การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเฉาก๊วย

วิทยานิพนธ์

ของ

ศักดิ์สิทธิ์ โสธรศักดิ์

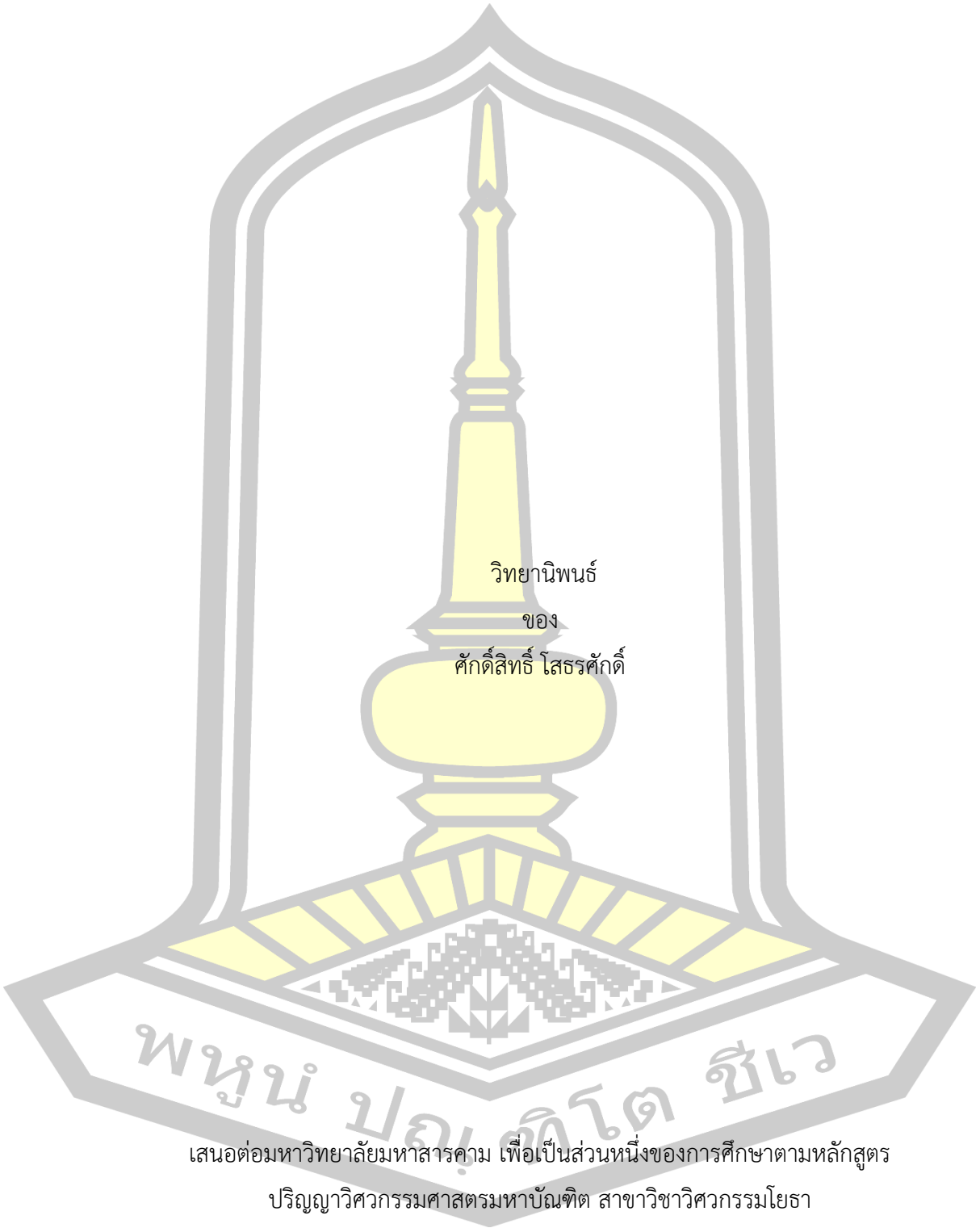
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2561

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเฉาก๊วย



วิทยานิพนธ์

ของ

ศักดิ์สิทธิ์ โสธรศักดิ์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2561

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Production of Refuse Derived Fuel made from Grass jelly processing Residue

Saksit Sothonsak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Civil Engineering)

Academic Year 2018

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายศักดิ์สิทธิ์ โสธรศักดิ์ แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร อนุชา เพียรชนะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ.ดร นิดา ชัยมูล)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร เพชร เพ็งชัย)

.....กรรมการ

(รศ.ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....

(รศ.ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผศ.ดร กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วัน.....เดือน.....ปี.....

ชื่อเรื่อง การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเฉาก๊วย
ผู้วิจัย ศักดิ์สิทธิ์ โสธรศักดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิดา ชัยมูล
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีการศึกษา** 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการแปรรูปขยะกากเฉาก๊วย (GJ) ให้กลายเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยนำกากเฉาก๊วยจากโรงงานเฉาก๊วยห้าดาวจังหวัดขอนแก่นมาผสมกับขี้เลื่อย (SD) และแป้งมันสำปะหลัง (TF) ในอัตราส่วนต่างกัน 16 ค่า แล้วอัดแท่งเป็นขยะเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้ในแต่ละอัตราส่วนจะถูกนำมาศึกษาคุณสมบัติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสัดส่วนของ GJ : SD : TF ที่สามารถแปรรูป GJ ได้มากที่สุดโดยไม่ทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณสมบัติต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วน GJ : SD : TF เท่ากับ 60 : 30 : 10 เป็นอัตราส่วนที่สามารถแปรรูปกากเฉาก๊วยเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้มากที่สุด โดยเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความร้อนที่ 3,558 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม มีความชื้นร้อยละ 1.62 มีปริมาณเถ้าร้อยละ 12.42 รับกำลังแรงอัดได้ 0.011 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร มีความหนาแน่น 0.26 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีคาร์บอนคงตัวร้อยละ 14.97 และมีสารระเหยร้อยละ 70.97 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานคู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสานโดยสำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม ในส่วนของต้นทุนการผลิตพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากเฉาก๊วย 60 เปอร์เซ็นต์ดังที่กล่าวมาข้างต้น มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 32 บาทต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ : เชื้อเพลิงอัดแท่ง, วัสดุเหลือทิ้ง, กากเฉาก๊วย, ขี้เลื่อย, แป้งมันสำปะหลัง

TITLE Production of Refuse Derived Fuel made from Grass jelly processing Residue

AUTHOR Saksit Sothonsak

ADVISORS Assistant Professor Nida Chaimoon , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Civil Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2018

ABSTRACT

This research studied grass jelly waste (GJ) processing to produce fuel briquette. GJ collected from Five Stars Grass Jelly Factory located in Khon Kean province was mixed with saw dust (SD) and tapioca flour (TF) at different 16 ratios and pressed to make blocks of fuel briquettes. The fuel briquettes were applied for quality analysis to find out the composition ratio which can satisfy fuel briquette's standard criteria as well as maximized the GJ utilization. The result revealed that GJ : SD : TF ratio of 60 : 30 : 10 could maximize the GJ utilization. with these properties, i.e. heating value (3,558 kcal / kg), moisture content (1.62 %), ash content (12.42 %), compressive strength (0.011 N/cm^3), density (0.26 g/cm^3), fixed carbon (14.97 %), Volatile Matters (70.97 %), This meets the requirements announced in a handbook of the way and criterion of waste properties for transformation into fuel pellets and Interlocking brick by the industrial waste management bureau, department of industrial works. In terms of production cost, the fuel briquettes made from 60 percent GJ as described above costed 32 baht per kilogram.

Keyword : Refuse Derived Fuel, Grass jelly, sawdust, waste, Tapioca

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ได้รับการอนุเคราะห์และความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากบุคคลและองค์กร ดังต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิดา ชัยมูล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งได้สละเวลาอันมีค่าในการให้ความช่วยเหลือ ให้ความรู้ แนะแนวทางในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ตลอดจนตรวจทาน จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ประสบผลสำเร็จลงได้ด้วยดี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

รองศาสตราจารย์ ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ความรู้ในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ทำให้การปฏิบัติลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งเป็นสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำชิ้นงานการค้นคว้าและวิจัย ตลอดจนการทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ทุนการศึกษา ทุนภูมิพล และทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้มอบทุนในการศึกษาค้นคว้าและวิจัยในครั้งนี้

ผู้ปกครองของผู้จัดทำ ที่คอยให้ความช่วยเหลือเอาใจใส่ ให้กำลังใจและสนับสนุนทุนทรัพย์ในการศึกษาเล่าเรียนด้วยดีตลอดมา

คณะผู้จัดทำวิทยานิพนธ์นิพนธ์ขอขอบพระคุณบุคคลและองค์กรที่ได้กล่าวมาข้างต้นเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ หากเนื้อหาหรือข้อมูลของวิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นประโยชน์และสามารถก่อให้เกิดนวัตกรรมด้านใหม่ๆจากผู้ที่สนใจศึกษาหรือทำการวิจัย ผู้จัดทำขอยกความดีให้แก่บุคคลและองค์กรที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด

ศักดิ์สิทธิ์ โสธรศักดิ์

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพประกอบ ..... ฎ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ของการวิจัย 2

บทที่ 2 3

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 พลังงาน 3

2.2 ขยะมูลฝอย (Solid Waste) 6

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2558) 9

2.3 วิธีการกำจัดขยะ 10

2.4 หลักการเผาทำลายของเสียและกากอุตสาหกรรมด้วยความร้อน 14

2.5 เชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) 17

2.6 สมบัติและการทดสอบคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง 22

2.7 เฉาก๊วย 26
2.8 ขี้เลื่อย 28
2.9 เศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม 29
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32
บทที่ 3 37
วิธีดำเนินการศึกษา 37
3.1 แผนการดำเนินงาน 37
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 39
3.3 วิธีการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง 39
3.4 อัตราส่วนผสมระหว่างกากเฉาก๊วย ขี้เลื่อย และตัวประสาน 40
3.5 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง 41
เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงจะมีรูปแบบการทำงานแบบใช้แรงมือ 41
3.6 วิธีการทดสอบตามมาตรฐานซึ่งมีข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้ 42
3.7 การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 44
บทที่ 4 47
ผลการทดลอง 47
4.1 การทดสอบคุณสมบัติวัตถุดิบ 47
4.2 การทดสอบคุณสมบัติวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสม 48
4.3 วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย 69
บทที่ 5 72
สรุปผลการทดลอง 72
5.1 สรุปผลการทดลอง 72
5.2 ข้อเสนอแนะ 73
บรรณานุกรม 74

ประวัติผู้เขียน 78

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สถานการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนในปี พ.ศ. 2551 – 2557 7
ตารางที่ 2 องค์ประกอบเฉลี่ยในเทศบาลที่มีปริมาณขยะมากกว่า 100 ตัน/วัน และ 50-100 ตัน/วัน 8
ตารางที่ 3 แสดงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้ 18
ตารางที่ 4 ตัวอย่างคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวลที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง 25
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบอัตราส่วนขยะอินทรีย์ชีวมวลและตัวประสานโดยน้ำหนัก 40
ตารางที่ 6 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของกากเฉาก๊วยและขี้เลื่อย 47
ตารางที่ 7 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่างกากเฉาก๊วย ขี้เลื่อย และแป้งมันสำปะหลัง 49
ตารางที่ 8 ค่าความชื้นที่มีอยู่ในถ่าน 50
ตารางที่ 9 ค่าความร้อนของถ่าน 52
ตารางที่ 10 ปริมาณเถ้าจากถ่าน 54
ตารางที่ 11 ปริมาณสารระเหย 56
ตารางที่ 12 ปริมาณคาร์บอนคงตัว 58
ตารางที่ 13 กำลังรับแรงอัดของถ่าน 60
ตารางที่ 14 ความหนาแน่นของถ่าน 62
ตารางที่ 15 แสดงผลการทดลอง (WBT) 64
ตารางที่ 16 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยกับงานวิจัยอื่นๆ 66
ตารางที่ 17 แสดงถึงผลการวิเคราะห์ธาตุ 68
ตารางที่ 18 ผลการทดลองและการพยากรณ์ความร้อน 68
ตารางที่ 19 ต้นทุนการผลิต 69
ตารางที่ 20 ผลการคำนวณความคุ้มค่า NPV 70
ตารางที่ 21 ผลการคำนวณความคุ้มค่า NPV 71

สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 1 แสดงการใช้พลังงาน 3
ภาพประกอบ 2 แสดงการใช้พลังงานแบ่งตามสาขา 4
ภาพประกอบ 3 แสดงพลังงานจากแร่เชื้อเพลิงธรรมชาติเป็นพลังงานสิ้นเปลืองใช้แล้วหมด 5
ภาพประกอบ 4 แสดงพลังงานจากธรรมชาติเป็นพลังงานหมุนเวียนใช้แล้วไม่หมด 6
ภาพประกอบ 5 ขยะชุมชน 9
ภาพประกอบ 6 ลำดับการจัดการขยะ 12
ภาพประกอบ 7 ภาพรวมของการบำบัดของเสียด้วยกระบวนการทางความร้อน 15
ภาพประกอบ 8 เชื้อเพลิงอัดแท่ง 19
ภาพประกอบ 9 โครงสร้างทางเคมีของวัสดุที่มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง 24
ภาพประกอบ 10 ลักษณะของขี้เลื่อย 28
ภาพประกอบ 11 ขี้เลื่อยขนาดใหญ่ 29
ภาพประกอบ 12 ขี้เลื่อยละเอียด 29
ภาพประกอบ 13 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง 41
ภาพประกอบ 14 เครื่อง Tension and compression testing 44
ภาพประกอบ 15 เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างกากเฉาก๊วย ขี้เลื่อยและตัวประสานแป้งมัน สำปะหลังเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของรูกลวง 1.5 เซนติเมตร ความสูง 10 เซนติเมตร 48
ภาพประกอบ 16 ผลของอัตราส่วนการผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยที่ส่งผลต่อความชื้น 51
ภาพประกอบ 17 ผลของอัตราส่วนการผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยที่ส่งผลต่อค่าความร้อน 53
ภาพประกอบ 18 ผลของอัตราส่วนการผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยที่ส่งผลต่อปริมาณเถ้า 55
ภาพประกอบ 19 สารระเหย 57
ภาพประกอบ 20 ผลการทดสอบคาร์บอนคงตัว 59
ภาพประกอบ 21 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง 61
ภาพประกอบ 22 ผลการทดสอบความหนาแน่น 63

ภาพประกอบ 23 ระยะเวลาที่ใช้ในการต้ม 65

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นตามการเติบโตทางเศรษฐกิจโดยที่น้ำมันสำเร็จรูปยังคงเป็นพลังงานที่ใช้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 49.5 ของการใช้พลังงานทั้งหมดรองลงมาประกอบด้วย ไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียน ก๊าซธรรมชาติ พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม และถ่านหิน/ลิกไนต์ ซึ่งคิดเป็น ร้อยละ 20.3, 8.7, 7.5, 7.5 และ 6.5 ตามลำดับ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2559) ซึ่งเป็นผลมาจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจที่ขยายตัวเพิ่มขึ้น ดังนั้นการลดปริมาณการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปหรือพลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ น้ำมันสำเร็จรูป ไฟฟ้า พลังงานก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน/ลิกไนต์ จึงมีความสำคัญ นอกจากนี้พลังงานเหล่านี้ยังก่อให้เกิดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน รัฐบาลจึงมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มมากขึ้น เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงพลังงานประเภทหนึ่งที่สามารถจะใช้เป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไปได้ซึ่งได้รับความสนใจในปัจจุบัน

จากการที่ประเทศไทยเป็นประเภทกึ่งอุตสาหกรรมดังนั้นจึงมีการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีกากอุตสาหกรรมที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์จำนวนมาก ได้มีงานวิจัยต่างๆ ที่ศึกษาการนำกากชีวมวลมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ แกลบ ขี้เลื่อย ชานอ้อย ซังข้าวโพด ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนก๊าซหุงต้มซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ก๊าซหุงต้มได้และถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกากอุตสาหกรรม ในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน

จากปัญหาที่กล่าวมานั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาการนำวัตถุดิบกากเฉาก๊วยซึ่งเป็นกากอุตสาหกรรมที่เหลือทิ้งอีกชนิดหนึ่ง จากการที่กากเฉาก๊วยประกอบไปด้วยเซลลูโลสและลิกนิน จึงมีค่าความร้อนสูงเหมาะสำหรับนำมาเป็นเชื้อเพลิงโดยใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทน ซึ่งอาศัยกระบวนการที่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของกากเฉาก๊วยมีความสม่ำเสมอกลายเป็นขยะเชื้อเพลิง ที่เรียกกันว่า (Refuse Derived Fuel: RDF) สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในขั้นเทคนิคด้านเทคโนโลยีขั้นสูงกว่า เช่น ระดับที่ 5 หรือ RDF-5 ซึ่งเป็นเทคนิคที่เปลี่ยนขยะให้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงในรูปของแท่งหรือเม็ดซึ่งจะมีการย่อย แยก อบแห้ง และผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงออกมาในรูปของขยะเชื้อเพลิงอัดแท่ง หรือเม็ดนอกจากนี้ RDF ยังสามารถผลิตขายให้เป็นรายได้แก่ครัวเรือนโดยนำกากเฉาก๊วยที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปเครื่องดื่มโดยใช้เครื่อง

อัดด้วยมือด้วยวิธีอัดแบบเย็นและศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยโดยผสมกับเศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้ นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยและทำการทดสอบการให้ความร้อน เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพดี

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วย
2. ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยสำหรับนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง
3. ศึกษาการเปรียบเทียบทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยโดยใช้ตัวอย่างจากโรงงานเฉาก๊วยห้าดาว จังหวัดขอนแก่น มีกำลังการผลิตรอบละ 180 กิโลกรัม ซึ่งจะเหลือกากเฉาก๊วย 20 กิโลกรัม

2. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผสมตัวประสานในอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ กากเฉาก๊วยต่อขี้เลื่อยไม้ยางพาราต่อแป้งมันสำปะหลังโดยนำกากเฉาก๊วยมาบดและร่อนให้ได้ขนาดแล้วทำการอัดแท่งโดยใช้วิธีการอัดแบบเย็น จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้น และศึกษาเปรียบเทียบด้านเคมีและกายภาพ ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว ค่าความร้อน ความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด

3. เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยและหาจุดคุ้มทุนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1.4 ประโยชน์ของการวิจัย

1. ได้ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงจากกากเฉาก๊วย
2. ได้ทราบถึงประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วย
3. ได้ทราบถึงจุดคุ้มทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยและนำไปใช้
4. เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มขยะเพื่อเป็นพลังงานทดแทน
5. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาการผลิตวัตถุดิบเหลือใช้ชนิดอื่นต่อไป

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงาน

2.1.1 สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย

สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย เดือนมกราคม–เมษายน 2559 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานในช่วงสี่เดือนแรกของปี 2559 มีปริมาณ 26,781 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบดังภาพประกอบที่ 1 เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อนร้อยละ 1.4 คิดเป็นมูลค่ากว่า 227,757 ล้านบาท การใช้พลังงานยังคงเพิ่มขึ้นตามการเติบโตทางเศรษฐกิจโดยที่น้ำมันสำเร็จรูปยังคงเป็นพลังงานที่ใช้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 50.2 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมดรองลงมาประกอบด้วย ไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียน พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน/ลิกไนต์ คิดเป็นร้อยละ 19.6 8.7 7.8 7.5 และ 6.2 ตามลำดับ

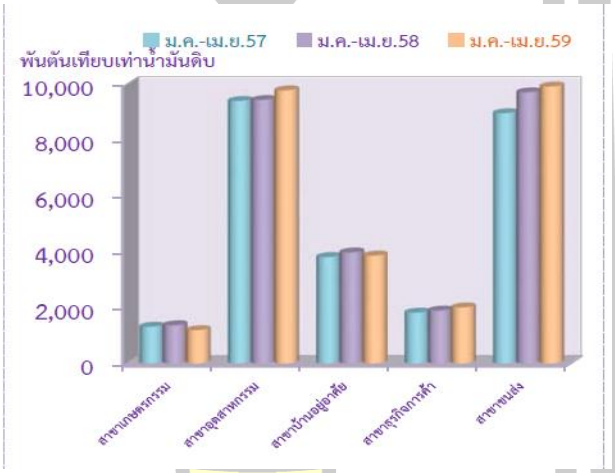
ภาพประกอบ 1 แสดงการใช้พลังงาน

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2559)

จากรายงานภาวะเศรษฐกิจในเดือนเมษายน ปี 2559 ของธนาคารแห่งประเทศไทย พบว่าเศรษฐกิจมีการขยายตัวอย่างค่อยเป็นค่อยไปโดยมีแรงส่งที่ดีจากภาคบริการ ขณะที่ภาคการผลิตยังขยายตัวค่อนข้างต่ำเพราะการส่งออกสินค้ายังคงซบเซาตามเศรษฐกิจประเทศคู่ค้าสำคัญ ประกอบกับกำลังซื้อภายในประเทศได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง ส่งผลต่อเนื่องให้การลงทุนภาคเอกชนยังไม่มีสัญญาณการฟื้นตัวที่ต่อเนื่องอย่างชัดเจน สำหรับการใช้จ่ายของภาครัฐลดลงเล็กน้อยหลังจากที่เร่งไปมากในเดือนก่อน ด้านเสถียรภาพทางเศรษฐกิจ อัตราเงินเฟ้อทั่วไปกลับมา

เป็นบวกเล็กน้อยตามการเพิ่มขึ้นของราคาอาหารสดและราคาน้ำมัน อัตราการว่างงานทรงตัวจากเดือนก่อน ดุลบัญชีเงินสะพัดเกินดุลจากมูลค่าการนำเข้าที่อยู่ในระดับต่ำประกอบกับรายได้จากภาคท่องเที่ยวดีขึ้น

อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายเพิ่มขึ้นเกือบทุกสาขาเศรษฐกิจ โดยพบว่า สาขาอุตสาหกรรม สาขาธุรกิจการค้า และสาขาขนส่ง เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อน ร้อยละ 3.7 5.9 และ 2.1 ตามลำดับ ส่วนสาขาเกษตรกรรม และสาขาบ้านอยู่อาศัย ลดลงจากช่วงเดียวกันของปีก่อน ร้อยละ 12.8 และ 2.8 ตามลำดับ โดยสาขาขนส่ง เป็นสาขาที่มีการใช้พลังงานในสัดส่วนที่สูงกว่าสาขาอื่น โดยมีสัดส่วนการใช้ ร้อยละ 37 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด รองลงมาเป็นสาขาอุตสาหกรรม บ้านอยู่อาศัย ธุรกิจการค้า และเกษตรกรรม โดยมีการใช้ร้อยละ 36.5 14.5 7.5 และ 4.5 ตามลำดับดังภาพประกอบที่ 2 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2559)



ภาพประกอบ 2 แสดงการใช้พลังงานแบ่งตามสาขา

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2559)

2.1.2 ความหมายของพลังงาน

พลังงาน คือ ความสามารถที่จะทำงานได้ ความสามารถดังกล่าวนี้เป็นความสามารถของวัตถุใดมีพลังงานวัตถุนั้นก็สามารถทำงานได้และคำว่างานในที่นี้เป็นผลของการกระทำของแรง ซึ่งทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไปในแนวของแรง สิ่งใดก็ตามที่สามารถทำให้วัตถุเปลี่ยนตำแหน่งหรือเคลื่อนที่ไปจากที่เดิมได้ สิ่งนั้นย่อมมีพลังงานอยู่ภายใน

พลังงาน คือ ความสามารถที่จะทำงานได้โดยอาศัยแรงงานที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติโดยตรง และที่มนุษย์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีดัดแปลงใช้จากพลังงานตามธรรมชาติ ตามคำนิยามของนักวิทยาศาสตร์ พลังงาน คือ ความสามารถในการทำงาน (Ability to do work) โดยการทำงานนี้อาจจะอยู่ในรูปของการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนรูปของวัตถุก็ได้

พลังงาน คือ ความสามารถของสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่จะทำงานได้ ซึ่งงานเป็นผลจากการกระทำของแรงเป็นเหตุให้สิ่งนั้นเคลื่อนที่ ซึ่งคุณสมบัติ โดยทั่วไปของพลังงานมีอยู่ 2 ประการ คือ ทำงานได้และเปลี่ยนรูปได้

2.1.3 ประเภทของพลังงาน

เนื่องจากความหลากหลายของพลังงานที่มีอยู่เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ผู้ศึกษาอาจเกิดความเข้าใจสับสนจึงได้มีนักวิชาการพยายามที่จะจำแนก อธิบายพลังงานเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษามากยิ่งขึ้น พลังงานสามารถจำแนกได้ ดังนี้

1. จำแนกตามแหล่งที่ได้มา

1) พลังงานต้นกำเนิด (Primary energy) หมายถึง แหล่งพลังงานที่เกิดขึ้นหรือมีอยู่แล้วตามธรรมชาติสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยตรง ได้แก่ น้ำ แสงแดด ลม เชื้อเพลิงตามธรรมชาติ เช่น น้ำมันดิบ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ พลังงานความร้อนใต้พิภพ แร่นิวเคลียร์ ไม้ฟืน แกลบ ชานอ้อย เป็นต้น ดังภาพประกอบที่ 3

2) พลังงานแปรรูป (Secondary energy) หมายถึง สภาวะของพลังงานซึ่งได้มาโดยการนำพลังงานต้นกำเนิดดังกล่าวแล้วข้างต้นมาแปรรูป ปรับปรุง ปรุงแต่ง ให้อยู่ในรูปที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในลักษณะต่าง ๆ กันได้ตามความต้องการ เช่น พลังงานไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ถ่านไม้ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว เป็นต้น

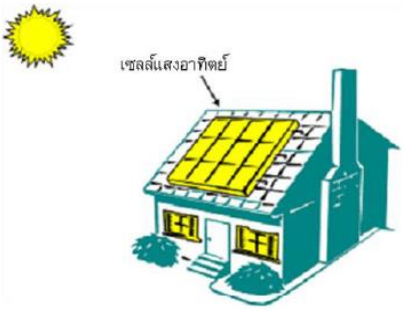
2. จำแนกตามแหล่งที่นำมาใช้ประโยชน์

1) พลังงานสิ้นเปลือง (Non - renewable energy resources) หรือพลังงานฟอสซิลได้แก่ น้ำมัน รวมทั้งหินน้ำมัน ทรายน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ที่เรียกว่าใช้แล้วหมดก็เพราะหามาทดแทนไม่ทันการใช้ พลังงานพวกนี้ปกติแล้วจะอยู่ใต้ดิน ถ้าไม่ขุดขึ้นมาใช้ตอนนี้ ก็เก็บไว้ให้ลูกหลานใช้ได้ในอนาคต บางทีจึงเรียกว่าพลังงานสำรอง ดังภาพประกอบ 3

ภาพประกอบ 3 แสดงพลังงานจากแร่เชื้อเพลิงธรรมชาติเป็นพลังงานสิ้นเปลืองใช้แล้วหมด

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2551)

2) พลังงานหมุนเวียน (Renewable energy resources) พลังงานประเภทนี้ได้แก่ ไม้ กระดาษ ฟืน แกลบ กาก (ชาน) อ้อย ชีวะมวล (เช่น มูลสัตว์ และก๊าซชีวภาพ) น้ำ (จากเขื่อนไหลมาหมุนกังหันปั่นไฟ) แสงอาทิตย์ (ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้) ลม (หมุนกังหันลมผลิตไฟฟ้า) และคลื่น (กระแทกให้กังหันหมุนปั่นไฟ) และที่ว่าใช้ไม่หมดก็เพราะสามารถหามาทดแทนได้ เช่น ปลูกป่าเอาไม้มาทำฟืน หรือปล่อยน้ำจากเขื่อนมาปั่นไฟ แล้วไหลลงทะเล กลายเป็นไอ และเป็นฝนตกลงมาสู่โลกอีก หรือแสงอาทิตย์ที่ได้รับจากดวงอาทิตย์อย่างไม่มีวันหมดสิ้น ดังภาพประกอบที่ 4



พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานความร้อนใต้พิภพ

ภาพประกอบ 4 แสดงพลังงานจากธรรมชาติเป็นพลังงานหมุนเวียนใช้แล้วไม่หมด

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2551)

2.2 ขยะมูลฝอย (Solid Waste)

ขยะมูลฝอยหมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร เถ้า มูลสัตว์ หรือกากสัตว์ รวมตลอดถึงสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ หรืออื่นๆจำแนกตามลักษณะของขยะ มี 2 ประเภท คือ

1) ขยะเปียกหรือขยะสด (Garbage) มีความชื้นปนอยู่มากกว่าร้อยละ 50 จึงติดไฟได้ยาก ส่วนใหญ่ได้แก่ เศษอาหาร เศษเนื้อ เศษผัก และผักผลไม้จากบ้านเรือน ร้านจำหน่ายอาหารและตลาดสด รวมทั้งซากพืชและสัตว์ที่ยังไม่เน่าเปื่อย ขยะประเภทนี้จะทำให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็นเนื่องจากแบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์สาร นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคโดยติดไปกับแมลง หนู และสัตว์อื่นที่มาตอมหรือกินเป็นอาหาร

2) ขยะแห้ง (Rubbish) เป็นสิ่งเหลือใช้ที่มีความชื้นอยู่น้อยจึงไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น จำแนกได้ 2 ชนิดคือ

(1) ขยะที่เป็นเชื้อเพลิง เป็นพวกที่ติดไฟได้ เช่น เศษผ้าเศษกระดาษ หญ้า ใบไม้ กิ่งไม้แห้ง พลาสติก เป็นต้น

(2) ขยะที่ไม่เป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ เศษโลหะ เศษแก้ว และเศษก้อนอิฐ เป็นต้น

ปริมาณของขยะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปีเนื่องจากจำนวนประชาชนเพิ่มขึ้น และพฤติกรรมการบริโภคของประชาชนที่เปลี่ยนแปลงไป มีการใช้บรรจุภัณฑ์ฟุ่มเฟือยมากขึ้น จะเห็นได้จากแนวโน้มอัตราการเกิดขยะมูลฝอยเฉลี่ยต่อคนต่อวันเพิ่มสูงขึ้นจากเมื่อ 5 ปีที่แล้ว จาก 1.04 กิโลกรัม/คน/วัน ในปี พ.ศ. 2553 เพิ่มเป็น 1.11 กิโลกรัม/คน/วัน ในปี พ.ศ.2557 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถานการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนในปี พ.ศ. 2551 – 2557

ปี พ.ศ.	ปริมาณขยะมูลฝอย (ล้านตัน/วัน)	ปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่ม (กิโลกรัม/คน/วัน)
2551	23.93	1.03
2552	24.11	1.04
2553	24.22	1.04
2554	25.35	1.08
2555	24.73	1.05
2556	26.77	1.15
2557	26.19	1.11

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2557)

สำหรับปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากชุมชนทั่วประเทศในปี 2557 พบว่าประเทศไทยมีปริมาณขยะเกิดขึ้นทั่วประเทศประมาณปีละ 26.19 ล้านตัน เฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครมีปริมาณขยะเกิดขึ้นประมาณวันละ 10.87 ตัน/วัน ในขณะที่ปริมาณขยะในเขตเทศบาลและเมืองพัทยาเกิดขึ้นประมาณวันละ 1,957 ตัน/วัน นอกเขตเทศบาลซึ่งครอบคลุมพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลทั้งหมดเกิดขึ้นประมาณวันละ 17,800 ตัน ส่วนปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาลเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

เนื่องจากปัจจัยหลายประการ กรมควบคุมมลพิษ (2545) ดังนี้

1. การเพิ่มและย้ายถิ่นฐานของจำนวนประชากร
2. การขยายตัวของชุมชนอันเนื่องมาจากการกระจายอำนาจสู่ท้องถิ่นมากขึ้น
3. การกระตุ้นเศรษฐกิจจากภาครัฐบาลทำให้ภาคธุรกิจขยายตัว
4. การส่งเสริมและพัฒนาการท่องเที่ยว
5. การส่งเสริมหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์

ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้มีการบริโภคและอุปโภคของประชาชนเพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุให้มีปริมาณขยะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

องค์ประกอบขยะชุมชน

องค์ประกอบขยะชุมชนจะเปลี่ยนไปตามสภาพของภูมิอากาศ ฤดูกาล และพฤติกรรมทางเศรษฐกิจสังคม วิถีชีวิต ตลอดจนอุปนิสัยและแบบแผนในการบริโภคของแต่ละชุมชนโดยทั่วไปจะมีค่าเฉลี่ยองค์ประกอบขยะแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบเฉลี่ยในเทศบาลที่มีปริมาณขยะมากกว่า 100 ตัน/วัน และ 50-100 ตัน/วัน

องค์ประกอบ	ปริมาณขยะมากกว่า 100 ตัน/วัน	ปริมาณขยะที่ 50-100 ตัน/วัน
เศษอาหาร/ผัก/ผลไม้ (%)	53.49	57.18
พลาสติก (%)	20.12	19.40
กระดาษ (%)	8.95	8.38
แก้ว (%)	5.02	3.47
โลหะ (%)	1.80	1.52
อื่นๆเช่น กระดูก/เปลือกหอย/สารพิษ/ผ้าอ้อม/ผ้าอนามัย/ถ่านไฟฉาย เป็นต้น (%)	10.62	10.05

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2547)

ประเภทของขยะมูลฝอย สามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพของขยะได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. ขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal solid Waste) คือ ขยะจากสถานที่ต่างๆ ได้แก่ ที่พักอาศัย ย่านธุรกิจการค้า ตลาดสด สถานที่ราชการ สถาบันการศึกษา และโรงพยาบาล ลักษณะของขยะขึ้นอยู่กับกิจกรรมต่างๆ ตามประเภทของแหล่งกำเนิด เช่น ขยะจากสถานที่ราชการหรือโรงเรียนส่วนใหญ่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้จากสำนักงาน เช่น กระดาษ ถุงพลาสติก ขยะจากโรงพยาบาล มักเป็นขยะติดเชื้อปะปนมากับขยะมูลฝอยประเภทอื่นๆ เป็นต้น

2. ขยะมูลฝอยจากการเกษตร (Agricultural Wastes) คือมูลฝอยที่เกิดจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์และจากการเพาะปลูก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่จะเกิดการเน่าและย่อยสลายส่งกลิ่นเหม็นรบกวน เช่น เศษพืช ผัก มูลสัตว์ เป็นต้น ในเขตเกษตรกรรมบางแห่งมีการใช้สารเคมีและวัตถุมีพิษต่างๆ ซึ่งเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

3. ขยะชุมชน (Municipal Wastes) แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1) ขยะจากบ้านพักอาศัย (Residential Waste) หมายถึง ขยะที่เกิดจากกิจกรรมการดำรงชีพของคนที่อยู่อาศัยอยู่ในบ้านพักอาศัยหรืออาคารชุดหรือ อพาร์ตเมนท์ ได้แก่ เศษอาหารจากการเตรียมอาหารหรือจากการเหลือใช้ เศษกระดาษ เศษพืชผัก ถุงพลาสติก ขวดพลาสติก ใบไม้ ภาชนะหรืออุปกรณ์ที่ชำรุดหรือเสื่อมสภาพ เศษแก้ว เป็นต้น

2) ขยะจากธุรกิจการค้า (Commercial Waste) หมายถึง ขยะที่เกิดจากสถานที่ที่มีการประกอบกิจการค้าขาย ขนส่ง หรือบริการทางการค้าซึ่งขึ้นอยู่กับว่าเป็นสินค้าประเภทใด ได้แก่ อาคารสำนักงาน ตลาด ร้านอาหาร ร้านของชำ โรงแรม ซึ่งมักจะมีภาชนะเก็บขยะเป็นของตนเอง ขยะที่เกิดอาจมีเศษอาหาร เศษแก้ว พลาสติก เศษวัสดุก่อสร้างหรืออาจมีของเสียอันตรายปนอยู่ด้วย ดังภาพประกอบ 5

ภาพประกอบ 5 ขยะชุมชน

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2558)

3) ขยะจากสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ (Recreational Waste) หมายถึง ขยะเกิดจากสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ สถานที่ท่องเที่ยว ได้แก่ เขื่อนอ่างเก็บน้ำ ชายหาด ทะเลสาบ สระว่ายน้ำ หรืออาจเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่เป็นแหล่งศิลปกรรมได้แก่ โบราณสถานต่างๆ วัดวาอาราม กิจกรรมในการพักผ่อนมักต้องมีการรับประทานอาหาร เครื่องดื่มต่างๆ ทำให้เกิดขยะในอเมริกาพบว่าขยะที่เกิดจากการตั้งแค้มป์จะเกิดประมาณ 1 ปอนด์ต่อคนต่อวัน และชนิดของขยะนั้นจะขึ้นอยู่กับผู้ที่พักผ่อนหย่อนใจ ส่วนใหญ่ขยะที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดประเภทนี้จะเป็นเศษอาหาร เศษวัสดุบรรจุภัณฑ์ทั้งหลาย

4. ขยะมูลฝอยอุตสาหกรรม (Industrial Wastes) คือ ขยะมูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ทั้งจากกระบวนการผลิต หรือที่ปะปนมากับวัตถุดิบ ลักษณะมูลฝอยแบ่งเป็นมูลฝอยทั่วไปจากกิจวัตรประจำวัน หรือจากบ้านพักคนงาน และมูลฝอยอันตรายซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิต เช่น คราบน้ำมัน สารละลายที่ใช้แล้ว รวมทั้งเศษวัตถุดิบ

การจำแนกประเภทของขยะมูลฝอยที่นิยมในการศึกษาวิจัยทั่วไปในประเทศไทย มีการแยกตามองค์ประกอบของขยะออกเป็น 10 ประเภท ได้แก่

1) ผัก ผลไม้และเศษอาหาร หมายถึง เศษผัก เศษผลไม้ เศษอาหารที่เหลือจากการเตรียม การปรุง และการบริโภค (ยกเว้น เปลือกหอย กระดูก ก้างปลา ซังข้าวโพด ก้านกระถิน) เช่น ข้าวสุก เปลือกผลไม้ เนื้อสัตว์ ฯลฯ

2) กระดาษ หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเยื่อกระดาษ เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ แมกกาซีน หนังสือต่างๆ ใบปลิว การ์ด ถุงกระดาษ กล่องกระดาษ กระดาษอัด ฯลฯ

3) พลาสติก หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติก เช่น ถุงพลาสติก ภาชนะพลาสติก ของเล่นเด็กที่ทำด้วยพลาสติก ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ ฯลฯ

4) ผ้า หมายถึง สิ่งทอต่างๆ ที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ฝ้าย ลินิน ผ้าไนลอน ตัวอย่างเช่น ด้าย เสื้อผ้า ผ้าเช็ดมือ ถุงเท้า ฯลฯ

5) ไม้ หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ ไม้ไผ่ ฟาง หญ้า เศษไม้ รวมทั้งดอกไม้

6) ยางและหนัง หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทามาจากยางหรือหนัง เช่น เครื่องหนัง รองเท้า ลูกบอลหนัง กระเป๋าหนัง ฯลฯ

7) แก้ว หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแก้ว เช่น กระจก ขวดแก้ว หลอดไฟ เครื่องแก้ว

8) โลหะ หมายถึง วัสดุและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ทำจากโลหะ เช่น กระป๋องโลหะ สายไฟ ภาชนะต่างๆ ตะปู ฯลฯ

9) หิน กระเบื้อง กระดูกสัตว์และเปลือกหอย หมายถึง เศษหิน เศษกระดูกสัตว์ เปลือกหอย เช่น เซรามิก เปลือกหอย กุ้ง ปู กระดูกสัตว์ ก้างปลา

10) อื่นๆ หมายถึง วัสดุอื่นใดที่ไม่สามารถจัดกลุ่มเข้ากลุ่มต่างๆ ข้างต้น รวมถึง ฝุ่น ทราย เถ้า

2.3 วิธีการกำจัดขยะ

ปัจจุบันปริมาณขยะมูลฝอย นับวันจะเพิ่มมากขึ้นทุก ๆ ปี อันเนื่องมาจากปัจจัยหลายด้าน เช่น สภาพเศรษฐกิจ สังคม และจำนวนประชากร ดังนั้นการจัดการขยะมูลฝอยจำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากทุกฝ่าย ทุกระดับ ตั้งแต่ ครัวเรือน ชุมชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอำเภอจังหวัดและระดับประเทศ แต่ในสภาพความเป็นจริง เป็นภาระขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่จะต้องทำการเก็บขนและนำไปกำจัดให้หมดไปและวิธีการกำจัดส่วนใหญ่ ใช้วิธีเทกองบนพื้นที่ว่างหรือในกลุ่มปล่อย

ให้ย่อยสลายตามธรรมชาติหรือเผาทิ้ง ซึ่งเป็นวิธี ที่ไม่ถูกต้องและไม่ถูกหลักวิชาการ จึงก่อให้เกิดปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อมตามมาและปัญหาสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ คือ การขาดแคลนที่ดินที่ใช้ เป็นพื้นที่กำจัดขยะมูลฝอยในขั้นสุดท้าย หลักในการจัดการขยะมูลฝอย มีดังนี้

1) การจัดการมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด เป็นการจัดการเกี่ยวกับการเก็บรวบรวม ณ แหล่งกำเนิดการเลือกประเภทและขนาดของภาชนะที่ใช้รองรับขยะมูลฝอย

2) การเก็บรวบรวมมูลฝอย การเก็บขยะมูลฝอยใส่ไว้ในภาชนะ เพื่อรอพนักงานเก็บขยะมูลฝอยมาเก็บ ขนไปเทใส่รวบรวมในรถบรรทุกขยะ และการที่พนักงานกวาดถนน เก็บรวบรวมขยะมูลฝอยไว้ให้รถขยะ ขยะมูลฝอยที่รวบรวมจากแหล่งต่างๆ จะถูกนำไปถ่ายใส่ในรถบรรทุกขยะเพื่อที่จะขนส่งต่อไปยังสถานกำจัดขยะมูลฝอย

3) การขนถ่ายมูลฝอยเป็นการนำขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้จากแหล่งชุมชนต่างๆ ใส่ในรถบรรทุกขยะ เพื่อนำไปยังสถานที่กำจัด ซึ่งอาจเป็นการขนส่งโดยตรง จากแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอย ไปยังสถานกำจัดเลยทีเดียว หรืออาจขนขยะมูลฝอยไปพักที่ใดที่หนึ่ง ซึ่งเรียกว่า สถานีขนถ่ายขยะก่อนจะนำไปยังแหล่งกำจัดก็ได้

4) การแปรสภาพมูลฝอย เป็นการแปรรูปมูลฝอยที่เก็บขนมาได้ จนเหลือสิ่งตกค้างน้อยที่สุด ที่จะต้องนำไปกำจัดในขั้นสุดท้าย คือ การฝังกลบ การนำขยะมาใช้ประโยชน์มี 4 วิธีคือ วิธีใช้เป็นพลังงานความร้อน วิธีการหมักทำปุ๋ย วิธีใช้เป็นเชื้อเพลิง และวิธีการคัดแยกวัสดุกลับมาใช้ใหม่ การจัดการขยะมูลฝอยเป็นสิ่งจำเป็นมากในปัจจุบัน วิธีการจัดการขยะมูลฝอยสามารถกระทำได้มากมายหลายวิธี ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและความสะดวกของแต่ละพื้นที่

ปัจจัยที่ใช้เลือกวิธีการดำเนินการจัดการมูลฝอย ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด คือมูลฝอยถูกเก็บออกไปนอกชุมชน อย่างรวดเร็ว เรียบร้อย และได้รับการกำจัดด้วยวิธีการที่ถูกต้องประหยัด ปลอดภัย ทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

ตามที่ได้กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงการจัดการขยะของสังคมไทยที่ให้ความสำคัญกับการแก้ปัญหาจากแหล่งกำเนิดมากขึ้นแทนการพัฒนาแต่วิธีการกำจัดปลายทางเช่นที่ผ่านมา การแก้ปัญหาจากแหล่งกำเนิดเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการจัดการขยะซึ่งมีขั้นตอนที่สรุปเป็นหลักการที่เรียกว่า “ลำดับความสำคัญของการจัดการขยะ” (Waste Management Hierarchy) ดังภาพประกอบ 6 ลำดับความสำคัญของการจัดการขยะได้รับการพัฒนาขึ้นโดยหน่วยงานป้องกันสิ่งแวดล้อม(Environmental Protection Agency) ของสหรัฐอเมริกา เป็นการจัดเรียงลำดับขั้นตอนในการแก้ปัญหาขยะชุมชนตั้งแต่การใช้มาตรการป้องกันจนถึงการกำจัดซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย ประกอบด้วย

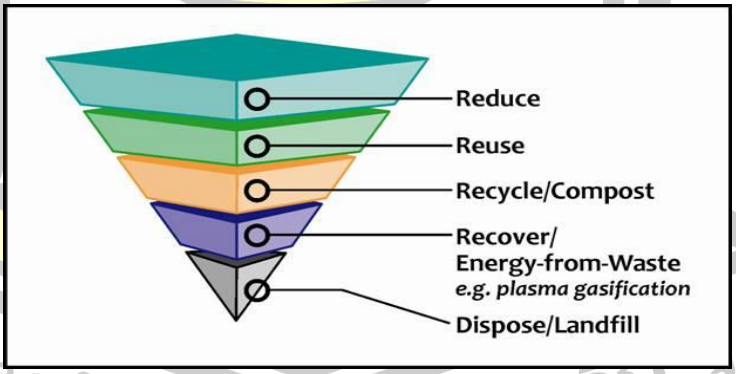
1) การลดปริมาณขยะมูลฝอยจากแหล่งกำเนิด (Reduce) หรือการลดมูลฝอยจากแหล่งที่เกิด(Reduce at source) มีแนวคิดว่าเมื่อมูลฝอยไม่เกิดขึ้นหรือเกิดเล็กน้อย ก็ไม่ต้องกำจัดหรือกำจัดน้อยเป็นการป้องกันเบื้องต้นไม่ให้มีมูลฝอยเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นในจำนวนน้อยที่สุด

2) การใช้ซ้ำ (Reuse) การนำเอาวัสดุเดิมที่มีอยู่มาใช้ซ้ำอีกครั้งหนึ่งในรูปแบบเดิม อาจนำมาซ่อมแซมหรือใช้ประโยชน์อื่นๆ แก่บุคคลอื่น

3) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ต้องแยกวัสดุที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำตามขั้นตอนที่สอง ได้ออกจากมูลฝอยแล้วรวบรวมหรือย่อยสลายวัสดุนั้นมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตต่อไป คล้ายกับการนำมาใช้ซ้ำ

4) การนำพลังงานที่ได้จากการกำจัดมาใช้ประโยชน์ (Energy Recovery) เป็นการดึงเอาพลังงานจากมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ โดยใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าจากเตาเผามูลฝอย และเอาก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักหมมของมูลฝอยในหลุม เช่น ก๊าซมีเทน เป็นต้น

5) การกำจัดในขั้นตอนสุดท้ายด้วยวิธีฝังกลบ (Final Disposal) ขั้นตอนสุดท้ายเพราะมูลฝอยที่เหลือจากการผ่านขั้นตอนที่สี่แล้ว จะต้องถูกกำจัดอย่างถูกวิธีให้หมดสิ้นไป โดยทั่วไปจะใช้วิธีฝังกลบ ซึ่งต้องเป็นไปตามหลักการและถูกสุขลักษณะ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของสารพิษหรือสารปนเปื้อน มิให้ไปสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกวิธีหนึ่งที่จะกำจัดมูลฝอยได้คือ การเผา ซึ่งสามารถลดปริมาณมูลฝอยลงได้มากแต่ต้องใช้งบลงทุนสูง และยังเป็นข้อโต้แย้งเกี่ยวกับมลภาวะที่เกิดขึ้นด้วย กัญญา จาอ้าย (2549)



ภาพประกอบ 6 ลำดับการจัดการขยะ
ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2555)

การลำดับความสำคัญของการจัดการขยะได้รับการพัฒนามาจากแนวคิดด้านสาธารณสุขที่ให้ความสำคัญของการป้องกันมากกว่าการรักษา

2.3.1 องค์ประกอบพื้นฐานของการติดไฟของมูลฝอย

มูลฝอยที่ติดไฟ (Combustible waste) สามารถติดไฟได้และให้ความร้อนออกมาแตกต่างกันตามองค์ประกอบพื้นฐานของมูลฝอยเอง คือ ความชื้น (Moisture content) ค่าความร้อน (Heating value) และปริมาณเถ้า (Ash content) ของตัวมูลฝอยเอง

1. ค่าความชื้น (Moisture content) ในตัวมูลฝอย หมายถึง ปริมาณน้ำที่สะสมเป็นส่วนประกอบของมูลฝอยหรือเกาะอยู่ตามผิวของมูลฝอยที่มีผลต่อการเผา เพราะในการเผาทำลายมูลฝอยต้องไล่น้ำ (ความชื้น) ออกจากมูลฝอยก่อนแล้วมูลฝอยจึงติดไฟ หรืออาจกล่าวได้ว่าต้องหาพลังงานความร้อนมาใช้ในการไล่น้ำออกไปจากมูลฝอยก่อนจนมูลฝอยแห้งจึงทำลายได้หมด เช่น การเผาใบไม้สดต้องใช้พลังงานความร้อนสูง ก่อนที่ใบไม้จะติดไฟจะมีควันสีขาวคล้ายไอน้ำลอยออกจากใบไม้สดแต่การเผาใบไม้แห้งจะติดไฟได้อย่างรวดเร็ว ไม่ว่ามูลฝอยเปียกหรือแห้งสามารถเผาในเตาเผาได้เช่นกัน แต่ถ้าเป็นมูลฝอยเปียกต้องใช้พลังงานความร้อนมาช่วยในการเผาเพิ่มขึ้นจากปกติ ดังนั้นในการออกแบบเตาเผามูลฝอยจึงได้มีการกำหนดค่าความชื้นของมูลฝอยไว้ก่อนนำเข้าเตาเผาเพราะมีผลกระทบต่อระบบการเผาไหม้ในเตาเผานั่นเอง

2. ค่าความร้อน (Heating value) เป็นค่าที่มีอยู่ในตัวของมูลฝอยซึ่งเมื่อติดไฟจะให้ค่าพลังงานความร้อนออกมา เช่น กระดาษ ให้ค่าความร้อนอยู่ในช่วง 2,800-4,500 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม พลาสติกมีค่าความร้อน 6,700-8,900 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัมโดยรวมแล้วมูลฝอยมีค่าความร้อนประมาณ 2,200-3,300 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัมค่าความร้อนของมูลฝอยเป็นตัวช่วยในการเผาไหม้ของมูลฝอยได้เป็นอย่างดี สังเกตได้ว่าหากเผาไหม้กระดาษหรือพลาสติกไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้เชื้อเพลิงเสริมในการลุกไหม้เลย แต่หากเผาพวกเศษอาหารอาจต้องใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงเสริม เป็นต้น ค่าความร้อนของมูลฝอยเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบเตาเผาโดยเฉพาะการใช้เชื้อเพลิงเสริมและวัสดุทนไฟที่ใช้ก่อสร้างห้องเผาไหม้ (Furnace) ในบางครั้งการเผามูลฝอยอาจไม่จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงหากมูลฝอยนั้นมีค่าความร้อนสูง แต่หากเป็นมูลฝอยประเภทที่มีค่าความร้อนต่ำ เช่น พวกเศษอาหารสดหากจะเผาทำลายต้องอาศัยเชื้อเพลิงช่วยในการเผา การเติมพลังงานความร้อนเข้าไปช่วยเผานี้เป็นการคำนวณอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าไป สำหรับการเผามูลฝอยชุมชนที่มีการผสมกันด้วยมูลฝอยหลากหลายชนิดและมีค่าความร้อนที่เหมาะสม หากควบคุมค่าความชื้นได้ให้อยู่ระหว่าง 50-60% อาจไม่จำเป็นต้องเติมเชื้อเพลิงเสริม

3. ปริมาณเถ้า (Ash content) เถ้าเป็นส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์หรือเถ้าคือส่วนที่ไม่สามารถติดไฟได้อีกของมูลฝอย มูลฝอยประเภทต่างๆ มีปริมาณเถ้าไม่เหมือนกัน บางอย่างมีปริมาณเถ้าน้อยมาก เช่น พลาสติก กระดาษ แต่ถ้าเป็นพวกเศษไม้ กิ่งไม้ ใบไม้ หรือพวกเศษอาหาร มีปริมาณเถ้าสูงซึ่งปริมาณเถ้าของมูลฝอยมีผลต่อการออกแบบขนาดของเตาเผาเพราะต้องออกแบบพื้นที่ว่างในเตาเผามูลฝอยสำหรับรองรับเถ้า ซึ่งจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10 ของปริมาตรเตา

กระบวนการในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งกระบวนการในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเริ่มตั้งแต่การผลิตเชื้อเพลิง การบดย่อย การผสม การอัดเป็นแท่งและการทำให้แห้ง

2.4 หลักการเผาทำลายของเสียและกากอุตสาหกรรมด้วยความร้อน

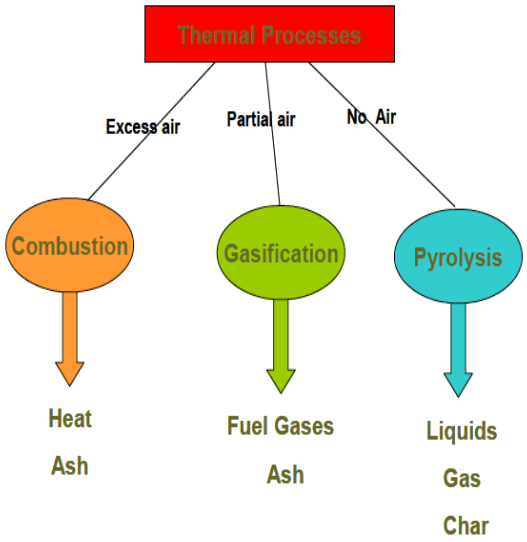
การบำบัดกากอุตสาหกรรมด้วยความร้อนเป็นการทำให้กากสูญสลายไปให้ได้มากที่สุดที่จะเป็นไปได้เพื่อลดมวลและปริมาตรของกาก ในขณะเดียวกัน กรรมวิธีในการบำบัด กากอุตสาหกรรมก็ต้องเป็นไปอย่างถูกสุขลักษณะ และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบใดๆ ต่อสิ่งแวดล้อม การบำบัดกากอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการทางความร้อน (Thermal Process) หรืออาจเรียกชื่อเต็มตามกระบวนการว่าเป็นกระบวนการทางความร้อน-เคมี (Thermo-Chemical Process) มีข้อดีอยู่ที่สามารถลดมวลและปริมาตรของขยะมูลฝอยลงได้อย่างมากและในเวลาอันรวดเร็ว ต้องการพื้นที่สำหรับกรรมวิธีน้อยกว่าวิธีการอื่น อย่างไรก็ตาม มีข้อพึงพิจารณาในการเลือกใช้กรรมวิธีดังกล่าวอยู่หลายข้อ เช่น เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาที่ สูงกว่า คุณวุฒิและประสบการณ์ของบุคลากรปฏิบัติงานที่สูงกว่า และข้อคำนึงด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สูงกว่า สหภาพยุโรปได้ให้คำจำกัดความของการบำบัดของเสียด้วยกระบวนการทางความร้อน (WasteTreatment by Thermal Process: Directive 2000/76/EC on December 2004) ว่า การบำบัดของเสียโดยใช้ความร้อนเพื่อทำการฆ่าเชื้อและลดมวลกับปริมาตรก่อนที่จะนำไปกำจัดขั้นสุดท้าย กระบวนการดังกล่าวรวมทั้ง Incineration, Pyrolysis & Gasification, Plasma Arc และวิธีอื่นๆ ที่ใช้ความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องกับกระบวนการ (เช่น การผลิตเชื้อเพลิงขยะ Refuse Derived Fuel หรือ RDF) เป็นต้น การบำบัดของเสียด้วยกระบวนการทางความร้อนสามารถแสดงภาพรวมของกรรมวิธีได้ ดังภาพประกอบที่ 7 และสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี

1) Combustion หมายถึง กระบวนการเผาไหม้ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิไดเซอร์ (ปกติใช้อากาศ) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction) โดยออกซิไดเซอร์จะใช้ในปริมาณที่มากกว่าที่ต้องการเพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Excess Condition) เชื้อเพลิงจะถูกเผาทำลายไปจนสุดท้ายเหลือเป็นขี้เถ้า

2) Gasification เป็นกระบวนการเผาไหม้ ระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิไดเซอร์ (ปกติใช้อากาศ) ในสภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการเผาไหม้แบบบางส่วน (Partial Oxidation) ซึ่งการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะกลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิง ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (EndothermicReaction) ซึ่งสามารถนำไปผลิตพลังงานได้ต่อไป เชื้อเพลิงส่วนที่เผาไหม้แล้วสุดท้ายจะเหลือเป็นขี้เถ้า

3) Pyrolysis เป็นกระบวนการสังเคราะห์เชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นเชื้อเพลิงเหลว (Liquid Fuel) และเชื้อเพลิงก๊าซ โดยไม่มีการใช้ออกซิไดเซอร์และจะใช้ความร้อนจากแหล่งให้ความ

ร้อนภายนอกเพื่อทำให้โมเลกุลของเชื้อเพลิงแข็งเกิดการแตกตัวทางความร้อน จนกลายสภาพเป็นก๊าซ จากนั้นจึงควบแน่นกลายเป็นเชื้อเพลิงเหลว สำหรับเชื้อเพลิงแข็งภายหลังการแตกตัวทางความร้อนแล้วจะกลายเป็นถ่านชาร์ (Char)



ภาพประกอบ 7 ภาพรวมของการบำบัดของเสียด้วยกระบวนการทางความร้อน

ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม (2550)

2.4.1 การบำบัดกำจัดกากอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการเผาไหม้

การเผาไหม้ (Combustion) เป็นกระบวนการทำลายกากอุตสาหกรรมที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยใช้ออกซิเจนในการทำปฏิกิริยาการสันดาปที่อุณหภูมิสูงจนแปรสภาพเป็นเถ้าไอเสีย หรือกากอุตสาหกรรมที่ไม่ไหม้ไฟ ทั้งนี้การกำจัดกากอุตสาหกรรมโดยการเผา(Incineration) คือ การเผากากอุตสาหกรรมในเตาเผาอย่างถูกหลักสุขาภิบาล โดยสามารถเผากากอุตสาหกรรมชนิดต่างๆ ได้ อย่างสมบูรณ์ ไม่ทำให้เกิดเหตุรำคาญ เช่น กลิ่นและควัน และไม่ทำให้เกิดปัญหามลภาวะทางอากาศ การเผาไหม้ที่ดีต้องมีกระบวนการออกซิเดชันที่สมบูรณ์ โดยต้องมีออกซิเจนเพียงพอและมีการผสมผสานกันอย่างทั่วถึงระหว่างกากอุตสาหกรรมและออกซิเจนภายในเตาเผา ดังนั้นปัจจัยสำคัญในการเผาไหม้ ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และความปั่นป่วน นั่นคือในการเผากากอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพสูงสุดควรมีอุณหภูมิสูงเพียงพอ มีระยะเวลาเผาไหม้พอเพียง และมีการผสมผสานระหว่างกากอุตสาหกรรมและออกซิเจนภายในเตาเผาอย่างเหมาะสมด้วยการกำจัดกากอุตสาหกรรม โดยการเผาสามารถลดมวลของกากได้ประมาณร้อยละ 70-90 ขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของกากอุตสาหกรรม รูปแบบ และขนาดของเตาเผา โดยทั่วไปความร้อนที่ใช้ในเตาเผากากอุตสาหกรรม คือ ระหว่าง 650-1,200 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนประมาณ 700 องศาเซลเซียส จะช่วยทำให้ก๊าซที่

เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ถูกทำลายหมด จึงทำให้ไม่เกิดกลิ่นรบกวน และที่ความร้อนประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส จะทำให้กากอุตสาหกรรมที่เผาไหม้ได้นั้นถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ การนำกากอุตสาหกรรมมากองรวมกัน แล้วเผากลางแจ้ง จึงเป็นวิธีการกำจัดที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาลเนื่องจากอุณหภูมิของการเผาไหม้ไม่ได้ควบคุมให้เป็นไปตามที่ต้องการได้

2.4.2 การบำบัดกากอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการเผาไหม้ในสภาพไร้ออกซิเจน (Pyrolysis)

การบำบัดกากอุตสาหกรรมในสภาพไร้ออกซิเจนหรือเทคโนโลยีไพโรไลซิสอาศัยกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนในสภาวะไร้อากาศ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์คือ ถ่านชาร์ น้ำมันชีวภาพและก๊าซ ปฏิกิริยาไพโรไลซิสยังเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงต้นของปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชั่นและปฏิกิริยาการเผาไหม้ด้วยสัดส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์จากกระบวนการไพโรไลซิสขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ปัจจัยที่สำคัญ คือ อัตราการให้ความร้อน (Heating Rate) อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยา (Temperature) เวลาที่ทำปฏิกิริยา (Residence Time) โดยหากต้องการผลิตภัณฑ์หลักคือผลิตภัณฑ์ของเหลวซึ่งอยู่ในรูปของน้ำมันจะต้องทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) ซึ่งใช้อัตราการให้ความร้อนสูง (> 1,000องศาเซลเซียสต่อวินาที) อุณหภูมิปานกลาง และระยะเวลาที่ทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะของไอสารระเหยจะต้องสั้นมาก แต่หากต้องการผลิตภัณฑ์หลักคือ ถ่านชาร์ จะใช้อัตราการให้ความร้อนต่ำ อุณหภูมิปานกลางและระยะเวลาที่ทำปฏิกิริยานาน หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis) และลักษณะของระบบไพโรไลซิสขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

2.4.3 การบำบัดกากอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification)

เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่นเป็นการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในสภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในสัดส่วนที่ต่ำกว่าค่าที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (StoichiometricFuel Air Ratio) ได้ผลิตภัณฑ์ก๊าซซึ่งมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทนเรียกว่า ก๊าซสังเคราะห์ (Synthesis Gas) ในกรณีที่ใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยาก๊าซที่ได้จะมีค่าความร้อนต่ำประมาณ 3 – 5 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร แต่ถ้าใช้ออกซิเจนเป็นตัวทำปฏิกิริยา ก๊าซที่ได้จะมีค่าความร้อนสูงกว่าคือ ประมาณ 15 – 20 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ก๊าซผลิตภัณฑ์นี้สามารถนำไปใช้ในรูปของเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานหรือนำไปใช้ผลิตเชื้อเพลิงในรูปแบบอื่นต่อไปเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่นสามารถรองรับวัตถุดิบได้หลากหลายชนิดและคุณสมบัตินอกจากชีวมวลประเภทเศษไม้หรือของเหลือจากการเกษตรแล้ว บางกระบวนการได้รับการพัฒนาและปรับปรุงให้สามารถใช้กับกากตะกอนน้ำเสีย และกากอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามกากอุตสาหกรรมที่ใช้ควรผ่านระบวนการคัดแยกก่อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์องค์ประกอบของระบบแก๊สซิฟิเคชั่นสำหรับการผลิตพลังงานจากกากประกอบด้วยส่วนแรกคือ เครื่องปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชั่น (Gasifier) ซึ่งเป็นส่วนที่ผลิต

ก๊าซเชื้อเพลิงเพื่อป้อนเป็นเชื้อเพลิงสู่ส่วนที่สองคือ ระบบผลิตพลังงาน (Power Generation System) โดยก๊าซเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่ระบบผลิตพลังงานจะต้องมีการบำบัดเสียก่อนเพื่อไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อส่วนต่างๆ ของระบบผลิตพลังงานและส่วนที่สาม คือ ส่วนควบคุมมลพิษ (Pollutant Control Unit) เป็นส่วนบำบัดของเสียที่ปล่อยออกสู่ภายนอกทั้งที่อยู่ในรูปของแข็ง ของเหลวและก๊าซ

2.5 เชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF)

เชื้อเพลิงขยะ เป็นรูปแบบของการจัดการขยะเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงวิธีหนึ่ง โดยการปรับปรุงและแปลงสภาพของขยะมูลฝอยให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติในด้านค่าความร้อน (Heating Value) ความชื้น ขนาด และความหนาแน่น เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน และมีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอ ทั้งนี้ขั้นตอนและรูปแบบเพื่อเปลี่ยนสภาพจากขยะมาเป็นเชื้อเพลิงนั้นก็มีอยู่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับสภาพของขยะและสภาพของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ แต่ขั้นตอนโดยทั่วไปจะประกอบด้วยการคัดแยก การลดขนาด การลดความชื้น

หลักการทำงานของเทคโนโลยี RDF เริ่มจากการคัดแยกขยะที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ (โลหะ แก้ว เศษหิน) ขยะอันตราย และขยะรีไซเคิลออกจากขยะรวมโดยคัดแยกมูลฝอยที่มีเหล็กและอลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบ ออกจากมูลฝอย จากนั้นจึงป้อนขยะมูลฝอยไปเข้าเครื่องสับ-ย่อยเพื่อลดขนาด และป้อนเข้าเตาอบเพื่อลดความชื้นของมูลฝอย โดยการใช้ความร้อนจากไอน้ำหรือลมร้อนเพื่ออบขยะให้แห้งซึ่งจะทำให้น้ำหนักลดลงเกือบร้อยละ 50 (ความชื้นเหลือไม่เกินร้อยละ 15) และสุดท้ายจะส่งไปเข้าเครื่องอัดเม็ด (Pellet) เพื่อทำให้ได้เชื้อเพลิงขยะอัดเม็ดที่มีขนาดและความหนาแน่นเหมาะสมต่อการขนส่งไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งในบางกรณีจะมีการเติมหินปูน (CaO) เข้าไปกับมูลฝอยระหว่างการอัดเป็นเม็ดเพื่อควบคุมและลดปริมาณก๊าซพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ เชื้อเพลิงขยะสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิดดังตารางที่ 3 ตามมาตรฐาน ASTM E-75 ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการจัดการที่ใช้ ประกอบด้วย

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตารางที่ 3 แสดงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้

ชนิด	กระบวนการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF : MSW	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ได้ออกมาด้วยมือ รวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่	Stoker
RDF2 : Coarse RDF	บดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบๆ	Fluidized Bed Combustor, Multi fuel Combustor
RDF3 : Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ออก เช่น โลหะ แก้ว และอื่นๆ มีการบดหรือตัด จนทำให้ 95% ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วมีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว	Stoker
RDF4 : Dust RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของผงฝุ่น	Fluidized Bed Combustor, Pulverized Fuel Combustor
RDF5 : Densified RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่ง โดยให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/m^3	Fluidized Bed Combustor, Multi fuel combustor
RDF6 : RDF Slurry	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการให้อยู่ในรูปของ Slurry	Swiri Burner
RDF7 : RDF Syn-gas	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการ Gasification เพื่อผลิต Syn-gas ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซได้	Burner, Integrated

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2547)

การออกแบบขั้นตอนต่างๆ ในการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิง ดังภาพประกอบที่ 8 ขึ้นอยู่กับสถานการณ์การจัดการมูลฝอยในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น ถ้าขยะมูลฝอยได้มีการคัดแยกส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Resource Recovery) เช่น โลหะและแก้วจากแหล่งกำเนิดได้ก่อนอยู่แล้ว ก็อาจจะไม่จำเป็นจะต้องมีขั้นตอนการคัดแยกโลหะหรือแก้วในกระบวนการก็ได้ ในทำเชื้อเพลิงขยะรูปแบบ RDF 5 จะต้องนำขยะส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่งโดยให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ภาพประกอบ 8 เชื้อเพลิงอัดแท่ง

ที่มา : สุพัตรา หมายดี และนริศรา แก้วนิสัย(2559)

2.5.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงขยะ

ขยะที่จะนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงขยะ เป็นการนำขยะมูลฝอยในชุมชนที่ผ่านการคัดแยกส่วนที่นำกลับไปใช้ซ้ำได้ เช่น โลหะ อลูมิเนียม แก้ว และคัดแยกอินทรีย์สารที่มีความชื้นสูง เช่น เศษอาหาร เศษผัก-ผลไม้ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบป้อนเข้ากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพหรือผลิตสารปรับปรุงคุณภาพดินออกไปแล้ว ส่วนที่เหลือซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยกระดาษ เศษไม้ พลาสติก จะถูกนำไปลดขนาด และนำไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้โดยตรง หรือนำมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งและการอัดแท่งเพื่อผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงทั้งนี้คุณลักษณะทั่วไปของเชื้อเพลิงขยะประกอบด้วย

1) ปลอดเชื้อโรคจากการอบด้วยความร้อน ลดความเสี่ยงต่อการสัมผัสเชื้อโรค

2) ไม่มีกลิ่น

3) มีขนาดเหมาะสมต่อการป้อนเตาเผา-หม้อไอน้ำ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 15-30 มิลลิเมตร ความยาว 30-150 มิลลิเมตร)

4) มีความหนาแน่นมากกว่าขยะมูลฝอยและชีวมวลทั่วไป (450-600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) เหมาะสมต่อการจัดเก็บและขนส่ง

5) มีค่าความร้อนสูงเทียบเท่ากับชีวมวล (13-18เมกะจูนต่อกิโลกรัม) และมีความชื้นต่ำ (5-10%) ลดปัญหามลภาวะจากการเผาไหม้ เช่น NOx ไดออกซิน

2.5.2 การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะ

การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะสามารถใช้ได้ทั้งในรูปของการผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือความร้อน โดยอาจจะมีการนำไปใช้ประโยชน์ในสถานที่ผลิตเชื้อเพลิงขยะเอง หรือขนส่งไปใช้ในที่

อื่นได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เผาร่วมกับถ่านหิน (Co-firing) เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านหินลงในอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ โดยมีรูปแบบเตาเผาที่ใช้เปลี่ยนเชื้อเพลิงขยะให้เป็นพลังงานความร้อน ประกอบด้วย เตาเผาแบบตะกรับ (Stoker) เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Combustor) หรือเตาเผาแก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification) หรือไพโรไลซิส (Pyrolysis)

การใช้ประโยชน์ RDF ในการเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตเป็นพลังงานความร้อน และพลังงานไฟฟ้ามีหลากหลายวิธีดังนี้

1) ใช้ในสถานที่แปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ (on-site) โดยร่วมกับอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนเป็นพลังงาน เช่น เตาเผาแบบตะกรับ หรือ เตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบด หรือ แก๊สซิฟิเคชั่น หรือ ไพโรไลซิส

2) ใช้ในสถานที่อื่นที่ต้องมีการขนส่ง (off-site) โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนเป็นพลังงาน เช่น เตาเผาแบบตะกรับ หรือ เตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบด หรือ แก๊สซิฟิเคชั่น หรือ ไพโรไลซิส

3) เผาไหม้ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่น เช่น ถ่านหินหรือชีวมวล

4) เผาไหม้ในเตาผลิตปูนซีเมนต์

5) ใช้ร่วมกับถ่านหินหรือชีวมวลในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น

โดยทั่วไปเชื้อเพลิงขยะที่มีศักยภาพนำมาใช้ประโยชน์ได้แก่ Dust RDF และ Densified RDF การใช้ Dust RDF หรือ RDF4 นั้น ส่วนใหญ่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงผง (Pulverized Fuel) ซึ่งจะไม่ผ่านขั้นตอนการอัดเป็นแท่งทำให้มีความหนาแน่นต่ำ ขนส่งลำบาก แต่ปัจจุบันมีความต้องการมากโดยการนำไปใช้ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่น หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในการเผาทำลายกากตะกอนของเสีย เนื่องจากกากตะกอนของเสียไม่สามารถเผาไหม้ได้ด้วยความร้อนจากตัวมันเอง การใช้ Dust RDF เสริมเข้าไปทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วน Densified RDF หรือ RDF-5 หรือเรียกว่า D-RDF เป็นการนำ RDF มาอัดเป็นแท่งเพื่อเพิ่มความหนาแน่น สามารถใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางกว่า Dust RDF สามารถใช้กับหม้อไอน้ำขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ และสามารถใช้กับเตาเผาทั่วไปที่มีการใช้อยู่แล้ว

ในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป (European Union) มีปริมาณของขยะเชื้อเพลิงประมาณ 3 ล้านตันต่อปี โดยมีประเทศที่ได้มีการศึกษาและพัฒนาการแปรรูปขยะเป็นขยะเชื้อเพลิงมาอย่างต่อเนื่องได้แก่ ออสเตรีย ฟินแลนด์ เยอรมนี อิตาลี เนเธอร์แลนด์ และสวีเดน นอกจากนี้ประเทศเบลเยี่ยม และ สหราชอาณาจักรกำลังอยู่ระหว่างพัฒนา

สำหรับในทวีปเอเชีย ประเทศญี่ปุ่นถือว่าเป็นประเทศที่มีการศึกษาและพัฒนาการแปรรูปขยะเป็นขยะเชื้อเพลิงมากอีกประเทศหนึ่ง โดยมีโรงงานแปรรูปขยะเป็นขยะเชื้อเพลิงกระจายอยู่ทั่วประเทศ มีกำลังการผลิตตั้งแต่ 2.5 ตัน/วัน ไปจนถึง 390 ตัน/วัน ซึ่งโดยเฉลี่ยทั่วไปแล้วโรงผลิตเชื้อเพลิงขยะจะมีกำลังการผลิตประมาณ 50 ตัน/วัน

จากประเทศต่างๆ ที่มีการนำเทคโนโลยีในการผลิตเชื้อเพลิงขยะที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นว่าขั้นตอนหรือวิธีการที่เรียกได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญนั่นก็คือ กระบวนการคัดแยกซึ่งมีทั้งแยกโดยใช้แรงงานคน (Hand sorting) และใช้เครื่องจักรกล (Sorting machine) ปัญหาสำคัญของกระบวนการคัดแยก ก็คือ การคัดแยกขยะซึ่งมีองค์ประกอบที่หลากหลายและแตกต่างกันอย่างมาก ทำให้กระบวนการคัดแยกไม่สามารถทำได้ในขั้นตอนเดียว แต่ต้องมีหลายขั้นตอนเพื่อคัดแยกขยะประเภทต่างๆ ออกมาในแต่ละขั้นรวมถึงการมีการพัฒนากระบวนการคัดแยกขยะมีประสิทธิภาพสูง ได้ส่วนที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงขยะได้มากขึ้นและมีคุณภาพดีขึ้นด้วย

2.5.3 ข้อดีและข้อเสียของการผลิตเชื้อเพลิงขยะ

ข้อดีของการผลิตเชื้อเพลิงขยะ

1) มีค่าความร้อนสูงเมื่อเทียบกับขยะที่รวบรวมได้

2) เป็นเทคโนโลยีสะอาด การจัดเก็บ การขนส่ง การจัดการต่างๆ สะดวก ปลอดภัย และมีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมน้อย

3) ได้แท่งเชื้อเพลิงสำหรับผลิตพลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า และสามารถใช้ได้กับถ่านหินที่มีพลังงานความร้อนต่ำได้

4) ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีไพโรไลซิส และแก๊สซิฟิเคชั่นได้

5) ใช้พื้นที่ระบบน้อย โรงกำจัดมีขนาดเล็กสามารถสร้างกระจายไปตามจุดต่างๆ ณ แหล่งกำเนิดขยะได้

6) เชื้อเพลิงที่ได้ไม่จำเป็นต้องผลิตเป็นพลังงานทันที เก็บไว้ผลิตเมื่อใดก็ได้

ข้อเสียของการผลิตเชื้อเพลิงขยะ

1) ต้องมีระบบการคัดแยกขยะมูลฝอยก่อนเข้าสู่ระบบ ทำให้ต้องใช้เงินลงทุนสูง

2) มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งเชื้อเพลิงขยะไปยังระบบอื่นๆ เพราะต้องขนส่งโดยพาหนะเท่านั้น

3) เป็นเทคโนโลยีที่ยังไม่สิ้นสุด คือจะต้องมีระบบคอยรองรับเพื่อนำเชื้อเพลิงขยะที่ได้ไปเปลี่ยนเป็นพลังงานอีกทอดหนึ่ง

4) ยังไม่มีตลาดการซื้อขายเชื้อเพลิงจากขยะ

5) มีผลกระทบต่อหม้อต้มไอน้ำและระบบท่อลำเลียงมากกว่าการใช้เชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ

ข้อดีของเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซหุงต้ม

1) มีสมบัติทางกายภาพและความร้อนสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือนได้

2) ไม่ต้องสิ้นเปลืองทรัพยากรธรรมชาติ เพียงแต่ใช้เศษเหลือจากการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรมาประยุกต์

3) มีรูปร่างและขนาดที่ สามารถใช้ป้อนเชื้อเพลิงในทางอุตสาหกรรมได้อย่างต่อเนื่องและสะดวกในการใช้งาน

4) มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้

5) สะดวกในการเก็บรักษา

6) เนื่องจากเป็นการนำของเหลือทิ้งจากเกษตรและโรงงานมาใช้ จึงเป็นการประหยัดพลังงานในการทำลายเศษเหลือเหล่านี้อีกด้วย พรเทพ หอมผกา (2555)

2.5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเชื้อเพลิงขยะ

1) ค่าความร้อน ปกติค่าความหนาแน่นของถ่านหินจะอยู่ในช่วงประมาณ 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความร้อนประมาณ 26,000 กิโลจูนต่อกิโลกรัม ดังนั้นในปริมาตร 1 m^3 ถ่านหินจะให้ความร้อนออกมา 36,000 เมกกะจูน ในขณะที่ Densified-RDF จะมีความหนาแน่นอยู่ประมาณ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความร้อนประมาณ 20,000 กิโลจูนต่อกิโลกรัม ทำให้ในปริมาตร 1 m^3 จะให้ค่าความร้อนออกมา 12,000 เมกกะจูน เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านหินแล้ว Densified-RDF จะให้ความร้อนออกมาในปริมาณที่ต่ำกว่า แต่เมื่อเทียบกับขยะที่ไม่ได้มีการแปรรูปแล้ว Densified-RDF จะมีค่าความหนาแน่น และค่าความร้อนที่สูงกว่า

2) น้ำมันดินและเถ้า ปริมาณน้ำมันดินและปริมาณเถ้าของ Densified-RDF มีค่าประมาณเท่ากับถ่านหินแต่ เมื่อเทียบกับปริมาณความร้อนที่ใช้เท่ากันแล้วปริมาณเถ้าจาก Densified-RDF จะมากกว่า ดังนั้นการออกแบบระบบอุปกรณ์กำจัดน้ำมันดินจำเป็นต้องพิจารณาให้เหมาะสมด้วยกระทรวงพลังงาน (2551)

3) ค่าความชื้นเชื้อเพลิงขยะ ค่าความชื้นในเชื้อเพลิงเป็นข้อจำกัดตัวหนึ่งในระบบการเผาไหม้ เมื่อเชื้อเพลิงไหม้ความร้อนที่ได้ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการทำให้น้ำในเชื้อเพลิงกลายเป็นไอน้ำให้ปริมาณความร้อนไปใช้ประโยชน์ได้ลดลงถ้าปริมาณความชื้นยิ่งสูง ความร้อนที่ได้ออกมาก็จะลดลง

2.6 สมบัติและการทดสอบคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

1. ปริมาณความชื้น (Moisture Content) คือ ปริมาณน้ำที่คงเหลืออยู่หลังจากที่ตากแห้งของเสีย ความชื้นของของเสียมีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง โดยหากของเสียมีความชื้นมากจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ ทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำลง

2. ค่าความร้อน (Calorimetric Value or Heating Value) คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อของเสียถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ หรือเรียกว่า ความร้อนของการเผาไหม้ แบ่งเป็น 2

ประเภท คือ ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำ มีหน่วยเป็นกิโลจูล (kJ) หรือ กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัมของเสีย (kcal/kg)

ค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) เป็นปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเสีย ซึ่งรวมถึงปริมาณความร้อนแฝงที่ถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำที่เป็นองค์ประกอบของของเสียเกิดการควบแน่น

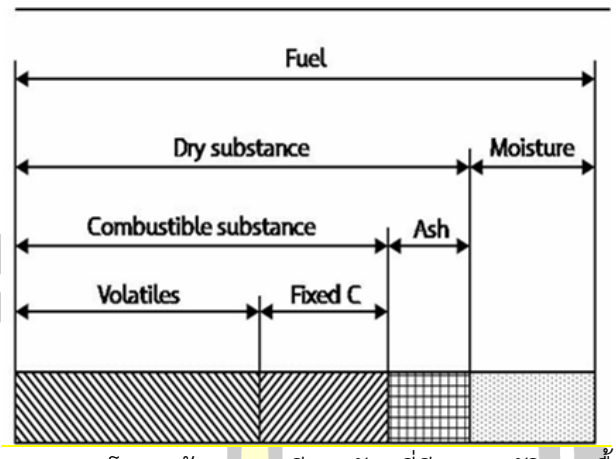
ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, LHV) เป็นค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของเสียที่ไม่รวมค่าความร้อนแฝงค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำที่ตรวจวัดได้ในของเสียชนิดหนึ่งจะแตกต่างกันเสมอ โดยค่าความแตกต่างขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในของเสีย ดังนั้น ในกรณีของเสียมีความชื้นมากๆ อาจใช้วิธีการตากแดดหรือผึ่งลมเพื่อลดความชื้นในของเสีย แล้วตรวจวัดเฉพาะค่าความร้อนสูงก็ได้ เนื่องจาก ในระหว่างการผลิตเชื้อเพลิงแท่งนั้น กระบวนการอัดและการตากแห้งแท่งเชื้อเพลิงก่อนนำไปใช้ จะทำให้น้ำในของเสียถูกกำจัดออกไปบางส่วน และคงเหลือในแท่งเชื้อเพลิงอีกบางส่วน

3. เถ้า (Ash) คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาป ภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วย ซิลิกาแคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียออกไซด์ หรือเป็นส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้นั่นเอง ดังนั้น หากของเสียมีขี้เถ้าปริมาณมาก จะเป็นปัญหาในการเผาไหม้และเพิ่มความยุ่งยากในการกำจัดเถ้าที่เกิดขึ้น

4. ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) คือ องค์ประกอบในของเสียที่สามารถระเหยได้เมื่อได้รับความร้อน ของเสียที่มีปริมาณสารระเหยได้สูง จะมีแนวโน้มที่มีค่าความร้อนสูงด้วย อย่างไรก็ตาม สารที่ระเหยได้บางชนิดอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อวัสดุหรืออุปกรณ์ที่นำวัสดุเชื้อเพลิงไปใช้งาน เช่น สารอัลคาไลน์ในทะลายปาล์มจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดท่อน้ำในห้องเผาไหม้ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อน้ำลดลง

5. ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) คือ ปริมาณสารประกอบคาร์บอนซึ่งระเหยได้ยาก โดยจะคงเหลืออยู่ในของเสียหลังจากที่เผาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ของเสียที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจึงมีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน

สำหรับโครงสร้างทางเคมีของวัสดุที่มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงแสดงดังภาพประกอบที่ 9



ภาพประกอบ 9 โครงสร้างทางเคมีของวัสดุที่มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม (2555)

เกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

ของเสียที่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการอัดแท่งแล้ว กลายเป็นแท่งเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติสูง นอกจากจะมีค่าความร้อนสูงแล้ว ยังจะต้องมีองค์ประกอบที่เป็นส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible Substance) โดยเฉพาะคาร์บอนคงตัวในปริมาณสูง แต่มีองค์ประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้หรือเถ้าในปริมาณน้อย เนื่องจากเป็นของเสียที่ต้องกำจัดออกจากห้องเผาไหม้ นอกจากนี้ ยังจะต้องมีกำมะถันรวมในปริมาณน้อย เพื่อไม่ให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศ สำหรับความชื้นในของเสียแม้ว่าการตากแดดหรืออบแห้งสามารถลดความชื้นในของเสียได้ แต่ก็จะเป็นการเพิ่มขั้นตอนและความยุ่งยากในการดำเนินงาน และอาจเพิ่มต้นทุนการผลิตหากต้องใช้วิธีลดความชื้นด้วยการอบแห้ง สำหรับเกณฑ์คุณสมบัติของเสียอุตสาหกรรมที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแท่งทั้งในด้านการปนเปื้อนสารอันตรายและคุณสมบัติขั้นต่ำทางเชื้อเพลิง โดยพิจารณาจากข้อมูลคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวลที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง (ตารางที่ 4) มีดังนี้

1. ค่าความร้อน ไม่ควรต่ำกว่า 3,000 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม
2. คาร์บอนคงตัว ไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 15
3. เถ้า ไม่ควรเกินร้อยละ 20

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ตารางที่ 4 ตัวอย่างคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวลที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

วัสดุเหลือใช้	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	เถ้า (%)	ค่าความร้อน (kcal/kg)
ขี้เลื่อย	75.4	22.4	2.0	4,500
กากอ้อย	73.9	17.6	8.5	4,400
แกลบ	62.7	17.4	20.0	3,600
ฟางข้าว	74.4	18.3	7.3	4,000
ซังข้าวโพด	76.1	21.8	2.1	4,400
ขุยมะพร้าว	63.3	29.4	7.1	4,800
ต้นถั่วเหลือง	72.5	19.1	8.4	4,500
ต้นมันสำปะหลัง	76.2	19.1	4.7	4,000
เหง้ามันสำปะหลัง	75.0	17.0	8.0	4,500
เศษหวาย	70.5	23.7	5.7	4,800
ไมยราบยักษ์	71.2	25.1	3.7	4,600
ผักตบชวา	58.9	15.3	25.8	3,100

ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม (2555)

2.6.1 ค่าความร้อนของขยะ (calorific value)

เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะโดยปกติแล้วขยะจะมีน้ำและไฮโดรเจนอยู่ในรูปขององค์ประกอบทางเคมี โดยไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นน้ำขึ้นในเตาเผา ซึ่งน้ำและไฮโดรเจนที่มีอยู่ในขยะจะใช้ความร้อนไปในรูปของความร้อนแฝงในขณะที่ทำการเผาขยะในเตาเผา จึงทำให้ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ขยะนั้นลดลง ด้วยเหตุผลดังกล่าวค่าความร้อนที่ได้จากการเผาขยะที่มีค่าความร้อนต่ำกว่า 800 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม นั้นหากจะกำจัดด้วยวิธีการเผาในเตาเผาแล้วจะต้องใช้เชื้อเพลิงช่วยในการเผาด้วย ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้นสำหรับค่าพลังงานความร้อนในขยะสามารถหาได้จาก การวัดค่าพลังงานความร้อนได้โดยตรงจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดพลังงานจากการจุดระเบิด (Bomb Calorimeter) แล้วอาจหาได้จากการคำนวณจากส่วนประกอบทางเคมีโดยใช้สมการดังนี้

$$kcal/kg = 88.2R + 40.5(G+P) - 6W \quad (2.1)$$

$$kcal/kg = 45\ B + 80R - 6W \text{ (ในกรณีที่มีพลาสติก เกิน 5 \%)} \quad (2.2)$$

$$kcal/kg = 40P + 100R + 38.5G + 45D + 43.5E - 6W \quad (2.3)$$

เมื่อ

R = เปอร์เซ็นต์ของพลาสติก

G = เปอร์เซ็นต์ของเศษอาหาร

P = เปอร์เซ็นต์ของกระดาษ

W = เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำ (ความชื้น)

B = เปอร์เซ็นต์ของสารที่เผาไหม้ได้ยกเว้นพลาสติก

D = เปอร์เซ็นต์ของผ้า

E = เปอร์เซ็นต์ของไม้

ค่าความร้อนยังสามารถคำนวณได้จากองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้สมการของดูลอง Modified Dulong Formula จิราพร ยินดี (2557)

$$Btu/lb = 145C + 610(H-1/8XO) + 40S + 10N \quad (2.4)$$

$$kJ/kg = 338.2C + 1442(H-1/8O) + 95S \quad (2.5)$$

เมื่อ

C = เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน

H = เปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจน

O = เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจน

S = เปอร์เซ็นต์ของซัลเฟอร์

2.7 เฉาก๊วย

เป็นเครื่องดื่มชนิดหนึ่งของชาวจีนทางตอนใต้คือ น้ำต้มต้นเฉาก๊วยผสมกับน้ำข้าว และเมื่อนำน้ำต้มเฉาก๊วยมาผสมกับแป้งจะเกิดเป็นเจลขึ้น ซึ่งคนไทยเรียกว่าเฉาก๊วย มีรสจืดและเย็นชุ่มคอ เดิมทีเฉาก๊วยเป็นที่รู้จักเฉพาะในถิ่นคนจีน เช่น เยาวราช สำเพ็ง เฉาก๊วยที่รับประทานเป็นขนมหวานมี 2 ชนิด คือ ชนิดอ่อนที่มีลักษณะนุ่มเป็นเจล และชนิดแข็งซึ่งมีความแข็งและความกรอบมากกว่า เฉาก๊วยมีสรรพคุณทางยาซึ่งรับรองโดยกองวิจัยสมุนไพรแห่งชาติ กรุงปักกิ่งว่าสามารถใช้แก้ร้อนในกระหายน้ำ ไข้หวัด ความดันโลหิตสูง กล้ามเนื้อข้อพับอักเสบ เบาหวาน และตับอักเสบ เป็นที่ยอมรับในวงการแพทย์จีนทั่วไป

2.7.1 ลักษณะของต้นเฉาก๊วย

ต้นเฉาก๊วยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mesona chinensis* Bentham หรือ *M. elegans* Hayat หรือ *M. procumbens* Hemsley อยู่ในวงศ์ Labiatae พืชในวงศ์นี้ที่รู้จักกันคือ สะระแหน่ โหระพา แมงลัก กระเพรา และหญ้าหนวดแมว เป็นต้น ต้นเฉาก๊วยเป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งของ

ประเทศจีน และมีชื่อเรียกตามภาษาท้องถิ่นหลายชื่อ เช่น เหรียนฝ่นฉ่าว เซียนฉ่าว เซียนหยั้งตุ้ง เฉาก๊วยเป็นพืชล้มลุก เป็นพุ่มไม้กึ่งเลื้อยขนาดเล็กทรงพุ่มเตี้ยมีลำต้นนอนทอดบนดินคล้ายสะระแหน่ แต่ทรงพุ่มใหญ่กว่า ส่วนยอดตั้งตรงยาว 15-100 cm ลำต้นสี่เหลี่ยมและเมื่อแก่จัดจะเป็นสีน้ำตาล ช่วงห่างระหว่างข้อประมาณ 3-5 cm ใบเป็นใบเดี่ยว มี 2 ใบ ต่อหนึ่งข้อ และออกตรงข้ามกันเป็นคู่ ใบสีเขียวอ่อนและเขียวเข้มเมื่อแก่ ใบเป็นรูปไข่ปลายใบแหลมขอบใบหยักเหมือนฟันเลื่อยยาว 2-5 cm กว้าง 0.8-2.8 cm มีขนละเอียดขาวใสขึ้นอยู่ทั่วทั้งใบและลำต้นเมื่อจับดูจะรู้สึกสากมือ เมื่อนำใบมาขยี้จะมีเมือกลื่นๆใสๆ ติดมือ ออกดอกเป็นช่อแบบเชิงลดยาวประมาณ 5-10 cm แต่ละช่อประกอบด้วยดอกย่อยจำนวนมากลักษณะคล้ายกับดอกแมงลัก หรือดอกกระเพรา คือมีดอกขนาดเล็ก ก้านดอกยาวประมาณ 3 mm กลีบดอกสองกลีบมีสีม่วงอ่อนยาว 2.5 mm มี 4 เกสรตัวผู้ และ 1 เกสรตัวเมีย ออกดอกปลายฤดูใบไม้ร่วง ผลมีลักษณะเป็นรูปไข่ ปลูกได้ดีตามเชิงเขา ริมห้วย หนอง คลอง บึง ชอบอากาศค่อนข้างชื้น อยู่ได้ในที่กลางแจ้งและที่มีแดดรำไร ขยายพันธ์ได้และรวดเร็ว สามารถเก็บเกี่ยวมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งต้น ในเฉาก๊วยมีสาระสำคัญคือ แทนนินและเฮมิเซลลูโลส แทนนินทำให้เกิดสีดำ ซึ่งเป็นลักษณะของเฉาก๊วยส่วนเฮมิเซลลูโลสทำให้เกิดเจลขึ้น

2.7.2 วิธีการผลิตเฉาก๊วย

ต้นเฉาก๊วยที่มีอยู่ในท้องตลาดทั้งหมดอยู่ในสภาพแห้ง การสกัดจึงต้องใช้เวลานานมาก วิธีการทำเฉาก๊วยโดยทั่วไปคือ นำต้นเฉาก๊วยแห้งมาล้างน้ำให้สะอาดเพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ออก แล้วนำไปต้มในน้ำโดยมีสัดส่วนเฉาก๊วยแห้ง 1 ส่วน ต่อน้ำ 20-80 ส่วน ต้มด้วยไฟปานกลางใช้เวลาเคี่ยวประมาณ 3-6 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำเฉาก๊วยที่มีลักษณะเป็นเมือกลื่น สีดำใสและเข้มข้นได้ที่ นวดต้นเฉาก๊วยหลายๆครั้ง เพื่อให้เมือกลื่นๆ หลุดจากต้นให้ได้มากที่สุด จึงคั่นเอากากออก ในขั้นตอนนี้ต้องพยายามคั้นให้น้ำออกมามากที่สุดเพื่อจะได้มีความดำและความเหนียวมากๆ แล้วกรองซ้ำด้วยผ้าขาวบาง ตักใสภาชนะทิ้งไว้ให้เย็น จะได้เฉาก๊วยที่เหนียวนุ่ม แต่ถ้าต้องการให้เฉาก๊วยมีสีดำเข้มและมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้นต้องเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตปริมาณเล็กน้อยลงไปในน้ำที่ใช้ต้ม และถ้าต้องการให้เฉาก๊วยแข็งยิ่งขึ้นต้องใส่แป้งมันสำปะหลังลงไป เมื่อต้มต้นเฉาก๊วยเสร็จแล้ว ทำได้โดยนำน้ำเฉาก๊วยที่สกัดได้มาต้มพอร้อนได้ที่จึงเทแป้งที่ระลายน้ำลงไปกวนต่ออีกประมาณ 15 นาที จนขึ้นเงา แป้งไม่เป็นลูกและไม่ติดพาย นำมาเทใส่พิมพ์ทิ้งไว้ให้เย็น

สำหรับกากของเฉาก๊วยนั้นจะมีลักษณะเหนียวเป็นวุ้นมีต้นเฉาก๊วยปะปนอยู่เป็นจำนวนมากและมีสีดำ โดยปกติแล้วกากเฉาก๊วยนี้จะถูกเก็บรวบรวมไว้เพื่อรอทิ้ง จึงทำให้กากเฉาก๊วยเกิดการหมักหมมและส่งกลิ่นเหม็น ดังนั้นจึงจะต้องมีวิธีการจัดการกับกากเฉาก๊วยใหม่โดยการนำกากเฉาก๊วยมาทำเป็นเชื้อเพลิงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกากเฉาก๊วย

2.8 ขี้เลื่อย

ขี้เลื่อยเป็นผงไม้ที่เกิดจากการตัดไม้ด้วยเลื่อยหรือเกิดจากการขัดไม้ด้วยกระดาษทรายหรือเครื่องขัด โดยอาจนำไปบดให้ละเอียดก่อนนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ ลักษณะของขี้เลื่อยจะมีผงขนานใหญ่หรือเล็กขึ้นอยู่กับการตัดหรือขัดไม้ในโรงงานไม้ตั้งแต่ขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็ก โดยมากจะเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปหรือโรงเลื่อยไม้ดังภาพประกอบที่ 10

ภาพประกอบ 10 ลักษณะของขี้เลื่อย
ที่มา : สาธิต เหล่าวัฒนพงษ์ (2556)

ปัจจุบันขี้เลื่อยในท้องตลาดแบ่งเป็น 2 ประเภทด้วยกันโดยมีลักษณะดังนี้

1) ขี้เลื่อยขนาดใหญ่ เป็นขี้เลื่อยที่เกิดจากการไสไม้หรือการตกแต่งไม้ในรูปแบบต่างๆซึ่งมีลักษณะยาวเป็นเส้นสั้นๆหรือมีลักษณะม้วนตัว สีของขี้เลื่อยเป็นไปตามธรรมชาติของเนื้อไม้นั้นๆ ประโยชน์ที่ใช้ขี้เลื่อยขนาดใหญ่ในปัจจุบันนิยมใช้เป็นอาหารสัตว์ เพาะปลูกเห็ดแบบต่างๆ เชื้อเพลิง ดังภาพประกอบที่ 11 เป็นต้น

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ภาพประกอบ 11 ขี้เลื่อยขนาดใหญ่
ที่มา : สาธิต เหล่าวัฒนพงษ์ (2556)

2) ขี้เลื่อยขนาดละเอียด เป็นขี้เลื่อยที่เกิดจากการขัดไม้หรือเลื่อยจากอุปกรณ์เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม ลักษณะจะเป็นผง มีลักษณะเล็กและละเอียดมาก สีของขี้เลื่อยเป็นไปตามธรรมชาติของเนื้อไม้นั้นๆ ประโยชน์ที่ใช้ขี้เลื่อยขนาดละเอียดในปัจจุบันนิยมใช้เป็นการตกแต่งรอยในด้านงานออกแบบตกแต่งภายในหรือเครื่องเรือน ดังภาพประกอบที่ 12 เป็นต้น

ภาพประกอบ 12 ขี้เลื่อยละเอียด
ที่มา : สาธิต เหล่าวัฒนพงษ์ (2556)

2.9 เศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม

เป็นการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งเราจะวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนของการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมครัวเรือนพร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งและการใช้ก๊าซหุงต้มว่าจะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากเท่าใด

ดังนั้นจึงนำหลักเศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรมมาใช้ในการศึกษานี้ การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ จึงนิยมนำมาใช้ในการพิจารณาเพื่อการตัดสินใจเลือกโครงการหรือวิธีดำเนินการใดๆ โดยมีเป้าหมายของการวิเคราะห์โครงการ คือ การวิเคราะห์นั้นๆ จะต้องนำไปสู่ข้อสรุปขั้นสุดท้ายในการเลือกลงทุนในโครงการต่างๆ ว่าควรลงทุนในโครงการนั้นหรือไม่

ต้นทุน (Cost) หมายถึง รายจ่ายที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้มาซึ่งสินค้าหรือบริการ โดยคาดหวังว่าจะก่อให้เกิดประโยชน์หรือได้ผลตอบแทนกลับมา ไม่ว่าในปัจจุบันหรืออนาคต ซึ่งการได้มาซึ่งสินค้าและบริการนั้นอาจใช้เงินสด สินทรัพย์อื่น ๆ หรือการให้บริการเพื่อแลกมาก็ได้ ในทางบัญชี ต้นทุนยังหมายถึง ตัวเลขข้อมูลทางบัญชีที่ได้ทำการบันทึกไว้ เพื่อใช้ในการวางแผน ควบคุมการดำเนินงาน วางแผนงบประมาณ ในการจัดซื้อวัตถุดิบ จ้างแรงงาน ตลอดจนคำนวณออกมาเป็นราคาขาย และประมาณการกำไร เพื่อใช้ในการตัดสินใจลดหรือเพิ่มการลงทุนในอนาคต ในด้านการผลิตอุตสาหกรรมต้นทุน จะหมายถึง จำนวนเงินที่ใช้จ่ายไปในการผลิตสินค้าทุกขั้นตอน

2.9.1 การจำแนกประเภทต้นทุนตามส่วนประกอบการผลิตของผลิตภัณฑ์

ในการผลิตสินค้า ปัจจัยที่เป็นส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ วัตถุทางตรง ค่าแรงงานทางตรง และค่าใช้จ่ายการผลิต จึงสามารถแบ่งต้นทุนตามลักษณะนี้ได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1) วัตถุดิบทางตรง (direct materials) คือ วัตถุดิบที่เป็นปัจจัยสำคัญในการผลิต ในการแปรสภาพเป็นสินค้าสำเร็จรูป สามารถคำนวณปริมาณได้ว่าในหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์ใช้เท่าไร ในการผลิตสินค้าแต่ละชนิด วัตถุทางตรงอาจเป็นชนิดเดียว หรือหลายชนิดก็ได้ขึ้นอยู่กับสัดส่วนการใช้ที่ถือเป็นปัจจัยสำคัญ เช่น ไม้ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ถือเป็นวัตถุทางตรง สามารถวัดปริมาณได้ว่าใน 1 หน่วยใช้เท่าไร หนังที่ใช้ทำรองเท้าถือเป็นวัตถุทางตรงใน 1 คู่ สามารถวัดประมาณได้ว่าใช้เท่าไร ส่วนวัตถุอื่น ๆ ที่ใช้ในการผลิตรองเท้า เช่น ตะปู ด้าย กาว เป็นต้น ถือเป็นวัตถุดิบทางอ้อม ที่ช่วยให้การผลิตรองเท้าสำเร็จ ไม่ได้เป็นวัตถุที่เป็นปัจจัยสำคัญแต่ขาดไม่ได้ จะจัดอยู่ในส่วนประกอบของการผลิตคือค่าใช้จ่ายการผลิต

2) ค่าแรงงานทางตรง (direct labor) คือ จำนวนเงินค่าจ้างที่กิจการจ่ายให้แก่พนักงาน ลูกจ้าง ที่ช่วยแปรสภาพวัตถุดิบเป็นสินค้าสำเร็จรูป เป็นค่าแรงงานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โดยตรง สามารถวัดจำนวนการทำงานได้แน่นอนในรูปของชั่วโมงการทำงาน นำมาคิดเข้าเป็นต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น ในการผลิตโต๊ะ ค่าแรงคนงานที่จ่ายให้กับคนงานแผนกตัดไม้ แผนกประกอบ และแผนกขัดเงา เป็นค่าแรงงานทางตรง สามารถวัดได้ว่าในการผลิตโต๊ะ 1 ตัว แผนกตัดไม้ใช้กี่ชั่วโมง แผนกประกอบใช้กี่ชั่วโมง และแผนกขัดเงาใช้กี่ชั่วโมงนำมาคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของโต๊ะออกมาได้ ส่วนค่าแรงงานที่ไม่เกี่ยวกับผลิตโดยตรง แต่เป็นองค์ประกอบที่ทำให้การผลิตสำเร็จลงได้ เช่น ค่าแรงงานหัวหน้าคนงาน ค่าแรงคนงานประจำเครื่องจักร ค่าแรงงานใน

การยกขนวัตถุ ภารโรง และยามเฝ้าโรงงาน เป็นต้น ค่าแรงงานเหล่านี้เรียกว่า ค่าแรงงานทางอ้อม ซึ่งจะจัดอยู่ในส่วนประกอบของการผลิตคือ ค่าใช้จ่ายการผลิต

3) ค่าใช้จ่ายการผลิต (manufacturing overhead) คือ ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตทั้งหมด นอกเหนือวัตถุดิบทางตรงและแรงงานทางตรงที่ทำให้การผลิตสำเร็จลงได้เป็นสินค้าสำเร็จรูปหรือผลิตภัณฑ์ ได้แก่วัตถุทางอ้อม แรงงานทางอ้อม และค่าใช้จ่ายการผลิตอื่น ๆ ค่าใช้จ่ายการผลิตสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

3.1) ค่าใช้จ่ายการผลิตผันแปรคือ ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตที่มีพฤติกรรมต้นทุนเปลี่ยนไปตามกิจกรรมที่เปลี่ยนไป เช่น วัตถุทางอ้อม แรงงานทางอ้อม ค่าไฟฟ้า เป็นต้น

3.2) ค่าใช้จ่ายการผลิตคงที่ คือ ค่าใช้จ่ายการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการผลิตที่มีต้นทุนรวมคงที่ไม่เปลี่ยนไปตามกิจกรรม ณ ระดับหนึ่ง เช่น ค่าเช่าโรงงาน ค่าประกันภัยโรงงาน ค่าเสื่อมราคาโรงงาน ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร เป็นต้น

2.9.2 ลักษณะพฤติกรรมของต้นทุน

พฤติกรรมของต้นทุน (cost behavior) หมายถึง การศึกษาในช่วงเวลาหนึ่งที่มีความหมาย ต้นทุนจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในระดับของกิจกรรมที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง

ระดับของกิจกรรม หมายถึง ฐานหรือปริมาณที่ก่อให้เกิดต้นทุนนั้น ๆ เช่น จำนวนหน่วยที่ผลิต จำนวนชั่วโมงการทำงาน จำนวนหน่วยขาย จำนวนระยะทาง (กิโลเมตร, ไมล์) เป็นต้น การจำแนกต้นทุนวิธีนี้แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

1) ต้นทุนผันแปร (variable costs) ลักษณะของต้นทุนผันแปร จะเป็นต้นทุนที่มีต้นทุนรวมเปลี่ยนไปตามระดับกิจกรรมที่เปลี่ยนไปในสัดส่วนโดยตรง แต่จะมีต้นทุนต่อหน่วยคงที่

2) ต้นทุนคงที่ (fixed costs) ลักษณะของต้นทุนคงที่จะเป็นต้นทุนที่มีต้นทุนรวมจะไม่เปลี่ยนแปลงไป ตามระดับของกิจกรรม ที่เปลี่ยนไป ณ ระดับหนึ่ง แต่จะมีต้นทุนต่อหน่วยเปลี่ยนแปลงในทางตรงข้าม เช่น ถ้าระดับกิจกรรม คือ จำนวนหน่วยผลิต ต้นทุนต่อหน่วยจะลดลงเมื่อผลิตมากขึ้น หรือต้นทุนต่อหน่วยจะมากขึ้นเมื่อผลิตน้อยลง ต้นทุนคงที่ของกิจการ เช่น ค่าเช่า ค่าประกันภัย ค่าเสื่อมราคา เป็นต้น

3) ต้นทุนผสม (mixed costs) เป็นต้นทุนที่มีต้นทุนรวมเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรรวมอยู่ ด้วยกัน บางครั้งเรียกว่า ต้นทุนกึ่งผันแปร (semi variable cost) เช่น ค่าโทรศัพท์ ค่าไฟ ค่าเช่าเครื่องจักร ค่าเช่าเครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น

2.9.3 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-even Analysis)

จึงเป็นการวิเคราะห์และอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิต (ต้นทุนคงที่ ต้นทุนแปรผัน และต้นทุนรวม) ต่อปริมาณการผลิตและราคาขาย (ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดรายได้) โดยจุดคุ้มทุน (Break-even Point) จะหมายถึงจุดที่ปริมาณการผลิตทำให้เกิดรายได้เท่ากับรายจ่ายหรือต้นทุนการผลิตพอดี ซึ่งหากมีการผลิตน้อยกว่าปริมาณของจุดคุ้มทุนนี้จะทำให้ขาดทุน แต่หากว่าสามารถผลิตหรือขายได้มากกว่าปริมาณของจุดคุ้มทุนนี้ก็จะเกิดกำไร

2.9.4 ระยะคืนทุน (Payback Period)

ระยะคืนทุน ได้แก่ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าลงทุนของโครงการ โดยจะพิจารณาจำนวนปีที่จะได้รับผลตอบแทนคุ้มกับเงินลงทุน

1. กรณีกระแสเงินสดเข้าสุทธิเท่ากันทุกปี สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิเริ่มโครงการ}}{\text{เงินสดรับสุทธิรายปี}} \qquad (2.6)$$

2. กรณีกระแสเงินสดเข้าสุทธิรายปี แตกต่างกัน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{จำนวนปีก่อนคืนทุน} + \frac{\text{ส่วนที่เหลือ}}{\text{กระแสเงินสดทั้งรายปี}} \qquad (2.7)$$

การลงทุนใด ๆ ที่ได้รับผลตอบแทนคุ้มกับจำนวนเงินที่ลงทุนอย่างรวดเร็วย่อมเป็นการดีเพราะโอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตมีน้อยลงและผู้ลงทุนสามารถนำเงินผลตอบแทนส่วนเกินจากเงินที่ลงทุนมาหาผลประโยชน์อย่างอื่นต่อไปได้อีกประสิทธิ์ ตงยิ่งศิริ (2545)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นริศ ชุดสว่าง (2556) ค่าใช้จ่ายจากการใช้ก๊าซหุงต้มพบว่าถ้าสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลเกวียนหักใช้ก๊าซหุงต้มเพียงอย่างเดียวในปริมาณถังละ 15 กิโลกรัม จะต้องเสียค่าใช้จ่าย 8.18 บาทต่อวัน เป็นค่าก๊าซหุงต้มที่ต้องใช้ในการประกอบอาหารแต่ละวัน ถ้าในหนึ่งเดือนจะเสียเงินจำนวน 245.40 บาท แต่ถ้ามีการใช้ถ่านอัดแท่งจากเปลือก2556 ศึกษาวิเคราะห์ทางด้านสมรรถนะทางความร้อนจากเปลือกทุเรียน สรุปได้ว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนที่ทางกลุ่มผู้ผลิตได้มีค่าความร้อนที่ 6, 134 แคลอรี่ต่อกรัม สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มีปริมาณเถ้าร้อยละ 6.2 โดยน้ำหนัก ซึ่งในด้านสมรรถนะเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.238/2547) ผลการวิเคราะห์ด้านการลดทุเรียนควบคู่กันไปกับก๊าซหุงต้มจะเสียค่าใช้จ่ายเพียงวันละ 6.80 บาทต่อวัน ในหนึ่งเดือนจะเสียค่าใช้จ่ายเพียง 204 บาทเท่านั้น ผลของการใช้ถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนที่ทางกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลเกวียนหักช่วยกันผลิตขึ้นเองนี้จะทำให้สมาชิกประหยัดค่าใช้จ่ายลงไปได้ 41.40 บาทต่อเดือน

ต่อครอบครัว ใน 1 ปี จะลดรายจ่ายจากการใช้ก๊าซหุงต้มลงไปได้ 496.80 บาท ถ้ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลเกวียนหักได้ทำการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนใส่ถุงที่มีฉลากสินค้าขายโดยผลิตถ่านแห้งวันละ 300 kg จำหน่ายในราคากิโลกรัมละ 10 บาท ทางกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลเกวียนหักจะมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 307 วัน

นฤมล ภานุนำภา (2551) ทดลองทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุทางการเกษตรและปาล์มน้ำมันมีวัตถุประสงค์เพื่อ หาส่วนผสมที่เหมาะสมในการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพด้านพลังงานความร้อน ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุทางการเกษตรและเป็นพลังงานทดแทนฟืนและถ่านแล้วยังเป็นการส่งเสริมให้เกิดการใช้ประโยชน์เศษไม้โตเร็วและเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างยั่งยืน เมื่อทดลองใช้ถ่านกาบปาล์ม ถ่านทางปาล์ม ใบปาล์มสด กาบปาล์มสด ทางปาล์มสด ผสมกับเศษวัสดุทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ รวม 32 สูตรโดยใช้กาวแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานให้เชื้อเพลิงสามารถอัดเป็นแท่งได้ ผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งสูตรถ่านกาบปาล์มผสมกับถ่านยูคาลิปตัส สูตรกาบปาล์มสดผสมขุยมะพร้าว สูตรใบปาล์มผสมขุยมะพร้าวและชานอ้อย สูตรทางปาล์มผสมซังข้าวโพดและชานอ้อยหรือขี้เลื่อยมีคุณภาพพอใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ส่วนสูตรอื่น ๆ มีคุณภาพไม่เหมาะสมในการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เนื่องจากเผาไหม้แล้วเกิดควันมาก ให้ไฟไม่แรง มีเขม่าและขี้เถ้ามาก

พงษ์ศักดิ์ เศษวิกา (2554) ศึกษาและพัฒนาชุดทดสอบการอัดเม็ดใบและยอดอ้อย ซึ่งชุดทดสอบการอัดนี้ได้ดัดแปลงมาจากเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยมูลสัตว์ ซึ่งชุดทดสอบนี้มีการปรับปรุงซึ่งจากเดิมเป็นเกลียวอัดในแนวนอนเป็นการอัดของเกลียวในแนวตั้งปัจจัยที่นำมาศึกษาคือความเร็วของเกลียวอัด 3 ระดับคือ 40, 55 และ 70 รอบ/นาที และส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังซึ่งใช้เป็นตัวประสาน 3 ระดับคือร้อยละ 20, 35 และ 50 โดยน้ำหนักจากการทดสอบพบว่า ความสามารถในการอัดมากที่สุด คือ 22.15 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และใช้กำลังไฟฟ้าต่ำที่สุด คือ 346.85 วัตต์ ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 50 และความเร็ว 70 รอบต่อนาทีวัสดุที่ได้จากการอัดเมื่อนำไปตากแห้งที่ระยะเวลา 144 ชั่วโมง (6 วัน) มีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 20.95 มาตรฐานเปียก และได้ความหนาแน่นเฉลี่ย 0.15 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจนิ (2553) ศึกษาและดำเนินการนำขยะชุมชนมาแปลง เป็นเชื้อเพลิงแข็งในรูป RDF-5 ผลการศึกษาพบว่าในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีขยะที่สามารถนำมาผลิตเชื้อเพลิง RDF ได้ประมาณ 2.09 ตัน/วัน จากขยะทั้งหมด 4.28 ตัน/วัน ในกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 กำหนดให้มีทั้งหมด 6 ขั้นตอน ได้แก่ การคัดแยกขยะ การอบฆ่าเชื้อโรค การอบแห้ง การลดขนาดด้วยการตัดย่อยการผสม และการอัดแท่ง โดยมีกำลังการผลิต 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือ 200 กิโลกรัมต่อวัน ผลการศึกษาพบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะเมื่อมีสัดส่วนของขยะประเภทพลาสติกมากขึ้น ส่วนตัวประสานที่ใช้กากน้ำตาลและส่าเหล้า

จะให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าตัวประสานประเภทอื่น โดยผลการคำนวณต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ส่วนผสมของขยะ 1:1:1 มีต้นทุนต่อหน่วยต่ำกว่าที่ส่วนผสม 4:3:1 เล็กน้อย เนื่องจากมีต้นทุนในส่วนของวัตถุดิบ คือ ตัวประสานที่น้อยกว่า อย่างไรก็ดีพบว่าขยะเชื้อเพลิงอัดแท่ง RDF-5 ที่ส่วนผสม 4:3:1 จะมีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่สูงกว่าและที่ส่วนผสมนี้ซึ่ง คำนวณจากสัดส่วนของขยะประเภทพลาสติกกระดาษ และเศษไม้ที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่จะทำให้สามารถกำจัดขยะที่ เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยต่อวันได้หมด ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมกว่า และการใช้ตัวประสานปูนขาวจะทำให้มีต้นทุนต่อ หน่วยที่ต่ำที่สุด ซึ่งค่าต้นทุนของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้ คือ 3.58 บาท/กิโลกรัม หรือ 3,581 บาท/ตัน ผลการศึกษาการนำโปรดิวเซอร์แก๊สจากเชื้อเพลิง RDF-5 มาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อผลิตไฟฟ้าพบว่าสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ 45% ที่ภาระทางไฟฟ้า 63% (18 kW) การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า โครงการจะมีความคุ้มทุนเมื่อราคาน้ำมันดีเซลต้องไม่ต่ำกว่า 34 บาท/ลิตร และราคาขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ไม่เกิน 4.0 บาท/กิโลกรัม โดยจะมีจุดคุ้มทุนประมาณ 6 ปี และในกรณีที่ใช้ขยะเชื้อเพลิง RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง 100 % มีต้น ทุนการผลิตอยู่ที่ 2.82-4.73 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง และค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่มจากการผลิตไฟฟ้าจากขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่สอดคล้องกับต้น ทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ควรอยู่ที่ 3.5-4.5 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล (2553) ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสาปะหลัง โดยทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.238/2547) มลภาวะ ต้นทุนต่อหน่วยและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์จากการผลิตถ่านอัดแท่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองนำวัสดุทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวมาผสมกัน 5 อัตราส่วน ลักษณะถ่านอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร มีครีบโดยรอบจานวน 5 ครีบ และมีรูกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร แรงอัด 33 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนัก ทำการทดสอบโดยการเผาไหม้เพื่อวัดผลในห้องปฏิบัติการทดสอบเพื่อส่งให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมของสมรรถนะทางความร้อนและมลภาวะผลทางด้านสมรรถนะทางความร้อน สรุปได้ว่า ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลังในอัตราส่วน 9 : 1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 6,580.10 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และอัตราส่วน 1 : 9 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนต่ำสุดเท่ากับ 4,514.13 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ผลการทดสอบมลภาวะจากการเผาไหม้ถ่านอัดแท่ง พบว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีปริมาณเท่ากับ 195 ppm ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เท่ากับ 26 ppm คาร์บอนไดออกไซด์ 9.11 ppm และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มีปริมาณมากกว่า 4,000 ppm มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าลดลง สัมพันธ์กับปริมาณคงเหลือของวัสดุหลังการเผาไหม้ ซึ่งในด้านสมรรถนะเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547) ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและ

ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลังในอัตราส่วน 3 : 7 มีค่าสมรรถนะทางความร้อน เท่ากับ 5,003 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ให้ค่าสมรรถนะทางความร้อนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน(มผช.) มีต้นทุนการผลิต เท่ากับ 5.35 บาท/กิโลกรัม และเมื่อมีกาลังการผลิตที่ 400 กิโลแคลอรี่ต่อวัน จะสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 1.4 ปี

สุพัตรา หมายดี และ นริศรา แก้วนิสัย (2559) ศึกษาคุณสมบัติและการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะอินทรีย์รวมกับชีวมวลที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพด้านพลังงานความร้อน ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำเอาขยะอินทรีย์กลับมาใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Refused Derived Fuel; RDF) ทั้งแบบแห้งและแบบเผาแล้วยังเป็นการหาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆวัสดุที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งในงานวิจัยนี้คือ เศษอาหาร แกลบ ขี้เลื่อย โดยมีกากน้ำตาลเป็นวัสดุประสาน เชื้อเพลิงอัดแท่ง 2 ชนิดประกอบด้วย 1) เศษอาหารผสมแกลบผสมตัวประสาน 2) เศษอาหารผสมขี้เลื่อยผสมตัวประสาน ถูกนำมาผสมในอัตราส่วนต่างๆที่กำหนด ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนผสมของตัวอย่างและชนิดของชีวมวลที่นำมาทดสอบมีผลต่อค่าความร้อน ค่าความชื้น และกำลังแรงอัดสูงสุดที่ได้ RDF แบบแห้งที่มีอัตราส่วนระหว่างเศษอาหาร:แกลบ:ตัวประสาน เท่ากับ 80:10:10 มีค่าความร้อนสูงที่สุด คือ 17,377 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ค่าความชื้น 7.62 % และกำลังแรงอัดสูงสุดแบบแท่งกลมเท่ากับ 3.09 นิวตัน ส่วน RDF แบบเผาที่มีอัตราส่วนระหว่างเศษอาหาร:ขี้เลื่อย:ตัวประสานเท่ากับ 80:10:10 มีค่าความร้อนสูงที่สุดคือ 22,622 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ค่าความชื้น 29.5 % และกำลังแรงอัดสูงสุดแบบแท่งกลมเท่ากับ 2.01 นิวตัน จากผลข้างต้นสรุปได้ว่าวัสดุชีวมวลที่นำมาผลิต RDF ร่วมกับเศษอาหารแบบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือแกลบ และวัสดุชีวมวลที่นำมาผลิต RDF ร่วมกับเศษอาหารแบบเผาที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือขี้เลื่อย

Lela, Barišić, and Nižetić (2016) ศึกษาทดลองนำกระดาษแข็งและขี้เลื่อยใช้ทำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดก้อนโดยทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพ ทางกล และความร้อนของกระดาษแข็งและขี้เลื่อยอัดก้อน อิทธิพลและปัจจัยหลักของความร้อนได้รับการตรวจสอบผ่านการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์ถดถอย ซึ่งมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งและมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิเพื่อที่จะหาค่าความร้อนสูงสุดปริมาณเถ้าขั้นต่ำและการเพิ่มประสิทธิภาพแรงอัดสูงสุด ทำให้ค่าที่ดีที่สุดสำหรับการศึกษาพารามิเตอร์กระบวนการอัดก้อนที่มีแรงอัด 588.6 kgN มวลขี้เลื่อยร้อยละ 46.66 และอบแห้งที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส มีค่าความร้อนที่สูงขึ้นคือ 17.41 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ต่ำสุด ปริมาณเถ้าร้อยละ 6.62 และแรงอัดสูงสุด 149.54 นิวตันต่อมิลลิเมตร กระดาษแข็งและขี้เลื่อยอัดก้อนแสดงให้เห็นว่ามีศักยภาพสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดก้อน

Rezania et al (2016) ตรวจสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพอัดก้อนที่ทำจากการรวมกันของผักตบชวาและผลไม้ที่มีไฟเบอร์ (โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มตกค้าง) ผักตบชวา (WH) ผสมกับเส้นใย

จากลูกปาล์ม (EFB) ในอัตราส่วนร้อยละ 25, 50, 75, 90, และ 100 โดยน้ำหนักและเพิ่มแป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุประสาน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของ WH มีผลเพียงเล็กน้อย การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าความชื้นที่อยู่ภายในเถ้าและปริมาณคาร์บอนคงที่ เพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มขึ้นของจำนวน WH จากร้อยละ 25 ถึง 100 ในขณะที่ปริมาณสารระเหยและความร้อนลดลง การทดสอบการเผาไหม้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราร้อยละของ WH ในเชื้อเพลิงชีวภาพอัดก้อนมีผลทำให้ระดับของ O_2 และ CO ลดลง ขณะที่ของ CO_2 และ NO_2 SO_2 เพิ่มขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่า WH : EFB เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดก้อนที่มีศักยภาพที่ดีซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทางเลือก

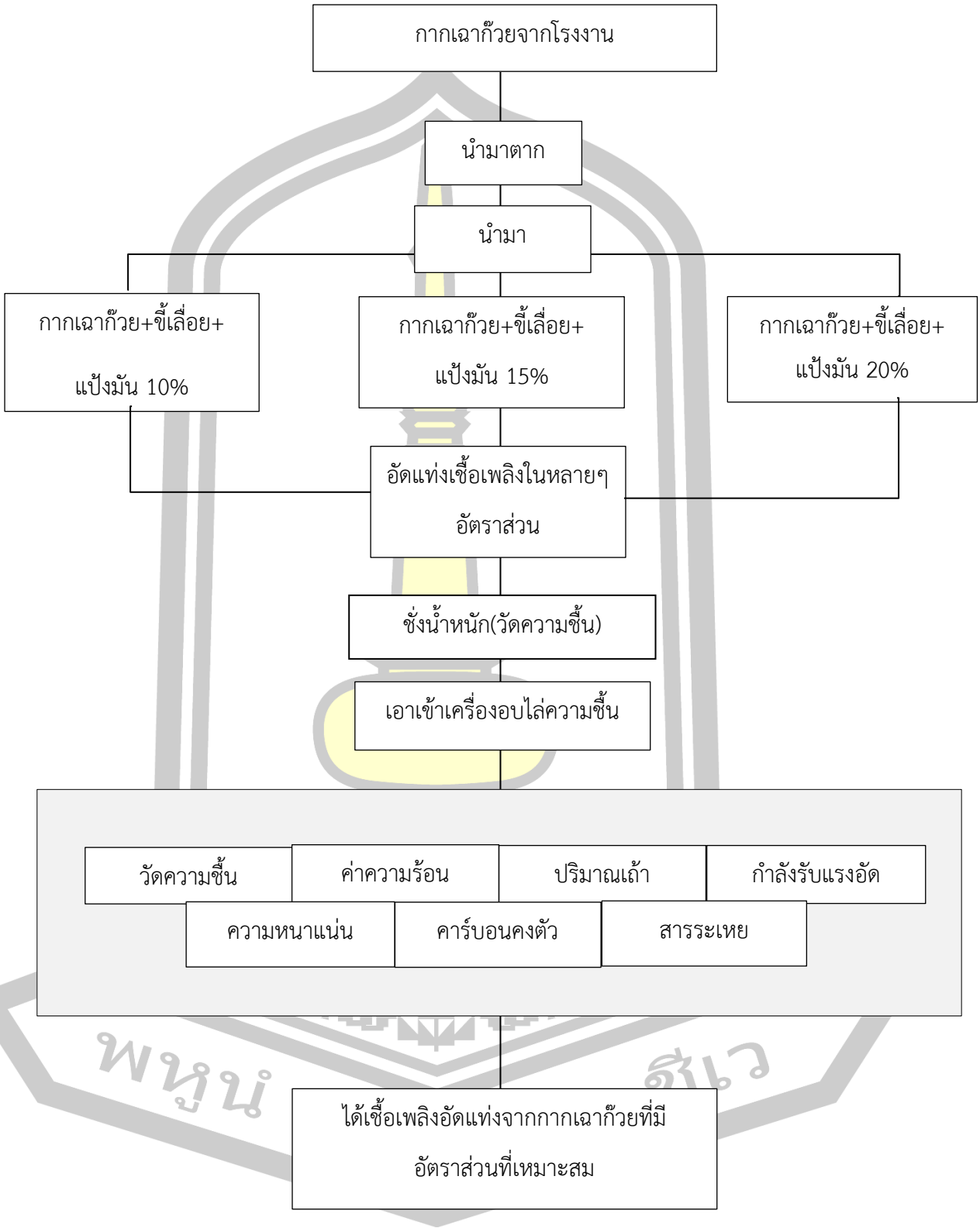
Prasityousil and Muenjina (2013) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตโดยการอัดก้อนของปุ๋ยหมักที่ได้จากขยะ (MWCC) และถ่านขี้เลื่อย (SC) การทดลองเกี่ยวกับการอัดก้อนของ MWCC และ SC มีอัตราส่วนคือ 100: 0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60 และ 20:80 โดยน้ำหนัก และใช้กากน้ำตาลน้อยละ (10 15 หรือ 20 WT) เป็นวัสดุประสานเชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงแข็งอัดก้อนทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 3.8 เซนติเมตรเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.3 เซนติเมตร ความยาว 15 เซนติเมตร เชื้อเพลิงแข็งอัดก้อนได้รับการศึกษาคุณสมบัติดังต่อไปนี้ ความชื้น เถ้า สารระเหยคาร์บอนคงที่ ค่าความร้อน กำมะถัน ค่าความร้อนเผาไหม้ แรงอัด ความต้านทานของน้ำ และความหนาแน่น ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าค่าความร้อนและการเผาไหม้เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของถ่านขี้เลื่อย แรงอัด ความต้านทานของน้ำและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแข็งอัดก้อนขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของถ่านขี้เลื่อยและวัสดุประสาน จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า MWCC และ SC สัดส่วน 20:80 กับกากน้ำตาลร้อยละ 20 มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง

Sakkampang and Wongwuttanasatian (2014) ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้กลีเซอรีนและชีวมวลมาเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก โดยใช้พลังงานในกระบวนการบดอัดและพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงอัดแท่ง หาความสัมพันธ์ของค่าความร้อนระหว่างค่าที่คำนวณได้และค่าที่แท้จริง โดยจะใช้แกลบ ขี้เลื่อย ชานอ้อย และใบอ้อย มาเป็นพลังงานชีวมวล อัตราส่วนของพลังงานที่ใช้เมื่อเทียบกับพลังงานที่ได้รับประมาณร้อยละ 1-3 สำหรับประเทศที่มีความร้อนสูงในระดับอุตสาหกรรมจะได้ร้อยละ 12-18 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามจำนวนของกลีเซอรีน จากการชีกลีเซอรีนและชีวมวลในกระบวนการบดอัดได้พิจารณาว่าเป็นไปได้ที่จะพัฒนาต่อไปเป็นพลังงานทางเลือก

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 แผนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉ่าก๊วยโดยใช้ตัวอย่างจาก โรงงานเฉาก๊วยห้าดาว จังหวัดขอนแก่น โดยศึกษากรรมวิธีในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่มีส่วนผสมของ กากเฉาก๊วย และขี้เลื่อย ที่นำมาบดเป็นผงแล้วใช้แป้งมันเป็นตัวประสาน รวมทั้งคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยสำหรับนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยจะทำการทดสอบตัวอย่าง 3 ซ้ำ และแสดงค่า standard deviation ซึ่งแผนการดำเนินงานแสดงในภาพประกอบที่ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 แผนการดำเนินงาน

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมด มีดังต่อไปนี้

1) กากเฉาก๊วย
2) ขี้เลื่อย
3) วัสดุประสาน (แป้งมัน)
4) เครื่องบด
5) เครื่องอัด
6) เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์
7) เครื่องอบ
8) ค้อน
9) ผ้าไนล่อน
10) ถุงซิปล็อค

3.3 วิธีการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง

วิธีการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยในรูปแบบแห้ง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) สำรวจปริมาณกากเฉาก๊วยที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน จากโรงงานผลิตเฉาก๊วย
2) รวบรวมกากเฉาก๊วยที่ผ่านการต้มแล้ว
3) นำกากเฉาก๊วยไปตากทิ้งไว้ให้แห้ง
4) นำกากเฉาก๊วยที่แห้ง และขี้เลื่อยเข้าเครื่องบดโดยแยกบดทีละชนิด
5) นำวัสดุเชื้อเพลิงที่บดแล้วมาผสมกับวัสดุประสานตามสัดส่วนในตารางที่ 4
6) นำสัดส่วนการผสมที่ได้เข้าเครื่องอัดแท่ง บางส่วนนำไปหาค่าความชื้นและค่าความร้อน
7) นำเชื้อเพลิงอัดแท่งเข้าเครื่องอบ hot air oven ที่อุณหภูมิ 105 $^{\circ}$C นาน 1-2 ชั่วโมง
8) หลังจากเชื้อเพลิงอัดแท่งเย็นตัวนำไปทดสอบกำลังแรงอัดด้วยชุดทดสอบแรงดึงและแรงอัดวัสดุ (Tension and compression testing)
9) นำไปทดสอบคุณสมบัติ วัดความชื้น ค่าความร้อน ปริมาณเถ้า ความหนาแน่น คาร์บอนคงตัว สารระเหย และวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ

3.4 อัตราส่วนผสมระหว่างกากเฉาก๊วย ขี้เลื่อย และตัวประสาน

อัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งของกากเฉาก๊วย ขี้เลื่อย และตัวประสานซึ่งใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานซึ่งอัตราส่วนของตัวประสานเลือกใช้ตามงานวิจัยของ Prasityousil and Muenjina (2013) มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบอัตราส่วนขยะอินทรีย์ชีวมวลและตัวประสานโดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	กากเฉาก๊วย (%)	ขี้เลื่อย (%)	ตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง, %)
1	100	0	0
2	80	10	10
3	60	30	10
4	40	50	10
5	20	70	10
6	0	90	10
7	80	5	15
8	60	25	15
9	40	45	15
10	20	65	15
11	0	85	15
12	80	0	20
13	60	20	20
14	40	40	20
15	20	60	20
16	0	80	20

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

3.5 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง

เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงจะมีรูปแบบการทำงานแบบใช้แรงมือ

ภาพประกอบ 13 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง

ลักษณะการทำงานของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง มีหลักการทำงานดังต่อไปนี้

1) เครื่องอัดแท่งจะมีลักษณะของกระบอกอัดแท่งเชื้อเพลิงอยู่หนึ่งด้านเป็นทรงกลมซึ่งขนาดของกระบอกจะมีขนาด กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ขนาดรูตรงกลาง 1เซนติเมตร

2) วัสดุที่ใช้ทำเชื้อเพลิงอัดแท่งถูกผสมในอัตราส่วนตามที่กำหนด

3) เอาเชื้อเพลิงลงกระบอกอัดแท่งอัดให้แน่นแล้วจึงปิดฝาด้านข้างแล้วทำการคั่นน็อตด้วยแรงคนให้รู้สึกว่าแน่นพอ

4) เปิดฝาด้านข้างแล้วดันแท่งเชื้อเพลิงออกจากกระบอก ก็จะได้แท่งเชื้อเพลิงมีลักษณะตามรูปลักษณ์ของกระบอก

5) นำไปอบหรือตากจนแท่งเชื้อเพลิงแห้ง

3.6 วิธีการทดสอบตามมาตรฐานซึ่งมีข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้

1. การทดสอบหาค่าความชื้น

จากการหาปริมาณความชื้นตามมาตรฐาน ASTM D3173 โดยนำถ้วยและฝาที่สะอาดไปอบ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น 15 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1-2 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น 20 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จะสามารถหาค่าความชื้นได้ จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยจะมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าความชื้น คือ

% ความชื้น = (น้ำหนักก่อนอบ – น้ำหนักหลังอบ / น้ำหนักก่อนอบ) x 100 (2.8)

2. การทดสอบหาค่าความร้อนด้วย เครื่อง Bomb Calorimeter

จากการหาค่าปริมาณความร้อนของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐาน ASTM D5865 โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter จากการทดลองและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการสำหรับวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด ซึ่งเป็นองค์ประกอบของถ่านอัดแท่ง ได้แก่ กากเฉาก๊วย และขี้เลื่อย มีค่าความร้อน ซึ่งมีค่าไม่ต่ำกว่า 3,000 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม กระทรวงอุตสาหกรรม (2555)

3. ปริมาณเถ้า

จากการหาปริมาณเถ้าตามมาตรฐาน (Ash) ASTM D3174 โดยนำถ้วยและฝาที่สะอาดไปอบ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105 °C แล้ว นำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 750 °C ประมาณ 4 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น 20 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จะสามารถหาปริมาณเถ้าได้ เถ้า คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาปภายใน เตาเผาที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยซิลิกาแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาต้องไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง. 2555) กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (Ash) ASTM D3174 สามารถหาได้ดังสมการ

$$v_{ash} = \left[\frac{w_3 - w_4}{w}\right] \times 100 \quad (2.9)$$

เมื่อ V_{ash} = ร้อยละของปริมาณเถ้า

W_3 = น้ำหนักถ้วยและเถ้าของตัวอย่างหลังเผา

W_4 = น้ำหนักถ้วย

W = น้ำหนักตัวอย่าง

4. สารระเหย (Volatile Matters)

จากการหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) ASTM D3175 โดยเผา crucible พร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950 °C ประมาณ 30 นาที แล้วนำไปทำให้เย็นโดยนำไปใส่ในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 g จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำไปใส่ ในเตาเผา ประมาณ 7-10 นาที แล้วปล่อยไว้ในเตา 7 นาที นำออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ประมาณ 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จะสามารถหาสารระเหยได้ ปริมาณสารระเหยที่ได้คือ ส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งแห้งที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน ควรมีปริมาณที่สูง ในการหาปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถหาได้จากสมการ

$$v_{volat} = \left[\frac{w_5 - w_6}{w} \times 100\right] - M \qquad (2.10)$$

เมื่อ V_{volat} = ร้อยละของปริมาณสารระเหย

M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

W_5 = น้ำหนักของถ้วยพร้อมฝาและตัวอย่างก่อนเผา

W_6 = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

W = น้ำหนักตัวอย่าง

5. คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

จากการหามวลคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงอัดแท่ง หลังจาก เอาสารระเหยออกไปแล้ว ที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 6-7 นาที ปริมาณคาร์บอนคงตัว ไม่ต่ำกว่า 15% กระทรวงอุตสาหกรรม (2555) การหาปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงสามารถหาได้ดังสมการ

$$C = 100 - V_{mois} - V_{volat} - M_2 \qquad (2.11)$$

เมื่อ C = ร้อยละของคาร์บอน

M_2 = ร้อยละของปริมาณเถ้า

V_{mois} = ร้อยละของปริมาณความชื้น

V_{Volat} = ร้อยละของปริมาณสารระเหย

6. การทดสอบกำลังแรงอัดสูงสุดด้วยเครื่อง Tension and compression testing

เครื่อง Tension and compression testing (Universal testing machine) เป็นเครื่องทดสอบแรงประเภท static load test ให้แรงทดสอบคงที่กระทำต่อชิ้นทดสอบ ใช้ทดสอบความต้านทานต่อแรงกระทำของวัสดุ ทั้งแรงดึง แรงอัด แรงอัดขวางและแรงเฉือน เมื่อนำชิ้นทดสอบมาติดตั้งกับเครื่องทดสอบและให้ load cell ออกแรงกระทำต่อชิ้นทดสอบ strain gauge ใน load cell จะเปลี่ยนแปลงรูปร่างและแปลงค่าเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อประมวลผลเป็น load และ displacement ที่เกิดขึ้นกับชิ้นทดสอบ ลักษณะเครื่อง Tension and compression testing แสดงดังภาพประกอบ 14

ภาพประกอบ 14 เครื่อง Tension and compression testing

3.7 การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

โดยจุดคุ้มทุนคือจุดที่ไม่มีผลกำไรหรือขาดทุน ในการดำเนินการผลิต พิจารณาจากความสัมพันธ์ค่าใช้จ่ายในการผลิตและรายได้จากการขายเชื้อเพลิง ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิง คำนวณจาก

$$C = F + VN \qquad (2.12)$$

เมื่อ C คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิง(บาท)

F คือ ต้นทุนคงที่ของราคาเครื่องจักรในการผลิตทั้งหมด (บาท) ได้แก่ เครื่องย่อย และเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง

V คือ ต้นทุนแปรผัน (บาท/กิโลกรัม) ที่เกิดขึ้นในการผลิตต่อหน่วยกิโลกรัมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ ค่าแรง ค่าไฟฟ้าและค่าวัสดุหลักที่ใช้ในการผลิต

N คือ ปริมาณเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้ (kg)

2. รายได้จากการขายเชื้อเพลิงอัดแท่ง คำนวณจาก

$$R = IN \qquad (2.13)$$

เมื่อ R คือ รายได้จากการขายเชื้อเพลิงอัดแท่ง

I คือ ราคาขายต่อกิโลกรัม

N คือ จำนวนกิโลกรัม ของเชื้อเพลิงที่ผลิตขาย

จุดคุ้มทุนเกิดขึ้นเมื่อ สมการที่ (1) เท่ากับสมการที่ (2) ซึ่งทำให้เกิดจุดคุ้มทุน

การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนของการผลิตถ่านอัดแท่ง

กำหนดให้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ต้องการผลิตเป็นเชื้อเพลิงกากเฉาก๊วยร้อยเปอร์เซ็นต์ดังนั้น การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนภายใต้สมมุติฐานที่กำหนดขึ้นแยกเป็นสองส่วนของรายรับและรายจ่ายมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

รายรับ มาจากการขายเชื้อเพลิงอัดแท่ง กำหนดให้

1. อัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งสูงสุด
2. ราคาขายเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็น
3. เวลาในการผลิต n วัน

ดังนั้น รายได้จากการขายถ่าน R = (n วัน) (ราคาขาย kg/day) (อัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งสูงสุด kg/day)

รายจ่าย เป็นต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่แยกเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันดังนี้

1. ต้นทุนคงที่ เป็นต้นทุนการจัดซื้อเครื่องย่อยและเครื่องอัดแท่ง
2. ต้นทุนแปรผัน ประกอบด้วย (1) ค่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่าน คือ ค่าแป้งมัน (กากเฉาก๊วยที่ได้รับการสนับสนุนจากโรงงานแปรรูปไม่เสียค่าใช้จ่าย) (2) ค่าถุงพลาสติกใส่ถ่าน (3) ค่าฉลากสินค้าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วย (4) ค่าแรงงานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วย (5) ค่าไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องย่อย

วิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนโดย

1. ค่าวัตถุดิบ (ผลรวมข้อ (1), (2), (3) และ (4)) = (บาท/กิโลกรัม)
2. ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต (5) = (บาท/วัน)

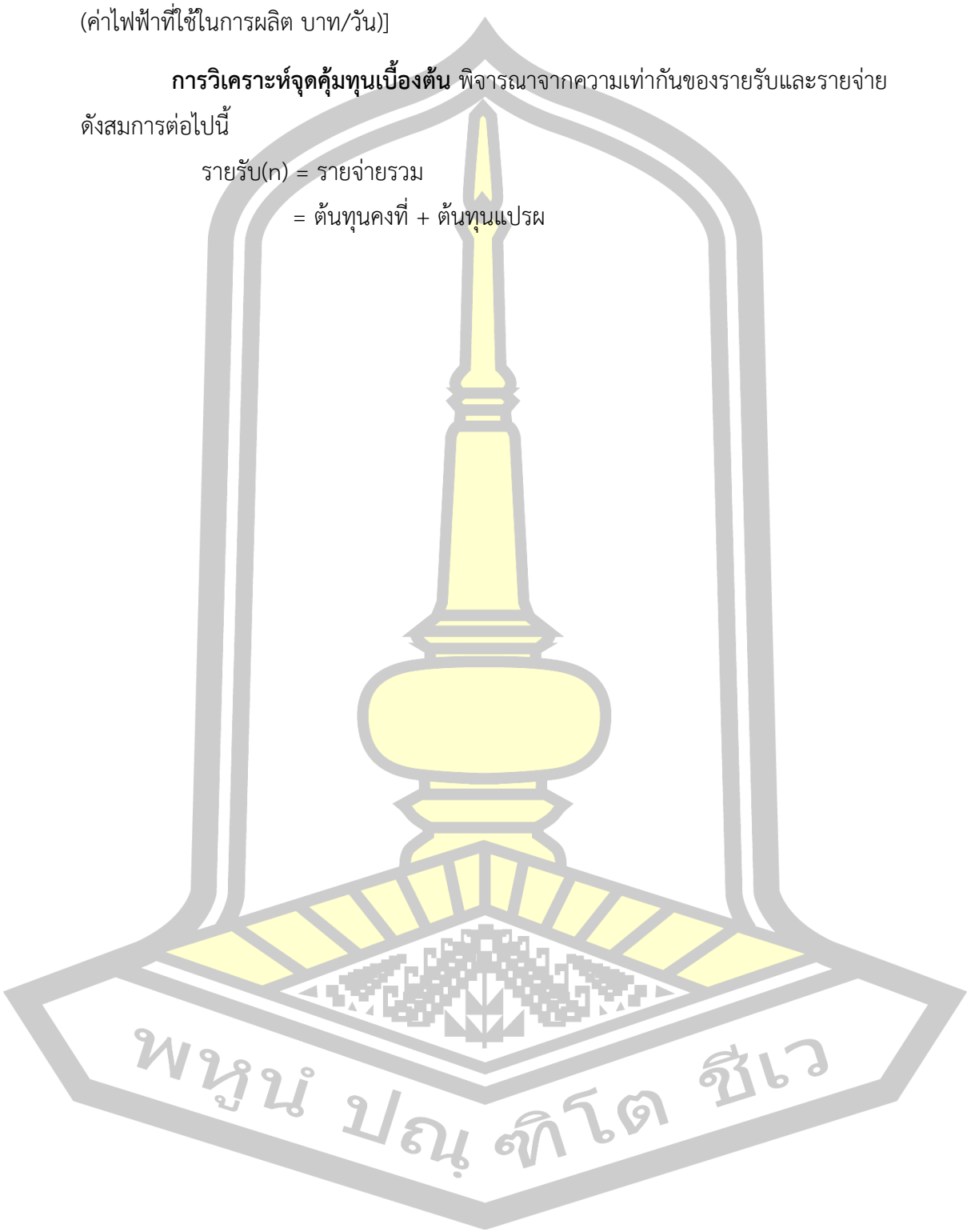
นั่นคือ หากทำการผลิตเชื้อเพลิงทั้งสิ้น n วัน

ต้นทุนแปรผัน = (n วัน)[(ผลรวมค่าวัตถุดิบ บาท/กิโลกรัม) (อัตราการผลิตเชื้อเพลิงสูงสุด kg/day) + (ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต บาท/วัน)]

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเบื้องต้น พิจารณาจากความเท่ากันของรายรับและรายจ่าย ดังสมการต่อไปนี้

รายรับ(n) = รายจ่ายรวม

= ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนแปรผ



บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในบทนี้นำเสนอผลการทดลองและทดสอบเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยและขี้เลื่อย ด้านคุณสมบัติวัตถุดิบ ด้านคุณสมบัติวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสม และการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย โดยใช้เครื่องวัดที่มีคุณภาพมาตรฐาน

4.1 การทดสอบคุณสมบัติวัตถุดิบ

ในการทดสอบคุณสมบัติของวัตถุดิบสามารถแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 คุณสมบัติทางเคมี คือการแสดงค่าเบื้องต้นของวัตถุดิบที่นำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้แก่ ค่าความร้อน (Heating value) ปริมาณค่าความชื้น (Moisture Content) และปริมาณเถ้า (Ash Content) ค่าที่ได้ถูกกำหนดขึ้นจากมาตรฐาน โดยจะทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีโดยการทดสอบหา ค่าความร้อน (Heating value) ปริมาณความชื้น (Moisture) ปริมาณเถ้า (Ash) สารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) คาร์บอนเสถียร (Fixed Carbon) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 6 กระทรวงอุตสาหกรรม (2555)

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของกากเฉาก๊วยและขี้เลื่อย

คุณสมบัติ	กากเฉาก๊วย	ขี้เลื่อย	แป้งมัน	เกณฑ์มาตรฐาน*
ค่าความร้อน(kcal/kg)	3,656 ± 92.47	4,453 ± 95.35	3,724	ไม่ต่ำกว่า 3,000
ปริมาณความชื้น(%)	8.72 ± 0.26	9.69 ± 0.16	0.9	ต่ำ
ปริมาณเถ้า (%)	14.56 ± 0.21	1.22 ± 0.08	0.05	ไม่เกิน 20
สารระเหย (%)	67.54 ± 0.86	78.35 ± 1.24	-	สูง
คาร์บอนคงตัว (%)	8.91	10.74	-	ไม่ต่ำกว่า 15

*กระทรวงอุตสาหกรรม (2555)

จากการทดสอบคุณสมบัติของกากเฉาก๊วย ซึ่งได้ศึกษาคุณสมบัติ ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และสารระเหย อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งสามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ ในส่วนของขี้เลื่อยที่ผสมลงไปนั้นจากการทดสอบคุณสมบัติต่างๆพบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งคาดว่าจะช่วยทำให้เชื้อเพลิงมีค่าความร้อนที่สูงขึ้น นั้นคือทำให้เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

4.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

เป็นการเรียงตัวเกาะกลุ่มในโครงสร้างของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ประกอบไปด้วยค่าความแข็ง (Hardness) ความสามารถของเชื้อเพลิงอัดแท่งในการต้านทานแรงกดโดยค่าต้านทานต่อการกดซึ่งมีความสำคัญต่อระยะเวลาในการมอดลง พร้อมทั้งช่วยลดปัญหาการเสียหายในขณะขนส่งและเก็บรักษาในการใช้งาน ดังนั้นการทดสอบจึงจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือที่ได้มาตรฐานที่เกี่ยวกับการทดสอบในส่วนการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ใช้การทดสอบกดชิ้นงานและวัดค่าความร้อนในการเผาไหม้โดย วัตถุดิบที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ กากเฉาก๊วย ขี้เลื่อยและแป้งมันสำปะหลัง

ในการเตรียมวัตถุดิบในการทดสอบได้แก่ กากเฉาก๊วย ขี้เลื่อยและแป้งมันสำปะหลังผสมตามอัตราส่วนในหัวข้อ 4.2 แล้วนำมาอัดเป็นแท่งถ่านหลังจากแปรรูปแล้วมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของรูกลวง 1.5 เซนติเมตร ความสูง 10 เซนติเมตร ดังภาพที่ 15

ภาพประกอบ 15 เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างกากเฉาก๊วย ขี้เลื่อยและตัวประสานแป้งมันสำปะหลังเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของรูกลวง 1.5 เซนติเมตร ความสูง 10 เซนติเมตร

4.2 การทดสอบคุณสมบัติวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสม

เพื่อทดสอบค่าต่างๆในการทดสอบคุณสมบัติวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมนั้นจะทำการทดลองเดียวกันกับข้อที่ 6 ซึ่งจะศึกษาคุณสมบัติความชื้น ความร้อน ปริมาณเถ้า กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น คาร์บอนคงตัว และการระเหย ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วย แสดงดังตารางที่ 7 และใช้ขี้เลื่อยที่มีค่าพารามิเตอร์ที่ผ่าน เกณฑ์มาตรฐานลงไปในเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งสูงขึ้น ในส่วนของตัวประสาน(แป้งมัน) ทำการผสมลงไปเพื่อทำให้วัสดุจับตัวกันเป็นก้อนและสามารถนำไปอัดแท่งเชื้อเพลิงได้

ตารางที่ 7 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่างกากเฉาก๊วย ขี้เลื่อย และแป้งมันสำปะหลัง

ตัวอย่างที่	กากเฉาก๊วย (%) โดยน้ำหนัก (GJ)	ขี้เลื่อย (%) โดยน้ำหนัก (SW)	ตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง, %) โดยน้ำหนัก (TF)
1	100	0	0
2	80	10	10
3	60	30	10
4	40	50	10
5	20	70	10
6	0	90	10
7	80	5	15
8	60	25	15
9	40	45	15
10	20	65	15
11	0	85	15
12	80	0	20
13	60	20	20
14	40	40	20
15	20	60	20
16	0	80	20

จากอัตราส่วนผสมดังตารางที่ 7 สามารถสรุปผลการทดสอบคุณสมบัติวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสม ได้ดังนี้

4.2.1 ความชื้น

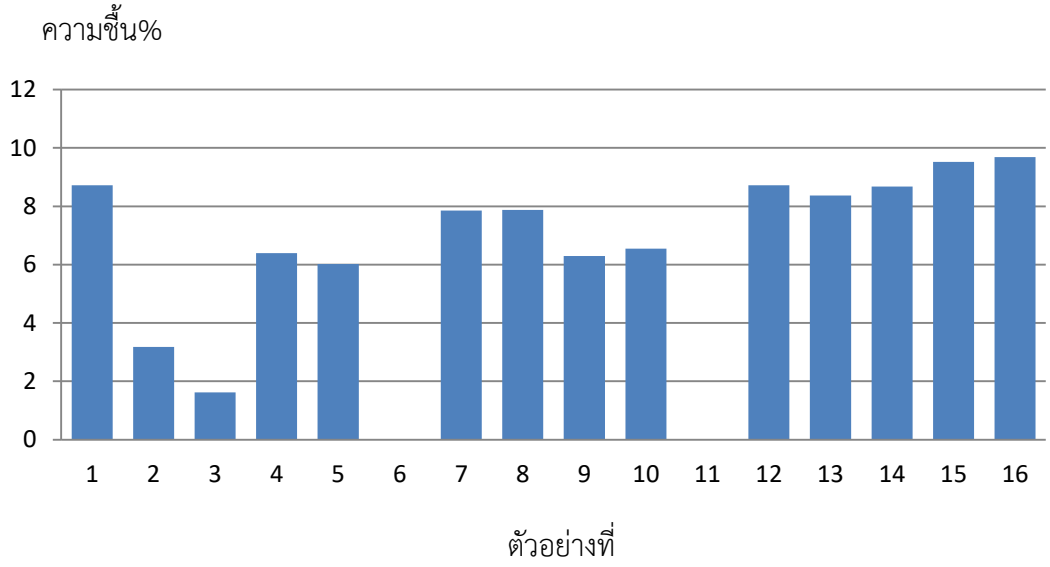
จากการทดสอบ พบว่า ตัวอย่างที่ 6 และ11 ที่มีอัตราส่วนผสม 0 : 90 : 10 และ 0 : 85 : 15 (GJ : SD : TF) ไม่สามารถทดสอบผลของความชื้นได้เพราะไม่สามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ถ้าเติมตัวประสาน (แป้งมัน) ลงในถ่าน 10% และผสมอัตราส่วนระหว่าง เฉาก๊วยต่อขี้เลื่อยในปริมาณที่เหมาะสมจะส่งผลต่อค่าความชื้น คือ อัตราส่วนของเฉาก๊วยระหว่าง 20%-80% และขี้เลื่อย 10%-70% ทำให้ค่าความชื้นในเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเฉาก๊วยมีค่าน้อยลง แต่ถ้าเพิ่มตัวประสานเป็น 15-20% ทำให้อัตราส่วนระหว่างเฉาก๊วยกับขี้เลื่อยลดลงโดยปริมาตรมีผลให้ความชื้นในถ่านมีค่าสูงขึ้นอย่างไรก็ตามค่าความชื้นอาจจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม

และสภาพอากาศในวันที่ผลิตเชื้อเพลิงอีกทั้งจำนวนวันและเวลาในการตากแท่งเชื้อเพลิงแตกต่างกัน ซึ่งจากทั้ง 13 ตัวอย่าง มีความชื้นอยู่ในเกณฑ์ต่ำเหมาะแก่การนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งค่าความชื้นที่ต่ำจะทำให้มีการเผาไหม้ที่ดี ผลของค่าความชื้นจะแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าความชื้นที่มีอยู่ในถ่าน

ตัวอย่าง	อัตราส่วน (GJ) : (SD) : (TF) โดยน้ำหนัก	ความชื้น (%)
1	100 : 0 : 0	8.72±0.26
2	80 : 10 : 10	3.18±0.75
3	60 : 30 : 10	11.62±1.29
4	40 : 50 : 10	6.39±0.02
5	20 : 70 : 10	6.02±0.01
6	0 : 90 : 10	วัดค่าไม่ได้
7	80 : 5 : 15	7.85±0.18
8	60 : 25 : 15	7.88±0.07
9	40 : 45 : 15	6.29±0.25
10	20 : 65 : 15	6.55±0.12
11	0 : 85 : 15	วัดค่าไม่ได้
12	80 : 0 : 20	8.72±0.26
13	60 : 20 : 20	8.37±0.05
14	40 : 40 : 20	8.68±1.00
15	20 : 60 : 20	9.52±0.67
16	0 : 80 : 20	9.69±0.16

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 16 ผลของอัตราส่วนการผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยที่ส่งผลต่อความชื้น

จากภาพประกอบที่ 16 พบว่าตัวอย่างมีค่าความชื้นต่ำที่สุดคือ ตัวอย่าง 3 (GJ : SD : TF = 60:30:10) โดยมีค่าความชื้นเท่ากับ 1.62 % ซึ่งความชื้นของเชื้อเพลิงนั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการเติมตัวประสานลงในเชื้อเพลิงที่ไม่เท่ากันทำให้ความชื้นไม่คงที่อีกทั้งค่าความชื้นอาจจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศในวันที่ผลิตเชื้อเพลิงอีกทั้งจำนวนวันและเวลาในการตากแท่งเชื้อเพลิงแตกต่างกัน

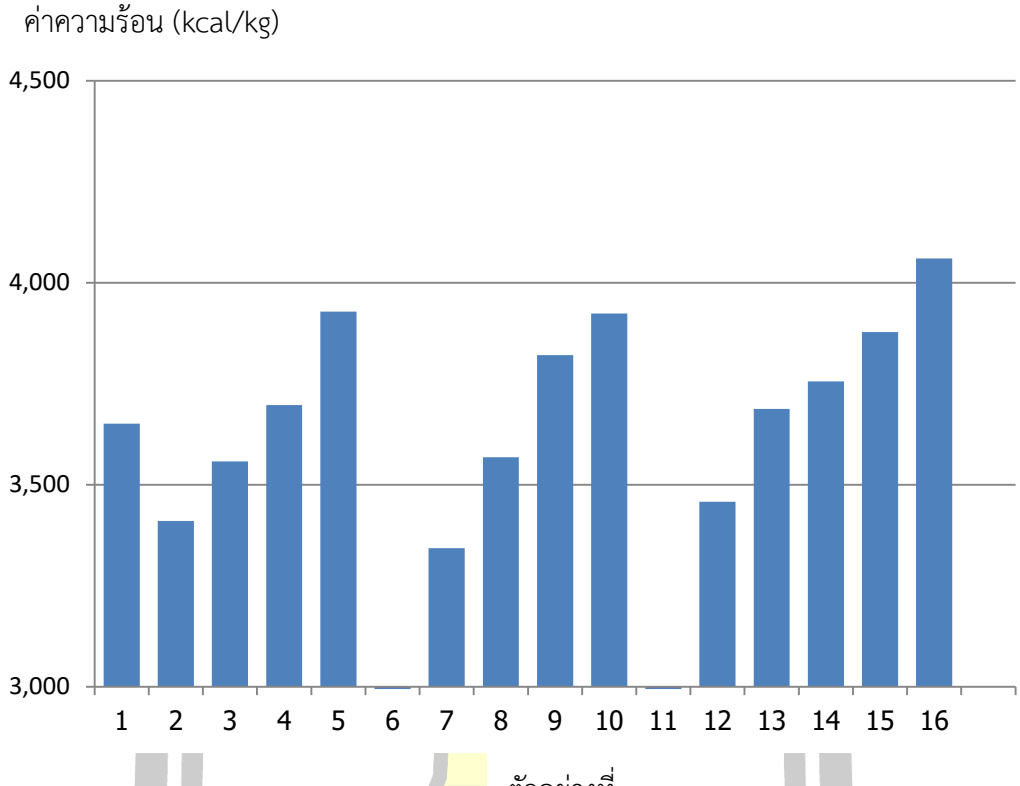
4.2.2 ค่าความร้อน

จากการทดสอบ พบว่า ตัวอย่างที่ 6 และ 11 ที่มีอัตราส่วนผสม 0 : 90 : 10 และ 0 : 85 : 15 (GJ : SD : TF) ไม่สามารถทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพราะไม่สามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ จากผลพบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของเฉาก๊วยในถ่านมากกว่า 40% มีผลทำให้ตัวอย่างที่ 2 3 7 8 12 และ 13 ตามลำดับ มีค่าความร้อนลดลง เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ 4 5 9 10 14 และ 15 ซึ่งใช้อัตราส่วนของเฉาก๊วยในถ่านน้อยกว่า 40% จึงมีค่าพลังงานความร้อนที่มากกว่า กล่าวคือการผสมกากเฉาก๊วยในปริมาณที่สูงจะมีผลทำให้ค่าความร้อนลดลงและค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากขี้เลื่อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lela, Barišić, and Nižetić (2016) ที่ว่าขี้เลื่อยมีศักยภาพสำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งจากทั้ง 13 ตัวอย่าง มีค่าความร้อนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน นั้นคือไม่ต่ำกว่า 3,000 kcal/kg ทำให้เหมาะแกการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งและค่าความร้อนที่สูงกว่า 3,000 kcal/kg นี้จะทำให้มีปริมาณเถ้าที่น้อย รวมทั้งส่งผลให้สารระเหยมีค่ามากทั้งนี้ได้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญโดยนำวิธีการคำนวณประกอบอยู่ในตาราง ภาคผนวก ค่าความร้อนแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าความร้อนของถ่าน

ตัวอย่าง	อัตราส่วน (GJ) : (SD) : (TF) โดยน้ำหนัก	ค่าความร้อน (kcal/kg)
1	100 : 0 : 0	3,656±92.47
2	80 : 10 : 10	3,410±99.10
3	60 : 30 : 10	3,558±5.29
4	40 : 50 : 10	3,697±31.56
5	20 : 70 : 10	3,929±6.65
6	0 : 90 : 10	วัดค่าไม่ได้
7	80 : 5 : 15	3,343±19.67
8	60 : 25 : 15	3,568±23.89
9	40 : 45 : 15	3,821±44.19
10	20 : 65 : 15	3,924±34.42
11	0 : 85 : 15	วัดค่าไม่ได้
12	80 : 0 : 20	3,458±24.78
13	60 : 20 : 20	3,688±20.50
14	40 : 40 : 20	3,756±15.50
15	20 : 60 : 20	3,878±0.57
16	0 : 80 : 20	4,060±29.68

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 17 ผลของอัตราส่วนการผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยที่ส่งผลต่อค่าความร้อน

จากภาพประกอบที่ 17 โดยภาพรวมพบว่าตัวอย่างที่ 5 (GJ : SD : TF = 20:70:10) และ10 (GJ : SD : TF = 20:65:15) มีค่าพลังงานความร้อนสูงที่สุด ในขณะที่ตัวอย่าง 7 (GJ : SD : TF = 80:5:15) มีค่าความร้อนต่ำที่สุดซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 6 ที่ค่าความร้อนของขี้เลื่อยมีค่าความร้อนที่สูงทำให้ตัวอย่างที่มีขี้เลื่อยสูงจึงมีค่าความร้อนสูงตามไปด้วย

4.2.3 ปริมาณเถ้า

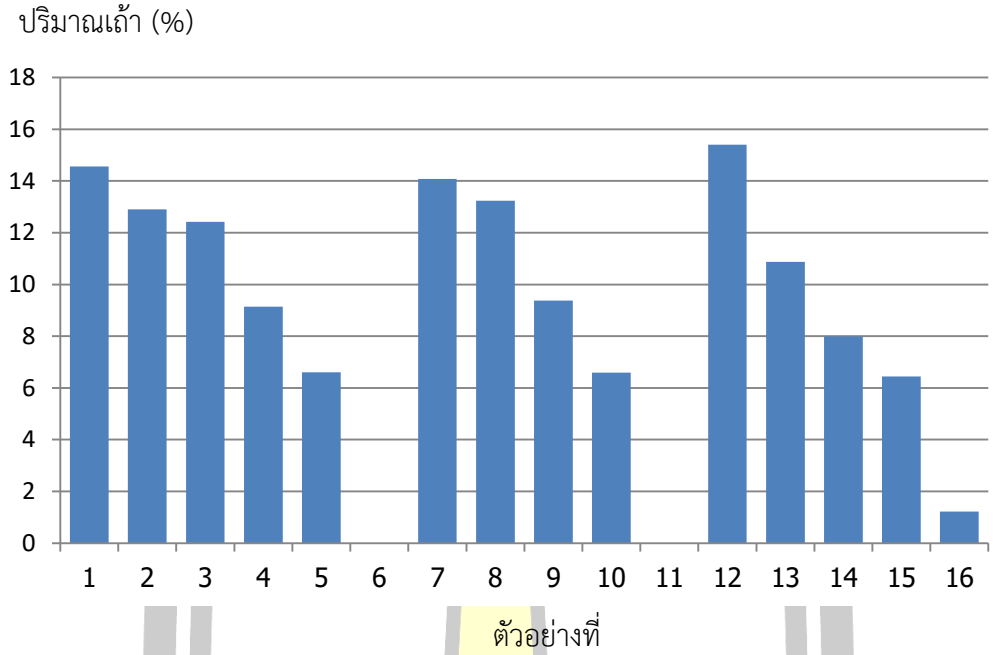
จากการทดสอบ พบว่า ตัวอย่างที่ 6 และ11 ไม่สามารถทดสอบหาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพราะไม่สามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ จากผลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการผสมเฉาก๊วยลงในถ่านในปริมาณที่สูงมากกว่า 40% (ตัวอย่างที่ที่ 2 3 7 8 12 และ13) ส่งผลให้เมื่อนำไปเผาแล้วทำให้เกิดปริมาณเถ้ามาก ซึ่งแตกต่างจาก ตัวอย่างที่ 4 5 9 10 14 และ15 ที่ผสมเฉาก๊วยลงไปในเชื้อเพลิงน้อยกว่า 40% ปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lela, Barišić, and Nižetić (2016) ที่ว่าขี้เลื่อยนั้นมีปริมาณเถ้าที่น้อย แต่อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 13 ตัวอย่าง มีปริมาณเถ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือไม่เกิน 20 % เมื่อสังเกตจากผลของปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นมีความสอดคล้องกับค่าความร้อน กล่าวคือการผสมเฉาก๊วยในปริมาณที่สูงจะมีผลทำให้

ประมาณเถ้าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความร้อนลดลง และยังส่งผลให้ปริมาณสารระเหยลดลงด้วย ผลของปริมาณเถ้าจะแสดงอยู่ในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณเถ้าจากถ่าน

ตัวอย่าง	อัตราส่วน (GJ) : (SD) : (TF) โดยน้ำหนัก	ปริมาณเถ้า (%)
1	100 : 0 : 0	14.56±0.21
2	80 : 10 : 10	12.90±2.70
3	60 : 30 : 10	12.42±2.25
4	40 : 50 : 10	9.14±0.53
5	20 : 70 : 10	6.60±1.43
6	0 : 90 : 10	วัดค่าไม่ได้
7	80 : 5 : 15	14.08±3.51
8	60 : 25 : 15	13.24±1.08
9	40 : 45 : 15	9.38±0.27
10	20 : 65 : 15	6.59±0.22
11	0 : 85 : 15	วัดค่าไม่ได้
12	80 : 0 : 20	15.41±0.72
13	60 : 20 : 20	10.87±0.61
14	40 : 40 : 20	7.99±0.58
15	20 : 60 : 20	6.45±0.20
16	0 : 80 : 20	1.22±0.08

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 18 ผลของอัตราส่วนการผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยที่ส่งผลต่อปริมาณเถ้า

จากภาพประกอบที่ 18 พบว่าจากกราฟโดยภาพรวมปริมาณกากเฉาก๊วยลดลงปริมาณเถ้าก็จะลดลงตามไปด้วย ตัวอย่าง 12 (GJ : SD : TF = 80:0:20) มีปริมาณเถ้ามากที่สุด ขณะที่ตัวอย่าง 16 (GJ : SD : TF = 0:80:20) มีปริมาณเถ้าน้อยที่สุด ตัวอย่างที่มีปริมาณเถ้ามากกว่า 10 % เรียงจากมากไปหาน้อยได้แก่ 12 1 7 2 3 และ13 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 6 คุณสมบัติของกากเฉาก๊วยที่มีปริมาณเถ้าสูงกว่าขี้เลื่อย

4.2.4 ปริมาณสารระเหย

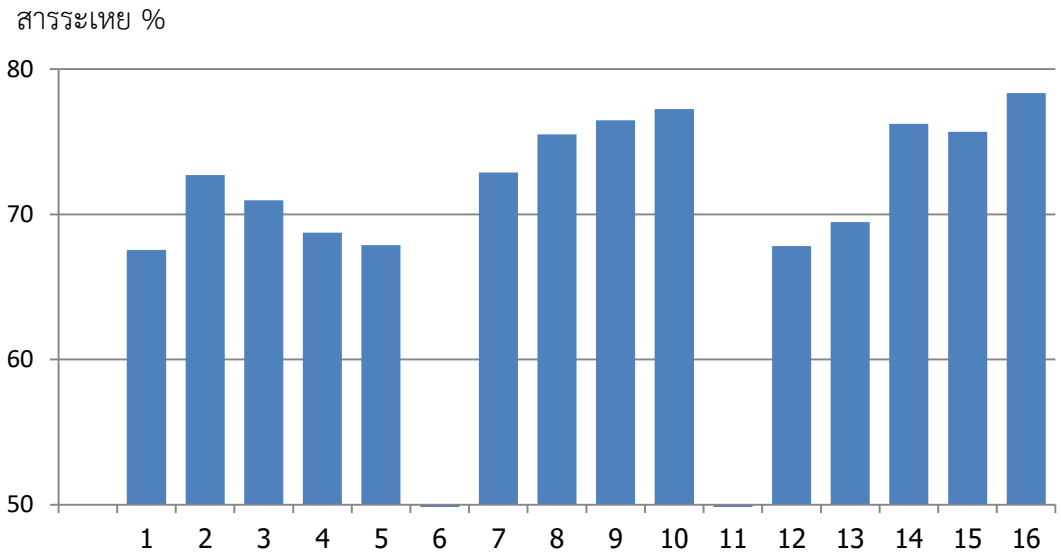
จากการทดสอบพบว่า ตัวอย่างที่ 6 และ11 ไม่สามารถทดสอบหาสารระเหยตัวได้ เพราะไม่สามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ จากผลดังกล่าวสังเกตได้ว่าในส่วนของการเติมตัวประสานลงไปในถ่านปริมาณ 10% (ตัวอย่างที่ 2 3 4 และ5) พบว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสารระเหยขึ้นอยู่กับปริมาณกากเฉาก๊วยที่ผสมลงไปในถ่าน ถ้าผสมกากเฉาก๊วยในปริมาณที่สูงสารระเหยก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามในส่วนของการผสมตัวประสานที่ 15% และ 20% พบว่าสารระเหยจะมีผลแปรผกผันกับปริมาณกากเฉาก๊วยที่เติมลงไปในเชื้อเพลิงอัดแท่งซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 6 ที่มีค่าคุณสมบัติของสารระเหยที่สูงกว่ากากเฉาก๊วย คล่าวคือถ้าเติมขี้เลื่อยในปริมาณที่สูงจะมีผลทำให้ค่าสารระเหยมีค่าที่สูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นปริมาณของสารระเหยที่เกิดขึ้นคาดว่าเป็นผลมาจาก ขี้เลื่อย

ดังแสดงในตารางที่ 11 ซึ่งจากปริมาณสารระเหยทั้งหมดถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สูง และส่งผลให้คาร์บอนคงตัวมีค่าน้อยลงแสดงให้เห็นว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งมีประสิทธิภาพที่ดี

ตารางที่ 11 ปริมาณสารระเหย

ตัวอย่าง	อัตราส่วน (GJ) : (SD) : (TF) โดยน้ำหนัก	สารระเหย (%)
1	100 : 0 : 0	67.54±0.86
2	80 : 10 : 10	72.70±2.30
3	60 : 30 : 10	70.97±2.81
4	40 : 50 : 10	68.74±1.77
5	20 : 70 : 10	67.88±2.98
6	0 : 90 : 10	วัดค่าไม่ได้
7	80 : 5 : 15	72.88±0.32
8	60 : 25 : 15	75.50±0.75
9	40 : 45 : 15	76.47±2.31
10	20 : 65 : 15	77.25±2.99
11	0 : 85 : 15	วัดค่าไม่ได้
12	80 : 0 : 20	67.81±0.22
13	60 : 20 : 20	69.47±1.27
14	40 : 40 : 20	76.24±0.81
15	20 : 60 : 20	75.69±1.43
16	0 : 80 : 20	78.35±1.24

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 19 สารระเหย

จากภาพประกอบที่ 19 โดยภาพรวมพบว่าทุกตัวอย่างมีค่าสารระเหยสูง แต่ในตัวอย่างที่ 5 (GJ : SD : TF = 20:70:10) มีค่าสารระเหยที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทุกตัวอย่าง

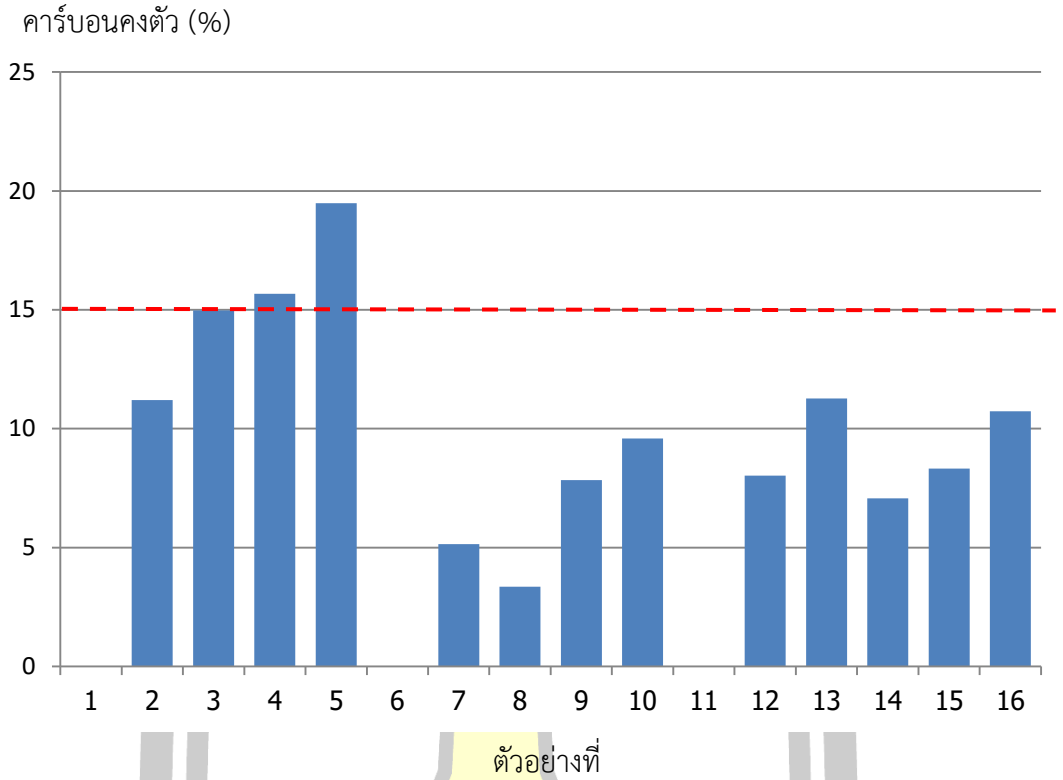
4.2.5 ผลการทดสอบคาร์บอนคงตัว

จากการทดสอบ พบว่า ตัวอย่างที่ 1 6 และ11 ไม่สามารถทดสอบหาคาร์บอนคงตัวได้ เพราะไม่สามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วย ส่วนผสมที่มีส่วนในการเพิ่มขึ้นของค่าคาร์บอนคงตัวคือ ขี้เลื่อยและกากเฉาก๊วย สังเกตจากถ้าผสมขี้เลื่อยลงในถ่านมากกว่า 65% และ เฉาก๊วย น้อยกว่า20% มีผลทำให้ค่าคาร์บอนคงตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 6 ที่มีค่าคุณสมบัติของค่าคาร์บอนคงตัวสูงกว่ากากเฉาก๊วย คล่าวคือถ้าเติมขี้เลื่อยในปริมาณที่สูง ค่าคาร์บอนคงตัวก็จะค่าสูง แต่การเพิ่มปริมาณของตัวประสานเป็นสาเหตุทำให้ค่าคาร์บอนคงตัวมีค่าลดลง จากตัวอย่างที่ 3 4 5 จะเห็นว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือไม่ควรต่ำกว่า 15 % ผลการทดสอบคาร์บอนคงตัวแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ปริมาณคาร์บอนคงตัว

ตัวอย่าง	อัตราส่วน (GJ) : (SD) : (TF) โดยน้ำหนัก	คาร์บอนคงตัว (%)
1	100 : 0 : 0	8.91
2	80 : 10 : 10	11.20
3	60 : 30 : 10	14.97
4	40 : 50 : 10	15.68
5	20 : 70 : 10	19.48
6	0 : 90 : 10	วัดค่าไม่ได้
7	80 : 5 : 15	5.15
8	60 : 25 : 15	3.36
9	40 : 45 : 15	7.84
10	20 : 65 : 15	9.59
11	0 : 85 : 15	วัดค่าไม่ได้
12	80 : 0 : 20	8.03
13	60 : 20 : 20	11.27
14	40 : 40 : 20	7.07
15	20 : 60 : 20	8.32
16	0 : 80 : 20	10.73

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 20 ผลการทดสอบคาร์บอนคงตัว

จากภาพประกอบที่ 20 โดยภาพรวมพบว่า ในตัวอย่าง 5 (GJ : SD : TF = 20:70:10) มีค่าคาร์บอนคงตัวมากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกตัวอย่าง ในขณะที่ตัวอย่าง 8 (GJ : SD : TF = 60:25:15) มีค่าคาร์บอนคงตัวต่ำที่สุด

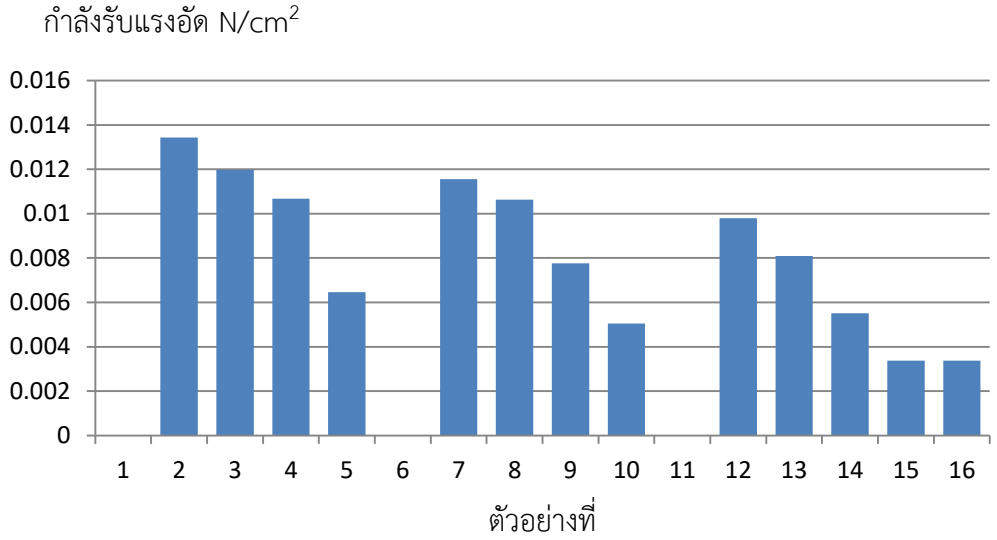
4.2.6 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

จากการทดสอบ พบว่า ตัวอย่างที่ 1 6 และ11 ไม่สามารถทดสอบหากำลังอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพราะไม่สามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ จากการสังเกตผลข้างต้นพบว่าในตัวอย่างที่ 2 ที่มีอัตราส่วน GJ : SD : TF = 80:10:10 มีกำลังรับแรงอัดสูงสุด 0.013 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร ผลของอัตราส่วนการผสมต่อการรับแรงอัดสามารถอธิบายได้ว่า การเพิ่มกากเฉาก๊วยมีแนวโน้มต่อการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังรับแรงอัด แต่ในทางกับกันถ้าเพิ่มปริมาณตัวประสาน(แป้งมัน) จะมีผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดนี้ ตรวจสอบเพื่อ บ่งบอกถึงคุณสมบัติทางกายภาพและความแข็งแรงของแท่งเชื้อเพลิง โดยหากแท่งเชื้อเพลิงมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงจะดีต่อการขนย้ายและการนำไปใช้งาน ผลของค่ากำลังรับแรงอัดดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 กำลังรับแรงอัดของถ่าน

ตัวอย่าง	อัตราส่วน (GJ) : (SD) : (TF) โดยน้ำหนัก	กำลังรับแรงอัด (N)
1	100 : 0 : 0	-
2	80 : 10 : 10	0.0134±0.80
3	60 : 30 : 10	0.011±0.74
4	40 : 50 : 10	0.010±0.54
5	20 : 70 : 10	0.006±0.09
6	0 : 90 : 10	-
7	80 : 5 : 15	0.011±0.39
8	60 : 25 : 15	0.010±0.30
9	40 : 45 : 15	0.007±0.30
10	20 : 65 : 15	0.005±0.19
11	0 : 85 : 15	-
12	80 : 0 : 20	0.009±0.28
13	60 : 20 : 20	0.008±0.52
14	40 : 40 : 20	0.005±0.14
15	20 : 60 : 20	0.003±0.21
16	0 : 80 : 20	0.003±0.09

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 21 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากภาพประกอบที่ 21 โดยภาพรวมพบว่าในตัวอย่างที่มีกากเฉาก๊วยในปริมาณที่มาก ทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าที่สูง แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองนี้ ตัวอย่างที่ 2 (GJ : SD : TF = 80:10:10) มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดในขณะเดียวกันตัวอย่างที่ 15 (GJ : SD : TF = 20:60:20) มีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยที่สุด

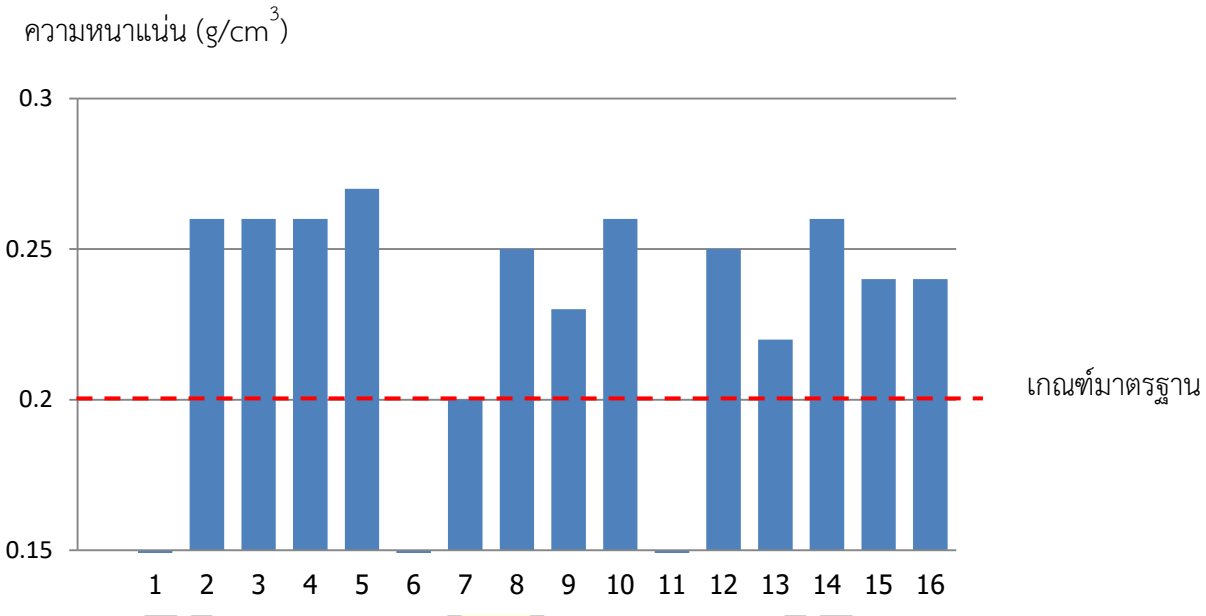
4.2.7 ผลการทดสอบความหนาแน่น

กระบวนการอัดก้อนหรือการทำให้เป็นก้อน เป็นเทคโนโลยีของการอัดโดยอาศัยกรรมวิธีต่างๆ เพื่อที่จะเพิ่มค่าความหนาแน่นของสาร วัสดุเมื่อถูกอัดให้เป็นผลิตภัณฑ์จะมีค่าความหนาแน่นสูงขึ้นทำให้ขนาดรูปร่างและคุณสมบัติมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานความหนาแน่นของถ่านมีค่าอยู่ในช่วง 0.2 – 0.3 g/cm^3 ถ่านที่ได้จะมีคุณสมบัติเปราะปานกลาง ประเทือง อุษาบริสุทธิ์ (2548) จากการทดสอบแสดงดังตารางที่ 14 พบว่า ตัวอย่างที่ 1 6 และ11 ไม่สามารถทดสอบหาค่าความหนาแน่นได้เพราะไม่สามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ จากที่กล่าวข้างต้นเห็นได้ว่าการเพิ่มกากเฉาก๊วยและขี้เลื่อยลงไปในถ่านไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่น แต่การเพิ่มตัวประสานจะมีผลต่อการลดลงของความหนาแน่นในถ่านซึ่งคาดว่า การเพิ่มตัวประสานจะมีผลทำให้ถ่านเปราะมากขึ้นเป็นสาเหตุทำให้ความหนาแน่นลดลง โดยปกติแล้วหากเชื้อเพลิงอัดแท่งมีความหนาแน่นสูงจะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นด้วย และทำให้ระยะเวลาในการเผาไหม้นานขึ้น แต่จากภาพประกอบที่ 22 ไม่สามารถบ่งบอกได้ชัดเจนซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากกระบอนการอัดเป็นก้อนโดยใช้แรงคนที่ไม่สม่ำเสมอ

ตารางที่ 14 ความหนาแน่นของถ่าน

ตัวอย่าง	อัตราส่วน (GJ) : (SD) : (TF) โดยน้ำหนัก	ความหนาแน่น (g/cm^3)
1	100 : 0 : 0	-
2	80 : 10 : 10	0.26±0.024
3	60 : 30 : 10	0.26±0.012
4	40 : 50 : 10	0.26±0.009
5	20 : 70 : 10	0.27±0.014
6	0 : 90 : 10	วัดค่าไม่ได้
7	80 : 5 : 15	0.20±0.004
8	60 : 25 : 15	0.25±0.003
9	40 : 45 : 15	0.23±0.019
10	20 : 65 : 15	0.26±0.010
11	0 : 85 : 15	วัดค่าไม่ได้
12	80 : 0 : 20	0.25±0.003
13	60 : 20 : 20	0.22±0.002
14	40 : 40 : 20	0.26±0.007
15	20 : 60 : 20	0.24±0.002
16	0 : 80 : 20	0.24±0.003

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 22 ผลการทดสอบความหนาแน่น

จากภาพประกอบที่ 22 โดยภาพรวมพบว่าตัวอย่างทุกตัวอย่างมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน แต่ในตัวอย่าง 5 (GJ : SD : TF = 20:70:10) มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด ในขณะที่ตัวอย่าง 7 (GJ : SD : TF = 80:5:15) มีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทุกตัวอย่าง

4.2.8 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพโดยวิธีการทดสอบ แบบ Water Boiling Test

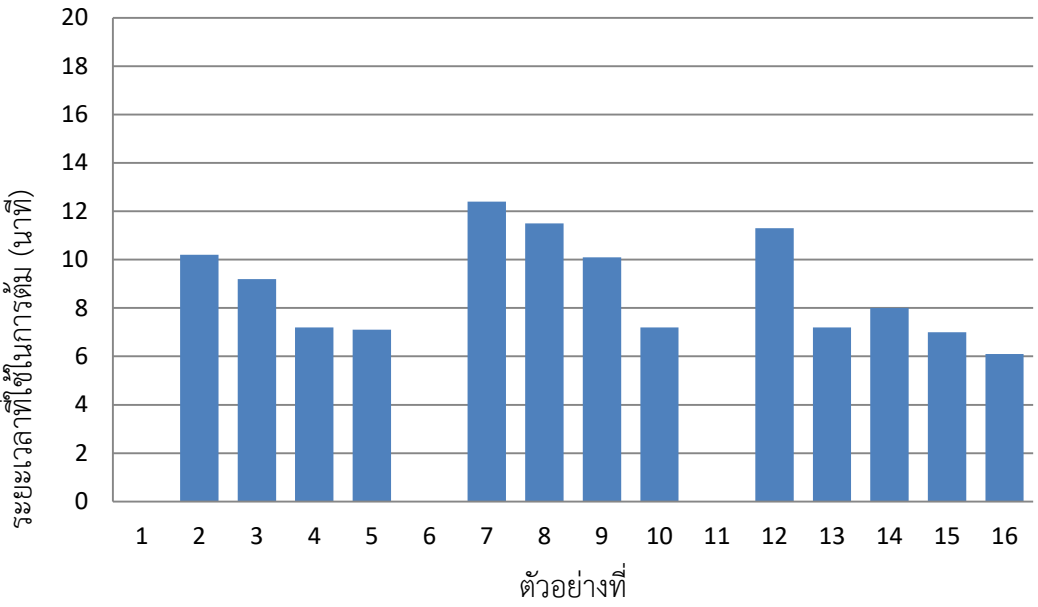
เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิง พบว่าค่าทดสอบผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่งในด้านของความชื้น ปริมาณเถ้า ความหนาแน่น และได้ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพโดยวิธีการทดสอบ แบบ Water Boiling Test (WBT) การกำหนดเชื้อเพลิงอัดแท่ง 300 g ให้ความร้อนแก่น้ำ 1 ลิตร ทำการจับเวลาในขณะเผาไหม้จนมอดดับ พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิน้ำที่กำลังให้ความร้อนและทำการเปรียบเทียบกับเวลาที่ทดสอบดังตารางที่ 15

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตารางที่ 15 แสดงผลการทดลอง (WBT)

ตัวอย่างที่	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ระยะเวลาที่ใช้ในการต้ม (นาที)	ระยะเวลามอดดับ (นาที)
1	-	-	-	-
2	30	95	10.2	22
3	31	94	9.2	26
4	31	94	7.2	23
5	31	95	7.1	25
6	-	-	-	-
7	31	95	12.4	30
8	32	94	11.5	26.5
9	31	94	10.1	25
10	30	95	7.2	26
11	-	-	-	-
12	31	93	11.3	25
13	31	94	7.2	24
14	31	94	8	24
15	31	94	7	22
16	31	95	6.1	15

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 23 ระยะเวลาที่ใช้ในการต้ม

เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิง พบว่าระยะเวลาในการทดสอบการต้มน้ำในปริมาณ 1 ลิตร ณ จุดเดือดที่อุณหภูมิ 93-95 °C มีความใกล้เคียงกัน เชื้อเพลิงอัดแท่งในตัวอย่างที่ 5 ใช้เวลาทำให้น้ำเดือดได้ภายในเวลา 7.20 นาที ในขณะที่ เชื้อเพลิงตัวอย่างที่ 7 ใช้เวลามากที่สุด 12.10 นาที แต่โดยภาพรวมทุกตัวอย่างสามารถให้ความร้อนได้ในจุดเดือดและระยะเวลาที่ใกล้เคียงกันดังภาพประกอบที่ 23

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยกับงานวิจัยอื่นๆ

ชนิดเชื้อเพลิง	ความชื้น (%)	ความร้อน (kcal/kg)	ปริมาณเถ้า(%)	กำลังรับแรงอัด (N/cm^2)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	คาร์บอนคงตัว (%)	สารระเหย (%)	ที่มา
เชื้อเพลิงกากเฉาก๊วย	1.623	4000	6.604	0.013	0.269	19.485	67.813	งานวิจัยนี้
ถ่านไม้	5.91-8.01	4,389 - 4,590	1.27-3.87	-	0.6425-0.8341	22.25-22.82	73.31-76.04	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่ง ประเทศไทย
ถ่านแกลบ	8.12-11.54	3,790-4,006	16.42-18.34	-	0.107-0.109	19.20-20.67	61.10-64.37	
ถ่านจากกากชาเขียว	8.57	4390	7.10	-	-	8.90	75.43	วนิดา จาดดำ (2548)
ถ่านจากเปลือกทุเรียน	9.4	5792	6.2					นริศ ชุดสว่าง (2556)
ถ่านจากชีวมวล	6.40	4830	15.7	-	0.58	45.8	32.1	สหรัตน์ วงห์ศรีษะ และสิงแก้ว ป๊อกเทิ่ง (2548)
ถ่านทั่วไป	6.4	6870	3.4	-	0.97	73	17.2	http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/property1.ph

*ค่าจากถ่านของงานวิจัยนี้เลือกจากค่าที่ดีที่สุดของแต่ละอัตราส่วน

จากตารางแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ในที่นี้ความชื้นที่มีค่ามากที่สุด 11.54 % คือถ่านทั่วไปในขณะเดียวกันนั้นเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยมีความชื้นน้อยที่สุดอยู่ที่ 1.62 % ในส่วนของค่าความร้อนนั้นเชื้อเพลิงทั่วไปมีค่ามากที่สุด คือ 6,870 kcal/kg และความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยอยู่ที่ 4,000 kcal/kg ซึ่งเทียบกับเชื้อเพลิงแกลบนั้นอยู่ในช่วงเดียวกัน แต่ถ่านแกลบเป็นถ่านที่มีปริมาณเถ้ามากที่สุดคือ 18.34% เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงจากกากเฉาก๊วยแล้วอยู่ที่ 6.64% และยังมีความหนาแน่นน้อยกว่าเชื้อเพลิงจากกากเฉาก๊วยซึ่งถ่านแกลบมีความหนาแน่นอยู่ที่ 0.10 g/cm^3 แต่เชื้อเพลิงจากกากเฉาก๊วยมีค่าความหนาแน่น 0.26 g/cm^3 ยังรวมไปถึงคาร์บอนคงตัวและสารระเหยที่มีค่าน้อยกว่าถ่านจากแกลบอีกด้วย

4.2.10 เปรียบเทียบการคำนวณหาพลังงานความร้อนและการทดลองหาค่าพลังงานความร้อน

ค่าความร้อนของถ่านสามารถหาได้จาก 1) วัดจากปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นด้วย Calorimeter จากการเผาในเตาเผาจริง 2) วัดจากปริมาณความร้อนจากชิ้นส่วนตัวอย่างซึ่งเป็นตัวแทนของตัวอย่างนั้นด้วย Bomb Calorimeter และ 3)วัดจากวิธีคำนวณจากองค์ประกอบของธาตุหลักซึ่งได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) กำมะถัน (S) และเถ้า (Ash) ดังนั้นค่าความร้อนจึงสามารถคำนวณได้จากสูตร Dulong ด้วยสัดส่วนของธาตุหลังในองค์ประกอบของถ่านแต่ละประเภทจากสูตร จิราพร ยินดี (2557) จากการทดสอบองค์ประกอบธาตุในถ่านโดยใช้เครื่องมือ Truspec Micro O ของห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ค่าที่ได้แสดงถึงองค์ประกอบธาตุที่อยู่ในถ่าน ซึ่งผลที่ได้นี้จะนำไปคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนโดยเลือกตัวอย่างที่ดีที่สุดจากการทดลอง คือ ตัวอย่างที่ 5 และ10 ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 17

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตารางที่ 17 แสดงถึงผลการวิเคราะห์ธาตุ

รายการที่	รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	
		ตัวอย่างที่ 5	ตัวอย่างที่10
1	Carbon (%)	42.845	42.342
2	Hydrogen (%)	6.229	6.453
3	Nitrogen (%)	0.650	0.755
4	Sulfur (%)	N.D.	N.D.
5	Oxygen (%)	46.200	47.410

N.D. = not detected

จากสูตรการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อน จิราพร ยินดี (2557)

kJ/kg = 338.2C + 1422(H-(1/8)O) + 95S

เมื่อ C = เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน

H = เปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจน

O = เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจน

S = เปอร์เซ็นต์ของกำมะถัน

ตารางที่ 18 ผลการทดลองและการพยากรณ์ความร้อน

รายการ	ตัวอย่างที่5 (kcal/kg)	ตัวอย่างที่ 10 (kcal/kg)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
ค่าความร้อนที่ได้จากการทดสอบ	3,929	3,924	7.38 %
ค่าความร้อนที่ได้จากการพยากรณ์ตามสูตร	3,639	3,624	7.61 %

เมื่อสังเกตจากค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการทดลองและค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการคำนวณนั้นมีความแตกต่างกัน ในตัวอย่างที่ 5 มีความแตกต่างกันอยู่ที่ร้อยละ 7.38 ส่วนในตัวอย่างที่ 10 มีความแตกต่างกันอยู่ที่ร้อยละ 7.61 อย่างไรก็ตามในการเลือกตัวอย่างที่ดีที่สุดจะเลือกตามค่าเกณฑ์มาตรฐาน และมีความเหมาะสมที่สุดนั้นคือ ตัวอย่างที่ 3 (60 : 30: 10) ให้ค่าความชื้นต่ำที่สุด ค่าความร้อน 3,558 kcal/kg ซึ่งไม่ต่ำกว่า 3,000 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ปริมาณเถ้าอยู่ที่ร้อยละ 12.42 ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน 20 % และควรมีค่าสารระเหยที่สูง อีกทั้งปริมาณ

คาร์บอนคงตัวยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือ 15 % ในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพมีความแข็งแรงเหมาะแกการนำไปใช้

4.3 วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย

สำหรับงานวิจัยการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเฉาก๊วย สามารถพิจารณาและวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยที่ประกอบไปด้วยต้นทุน ซึ่งตัวอย่างที่ดีที่สุดจะเลือกตามค่าเกณฑ์มาตรฐาน และมีความเหมาะสมที่สุดนั้นคือ ตัวอย่างที่ 3 (60 : 30: 10) ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ต้นทุนการผลิต

รายการเครื่องจักรและอุปกรณ์	**หน่วย**	**ราคา(บาท)**
เครื่องอัดถ่าน	1 เครื่อง	1,000
กากเฉาก๊วย	600 g	-
แป้งมัน	100 g	1 บาท/วัน
ขี้เลื่อย	300 g	0.3 บาท/วัน
ค่าแรงงาน	1 วัน	300/วัน
รวม		1,301.3

ในการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของถ่านในอัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 3 (60 : 30: 10) กากเฉาก๊วย : ขี้เลื่อย : แป้งมัน โดยกำหนดกำลังการผลิตวันละ 96 ก้อน/วัน เฉลี่ย 1 ก้อนน้ำหนัก 50 กรัม คิดเป็น 4.8 กิโลกรัมต่อวัน ทำงาน 264 วัน รวมเป็น 1,267 กิโลกรัมต่อปี คำนวณต้นทุน (ค่าวัตถุดิบและค่าแรง 301.3 บาท x วันทำงาน 264 วัน+ค่าเครื่องอัดถ่าน 1,000บาท) รวมได้ 80,543 บาท/ปี ดังนั้นต้นทุนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 กิโลกรัมเท่ากับ 63 บาท/กิโลกรัม

จากการเปรียบเทียบกลุ่มราคาถ่านอัดแท่ง(ถ่านจากกะลามะพร้าวอัดแท่งจาก พรเทพ หอมผกา (2555) อัตราค่าความร้อนเทียบกับราคา
จากข้อมูล http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/property1.php โดยค่าความร้อนอยู่ในกลุ่มเทียบเท่าผงถ่านไม้เบจพรรณ ซึ่งมีราคาที่ 7 บาทต่อกิโลกรัม ดังสมการ

$Tr_1 = V_o \times V \times De$

$= (4.8) \times (7) \times (264)$

$= 8{,}870$ บาท/ปี

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยนำวิธีการคำนวณประกอบอยู่ในตาราง ภาคผนวก ผลการคำนวณ NPV ของอัตราส่วนที่ 3 ซึ่งมีกำลังการผลิต 4.8 กิโลกรัมต่อวัน ดังนี้

ตารางที่ 20 ผลการคำนวณความคุ้มค่า NPV

ปีที่	รายจ่าย	รายรับ	กำไร	กำไรสุทธิ	ความคุ้มค่า
0	80,464				
1	79,543	8,870	-70,673	-69,400.9	-149,865
2	79,543	8,870	-70,673	-68,151.7	
3	79,543	8,870	-70,673	-66,924.9	
4	79,543	8,870	-70,673	-65,720.3	
5	79,543	8,870	-70,673	-64,537.3	
6	79,543	8,870	-70,673	-63,375.7	
7	79,543	8,870	-70,673	-62,234.9	
8	79,543	8,870	-70,673	-61,114.7	
9	79,543	8,870	-70,673	-60,014.6	
10	79,543	8,870	-70,673	-58,934.3	

ผลการวิเคราะห์การคำนวณหา NPV ของแต่ละอัตราส่วนผสมที่ 3 โดยคำนวณจากต้นทุนเครื่องจักร รายจ่าย และรายรับในแต่ละปี โดยกำหนดอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 1.8 บาท/ปี เป็นอัตราดอกเบี้ยคงที่ตลาดระยะเวลาของโครงการ ซึ่งการวิธีการหาความคุ้มค่า คือ รายจ่าย – รายรับ = กำไร ซึ่งเมื่อได้กำไรแล้วจะต้องคิดอัตราดอกเบี้ย ซึ่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดอยู่ที่ 1.8 บาท/ปี โดยอำไรคูณกับดอกเบี้ยในปีที่ 1 และในปีที่ 2 นำดอกเบี้ยคูณกับกำไรสุทธิ และนำกำไร – รายจ่ายในปีที่ 0 ซึ่งจะเท่ากับ ผลความคุ้มค่า ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในกำหลังการผลิต ที่ 4.8 กิโลกรัมต่อวัน นั้นไม่มีความคุ้มค่า

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยนำวิธีการคำนวณประกอบอยู่ในตาราง ภาคผนวก ผลการคำนวณ NPV ของอัตราส่วนที่ 3 ซึ่งมีกำลังการผลิต 400 กิโลกรัมต่อวัน ดังนี้

ตารางที่ 21 ผลการคำนวณความคุ้มค่า NPV

ปีที่	รายจ่าย	รายรับ	กำไร	กำไรสุทธิ	ความคุ้มค่า
0	80,464				
1	79,543	739,200	659,657	647,783.2	567,319.2
2	79,543	739,200	659,657	636,123.1	
3	79,543	739,200	659,657	624,672.9	
4	79,543	739,200	659,657	613,428.7	
5	79,543	739,200	659,657	602,387	
6	79,543	739,200	659,657	591,544.1	
7	79,543	739,200	659,657	580,896.3	
8	79,543	739,200	659,657	570,440.1	
9	79,543	739,200	659,657	560,172.2	
10	79,543	739,200	659,657	550,089.1	

ผลการวิเคราะห์การคำนวณหา NPV ของแต่ละอัตราส่วนผสมที่ 3 โดยคำนวณจากต้นทุนเครื่องจักร รายจ่าย และรายรับในแต่ละปี โดยกำหนดอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 1.8 บาท/ปี เป็นอัตราดอกเบี้ยคงทีตลาดระยะเวลาของโครงการ จากการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนนั้นสาเหตุที่ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงเป็นผลมาจากค่าแรงที่สูงและมีกำลังการผลิตต่อวันที่ต่ำเป็นผลมาจากเครื่องอัดที่มีกำลังการผลิตต่อวันได้น้อย ซึ่งถ้ามีเครื่องอัดแท่งที่สามารถเพิ่มกำลังการผลิตเป็นวันละ 400 กิโลกรัมต่อวัน จะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา เพียง 0.10 ปี และยังมีรายรับสุทธิต่อปีที่ 659,657 บาท/ปี และการนำกากเฉาก๊วยมาทำเป็นเชื้อเพลิงนั้นยังเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมที่หากนำไปทิ้งกากเฉาก๊วยนั้นจะสร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมไม่ว่าจะทาง น้ำ อากาศ ซึ่งจะทำให้สิ่งมีชีวิตได้รับผลกระทบ เราสามารถลดขยะอุตสาหกรรมได้ด้วยการนำกากเฉาก๊วยมาทำเป็นเชื้อเพลิง

ดังนั้นจากการทดสอบถ่านอัดแท่งในอัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 3 และพิจารณาคุณสมบัติทางด้านเคมีและทางด้านกายภาพรวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของถ่านอัดแท่งในอัตราส่วนผสมของกากเฉาก๊วย ขี้เลื่อย และแป้งมัน (60 : 30: 10) เป็นอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดเพราะมีค่าความร้อนสูง และมีค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และสามารถนำมาใช้งานได้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนำกากเฉาก๊วยมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของถ่านโดยการทดลองแบ่งออกเป็น 16 ตัวอย่างแต่ละตัวอย่างมีอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้ผลของประสิทธิภาพแตกต่างกันไปด้วย ผลการทดลอง พบว่า ในตัวอย่างที่ 1 อัตราส่วนการผสมของกากเฉาก๊วย 100% ซึ่งไม่มีวัสดุประสานทำให้ถ่านไม่จับตัวกันเป็นก้อนจึงไม่สามารถตรวจวัดค่าได้และในตัวอย่างที่ 6 และ11 มีอัตราส่วนเฉาก๊วย 0% ถ่านสามารถจับตัวเป็นก้อนได้แต่มีความไม่คงตัวทำให้ในขณะที่ตรวจวัดถ่านไม่สามารถรักษารูปทรงได้จึงไม่สามารถวัดค่าได้ ในส่วนตัวอย่างที่ 2 – 16 ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1) อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม คือ (เฉาก๊วย: ขี้เลื่อย : แป้งมัน = 60:30:10) โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีความเหมาะสมและพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดนั้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและให้ค่าพลังงานความร้อนที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

2) จากการตรวจสอบคุณสมบัติ ค่าความชื้นในตัวอย่างที่ 3 มีค่าความชื้นน้อยที่สุด (1.62%) เมื่อเทียบกับตัวอย่างทั้งหมดที่ทำการทดลอง และผลการศึกษาพบว่าการนำกากเฉาก๊วยมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งถ้ามีการเติมตัวประสาน(แป้งมัน) ลงในถ่าน 10% และผสมอัตราส่วนระหว่าง เฉาก๊วยต่อขี้เลื่อย 20%-80% และขี้เลื่อย 10%-70% จะทำให้ค่าความชื้นในเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าน้อยลง การตรวจวัดค่าความร้อนในตัวอย่างที่ 5 มีค่าความร้อนมากที่สุด (3,929 kcal/kg) และผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยนั้น ถ้าส่วนผสมมีกากเฉาก๊วยเกิน 40 % จะมีผลทำให้ค่าความร้อนนั้นลดลงหรือกล่าวได้ว่าปริมาณกากเฉาก๊วยมีผลแปรผกผันต่อค่าความร้อน การตรวจวัดปริมาณเถ้าผลการศึกษาสรุปได้ว่า การเพิ่มอัตราส่วนของกากเฉาก๊วยลงในก้อนถ่านในปริมาณที่เกิน 40% จะทำให้มีปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้ามีการผสมกากเฉาก๊วยลงในถ่านน้อยกว่า 40% (ตัวอย่างที่10) ทำให้ปริมาณเถ้ามีค่าน้อยลง (6.592 %) การทดสอบกำลังรับแรงอัดในตัวอย่างที่ 2 มีค่ารับกำลังแรงอัดมากที่สุด (3.22 N) ที่มีอัตราส่วน GJ : SD : TF = 80:10:10 กำลังอัดจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการผสมเฉาก๊วยในปริมาณที่มาก การทดสอบค่าความหนาแน่น ตัวประสานจะมีผลต่อค่าความหนาแน่นกล่าวคือ การเพิ่มตัวประสานลงไปในถ่านในปริมาณที่มากจะส่งผลทำให้ ตัวถ่านมีความเปราะและความหนาแน่นลดลง การทดสอบคาร์บอนคงตัวส่วนผสมที่มีส่วนในการเพิ่มขึ้นของค่าคาร์บอนคงตัวคือ ขี้เลื่อยและกากเฉาก๊วย สังเกตจากถ้าผสมขี้เลื่อยลงในถ่านมากกว่า 65% และ เฉาก๊วย น้อยกว่า 20% มีผลทำให้ค่าคาร์บอน

คงตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งในตัวอย่างที่ 5 มีค่าคาร์บอนคงตัวมากที่สุด (19.48 %) การทดสอบหาค่าสารระเหยถ้ามีการเติมตัวประสานลงในถ่านปริมาณ 10% ปริมาณของกากเฉาก๊วยจะมีผลทำให้ค่าของสารระเหยมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้ามีการเติมตัวประสานมากกว่า 10% (15% และ20%) การเพิ่มปริมาณกากเฉาก๊วยลงในถ่านจะไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารระเหย

3) การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน พบว่าถ่านอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยเมื่อมีการผลิตจะไม่สามารถคืนทุนได้ เนื่องจากการผลิตต่อวันนั้นมีจำนวนที่น้อย ถ้าหากสามารถเพิ่มกำลังการผลิตต่อวันให้ได้ในจำนวนมากจึงจะสามารถคุ้มทุนได้ อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากกากเฉาก๊วยเหมาะสำหรับการผลิตใช้ในครัวเรือนเพราะมีต้นทุนต่ำและถือเป็นการนำกากเฉาก๊วยมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งโดยเป็นแนวทางใหม่ในการนำขยะจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับขยะอุตสาหกรรม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องอัดแท่งควรเป็นระบบไฟฟ้าอัตโนมัติเพื่อทำให้กำลังการผลิตต่อวันมีกำลังการผลิตเพิ่มมากขึ้น
2. ควรศึกษาในสเกลที่ใหญ่ขึ้นเพื่อที่จะประยุกต์ให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริง
3. ควรมีการศึกษาอัตราส่วนที่มีความหลากหลายเพื่อที่ให้ถ่านอัดแท่งจากกากเฉาก๊วยมีประสิทธิภาพมากที่สุด
4. ควรมีการพัฒนาเรื่องกลิ่นของถ่านโดยการผสมกลิ่นสมุนไพรให้มีความหอมน่าใช้มากขึ้น
5. ควรมีการสำรวจประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากกากเฉาก๊วย โดยสอบถามจากผู้ใช้งานได้แก่ ประชาชนทั่วไป ตลอดจนผู้ประกอบการร้านอาหารประเภทปิ้งย่าง โดยเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2545. “สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย.” www.pcd.go.th/info_serv/pol_state.html#s5.

กรมควบคุมมลพิษ. 2555. “สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย.”กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.

กรมควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2558. “รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2557.”กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2547. “การอุรักษ์พลังงาน.”กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2551. “การอนุรักษ์พลังงาน.”กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2557. “การอนุรักษ์พลังงาน.”กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2559. “การอนุรักษ์พลังงาน.”กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

กระทรวงพลังงานกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2551. “การศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้า/ความร้อนจากขยะชุมชน การศึกษาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะชุมชน.” กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

กระทรวงอุตสาหกรรมกรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2550. “ตำราระบบการจัดการมลพิษกากอุตสาหกรรม.”กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

กระทรวงอุตสาหกรรมกรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2555. “คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง.”กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

กัญญา จาอ้าย. 2549. “การมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนสันกลาง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการส่งเสริมสุขภาพ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จิราพร ยินดี. 2557. “การนำมูลฝอยพลาสติกจากหลุมฝังกลบกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบเชื้อเพลิงขยะโดยผสมกับวัสดุเหลือใช้.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ทะนงเกียรติ เกียรติศิริโรจนิ. 2553. “รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการสาธิตการเปลี่ยนขยะในมหาวิทยาลัยเป็นพลังงานในรูปความร้อน” ชุดโครงการ การศึกษาเชิงนโยบายและการยอมรับของประชาชนในการผลิตเชื้อเพลิงจากชีวมวล, โครงการที่ 2 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.).

นริศ ชุดสว่าง. 2556. “การผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลเกวียนหัก อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

นฤมล ภานุนำภา. 2551. “ทดลองการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุทางการเกษตรและปาล์มน้ำมัน.” [ออนไลน์] ได้จาก : http://forprod.forest.go.th/forprod/PDF/15.เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุการเกษตรและปาล์มน้ำมัน.pdf [สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2560].

ประเทือง อุษาบริสุทธิ์. 2548. “การศึกษาการอัดแท่งถ่านเหง้ามันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอัดถ่านแบบแม่แรงไฮโดรลิก.”วารสารวิศวกรรมสาร มก. , 19(56), 32-40.

ประสิทธิ์ ตงยิ่งศิริ. 2545. การวิเคราะห์และประเมินโครงการ. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชัน.

พงษ์ศักดิ์ เศษวิกา. 2554. “การศึกษาการอัดเม็ดจากวัสดุใบและยอดอ้อย.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พรเทพ หอมผกา. 2555. “การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากกระดาษสำนักงานและมวลชีวภาพ.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยีอาคาร มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล 2553. “การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสาปะหลัง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

วนิดา จาดดำ. 2548. “การศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยเครื่องอัดแบบเกลียว.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สหรัตน์ วงห์ศรีษะ และ สิงแก้ว ป๊อกเที่ง. 2548. “การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้เพื่อทดแทนถ่านจากไม้.” รายงานการวิจัยทางเทคโนโลยีและการผลิต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครวิทยาเขตพระนครเหนือ.

สาธิต เหล่าวัฒนพงษ์ดรุณรัตน์ พิกุลทอง และ นพพร สกุลยืนยงสุข. 2556. “รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ศึกษาและพัฒนาแผ่นอัดวีเนียร์จากวัสดุขี้เลื่อยไมเพื่อการตกแตงเครื่องเรือนในที่พักอาศัย.” กรุงเทพฯ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

สุพัตรา หมายดี และ นริศรา แก้วนิสัย. 2559. “การผลิตเชื้อเพลิงขยะ.”วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

Lela, B., M. Barišić, and S. Nižetić. 2016. “Cardboard/Sawdust Briquettes as Biomass Fuel: Physical-Mechanical and Thermal Characteristics.” *Waste Management* 47, 236–45.

Prasityousil, Jitthep, and Akarawit Muenjina. 2013. “Properties of Solid Fuel Briquettes Produced from Rejected Material of Municipal Waste Composting.” *Procedia Environmental Sciences* 17, 603–10. http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878029613000789.

Rezania, Shahabaldin et al. 2016. “Evaluation of Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes) as a Potential Raw Material Source for Briquette Production.” *Energy* 111, 768–73. http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.026.

Sakkampang, Chatcharin, and Tanakorn Wongwuttanasatian. 2014. “Study of Ratio of Energy Consumption and Gained Energy during Briquetting Process for Glycerin-Biomass Briquette Fuel.” *Fuel* 115, 186–89. http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2013.07.023.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายศักดิ์สิทธิ์ โสธรศักดิ์
วันเกิด	วันที่ 15 มกราคม พศ.2536
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดยโสธร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 287/1 ถนน วารีราชเดช ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดยโสธร รหัสไปรษณีย์ 35000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2550 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนยโสธรพิทยาคม จังหวัดยโสธร พ.ศ. 2553 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนยโสธรพิทยาคม จังหวัดยโสธร พ.ศ. 2558 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2561 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว