การศึกษาความคุ้มค่าของการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า

นายกษิเดช สาลีพัฒนา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Pre-Feasibility Study of Oil Palm Empty Fruit Bunch Pellet Production

Mr. Kasidech Saleepattana

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and Management
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความคุ้มค่าของการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า
โดย	นายกษิเดช สาลีพัฒนา
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนูญ หนูจักร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.....กรรมการ

(ดร. วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. อุริช อัชชโคสิต)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กษิเดช สาลีพัฒนา : การศึกษาความคุ้มค่าของการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า (Pre-Feasibility Study of Oil Palm Empty Fruit Bunch Pellet Production) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ศ. ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 58 หน้า.

ทะลายปาล์มเปล่าเป็นของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ และมีศักยภาพที่จะใช้ผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด แต่ปัจจุบันยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากทะลายปาล์มเปล่ามีโพแทสเซียมปริมาณสูง ก่อให้เกิดตะกรันหลังเผาไหม้ (การเกาะตัวของเถ้าบนท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวด) ซึ่งโดยทั่วไปสามารถลดปัญหาการเกิดตะกรันดังกล่าว 2 แนวทาง คือ การเจือจางหรือลดสัดส่วนโพแทสเซียมในเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยผสมทะลายปาล์มเปล่ากับชีวมวลที่มีโพแทสเซียมปริมาณต่ำ และการใช้ดินขาวเป็นสารเติมแต่ง งานวิจัยนี้จึงทำการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด 2 ชุด โดยชุดแรกผสมทะลายปาล์มเปล่ากับขี้เลื่อยไม้ยางพารา อัตราส่วน 1:6 และชุดที่สองผสมดินขาวร้อยละ 7.8 ทำการทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดเทียบมาตรฐานการซื้อขาย พร้อมกับศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการลงทุนผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดทั้งสองชุด

ผลการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า ทะลายปาล์มผสมขี้เลื่อยยางพารา และทะลายปาล์มผสมดินขาว พบค่าความร้อน 18.30, 18.13, และ 17.06 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งผ่านมาตรฐานการซื้อขาย (Enplus Grade B 16.5 MJ/kg และ Korean 4th Grade 16.9 MJ/kg) ขณะที่ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.36-0.62 %โดยน้ำหนัก (Enplus Grade B ไม่เกิน 1.0 %โดยน้ำหนัก และKorean 4th Grade ไม่เกิน 0.3% โดยน้ำหนัก) พบปริมาณซัลเฟอร์อยู่ในช่วง 0.53-0.68 %โดยน้ำหนัก (Enplus Grade B ไม่เกิน 0.3% โดยน้ำหนัก และKorean 4th Grade ไม่เกิน 0.05 %โดยน้ำหนัก) ดังนั้นเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มจำเป็นต้องใช้ในอุตสาหกรรมที่มีระบบบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าการลงทุนผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด กรณีโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มเป็นผู้ลงทุนเอง (ไม่มีค่าใช้จ่ายวัตถุดิบทะลายปาล์มเปล่า) พบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาว ราคาขาย 1,960 บาทต่อตัน มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 13,139,329 บาท อัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 20 ระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 2 เดือน มีความเป็นไปได้ในการผลิตมากที่สุด โดยนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมสำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5987104220 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORDS: OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH / BIOMASS PELLET / FOULING / PRE-FEASIBILITY STUDY

KASIDECH SALEEPATTANA: Pre-Feasibility Study of Oil Palm Empty Fruit Bunch Pellet Production. ADVISOR: ASSOC. PROF. DAWAN WIWATTANADATE, Ph.D., CO-ADVISOR: PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., 58 pp.

Empty fruit bunch (EFB) is a major waste in palm oil industry. EFB can be used as a fuel but not popular because the EFB contains high potassium content that is a main cause of fouling occurring on a superheated steam tube. This research aims to study the worthiness of 2 methods to reduce fouling effect on EFB pellet. The first method is blending the EFB with rubber wood, which is a biomass having low potassium content, at 1:6 ratio of EFB to rubber wood. The second method is blending the EFB with 7.8%wt of kaolin to inhibit fouling effect.

Heating value of the EFB pellet, EFB-rubber wood pellet, and EFB-kaolin pellet are respectively 18.30, 18.13 and 17.06 MJ/kg; which is acceptable by both Enplus Grade B standard (16.5 MJ/kg) and Korean 4^{th} Grade standard (16.9 MJ/kg). Chemical ingredient shows nitrogen content of 0.36-0.62 %wt, which is acceptable by the both standards (Enplus Grade B ≤ 1.0%wt, Korean 4^{th} Grade ≤ 0.3%wt); while the sulfur content of 0.53-0.68 %wt, which is quite higher than the both standards (Enplus Grade B ≤ 0.05%wt, Korean 4^{th} Grade ≤ 0.05%wt). Therefore, the EFB pellet is suggested to be used only in industry having FDG system.

Worthiness or prefeasibility of the 2 methods of EFB pellet production, under an assumption of no cost of EFB due to own investment by the oil palm industry. It is found that selling price of the EFB-kaolin pellet is 1,960 THB per ton show IRR will be 20% with payback period is 5 years 2 months and NPV 13,139,329 THB. This method possible to production and suitable for use in co-combustion with coal.

Field of Study:	Energy Technology and Management	Student's Signature .....
		Advisor's Signature .....
Academic Year:	2017	Co-Advisor's Signature .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ความช่วยเหลือ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ ทำให้การทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (JGSEE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่รวมถึงอุปกรณ์ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัทปิ่นเกล้าหินอ่อนและแกรนิตจำกัดและบริษัท นิว ไบโอดีเซล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างดินขาว และ ข้อมูลการจัดการของเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง 1
สารบัญรูป 2
บทที่ 1 บทนำ 4
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 4
1.2 วัตถุประสงค์ 5
1.3 ขอบเขตงานวิจัย 6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
2.1 อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันในประเทศไทย 7
2.2 กระบวนการผลิตและของเสียในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม 7
2.2.1 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม 7
2.2.2 การกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม 8
2.2.3 การใช้ประโยชน์ของเสียจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม 9
2.3 อุตสาหกรรมโรงเลื่อยและโรงอบไม้ 10
2.4 เชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทย 10
2.4.1 การส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทย 11
2.5 เชื้อเพลิงชีวมวลจากทะลายปาล์ม 11
2.6 มาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดในประเทศไทย 11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.7 ผลของโพแทสเซียมของเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในหม้อต้มไอน้ำ.....15
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย.....17
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....17
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....20
3.3 การดำเนินการวิจัย.....25
3.3.1 ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า.....25
3.3.2 ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้านการเกิดตะกรัน.....27
3.3.3 ศึกษาการประมาณการค่าใช้จ่าย การลงทุน ต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า.....31
3.3.4 การวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล.....33
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....35
4.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า.....35
4.2 ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้านการเกิดตะกรัน.....38
4.3 ศึกษาการประมาณการค่าใช้จ่าย การลงทุน ต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า.....43
4.3.1 รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นและกำหนดสมมติฐานของการวิเคราะห์โครงการ.....43
4.3.1.1 ค่าของตัวแปร (Variable).....43
4.3.1.2 ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นของโครงการ (CAPEX).....44
4.3.1.3 ต้นทุนของโครงการ.....45
4.3.2 การวิเคราะห์ผลของโครงการ.....46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....49
รายการอ้างอิง.....50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ภาคผนวก.....52

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 58

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตาราง 1.1 ปริมาณผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบและของเสียจากอุตสาหกรรมการสกัดปาล์มน้ำมันจากทะลายปาล์มสด 1000 กิโลกรัม....4

ตาราง 2.1 มาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดที่สำคัญของยุโรป....11

ตาราง 2.2 มาตรฐานชีวมวลอัดเม็ด ENplus....12

ตาราง 2.3 มาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดของประเทศเกาหลี....13

ตาราง 2.4 คุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ผู้ใช้ต้องการในประเทศไทย....14

ตาราง 3.1ข้อมูลและสมมติฐานของโครงการ....33

ตาราง 4.1 ค่าความร้อนและปริมาณเถ้าของชีวมวลชนิดต่างๆ....35

ตาราง 4.2 ผลการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า....37

ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมของวัตถุดิบ....38

ตาราง 4.4 แสดงลักษณะสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าและทะลายปาล์มเปล่าผสมกับวัสดุต่างๆ....41

ตาราง 4.5 ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงการ....43

ตาราง 4.6 ต้นทุนรวมของโครงการ (CAPEX)....44

ตาราง 4.7 ต้นทุนวัตถุดิบ....45

ตาราง 4.8 ต้นทุนค่าแรงงาน....45

ตาราง 4.9 ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตหรือโสหุ้ย....46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มแสดงให้เห็นของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอน 9
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการวิจัย 19
รูปที่ 3.2 ตู้อบ 20
รูปที่ 3.3 เครื่องบดละเอียดความเร็วสูง 20
รูปที่ 3.4 เครื่องสับ 21
รูปที่ 3.5 เครื่องอัดเม็ดขนาดมอเตอร์ 3 kW 21
รูปที่ 3.6 เครื่องอัดเม็ดขนาดมอเตอร์ 22 kW 21
รูปที่ 3.7 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบหยาบ 22
รูปที่ 3.8 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด 22
รูปที่ 3.9 ปากคีบ 22
รูปที่ 3.10 ตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร 23
รูปที่ 3.11 ถ้วยกระเบื้อง 23
รูปที่ 3.12 ทะลายปาล์มเปล่า 24
รูปที่ 3.13 ดินขาว (kaolin) 24
รูปที่ 3.14 กากแป้งจากโรงงานผลิตแป้งดัดแปร 25
รูปที่ 3.15 วัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องอัดเม็ดในขั้นตอนศึกษาสมบัติเบื้องต้น 26
รูปที่ 3.16 เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเครื่องอัดขนาดมอเตอร์ 3 kW 26
รูปที่ 3.17 อบเชื้อเพลิงอัดเม็ดด้วยตู้อบ 26
รูปที่ 3.18 เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเครื่องอัดขนาดมอเตอร์ 3 kW ที่อบแล้ว 27
รูปที่ 3.19 ถุงผสมวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องอัดเม็ด 28
รูปที่ 3.20 การผึ่งแดดเชื้อเพลิงอัดเม็ด 29
รูปที่ 3.21 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้ 29

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.22 การทดสอบ Bulk density 30

รูปที่ 3.23 ภาชนะในการทดสอบ Mechanical durability 31

รูปที่ 4.1 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมกากแป้ง 10% 36

รูปที่ 4.2 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมกากแป้ง 20% 36

รูปที่ 4.3 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า.....39

รูปที่ 4.4 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพาราอัตราส่วน 1:6 39

รูปที่ 4.5 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาวร้อยละ 7.8 โดยน้ำหนักแห้ง.....40

รูปที่ 4.6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ราคาขายต่างๆ.....46

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง IRR และราคาขายของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา.....47

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง IRR และราคาขายของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาว 47

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทยโดยเฉพาะทางภาคใต้ ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มเป็นอันดับ 3 ของโลก โดยในปี พ.ศ. 2560 มีกำลังการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ 1.989 ล้านตัน(สำนักนโยบายและแผนสำนักงานปลัดกระทรวงมหาดไทย, 2560) หากคำนวณจากสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตในปี พ.ศ. 2560 (Wageningen Ur, 2013) ดังตารางที่ 1.1 พบว่ามีปริมาณทะลายปาล์มเปล่าเกิดขึ้น 2.19 ล้านตัน

ตาราง 1.1 ปริมาณผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบและของเสียจากอุตสาหกรรมการสกัดปาล์มน้ำมันจากทะลายปาล์มสด 1000 กิโลกรัม

ชนิด	ปริมาณ (กิโลกรัม)
น้ำมันปาล์มดิบ	200
ทะลายปาล์มเปล่า	220
เส้นใย	135
กะลาปาล์ม	55
น้ำเสีย	50
สลัดจ์	50

ที่มา : (Wageningen Ur, 2013)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เพื่อเป็นการจัดการของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์ม ได้มีความพยายามนำของเสียต่างๆไปใช้ประโยชน์ กล่าวคือ ใช้เส้นใยปาล์ม เป็นเชื้อเพลิงหลักและใช้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิงรองในหม้อไอน้ำ สำหรับกะลาปาล์มหากมีปริมาณมากสามารถขายได้ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์ม นิยมนำไปผลิตก๊าซชีวภาพ และใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตความร้อนและไฟฟ้าใช้ในโรงงาน ส่วนสลัดจ์ จะนำไปหมักเป็นปุ๋ย ขณะที่ทะลายปาล์มเปล่าสามารถขายทำเป็นเชื้อเพาะเห็ดได้ แต่สัดส่วนการใช้เป็นเชื้อเพาะเห็ดน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณทะลายปาล์มเปล่าแต่ละวัน โรงงานอุตสาหกรรมบางแห่งพยายามใช้ทะลายปาล์มเปล่าเป็นเชื้อเพลิงผลิตความร้อนในหม้อน้ำ พบว่าให้ค่าความร้อนต่ำกว่าเส้นใยปาล์มซึ่งมีน้ำมันตกค้างอยู่ ประกอบกับความชื้นสูง และปัญหาการเกิดตะกรันอันเนื่องมาจากโพแทสเซียมในทะลายปาล์มเปล่าสูง (ทะลายปาล์มเปล่ามีองค์ประกอบโพแทสเซียมสูงถึง 14,756 mg/kg) เมื่อรวมตัวกับคลอไรด์เกิดเป็นสารประกอบโพแทสเซียมคลอไรด์ จุดหลอมเหลวต่ำกว่า 800℃ (KCl มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 770℃) (Yuanyuan Shao, 2012) การใช้ประโยชน์ทะลาย

ปาล์มเปล่าเป็นเชื้อเพลิงจึงยังไม่เป็นที่นิยม ส่งผลให้มีทะลายปาล์มเปล่าเหลือทิ้งปริมาณมากในแต่ละวัน เมื่อกองทิ้งไว้ 2-3 วัน จะเกิดเชื้อราและส่งกลิ่นเหม็น หากฝนตกจะทำให้น้ำเสียจากกองทะลายปาล์มเปล่านี้ไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตามมา

สำหรับแนวทางการเพิ่มมูลค่าชีวมวลโดยผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด และลดปัญหาการเกิดตะกรันเมื่อใช้ชีวมวลที่มีองค์ประกอบโพแทสเซียมสูงเป็นเชื้อเพลิงนั้น โดยทั่วไปสามารถดำเนินการได้ 3 แนวทางหลัก ได้แก่ 1) เจือจางโดยผสมกับชีวมวลที่มีองค์ประกอบโพแทสเซียมต่ำกว่า (อ้างอิงผลการศึกษาของ (Rasma Platace, 2013)) ใส่สารเติมแต่งที่มีสารประกอบจำพวกอะลูมิเนียม (Al) และซิลิกอน (Si) เป็นหลัก โดยสารเติมแต่งจะไปทำปฏิกิริยากับโลหะอัลคาไลน์ในชีวมวลเกิดเป็นสารประกอบที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 1,100 °C (อ้างอิงผลการศึกษา ของ(สุขสวัสดิ์ คงกล้า และ ฐานิตย์ เมธิยานนท์, 2554)) 3) ปรับสภาพเบื้องต้น (Pretreatment) ด้วยวิธี Hydrothermal-Washing Co-treatment จะสามารถลดปริมาณโพแทสเซียมได้ 80-92% (อ้างอิงผลการศึกษาของ (Srikandi Novianti, 2016))

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลดโพแทสเซียมในเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า โดยเปรียบเทียบ 2 แนวทางหลัก คือ แนวทางที่ 1) การเจือจาง โดยผสมทะลายปาล์มเปล่า (ซึ่งมีองค์ประกอบโพแทสเซียมสูงถึง 14,756 mg/kg) กับขี้เลื่อยไม้ยางพารา (ซึ่งมีองค์ประกอบ โพแทสเซียม 2,290 mg/kg ในสัดส่วนที่ทำให้องค์ประกอบโพแทสเซียมไม่เกิน 0.42% (Rasma Platace, 2013) และแนวทางที่ 2) การใช้ดินขาวซึ่งเป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกตเป็นสารเติมแต่งปริมาณร้อยละ 7.8 โดยน้ำหนักแห้ง (สุขสวัสดิ์ คงกล้า และ ฐานิตย์ เมธิยานนท์, 2554) เนื่องจากทั้งสองแนวทางนี้เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก สามารถพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมได้ง่ายไม่ต้องพึ่งพาการนำเข้าเทคโนโลยี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา และทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาว

1.2.3 เพื่อศึกษาค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า และ ที่สภาวะการผลิตในข้อ 1.2.2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ทะลายปาล์มเปล่าและขี้เลื่อยไม้ยางพารา นำมาจากโรงงานอุตสาหกรรมอำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่

1.3.2 พามิเตอร์ที่วิเคราะห์ที่บ่งบอกคุณสมบัติของวัตถุดิบ และ เชื้อเพลิงอัดเม็ด ได้แก่ Heating Value, Moisture content, Ash content, Volatile matter, Fixed carbon content, Chloride, Nitrogen, Sulfur, Potassium , Pellet size, Bulk Density และ Mechanical durability

1.3.3 เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมกับขี้เลื่อยไม้ยางพาราอัตราส่วนเป็นไปตามปริมาณโพแทสเซียมของทะลายปาล์มเปล่าและขี้เลื่อยไม้ยางพารา

1.3.4 เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าที่ใช้ดินขาวเป็นสารเติมแต่ง ใส่ปริมาณร้อยละ 7.8 โดยน้ำหนักแห้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า, เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา และ เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาว

1.4.2 ใช้เป็นข้อมูลในการต่อยอดการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าเพื่อจำหน่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลที่ต้องทราบ ซึ่งมีหัวข้อหลักๆ ดังนี้ 1) อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันในประเทศไทย 2) กระบวนการผลิตและของเสียในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม ประกอบด้วย กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม, การกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม 3) การใช้ประโยชน์ของเสียจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม 4) เชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทย 5) เชื้อเพลิงชีวมวลจากทะลายปาล์ม 6) มาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดในประเทศไทย 7) ผลของโพแทสเซียมของเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในหม้อต้มไอน้ำ 8) ถ่านหินในประเทศไทย

2.1 อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันในประเทศไทย

ปาล์มน้ำมัน นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยตั้งแต่ปี 2472 และ มีการเริ่มส่งเสริมการปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่เริ่มเมื่อปี 2510 โดยโครงการนิคมสร้างตนเองพัฒนาภาคใต้ เนื้อที่ประมาณ 20,000 ไร่ และ โครงการบริษัทอุตสาหกรรมน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด จังหวัดสตูล เนื้อที่ประมาณ 20,000 ไร่ (สำนักงานเกษตรจังหวัดชุมพร) หลังจากนั้นก็มีการขยายพื้นที่ปลูกปาล์ม และ พัฒนาอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันมาเรื่อยๆ จนปัจจุบัน มีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไทยประมาณ 4.92 ล้านไร่ ให้ผลปาล์ม 11.70 ล้านตันต่อปี และ แปรรูปเป็นน้ำมันปาล์มดิบได้ 1.99 ล้านตัน (สำนักนโยบายและแผนสำนักงานปลัดกระทรวงมหาดไทย, 2560)

2.2 กระบวนการผลิตและของเสียในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร(องค์การมหาชน), 2560)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.1 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม มี 4 ขั้นตอน คือ

1.) การอบทะลายปาล์มสดด้วยไอน้ำ (Sterilization) โดยการอบที่อุณหภูมิ 130 – 135 องศาเซลเซียส ใช้ความดัน 2 – 3 Bars และ ใช้เวลา 50 – 75 นาที การอบทะลายจะช่วยหยุดปฏิกิริยาไลโปไลซีส ที่ก่อให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์ม และช่วยให้ผลปาล์มอ่อนนุ่มหลุดจากขั้วผลได้ง่าย

2.) การแยกผล (Stripping) เป็นการส่งทะลายปาล์มเข้าเครื่องแยกผลปาล์มออกจากทะลาย สำหรับทะลายเปล่าจะถูกแยกออกไป จากนั้นนำผลปาล์มที่ได้ไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์ม เพื่อให้ส่วนเปลือกแยกออกจากเมล็ด

3.) การสกัดน้ำมัน (Oil Extraction) อบโดยการนำส่วนเปลือกมาอบที่อุณหภูมิ 90 – 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20 – 30 นาที หลังจากนั้นจึงผ่านเข้าเครื่องหีบแบบเกลียวอัดคู่ จะได้น้ำมันปาล์มดิบที่มีองค์ประกอบคือ น้ำมัน ร้อยละ 66, น้ำ ร้อยละ 24 และของแข็ง ร้อยละ 10

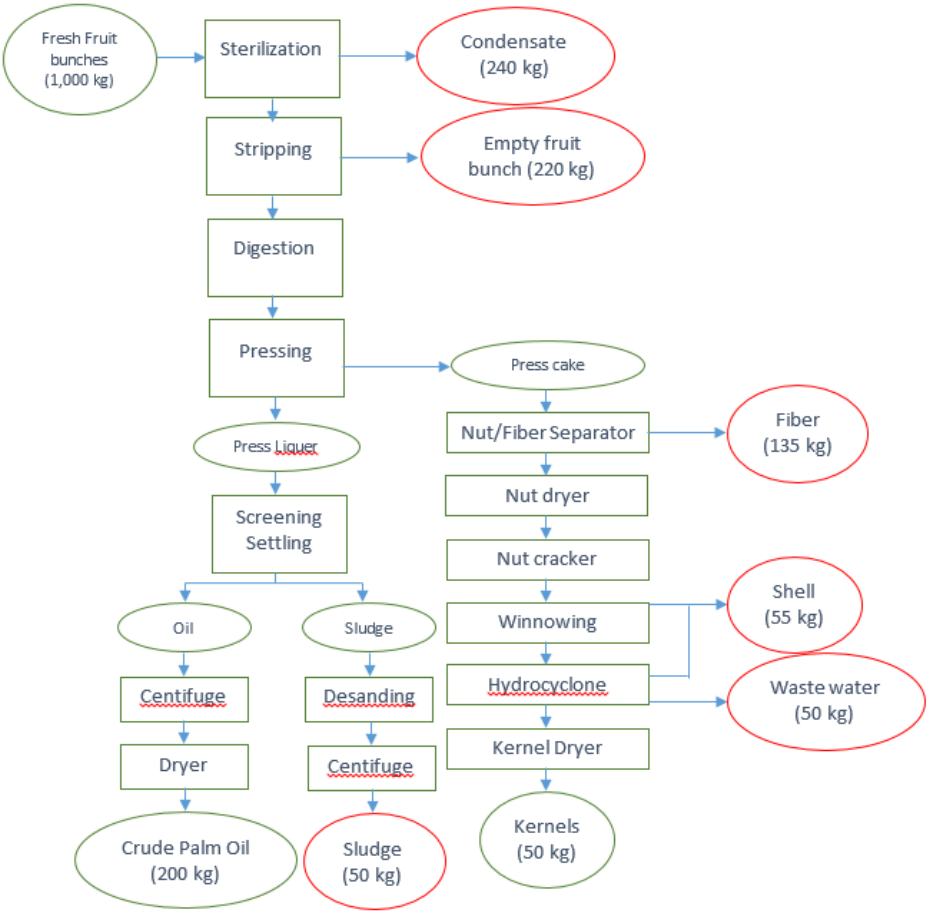
4.) การทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (Clarification) เป็นการนำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการสกัด ส่งไปยังถังกรองเพื่อแยกน้ำและของแข็งออกจากกัน จากนั้นนำเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อทำความสะอาดอีกครั้ง ทำการไล่น้ำออกเพื่อทำให้ปาล์มแห้ง และส่งเข้าถังเก็บน้ำมันสำหรับรอการกลั่นหรือจำหน่ายต่อไป น้ำมันปาล์มดิบที่ได้ จะแยกเป็นสองส่วน คือ ส่วนบนจะมีลักษณะเป็นของเหลวสีส้มแดง (Crude Palm Oil Olein) ปริมาณประมาณร้อยละ 30 – 50 ส่วนล่างจะมีลักษณะเป็นไขสีเหลืองส้ม (Crude Palm Oil Stearin) ปริมาณประมาณร้อยละ 50 – 70 สำหรับกากผลปาล์มจะถูกนำมาแยกเส้นใยออกจากเมล็ด และนำเมล็ดที่ได้มาอบแห้งและทำความสะอาด จากนั้นนำเข้าเครื่องกะเทาะเพื่อแยกกะลาออก และนำเมล็ดที่ได้มาอบแห้งและทำความสะอาด จากนั้นนำเข้าเครื่องกะเทาะเพื่อแยกกะลาออก และนำเมล็ดในมาอบแห้งโดยมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 จากนั้นบรรจุลงในกระสอบเพื่อรอจำหน่ายหรือ หีบน้ำมันต่อไป สำหรับน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ได้จากกระบวนการสกัด สามารถส่งเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมเพื่อทำให้บริสุทธิ์ หรือจะนำไปแยกส่วน (Fractionation) ก่อนก็ได้ ซึ่งจะได้น้ำมันปาล์มที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2.2 การกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม (Refine Processing)

การกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม เป็นกระบวนการที่ทำให้น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ กลายเป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์พร้อมสำหรับการบริโภค โดยใช้ไอน้ำ(Steam Refinering) เป็นกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ ด้วยการผ่านไอน้ำเข้าไปในน้ำมันร้อน แล้วกลั่นน้ำมันปาล์มโดยวิธีทางกายภาพ ทำได้โดยการเตรียมน้ำมันปาล์มดิบหรือน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบที่ปราศจากฟอสโฟลิปิด ที่ผ่านการกำจัดออกด้วยน้ำ แล้วทำปฏิกิริยาด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 80 – 85 ประมาณ ร้อยละ 0.05 – 0.2 ของน้ำมันปาล์มดิบผสมมกับน้ำมันที่อุณหภูมิ 90 – 100 องศาเซลเซียสระยะเวลานาน 15 – 30 นาที จากนั้นจึงเติมผงฟอกสี (Bleaching Earth) ประมาณร้อยละ 0.8 – 2.0 ของน้ำมันปาล์มดิบและฟอกสีภายใต้สภาพสุญญากาศที่อุณหภูมิ 95 – 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลานาน 30 – 45 นาที แล้วจึงนำน้ำมันปาล์มไปผ่านเข้าเครื่องกรอง ก็จะได้น้ำมันที่ปราศจากฟอสโฟลิปิด และทำการกลั่นโดยใช้

ไอน้ำที่อุณหภูมิน้ำมัน 240 – 270 องศาเซลเซียส ระยะเวลานาน 1 – 2 ชั่วโมง ภายใต้สภาพสุญญากาศ จะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธ์ (Refined Bleached and Deodorized Palm Oil, RBD PO) หรือน้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Bleached and Deodorized Palm Kernel Oil, RBD PKO) (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร(องค์การมหาชน), 2560) กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มแสดงเป็นแผนผังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มแสดงให้เห็นของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอน

ที่มา : ปรับปรุงจาก (Wageningen Ur, 2013)

จากรูปที่ 2.1 จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม จากทะลายปาล์มสด 1000 กิโลกรัม จะมีของเสียเกิดขึ้นประมาณ 510 กิโลกรัม ซึ่งเป็นทะลายปาล์มเปล่าถึงประมาณ 220 กิโลกรัม

2.2.3 การใช้ประโยชน์ของเสียจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม

ข้อมูลราคาสำรวจจากพื้นที่อำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่ ณ วันที่ 6 พฤศจิกายน 2560

1.) เส้นใยปาล์ม สามารถขายได้แต่เนื่องจากมี density ที่ต่ำส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งสูง จึงนิยมนำมาเป็นเชื้อเพลิงหลักใน boiler ในโรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม จึงไม่เกิดปัญหา

2.) กะลาปาล์ม เป็นเชื้อเพลิงรองในการใช้ใน boiler ถ้าเหลือสามารถขายได้ 3,500 – 4,500 บาทต่อตัน

3.) น้ำเสีย นำไปผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในโรงงาน หากมีปริมาณเยอะก็จะเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย

4.) สลัดจ์ ขายได้ตันละ 2,700 บาท เพื่อนำไปทำปุ๋ย

5.) ทะลายปาล์ม เป็นของเสียที่มีปริมาณมากที่สุด มีความชื้นสูงถึงร้อยละ 60 สามารถนำไปหมักทำปุ๋ย ขายได้ 300 – 600 บาทต่อตัน แต่หากมีการผลิตน้ำมันปาล์มมากขายไม่ทัน ก็จะเป็นของเสียเนื่องจากมีความชื้นสูงเก็บไว้ได้ไม่นาน

จากการใช้ประโยชน์ของเสียอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มข้างต้น จะเห็นว่า ของเสียที่ยังคงเหลือ คือ ทะลายปาล์มผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำไปเพิ่มมูลค่าด้วยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด

2.3 อุตสาหกรรมโรงเลื่อยและโรงอบไม้

ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นผู้ปลูกยางพารามากที่สุดในโลก และมีการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากไม้ยางพารามาอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้อุตสาหกรรมต่อเนื่องของไม้ยางพาราเกิดขึ้นในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก โดยของเสียจากอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ได้แก่ ตอ ราก กิ่งไม้ ปลายไม้ ปีกไม้ ขี้เลื่อย และเศษไม้ยางพารา จากข้อมูลปี 2556 เฉพาะ ขี้เลื่อยและเศษไม้ยางพารา มีปริมาณถึง 656,619 ตัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

จะเห็นว่าขี้เลื่อยและเศษไม้ยางพารามีศักยภาพที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล รวมทั้งเป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกในภาคใต้เช่นเดียวกับปาล์มน้ำมัน ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะเลือกขี้เลื่อยไม้ยางพาราเป็นอีกวัตถุดิบที่จะนำมาผสมกับทะลายปาล์มในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด

2.4 เชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และมีผลผลิตทางการเกษตรรวมถึงผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตรปริมาณมาก เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน ข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งของเสียหรือผลผลิตที่เหลือใช้จากการแปรรูปพืชเหล่านี้ มีศักยภาพที่จะสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ทั้งนำไปผลิตไฟฟ้า หรือ ใช้เป็นเชื้อเพลิงความร้อน นอกจากจะเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดแล้ว ยังเป็นการช่วยเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรด้วย

ชีวมวลอัดเม็ดในประเทศไทยส่วนใหญ่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา เนื่องจากเศษไม้ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นเศษเหลือจากโรงงานไม้ยางพารา โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพาราประมาณ 20 ล้านไร่ ต้นยางพาราที่อายุเกิน 25 ปี จะให้ผลผลิตลดลง จึงต้องมีการโค่นและปลูกใหม่ คิดเป็นพื้นที่ยางพาราที่ต้องตัดฟันหรือโค่นทิ้ง 300,000 ไร่/ปี โดยจะมีของเสียประมาณ 29 ตันต่อ 1 ไร่ (สุทิน พรชัยสุรีย์, 2558)

2.4.1 การส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทย

การใช้พลังงานทนแทนในประเทศไทยมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในขั้นสุดท้าย ของปี 2557 มีค่า 11.91 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มจากปี 2555 ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ และกระทรวงพลังงานมีเป้าหมายสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในขั้นสุดท้าย 20 เปอร์เซ็นต์ในปี 2579 ซึ่งในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 มีเป้าหมายการใช้ชีวมวลเป็นพลังงานทางเลือกสูงขึ้นทั้งในด้านการใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้เป็นพลังงานความร้อน โดยการใช้ชีวมวลในการผลิตไฟฟ้ามีเป้าหมาย 5,570 เมกะวัตต์ ซึ่งเทียบกับปี 2557 ที่มีการใช้ผลิตไฟฟ้า 2,451 เมกะวัตต์ ส่วนการใช้ชีวมวลเป็นพลังงานความร้อนมีเป้าหมาย 22,100 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งเทียบกับปี 2557 ที่มีการใช้ผลิตความร้อน 5,144 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

นอกจากนี้ในปี 2558 ที่ผ่านมา ทางกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้เปิดรับสมัครโรงงานอุตสาหกรรมเข้าร่วมโครงการสนับสนุนเปลี่ยนหัวเผาหม้อไอน้ำเป็นหัวเผาที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือกทดแทน แก่โรงงานอุตสาหกรรมที่สมัครเข้าร่วม 100 แห่ง ซึ่งทางผู้ประกอบการจะได้รับการสนับสนุนเงินทุนปรับเปลี่ยนระบบหม้อไอน้ำในสัดส่วนไม่เกินร้อยละ 30 ของค่าลงทุนทั้งหมดและไม่เกิน 2 ล้านบาทต่อแห่ง

2.5 เชื้อเพลิงชีวมวลจากทะลายปาล์ม

(อุกฤษฎ์ สหพัฒน์สมบัติ, 2551) ศึกษาคุณภาพเบื้องต้นของชีวมวลสำหรับเชื้อเพลิงไม้อัดแท่ง โดยมีวัตถุดิบคือ เศษไม้ยางพารา ทางปาล์ม ลำต้นปาล์ม และ ทะลายปาล์ม พบว่า ทะลายปาล์มมีค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 19.3 MJ/kg แต่มีค่า Potassium ที่สูงถึง 17,094 mg/kg จะมีผลให้ ash melting point ลดลง และทำให้เกิดตะกรันขึ้นในเตาเผาหรือหม้อต้มได้ ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาการบำรุงรักษาระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6 มาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดในประเทศไทย

การกำหนดมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดเป็นการควบคุมให้เม็ดเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพทั้งในด้านการให้ความร้อน ปริมาณเถ้า และก๊าซพิษที่ได้จากการเผาไหม้ และเพื่อเป็นการแข่งขันกันผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีคุณภาพมากขึ้นของผู้ผลิต โดยมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดที่ใช้ในประเทศแถบยุโรปมีมาตรฐานที่สำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตาราง 2.1 มาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดที่สำคัญของยุโรป

ประเทศ	มาตรฐานที่ใช้	รายละเอียด
สหราชอาณาจักร	BS EN 14961-1:2010	ปรับปรุงจาก DD CEN/TS 14961:2005
สวีเดน	SS 18 71 20	กำหนดคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดไว้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม 1 เป็นมาตรฐานระดับสูง ใช้สำหรับ

		ครัวเรือน กลุ่มที่ 2 และ 3 ใช้งานทั่วไปที่ไม่ต้องการคุณภาพสูงมาก
เยอรมันนี	ENplus	กำหนดคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดไว้ 3 กลุ่ม
สหรัฐอเมริกา	PFI	กำหนดคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดไว้ 3 กลุ่ม

ตาราง 2.2 มาตรฐานชีวมวลอัดเม็ด ENplus

Property	Unit	ENplus A1	ENplus A2	ENplus B
Diameter	mm	6 ± 1 or 8 ± 1		
Length	mm	3.15 < L ≤ 40		
Moisture	w-%	≤ 10		
Ash	w-%	≤ 0.7	≤ 1.2	≤ 2.0
Mechanical Durability	w-%	≥ 98.0	≥ 97.5	
Fines (3.15 mm)	w-%	≤ 1.0 loading truck for deliveries to end-users. ≤ 0.5 Filling pellet bags or sealed Big Bags.		
Temperature of pellets	°C	≤ 40		
Net Calorific Value	kWh/kg	≥ 4.6		
Bulk Density	kg/m^3	600 ≤ BD ≤ 750		
Additives	w-%	≤ 2		
Nitrogen	w-%	≤ 0.3	≤ 0.5	≤ 1.0
Sulfur	w-%	≤ 0.04	≤ 0.05	
Chlorine	w-%	≤ 0.02		≤ 0.03
Ash Deformation Temperature	°C	≥ 1200	≥ 1100	
Arsenic	mg/kg	≤ 1		
Cadmium	mg/kg	≤ 0.5		
Chromium	mg/kg	≤ 10		
Copper	mg/kg	≤ 10		
Lead	mg/kg	≤ 10		
Mercury	mg/kg	≤ 0.1		
Nickel	mg/kg	≤ 10		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Zinc	mg/kg	≤ 100

ที่มา : (European Pellet Council, 2015)

มาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในแถบประเทศเอเชีย ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานเป็นของตัวเองแต่จะใช้มาตรฐานของคู่ค้า หรือ มาตรฐานของประเทศแถบยุโรปเป็นหลัก คือ EN 14961, ENplus และ PFI ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาข้อมูลมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของประเทศเกาหลีที่กำหนดมาตรฐานโดยองค์กร National Forest Research Institute เนื่องจาก เป็นประเทศที่มีแนวโน้มการนำเข้าเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆซึ่งเป็นโอกาสในการต่อยอดผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าส่งเพื่อส่งออกได้ โดยรายละเอียดของมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตาราง 2.3 มาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดของประเทศเกาหลี

Properties	Unit	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4
Size (diameter)	Mm	6-8	6-8	6-8	6-25
Size (length)	Mm	≤ 32	≤ 32	≤ 32	≤ 32
Bulk density	kg/m^3	≥ 640	≥ 600	≥ 550	≥ 500
Moisture content	%	≤ 10	≤ 10	≤ 15	≤ 15
Ash content	%	≤ 0.7	≤ 1.5	≤ 3.0	≤ 6.0
Fine content	%	< 1.0	< 1.0	< 2.0	< 2.0
Durability	%	≥ 97.5	≥ 97.5	≥ 95	≥ 95
Calorific value	kcal/kg (MJ/kg)	≥ 4,300 (≥ 18.0)	≥ 4,300 (≥ 18.0)	≥ 4,040 (≥ 16.9)	≥ 4,040 (≥ 16.9)
Sulfur content	%	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Cl content	%	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
N content	%	< 0.3	< 0.5	< 0.7	< 1.0
As content	mg/kg	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0
Cd content	mg/kg	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5
Cr content	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Cu content	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Pb content	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Hg content	mg/kg	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05
Ni content	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Zn content	mg/kg	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Ash melting behavior	℃	To be stated as recommendation			
Other additives	%	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0

ที่มา : (Korea Forest Research Institute, 2014)

ในประเทศไทยมีการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่เป็นที่ต้องการของผู้ใช้ จากการศึกษาเรื่องโครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของ Biomass pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับอนาคต(กรมพัฒนาพลังงานทนแทนและอนุรักษ์พลังงานและมหาวิทยาลัยศิลปากร,2556) พบว่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ผู้ใช้ต้องการในประเทศไทย มีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2.4 ซึ่งอยู่ในร่างมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลของประเทศไทยที่กำลังจัดทำอยู่ในปัจจุบัน

ตาราง 2.4 คุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ผู้ใช้ต้องการในประเทศไทย

คุณสมบัติ	เกรดธรรมดา	เกรดคุณภาพสูง
ความหนาแน่นรวม(kg/m^3)	> 600	> 600
เส้นผ่านศูนย์กลาง(mm)	6 - 12	6 - 12
ดัชนีความคงทน(%wt)	> 95	> 95
ฝุ่น(%wt)	< 3	< 3
ความยาว(mm)	3.15 - 40	3.15 - 40
ความยาวที่เกินกว่า 40 มิลลิเมตร(%wt)	< 1	< 1
ความชื้น(%wt)	< 10	< 10
ค่าความร้อน(MJ/kg)	14.6	16.7
ขี้เถ้า(%wt)	< 20	< 10
ปริมาณของสารคลอรีน(%wt)	< 0.02	< 0.02
ปริมาณของสารกำมะถัน(%wt)	< 0.08	< 0.08
ปริมาณของสารไนโตรเจน(%wt)	< 0.3	< 0.3

ที่มา : (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

มาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบคุณสมบัติของทะลายปาล์มเปล่า ผู้วิจัยเลือกมาตรฐาน ENplus B, Korean 4th Grade และ คุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ผู้ใช้ต้องการในประเทศไทย เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่ใกล้เคียงกันและคุณภาพไม่สูงมากเหมาะสำหรับประเทศไทยที่มีการส่งเสริมให้ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7 ผลของโพแทสเซียมของเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในหม้อต้มไอน้ำ

(Frandsen Flemming, 2003) ศึกษาลักษณะขี้เถ้าและตะกรันด้วยวิธี SEM ในหม้อต้มไอน้ำของโรงงานผลิตไฟฟ้า โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลได้แก่ ฟางข้าวสาลี(100%) ฟางข้าวสาลี+ไม้สับ (75+25%) ฟางข้าวสาลี+เม็ดมะกอก(75+25%) และ ฟางข้าวสาลี+เชีย นัท(70+30%) อุณหภูมิในเตาเผา 500°C พบว่าโพแทสเซียมใน fly ash ที่พบเกือบทั้งหมดเป็นสารประกอบของ KCl และเป็นสารประกอบของ K_2SO_4 ในปริมาณน้อย ส่วนตะกรันที่เกิดขึ้นของเชื้อเพลิงทุกชนิดเกิดจากการยึดเข้าด้วยกันขี้เถ้าโดย KCl เช่นเดียวกัน

(Hanne Philbert Michelsen, 1998) ศึกษาลักษณะของตะกรันและผลของอุณหภูมิต่อการกัดกร่อนของหม้อต้มไอน้ำ พบว่า ตะกรันที่เกิดขึ้นส่วนมากมาจาก KCl โดยคิดเป็น 40 – 80% ของน้ำหนักตะกรันทั้งหมด ส่วนการกัดกร่อนพบว่า ที่อุณหภูมิไอน้ำ 450°C การกัดกร่อนเกิดขึ้นน้อยมาก ที่อุณหภูมิไอน้ำ 490 - 520°C อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นแต่ยังอยู่ในอัตราที่ยอมรับได้ ส่วนที่อุณหภูมิไอน้ำมากกว่า 520°C อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยสาเหตุของการกัดกร่อนมาจากคลอรีนในตะกรันที่เกาะอยู่บริเวณท่อไอน้ำ แต่อย่างไรก็ตามสาเหตุของการกัดกร่อนไม่ได้มาจากสาเหตุนี้เพียงอย่างเดียว โดยแนวทางการลดการกัดกร่อนของหม้อต้มไอน้ำที่แนะนำคือ การลดอุณหภูมิไอน้ำ หรือ การป้องกันการเกาะของตะกรันที่มี KCl

(Dan Bostrom, 2009) ศึกษาผลของสารเติมแต่ง ดินขาว และ calcite โดยมีเชื้อเพลิงคือไม้โอ๊ต พบว่า การเติม calcite ในปริมาณ 2% และ 3%โดยน้ำหนัก สามารถลดปริมาณ HCl และ SO_2 ที่ปล่อยปล่อยออกมาจากการเผาได้ แต่ไม่สามารถลดปริมาณตะกรันที่เกิดขึ้นได้ ส่วนการเติมดินขาวลงไป 1%โดยน้ำหนักไม่มีตะกรันเกาะที่ท่อไอน้ำแต่จะมีปริมาณ HCl และ SO_2 ปลดปล่อยออกมาเพิ่มขึ้นเนื่องจากดินขาวเข้าไปทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมคลอไรด์ดังสมการ

$$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \longrightarrow Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 2H_2O \quad (1)$$

$$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 2KCl + H_2O \longrightarrow 2KAlSiO_4 + 2HCl \quad (2)$$

$$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 2SiO_2 + 2KCl + H_2O \longrightarrow 2KAlSi_2O_6 + 2HCl$$

โดยการปลดปล่อยของ HCl และ SO_2 เมื่อทำการเผาไม้โอ๊ตมีค่า 61 ± 2 และ 280 ± 20 mg/Nm^3 ส่วนการปลดปล่อยของ HCl และ SO_2 เมื่อเติมดินขาวลงไป 1% โดยน้ำหนัก มีค่า 70 ± 3 และ 300 ± 17 mg/Nm^3ตามลำดับ

(Rasma Platace, 2013) ศึกษาผลกระทบต่อหม้อต้มไอน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงเป็น reed canary grass(ปริมาณโพแทสเซียม 0.67%โดยน้ำหนัก) และ osier(ปริมาณโพแทสเซียม 0.34%โดยน้ำหนัก) ที่อัตราส่วน 1/3 1/1 และ 3/1 พบว่า ที่อัตราส่วน 1/3(reed canary grass + osier) มีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ 0.42%โดยน้ำหนัก ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการเผาของหม้อต้มไอน้ำ

(สุขสวัสดิ์ คงกล้า และ ฐานิตย์ เมธิยานนท์, 2554) ศึกษาผลกระทบและแนวทางการแก้ปัญหาการเกิดฟาวลิ่งบนท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยใช้เชื้อเพลิงเป็น ทะลายปาล์ม : เส้นใยปาล์ม : กะลาปาล์ม ที่อัตราส่วนดังนี้ 100:0:0 30:50:20 และ 40:45:15 พบว่าจากการทดลองเผา 17 ชั่วโมง อัตราส่วน 100:0:0 เกิดตะกรันหนาที่สุด 4-7 มิลลิเมตร ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงเหลือ 70% ส่วนเงื่อนไขการเติมดินขาวไม่ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการเติมดินขาว 7.8% โดยน้ำหนักแห้งของทะลายปาล์ม เพียงพอต่อการแก้ปัญหาฟาวลิ่งแล้ว

(Srikandi Novianti, 2016) ศึกษาการปรับปรุงการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าให้มีคุณภาพมากขึ้นเชื้อเพลิง และการเผาไหม้ให้สะอาดขึ้นโดยให้วิธี hydrothermal treatment technology มีวิธีคือ นำทะลายปาล์มเปล่าละลายน้ำในอัตราส่วน ทะลายปาล์มเปล่า:น้ำ เท่ากับ 1:10 จากนั้นให้อุณหภูมิ 180 และ 220°C เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปกรองเอาของเหลวออกด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ และอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อมานำทะลายปาล์มผ่านกระบวนการ washing treatment วิธีการคือนำทะลายปาล์มเปล่าผสมกับน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60°C ความเร็วของ magnetic bar ในการกวนอยู่ที่ 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที พบว่า จาก 2 กระบวนการนี้สามารถกำจัดโพแทสเซียมได้ 92% โดยมีอุณหภูมิในการ treatment ที่เหมาะสมคือ 180°C นอกจากนี้ยังพบว่า เม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ยังมีคุณภาพดีขึ้นทั้งในเรื่อง ความแข็งแรง ดูดความชื้นต่ำลง และ ขี้เถ้าน้อยลงด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า

ในการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้น ใช้เครื่องอัดขนาดเล็ก กำลังมอเตอร์ 3 kW ณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1) นำวัตถุดิบมาตากแดดเพื่อลดความชื้นเพื่อให้ง่ายต่อการสับ จากนั้นนำมาเข้าโถปั่นความเร็วสูง และคัดแยกด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

1.2) เตรียมวัตถุดิบสำหรับทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด

1.2.1) ทะลายปาล์มเปล่า + กากแป้งจากโรงงานผลิตแป้งดัดแปรร้อยละ 5

1.2.2) ทะลายปาล์มเปล่า + กากแป้งจากโรงงานผลิตแป้งดัดแปรร้อยละ 10

1.2.3) ทะลายปาล์มเปล่า + กากแป้งจากโรงงานผลิตแป้งดัดแปรร้อยละ 20

1.3) ผสมวัตถุดิบเข้าด้วยกันจากนั้นนำไปเข้าเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง

1.4) ศึกษาสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยมีพารามิเตอร์ที่ศึกษาได้แก่ Heating Value, Moisture, Ash, Volatile Matter และ Fixed Carbon

1.4.1) Heating Value วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3286

1.4.2) Moisture content วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3173

1.4.3) Ash content วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3174

1.4.4) Volatile material วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3175

1.4.5) Fixed carbon content คำนวณจาก %FC = 100 – (%Moisture - %Ash content - %Volatile material)

2) ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้านการเกิดตะกรัน

ในการศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดใช้เครื่องอัดขนาดกำลังมอเตอร์ 22 kW ณ อาคารปฏิบัติการบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2.1) นำวัตถุดิบมาตากแดดเพื่อลดความชื้นจากนั้นนำมาเข้าเครื่องสับ

2.2) เตรียมวัตถุดิบสำหรับทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หาปริมาณโพแทสเซียม และ ปริมาณความชื้นของทะลายปาล์มเปล่าสับและขี้เลื่อยไม้ยางพารา จากนั้นเตรียมวัตถุดิบตามอัตราส่วนต่างๆ 3 อัตราส่วน ดังนี้

2.2.1) ทะลายปาล์มเปล่า

2.2.2) ทะลายปาล์มเปล่าต่อขี้เลื่อยไม้ยางพาราอัตราส่วนตามปริมาณโพแทสเซียมโดยคำนวณให้มีปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 0.42

2.2.3) ทะลายปาล์มเปล่า + ดินขาวปริมาณร้อยละ 7.8 โดยน้ำหนักแห้ง

2.3) นำวัตถุดิบผสมให้เข้ากันจากนั้นเข้าเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง

2.4) ศึกษาสมบัติทางความร้อนและองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยมีพารามิเตอร์เดียวกับ 2.3) รวมทั้ง Pellet size, Bulk Density, Mechanical durability, Chlorine, Sulphur และ Nitrogen

2.4.1) Pellet size วิเคราะห์โดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาว

2.4.2) Bulk Density วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D4784 คำนวณจาก Bulk density (kg/m^3) = ((weigh of box and sample) - (weigh of box))/ volume of box

2.4.3) Chloride, Nitrogen และ Sulphur วิเคราะห์ตาม ASTM E776, ASTM D5373, ASTM D4239

3.) ศึกษาการประมาณการค่าใช้จ่าย การลงทุน ต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า

การศึกษาและประเมินผลตอบแทนของโครงการ ใช้พารามิเตอร์หลักที่จำเป็นต่อการตัดสินในในการลงทุนทั่วไป ดังนี้

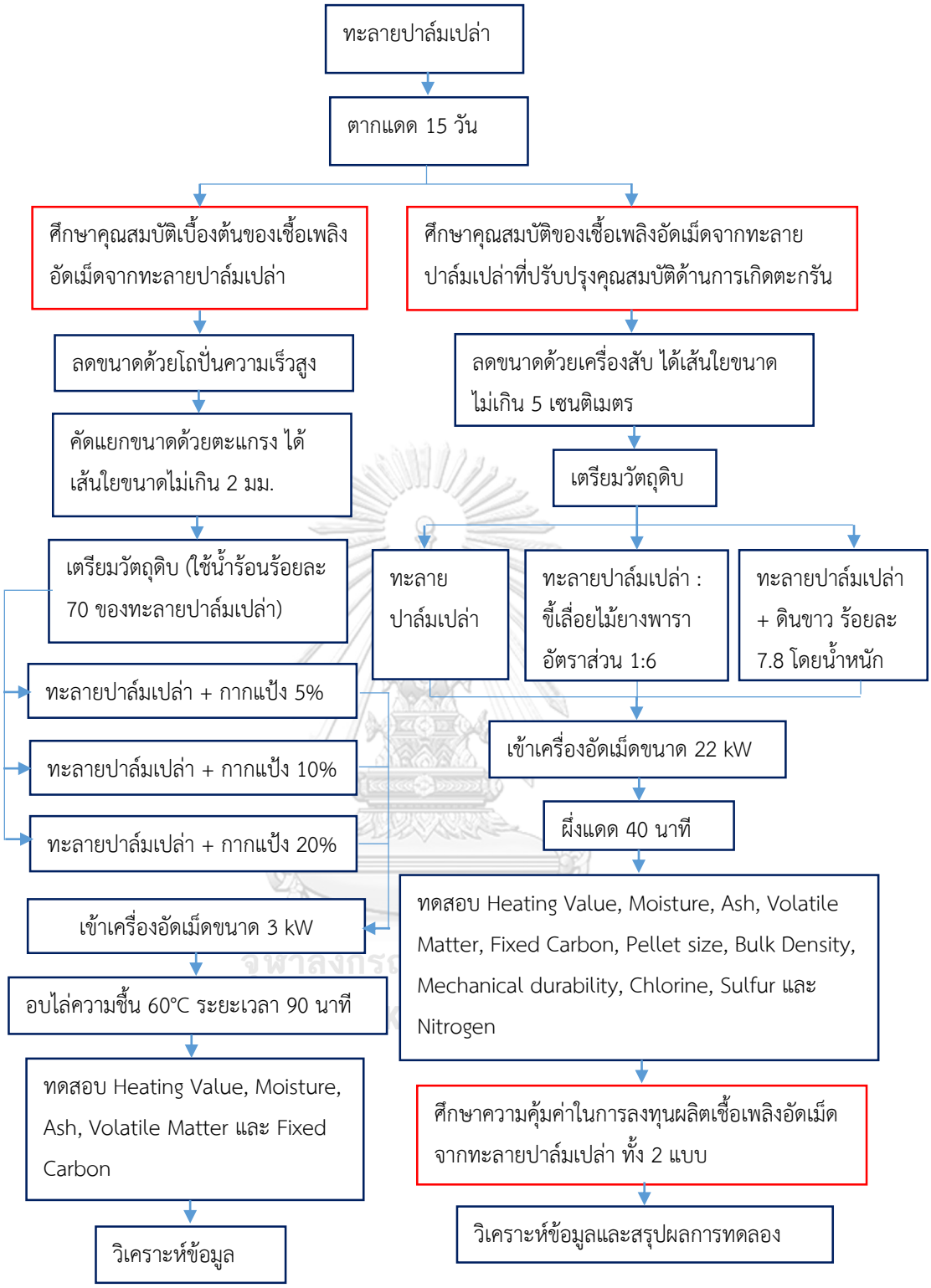
3.1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

3.2) อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return, IRR)

3.3) ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period, PB)

แผนผังขั้นตอนการวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการวิจัย

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) อุปกรณ์สำหรับผสมวัตถุดิบ

2) ตู้อบ

รูปที่ 3.2 ตู้อบ

3) เครื่องบดละเอียดความเร็วสูง

รูปที่ 3.3 เครื่องบดละเอียดความเร็วสูง

4) เครื่องสับ

รูปที่ 3.4 เครื่องสับ

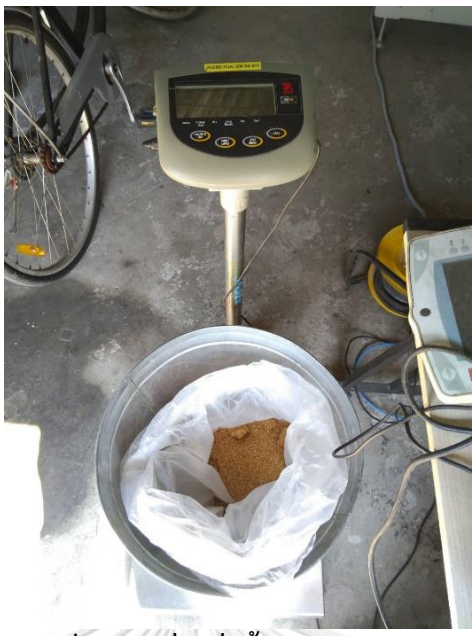
5) เครื่องอัดเม็ดขนาดมอเตอร์ 3 kW

รูปที่ 3.5 เครื่องอัดเม็ดขนาดมอเตอร์ 3 kW

6) เครื่องอัดเม็ดขนาดมอเตอร์ 22 kW

รูปที่ 3.6 เครื่องอัดเม็ดขนาดมอเตอร์ 22 kW

7) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบหยาบ



รูปที่ 3.7 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบหยาบ

8) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด

รูปที่ 3.8 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด

9) ปากคีบ

รูปที่ 3.9 ปากคีบ

10) ตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.10 ตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร

11) ถ้วยกระเบื้อง

รูปที่ 3.11 ถ้วยกระเบื้อง

3.2.2 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1) ทะลายปาล์มเปล่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

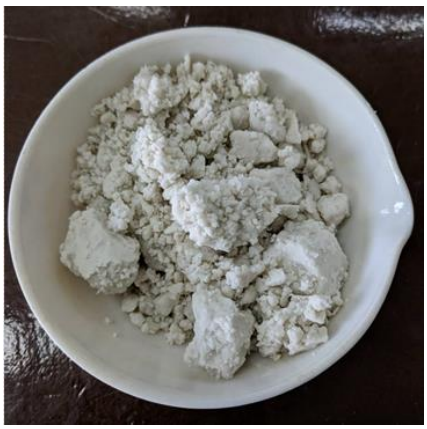
รูปที่ 3.12 ทะลายปาล์มเปล่า

2) ขี้เลื่อยไม้ยางพารา

3) ดินขาว (kaolin)

รูปที่ 3.13 ดินขาว (kaolin)

4) กากแป้งจากโรงงานผลิตแป้งดัดแปร



รูปที่ 3.14 กากแป้งจากโรงงานผลิตแป้งดัดแปร

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า

ในการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้น ใช้เครื่องอัดขนาดเล็ก กำลังมอเตอร์ 3 kW ทำให้ยากต่อการขึ้นรูปหากใช้วัตถุดิบเพียงอย่างเดียว ผู้วิจัยจึงใช้กากแป้งจากจากโรงงานผลิตแป้งดัดแปรมาเป็นตัวประสาน และเติมน้ำร้อนปริมาณร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของน้ำหนักทะลายปาล์มเปล่า ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อให้วัตถุดิบผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันก่อนเข้าเครื่องอัด

3.3.1.1 นำวัตถุดิบมาตากแดดเพื่อลดความชื้นเป็นเวลา 15 วันเพื่อให้ง่ายต่อการสับ จากนั้นนำมาลดขนาดด้วยโถปั่นความเร็วสูง และคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงจนมีขนาดเส้นใยไม่เกิน 2 มิลลิเมตร

3.3.1.2 เตรียมวัตถุดิบสำหรับทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเริ่มจากการหาความชื้นของทะลายปาล์มเปล่าและ กากแป้งโดยการนำตัวอย่างใส่ในถ้วยกระเบื้องแล้วนำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 104-110°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงทำจำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณวัตถุดิบในสัดส่วนที่ต้องการ ส่วนขั้นตอนการผสมวัตถุดิบจะชั่งกากแป้งตามสัดส่วนที่คำนวณไว้ ตามด้วยน้ำร้อน 100°C ร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของทะลายปาล์มเปล่า คนจนกากแป้งกับน้ำผสมกันดี และนำทะลายปาล์มเปล่าที่สับแล้วมาคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยในงานวิจัยได้กำหนดอัตราส่วนของ ทะลายปาล์มเปล่าต่อกากแป้งไว้ 3 อัตราส่วน ดังนี้

1.) ทะลายปาล์มเปล่า + กากแป้งจากโรงงานผลิตแป้งดัดแปรร้อยละ 5

2.) ทะลายปาล์มเปล่า + กากแป้งจากโรงงานผลิตแป้งดัดแปรร้อยละ 10

3.) ทะลายปาล์มเปล่า + กากแป้งจากโรงงานผลิตแป้งดัดแปรร้อยละ 20

รูปที่ 3.15 วัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องอัดเม็ดในขั้นตอนศึกษาสมบัติเบื้องต้น

รูปที่ 3.16 เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเครื่องอัดขนาดมอเตอร์ 3 kW

3.3.1.3 อัดเม็ดเชื้อเพลิง จากนั้นนำมาอบไล่ความชื้นในเตาอบ อุณหภูมิ 60°C ระยะเวลา 90 นาที เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้จะมีลักษณะที่แห้งและแข็งขึ้น

รูปที่ 3.17 อบเชื้อเพลิงอัดเม็ดด้วยตู้อบ

รูปที่ 3.18 เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเครื่องอัดขนาดมอเตอร์ 3 kW ที่อบแล้ว

3.3.1.4 ศึกษาสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยมีพารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ Heating Value, Moisture, Ash, Volatile Matter และ Fixed Carbon โดยมีมาตรฐานการทดสอบดังนี้

1.) Heating Value วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3286 โดยนำตัวอย่างมาเผาไหม้ในสภาวะที่มีออกซิเจนมากเกินพอด้วยเครื่อง Bomb calorimeter

2.) Moisture content วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3173 โดยนำตัวอย่างมาอบที่อุณหภูมิ 103-105°C ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

3.) Ash content วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3174 โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 700-750°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

4.) Volatile material วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3175 โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

5.) Fixed carbon content คำนวณจาก %FC = 100 – (%Moisture - %Ash content - %Volatile material)

3.3.2 ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้านการเกิดตะกรัน

ในการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดในขั้นตอนนี้ จะใช้เครื่องอัดเม็ดที่มีขนาดกำลังมอเตอร์ 22 kW อุณหภูมิในการอัดเม็ดอยู่ที่ 150 - 180°C และเนื่องจากทะลายปาล์มและขี้เลื่อยไม้ยางพารามีลิกนินเป็นองค์ประกอบเมื่อผ่านความร้อนลิกนินจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานทำให้สามารถขึ้นรูปได้โดยไม่ต้องพึ่งตัวประสาน

3.3.2.1 นำวัตถุดิบมาตากแดดเพื่อลดความชื้นเป็นเวลา 15 วัน จากนั้นนำมาเข้าเครื่องสับจะได้เส้นใยทะลายปาล์มเปล่าที่มีขนาดไม่เกิน 5 ซม.

3.3.2.2 เตรียมวัตถุดิบสำหรับทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเริ่มจากหาปริมาณโพแทสเซียม และ ความชื้นของวัตถุดิบ คือ ทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการสับมาแล้ว และ ขี้เลื่อยไม้ยางพารา โดยหาปริมาณโพแทสเซียมด้วยวิธี Acid Digestion and Inductively Coupled Plasma(ICP) Method และหาความชื้นด้วยวิธีเดียวกับ 3.3.1.2 จากนั้นเตรียมวัตถุดิบตามอัตราส่วนต่างๆ 3 อัตราส่วน ดังนี้

1) ทะลายปาล์มเปล่า

2) ทะลายปาล์มเปล่าต่อขี้เลื่อยไม้ยางพาราอัตราส่วนตามปริมาณโพแทสเซียม โดยคำนวณให้มีปริมาณโพแทสเซียมในเชื้อเพลิงอัดเม็ดร้อยละ 0.42 (Dry Basis)

3) ทะลายปาล์มเปล่า + ดินขาวปริมาณร้อยละ 7.8 โดยน้ำหนักแห้ง

3.3.2.3 นำวัตถุดิบผสมให้เข้ากันจากนั้นเข้าเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง

ในการผสมวัตถุดิบเข้าด้วยกันเนื่องจากทั้งทะลายปาล์ม ขี้เลื่อย และ ดินขาว มีความฟุ้งกระจายผู้วิจัยจึงใช้ถุงปิดในการคลุกเคล้าวัตถุดิบให้เท่ากัน หลังจากอัดเม็ดเรียบร้อยแล้วนำเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้มาผึ่งแดดเป็นเวลา 40 นาทีก่อนเก็บในภาชนะปิด

รูปที่ 3.19 ถุงผสมวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องอัดเม็ด

รูปที่ 3.20 การผึ่งแดดเชื้อเพลิงอัดเม็ด

รูปที่ 3.21 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้

3.3.2.4 ศึกษาสมบัติทางความร้อนและองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยมีพารามิเตอร์เดียวกับ 3.3.2.3 รวมทั้ง Pellet size, Bulk Density, Mechanical durability, Chlorine, Sulphur และ Nitrogen ซึ่งวิธีการวิเคราะห์มีดังนี้

1) Pellet size วิเคราะห์โดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาว

2) Bulk Density

เนื่องจากปริมาณวัตถุดิบไม่เพียงพอในการทดสอบ Bulk Density ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ตามมาตรฐานทั่วไปได้ ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบค่า Bulk Density อ้างอิงตามงานวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยระบบดายน์อัด (ศิริชัย ต่อสกุลและคณะ,2558)

ในการวิเคราะห์จะใช้ภาชนะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.6 เซนติเมตร สูง 16.1 เซนติเมตร มาชั่งน้ำหนักและบันทึกผลของภาชนะ จากนั้นใส่เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลลงในภาชนะโดยเทจากความสูง 15 เซนติเมตร จากขอบภาชนะ ทำการเคาะ 5 ครั้ง และเพิ่มเม็ดเชื้อเพลิงลงไปจากความสูงเดิม ถ้าหากมีเม็ดเชื้อเพลิงเกินขอบภาชนะให้เอาออก ชั่งน้ำหนักรวมของภาชนะและเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล จากนั้นคำนวณหาความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิง จากสมการ Bulk

density (kg/m^3) = ((weigh of box and sample) - (weigh of box))/ volume of box

รูปที่ 3.22 การทดสอบ Bulk density

3) Mechanical durability

- เตรียมตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดเม็ดประมาณ 1,000 กรัม
- นำตัวอย่างไปร่อนด้วยแร่งจนหมดฝุ่น
- ชั่งตัวอย่างที่ร่อนแล้ว 500 ± 10 กรัม และบันทึกน้ำหนักด้วยความละเอียด 0.1 กรัม
- นำตัวอย่างบรรจุลงในกล่องทดสอบ เริ่มการทดสอบโดยการหมุนใบกวนด้วยความเร็ว 50 ± 2 รอบต่อนาที จำนวน 500 รอบ
- นำตัวอย่างออกจากกล่องทดสอบแล้วนำไปร่อนด้วยแร่งจนหมดฝุ่นชั่งน้ำหนักตัวอย่างทีค้างบนแร่งด้วยความละเอียด 0.1 กรัม และคำนวณหาค่าดัชนีความคงทน

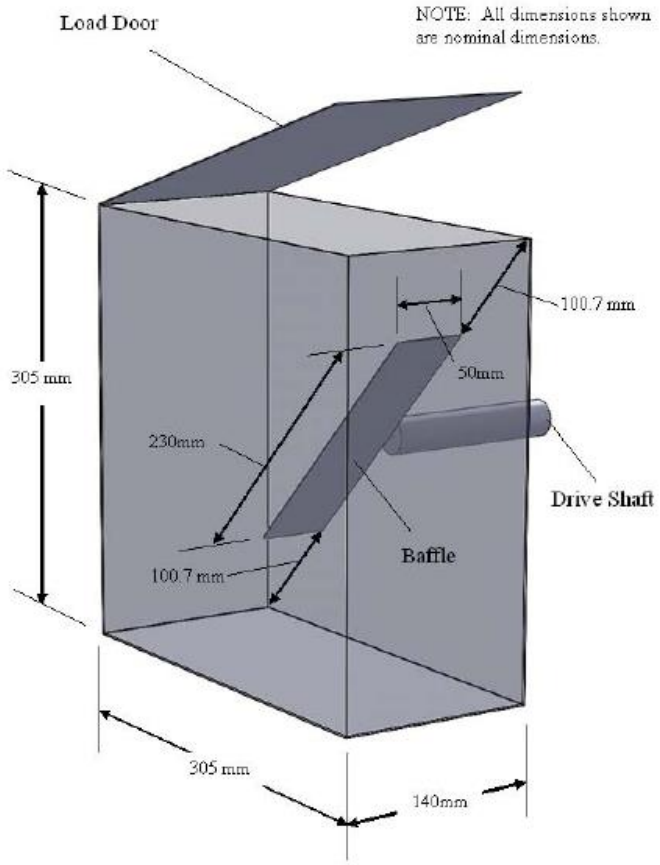
วิธีคำนวณ

ดัชนีความคงทน = 100 (WPW/IW)

เมื่อ WPW คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ค้างบนแร่ง เป็นกรัม

IW คือ นำหนักตัวอย่างที่ร่อนแล้วก่อนบรรจุลงในกล่องทดสอบเป็นกรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.23 ภาชนะในการทดสอบ Mechanical durability

(โครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของBiomass pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับอนาคต,2555)

3.3.3 ศึกษาการประมาณการค่าใช้จ่าย การลงทุน ต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การวิเคราะห์โครงการจะบ่งบอกถึงผลตอบแทนในการลงทุน ซึ่งจะประเมินจากรายรับ (Revenue) และค่าใช้จ่าย(Cost) ของโครงการ โดยการพิจารณาโครงการจะใช้พารามิเตอร์หลักที่จำเป็นต่อการตัดสินใจในการลงทุนทั่วไป ดังนี้

1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

คือ ผลต่างของมูลค่าปัจจุบันของผลรวมกระแสเงินสดรับสุทธิและผลรวมกระแสเงินสดจ่ายสุทธิ สามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณ ดังแสดงในสมการที่ (3.1)

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (3.1)$$

โดยที่ n คือ อายุของโครงการ (ปี)

t คือ ดัชนีชี้เลขปีในช่วงเวลาของโครงการ (ปี)

CF_t คือ กระแสเงินสดในปีที่ t (กระแสเงินสดรับในปีที่ t – กระแสเงินสดจ่ายในปีที่ t)(บาท)

i คือ อัตราคิดลดหรือต้นทุนทางการเงิน (%)

มีเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ

ควรลงทุนเมื่อ NPV มีค่าเป็นบวก

ไม่ควรลงทุนเมื่อ NPV มีค่าเป็นลบ

2) อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return, IRR)

คือ อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน หรือ อัตราดอกเบี้ยที่ใช้เป็นอัตราคิดลดซึ่งมีผลทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ สามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณ ดังแสดงในสมการที่ (3.2)

$$0 = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \quad (3.2)$$

โดยที่ n คือ อายุของโครงการ (ปี)

t คือ ดัชนีชี้เลขปีในช่วงเวลาของโครงการ (ปี)

CF_t คือ กระแสเงินสดในปีที่ t (กระแสเงินสดรับในปีที่ t – กระแสเงินสดจ่ายในปีที่ t)(บาท)

i คือ อัตราคิดลดหรือต้นทุนทางการเงิน (%)

มีเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ

IRR > ต้นทุนเงินทุน(WACC) มีความคุ้มค่าในการลงทุน

IRR = ต้นทุนเงินทุน(WACC) การลงทุนยังมีความเป็นไปได้

IRR < ต้นทุนเงินทุน(WACC) ไม่คุ้มค่าในการลงทุน

3) ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period, PB)

คือ ระยะเวลาที่ผลกำไรสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ โดยกำไรเป็นกำไรสุทธิหลังหักภาษี ดอกเบี้ย และค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สิน สามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณ ดังแสงในสมการที่ (3.3)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน}(PB) = \frac{\text{มูลค่าการลงทุนรวม}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิสะสมรายปี}} \quad (3.3)$$

มีเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ ระยะเวลาคืนทุนนอกจากจะบอกถึงระยะเวลาที่จะได้รับกำไรแล้ว ยังบอกถึงความเสี่ยงของโครงการด้วย เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีพัฒนาอย่างรวดเร็วทำให้สามารถลอกเลียนแบบกันได้ง่าย หากระยะเวลาคืนทุนนานก็จะมีความเสี่ยงจากการลอกเลียนแบบจากคู่แข่ง ทำให้เกิดผลกระทบต่อโครงการได้

ต้นทุนทางการเงินเฉลี่ยของเงินทุน (Weighted Average Cost of Capital : WACC) คือ อัตราคิดลด (Discount Rate) ที่ใช้คำนวณมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดในอนาคต ในการคำนวณต้นทุนทางการเงินเฉลี่ยของเงินทุนจะพิจารณาจากสัดส่วนต้นทุนของหนี้สินและต้นทุนของเจ้าของทุน สามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณ ดังแสดงในสมการที่ (3.4) และ (3.5)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$WACC = W_d K_d + W_e K_e \quad (3.4)$$

$$= K_d * (1 - t) * \mathrm{D}/(\mathrm{D} + \mathrm{E}) + K_e * \mathrm{E}/(\mathrm{D} + \mathrm{E}) \quad (3.5)$$

โดยที่ WACC คือ ต้นทุนทางการเงินเฉลี่ยของเงินทุน

W_d คือ สัดส่วนของหนี้สิน

K_d คือ ต้นทุนของเงินกู้ยืม

W_e คือ สัดส่วนของทุน

K_e คือ ต้นทุนในส่วนของผู้ถือหุ้น

t คือ อัตราภาษีรายได้นิติบุคคล

D คือ หนี้สิน

E คือ เงินลงทุน

3.3.4 การวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล

ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของค่าตัวแปรทางการเงินและการดำเนินงานของโครงการ ส่วนของรายจ่าย และส่วนของรายรับ ซึ่งผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นและกำหนดสมมติฐานของการวิเคราะห์โครงการ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.1

ตาราง 3.1ข้อมูลและสมมติฐานของโครงการ

รายการ	รายละเอียด
ค่าของตัวแปร (Variable)	อายุของโครงการ
	กำลังการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด
	อัตราคิดลด (Discount Cash Flow)
	ค่าเสื่อมราคา
	อัตราดอกเบี้ยเงินกู้
	สัดส่วนเงินทุนต่อหนี้สิน
	ภาษีเงินได้
รายรับของโครงการ (Revenue)	คำนวณจากราคาขายคูณกับจำนวนที่ผลิต
ต้นทุนของโครงการ (Cost)	ประกอบด้วยต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร
ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นของโครงการ (CAPEX)	ค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (OPEX)	ค่าวัตถุดิบ
	ค่าจ้างบุคลากร
	ค่าบำรุงรักษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เงื่อนไขในการลงทุน	NPV > 0
	IRR > WACC

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า ที่ผ่านกระบวนการเพื่อลดปัญหาการเกิดตะกรันที่ท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวดเมื่อนำไปใช้ โดยต่อยอดจากงานวิจัยอื่นเพื่อเป็นการใช้ทะลายปาล์มเปล่าเป็นเชื้อเพลิงได้โดยไม่ต้องพึ่งเทคโนโลยีการเผาไหม้ และวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่สนใจ โดยการศึกษามี 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า

ตาราง 4.1 ค่าความร้อนและปริมาณเถ้าของชีวมวลชนิดต่างๆ

ชื่อ	ค่าความร้อน Dry basis (kcal/kg)	เถ้า (%) As-recieved
ฟาง	4,148	11.24
กะลามะพร้าว	4,631	0.85
ขี้เลื่อย	4,461	2.30
ชานอ้อย	3,172	-
ผักตบชวา	3,010	10.08
ทะลายปาล์มเปล่า	4,500	4.53
เส้นใยปาล์ม	4,820	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ที่มา : ปริมาณเถ้า http://www.eng.kps.ku.ac.th/dblibv2/fileupload/project_IdDoc266_IdPro652.pdf; วันที่เข้าถึงข้อมูล 2 กรกฎาคม 2561, ค่าความร้อน (อุกฤษฎ์ สหพัฒน์สมบัติ, 2551)

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลค่าความร้อน และปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดต่างๆ พบว่าทะลายปาล์มเปล่ามีค่าความร้อนอยู่ที่ 4,500 kcal/kg (Dry basis) ซึ่งมีค่าสูงกว่า ผักตบชวา ชานอ้อย ฟาง และขี้เลื่อย หากพิจารณาจากค่าความร้อนแล้วทะลายปาล์มเปล่าเหมาะที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ หากพิจารณาปริมาณเถ้า 4.53% ซึ่งต่ำกว่าฟางข้าวและผักตบชวา แต่ยังคงสูงกว่าขี้เลื่อยและกะลามะพร้าว ผู้วิจัยจึงทดลองนำทะลายปาล์มมาผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น ได้แก่ Heating Value, Moisture, Ash, Volatile Matter และ Fixed Carbon ปรากฏผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า ใช้เครื่องอัดเม็ดขนาดเล็กอุณหภูมิในการอัดต่ำ ใช้กากแป้งเป็นตัวประสานและใช้น้ำร้อนปริมาณร้อยละ 70 โดยน้ำหนักทะลายปาล์มเปล่าแห้งในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องอัดเม็ดเพื่อให้ขึ้นรูปได้ง่าย

ในการทดลอง ทะลายปาล์มเปล่า + กากแป้ง 5% ไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากเม็ดเชื้อเพลิงไม่จับตัวกัน จึงมีผลการวิเคราะห์เฉพาะ ทะลายปาล์มเปล่า + กากแป้ง 10% และ ทะลายปาล์มเปล่า + กากแป้ง 20% โดยลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.2

รูปที่ 4.1 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมกากแป้ง 10%

รูปที่ 4.2 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมกากแป้ง 20%

เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมกากแป้ง 20% มีลักษณะผิวที่เรียบกว่า และมีความยาวของเม็ดเชื้อเพลิงมากกว่า เนื่องจากมีแป้งซึ่งเป็นวัสดุประสานในปริมาณมากกว่า ทำให้เนื้อของทะลายปาล์มเปล่าเกาะตัวกันดีกว่า

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า

	% Total Moisture	% Volatile Matter		% Ash		% Fix Carbon		High Heating Value (kcal/kg)			Low Heating Value (MJ/kg)	
		As-received	Dry basis	As-received	Dry basis	As-received	Dry basis	As-received	As-determined	Dry basis	As-received	Dry basis
EFB+กาก แป้ง10%wt	24.69	63.72	84.61	4.50	5.97	7.09	9.42	3,629	4,578	4,819	3,239	18.78
EFB+กาก แป้ง20%wt	26.53	60.95	82.96	4.20	5.71	8.32	11.33	3,485	4,510	4,744	3,095	18.49

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้มีความชื้นสูง ประมาณร้อยละ 25 เนื่องจากในการทดลองใช้น้ำร้อนปริมาณ 70% ของน้ำหนักทะลายปาล์มเปล่าแห้ง เพื่อช่วยในการผสมและขึ้นรูปได้ง่าย รวมถึงแป้งมีความสามารถในการกักเก็บความชื้น ทำให้อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการอบเม็ดเชื้อเพลิงยังไม่เหมาะสม

ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมกากแป้งร้อยละ 10 และ ผสมกากแป้งร้อยละ 20 มีปริมาณเถ้าร้อยละ 5.97 และ 5.71 ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อสัดส่วนของแป้งเพิ่มขึ้นปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดลดลง

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมกากแป้งร้อยละ 10 และ ผสมกากแป้งร้อยละ 20 มีค่าความร้อน 4,819 และ4,744 kcal/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าความร้อนของทะลายปาล์มเปล่า 4,500 kcal/kg เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดในที่ใช้ศึกษาเบื้องต้นมีกากแป้งเป็นองค์ประกอบ

4.2 ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้านการเกิดตะกรัน

วิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้านการเกิดตะกรันประกอบด้วย ใช้เครื่องอัดเม็ดขนาดกำลังมอเตอร์ 22 kW มีอุณหภูมิในการอัดอยู่ที่ประมาณ 180°C โดยพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์จะมากกว่าการวิเคราะห์เบื้องต้น ซึ่งประกอบด้วย Heating Value, Moisture, Ash, Volatile Matter, Fixed Carbon Pellet size, Bulk Density, Mechanical durability, Chlorine content, Sulfur content และ Nitrogen content

การคำนวณอัตราส่วนเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา สัดส่วนถูกกำหนดด้วยปริมาณโพแทสเซียมของวัตถุดิบโดยให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้มีปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 0.42 (ตามงานวิจัยของ (Rasma Platace, 2013) ที่พบว่าปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 0.42 ไม่เป็นปัญหาต่อระบบเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ) ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมของวัตถุดิบแสดงในตารางที่ 4.3

ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	ปริมาณโพแทสเซียมโดยน้ำหนักแห้ง (mg/kg)
ทะลายปาล์มเปล่า	14,756
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	2,290
กากแป้ง	161.6

วิธีคำนวณ กำหนดให้ x คือสัดส่วนของทะลายปาล์มเปล่า

$$1.4756x + 0.2290(1-x) = 0.42$$

$$1.4756x + 0.2290 - 0.2290x = 0.42$$

$$(1.4756-0.2290)x = 0.42 - 0.2290$$

$$x = 0.1532$$

ดังนั้นอัตราส่วนของทะลายปาล์มเปล่าต่อขี้เลื่อยไม้ยางพาราคือ 1 : (1-0.1532)/0.1532 = 1 : 5.53 ในการทดลองผู้วิจัยใช้อัตราส่วนของทะลายปาล์มต่อขี้เลื่อยไม้ยางพารา 1 : 6 เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ

ในการทดลองใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า 3 สูตรคือ

1) ทะลายปาล์มเปล่า

2) ทะลายปาล์มเปล่าต่อขี้เลื่อยไม้ยางพารา อัตราส่วน 1:6

3) ทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาวร้อยละ 7.8 โดยน้ำหนักแห้ง

โดยลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.4

รูปที่ 4.3 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า

รูปที่ 4.4 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพาราอัตราส่วน 1:6

รูปที่ 4.5 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาวร้อยละ 7.8 โดยน้ำหนักแห้ง

เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้มีลักษณะคล้ายกัน คือ ผิวเรียบ แข็ง และมีความมันเงา โดยพบรอยแตกบริเวณผิวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาวบ้าง ซึ่งสาเหตุที่เม็ดเชื้อเพลิงมีลักษณะ แข็ง และมันเงา เนื่องจากการอุณหภูมิในการอัดเม็ดอยู่ที่ประมาณ 180°C สารลิกนินที่อยู่ในทะลายปาล์มเปล่าเมื่อได้รับความร้อนจะกลายเป็นตัวประสานโดยธรรมชาติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 4.4 แสดงลักษณะสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าและทะลายปาล์มเปล่าผสมกับวัสดุต่างๆ

Properties	Enplus	Korean	ร่างมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดของประเทศไทย		Pellet		
	grade B	4th grade	Normal grade	High grade	EFB	EFB + rubber Wood (1:6)	EFB + Kaolin 7.8%
Bulk Density (kg/m^3)	600 – 750	500	> 600	> 600	565.21	545.72	570.08
Diameter (mm)	5 - 9	6-25	6 - 12	6 - 12	8	8	8
Mechanical Durability (%wt)	≥ 97.5	> 95	> 95	> 95	99.61	99.72	99.05
Fines(%wt)	≤ 1	< 1.0	< 3	< 3	-	-	-
Length (mm)	3.15 - 40	≤ 32	3.15 - 40	3.15 - 40	30 - 40	30 - 40	30 - 40
Fines for Length > 40 mm	-	-	< 1	< 1	-	-	-
Moisture (%wt)	≤ 10	≤ 15	< 10	< 10	6.11	5.48	4.80
Heating Value (MJ/kg)	≥ 16.5	≥ 16.9	14.6	16.7	18.301	18.128	17.056
Ash (%wt)	≤ 2.0	≤ 6.0	< 20	< 10	6.60	2.74	12.54
Chlorine (%wt)	≤ 0.03	< 0.05	< 0.02	< 0.02	0.035	0.028	0.039
Sulfur (%wt)	≤ 0.05	< 0.05	< 0.08	< 0.08	0.68	0.66	0.53
Nitrogen (%wt)	≤ 1.0	< 0.3	< 0.3	< 0.3	0.58	0.36	0.62
Fixed Carbon (%wt)	-	-	-	-	13.73	17.65	11.68
Volatile Matters (%wt)	-	-	-	-	73.55	74.13	70.98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการวิเคราะห์พบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าและเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงปัญหาด้านการเกิดตะกรันจากการเผาไหม้ มีพารามิเตอร์ที่ผ่านตามเกณฑ์ร่างมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดของประเทศไทย ได้แก่

1) เส้นเส้นผ่านศูนย์กลาง มีขนาดประมาณ 8 มิลลิเมตรเท่ากันตามขนาดของหัวอัดของเครื่องอัดเม็ด

2) Mechanical Durability หรือดัชนีความคงทนมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก

3) ความยาว มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 30 – 40 มิลลิเมตร

4) ความชื้น ค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 4.80 – 6.11

5) ค่าความร้อน ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่ามีค่า 18.301 MJ/kg มีค่าสูงกว่า เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา และทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาว ที่มีค่าความร้อนอยู่ที่ 18.128 และ17.056 MJ/kg ตามลำดับ เนื่องจาก ขี้เลื่อยไม้

ยางพารามีค่าความร้อนต่ำกว่าทะลายปาล์มเปล่า และดินขาวเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไม่สามารถเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนได้

6) เถ้า ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า มีปริมาณร้อยละ 6.6 ทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารามีปริมาณเถ้าต่ำกว่าที่ร้อยละ 2.74 เนื่องจากปริมาณเถ้าของขี้เลื่อยไม้ยางพาราต่ำกว่าทะลายปาล์มปาล์ม ส่วนเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาวมีปริมาณเถ้าสูงที่สุด ร้อยละ 12.54

ส่วนพารามิเตอร์ที่ไม่ผ่านร่างมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดของประเทศไทย ได้แก่

1) Bulk density ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า มีค่า 565.21 **kg/m^3** เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยาพาราในอัตราส่วน 1:6 มีค่าความหนาแน่นลดลงเหลือ 545.72 **kg/m^3** และเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาวมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเป็น 570.08 **kg/m^3** เนื่องจากขี้เลื่อยไม้ยางพารามีลักษณะเป็นเศษฟุ้งกระจายมีความหนาแน่นต่ำกว่าทะลายปาล์มเปล่า ส่วนดินขาวมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่าทะลายปาล์มเปล่า

2) คลอรีน ปริมาณคลอรีนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดทั้ง 3 แบบมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วงร้อยละ 0.028 – 0.039

3) ซัลเฟอร์ ปริมาณซัลเฟอร์ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดทั้ง 3 แบบมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วงร้อยละ 0.53 – 0.68 มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ร่างมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดของประเทศไทยหลายเท่าตัว ซึ่งจากเกณฑ์ต้องมีปริมาณต่ำว่าร้อยละ 0.08

4) ไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารามีค่าต่ำสุดอยู่ที่ร้อยละ 0.36 เนื่องจากขี้เลื่อยไม้ยางพารามีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่าทะลายปาล์มเปล่า ส่วนเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า และ ทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาว มีปริมาณไนโตรเจน ร้อยละ 0.58 และ 0.62 ตามลำดับ

เมื่อเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดทั้ง 3 แบบ พบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารามีคุณสมบัติดีที่สุด เมื่อเทียบกับมาตรฐาน Enplus แล้วมีพารามิเตอร์ที่ไม่ผ่านมาตรฐาน ได้แก่ ความหนาแน่น เถ้า และปริมาณซัลเฟอร์ เมื่อเทียบกับมาตรฐานเกาหลีแล้วมีพารามิเตอร์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 3 พารามิเตอร์เช่นกัน ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาณซัลเฟอร์ และปริมาณไนโตรเจน

จะเห็นว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่ามีปริมาณซัลเฟอร์ที่เกินค่ามาตรฐานหลายเท่าตัว จึงไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป แต่สามารถนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีที่มีระบบบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3 ศึกษาการประมาณการค่าใช้จ่าย การลงทุน ต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า

ใช้พารามิเตอร์หลักที่จำเป็นต่อการตัดสินในในการลงทุนทั่วไป ดังนี้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV), อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return, IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period, PB)

สืบเนื่องจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่ามีปริมาณซัลเฟอร์สูง เหมาะสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีระบบบำบัดอากาศที่ดีเท่านั้น ทำให้ราคาขายไม่สามารถสู้กับเชื้อเพลิงอัดเม็ดชนิดอื่นได้ ผู้วิจัยจึงศึกษาราคาขายที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา และ ทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาว ที่ยังมีความน่าสนใจในการลงทุน โดยมีการศึกษาข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์โครงการดังต่อไปนี้

1) รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นและกำหนดสมมติฐานของการวิเคราะห์โครงการ

2.) การวิเคราะห์ผลของโครงการ

4.3.1 รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นและกำหนดสมมติฐานของการวิเคราะห์โครงการ

4.3.1.1 ค่าของตัวแปร (Variable) กำหนดค่าของตัวแปรต่างๆที่จำเป็นต่อการคำนวณวิเคราะห์โครงการ แสดงในตารางที่ 4.5

ตาราง 4.5 ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงการ

รายการ	รายละเอียด
อายุของโครงการ	20 ปี
กำลังการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด	2 ตัน/ชั่วโมง
อัตราคิดลด (Discount Cash Flow)	ร้อยละ 7.1875
ค่าเสื่อมราคา	9 ปีแบบเส้นตรง
อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	ร้อยละ 6.25 (MLR กสิกรไทย 2561)
อัตราผลตอบแทนการลงทุนในหุ้น	ร้อยละ 10
สัดส่วนเงินทุนต่อหนี้สิน	40 : 60
ภาษีเงินได้	ร้อยละ 15 (ประมวลรัษฎากร ปี 2561 กำไรสุทธิ 300,000 – 3,000,000 บาท)

อัตราคิดลด ที่ใช้ในการคำนวณมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดในอนาคต คำนวณจากต้นทุนทางการเงินเฉลี่ยของเงินทุน(WACC) จากสมการที่ (3.5)

โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

WACC = Kd * (1-t) * D/(D+E) + Ke*E/(D+E)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

= (6.25%) * (1-0.15) * 0.6 + 10% * 0.4

= 3.1875% + 4%

= 7.1875%

4.3.1.2 ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นของโครงการ (CAPEX) แสดงในตารางที่ 4.6 (ใช้อัตราแลกเปลี่ยน 31.25 บาทต่อดอลลาร์สหรัฐในการคำนวณ)

ตาราง 4.6 ต้นทุนรวมของโครงการ (CAPEX)

ลำดับที่	รายการ	จำนวน (หน่วย)	ต้นทุนต่อหน่วย	จำนวนเงิน (USD)	จำนวนเงิน (บาท)
1	Crushing Machine	1 เครื่อง	27,500	27,500	859,375
2	Drying unit(hot air furnace, dryer, conveyor, cyclone, dust collector, control system cabinet)	1 ชุด	56,000	56,000	1,750,000
3	Mixing machine	4 เครื่อง	13,000	52,000	1,625,000
4	Pelletizing machine	1 เครื่อง	50,000	50,000	1,562,500
5	Cooling machine	1 เครื่อง	3,000	3,000	93,750
6	packing machine	1 เครื่อง	9,000	9,000	281,250
7	รถตักล้อยาง	2 คัน			4,000,000
รวมเงินลงทุน					10,171,875

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เงินลงทุนโดยประมาณ				10,500,000

ที่มา : สอบถาม supplier จากเว็บไซต์ alibaba ณ วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2561

4.3.1.3 ต้นทุนของโครงการ

แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ต้นทุนวัตถุดิบ (Material Cost) ต้นทุนค่าแรงงาน (Labor Cost) และต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตหรือโสหุ้ย (Factory Overhead Cost)

ต้นทุนวัตถุดิบ ผู้วิจัยศึกษาในกรณีที่บริษัทผลิตน้ำมันปาล์มเป็นผู้ลงทุน ดังนั้นไม่คิดต้นทุนทะลายปาล์มเปล่า มีต้นทุนเฉพาะดินขาว และ ขี้เลื่อยไม้ยางพารา แสดงในตารางที่ 4.7

ตาราง 4.7 ต้นทุนวัตถุดิบ

เชื้อเพลิงอัดเม็ด	วัตถุดิบ	ปริมาณ(ตัน/ปี)	ราคารับซื้อ (บาท/ตัน)	ต้นทุนวัตถุดิบ (บาทต่อปี)
ทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาว	ดินขาว	436.8	635	277,368
ทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา	ขี้เลื่อยไม้ยางพารา (ความชื้น 17.46%)	5,653.8	1,000	5,653,800

กำหนดอัตราปรับเพิ่มขึ้นปีละ 3%

ที่มา : ขี้เลื่อยไม้ยางพาราสำรวจจากผู้ขายจังหวัดกระบี่ ณ วันที่ 1 กรกฎาคม 2561, ดินขาวสำรวจจากผู้ขาย ณ วันที่ 6 พฤศจิกายน 2560

ต้นทุนค่าแรงงาน (Labor cost) เป็นต้นทุนทางตรงในการจ้างบุคลากรทั้งหมดที่ปฏิบัติงาน แสดงในตารางที่ 4.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 4.8 ต้นทุนค่าแรงงาน

ตำแหน่ง	จำนวนคน	อัตราเงินเดือน	ค่าแรงงาน (บาท/ปี)
วิศวกร	2	20,000	480,000
คนงาน	12	12,000	1,728,000
รวมต้นทุนค่าแรงงาน			2,208,000

กำหนดอัตราปรับเพิ่มขึ้นปีละ 5%

ที่มา : (วัลลภ หลวงละ, 2560)

ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตหรือโสหุ้ย (Factory Overhead Cost) เป็นค่าใช้จ่ายทางอ้อมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้า แสดงในตารางที่ 4.9

ตาราง 4.9 ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตหรือโสหุ้ย

รายการ	จำนวน(หน่วย/เดือน)	ราคา(บาทต่อหน่วย)	รวม(บาทต่อปี)
ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร			120,000
ค่าน้ำ	10,000	15	1,800,000
ค่าไฟฟ้า	67,608	3	2,433,900
ค่าน้ำมัน	3,500	25	1,050,000
รวมค่าโสหุ้ย			6,483,900

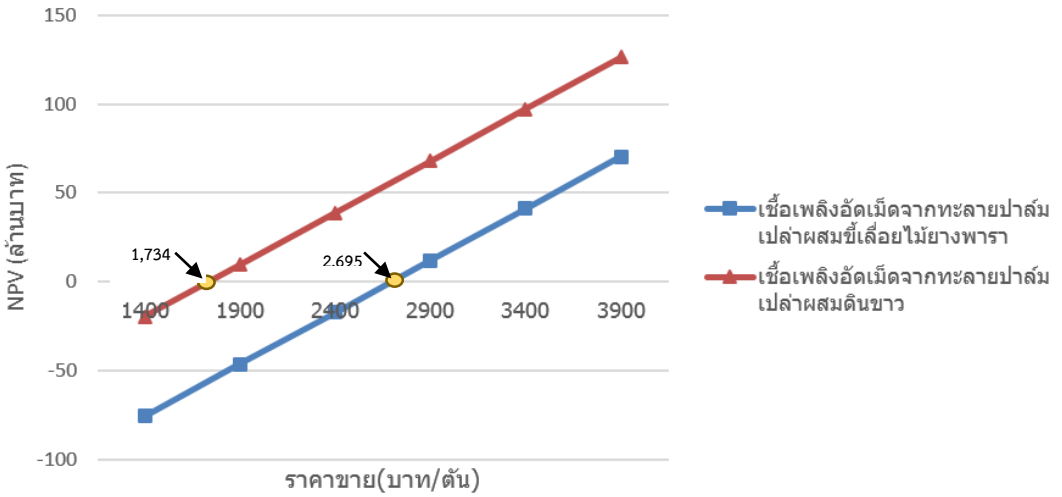
ตารางที่ กำหนดให้มีอัตราเพิ่มขึ้นปีละ 2%

ที่มา : (วัลลภ หลวงละ, 2560)

4.3.2 การวิเคราะห์ผลของโครงการ

เป็นการประเมินโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยทำการวิเคราะห์โครงการจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PB)

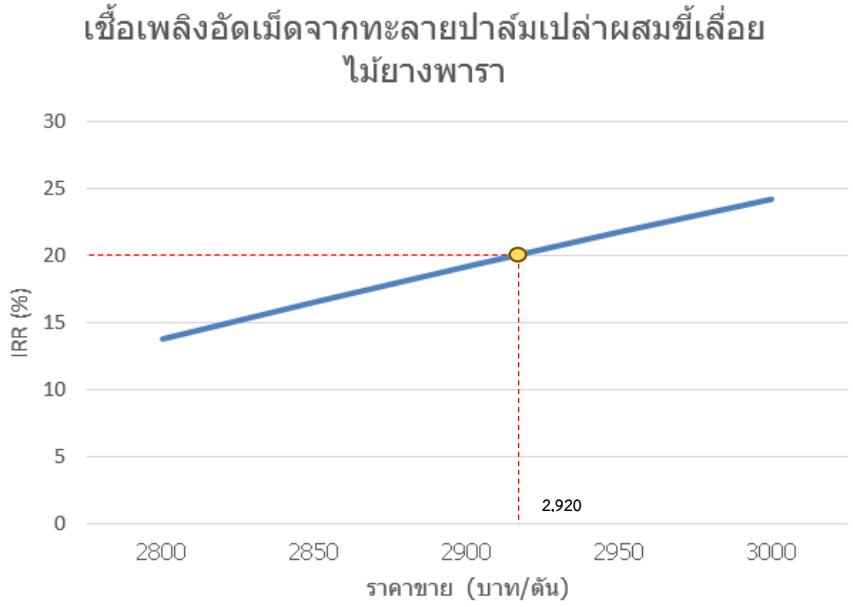
สมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าที่ได้มีคุณภาพโดยรวมได้มาตรฐานซื้อขายยกเว้นปริมาณซัลเฟอร์ที่สูงเกินมาตรฐานหลายเท่าตัวทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งานและมีปริมาณเถ้าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับชีวมวลชนิดอื่นโดยเฉพาะเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาว ในขั้นต้นผู้วิจัยจึงศึกษาราคาขาย ณ จุดคุ้มทุน (Break Even Point) เพื่อประเมินโครงการเบื้องต้นและวิเคราะห์ราคาขายที่มีความเป็นไปได้ต่อไป มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ราคาขายต่างๆแสดงใน รูปที่ 4.6



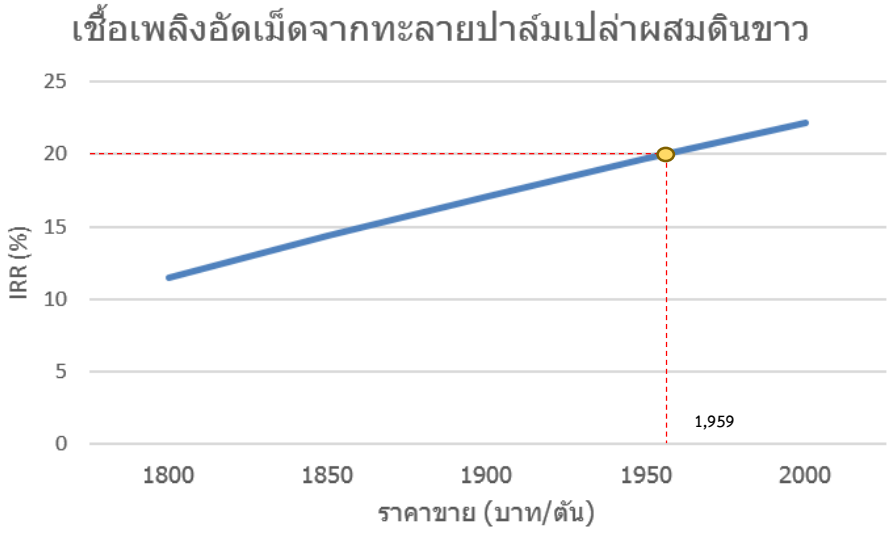
รูปที่ 4.6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ราคาขายต่างๆ

เมื่อวิเคราะห์ราคาขายของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่คุ้มทุน พบว่า เชื้อเพลิงอัดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา และเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาวมีจุดคุ้มทุน ณ ที่

ราคาขาย 2,695 และ 1,734 ตามลำดับ จากนั้นผู้วิจัยจึงหาราคาขายที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดทั้ง 2 แบบ โดยกำหนดให้มีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 20% แสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง IRR และราคาขายของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง IRR และราคาขายของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาว

ราคาซื้อขายเชื้อเพลิงอัดเม็ดของตลาดโลกจากค่าเฉลี่ยการสำรวจด้วยแบบสอบถามอยู่ที่ 3,000 – 4,000 บาทต่อตันขึ้นอยู่กับคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ส่วนเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ซื้อขายใช้กัน

ในประเทศไทยจะมีคุณภาพต่ำถึงปานกลาง (นฤมล ภานุนำภา และคณะ,2560) โดยมีราคาขายประมาณตันละ 2,500 - 3,200 บาท

จากการวิเคราะห์ราคาขายของเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยกำหนดให้มีอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 20 ราคาขายของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพาราอยู่ที่ประมาณ 2,920 บาท/ตัน ใกล้เคียงกับราคาเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ซื้อขายกันในประเทศไทย มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 13,134,581 บาท ระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 2 เดือน แต่เนื่องจากปริมาณซัลเฟอร์ที่สูงเกินมาตรฐาน ในราคานี้อาจจะไม่เป็นที่สนใจจากผู้ซื้อ

ส่วนเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา ราคาขายเชื้อเพลิงอัดเม็ดอยู่ที่ประมาณ 1,960 บาท/ตัน เป็นราคาที่ต่ำกว่าราคาซื้อขายเชื้อเพลิงอัดเม็ดในประเทศไทยมาก มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 13,139,329 บาท ระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 2 เดือน แต่เนื่องจากปริมาณซัลเฟอร์ที่สูงจึงเหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีระบบบำบัดอากาศที่ดี คือ โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ โรงไฟฟ้า โรงปูนซีเมนต์ เป็นต้น

จากการสำรวจคุณภาพถ่านหินที่นำเข้าจากต่างประเทศ พบว่ามีค่าความร้อนเฉลี่ย 5,244 kcal/kg ปริมาณเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 18 และปริมาณซัลเฟอร์เฉลี่ยร้อยละ 1.15 (เสกสรร แสงดาว และ ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์, 2556) เมื่อเทียบกับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาว พบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านหิน (17.056 MJ/kg หรือเท่ากับ 4,076kcal/kg) แต่มีปริมาณเถ้า และซัลเฟอร์ที่ต่ำกว่าถ่านหินด้วย และเมื่อเทียบกับราคาถ่านหินที่มีราคา 105 USD/Ton (ราคาถ่านหินประเทศออสเตรเลีย เดือนเมษายน 2561) เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาวมีราคาที่ต่ำกว่ามาก ดังนั้นเหมาะที่จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงร่วมในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมบัติเปรียบเทียบความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลงทุนผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรุงแต่งเพื่อลดการเกิดตะกรัน 2 แนวทาง คือ การเจือจางองค์ประกอบโพแทสเซียมโดยการผสมกับขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีองค์ประกอบโพแทสเซียม และการเติมดินขาวเพื่อให้ทำปฏิกิริยาโพแทสเซียม พบว่า เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้มีสมบัติส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ได้แก่ Mechanical Durability Moisture เถ้า และ Heating Value ยกเว้นปริมาณไนโตรเจน คลอรีน และซัลเฟอร์ โดยเฉพาะปริมาณซัลเฟอร์ซึ่งมีค่าสูงกว่าปริมาณที่กำหนดมาก เมื่อประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน พบว่า เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาว ราคาขาย 1,960 บาทต่อตัน มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 13,139,329 บาท ระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 2 เดือน จากราคาและสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านหิน

ข้อเสนอแนะ

1. การลดปัญหาการเกิด SO_2 จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีปริมาณ S สูง สามารถทำได้โดยผสมสารเติมแต่งจำพวก Calcite ($CaCO_3$) แต่การเติม Calcite ไม่เหมาะกับเชื้อเพลิงที่มีตะกรันจากการเผาไหม้สูง มีงานวิจัยพบว่าการเผาไหม้ไม้โอ๊ตเกิดตะกรัน 40 กรัม หากเติม Precipitated Calcite ร้อยละ 2 และ Ground Calcite ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของไม้โอ๊ต ทำให้มีตะกรันเพิ่มขึ้นเป็น 220 และ 63 กรัมตามลำดับ
2. ควรศึกษาปริมาณดินขาวที่เหมาะสมในการใช้เป็นสารเติมแต่งของชีวมวลแต่ละประเภท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Dan Bostrom, A. G., Christoffer Boman, Emilia Bjornbom and Marcus Ohman. (2009). Influence of kaolin and calcite additives on ash transformations in small-scale combustion of oat.

European Pellet Council. (2015). ENplus Handbook[Online]. Retrieved 3 July 2018 https://enplus-pellets.eu/en-in/component/attachments/?task=download&id=103

Frandsen Flemming, H. J., Jensen Peter A., Dam-Johansen, Kim, Horlyck Steffen and Karlsson Asger,. (2003). Ash and deposit formation in the biomass co-fired Masnedo combined heat and power production plant.

Hanne Philbert Michelsen, F. F., Kim Dam-Johansen and Ole Hede Larsen. (1998). Deposition and high temperature corrosion in a 10 MW straw fired boiler.

Korea Forest Research Institute. (2014). Standard and Specification of Wood Products[Online]. Retrieved 3 July 2018 http://itpc-busan.kr/wp-content/uploads/2015/08/Standard-and-Specifications-for-Wood-Product.compressed.pdf

Rasma Platace, A. A. d. a. I. G. (2013). Assessment of factors influencing potassium content in osier pellets,.

Srikandi Novianti, I. N. Z., Anissa Nurdiawati and Kunio Yoshikawa. (2016). Low potassium content pellet production by hydrothermal-washing co-treatment.

Wageningen Ur, F. B. R. (2013). Valorization of palm oil (mill) residues. Identifying and solving the challenges[Online]. Retrieved 3 July 2018 http://edepot.wur.nl/288880

Yuanyuan Shao, J. W., Fernando Preto, Jesse Zhu and Chunbao (Charles) Xu. (2012). Ash Deposition in Biomass Combustion or Co-Firing for Power/Heat Generation.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2555). รายงานฉบับผู้บริหาร โครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของ Biomass pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับอนาคต[Online].

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Retrieved 3 กรกฎาคม 2561 http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib15106_รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร.pdf

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). ผลการประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลแต่ละชนิด[Online]. Retrieved 3 กรกฎาคม 2561 http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html,2556

วัลลภ หลวงละ. (2560). การประเมินความเป็นไปได้ของโรงงานผลิตไม้สับจากประเทศกัมพูชา.

สำนักงานเกษตรจังหวัดชุมพร. ปาล์มน้ำมัน : มุมมองการพัฒนาในอนาคต[Online]. Retrieved 3 กรกฎาคม 2561 http://www.chumphon.doae.go.th/sara/palm01.html

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร(องค์การมหาชน). (2560). การแปรรูปปาล์มน้ำมัน[Online]. Retrieved 3 กรกฎาคม 2561 http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/palm/used/01-02.php

สำนักนโยบายและแผนสำนักงานปลัดกระทรวงมหาดไทย. (2560). ข้อมูลนโยบายด้านการเกษตร ปี 2560[Online]. Retrieved 3 กรกฎาคม 2561 http://www.mukdahan.go.th/muk_download/pdf/428.pdf

สุขสวัสดิ์ คงกล้า และ ฐานิตย์ เมธิยานนท์. (2554). ผลกระทบและแนวทางการแก้ปัญหาการเกิดฟาวลิ่งบนท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งจากเผาไหม้วัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้นบันได.

สุทิน พรชัยสุรีย์. (2558, 1 กุมภาพันธ์ 2558). จดหมายข่าวเครือข่ายพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางและไม้ยางพารา.

เสกสรร แสงดาว และ ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์. (2556). คุณภาพถ่านหินสำหรับโรงไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานคุณภาพอากาศ.

อุกฤษฎ์ สหพัฒน์สมบัติ, ป. อ., เอกรัตน์ ไวยนิตย์ และ ธนกร ตันธนวัฒน์,. (2551). การศึกษาเบื้องต้นถึงคุณภาพของชีวมวลสำหรับเชื้อเพลิงไม้อัดแท่ง.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ตารางวิเคราะห์โครงการการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา และทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โครงการ	ผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา	
เงินลงทุนเริ่มต้น :	10,500,500	บาท
อายุของโครงการ :	20	ปี
WACC :	7.1875 %	
MLR :	6.25 %	
D : E Ratio	60 : 40	
อัตราภาษี	15 %	
ค่าเสื่อมราคา	9	ปีแบบเส้นตรง
ราคาขาย	2,920	บาท/ตัน

รายการ/ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
เงินลงทุน	-10,500,000									
รายรับ		16,352,000	16,842,560	17,347,837	17,868,272	18,404,320	18,956,450	19,525,143	20,110,897	20,714,224
รายจ่าย										
ค่าแรงงาน		2,208,000	2,318,400	2,434,320	2,556,036	2,683,838	2,818,030	2,958,931	3,106,878	3,262,222
ค่าวัตถุดิบ		5,653,824.4	5,823,439	5,998,142	6,178,087	6,363,429	6,554,332	6,750,962	6,953,491	7,162,096
ค่าโสหุ้ย		6,483,900	6,613,578	6,745,850	6,880,767	7,018,382	7,158,750	7,301,925	7,447,963	7,596,922
depreciation		1,166,666.7	1,166,667	1,166,667	1,166,667	1,166,667	1,166,667	1,166,667	1,166,667	1,166,667
Taxable										
income		839,608.93	920,476.2	1,00,2858	1,086,716	1,172,005	1,258,672	1,346,659	1,435,899	1,526,318
Tax		125,941.34	138,071.4	150,428.7	163,007.4	175,800.7	188,800.8	201,998.8	215,384.9	228,947.7
กระแสเงินสด										
สุทธิ	-10,500,000	1,880,334.3	1,949,071	2,019,096	2,090,375	2,162,871	2,236,538	2,311,327	2,387,181	2,464037

รายการ/ปีที่	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
เงินลงทุน											
รายรับ	21,335,651	21,975,721	22,634,992	23,314,042	24,013,463	24,733,867	25,475,883	26,240,160	27,027,364	27,838,185	28,673,331
รายจ่าย											
ค่าแรงงาน	3,425,333	3,596,599	3,776,429	3,965,251	4,163,513	4,371,689	4,590,273	4,819,787	5,060,776	5,313,815	5,579,506
ค่าวัตถุดิบ	7,376,958	7,598,267	7,826,215	8,061,002	8,302,832	8,551,917	8,808,474	9,072,728	9,344,910	9,625,258	9,914,015
ค่าโสหุ้ย	7,748,861	7,903,838	8,061,915	8,223,153	8,387,616	8,555,368	8,726,476	8,901,005	9,079,025	9,260,606	9,445,818
depreciation											
Taxable											
income	2,784,499	2,877,016	2,970,433	3,064,637	3,159,502	3,254,893	3,350,660	3,446,639	3,542,652	3,638,507	3,733,992
Tax	417,674.9	431,552.4	445,565	459,695.5	473,925.3	488,234	502,599	516,995.8	531,397.9	545,776	560,098.8
กระแสเงินสด											
สุทธิ	2,366,824	2,445,464	2,524,868	2,604,941	2,685,577	2,766,659	2,848,061	2,929,643	3,011,255	3,092,731	3,173,893

NPV	13,134,581 บาท
IRR	20 %
PB	5 ปี 2 เดือน

โครงการ	ผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่าผสมดินขาว	
เงินลงทุนเริ่มต้น :	10,500,500	บาท
อายุของโครงการ :	20	ปี
WACC :	7.1875 %	
MLR :	6.25 %	
D : E Ratio	60 : 40	
อัตราภาษี	15 %	
ค่าเสื่อมราคา	9	ปีแบบเส้นตรง
ราคาขาย	1,960	บาท/ตัน

รายการ/ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
เงินลงทุน	-10,500,000									
รายรับ		10,976,000	11,305,280	11,644,438	11,993,772	12,353,585	12,724,192	13,105,918	13,499,096	13,904,068
รายจ่าย										
ค่าแรงงาน		2,208,000	2,318,400	2,434,320	2,556,036	2,683,838	2,818,030	2,958,931	3,106,878	3,262,222
ค่าวัตถุดิบ		277,368	285,689	294,259.7	303,087.5	312,180.1	321,545.5	331,191.9	341,127.7	351,361.5
ค่าโสหุ้ย		6,483,900	6,613,578	6,745,850	6,880,767	7,018,382	7,158,750	7,301,925	7,447,963	7,596,922
depreciation		1,166,666.7	1,166,667	1,166,667	1,166,667	1,166,667	1,166,667	1,166,667	1,166,667	1,166,667
Taxable										
income		840,065.33	920,946.3	1,003,342	1,087,215	1,172,518	1,259,201	1,347,204	1,436,460	1,526,896
Tax		126,009.8	138,141.9	150,501.4	163,082.2	175,877.7	188,880.1	202,080.6	215,469.1	229,034.5
net cash flow	-10,500,000	1,880,722.2	1,949,471	2,019,508	2,090,799	2,163,307	2,236,987	2,311,790	2,387,658	2,464,529

รายการ/ปีที่	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
เงินลงทุน											
รายรับ	14,321,190	14,750,826	15,193,351	15,649,151	16,118,626	16,602,185	17,100,250	17,613,258	18,141,656	18,685,905	19,246,482
รายจ่าย											
ค่าแรงงาน	3,425,333	3,596,599	3,776,429	3,965,251	4,163,513	4,371,689	4,590,273	4,819,787	5,060,776	5,313,815	5,579,506
ค่าวัตถุดิบ	361,902.3	372,759.4	383,942.2	395,460.4	407,324.3	419,544	432,130.3	445,094.2	458,447	472,200.5	486,366.5
ค่าโสหุ้ย	7,748,861	7,903,838	8,061,915	8,223,153	8,387,616	8,555,368	8,726,476	8,901,005	9,079,025	9,260,606	9,445,818
depreciation											
Taxable											
income	2,785,095	2,877,630	2,971,065	3,065,287	3,160,172	3,255,584	3,351,371	3,447,371	3,543,407	3,639,284	3,734,792
Tax	417,764.2	431,644.4	445,659.7	459,793.1	474,025.9	488,337.5	502,705.6	517,105.7	53,1511	545,892.6	560,218.8
กระแสเงินสด											
สุทธิ	2,367,331	2,445,985	2,525,405	2,605,494	2,686,147	2,767,246	2,848,665	2,930,266	3,011,896	3,093,391	3,174,573

NPV	13,139,329 บาท
IRR	20 %
PB	5 ปี 2 เดือน

UNIVERSITY จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกษิเดช สาลีพัฒนา เกิดวันที่ 5 มิถุนายน 2536 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปี พ.ศ. 2558 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2559

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY