยม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2546. **การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทน.** [online]. Available : http://www.dede.go.th

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2538. **รายงานพลังงานของประเทศไทย ปี 2538.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ พี เอ ลิฟวิ่ง.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **ชา.** [online]. Available : http://www.doa.go.th

กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์. 2545. **ถ่านอัดแท่ง.** [Online]. Available : http://www.smethai.net.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2538. **ชา เอกสารวิชาการ.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. 63 หน้า.

กรมส่งเสริมธุรกิจไทยในต่างประเทศ. 2546. **สถานการณ์พลังงานทดแทนภายในประเทศ 2546.** [online]. Available : http://www.mfa.go.th.

เกษม จันทร์แก้ว. 2524. **วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.** เล่ม1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กัญจนา บุณยเกียรติ และเพียรพรรค ทัศคร. 2532. "การอัดเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้." ใน **การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 2 เรื่อง พลังงานหมุนเวียนและการประยุกต์.** กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 25-28 กุมภาพันธ์ 2535.

จารุวรรณ แสงสุวรรณวาว. 2530. "การศึกษาการทำเชื้อเพลิงเขียวจากเศษวัสดุเกษตรผสมกากส่าเหล้าและกากน้ำตาลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืนและถ่าน." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทองม้วน นาเสงี่ยม. 2524. **"พลังงานทดแทนจากใบจำปา."** รายงานการวิจัยทางวิทยาศาสตร์. วิทยาลัยครูมหาสารคาม. เอกสารอัดสำเนา.

นารา พิทักษ์อรรณพ. 2529. "อุตสาหกรรมการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้." หน้า10. ใน **เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ 22-24 กรกฎาคม 2529.** กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน.

นิรนาม. 2546. **สาระ...ชา.** [online]. Available : http://www.lib.ru.ac.th.

นิรนาม. 2547. **ถ่าน.** [online]. Available : http://www.Charcoal.SNMcenter.com

นิรนาม. 2548. **ถ่านหิน.** [online]. Available : http://www.egat.co.th/fuel/lignite/coal.html.

ประลอง ดำรงค์ไทย. 2547. **แท่งเชื้อเพลิงเขียวทดแทนฟืนและถ่าน.** [online]. Available : http://www.Charcoal.SNMcenter.com

พุฒินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ. 2546. **ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้.** กรุงเทพฯ : ชมรมสวนป่าผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มนตรี จุฬาวัฒนทล,ยงยุทธ ยุทธวงศ์,ชิษณุสรร สวัสดิวัตน์,ม.ร.ว.ประหยัด โกมารทัต,ประพนธ์ วิไลรัตน์,สกล พันธุ์ยิ้ม และภิญโญ พานิชพันธ์. 2530. **ชีวเคมี.** กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

เริงศักดิ์ ฤทธิ์ประเสริฐ. 2528. **"การศึกษาการทำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแบบเพเลทจากพืชบางชนิด."** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วัฒนา เสถียรสวัสดิ์. 2529. **เชื้อเพลิงเขียว(โครงการเชื้อเพลิงแข็ง).** กรุงเทพฯ : ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม. 2548. **การวิเคราะห์ค่าความร้อน ค่าคงตัวของถ่าน ค่าของสารระเหย ค่ากำมะถันของวัสดุต่าง ๆ .** [online]. Available : http://www.Charcoal.SNMcenter.com

สมเจตน์ คุ้งโพธิ์. 2546. **เผาไม้ให้กลายเป็นเงิน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สามเจริญพานิช จำกัด. 25-46.

สมชาย โอสุวรรณ และกัญจนา บุณยเกียรติ. 2525. "การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของเตาถ่าน." วารสารเคมีวิศวกรรม เทคโนโลยีทางอาหารและเชื้อเพลิง 1. 75-79.

โสภิตา บุญเอนกทรัพย์ สุชาดา ไชยสวัสดิ์ และจิรพันธ์ เนื่องจากนิล. 2542. "การสกัดแป้งจากหัวมันสำปะหลัง" โครงงานวิจัย. สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ.

สำนักคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. 2543. **พลังงาน เพื่อความเข้าใจ ใช้อย่างรู้คุณค่า พัฒนาสู่ความยั่งยืน.** [online]. Available : http//www.eppo.go.th/doce/index_right.htm.

สำนักสารนิเทศ. 2541. **เนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทย.** [online]. Available : http//www.forest.go.th/stat41/Forest_area.htm-2k

อาทิตย์ มลิทอง. 2536. "การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเขียวจากผักตบชวาและผักตบชวาผสมถ่านลิกไนท์." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Aqa, S. 1990 "A study of Densification of Preheated Sawdust." Master Thesis, AIT Thailand.

ASTM. 1992. **Annual Book of ASTM Standard Section 5.** American Society for Testing and Material. America.

Best, G. Rome, F. and Christensen, J. 2000. **Role of Biomass in Global Energy Supply.** [online]. Available : http://www.rice.dk/rispub/energy report/ris-r-1430s8_12pdf

Bhattacharya, S.C., Ram M. Sivasakthy, S and Shrestha, S. 1988. **State of the Art for Biocoal Technology.** Biocoal Project, AIT-GTZ. Thailand.

Bryand, B. 1985. **Understanding Briquetting.** Volunteers in Technical Assistance (VITA).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Crepean, P. Koch, P. and Reed, T. 1983 French Patent No.2544327. Quoted in the "Literature Survey Report on Partial Pyrolysis Briquetting and Briquette Testing" for ITDG by BEST in March 1987.

Eriksson, S. and Prior, M. 1990. **The Briquetting of Agricultural Wastes for Fuel.** [online]. Available : http://www.fao.org/docrep/T0275E/T0275E03.htm.

Fitzgerald, O.A, 1980. **Wood Waste Magic.** Timer information. American Ingenuity and Enterprise Solve One of the Problem of Waste of Natural Resources: No.24

Husain, Z. Zainac, Z. and Abdullah, Z. 2002. "Briquetting of Palm Fiber and Shell from the Processing of Palm Nut to Palm Oil." **Biomass & Bioenergy.** 22 : 505-509

ITDG., 1984. **Small Scale Briquetting** : Project 470. Intermediate Technology Development Grop. Rugby, United Kingdom. 3-5

Karchesy, J. and Koch, P. 1979. **Energy Production from Hard Woods Growing on Southern Pine Sites.** General Technical Report SO-24. USDA Forest Service.

Kazuyoshi, 2002. **Utilization of Use Tea.** [Online]. Available : http://www.ocha.net/english/teacha/detail/-e.asp.

Marly, C. 1988. "การผลิตชาฝรั่ง." รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่อง ชา ณ โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ จ.เชียงใหม่, 4-8 ก.ค. 2531. 85-88.

Mishra, L.K. and Grover P.D. 1996. **Biomass Briquetting**. Technology and Practices. Bangkok : Food and Agriculture Organization the United Nations Bangkok.

Ndiema, C.K.W. Manga, P.N. and Ruttoh, C.R. 2001. "Influence of Die Pressure on Relaxation Characteristics of Briquetted Biomass." **Energy Conversion and Management.** 43 : 2157-2161

Ooi, C. C. and Siddiqui, K.M. 2000. "Characteristics of Some Biomass Briquettes Prepared under Modest Die Pressures." **Biomass & Bioenergy.** 18 (3) : 233-228

Reed, T. and Bryant, B. 1978. **Densified Biomass**. A New Form of Solid Fuel. SERI Report 35. The Solar Energy Research Institute, Colorado. U.S.A.

Reed, T. Bryant, B. and Crepean, P. 1980. "Biomass Densification Energy Requirements. AXS Symposium Series 130. Thermal Conversion of Solid Wastes and Biomass." **America Chemical Society**. 169-177.

Rougerie, J.L. 1980. France Patent No. 24716120. Quoted in the "Literature Survey Report on Partial Pyrolysis Briquetting and Briquette Testing" for ITDG by BEST in March 1987.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stienswat, W. and Buachanda, V. 1986. "Green Fuel-Potential Feedstock for Gasifier." Proceedings of Regional Training Workshop on Energy from Biomass 3-7 March 1986, King Mongkut's Institute of Technology, Bangkok Thailand : 132-147.

Wayne, C. 1999. "Using Cotton Plant Residue to Produce Briquettes." **Biomass & Bioenergy.** 18 : 201-208

Yaman, S., Sahan, M. Haykiri-açma, H. Sesen, K and Küçükbayrak, S. 2002. "Production of Flues Briquettes from Olive Refuse and Paper Mill Waste." **Fuel Processing Technology.** 68 : 23-31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมี และกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมี

- การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis)

1.1 การหาปริมาณความชื้น (Moisture content)

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 โดยอบตัวอย่างในตู้ที่มีความร้อนคงที่ใน Drying Oven ที่อุณหภูมิประมาณ 104-110 °C เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นที่ได้สามารถคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง

เครื่องมือ : ตู้อบ (Drying Oven) เครื่องดูดความชื้น (Desiccators) ถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝา

วิธีการ :

1. อบถ้วยทนไฟพร้อมฝา ที่อุณหภูมิในช่วง 104 - 110 °C ประมาณ 30 นาที นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างทดลอง ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยทนไฟ แล้วนำเข้าไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 104-110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำถ้วยทนไฟออกจากตู้อบ และปิดฝา แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = (A-B)/B \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังอบ (กรัม)

1.2 การหาปริมาณเถ้า (Ash content)

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174 โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผา ที่อุณหภูมิระหว่าง 200 °C เป็นเวลา 30 นาที และค่อย ๆ เพิ่มความร้อนเป็น 700-750 °C จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ของถ้วยทนไฟรวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือพร้อมฝาปิด จำนวนร้อยละของปริมาณเถ้าสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาแล้ว

เครื่องมือ : เตาเผา (Furnace) เครื่องดูดความชื้น (Desiccator) ถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝา

วิธีการ :

1. เผาถ้วยทนไฟพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 700-750 °C ประมาณ 30 นาที ในเตาเผาแล้วนำออมาทิ้งให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยทนไฟพร้อมฝา
2. ชั่งตัวอย่างทดลองประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนักจากข้อ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำเข้าเตาพร้อมฝา เผาที่อุณหภูมิ 200 °C นานประมาณ 30 นาที แล้วค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิเป็น 700-750 °C เผาประมาณ 2-3 ชั่วโมง นำถ้วยทนไฟออกจากเตาเผาทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = [(A-B)/C]\times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนัก Crucible พร้อมตัวอย่างหลังเผา (g)

B = น้ำหนัก Crucible เปล่า (g)

C = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

1.3 การหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3175 โดยนำตัวอย่างมาเผาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 950 ± 20 °C ในเตาเผาเป็นเวลา 7 นาที แล้วคำนวณปริมาณสารระเหยจากการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง

เครื่องมือ : เตาเผา (Furnace) เครื่องดูดความชื้น (Desiccator) ถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝา

วิธีการ :

1. ชั่งตัวอย่างทดลองประมาณ 1 กรัม ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนัก
2. นำถ้วยทนไฟพร้อมตัวอย่างเข้าเตาเผาโดยปิดฝา และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 950 ± 20 °C 7 นาที แล้วนำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น
3. ชั่งน้ำหนักของถ้วยทนไฟ และตัวอย่างที่เหลือพร้อมฝา

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

1. คำนวณน้ำหนักที่หายไป

$$\text{Weight Loss (\%)} = (A-B)/A\times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนเผา (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังเผา (กรัม)

2. คำนวณหาปริมาณสารระเหย

$$\text{Volatile Matter (\%)} = C-D$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ C = Weight Loss (%)

D = ความชื้น (%)

1.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3176 ในการหาปริมาณคาร์บอนคงตัวสามารถหาได้จากการคำนวณดังนี้

ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%) = 100 - (%ความชื้น + %ปริมาณเถ้า + %ปริมาณสารระเหย)

1.5 การหาค่าความร้อน (Heating value)

ทดลองตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 2015 โดยนำตัวอย่างของสารเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ใน Bomb Calorimeter ที่มีออกซิเจนอยู่ปริมาณมากเกินพอ

เครื่องมือ : Bomb Calorimeter, ถังออกซิเจน, ลวด, ถ้วยโลหะ และเครื่องอัดเม็ด

วิธีการ :

1. อัดเม็ดตัวอย่าง ให้มีน้ำหนักประมาณ 0.9 – 1.0 g
2. ชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดของตัวอย่างที่อัดได้ใส่ในถ้วยโลหะ
3. ผูกลวดเผาไหม้ 10 เซนติเมตร ไว้กับเครื่องมือให้แน่น โดยให้ส่วนล่างของเส้นลวดแตะกับตัวอย่าง
4. เติมน้ำกลั่น ประมาณ 1 มิลลิลิตร. ใส่ลงใน Bomb Calorimeter
5. อัดออกซิเจนใน Bomb Calorimeter ให้มีความดันประมาณ 28-30 บรรยากาศ
6. ใส่น้ำลงใน Jacket ประมาณ 2,000 มิลลิลิตร
7. นำ Bomb Calorimeter ที่ใส่ตัวอย่าง และออกซิเจนเรียบร้อยแล้วลงไปใน Jacket
8. สังเกตสัญญาณไฟที่ปุ่ม READY เพื่อเตรียมวัดอุณหภูมิเริ่มต้น (T_1) โดยกดปุ่ม FIRE เพื่อเป็นการจุดระเบิด
9. อ่านค่าอุณหภูมิทุก ๆ 10 วินาที จนอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงสุด และคงที่
10. นำ Bomb Calorimeter ออกมา แล้วปล่อยก๊าซออกซิเจนที่เหลือออกก่อนเปิดฝา
11. ล้างภายใน Bomb Calorimeter ด้วย wash solution (เตรียมโดย เติม Methyl Orange 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร) จนน้ำล้างไม่มีสีชมพู เก็บน้ำล้างไว้ในบิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
12. วัดความยาวของลวดที่เหลือ บันทึกผล
13. นำน้ำที่ได้จากข้อ 11 มาไตเตรทกับสารละลาย Na_2CO_3 เข้มข้น 0.0725 นอร์มัล จนได้จุดยุติเป็นสีเหลือง บันทึกปริมาตรที่ใช้ เพื่อนำไปคำนวณค่าความร้อนของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\text{Heating value} = [(\triangle T)\,(w) - E_1 - E_2 - E_3)] / g$$

เมื่อ $\triangle T$ = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น $(T_2 - T_1)$ (°C)

w = พลังงานคงที่ของเครื่อง Calorimeter ซึ่งหาได้จากใช้ Benzoic acid แทนตัวอย่างทดลอง (cal / °C)

E_1 = 1.4 × ml ของ สารละลาย Na_2CO_3 เข้มข้น 0.0725 นอร์มัล (cal)

E_2 = $(332 \times 2.479 \times 10^{-3})$ (ความยาวของลวดที่ถูกเผาไหม้) (cal)

E_3 = $4180 \times 8.80 \times 10^{-3}$ × น้ำหนักด้าย (cal)

g = น้ำหนักของตัวอย่างที่อัดเป็นเม็ด (g)

- **การวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis)**

ทดลองโดยใช้เครื่อง Energy Dispersive Spectrometer (EDS)

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพ

2.1 เวลาในการจุดติดไฟ และความคงตัวของเถ้า

เครื่องมือและอุปกรณ์ : ตุ้มเหล็ก เตาอั้งโล่ แผ่นสังกะสี และตัวอย่างถ่านอัดแท่ง

วิธีการ :

1. นำตัวอย่างถ่านอัดแท่งมา 3 แท่ง แบ่งให้มีน้ำหนักประมาณ 50 กรัม โดยตัดให้พื้นผิวหน้าตัดของถ่านเรียบเสมอกันทั้ง 2 ด้าน
2. นำมาเผาในเตาอั้งโล่ที่จุดไฟด้วยฟืนน้ำหนักประมาณ 15 กรัม
3. บันทึกเวลาเมื่อตัวอย่างเริ่มติดไฟ (นาที)
4. รอจนเถ้าเย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักเถ้า
5. วางแผ่นสังกะสีลงบนเถ้า
6. วางตุ้มเหล็กลงบนแผ่นสังกะสี โดยเริ่มจากตุ้มเหล็กที่มีน้ำหนักเบาก่อน แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักของตุ้มเหล็กไปเรื่อย ๆ จนเถ้าแตกออก
7. บันทึกน้ำหนักตุ้มเหล็ก

2.2 การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

การหาความหนาแน่นรวม (Bulk Density) และขนาด (Dimension) ของถ่านอัดแท่งที่เตรียมได้

1. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของถ่านอัดแท่ง (D_1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถ่านอัดแท่ง (D_2)

3. วัดความสูงของถ่านอัดแท่ง (h)

4. ชั่งน้ำหนักของถ่านอัดแท่ง (m)

5. คำนวณหาความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง (ρ)

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

หมายเหตุ : ความหนาแน่นที่ได้เป็นความหนาแน่นโดยประมาณ

2.3 การทดสอบค่าทนแรงอัด (Compressive Strength)

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D1621 เพื่อศึกษาความต้านทานต่อการกระแทกภายใต้แรงอัด โดยนำตัวอย่างถ่านอัดแท่งมาตัดเพื่อให้มีความสูงอยู่ในช่วง 25-30 มิลลิเมตร แล้วขัดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายให้เรียบ จากนั้นนำไปวางแนวตั้งในเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) เพื่อทำการทดสอบต่อไป

ค่าการทนแรงอัด เป็นค่าแรงเค้น (Stress) สูงสุดที่แท่งเชื้อเพลิงจะรับได้ จากการทดลองแรงกดของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$\sigma_c = F/A$$

เมื่อ σ_c = การทนแรงอัดของแท่งเชื้อเพลิง (kg/cm^2)

F = แรงอัดที่กระทำกับตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างแตก (kg.)

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งเชื้อเพลิง (cm^2)

2.4 การทดสอบค่าดัชนีการแตกร่วน (Friability Index)

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3038 เพื่อหาความสามารถของถ่านอัดแท่ง ที่จะมีความทนทานในระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการนำมาใช้งาน วิธีการทดสอบทำโดยนำถ่านอัดแท่งใส่ถุงพลาสติกประมาณ 300 กรัม แล้วปล่อยจากที่สูง 1.8 เมตร ลงสู่พื้นซีเมนต์ ซ้ำ ๆ กัน 3 ครั้ง จากนั้นนำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 20 มิลลิเมตร นำส่วนของถ่านอัดแท่งที่เหลือจากการร่อนแล้วไปชั่งน้ำหนัก และสามารถหาค่าดัชนีการแตกร่วน (Friability Index) หรือ ดัชนีการการแตกละเอียด (Shatter Index) ได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R = W_f / W_i$$

เมื่อ R = ดัชนีการแตกร่วน

W_i = น้ำหนักของถ่านอัดแท่งก่อนทดสอบ (g)

W_f = น้ำหนักของถ่านอัดแท่งที่เหลือหลังทดสอบ (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางด้านเคมี

ตารางที่ ข.1 ค่าความชื้น

ตัวอย่าง	ความชื้น (ร้อยละ)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
กากชาเขียว	8.00	9.30	8.40	8.57	0.67
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบร้อน	6.40	6.20	5.90	6.17	0.25
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเย็น	6.20	6.80	6.10	6.37	0.38
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบไม่บด	5.80	5.70	5.20	5.57	0.32
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบด	5.00	4.90	5.20	5.03	0.15
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 5%	5.10	5.50	5.00	5.20	0.26
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 10%	6.40	6.30	6.60	6.43	0.15
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 20%	5.60	6.20	5.90	5.90	0.30
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 30%	5.70	5.80	5.40	5.63	0.21
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 5%	6.20	6.00	5.90	6.03	0.15
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 10%	5.80	5.60	5.40	5.60	0.20
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 20%	5.50	5.90	5.20	5.53	0.35
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 30%	5.10	5.50	5.20	5.27	0.21
ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	6.00	6.20	6.10	6.10	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ปริมาณเถ้า

ตัวอย่าง	เถ้า (ร้อยละ)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
กากชาเขียว	6.90	7.30	7.10	7.10	0.20
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบไม่บด	7.20	7.40	7.80	7.47	0.31
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบด	8.10	7.80	7.60	7.83	0.25
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 5%	7.90	7.50	7.60	7.67	0.21
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 10%	8.10	7.90	7.80	7.93	0.15
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 20%	7.80	7.50	7.40	7.57	0.21
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 30%	7.40	7.40	7.10	7.30	0.17
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 5%	7.30	7.10	6.90	7.10	0.20
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 10%	6.80	6.50	6.80	6.70	0.17
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 20%	5.90	6.20	6.10	6.07	0.15
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 30%	5.90	6.00	5.80	5.90	0.10
ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	8.10	6.80	7.90	7.90	0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ปริมาณสารระเหย

ตัวอย่าง	สารระเหย (ร้อยละ)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
กากชาเขียว	75.10	75.40	75.80	75.43	0.35
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบร้อน	76.10	74.50	74.80	75.13	0.85
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเย็น	75.40	75.40	76.30	75.70	0.52
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบไม่บด	21.10	21.50	21.90	21.50	0.40
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบด	21.60	20.50	21.80	21.30	0.70
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 5%	20.00	20.60	19.70	20.10	0.46
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 10%	22.60	22.20	21.96	22.23	0.35
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 20%	20.40	20.30	20.60	20.43	0.15
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 30%	21.10	22.80	21.60	19.77	0.47
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 5%	19.60	20.30	19.40	19.77	0.47
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 10%	18.40	19.50	18.10	18.67	0.74
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 20%	17.20	16.20	16.20	16.50	0.58
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 30%	15.00	14.90	15.30	15.07	0.21
ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	15.00	15.20	14.80	15.05	0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว

ตัวอย่าง	คาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
กากชาเขียว	10.00	8.00	8.70	8.90	1.01
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบไม่บด	65.90	65.40	65.10	65.47	0.40
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบด	65.30	66.80	65.00	65.70	0.96
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 5%	67.00	66.30	66.70	66.67	0.35
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 10%	62.90	63.60	63.64	63.38	0.42
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 20%	66.20	66.00	66.10	66.10	0.10
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 30%	65.80	64.00	65.90	65.23	1.07
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 5%	66.90	66.60	67.80	67.10	0.62
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 10%	69.00	68.40	69.70	69.03	0.65
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 20%	71.40	71.70	72.50	71.87	0.57
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 30%	74.00	73.60	73.70	73.77	0.21
ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	77.50	79.50	78.20	78.90	1.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ค่าความร้อน

ตัวอย่าง	ค่าความร้อน (cal/g)
กากชาเขียว	4,390
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบร้อน	4,300
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเย็น	4,360
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบไม่บด	5,869
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบด	5,980
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 5%	6,110
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 10%	5,880
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 20%	5,960
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 30%	6,000
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5%ต่อเศษไม้ 5%	5,900
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5%ต่อเศษไม้ 10%	6,010
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5%ต่อเศษไม้ 20%	5,880
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5%ต่อเศษไม้ 30%	6,250
ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	6,040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางด้านกายภาพ

ตารางที่ ข.6 ความคงตัวของเถ้า

ตัวอย่าง	ความคงตัวของเถ้า
กากชาเขียว	เถ้าไม่คงตัว
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบไม่บด	เถ้าไม่คงตัว
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบด	เถ้าไม่คงตัว
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 5%	เถ้าไม่คงตัว
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 10%	เถ้าไม่คงตัว
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 20%	เถ้าไม่คงตัว
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 30%	เถ้าไม่คงตัว
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5%ต่อเศษไม้ 5%	เถ้าไม่คงตัว
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5%ต่อเศษไม้ 10%	เถ้าไม่คงตัว
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5%ต่อเศษไม้ 20%	เถ้าไม่คงตัว
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5%ต่อเศษไม้ 30%	เถ้าไม่คงตัว
ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	เถ้าไม่คงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ระยะเวลาในการจุดติดไฟ

ตัวอย่าง	ระยะเวลาในการจุดติดไฟ (นาที)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบร้อน	5.00	4.90	6.10	5.33	0.67
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเย็น	2.60	2.20	2.70	2.50	0.26
ถ่านอัดแท่งจากกากชาแบบไม่บด	1.02	1.06	1.10	1.06	0.04
ถ่านอัดแท่งจากกากชาแบบบด	1.20	1.25	1.30	1.25	0.05
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 5%	1.26	1.36	1.21	1.28	0.08
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 10%	1.36	1.30	1.25	1.30	0.06
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 20%	1.39	1.35	1.46	1.40	0.06
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 30%	1.38	1.43	1.45	1.42	0.04
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5%ต่อเศษไม้ 5%	1.25	1.28	1.19	1.24	0.05
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5%ต่อเศษไม้ 10%	1.26	1.26	1.28	1.27	0.01
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5%ต่อเศษไม้ 20%	1.32	1.28	1.25	1.28	0.04
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5%ต่อเศษไม้ 30%	1.32	1.24	1.28	1.28	0.04
ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	1.45	1.46	1.45	1.45	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ค่าความหนาแน่น

ตัวอย่าง	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบร้อน	1.11	1.11	1.20	1.14	0.06
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเย็น	0.56	0.61	0.61	0.59	0.03
ถ่านอัดแท่งจากกากชาแบบไม่บด	0.40	0.45	0.42	0.43	0.03
ถ่านอัดแท่งจากกากชาแบบบด	0.58	0.55	0.52	0.55	0.03
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 5%	0.57	0.52	0.59	0.56	0.03
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 10%	0.50	0.51	0.53	0.52	0.02
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 20%	0.48	0.61	0.62	0.57	0.08
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 30%	0.57	0.48	0.59	0.55	0.06
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 5%	0.62	0.55	0.49	0.56	0.06
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 10%	0.53	0.55	0.65	0.58	0.06
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 20%	0.56	0.50	0.51	0.53	0.03
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 30%	0.50	0.57	0.53	0.53	0.04
ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	0.78	0.82	0.85	0.80	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ค่าการทนแรงอัด

ตัวอย่าง	ค่าการทนแรงอัด (kg/cm^2)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบร้อน	44.40	44.30	44.20	44.30	0.10
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเย็น	42.00	42.30	42.50	42.27	0.25
ถ่านอัดแท่งจากกากชาแบบไม่บด	30.20	30.30	30.50	30.33	0.15
ถ่านอัดแท่งจากกากชาแบบบด	33.20	34.50	34.30	34.00	0.70
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 5%	35.20	35.60	35.90	35.57	0.35
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 10%	32.80	34.20	37.50	34.83	2.41
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 20%	37.50	37.30	36.40	37.07	0.59
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 30%	34.50	33.90	35.30	34.57	0.70
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 5%	36.20	35.80	34.60	35.53	0.83
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 10%	37.50	37.80	36.90	37.40	0.46
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 20%	35.60	34.90	34.20	34.90	0.70
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 30%	34.50	35.90	36.30	35.57	0.95
ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	39.86	40.12	40.36	40.11	0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ดัชนีการแตกร่วน

ตัวอย่าง	ดัชนีการแตกร่วน			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ถ่านอัดแท่งจากกากชาแบบไม่บด	0.20	0.10	0.20	0.17	0.06
ถ่านอัดแท่งจากกากชาแบบบด	0.91	0.91	0.92	0.91	0.01
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 5%	0.98	0.97	0.98	0.98	0.01
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 10%	0.98	0.99	0.98	0.98	0.01
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 20%	0.99	0.99	0.98	0.99	0.01
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดต่อแป้ง 30%	0.99	0.98	0.98	0.98	0.01
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 5%	0.98	0.99	0.98	0.98	0.01
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 10%	1.00	0.99	0.99	0.99	0.01
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 20%	0.98	0.98	0.99	0.98	0.01
ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบดผสมแป้ง5% ต่อเศษไม้ 30%	0.97	0.97	0.98	0.97	0.01
ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	0.99	1.00	1.00	1.00	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางด้านเคมี วิเคราะห์โดยเครื่อง EDS

ตารางที่ ข.11 องค์ประกอบทางเคมีของกากชาเขียว

องค์ประกอบทางเคมี	ครั้งที่			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
C	62.61	68.05	68.29	66.32	3.21
O	31.14	26.37	25.60	27.70	3.00
N	4.49	4.36	5.96	4.94	0.89
S	0.10	0.11	0.00	0.07	0.06
Mg	0.29	0.39	0.06	0.25	0.17
Si	0.20	0.05	0.07	0.11	0.08
K	1.17	0.68	0.04	0.63	0.57

ตารางที่ ข.12 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบด

องค์ประกอบทางเคมี	ครั้งที่			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
C	75.66	75.67	75.80	75.71	0.08
O	14.03	14.22	14.54	14.26	0.26
N	4.95	4.34	4.93	4.74	0.35
Si	0.32	0.36	0.35	0.34	0.02
Cl	1.05	1.19	1.04	1.09	0.08
K	2.91	2.89	2.89	2.90	0.01
Al	0.40	0.46	0.48	0.45	0.04
S	0.63	0.67	0.61	0.64	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบด 9.5 : 0.5

องค์ประกอบทางเคมี	ครั้งที่			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
C	74.72	75.64	74.40	74.92	0.64
O	15.79	15.41	15.83	15.68	0.23
N	5.40	5.35	5.40	5.38	0.03
Si	0.35	0.31	0.33	0.33	0.02
Cl	0.57	0.62	0.52	0.57	0.05
K	2.30	2.28	2.26	2.28	0.02
Al	0.48	0.47	0.42	0.46	0.03
S	0.53	0.57	0.54	0.55	0.02

ตารางที่ ข.14 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบด 9 : 1

องค์ประกอบทางเคมี	ครั้งที่			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
C	74.73	74.52	74.36	74.54	0.19
O	15.29	14.45	14.77	14.84	0.42
N	5.83	6.04	5.38	5.75	0.34
Si	0.45	0.39	0.44	0.43	0.03
Cl	0.25	0.26	0.28	0.26	0.02
K	3.50	3.86	3.61	3.66	0.18
Al	0.50	0.48	0.53	0.50	0.03
S	0.68	0.77	0.63	0.66	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.15 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบด 8 : 2

องค์ประกอบทางเคมี	ครั้งที่			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
C	75.85	76.24	76.55	76.21	0.35
O	14.17	14.40	14.75	14.44	0.29
N	4.96	4.58	4.86	4.80	0.20
Si	0.16	0.17	0.16	0.16	0.01
Cl	1.07	1.10	1.03	1.07	0.04
K	2.42	2.55	2.39	2.45	0.09
Al	0.39	0.38	0.38	0.38	0.01
S	0.58	0.53	0.60	0.57	0.04

ตารางที่ ข.16 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวแบบบด 7 : 3

องค์ประกอบทางเคมี	ครั้งที่			เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3		
C	76.71	76.65	76.62	76.66	0.05
O	15.04	15.68	14.46	15.06	0.61
N	4.80	5.00	4.59	4.80	0.21
Si	0.21	0.26	0.21	0.22	0.01
Cl	0.55	0.50	0.59	0.55	0.05
K	1.82	1.96	2.03	1.94	0.11
Al	0.44	0.46	0.47	0.46	0.02
S	0.44	0.37	0.41	0.41	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว

จากการทดลองเมื่อนำเชื้อเพลิงอัดแท่ง 2 กิโลกรัม ไปเผาให้กลายเป็นถ่านอัดแท่งจะได้ถ่านอัดแท่ง 1 กิโลกรัม

4.1 วัตถุดิบที่ใช้

น้ำหนักของชา = 1.9 กิโลกรัม
น้ำหนักของแป้งมันสำปะหลัง = 0.1 กิโลกรัม
น้ำหนักของน้ำที่เติมเข้าไปในส่วนผสม = 2.0 กิโลกรัม
น้ำหนักของไม้ (ขึ้นกับสัดส่วนของเศษไม้)

4.2 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการบดกาชาเขียว = 0.02 หน่วย / 60วินาที
ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ = 0.63 หน่วย / 219 วินาที

อัตราการผลิตของเครื่องอัดแท่ง

$$= \frac{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กิโลกรัม)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการผลิต (ชั่วโมง)}}$$

$$= 4/(219/3600)$$

$$= 65.75 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

ค่าใช้จ่าย

1. ค่าใช้จ่ายในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชา
   คิดจากไม้ฟืนที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงในการเผาถ่าน = 0.5 บาท/กิโลกรัม.

2. ค่าไฟฟ้า = 5 บาท/ หน่วย
   ค่าไฟฟ้าจากเครื่องบดละเอียด = 0.02×5 = 0.1 บาท/กิโลกรัม
   ค่าไฟฟ้าจากเครื่องอัดแท่ง = 0.063×5 = 0.315 บาท/กิโลกรัม

   ดังนั้น ค่าไฟฟ้าทั้งหมด = 0.1+0.315
   = 0.415 บาท/กิโลกรัม

3. มูลค่ากากชาเขียว = 0 บาท/กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. มูลค่าแป้งมันสำปะหลัง = 14 บาท/กิโลกรัม

ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว 1 กิโลกรัม

ใช้แป้งมันสำปะหลัง = 0.1 กิโลกรัม

ดังนั้น มูลค่าแป้งมันสำปะหลัง = 0.1×14

= 1.4 บาท/กิโลกรัม

5. มูลค่าเศษไม้ = 0.7 บาท/กิโลกรัม

เศษไม้ 5% = 0.07 บาท/กิโลกรัม

เศษไม้ 10% = 0.14 บาท/กิโลกรัม

เศษไม้ 20% = 0.28 บาท/กิโลกรัม

เศษไม้ 30% = 0.42 บาท/กิโลกรัม

6. ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ = 0.5 บาท/กิโลกรัม

7. ค่าแรงงาน

มีคนงาน 2 คน

แรงงานขั้นต่ำคือ = 181 บาท/คน/วัน

ใน 1 วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง จึงผลิตถ่านอัดแท่งได้ = (65.75/2) ×8 = 263 กิโลกรัม/วัน

ค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงาน = 181×2 = 362 บาท/วัน

ดังนั้น ค่าแรงงาน = 362/263 = 1.37 บาท/กิโลกรัม

ต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว

= 0.5+0.415+0+0.5+1.37

= 2.78 บาท/กิโลกรัม

ต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวผสมแป้งมัน 5%

= 0.5+0.415+0+1.4+0.5+1.37

= 4.18 บาท/กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยผสมกับเศษไม้ 5%

= 0.5+0.415+0+1.4+0.5+1.37+0.07

= 4.25 บาท/กิโลกรัม

ต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยผสมกับเศษไม้ 10%

= 0.5+0.415+0+1.4+0.5+1.37+0.14

= 4.32 บาท/กิโลกรัม

ต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยผสมกับเศษไม้ 20%

= 0.5+0.415+0+1.4+0.5+1.37+0.28

= 4.46 บาท/กิโลกรัม

ต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยผสมกับเศษไม้ 30%

= 0.5+0.415+0+1.4+0.5+1.37+0.42

= 4.60 บาท/กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาววนิตา จาดดำ

วัน เดือน ปี เกิด 25 เมษายน 2524

ที่อยู่ปัจจุบัน 521/4 ซ.แอนแน็กซ์ 11 แขวงสายไหม เขตสายไหม กทม. 10220

ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2545 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2548 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้