การประเมินความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

รัฐกร สวัสดิ์แดง

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองเสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ตุลาคม 2561

การประเมินความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

รัฐกร สวัสดิ์แดง

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองเสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ตุลาคม 2561

EVALUATION OF BIOMASS PELLETS PRODUCTION FROM COFFEE ENDOCARP

RATTAKORN SAWADDANG

An Independent Study in Partial Fulfillment of Requirements

for the Master of Engineering in Environmental Engineering

October 2018

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง

เรื่อง

การประเมินความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

ของ รัฐกร สวัสดิ์แดง

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง

(ดร. ศักดิ์สิทธิ์ อิ่มแมน)

---------- คณบดีวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม

(รองศาสตราจารย์ ดร. ต่อพงศ์ กรีธาชาติ)

เรื่อง: การประเมินความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

ผู้ศึกษาค้นคว้า: รัฐกร สวัสดิ์แดง, การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง: วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร. ศักดิ์สิทธิ์ อิ่มแมน

คำสำคัญ เชื้อเพลิงชีวมวล, เปลือกกะลากาแฟ, ก๊าซเรือนกระจก

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่อง การประเมินความเหมาะสมการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ เป็นการศึกษาความเหมาะสมการจัดการเปลือกกะลากาแฟ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการสีกาแฟ โดยนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ด้วยกระบวนการอัดร้อน (Hot Press Process) ใช้แป้งมันสำปะหลังและน้ำเป็นตัวประสาน การศึกษาแบ่งเป็น 4 ส่วนคือ 1) การศึกษาความเหมาะสมทางเทคนิคประกอบด้วยการหาค่าสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างเปลือกกะลากาแฟต่อแป้งมันต่อน้ำ ซึ่งเป็นตัวประสานในการอัดชีวมวลให้ออกมาเป็นเม็ดที่แข็งแรง และทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM 2) การวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในรูปแบบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเปรียบเทียบกับการใช้ฟืนและก๊าซ LPG 3) การศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์และความคุ้มทุนของโครงการ 4) การประยุกต์นำชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟไปใช้เป็นเชื้อเพลิงประกอบอาหารในครัวเรือน ผลการศึกษาพบว่าชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟมีค่าความร้อนอยู่ที่ 18.2 MJ/kg มีค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น และปริมาณเถ้า เท่ากับ 530kg/m^3 , 11.66 % และ 0.93 % ตามลำดับ และชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ 100 กิโลกรัม ปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ 23.24 กิโลกรัม น้อยกว่าก๊าซ LPG และฟืนจากไม้กระถินยักษ์ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก 41.22 และ 73.85 กิโลกรัม ในปริมาณที่เท่ากันตามลำดับ การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ มีเป้าหมายผลิตชีวมวลอัดเม็ดวันละ 371 กิโลกรัม ตั้งจำหน่ายในราคา 6.5 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งโครงการนี้สามารถคืนทุนได้ภายใน 2.79 ปี หรือประมาณ 2 ปี 289 วัน การทดสอบใช้ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ 300 กรัม ประกอบอาหารในครัวเรือน สามารถให้ความร้อนที่ดีและต่อเนื่องระยะเวลาประมาณ 70 นาที

Title: EVALUATION OF BIOMASS PELLETS PRODUCTION FROM COFFEE ENDOCARP

Author: Rattakorn Sawaddang, Independent Study: M.Eng. (Environmental Engineering), University of Phayao, 2018

Advisor: Dr. Saksit Imman

Keyword Biomass, Coffee Endocarp, Greenhouse Gas

ABSTRACT

The objective of this research is to study the technical feasibility of biomass pellet production from coffee endocarp , which are agricultural residues from coffee processing in order to transform them into alternative energy source. The biomass pellets in this research was produced by hot-press process technique mixing with water and tapioca starch. The feasibility study consists of 4 parts 1) Fuel properties of the pellets 2) environmental benefit in term of greenhouse gas emission compared with firewood from Leucaena leucocepphala and LPG gas 3) The Economic study for investment 4) Application of the biomass pellets in household as an alternative energy The result showed that ASTM standards, the heating value of pellets was 18.2 MJ/kg and bulk density, moisture content, and ash were 530kg/m^3 , 11.66 % , 0.93 % respectively. The 100 kg. of biomass pellets from coffee endocarp release 23.24 kg. of greenhouse gas.Which is less than the greenhouse gas releaseed by LPG gas and firewood from Leucaena leucocepphala that release 41.22 and 73.85 kg. respectively. From the study about Economics the production of pellets per day is 371 kg and cost are 6.5 Baht per kg. The return on investment period is 2.79 years. Finally the test result showed that 300 g. biomass pellets used as household energy for cooking provided good flame and heat continuously about 70 minutes.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ศักดิ์สิทธิ์ อิ่มแมน และอาจารย์จากวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยฉบับนี้ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ ในการให้การสนับสนุนการทดลองใช้เครื่องอัดชีวมวล ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา ในการสนับสนุนเครื่องมือในการหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ และขอขอบคุณโครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จ.เชียงราย ในการสนับสนุนเปลือกกะลากาแฟที่นำมาทดลองอัดเม็ดและศึกษาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ จนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รัฐกร สวัสดิ์แดง

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

หน้า

สารบัญภาพ

หน้า

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชน และเป็นปัจจัยพื้นฐานการผลิตในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมของทุกประเทศทั่วโลก ดังนั้นจึงต้องมีการจัดหาพลังงานที่มีคุณภาพที่ดี ให้พลังงานสูงและปล่อยมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อย มีปริมาณที่เพียงพอมีราคาที่เหมาะสมสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ในกิจกรรมการผลิตต่าง ๆ พลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ พลังงานสิ้นเปลือง และพลังงานหมุนเวียน โดยพลังงานสิ้นเปลือง คือ พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เช่น ถ่านหิน น้ำมันดิบ น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ ส่วนพลังงานหมุนเวียน คือ พลังงานที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องไม่มีวันหมดเช่น พลังงานจากน้ำ แสงอาทิตย์ ลม คลื่น ชีวมวล เป็นต้น

ประเทศภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมทั้งประเทศไทย มีความต้องการใช้พลังงานในแนวโน้มที่สูงขึ้น โดยเฉพาะความต้องการใช้พลังงานจากน้ำมันสำเร็จรูป ซึ่งเป็นไปตามอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร สภาพเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมที่เจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น จากการคาดการณ์ ในปี พ.ศ. 2573 ประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานจากน้ำมันสำเร็จรูปประมาณ 74 ล้านตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งมากกว่าความต้องการในปี พ.ศ. 2558 จำนวน 1.6 เท่าและมากกว่าความต้องการในปี พ.ศ. 2548 จำนวน 1.90 เท่า พลังงานจากน้ำมันสำเร็จรูปนี้เป็นพลังงานสิ้นเปลืองที่มีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ และอาจจะหมดลงในอนาคต จากสถานการณ์ดังกล่าวประเทศไทยจะต้องมีการปรับตัวด้านพลังงานเพื่อให้มีเสถียรภาพความมั่นคงทางพลังงาน จัดหาพลังงานทดแทนพลังงานหลักที่นับวันยิ่งลดปริมาณลง การพัฒนาพลังงานทดแทนโดยใช้วัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงภายในประเทศจึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่ง

เชื้อเพลิงจากชีวมวลอัดเม็ด เป็นหนึ่งในทางเลือกการพัฒนาชีวมวลให้เป็นพลังงานทดแทน โดยนำวัสดุเหลือใช้ในภาคการเกษตร เช่น ซังข้าวโพด ฟางข้าว เหง้ามันสำปะหลัง กะลาปาล์มน้ำมัน มาผลิตโดยการอัดเม็ด เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น รูปแบบพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ ที่ทดแทนการเผาไหม้ชีวมวลแบบเดิมที่มีคุณสมบัติความร้อนที่ต่ำ ซึ่งกรณีนี้ต้องใช้ปริมาณชีวมวลสูง ส่งผลถึงต้นทุนการผลิตและค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูงตามไปด้วย ชีวมวลอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีปริมาณความเข้มข้นของพลังงานความ

ร้อนสูงแต่มีปริมาตรน้อยสะดวกในการจัดเก็บการขนส่งและการแปลงเป็นพลังงาน ดังนั้นชีวมวลอัดเม็ดจึงเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่จะช่วยตอบสนองความต้องการพลังงานภายในประเทศที่สูงขึ้น เพิ่มการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ลดการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลจากต่างประเทศ รวมถึงลดการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

เปลือกกะลากาแฟ (Endocarp) เป็นแผ่นเปลือกบาง ๆ ที่ห่อหุ้มเมล็ดกาแฟด้านในเป็นวัสดุเหลือจากการสีกาแฟเพื่อให้ได้เม็ดกาแฟ ในพื้นที่โครงการพัฒนาดอยตุง ส่งเสริมให้ชาวบ้านในพื้นที่ 27 หมู่บ้าน รวม 678 หลังคาเรือน ปลูกกาแฟอาราบิก้ามาตั้งแต่ปี 2533 จนถึงปัจจุบัน เพื่อเป็นแหล่งรายได้ของครอบครัวทดแทนการปลูกฝิ่นในอดีต โดยโครงการฯ รับซื้อผลผลิตตามราคาตลาดโลก มีเจ้าหน้าที่ให้ความรู้เรื่องการพัฒนาผลผลิตกาแฟให้มีคุณภาพที่ดี มีรสชาติที่ดี มีกลิ่นหอมและสามารถเพิ่มผลผลิตต่อต้นให้มีปริมาณสูง ปัจจุบันในพื้นที่โครงการพัฒนาดอยตุงมีแปลงปลูกกาแฟรวมประมาณ 9,270 ไร่ ซึ่งปลูกใต้ป่าธรรมชาติตั้งแต่ระดับความสูง 600–1,400 เมตรจากระดับน้ำทะเล แปลงปลูกกาแฟเป็นป่าเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้ชาวบ้านในพื้นที่มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ในปี พ.ศ. 2560/2561 โครงการฯรับซื้อผลผลิตกาแฟสดจากชาวบ้านจำนวนรวม 1,056.5 ตัน มูลค่ารวม 20.3 ล้านบาท จากผลผลิตกาแฟสดจำนวน 1,056.5 ตัน ก่อให้เกิดเปลือกกะลากาแฟจากการสีกาแฟประมาณ 50.7 ตัน ซึ่งเปลือกกะลากาแฟนี้ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ ให้เกิดประโยชน์ โดยทั่วไปนิยมกำจัดโดยการเผา การทำเป็นวัสดุปลูก และการปล่อยให้ย่อยสลายโดยธรรมชาติ เปลือกกะลากาแฟสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นชีวมวลอัดเม็ด เพื่อเป็นการนำของเหลือมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเป็นทางเลือกในการจัดการด้านพลังงานที่มีประสิทธิภาพทางกายภาพ เช่น มีค่าความร้อนที่สูง ค่าความชื้นที่เหมาะสม รวมถึงความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์และด้านสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยฉบับนี้จึงเป็นการทดลองอัดเม็ดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ เพื่อประเมินความเหมาะสมในการผลิตชีวมวลอัดเม็ด ทั้งในด้านส่วนประกอบในการอัดให้เป็นเม็ด การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง การเสนอแนะการปรับปรุงคุณภาพชีวมวลให้มีมาตรฐานที่ดีขึ้น รวมถึงให้ความสำคัญกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลก โดยมีการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการอัดเม็ดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ เปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาซึ่งเชื้อเพลิงอื่นในปริมาณที่เท่ากัน ได้แก่ ไม้กระถินยักษ์และก๊าซ LPG ซึ่งเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารของประชาชนทั่วไปในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ต้นทุน ความคุ้มทุน ของโครงการอัดเม็ดชีวมวล เพื่อประมาณ

การ หากจะมีการลงทุนสร้างโรงงานอัดเม็ดชีวมวล จะสามารถคาดการณ์ผลผลิตเม็ดชีวมวลต่อวัน การตั้งราคาต่อหน่วย รวมถึงการคำนวณระยะเวลาความคุ้มทุนของโครงการ ว่าเหมาะสมต่อการลงทุนหรือไม่อย่างไร และประเด็นสุดท้าย การทดลองใช้ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในระดับครัวเรือน ศึกษารูปแบบการเผาไหม้ให้ความร้อน ระยะเวลาการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ประเภทเปรียบเทียบกันคือ ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ ฟืนจากไม้กระถินยักษ์และก๊าซ LPG โดยมีการประเมินข้อดีข้อเสีย ข้อจำกัดและสรุปผลการทดลอง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อทดลองอัดเม็ดชีวมวลและศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟและศึกษาศักยภาพของเปลือกกะลากาแฟในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล

2. เพื่อศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของโครงการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

3. เพื่อศึกษาศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์และความเป็นไปได้ในการนำชีวมวลอัดเม็ดไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน

ขอบเขตการวิจัย

1. ทดลองอัดเม็ดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟจากพื้นที่โครงการพัฒนาดอยตุง ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร โดยกระบวนการอัดร้อน ด้วยเครื่องอัดชีวมวลแบบจานหมุน มีตัวประสานคือแป้งมันสำปะหลังและน้ำ ปรับสัดส่วนให้เหมาะสมเพื่อสามารถอัดชีวมวลให้ออกมามีความแข็งแรง ผิวเม็ดมันวาว ไม่แตกหักง่าย

2. ทดสอบคุณสมบัติของชีวมวลอัดเม็ด ได้แก่ ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณขี้เถ้า ปริมาณสารระเหย ความหนาแน่นรวมตามมาตรฐาน ASTM

3. นำมาตรฐานการรับซื้อชีวมวลอัดเม็ดระดับกลางจากกลุ่มประเทศยุโรป ประเทศสวีเดน ประเทศเกาหลีใต้และประเทศไทย มาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ

4. คำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงการอัดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ 100 กิโลกรัมเปรียบเทียบกับกรณีการปลูกต้นกระถินยักษ์ให้ได้ฟืน 100 กิโลกรัมและการผลิตก๊าซ LPG 100 กิโลกรัม แบบ B2B

5. วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในเรื่องต้นทุนการผลิต ค่าจ้างแรงงาน ราคาขายต่อกิโลกรัม คำนวณจุดคุ้มทุนของโครงการ และสรุปผล

6. ทดสอบการใช้งานชีวมวลอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนเปรียบเทียบกับฟืนจากไม้กระถินยักษ์และก๊าซ LPG สรุปข้อดี–ข้อด้อยของการใช้งานในครัวเรือน

ประโยชน์ที่จะได้จากการวิจัย

1. สามารถทราบถึงคุณสมบัติของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

2. สามารถนำชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ ทดแทนการใช้พลังงานในครัวเรือน เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและลดการเผาในที่โล่ง

3. เปลือกกะลากาแฟสามารถเป็นตัวเลือกในการนำมาผลิตชีวมวลอัดเม็ดที่มีคุณภาพดี และวัตถุดิบหาง่ายในพื้นที่โครงการพัฒนาดอยตุง

4. สามารถนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงานสูงสุด

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP2015)

ประเทศภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมทั้งประเทศไทย มีความต้องการใช้พลังงานในแนวโน้มที่สูงขึ้น โดยเฉพาะความต้องการใช้พลังงานจากน้ำมันสำเร็จรูป ซึ่งเป็นไปตามอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร สภาพเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมที่เจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง พลังงานจากน้ำมันสำเร็จรูปนี้เป็นพลังงานสิ้นเปลืองที่มีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ และอาจจะหมดลงในอนาคต จากสถานการณ์ดังกล่าว ประเทศไทยจะต้องมีการปรับตัวด้านพลังงานเพื่อให้มีเสถียรภาพความมั่นคงทางพลังงาน จัดหาพลังงานทดแทนพลังงานหลักที่นับวันยิ่งลดปริมาณลง การพัฒนาพลังงานทดแทนโดยใช้วัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงภายในประเทศจึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่ง

ตาราง 1 แนวโน้มความต้องการใช้น้ำมันสำเร็จรูปในประเทศกลุ่มเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ประเทศ	ความต้องการใช้น้ำมันสำเร็จรูปรายปี(หน่วย:ล้านตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ					
	2533	2543	2548	2549	2558	2573
บูรไน	0.3	0.5	0.6	0.5	0.7	0.9
กัมพูชา	0.4	0.6	0.9	1	1.8	4.3
อินโดนีเซีย	27.6	47.2	52.4	48.7	66.1	109.2
ลาว	0.2	0.2	0.3	0.2	0.7	1.5
มาเลเซีย	10	19.6	23	22.9	31	52.3
พม่า	0.6	1.5	1.8	1.7	3	6.8
ฟิลิปปินส์	7.3	13.6	12.7	12	14.7	21.2
สิงคโปร์	5.7	7.9	12.9	13.4	15.7	18.9
ไทย	**16.7**	**30.2**	**38.8**	**39.1**	**46**	**74**
เวียดนาม	2.4	6.8	12	11.9	21.5	54.7

กระทรวงพลังงาน ดำเนินการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan) หรือ AEDP2015 ให้ความสำคัญในการส่งเสริมการผลิตพลังงานทดแทน ในช่วงปี พ.ศ. 2558-2579 โดยใช้วัตถุดิบที่มีในประเทศให้เต็มศักยภาพมากที่สุดการใช้เทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมในการผลิตพลังงานทดแทน การพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อประโยชน์ในมิติด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม โดยมีเป้าหมายในปี พ.ศ. 2579 ให้มีสัดส่วนพลังงานทดแทน ร้อยละ 30 ต่อการใช้งานพลังงานขั้นสุดท้าย

ตาราง 2 เป้าหมายตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทน ปี พ.ศ. 2579

ที่	ประเภทพลังงาน	เป้าหมายปี 2579	
	ไฟฟ้า	**พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ**	**5,588.24**
		เมกะวัตต์	**19,684.40**
1	ขยะชุมชน	เมกะวัตต์	500.00
2	ขยะอุตสาหกรรม	เมกะวัตต์	50.00
3	ชีวมวล	เมกะวัตต์	5,570.00
4	ก๊าซชีวภาพ(น้ำเสีย/ของเสีย)	เมกะวัตต์	600.00
5	พลังน้ำขนาดเล็ก	เมกะวัตต์	376.00
6	ก๊าซชีวภาพ(พืชพลังงาน)	เมกะวัตต์	680.00
7	พลังงานลม	เมกะวัตต์	3,002.00
8	พลังงานแสงอาทิตย์	เมกะวัตต์	6,000.00
9	พลังน้ำขนาดใหญ่	เมกะวัตต์	2,906.00
ที่	**ความร้อน**	**พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ**	**25,088.00**
1	พลังงานขยะ	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	495.00
2	ชีวมวล	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	22,100.00
3	ก๊าซชีวภาพ	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	1,283.00
4	พลังงานแสงอาทิตย์	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	1,200.00
5	พลังงานความร้อนทางเลือกอื่น	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	10.00
ที่	**เชื้อเพลิงชีวภาพ**	**พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ**	**8,712.43**
1	ไบโอดีเซล	ล้านลิตร/วัน	14.00
2	เอทานอล	ล้านลิตร/วัน	11.30
3	น้ำมันไพโรไลซีส	ล้านลิตร/วัน	0.53

ตาราง 2 (ต่อ)

ที่	ประเภทพลังงาน เชื้อเพลิงชีวภาพ	เป้าหมายปี 2579 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	8,712.43
4	ก๊าซไบโอมีเทนอัด	ตัน/วัน	4,800.00
5	เชื้อเพลิงทางเลือกอื่น	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	10.00
การใช้พลังงานทดแทน (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)			**39,388.67**
การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)			**131,000.00**
สัดส่วนพลังงานทดแทนต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (%)			**30**

ในปี พ.ศ. 2579 ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทน พลังงานไฟฟ้ามีเป้าหมายจากวัตถุดิบชีวมวล 5,570 เมกะวัตต์หรือคิดเป็นร้อยละ 28.29 ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ส่วนพลังงานความร้อน ปี พ.ศ. 2579 พลังงานความร้อนจากชีวมวลมีเป้าหมาย 22,100,000 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ หรือคิดเป็นร้อยละ 88 ของพลังงานความร้อนทั้งหมด แสดงถึงนโยบายของรัฐบาลที่ให้ความสำคัญกับชีวมวลในการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับพลังงานทดแทนในอนาคตของประเทศไทย โดยมีความสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ กระทรวงพลังงานได้กำหนดยุทธศาสตร์ 3 ยุทธศาสตร์ เพื่อส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนในด้านต่าง ๆ ดังนี้

ยุทธศาสตร์ที่ 1 การเตรียมความพร้อมด้านวัตถุดิบและเทคโนโลยีพลังงานทดแทน

1. การกำหนดพื้นที่ (Zoning) ส่งเสริมการปลูกพืชวัตถุดิบเพื่อผลิตพลังงานทดแทน

2. การพัฒนาวัตถุดิบอื่น ๆ ที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์ มาใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิง เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ของเสียจากกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม โดยมีการบูรณาการร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3. การส่งเสริมให้มีการบริหารจัดการวัตถุดิบพลังงานทดแทนอย่างเป็นระบบ เช่น ระบบการขนส่ง เป็นต้น

4. การพัฒนาและกำหนดมาตรฐานคุณสมบัติเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนเพื่อการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ เช่นมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นต้น

5. ส่งเสริมการแปรรูปพลังงานทดแทนเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนเชื้อเพลิงหลักหรือเชื้อเพลิงร่วม

6. ส่งเสริมการใช้ชิ้นส่วน อุปกรณ์หรือเทคโนโลยีที่ผลิตภายในประเทศ

7. การพัฒนาเทคโนโลยีผลิตพลังงานประสิทธิภาพสูง

8. จัดตั้งศูนย์ทดสอบอุปกรณ์ เทคโนโลยี และรองรับอุปกรณ์ผลิตพลังงานทดแทน

9. ส่งเสริมการพัฒนารูปแบบอาคารธุรกิจ ที่อยู่อาศัยให้สามารถใช้พลังงานทดแทนได้

ยุทธศาสตร์ที่ 2 การเพิ่มศักยภาพการผลิต การใช้ และตลาดพลังงานทดแทน

1. ส่งเสริมการใช้วัสดุอุปกรณ์ผลิตความร้อนประสิทธิภาพสูงในครัวเรือน เช่น เตาถ่าน เตาก๊าซหุงต้มประสิทธิภาพสูง

2. ส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในโรงงานอุตสาหกรรมและสถานประกอบการ เช่น เชื้อเพลิง RDF ทดแทนการใช้น้ำมันเตาและก๊าซ LPG

3. ส่งเสริมการลงทุนพลังงานทดแทนด้วยมาตรการทางภาษีและมาตรการสนับสนุนการเงินอย่างเหมาะสม

4. การสนับสนุนการเพิ่มมูลค่าของเสียจากกระบวนการผลิตและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง

5. การปรับปรุงกฎระเบียบเพื่อสนับสนุนการพัฒนาพลังงานทดแทน เพื่อความปลอดภัยในการผลิต การขนส่งและการบริโภค

ยุทธศาสตร์ที่ 3 การสร้างจิตสำนึกและเข้าถึงองค์ความรู้ ข้อเท็จจริงด้านพลังงานทดแทน

1. การพัฒนาระบบฐานข้อมูลพลังงานทดแทนที่ถูกต้อง ทันสมัย รองรับการเชื่อมต่อกับหน่วยงานต่าง ๆ

2. ส่งเสริมการดำเนินกิจกรรมหรือโครงการด้านพลังงานทดแทน เช่นการแข่งขัน การประกวดโครงการด้านพลังงานทดแทน

3. การเผยแพร่ ประชาสัมพันธ์ของมูลข่าวสารผ่านสื่อต่างๆ เช่น หนังสือพิมพ์ โทรทัศน์ วิทยุ

4. การพัฒนาและปรับปรุงข้อมูลข่าวสาร เอกสารวิชาการ และข้อมูลสถิติให้มีความทันสมัย

5. พัฒนาหลักสูตรพลังงานทดแทนในสถาบันการศึกษาและสถานประกอบการต่าง ๆ

6. การฝึกอบรม ถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจด้านพลังงานทดแทนกับหน่วยงานองค์กร เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้

7. การสนับสนุนเครือข่ายด้านพลังงานทดแทนระดับตำบล หรือภูมิภาค รวมถึงการพัฒนาความสัมพันธ์ระดับนานาชาติให้แน่นแฟ้นเพื่อสร้างความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารด้านพลังงาน

สัดส่วนพลังงานทดแทน 30 % ที่กระทรวงพลังงานตั้งเป้าหมายไว้ในปี พ.ศ. 2579 ภายใต้แผน AEDP 2015 สามารถประเมินเป็นมูลค่าการลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ 590,820 ล้านบาท และประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลประมาณ 140 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_{2e}) อย่างไรก็ตามการนำชีวมวลมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทดแทนยังคงมีปัญหาหลักอยู่ 3 ด้านคือ 1) ปัญหาเชิงเศรษฐศาสตร์ ได้แก่การเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ส่งผลให้ปริมาณชีวมวลมีไม่เพียงพอต่อการผลิตพลังงานเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงาน นอกจากนี้พบปัญหาด้านการลงทุนเครื่องจักร เพราะในกระบวนการผลิตต้องมีการนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง 2) ปัญหาเชิงเทคนิค ได้แก่ขาดเทคโนโลยีในด้านการผลิตและการใช้ชีวมวลให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ขาดบุคลากรที่มีความชำนาญในการดูแลระบบการผลิต รวมถึงปัญหาความลำบากในการขนส่ง การจัดเก็บชีวมวลและแหล่งชีวมวลที่กระจัดกระจาย 3) ปัญหาเชิงนโยบายและกฎระเบียบ ได้แก่ปัญหาการบริหารจัดการของภาครัฐที่มีการสับเปลี่ยนตำแหน่งบ่อยครั้ง รวมถึงปัญหาเรื่องการประชาสัมพันธ์ การส่งเสริมการใช้ชีวมวลให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงานทดแทนไม่ทั่วถึง

1. ชีวมวล

ชีวมวล หมายถึง วัสดุที่ได้จากธรรมชาติ อาจเป็นสิ่งมีชีวิตหรือส่วนประกอบของธรรมชาติ รวมถึงสิ่งเหลือทิ้งจากสิ่งมีชีวิต ชีวมวลที่สามารถนำไปแปรรูปเป็นพลังงานส่วนใหญ่มาจากพืชและส่วนประกอบของพืช โดยพลังงานที่ได้จากชีวมวล อาศัยกระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกตัวของอินทรีย์สารที่อยู่ภายในชีวมวลและผลิตพลังงานออกมา ชีวมวลสามารถจำแนกตามแหล่งที่มาได้ดังนี้

1.1 พืชเกษตรกรรม (Agriculture Crop) เช่น มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพด เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพืชที่ปลูกเพื่อเป็นพลังงานโดยเฉพาะ เช่น ปาล์มน้ำมันและสบู่ดำ

1.2 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agriculture Residues) เช่น รากมันสำปะหลัง ฟางข้าว ซังข้าวโพด กากถั่วเหลือง

1.3 เนื้อไม้และเศษเหลือทิ้งของเนื้อไม้ (Wood and Residues) เช่น เศษไม้ ขี้เลื่อย รวมถึงเศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ

1.4 เศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม (Waste Streams) เช่น แกลบ กากน้ำตาล ชานอ้อย และเศษเหลือทิ้งจากการสกัดปาล์มน้ำมัน เป็นต้น

1.5 ขยะมูลฝอยและมูลสัตว์ เช่น ขยะสด และมูลสัตว์ต่าง ๆ

1.6 สิ่งมีชีวิตบางชนิด เช่นสาหร่าย เป็นต้น

2. การแปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง

การอัดชีวมวลให้มีรูปร่างเป็นก้อน สามารถทำจากชีวมวลได้หลายชนิด ผ่านกระบวนการแปรรูปให้มีขนาดและรูปร่างตามที่ผู้ใช้ต้องการ กระบวนการแปรรูปนี้ทำให้ได้เชื้อเพลิงที่มีพลังงานความร้อนสูง ปริมาตรของเชื้อเพลิงน้อย สะดวกในการจัดเก็บ การขนส่ง และการแปลงเป็นพลังงาน กระบวนการแปรรูปมีรูปแบบแตกต่างกันดังนี้

2.1 ชีวมวลแบบอัดแท่ง (Biomass briquettes)

เป็นการอัดชีวมวลให้มีรูปร่างแบบทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 25 มิลลิเมตร เช่น ขี้เลื่อยอัดแท่ง ถ่านอัดแท่ง เป็นต้น

ภาพ 1 ชีวมวลแบบอัดแท่ง

3. ชีวมวลอัดเม็ด (Biomass pellets)

เป็นการอัดชีวมวลให้มีรูปร่างแบบทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร การแปรรูปในลักษณะนี้ทำให้ปริมาตรเชื้อเพลิงมีน้อยกว่าชีวมวลแบบอัดแท่ง สะดวกในการบรรจุและขนส่ง ชีวมวลอัดเม็ดจึงนิยมผลิตเพื่อการส่งออกไปต่างประเทศมากกว่าชีวมวลอัดแท่ง ที่ส่วนมากผลิตเพื่อใช้ภายในประเทศในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนการหุงต้มในครัวเรือน เช่นขี้เลื่อยอัดเม็ด เศษไม้อัดเม็ด เป็นต้น

ชีวมวลอัดเม็ด เป็นกระบวนการแปรรูปชีวมวลโดยเทคนิคทางกายภาพ สามารถเลือกใช้วัตถุดิบได้หลายชนิด โดยเฉพาะเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร กระบวนการอัดเม็ดสามารถทำให้ได้ขนาดและรูปทรงของชีวมวลอัดเม็ดตามต้องการ เมื่อเปรียบเทียบกับ ชีวมวลที่

ไม่ผ่านการแปรรูปเช่น เศษไม้ ชีวมวลอัดเม็ดสามารถขนส่งได้สะดวกกว่า ติดไฟง่าย เผาไหม้ง่าย การปล่อยก๊าซอันตรายระหว่างการเผาไหม้น้อย มีความหนาแน่นของพลังงานสูงกว่า

ภาพ 2 ชีวมวลแบบอัดเม็ด

4. กระบวนการผลิตชีวมวลอัดเม็ด

4.1 กระบวนการบดหรือลดขนาด (Initial Size Reduction) ชีวมวลขนาดใหญ่ เช่น เปลือกไม้ เศษไม้ จะต้องทำการลดขนาดให้มีขนาดเล็กลง เหลือประมาณ 5 มิลลิเมตร สำหรับการอัดเม็ดในเครื่องอัดเม็ด กรณีชีวมวลที่มีขนาดเล็กอยู่แล้ว เช่น ขี้เลื่อย แกลบ ไม่จำเป็นต้องต้องผ่านกระบวนการนี้

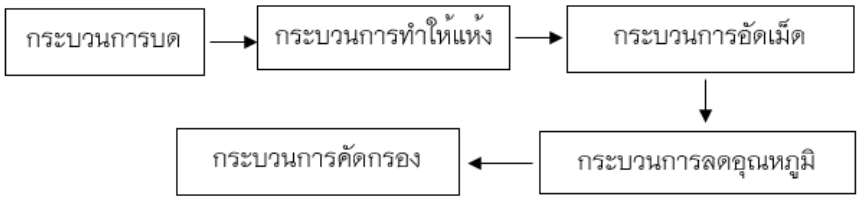
4.2 กระบวนการทำให้แห้ง (Drying) ชีวมวลโดยทั่วไปจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 50 ซึ่งเป็นค่าที่สูง ในกระบวนการอัดเม็ดต้องทำการลดความชื้นให้อยู่ระหว่างร้อยละ 8–12 เพื่อให้ได้ชีวมวลอัดเม็ดที่มีคุณภาพดี กระบวนการทำให้แห้งสามารถทำได้โดยการอบ (Flash Dryer) การนำไปใส่ในหม้อเผาแบบหมุน (Rotary Drum Dryer) เป็นต้น

4.3 กระบวนการอัดเม็ด (Pelletizing) ต้องกระทำผ่านเครื่องอัดเม็ดชีวมวล โดยชีวมวลที่ถูกลำเลียงสู่เครื่องอัดผ่านช่องป้อนชีวมวล ลูกกลิ้งภายในจะหมุนนำวัตถุดิบไหลผ่านลงในรูเหล็กกล้า เมื่อวัตถุดิบไหลลงอย่างต่อเนื่องจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างผนังรูเหล็กกล้ากับวัตถุดิบ เกิดความร้อนในกระบวนการอัดเม็ด ความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้ลิกนินที่มีในวัตถุดิบ

เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นตัวประสานทำให้วัตถุดิบจับตัวกันเป็นเม็ด เม็ดชีวมวลจะเคลื่อนที่ไปยังมีดตัดและถูกตัดให้ได้ความยาวตามต้องการ

4.4 กระบวนการลดอุณหภูมิ (Cooling) เป็นการระบายความร้อนของชีวมวลอัดเม็ดที่ออกมาจากเครื่องอัดเม็ดให้เย็นตัวลงและคงรูปของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

4.5 กระบวนการคัดกรอง (Final Sieving) ชีวมวลอัดเม็ดที่ออกมาจากเครื่องอัดจะมีรูปร่างและสภาพไม่เหมือนกัน การคัดกรองเป็นการคัดเลือกเม็ดชีวมวลสภาพไม่ดีออก และทำการบรรจุภัณฑ์ชีวมวลที่สภาพสมบูรณ์ก่อนออกจำหน่าย



ภาพ 3 กระบวนการอัดเม็ดชีวมวล

5. องค์ประกอบแบบประมาณของชีวมวล

5.1 ความชื้น (Moisture) คือปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในชีวมวล เนื่องจากส่วนใหญ่ชีวมวลเป็นผลผลิตทางการเกษตร จึงมีค่าความชื้นสูง การนำชีวมวลไปแปรรูปเป็นพลังงานในการเผาไหม้ ความชื้นควรต่ำกว่า 50%

5.2 สารระเหย (Volatile Matter) เป็นส่วนโมเลกุลที่เผาไหม้ได้ง่าย สารเหล่านี้เช่น ไฮโดรคาร์บอน มีเทน คาร์บอนมอนนอกไซด์รวมถึงก๊าซที่ไม่เผาไหม้ ชีวมวลที่มีสารระเหยสูงหมายถึงความสามารถในการติดไฟได้ง่าย

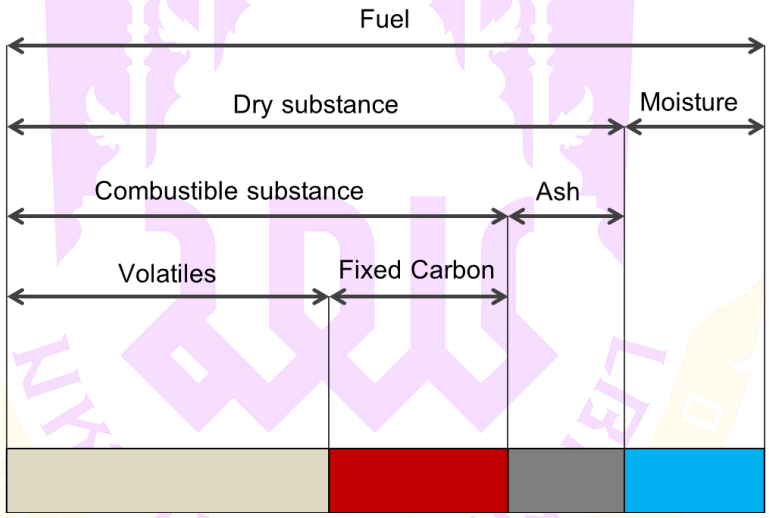
5.3 คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) เป็นส่วนที่มีความเสถียรของโครงสร้างโมเลกุลของชีวมวล ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเป็นหลัก ชีวมวลที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อยจะสันดาปได้ไม่ดี มีอุณหภูมิจุดติดไฟต่ำ การติดไฟช้า

5.4 ขี้เถ้า (Ash) คือ สารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในชีวมวล เมื่อถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์แล้ว จะไม่สามารถเผาไหม้ได้ กลายเป็นขี้เถ้า ชีวมวลแต่ละประเภทมีสัดส่วนปริมาณขี้เถ้าในชีว

มวลแตกต่างกัน ซึ่งขี้เถ้าสามารถฟุ้งกระจายในอากาศได้ เกิดเป็นมลพิษทางอากาศ ชีวมวลที่มีปริมาณขี้เถ้ามากจะต้องมีการจัดการอย่างถูกวิธี

5.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Ultimate Analysis) เป็นการวิเคราะห์หาสัดส่วนของธาตุ ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ซัลเฟอร์ (S) การใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงต้องคำนึงว่าในกระบวนการเผาไหม้จะปล่อยมลพิษสู่บรรยากาศปริมาณมากหรือน้อยเพียงใด และอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

5.6 การวัดค่าความร้อน (Heating Value) เป็นการวัดค่าพลังงานความร้อนที่ชีวมวลถ่ายเทออกมาจากแท่งเชื้อเพลิงเมื่อเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ การวัดค่าความร้อน จะถูกทำการทดลองผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า บอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ซึ่งได้ค่าความร้อนในหน่วย จูลต่อกรัม หรือ ล้านจูลต่อกิโลกรัม.



ภาพ 4 องค์ประกอบโดยประมาณของชีวมวล

6. กรรมวิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิง

6.1 กระบวนการอัดร้อน (Hot Press Process) เป็นการอัดเศษวัสดุโดยที่มีการให้ความร้อนตลอดกระบวนการ ความร้อนที่ใช้มีอุณหภูมิประมาณ 350 องศาเซลเซียส เมื่อเศษวัสดุได้รับความร้อนจะเกิดสารเคมีอินทรีย์ที่ยึดเศษวัสดุเข้าหากัน ทำให้สามารถยึดเป็นรูปร่างได้โดยที่ไม่ต้องใช้ตัวประสาน ตัวอย่างเศษวัสดุที่สามารถนำมาทำเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการอัด

ร้อน เช่น ขี้เลื่อย แกลบ ฟางข้าว ซังข้าวโพด ชานอ้อย ซึ่งวัสดุเหล่านี้เป็นเศษที่เหลือจากผลผลิตการเกษตร

6.2 กระบวนการอัดเย็น (Cold Press Process) เหมาะสำหรับวัสดุที่มีคุณสมบัติไม่จับตัวกันด้วยความร้อน แยกเป็น 2 วิธีคือ

6.2.1 การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสานนำเศษวัสดุมาผสมกับตัวประสาน เช่นแป้งมันสำปะหลังผสมน้ำแล้วทำการอัดด้วยแรงดันสูง กระบวนการอัดเย็นวิธีนี้เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันทั่วไป ใช้พลังงานต่ำและมีวิธีการไม่ซับซ้อน

6.2.2 การอัดเย็นแบบไม่ใช้ตัวประสาน เป็นระบบการอัดรูปแบบใหม่ใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติมากเพื่อให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการจับตัวแน่นจนเป็นก้อนได้ กระบวนการอัดเย็นวิธีนี้ต้องใช้มอเตอร์ที่มีกำลังสูงและใช้พลังงานไฟฟ้ามากแต่มีความสะดวกเรื่องขั้นตอนการอัดเนื่องจากไม่มีการผสมตัวประสานและไม่ต้องทำการบดวัสดุก่อนนำเข้าเครื่องอัดหากวัสดุนั้นมีขนาดไม่ใหญ่มาก

7. มาตรฐานต่าง ๆ เกี่ยวกับชีวมวลอัดเม็ด

ระบบการซื้อขายชีวมวลอัดเม็ดทั้งในประเทศและระหว่างประเทศ ต้องมีระบบการควบคุมคุณภาพและกำหนดมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดให้สอดคล้องกับการนำไปใช้และไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตารางที่ 3 แสดงมาตรฐานชีวมวลจาก 4 ประเทศ โดยการคัดเลือกมาตรฐานระดับกลางของชีวมวลแต่ละประเทศ

ตาราง 3 การเปรียบเทียบมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดใน 4 ประเทศ

Specifications	Units	EU	Korea	Sweden	Thailand
		EN 14961-1	Grade3	Group 2	เกรดธรรมดา
Diameter	mm.	6-8	6-8	ไม่ปรากฏ	6-12
Length	mm.	3.15-40	≤ 32	≤ 50	3.15-40
Bulk Density	kg/m3	≥ 600	≥ 550	≥ 500	≥ 600
Moisture content	% wt.	≤ 10	≤ 15	≤ 10	≤ 10
Ash content	% wt.	≤ 0.7	≤3.0	≤ 1.5	≤ 20
Net Calorific value	MJ/kg	16.5-19	≥ 16.9	≥ 16.9	≥ 14.6

ตาราง 3 (ต่อ)

Specifications	Units	EU	Korea	Sweden	Thailand
		EN 14961–1	Grade3	Group 2	เกรดธรรมดา
Sulfur content	% wt.	≤ 0.03	≤ 0.05	≤ 0.08	≤ 0.02
Nitrogen content	% wt.	≤ 0.3	≤ 0.7	ไม่ปรากฏ	≤ 0.3
Chlorine content	% wt.	≤ 0.02	≤ 0.05	≤ 0.03	≤ 0.02

จากการเปรียบเทียบมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดจากประเทศกลุ่มสหภาพยุโรป ประเทศเกาหลีใต้ ประเทศสวีเดนและประเทศไทย โดยใช้มาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดในเกรดคุณภาพปานกลางของแต่ละประเทศ พบว่าทั้ง 4 ประเทศมีค่ามาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างในแต่ละมาตรฐานเล็กน้อย เช่น ค่าความร้อน โดยประเทศเกาหลีใต้ และสวีเดนตั้งมาตรฐานไว้ต่ำที่สุด 16.9 MJ/kg ส่วนประเทศไทยเริ่มต้นที่ 14.6 MJ/kg เป็นต้น

8. ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย

ในปี 2556 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้มีการจัดทำข้อมูลศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย โดยศึกษาและรวบรวมข้อมูล ศึกษาปฏิทินการปลูกพืช การเก็บเกี่ยวพืช รวมถึงพื้นที่ปลูก อัตราผลผลิต และปริมาณผลผลิต ในแต่ละอำเภอของทุกจังหวัดของประเทศไทย ข้อมูลการศึกษานี้มาจากรายงานของสำนักเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และในกรณีของยางพาราและปาล์มน้ำมัน มีการรวบรวมพื้นที่โค่นต้นยางพารา และพื้นที่โค่นต้นปาล์มในแต่ละอำเภอและจังหวัดของประเทศไทย ข้อมูลมาจากรายงานประจำปีของสำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยางและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง สรุปเป็นตารางศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย

ตาราง 4 ศักยภาพชีวมวลของประเทศไทย ปี 2556

ชนิดชีวมวล	ปริมาณที่เกิด (ตัน)	ปริมาณ คงเหลือ (ตัน)	ค่าความ ร้อน (TJ)	เทียบเท่า น้ำมันดิบ (ktoe)
1. ฟางข้าว	19,005,628.14	10,892,826.89	134,308.56	3,188.71
2. แกลบ	8,145,269.20	138,985.84	1,879.09	44.61
3. ใบและยอดอ้อย	17,016,248.08	15,170,760.34	234,843.37	5,575.58
4. ชานอ้อย	28,026,761.54	0	0	0
5. ยอด ใบและลำต้นข้าวโพด	9,315,603.52	8,849,823.34	86,993.76	2,065.38
6. ซังข้าวโพด	1,215,078.72	120,997.14	1,163.99	27.64
7. เหง้ามันสำปะหลัง	6,045,508.40	5,881,311.88	32,288.40	766.58
8. กากมันสำปะหลัง	1,813,652.52	0	0	0
9. เปลือกมันสำปะหลัง	8,463,711.76	0	0	0
10. ลำต้นปาล์มน้ำมัน	1,957,280.00	1,957,280.00	14,757.89	350.38
ชนิดชีวมวล	**ปริมาณที่เกิด (ตัน)**	**ปริมาณ คงเหลือ (ตัน)**	**ค่าความ ร้อน (TJ)**	**เทียบเท่า น้ำมันดิบ (ktoe)**
11. ใบและทางปาล์ม	18,065,006.01	16,357,551.14	28,789.29	683.51
12. ทะลายปาล์มเปล่า	4,099,859.52	2,207,873.62	15,985.00	379.51
13. เส้นใยปาล์ม	2,434,291.59	0	0	0
14. กะลาปาล์ม	512,482.44	0	0	0
15.ใบ ลำต้นถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิสง	65,017.48	61,766.61	1,002.47	23.8
16. ตอ ราก กิ่งก้านไม้ยางพารา	1,094,365.00	875,492.00	5,751.98	136.56

ตาราง 4 (ต่อ)

ชนิดชีวมวล	ปริมาณที่เกิด (ตัน)	ปริมาณคงเหลือ (ตัน)	ค่าความร้อน (TJ)	เทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)
17. ปลายไม้ยางพารา	2,626,476.00	0	0	0
18. ปีกไม้ยางพารา	2,626,476.00	0	0	0
19. ขี้เลื่อยและเศษไม้ยางพารา	656,619.00	0	0	0
20. จั่นและทะลายมะพร้าว	292,909.57	236,085.11	3,635.71	86.32
21. เปลือกและกาบมะพร้าว	333,310.89	3,334.11	54.11	1.28
22. กะลามะพร้าว	252,508.25	21,968.22	393.89	9.35
23. เปลือกมะม่วงหิมพานต์	70,038.56	68,364.29	375.32	8.91
รวม	**134,134,102.21**	**62,844,420.53**	**562,222.85**	**13,348.12**

จากข้อมูลศักยภาพชีวมวลของประเทศไทย ปี 2556 พบชีวมวลหลายชนิดที่ยังไม่ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ส่งผลให้มีปริมาณชีวมวลคงเหลือมากกว่า 80% ของปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้น เช่น ใบและยอดอ้อย ยอด ใบและลำต้นข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง ลำต้น ใบ และทะลายปาล์มน้ำมัน เป็นต้น ข้อมูลนี้แสดงถึงหากมีการศึกษาและนำชีวมวลเหล่านี้ไปผลิตเป็นพลังงานทดแทนของประเทศไทย จะสามารถสร้างประโยชน์ด้านพลังงานและประหยัดงบประมาณได้มหาศาล

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานได้รวบรวมข้อมูลดุลยภาพพลังงานจากชีวมวลของประเทศไทย เป็นข้อมูลรายปีเกี่ยวกับการปริมาณการผลิตพลังงานจากชีวมวลและการนำไปใช้ในด้านต่าง ๆ

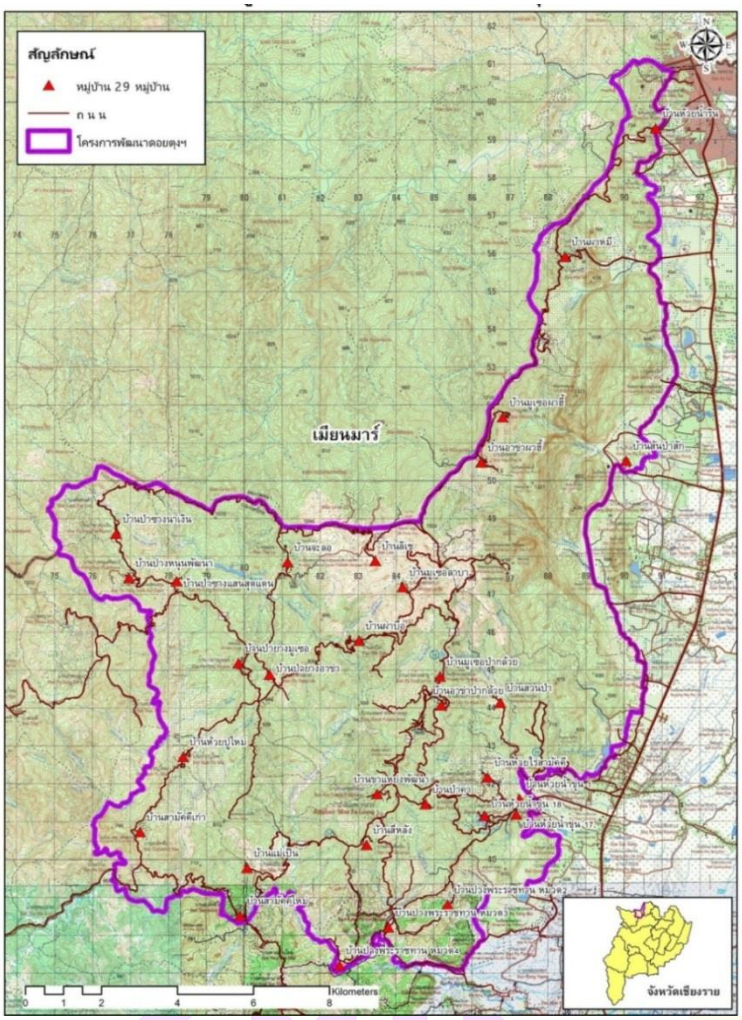
ตาราง 5 ดุลยภาพพลังงานจากชีวมวลของประเทศไทย ปี 2556 และ ปี 2560

การจัดหาและการใช้	ชีวมวล (พันตัน)	
	ปี 2556	ปี 2560
1. การผลิตภายในประเทศ	8,347	61,227
2. การนำเข้า	0	0
3. การส่งออก	0	0
รวมการจัดหาพลังงานขั้นต้นทั้งหมด	**8,347**	**61,227**
1. โรงไฟฟ้า		
2. พลังความร้อน	2,981	27,376
3. เครื่องยนต์ก๊าซ	48	3,413
การแปรรูปอื่น ๆ	0	0
รวมการแปรรูปทั้งหมด	**3,029**	**30,789**
1. อุตสาหกรรมการผลิต	5,318	30,438
รวมการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย	**5,318**	**30,438**

จากข้อมูลตารางดุลยภาพพลังงานจากชีวมวลของประเทศไทย ในปี 2560 ปริมาณการผลิตชีวมวลภายในประเทศเพื่อเป็นพลังงานมีมากกว่าปี 2556 ถึง 7.33 เท่า จากข้อมูลนี้แสดงถึงประเทศไทยมีความตระหนักในการใช้พลังงานทางเลือกตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan) AEDP2015 ที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้

9. พื้นที่ศึกษา

โครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตั้งอยู่ในเขตอำเภอแม่ฟ้าหลวงและอำเภอแม่สาย มีพื้นที่รวม 93,515 ไร่ หรือประมาณ 150 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ติดชายแดนประเทศเมียนมา ประมาณ 25 กิโลเมตร พื้นที่โครงการฯอยู่ระหว่างละติจูดที่ 20 13’ 45” ถึง 20 26’ 30” เหนือ และลองติจูด 99 43’ 18” ถึง 90 52’ 52” ตะวันออก สภาพพื้นที่เป็นภูเขาสูง ความสูงตั้งแต่ระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 400–1,500 เมตร มีหมู่บ้านในความรับผิดชอบ 29 หมู่บ้าน ประชากร 10,399 คน 1,727 หลังคาเรือน



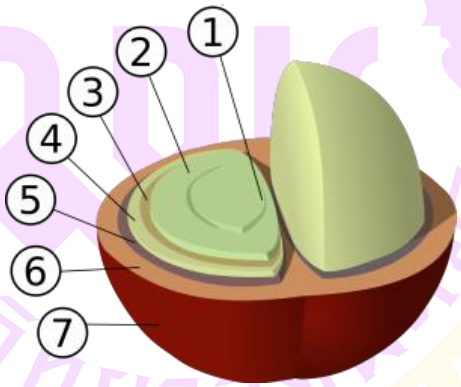
ภาพ 5 แผนที่ขอบเขตโครงการพัฒนาดอยตุงฯ

10. ต้นกาแฟอาราบิก้า (**Coffea Arabica L**) อยู่ในวงศ์ RUBIACEAE มีถิ่นกำเนิดในแถบประเทศเอธิโอเปีย ปลูกมากในประเทศแถบอเมริกาใต้โดยเฉพาะประเทศบราซิลและโคลัมเบีย ลักษณะลำต้นเป็นทรงพุ่มรูปพีระมิด สูงประมาณ 6–16 ฟุต อาจสูงถึง 5 เมตร กิ่งจะแตกทำมุมกว้างกับลำต้นเกือบขนานกับพื้นดิน ประเทศไทยสามารถปลูกกาแฟอาราบิก้าได้ในภาคเหนือ โดยเฉพาะจังหวัด เชียงใหม่และเชียงราย กาแฟพันธุ์อาราบิก้าเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่อุณหภูมิประมาณ 13–21 องศาเซลเซียส พื้นที่สูง 800–1,500 เมตร ที่ความสูงระดับนี้ทำให้ต้นกาแฟเติบโตอย่างช้า ๆ ผลผลิตมีรสชาติดี กลิ่นหอม และปริมาณผลผลิตมาก ส่วนใหญ่

การแปรรูปกาแฟอาราบิก้าถูกนำมาผลิตเป็นกาแฟคั่วบด ผลผลิตกาแฟประเภทนี้มีร้อยละ 90 ของปริมาณผลผลิตกาแฟทั้งโลกและเป็นที่นิยมบริโภคมากที่สุดในโลก

ภาพ 6 ต้นกาแฟและผลกาแฟอาราบิก้า

11. ส่วนประกอบของเมล็ดกาแฟ



ภาพ 7 ส่วนประกอบของเมล็ดกาแฟ

11.1 เมล็ดกาแฟ (Bean) ลักษณะสีฟ้าอมเขียว โดยทั่วไปจะมี 2 เมล็ดใน 1 ลูก ถ้าบางลูกมีเมล็ดเดียวเรียกว่า Peaberry ลักษณะเป็นเมล็ดกลม

11.2 เนื้อผล (Fruit) มีรสชาติหวานคล้ายกับองุ่น

11.3 เยื่อหุ้มสีเงิน (Silverskin) เป็นเยื่อบาง ๆ ที่ห่อหุ้มเมล็ดกาแฟ

11.4 เปลือกกะลากาแฟ (Endocarp , Parchment) แผ่นเปลือกบาง ๆ ที่ห่อหุ้มเมล็ดกาแฟต่อจากเยื่อหุ้มสีเงิน ส่วนนี้ที่จะนำมาศึกษาการแปรรูปเป็นชีวมวลอัดเม็ด

11.5 เมือกที่ห่อหุ้มกาแฟ (Pectin Layer) คือชั้นของเมือกบางที่ห่อหุ้มเล็ดกาแฟ

11.6 เยื่อหุ้มเมล็ด (Mesocarp) เป็นเยื่อบางๆลักษณะคล้ายน้ำผึ้งหุ้มเมล็ดกาแฟ

11.7 เปลือกผลกาแฟ (Exocarp) คือส่วนที่เป็นเปลือกของผลกาแฟ ลักษณะหนาและมีรสชาติหวานเล็กน้อย

12. การแปรรูปผลผลิตกาแฟอาราบิก้า

12.1 การคัดแยกโดยการลอยเมล็ดกาแฟสุกในน้ำ เมล็ดกาแฟที่ฝ่อจะลอยน้ำ เมล็ดที่จมน้ำคือเมล็ดกาแฟที่คุณภาพดีเต็มเมล็ด

12.2 การปอกเปลือกผลกาแฟ (Pulping) โดยใช้เครื่องปอกเปลือก (เครื่องสีกาแฟ) บีบให้เปลือกนอกของผลหลุดออกมา ผลกาแฟควรได้รับการปอกเปลือกในวันเดียวกับที่เก็บผลผลิต ไม่ควรทิ้งไว้นานเนื่องจากจะเกิดกลิ่นในสารกาแฟ

12.3 การกำจัดเมือก (demucilaging) เป็นการกำจัดเมือกหุ้มเมล็ดกาแฟออกไม่ให้เกิดการหมักตัว โดยการแช่น้ำ 1 คืนแล้วเทน้ำออก และล้างให้สะอาดก่อนนำไปตากแห้ง

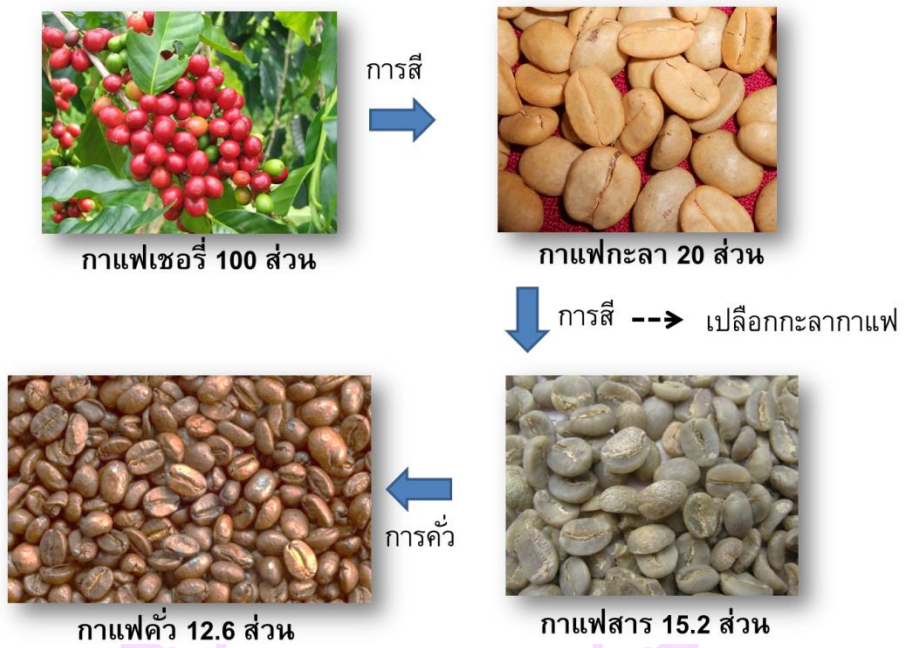
12.4 การทำให้แห้ง (drying) โดยวิธีการตากแดดให้ความชื้นลดลงให้เหมาะสำหรับกระบวนการคั่วหรือการจำหน่ายในรูปแบบกาแฟกะลา

12.5 การสีกาแฟกะลา (hulling) เป็นการนำเอากาแฟกะลาไปสี เพื่อกำจัดเปลือกกะลากาแฟออกไป ให้ได้กาแฟสาร ลักษณะของกาแฟสารที่ดีต้องมีเมล็ดสมบูรณ์สีเขียวอมฟ้าความชื้นประมาณ 11–12%

12.6 การคั่วกาแฟ เป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่สารกาแฟ ทำให้สารกาแฟมีการพัฒนากลิ่นและรสชาติโดยการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภายในเมล็ดเมื่อได้รับความร้อน การคั่วกาแฟสามารถแบ่งตามความเข้มได้ 3 ระดับ คือ กาแฟคั่วอ่อน (Light Roasted) กาแฟคั่วปานกลาง (Medium Roasted) และกาแฟคั่วเข้ม (Dark Roasted)

การแปรรูปกาแฟเมื่อคิดตามสัดส่วนผลผลิตกาแฟเชอรี่ต่อกาแฟคั่ว เท่ากับ 1:0.126 โดยน้ำหนัก คือเมล็ดกาแฟสดหรือกาแฟเชอรี่ 100 ส่วน เมื่อผ่านการสีเปลือกกาแฟออกและทำการกำจัดเมือก ตากแดดให้แห้ง จะเหลือกาแฟกะลา 20 ส่วนโดยน้ำหนัก เมื่อผ่านการสีกะลาโดยเป็นการกำจัดเปลือกกาแฟกะลาออก จะได้กาแฟสาร 15.2 ส่วนโดยน้ำหนัก และขั้นตอนสุดท้ายคือการคั่ว เป็นการไล่ความชื้นในสารกาแฟออกและมีการเปลี่ยนแปลง

องค์ประกอบทางเคมีของสารกาแฟให้มีรสชาติและกลิ่นที่หอม จะเหลือเพียง 12.6 ส่วนโดยน้ำหนัก



ภาพ 8 สัดส่วนผลผลิตจากขั้นตอนต่างๆของการแปรรูปกาแฟ

เปลือกกาแฟกะลา เป็นของเหลือที่ได้จากการสีกาแฟกะลา โดยมีสัดส่วน 1:0.048 ส่วนโดยน้ำหนักของกาแฟกะลา กล่าวคือหากมีปริมาณกาแฟเชอรี่ 100 กิโลกรัมจะเป็นเปลือกกะลากาแฟ 4.8 กิโลกรัม ปัจจุบันการกำจัดเปลือกกาแฟกะลาในพื้นที่โครงการพัฒนาดอยตุงฯ นิยมทำโดยการเผาในที่โล่ง



ภาพ 9 เปลือกกะลากาแฟ ที่โครงการพัฒนาดอยตุง จ.เชียงราย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คุณสมบัติที่สำคัญของชีวมวลอัดเม็ด (Wood Pellets) ประกอบด้วย ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า สารประกอบต่าง ๆ จำพวก คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน โลหะและสารประกอบอื่น ๆ รวมถึงค่าความร้อนจากการเผาไหม้ โดยเฉพาะค่าความร้อนจากการเผาไหม้ เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการบ่งบอกถึงคุณภาพชีวมวลอัดเม็ดที่มีประสิทธิภาพดี Elias A. Christoforou (2016) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ด 8 ประเภท ที่พบในแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน คือ เปลือกวอลนัท เปลือกมะกอก 3 ตัวอย่าง กากของมะกอก เปลือกไม้ เศษกิ่งไม้ต้นมัลเบอร์รี่ และเปลือกองุ่น ผลจากการทดลองพบว่าค่าความร้อนที่ได้จาก ชีวมวลอัดเม็ดทั้ง 8 ประเภทนี้ อยู่ระหว่าง 17.7 – 19.2 MJ/kg ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุดของ EN ISO 17225-6 และ EN ISO 17225-2 คือมากกว่า 14.5 MJ/kg และ 16.5 MJ/kg ตามลำดับ ในกรณีชีวมวล

อัดเม็ดประเภทอื่น ๆ ที่ไม่ใช่จำพวกไม้ IN Yang (2016) ได้ศึกษาคุณสมบัติของชีวมวลอัดเม็ดที่ผลิตจากฟางข้าวและแกลบจากประเทศเกาหลีใต้ โดยศึกษาค่าความชื้น ปริมาณเถ้า สารประกอบอินทรีย์และโลหะ รวมถึงค่าความร้อน ผลจากการทดลอง พบว่าค่าความร้อนจากฟางข้าวและแกลบมีค่าเท่ากับ 17.3 MJ/kg และ 17.8 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งค่าความร้อนนี้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ 3rd – Grade pellet ที่กำหนดให้มากกว่า 16.9 MJ/kg และผ่านมาตรฐาน ENplus-B ของสหภาพยุโรป ที่กำหนดให้ค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 16.0-19.0 MJ/kg อย่างไรก็ตามค่าความร้อนจากชีวมวลอัดเม็ดจากฟางข้าวและแกลบนี้ยังไม่ผ่านมาตรฐาน Larch pellet ของประเทศสหรัฐอเมริกา ที่กำหนดให้ค่าความร้อนมากกว่า 20.1 MJ/kg ซึ่งมาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานที่ใช้กับชีวมวลอัดเม็ดจำพวกไม้ และผลจากการทดลองพบว่าชีวมวลอัดเม็ดจากฟางข้าวและแกลบมีปริมาณเถ้าที่สูงเกินมาตรฐาน โดยสรุปในภาพรวมมีความเป็นไปได้ในการนำวัตถุดิบทั้ง 2 ประเภทนี้มาผลิตเป็นชีวมวลอัดเม็ดได้ แต่ต้องมีการพัฒนาปรับปรุงเรื่องปริมาณเถ้าให้น้อยลงให้ได้ตามมาตรฐาน ในด้านการประยุกต์ใช้ชีวมวลอัดเม็ดเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในพื้นที่รวมถึงปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ เช่น ราคา เป็นปัจจัยส่งผลต่อการเจริญเติบโตของตลาดการผลิตชีวมวลอัดเม็ด ธนาพล ตันติสัตยกุล (2558) ทำการวิจัยการนำทางมะพร้าวมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อเป็นพลังงานทดแทนในชุมชน โดยการนำทางมะพร้าวผ่านกระบวนการอัดเย็นร่วมกับตัวประสานคือน้ำแป้งมันสำปะหลัง ผลการทดลองพบว่าค่าความร้อนของทางมะพร้าวอัดแท่งมีช่วงความร้อนที่ประมาณ 2,865-4,185 แคลอรี/กรัม อัตราส่วนผสมที่ให้คุณสมบัติเชื้อเพลิงที่ดีที่สุดคือ ทางมะพร้าว 1 กิโลกรัมต่อน้ำแป้งมันสำปะหลัง 1.25 ลิตร และเมื่อศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าระยะเวลาคืนทุนของโครงการเท่ากับ 5 ปี 1 เดือน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล (2559) ทำการศึกษาความแตกต่างของของวิธีการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวา โดยใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ในอัตราส่วน 3:1 3:2 3:3 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก จากการทดลองพบว่าในอัตราส่วน 3:3 เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวามีค่าความร้อนสูงสุดคือ 3,831.98 แคลอรี/กรัม มีค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.90-0.99 ในอัตราส่วนนี้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวาสามารถขึ้นรูปได้ดี มีความแข็งแรง ผิวเรียบเนียนและไม่แตกหักง่าย ธนาพล ตันติสัตยกุล (2558) ศึกษาความเหมาะสมการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากเปลือกสับปะรด โดยวิธีอัดเย็น ใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานในอัตราส่วนระหว่างเปลือกสับปะรดบดต่อน้ำแป้งมันสำปะหลัง 5 อัตราส่วนโดยน้ำหนักตั้งแต่ 10:5 ถึง 10:9 จากการศึกษาพบว่าแท่งเชื้อเพลิงจาก

การอัดเปลือกสับปะรดบดแห้งมีลักษณะใกล้เคียงกันทุกอัตราส่วน คือบีบด้วยมือแล้วไม่มีการกะเทาะแตกออกจากกัน เมื่อทดสอบคุณสมบัติด้านความร้อนพบว่าแท่งชีวมวลจากเปลือกสับปะรดมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,235–3,389 แคลอรี/กรัม และมีค่าความร้อนไม่แตกต่างกันในทุกอัตราส่วนการผสม ค่าความชื้น 12.7–20.5% ปริมาณสารระเหย 56.0–68.9% ปริมาณเถ้า 3.1–3.6% คาร์บอนคงตัว 9.9–20.7% การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรดสามารถช่วยลดการตัดไม้เพื่อนำมาเป็นฟืน ช่วยให้คงพื้นที่ป่าไว้สำหรับการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไม่เกิดก๊าซมีเทนจากการปล่อยให้เปลือกสับปะรดเน่าเปื่อย คิดปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศได้ 13.13 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัม และการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าระยะเวลาการคืนทุนของโครงการเท่ากับ 6 ปี 6 เดือน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมสำหรับการลงทุนโครงการ เดชณรงค์ ยะแสง, ธวัชชัย พิพิทธภัณฑ์ และมนตรี ทรงตระกูลวงศ์ (2556) ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงแข็งชนิดสกรูอัดเพื่ออัดชีวมวลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และทำการทดลองอัดชีวมวลจากแกลบ กะลากาแฟ ซังข้าวโพด โดยมีการผสมกับตัวประสานคือแป้งมันกากน้ำตาล และน้ำ ผลจากการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดชีวมวลของแกลบคือ แกลบ 1 ส่วน แป้งมัน 0.5 ส่วน กากน้ำตาล 0.5 ส่วน และน้ำ 0.3 ส่วน อัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดชีวมวลของกะลากาแฟคือ กะลากาแฟ 1 ส่วน แป้งมัน 0.5 ส่วน กากน้ำตาล 0.5 ส่วน และน้ำ 0.3 ส่วน อัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดชีวมวลของซังข้าวโพดคือ ซังข้าวโพด 1 ส่วน แป้งมัน 0.5 ส่วน กากน้ำตาล 0.5 ส่วน และน้ำ 0.3 ส่วน ชัยณรงค์ แก้วด้วง , ธิติพงษ์ บัวลอย และธนชาติ เจดีย์ถา (ม.ป.ป.) ทำการศึกษาการอัดชีวมวล 8 ชนิดโดยการใช้ตัวประสานคือกากน้ำตาลและน้ำ ในอัตราส่วนต่าง ๆ ใช้รูปแบบการอัดชีวมวลแบบร้อนด้วยเครื่องอัดแบบจานอัด ผลจากการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดชีวมวลของขี้เลื่อยต่อกากน้ำตาลต่อน้ำเท่ากับ 85:5:10 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดชีวมวลของซังข้าวโพดต่อกากน้ำตาลต่อน้ำเท่ากับ 87:5:8 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดชีวมวลของก้อนเห็ดต่อกากน้ำตาลต่อน้ำเท่ากับ 77:8:15 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดชีวมวลของเศษไม้ต่อกากน้ำตาลต่อน้ำเท่ากับ 87:5:8 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดชีวมวลของใบไม้แห้งต่อกากน้ำตาลต่อน้ำเท่ากับ 80:5:15 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดชีวมวลของกิ่งไม้แห้งต่อกากน้ำตาลต่อน้ำเท่ากับ 80:5:15 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดชีวมวลของก้านใบยาสูบต่อกากน้ำตาลต่อน้ำเท่ากับ 100:0:0 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดชีวมวลของก้านใบยาสูบผสม

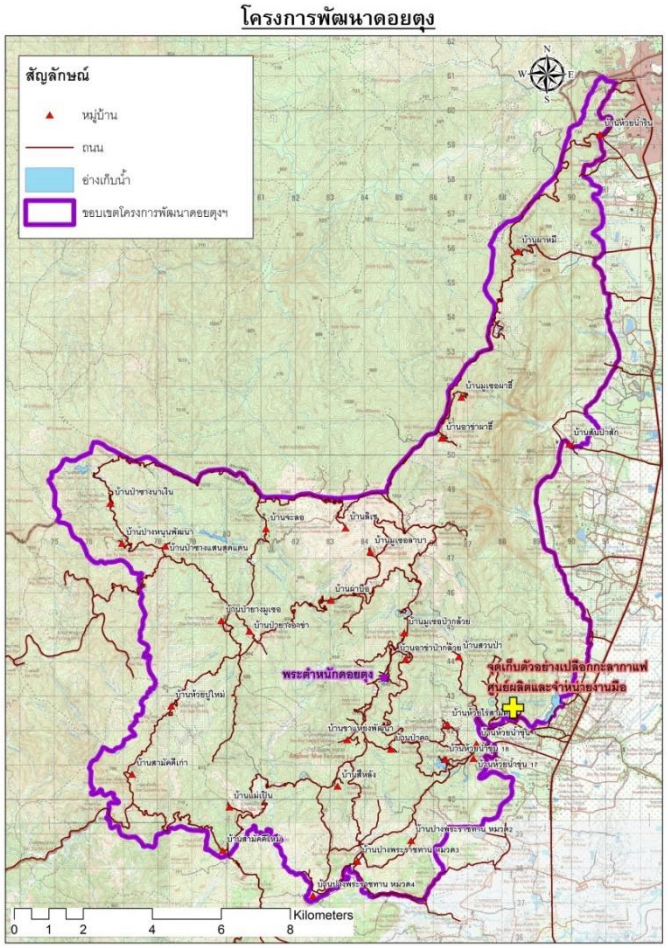
ซังข้าวโพดต่อกากน้ำตาลต่อน้ำเท่ากับ 70/30:0:0 L.J.R Nunes (2016) ได้ศึกษาความเป็นไปได้การผลิตชีวมวลอัดเม็ด เพื่อเป็นแหล่งพลังงานความร้อนในบ้านเรือน โรงเรียน อาคารขนาดใหญ่รวมถึงพลังงานความร้อนเพื่อการอุตสาหกรรมในประเทศโปรตุเกส ซึ่งเป็นประเทศที่มีฤดูหนาวที่ยาวนาน ถึง 8 เดือน คือ ตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนเมษายน ผลจากการศึกษาพบว่าในประเทศโปรตุเกสมีโรงงานผลิตชีวมวลอัดเม็ด กำลังการผลิตรวม 1.2 ล้านตันต่อปี วัตถุดิบส่วนใหญ่มาจากเปลือกไม้ โดยมีโรงงานขนาดใหญ่ กำลังการผลิตมากกว่า 1 แสนตันต่อปีจำนวน 9 โรงงาน ซึ่งทั้ง 9 โรงงานนี้เน้นการส่งออกชีวมวลอัดเม็ดแก่ประเทศทางยุโรปตอนเหนือ นอกจากนี้ยังมีโรงงานขนาดเล็ก–กลาง กำลังการผลิตน้อยกว่า 40,000 ตันต่อปี จำนวน 18 โรงงาน โรงงานเหล่านี้เน้นผลิต ชีวมวลอัดเม็ดเพื่อใช้ภายในประเทศ ในภาพรวมเนื่องจากราคาการส่งออกต่างประเทศดีกว่า คือราคา 148 ยูโรต่อ MWh เทียบกับราคาในประเทศที่ราคา 110 ยูโรต่อ MWh ผลผลิตชีวมวลอัดเม็ดส่วนใหญ่จึงถูกส่งออกมากกว่า การเจริญเติบโตของพลังงานทางเลือกอย่างชีวมวลอัดเม็ดในการผลิตและนำมาใช้ในประเทศโปรตุเกสจึงเป็นไปอย่างล่าช้า

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบ

เปลือกกะลากาแฟ เป็นวัตถุดิบที่เหลือทิ้งจากกระบวนการสีกาแฟกะลา ลักษณะคล้ายเปลือกถั่ว ขนาดประมาณ 1 ซม. มีสีเหลืองอ่อน เก็บรวบรวมจากโรงงานคั่วกาแฟภายในศูนย์ผลิตและจำหน่ายงานมือ โครงการพัฒนาดอยตุง อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย ทำการเก็บรวบรวมในเดือนพฤศจิกายน ปี 2560



ภาพ 10 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างเปลือกกะลากาแฟ

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

1.1 จัดหาชีวมวลเปลือกกะลากาแฟ และคัดแยกสิ่งเจือปนออก

1.2 เตรียมวัสดุประสาน คือ แป้งมัน

2. ขั้นตอนการอัดเม็ดชีวมวล

กระบวนการอัดเม็ดชีวมวลเปลือกกะลากาแฟ ใช้เครื่องอัดเม็ดแบบจานอัด มีตัวประสานคือแป้งมันสำปะหลังและน้ำอัตราส่วนตั้งต้นคือ 3:0.5:0.3 โดยน้ำหนักและสามารถปรับอัตราส่วนให้เหมาะสมสำหรับการอัดให้ได้ชีวมวลอัดเม็ดที่มีความแข็งแรงไม่แตกหักง่าย เครื่องอัดชีวมวลประเภท ZLSP300BR กำลังไฟ 22 กิโลวัตต์/ชั่วโมง ความจุ 250-350 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ภาพ 11 เครื่องอัดเม็ดชีวมวลจากสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน นครพิงค์ จ.เชียงใหม่

3. วิธีการอัดเม็ดชีวมวลด้วยเครื่องอัดชีวมวลประเภท ZLSP300BR

3.1 เปิดเครื่อง ตั้งค่าการทำงานให้เหมาะสม

3.2 นำขี้เลื่อย 3 กิโลกรัม ผสมน้ำมันเครื่องเก่า ประมาณ 300 มิลลิลิตร ใส่เข้าไปในเครื่องอัดชีวมวล เครื่องอัดชีวมวลจะอัดขี้เลื่อยก้อนออกมา

3.3 นำขี้เลื่อยที่ออกมาจากเครื่อง วนกลับเข้าใส่ในเครื่องใหม่เรื่อยๆ ประมาณ 6 นาที จะเกิดความร้อนบริเวณจานหมุน

3.4 วัดอุณหภูมิเครื่อง บริเวณจานหมุน โดยเครื่องยิงอุณหภูมิ ให้มีความร้อนประมาณ 90 °C หรือสังเกตควันที่ออกจากจานหมุน

3.5 นำเปลือกกะลากาแฟที่ผสมแป้งมันแล้วใส่เข้าไปในเครื่อง เปลือกกะลากาแฟจะถูกอัดออกมาเป็นชีวมวลอัดเม็ด

3.6 เมื่อดำเนินการอัดชีวมวลจนได้ปริมาณที่ต้องการแล้ว ขั้นตอนสุดท้าย ให้นำขี้เลื่อยผสมน้ำมันเครื่องเก่า ประมาณ 3 กิโลกรัม ใส่เข้าไปในเครื่อง เพื่อให้ขี้เลื่อยไปอุดบริเวณรังผึ้งเครื่องอัดชีวมวล เป็นการทำความสะอาดและหล่อลื่นรังผึ้งให้ใช้งานได้ปกติตลอด

ขั้นตอนการทดสอบชีวมวลอัดเม็ด

1. ค่าความร้อน ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E711 ด้วยเครื่องบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ ยี่ห้อ IKA รุ่น C200 โดยชั่งวัตถุดิบเปลือกกะลากาแฟประมาณ 1 กรัม ด้วยเครื่องชั่งที่มีทศนิยม 4 ตำแหน่ง บรรจุลงในภาชนะที่เตรียมไว้ของเครื่องบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ เมื่อเครื่องทำงานเสร็จจะประมวลค่าความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านจอมอนิเตอร์ การทดสอบทำ 3 ครั้งของแต่ละตัวอย่าง นำมาหาค่าเฉลี่ยค่าความร้อน

ภาพ 12 เครื่องบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ IKA รุ่น C200

2. ปริมาณความชื้น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E871 โดยนำภาชนะที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 30 นาที ใส่วัตถุดิบชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟจำนวนตัวอย่าง

50 กรัม ลงไปในภาชนะ นำไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกค่า จากนั้นนำภาชนะไปอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำออกมาใส่โถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นตัวลงตามอุณหภูมิห้อง ประมาณ 20 นาที ชั่งน้ำหนักบันทึกผล ทำจำนวน 3 ตัวอย่าง แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตรและหาค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นของชีวมวลแต่ละชนิด

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

M = ความชื้นรวม (%)

W_1 = น้ำหนักชีวมวลรวมถ้วยก่อนการอบ (g)

W_2 = น้ำหนักชีวมวลรวมถ้วยหลังการอบ (g)

3. ปริมาณเถ้า ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1102 โดยนำภาชนะที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 30 นาที ใส่วัตถุดิบชีวมวลเปลือกกะลากาแฟลงไปในภาชนะ 2 กรัม นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผลจากนั้นนำภาชนะไปเผาที่อุณหภูมิ 580–600 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำออกมาใส่โถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นตัวลงตามอุณหภูมิห้อง ประมาณ 20 นาที ชั่งน้ำหนักบันทึกผล ทำจำนวน 3 ตัวอย่าง แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตรและหาค่าเฉลี่ย

$$A = \frac{W_2 - W_1}{W} \times 100$$

A = ปริมาณขี้เถ้า (%)

W_1 = น้ำหนักภาชนะก่อนเผา (g)

W_2 = น้ำหนักภาชนะรวมน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (g)

W = น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (g)

4. ปริมาณสารระเหย ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E872 โดยนำภาชนะที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 30 นาที ใส่วัตถุดิบชีวมวลเปลือกกะลากาแฟจำนวนตัวอย่าง 1 กรัม ลงไปในแต่ละภาชนะ นำไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกค่า จากนั้นนำภาชนะไปเผาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 7 นาที ในเตาเผา แล้วนำออกมาใส่โถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นตัวลงตามอุณหภูมิห้อง ประมาณ 20 นาที ชั่งน้ำหนักบันทึกผล ทำจำนวน 3 ตัวอย่าง แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสารระเหยจากสูตร และหาค่าเฉลี่ยปริมาณสารระเหย

$$V = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

V = ปริมาณสารระเหย (%)

W_1 = น้ำหนักชีวมวลก่อนเผา (g)

W_2 = น้ำหนักชีวมวลหลังเผา (g)

5. ความหนาแน่นรวม ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D6683 ทำได้โดยการเตรียมภาชนะบรรจุที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า บรรจุตัวอย่างชีวมวลอัดเม็ดลงไปให้เต็มภาชนะ ปาดเกลี่ยผิวหน้าภาชนะให้เรียบเสมอกับขอบบนของภาชนะ นำภาชนะบรรจุชีวมวลไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า นำค่าน้ำหนักภาชนะที่บรรจุชีวมวลลบกับน้ำหนักภาชนะบรรจุ เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักสุทธิของชีวมวลภายในภาชนะ ทำการทดสอบตัวอย่าง 3 ครั้ง นำไปคำนวณความหนาแน่นรวมตามสมการ

$$\rho = W / V$$

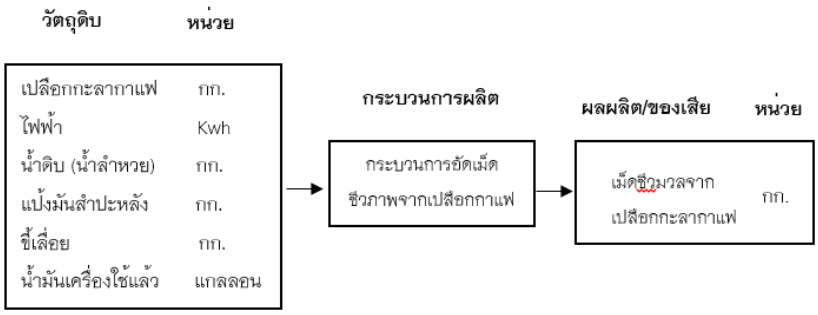
ρ = ความหนาแน่นรวม (kg/m^3)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (Kg)

V = ปริมาตรภาชนะ (m^3)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์กิจกรรมด้านการเกษตร ด้านอุตสาหกรรม ด้านการขนส่ง การใช้พลังงานต่าง ๆ รวมถึงการตัดไม้ทำลายป่าล้วนเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อน ที่ส่งผลกระทบ ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตในโลกนี้ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จึงเป็นหน้าที่ของทุกคนที่เกี่ยวข้อง ทั้งภาคการเกษตรและภาคอุตสาหกรรมในฐานะผู้ผลิตรวมถึงประชาชนในฐานะผู้บริโภคเพื่อการลดผลกระทบและความรุนแรงของปัญหาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของงานวิจัยนี้ เป็นการคำนวณจากขั้นตอนต่าง ๆ เริ่มที่การได้มาของเปลือกกะลากาแฟนับตั้งแต่การนำเปลือกกะลากาแฟไปอัดชีวมวล ไม่นับรวมการปลูก การดูแล การสีกาแฟเชอรี่และการสีกะลากาแฟ โดยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคำนวณจากข้อมูลกิจกรรม (Activity data) คูณกับ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor)



ภาพ 13 กระบวนการอัดเม็ดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ

ตาราง 6 ค่า Emission Factor การอัดเม็ดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ

ลำดับ	รายการ	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ ($kgCO_2eq$/หน่วย)	แหล่งอ้างอิงค่าแฟคเตอร์
1	น้ำดิบ(น้ำจากลำห้วย)	m^3	ไม่คิดการคำนวณ	
2	ไฟฟ้า	kWh	0.6093	ค่า EF อบก.
3	แป้งมันสำปะหลัง	กก.	0.2810	งานวิจัยคุณธารทิพย์ เศรษฐชาญวิทย์ ปี2558
4	น้ำมันเครื่องใช้แล้ว	แกลลอน	10.21	ค่า EF จาก USEPA

การศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์

เป็นการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยและระยะเวลาคืนทุนในการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ โดยวิเคราะห์ต้นทุน 2 ส่วนคือ

1. ต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่าเครื่องอัดชีวมวล
2. ต้นทุนแปรผัน ได้แก่ ค่าขนส่งวัตถุดิบ ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงาน

ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์กำหนดกระบวนการผลิตชีวมวลอัดเม็ดทั้งหมด 7 ชั่วโมงต่อวัน คือในเวลา 08.00–16.00 น. โดยมีลูกค้ามารับซื้อชีวมวลอัดเม็ดที่โรงงาน ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.25 บาทต่อหน่วย (ข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าสำหรับกิจการขนาดเล็ก จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) ค่าแรงงาน 300 บาทต่อคนต่อวัน และในกระบวนการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจาก

เปลือกกะลากาแฟ มีการสูญเสียร้อยละ 30 อันเนื่องมากจากการไม่ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่นการแตกหัก การไม่รวมตัวเป็นเม็ดชีวมวล เป็นต้น

การวิเคราะห์ระยะเวลาการผลิตที่คุ้มทุนสามารถคำนวณได้จากสมการ

จำนวนผลิตที่จุดคุ้มทุน (N*) $= \frac{F}{p-v}$

ระยะเวลาคืนทุน (ปี) $= \frac{N*}{N}$

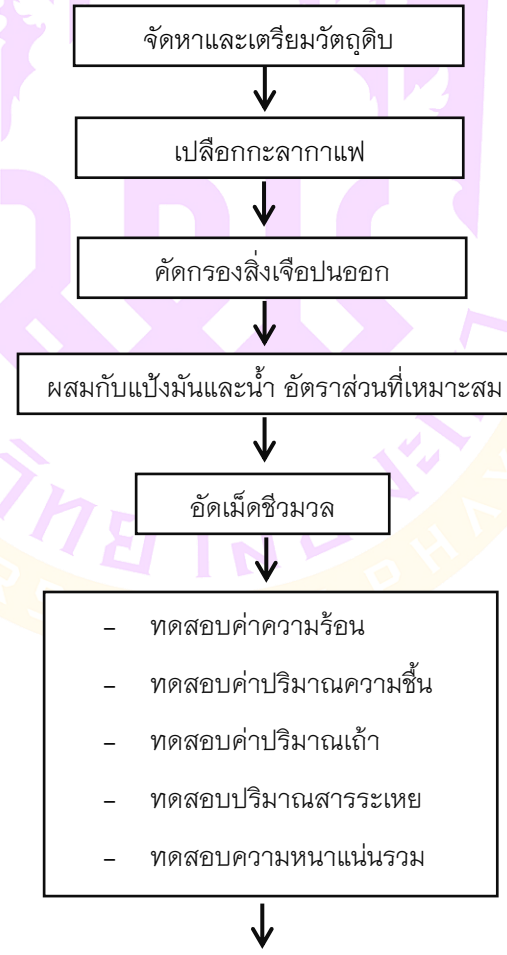
เมื่อ N* คือ จำนวนผลิตที่จุดคุ้มทุน (กก.)

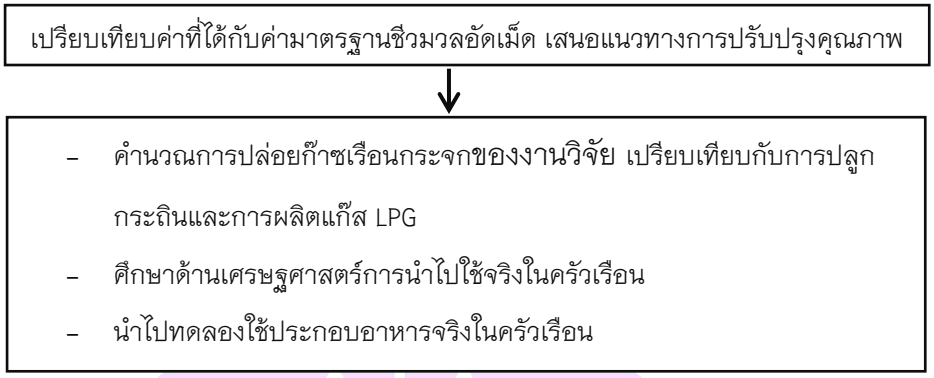
F คือ ต้นทุนคงที่ (บาท)

p คือ ราคาขายต่อหน่วย (บาท/กก.)

v คือ ต้นทุนแปรผัน (บาท/กก.)

N คือ จำนวนที่ต้องการผลิตต่อปี (กก./ปี)





ภาพ 14 แผนผังการศึกษาการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากการทดลองอัดเม็ดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟโดยเครื่องอัดชีวมวลแบบอัดร้อน (Hot Press Process) มีตัวประสานคือแป้งมันและน้ำ พบว่าที่อัตราส่วนต่าง ๆ ของการผสมได้ผลดังตาราง 7 โดยจากการทดลองส่วนผสมทั้งหมด 5 รูปแบบ ต้องมีการควบคุมเรื่องความชื้นหรือปริมาณน้ำที่ใส่เข้าไปในส่วนผสมไม่ให้แห้งหรือชื้นเกินไป รวมถึงปริมาณตัวประสานคือแป้งมันให้มีอัตราส่วนที่เหมาะสม กรณีที่ความชื้นไม่เพียงพอ การอัดชีวมวลผ่านเครื่องอัดจะไม่สามารถทำให้เปลือกกะลากาแฟอัดเป็นเม็ดชีวมวลได้ ส่วนผสมจะไหลผ่านรูรังผึ้งในลักษณะเป็นผงละเอียดและแห้ง กรณีความชื้นมากเกินไปและตัวประสานมากเกินไป ทำให้เกิดการอุดตันของส่วนผสมในรูรังผึ้ง และเครื่องอัดชีวมวลหยุดทำงาน ต้องถอดรังผึ้งมากระเทาะส่วนผสมที่อุดตันออก และเริ่มกระบวนการอัดเม็ดใหม่ทั้งหมด

ตาราง 7 การทดลองอัดเม็ดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟที่ส่วนผสมปริมาณต่างกัน

ตัวอย่างที่	เปลือกกะลากาแฟ (ส่วน)	แป้งมัน (ส่วน)	น้ำดิบ (ส่วน)	ผลการอัดเม็ด
1	3	0.7	0.3	ไม่เกิดการอัดเป็นเม็ด เปลือกกะลากาแฟถูกบดและย่อยออกมารูปแบบเดิม
2	3	0.5	0.5	เปลือกกะลากาแฟและส่วนผสมอุดตันตามรังผึ้งของเครื่องและเครื่องหยุดทำงาน ต้องนำรังผึ้งออกมาเคาะเอาส่วนที่อุดตันออก
3	3	0.5	0.3	เกิดการอัดเป็นเม็ดชีวมวลโดยที่มีความแข็งแรง ผิวมันวาว
4	3	0.5	0.1	ไม่เกิดการอัดเป็นเม็ด เปลือกกะลากาแฟถูกบดและย่อยออกมารูปแบบเดิม
5	3	0.3	0.3	เกิดการอัดเป็นเม็ด แต่เม็ดชีวมวลไม่มีความแข็งแรง แตกยุ่ย เนื่องจากความชื้นสูง

อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเปลือกกะกาแฟ แป้งมันและน้ำ เท่ากับ 3:0.5:0.3 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งการผสมวัตถุดิบตามสัดส่วนนี้แล้วจะมีน้ำหนักรวม 3.8 กิโลกรัม เมื่อนำไปอัดชีวมวลแล้วจะได้ชีวมวลอัดเม็ดที่มีน้ำหนัก 2.8 กิโลกรัม มีสีเหลืองเข้มถึงสีน้ำตาลอ่อนตามสีของเปลือกกะลากาแฟ โดยชีวมวลอัดเม็ดที่ได้จากเปลือกกะลากาแฟ แสดงดังภาพ 15

ภาพ 15 ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

การทดสอบคุณสมบัติชีวมวลอัดเม็ด

1. เส้นผ่านศูนย์กลางชีวมวลอัดเม็ด วัดโดย Digital Vernier แสดงดังภาพ 16 มีค่าเฉลี่ย 8.446 มิลลิเมตร เป็นไปตามขนาดของรูรังผึ้งเครื่องอัดชีวมวลแบบจานหมุน เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานการรับซื้อชีวมวลของแต่ละประเทศ พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟผ่านมาตรฐานการรับซื้อจากประเทศไทย ดังตาราง 9

ภาพ 16 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางชีวมวลอัดเม็ด โดย Digital Vernier

ตาราง 8 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

ตัวอย่างที่	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	เฉลี่ย
1	8.55	
2	8.44	
3	8.42	8.446
4	8.39	
5	8.43	

ตาราง 9 มาตรฐานเส้นผ่านศูนย์กลางการรับซื้อชีวมวลของแต่ละประเทศเปรียบเทียบกับชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

Specifications	Units	EU	Korea	Sweden	Thailand	ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ
		EN 14961-1	Grade3	Group 2	ธรรมดา	
เส้นผ่านศูนย์กลาง	มม.	6-8	6-8	ไม่ปรากฏ	6-12	8.446

2. ความยาวของชีวมวลอัดเม็ด การวัดความยาวเม็ดชีวมวลโดยไม้บรรทัด แสดงดังภาพ 17 มีความยาวตั้งแต่ 28-50 มิลลิเมตร ซึ่งในมาตรฐานการรับซื้อชีวมวลของแต่ละประเทศต้องการชีวมวลที่มีความยาวไม่เกิน 30-40 มิลลิเมตร เนื่องจากความสะดวกเรื่องการบรรจุภัณฑ์และการขนส่ง เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานการรับซื้อชีวมวลของแต่ละประเทศ พบว่าความยาวของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟผ่านมาตรฐานการรับซื้อจากประเทศสวีเดน ดังตาราง 10

ภาพ 17 การวัดความยาวชีวมวลอัดเม็ด

ตาราง 10 มาตรฐานความยาวการรับซื้อชีวมวลของแต่ละประเทศเปรียบเทียบกับชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

Specifications		EU	Korea	Sweden	Thailand	ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ
Units		EN 14961-1	Grade3	Group 2	ธรรมดา	
ความยาว	มม.	3.15-40	≤ 32	≤ 50	3.15-40	28-50

3. ความหนาแน่น (Bulk Density) การทดสอบค่าความหนาแน่นของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ บรรจุในภาชนะปริมาตร 1.2 ลิตร แสดงดังภาพ 18 มีค่าเฉลี่ย 538.08 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งในมาตรฐานการรับซื้อชีวมวลของแต่ละประเทศ ต้องการชีวมวลที่มีความหนาแน่นมากกว่า 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังตาราง 12 เนื่องจากความหนาแน่นสูงมีผลต่อระยะเวลาการเผาไหม้ที่มากขึ้น ทำให้ได้ความร้อนที่ยาวนานขึ้น การปรับปรุงคุณสมบัติความหนาแน่นสามารถทำได้โดยการผสมเปลือกกะลากาแฟกับขี้เลื่อยที่ได้จากไม้เบญจพรรณ เช่น ไม้สัก ไม้ประดู่ ไม้มะค่า เป็นต้น ซึ่งขี้เลื่อยจากไม้เหล่านี้มีคุณสมบัติความหนาแน่นสูง จะสามารถทำให้ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟมีค่าความหนาแน่นที่สูงขึ้น

ภาพ 18 การชั่งน้ำหนักชีวมวลอัดเม็ดในภาชนะที่ทราบปริมาตร

ตาราง 11 การค่าความหนาแน่นของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

ครั้งที่	น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	ปริมาตรภาชนะ (ลิตร)	น้ำหนักชีวมวลรวมภาชนะ (กรัม)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความหนาแน่นเฉลี่ย (กก./ลบ.ม.)
1	59.58	1.2	706.31	538.94	
2	59.58	1.2	701.72	535.12	538.08
3	59.58	1.2	707.8	540.18	

ตาราง 12 มาตรฐานค่าความหนาแน่นของการรับซื้อชีวมวลของแต่ละประเทศเปรียบเทียบกับชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

Specifications		EU	Korea	Sweden	Thailand	ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ
Units		EN 14961-1	Grade3	Group 2	ธรรมดา	
ความหนาแน่นรวม	kg/m^3	≥ 600	≥ 550	≥ 500	≥ 600	538

4. ความชื้น (Moisture Content) ความชื้นของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 11.66 ซึ่งในมาตรฐานการรับซื้อชีวมวลของแต่ละประเทศ ต้องการชีวมวลที่มีค่าความชื้นต่ำกว่า 10% ดังตาราง 14 เนื่องจากทำให้มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ดีกว่า และให้ความร้อนที่สูงกว่า ความชื้นที่มีค่าสูงเมื่อถูกเผาด้วยความร้อนจะกลายเป็นไอน้ำและเกิดการสูญเสียความร้อนเกิดขึ้น การปรับปรุงคุณสมบัติความชื้นสามารถทำได้โดยการผสมเปลือกกะลากาแฟกับไม้ไผ่ ซึ่งไม้ไผ่มีคุณสมบัติความชื้นต่ำ รวมถึงวิธีการจัดเก็บเม็ดชีวมวลในสถานที่ที่มีการควบคุมความชื้นได้ดี จะทำให้ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟมีค่าความชื้นต่ำและให้ความร้อนได้สูงขึ้น

ภาพ 19 การชั่งชีวมวลอัดเม็ด หลังจากนำเข้าเครื่องอบ 103 °C เวลา 24 ชั่วโมง

ตาราง 13 การวิเคราะห์ค่าความชื้นของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

ตัวอย่างที่	น้ำหนักชีวมวลรวมถาดก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักชีวมวลรวมถาดหลังอบ (กรัม)	ความชื้น (%)	ความชื้นเฉลี่ย (%)
1	34.78	30.81	11.41	
2	34.72	30.69	11.6	11.66
3	33.92	29.85	11.99	

ตาราง 14 มาตรฐานค่าความชื้นการรับซื้อชีวมวลของแต่ละประเทศเปรียบเทียบกับชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

Specifications / Units	EU	Korea	Sweden	Thailand	ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ
	EN 14961-1	Grade3	Group 2	ธรรมดา	
ค่าความชื้น % wt.	≤ 10	≤ 15	≤ 10	≤ 10	11.66

5. ปริมาณสารระเหย (Volatile Solid) ปริมาณของแข็งระเหยได้ของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 99.762 โดยน้ำหนัก ค่าปริมาณสารระเหยที่สูง ทำให้ชีวมวลจุดติดไฟได้ง่ายขึ้น เพิ่มความยาวของเปลวไฟ และมีอิทธิพลต่อความต้องการอากาศของเตาเผา

ภาพ 20 ชีวมวลอัดเม็ดหลังเผาด้วยอุณหภูมิ 950 °C เวลา 7 นาที

ตาราง 15 การวิเคราะห์ค่าปริมาณสารระเหยของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

ตัวอย่างที่	น้ำหนักชีวมวลก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักชีวมวลหลังเผา (กรัม)	ปริมาณสารระเหย (%)	ปริมาณเถ้าเฉลี่ย (%)
1	1.104	0.002	99.818	
2	1.029	0.001	99.902	0.93
3	1.16	0.005	99.568	

6. ปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณเถ้าของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.93 โดยน้ำหนัก ซึ่งในมาตรฐานการรับซื้อชีวมวลของแต่ละประเทศ ต้องการชีวมวลที่มีปริมาณเถ้าน้อยกว่าร้อยละ 0.7 ดังตาราง 17 เนื่องจากปริมาณเถ้าที่น้อยแสดงถึงการเผาไหม้ของชีวมวลที่ให้ความร้อนได้ยาวนานกว่าและมีประสิทธิภาพมากกว่า การปรับปรุงคุณสมบัติปริมาณเถ้าสามารถทำได้โดยการผสมเปลือกกะลากาแฟกับไม้ไผ่หรือขี้เลื่อยจากไม้เบญจพรรณ เช่น ไม้สัก ไม้ประดู่ ซึ่งทั้งคู่คุณสมบัติปริมาณเถ้าต่ำ จะทำให้ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟมีปริมาณเถ้าลดลง

ภาพ 21 เถ้าของชีวมวลอัดเม็ดที่ผ่านการอบ 580 °C เวลา 4 ชั่วโมง

ตาราง 16 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

ตัวอย่างที่	น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักชีวมวล (กรัม)	น้ำหนักภาชนะรวมชีวมวลหลังเผา (กรัม)	ปริมาณเถ้า (%)	ปริมาณเถ้าเฉลี่ย (%)
1	52.32	2.04	52.34	0.98	
2	50.72	2.12	50.73	0.47	0.93
3	52.56	2.2	52.59	1.36	

ตาราง 17 มาตรฐานปริมาณเถ้าการรับซื้อชีวมวลของแต่ละประเทศเปรียบเทียบกับชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

Specifications / Units		EU	Korea	Sweden	Thailand	ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ
		EN 14961-1	Grade3	Group 2	ธรรมดา	
ปริมาณเถ้า	% wt.	≤ 0.7	≤3.0	≤ 1.5	≤ 20	0.93

7. ค่าความร้อน (Net Calorific Value)

ค่าความร้อนของเปลือกกะลากาแฟที่ยังไม่ได้ถูกอัดเป็นเม็ดชีวมวล มีค่าเฉลี่ย 16,968 จูลต่อกรัม เป็นค่าพลังงานความร้อนที่สูง เนื่องจากสูงกว่ามาตรฐานด้านความร้อนของชีวมวลจากประเทศไทย เหมาะสมสำหรับนำมาพัฒนาเป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบพลังงานจากชีวมวล

ภาพ 22 เปลือกกะลากาแฟบดหยาบ นำเข้าเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์วิเคราะห์ค่าความร้อน

ตาราง 18 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของเปลือกกะลากาแฟ

ตัวอย่างที่	ค่าความร้อนเปลือกกะลากาแฟที่ยังไม่ได้อัดเม็ด (J/g)	เฉลี่ย (J/g)
1	16,861	16,968
2	17,074	

ค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ แยกเป็น 2 ประเภทคือ 1) ชีวมวลอัดเม็ดที่มีสีเข้ม คือมีการปนของน้ำมันเครื่องเก่าจากการอุ่นเครื่องอัดชีวมวลให้ร้อน มีค่าความร้อน เฉลี่ย 18,598 จูลต่อกรัม และ 2) ชีวมวลอัดเม็ดที่มีสีอ่อน คือชีวมวลที่ไม่มีการปนของน้ำมันเครื่องเก่า มีค่าความร้อนเฉลี่ย 18,218 จูลต่อกรัม ดังนั้นการปนของน้ำมันเครื่องเก่าในชีวมวลอัดเม็ดส่งผลต่อค่าความร้อนเพิ่มขึ้นร้อยละ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานการรับซื้อชีวมวลของแต่ละประเทศ พบว่าค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟผ่านมาตรฐานการรับซื้อของทุกประเทศ ดังตาราง 20

ภาพ 23 ตัวอย่างชีวมวลอัดเม็ดที่บดให้หยาบ ก่อนนำเข้าเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

ตาราง 19 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

ตัวอย่างที่	ชีวมวลอัดเม็ดสีเข้ม มีส่วนผสมน้ำมันเครื่อง (J/g)	ชีวมวลอัดเม็ดสีอ่อน ไม่มีส่วนผสมน้ำมันเครื่อง (J/g)
1	18,588	18,242
2	18,607	18,194

ตาราง 20 มาตรฐานค่าความร้อนการรับซื้อชีวมวลของแต่ละประเทศเปรียบเทียบกับชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

Specifications Units		EU EN 14961-1	Korea Grade3	Sweden Group 2	Thailand ธรรมดา	ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ
ค่าความร้อน	MJ/kg	16.5-19	≥ 16.9	≥ 16.9	≥ 14.6	18.2

การเปรียบเทียบคุณสมบัติที่ได้กับมาตรฐานการส่งออกชีวมวลอัดเม็ด

เมื่อนำค่าคุณสมบัติทั้งหมดของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดใน 4 ประเทศ ได้แก่ กลุ่มประเทศสหภาพยุโรป (EU) ประเทศเกาหลีใต้ ประเทศสวีเดนและประเทศไทย ซึ่งเป็นมาตรฐานระดับกลางของแต่ละประเทศ ได้ผลดังนี้

ตาราง 21 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟกับมาตรฐาน

Specifications Units		EU EN 14961-1	Korea Grade3	Sweden Group 2	Thailand ธรรมดา	ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ
Diameter	mm.	6-8	6-8	ไม่ปรากฏ	6-12	8.446
Length	mm.	3.15-40	≤ 32	≤ 50	3.15-40	28-50
Bulk Density	kg/m^3	≥ 600	≥ 550	≥ 500	≥ 600	538
Moisture content	% wt.	≤ 10	≤ 15	≤ 10	≤ 10	11.66

ตาราง 21 (ต่อ)

Specifications Units		EU	Korea	Sweden	Thailand	ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ
		EN 14961–1	Grade3	Group 2	ธรรมดา	
Ash content	% wt.	≤ 0.7	≤3.0	≤ 1.5	≤ 20	0.93
Net Calorific value	MJ/kg	16.5–19	≥ 16.9	≥ 16.9	≥ 14.6	18.2

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟกับมาตรฐานการนำเข้าชีวมวลระดับปานกลางของ 4 ประเทศ พบว่า ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ มีค่าผ่านมาตรฐานของหลายประเทศ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางผ่านมาตรฐานของประเทศไทย ความยาวผ่านมาตรฐานประเทศสวีเดน ปริมาณเถ้า ผ่านมาตรฐานของประเทศเกาหลีใต้ สวีเดนและประเทศไทย ซึ่งบางส่วนที่ไม่ผ่านมาตรฐานต้องมีการศึกษาและปรับปรุงคุณภาพชีวมวลอัดเม็ดต่อไป เช่น ค่าความหนาแน่น สามารถปรับปรุงโดยการผสมกับส่วนผสมอื่น เช่นขี้เลื่อยจากไม้เบญจพรรณ ที่ทำให้ชีวมวลอัดเม็ดมีน้ำหนักมากขึ้นและมีค่าความหนาแน่นสูงขึ้น ปริมาณเถ้าสามารถปรับปรุงโดยการผสมกับไม้ไผ่หรือขี้เลื่อยจากไม้เบญจพรรณ ซึ่งทั้งคู่มีคุณสมบัติปริมาณเถ้าน้อย จะสามารถลดปริมาณเถ้าของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟได้ปริมาณความชื้น สามารถปรับปรุงโดยการผสมไม้ไผ่ ซึ่งมีคุณสมบัติความชื้นต่ำ รวมถึงการจัดการเรื่องการเก็บชีวมวลในสถานที่ที่ควบคุมความชื้นได้ดี จะส่งผลให้ค่าความชื้นของชีวมวลลดลงและส่งผลให้มีค่าความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น

ค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ มีค่าที่ผ่านมาตรฐานการนำเข้าของทุกประเทศ หมายถึงสามารถให้ความร้อนจากการเผาไหม้ได้สูงและถึงแม้จะเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ดีที่สุดของทั้ง 4 ประเทศนี้ ก็ยังคงมีค่าที่สูงกว่ามาตรฐาน

นอกจากคุณสมบัติทางกายภาพแล้ว งานวิจัยฉบับนี้ยังให้ความสำคัญเรื่องปัญหาสิ่งแวดล้อม ในประเด็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงการผลิตพลังงานชนิดต่าง ๆ

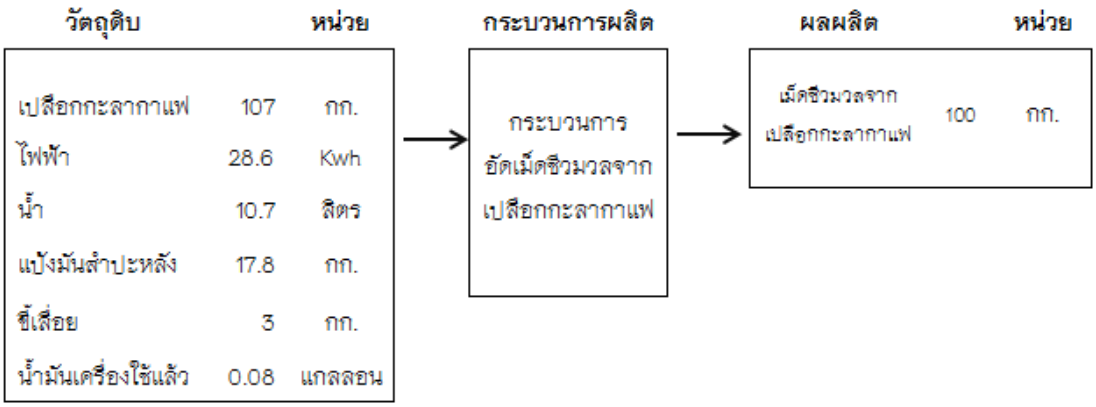
คือ การอัดเม็ดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ การปลูกต้นกระถินยักษ์เพื่อตัดมาทำฟืน การผลิตก๊าซ LPG หรือก๊าซหุงต้ม เพื่อคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าว่าเชื้อเพลิงชนิดใดปล่อยก๊าซก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าน้อยที่สุด ซึ่งหมายถึงการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดด้วย เพื่อเป็นการส่งเสริมให้ประชาชนทั่วไปหรือนักลงทุน ได้ทราบข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ การลงทุนโครงการ รวมถึงการพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วย

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ กิ่งไม้กระถินยักษ์และก๊าซ LPG

1. การผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ อัตราส่วนผสมระหว่างเปลือกกะลากาแฟ แป้งมันและน้ำ เท่ากับ 3:0.5:0.3 ส่วนโดยน้ำหนัก ซึ่งสามารถผสมอัตราส่วนนี้ในหน่วยกิโลกรัม และวัตถุดิบทั้งหมดนี้จะมีน้ำหนักรวม 3.8 กิโลกรัม สามารถอัดเป็นชีวมวลอัดเม็ดได้ 2.8 กิโลกรัม ในการเดินเครื่อง 8 นาที แยกเป็นการอุ่นเครื่อง 6 นาที และการอัดชีวมวล 2 นาที

ภาพ 24 ส่วนผสมกะลากาแฟแป้งมัน น้ำ 3.8 กก. สามารถอัดเป็นชีวมวลได้ 2.8 กก.

หากต้องการชีวมวลอัดเม็ด 100 กิโลกรัม ต้องใช้เปลือกกะลากาแฟ 107 กิโลกรัม แป้งมัน 17.8 กิโลกรัม และน้ำดิบ 10.7 ลิตร และระยะเวลาเดินเครื่องอัดชีวมวล 78 นาที แยกเป็นอุ่นเครื่อง 6 นาที และอัดชีวมวล 72 นาที โดยมีขี้เลื่อย 3 กิโลกรัมและน้ำมันเครื่องที่แล้ว 0.08 แกลลอน (0.3 ลิตร) ในการอุ่นเครื่อง กระบวนการอัดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟจำนวน 100 กิโลกรัม แสดงดังภาพ 25



ภาพ 25 กระบวนการอัดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมการอัดเม็ดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ ให้ได้ผลผลิต 100 กิโลกรัม จะปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจำนวนรวม 23.24 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 0.232 kgCO2eq/kg โดยวัตถุดิบที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือไฟฟ้าปล่อยมากถึง 17.42 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 75 ดังตาราง 22 ทั้งนี้ในการคำนวณ ไม่ได้นำเปลือกกะลากาแฟและขี้เลื่อยมาคิดอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากอยู่ในเงื่อนไขชีวมวลที่ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจะไม่คิดอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และน้ำดิบหรือน้ำจากลำห้วย ไม่ถูกนำมาคิดอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากเป็นการได้มาของทรัพยากรธรรมชาติโดยตรง

ตาราง 22 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ 100 กก.

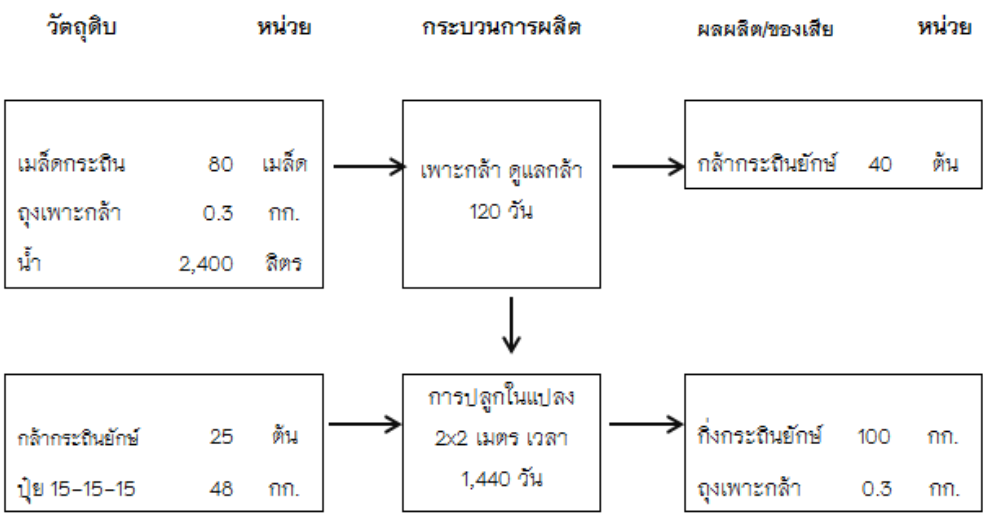
ลำดับ	ชื่อ	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ ($kgCO_2eq$/หน่วย)	จำนวนที่ใช้ในการอัดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟให้ได้ 100 กิโลกรัม	ค่า Emission (kgCO2eq)
1	ไฟฟ้า	kWh	0.6093	28.6	17.426
2	แป้งมันสำปะหลัง	กก.	0.281	17.8	5.0018

ตาราง 22 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ ($kgCO_2eq$/หน่วย)	จำนวนที่ใช้ในการอัดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟให้ได้ 100 กิโลกรัม	ค่า Emission (kgCO2eq)
3	น้ำมันเครื่องใช้แล้ว	แกลลอน	10.21	0.08	0.8168
			รวม		**23.24**

2. กิ่งไม้กระถินยักษ์ นิยมถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและให้ความร้อนในการประกอบอาหาร ในครัวเรือน เนื่องจากพบได้ง่ายตามชายป่าและรอบหมู่บ้าน อีกทั้งเป็นพืชที่โตเร็ว จากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปี 2551 ทดลองปลูกต้นกระถินยักษ์ระยะ 2x2 เมตร หรือจำนวน 400 ต้นต่อไร่ ระยะเวลา 4 ปี สามารถให้ผลผลิตในรูปแบบกิ่งไม้กระถินยักษ์แห้งประมาณ 1,658 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าความร้อนที่สูงถึง 18.7 MJ/kg ดังนั้นถ้าต้องการกิ่งไม้กระถินยักษ์แห้ง 100 กิโลกรัมสามารถปลูกกล้ากระถินยักษ์ 25 ต้นในพื้นที่ 100 ตารางเมตร ระยะเวลา 4 ปี

การปลูกกระถินยักษ์ สามารถเพาะเมล็ดในถุงเพาะชำขนาด 4 x 6 นิ้ว ที่บรรจุดินร่วนไว้ หยอดเมล็ด 2 เมล็ดต่อ 1 ถุง รดน้ำสม่ำเสมอ กล้าจะงอกภายใน 7 วัน ให้ถอนกล้าในถุงให้เหลือเพียง 1 กล้า เลี้ยงกล้าให้มีอายุ 120 วัน จึงนำลงปลูกในดิน ระยะ 2x2 เมตร รองพื้นด้วยปุ๋ยสูตร 15–15–15 หลุมละ 300 กรัม และหลังจากการปลูกให้บำรุงโดยปุ๋ยสูตร 15–15–15 ต้นละ 200 กรัม ปีละ 2 ครั้ง เมื่อต้นกระถินอายุ 4 ปี สามารถตัดและนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้ ต้นละประมาณ 4 กิโลกรัม แสดงดังภาพ 26



ภาพ 26 กระบวนการปลูกไม้กระถินยักษ์

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมการปลูกต้นกระถินยักษ์ ให้ได้ผลผลิต 100 กิโลกรัม จะปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจำนวนรวม 73.85 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 0.738 kgCO2eq/kg โดยวัตถุดิบที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือปุ๋ย สูตร 15-15-15 ปล่อยมากถึง 72.39 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 98 ดังตารางที่ 23 ทั้งนี้ในการคำนวณ ไม่ได้นำน้ำดิบหรือน้ำจากลำห้วย มาคิดอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากเป็นการได้มาของทรัพยากรธรรมชาติโดยตรง

ตาราง 23 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกและผลิตกิ่งต้นกระถินยักษ์ 100 กิโลกรัม

ลำดับ	ชื่อ	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ ($kgCO_2eq$/หน่วย)	จำนวนที่ใช้ในการผลิตกิ่งกระถินยักษ์ 100 กิโลกรัม	ค่า Emission (kgCO2eq)
1	ถุงดำเพาะกล้า	กก.	1.7258	0.3	0.51774
2	ปุ๋ย 15-15-15	กก.	1.5083	48	72.3984
3	กำจัดถุงดำเพาะกล้า	กก.	3.13	0.3	0.939
		รวม			**73.85**

การคำนวณปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมการปลูกต้นกระถินยักษ์ให้ได้ฟืน 100 กิโลกรัม อาจมีค่าการปลดปล่อยไม่เท่ากันในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากมีวิธีการปลูกที่แตกต่างกันและหลากหลายวิธี เช่น หากมีการปลูกกระถินยักษ์โดยไม่ใส่ปุ๋ย สูตร 15–15–15 แต่ใช้ปุ๋ยคอกแทน จะสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ หรือบางพื้นที่ไม่มีการปลูกกระถินยักษ์ แต่สามารถตัดฟืนไม้กระถินยักษ์ที่เกิดขึ้นเองตามชายป่าทั่วไป ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะลดลงมาก แต่ข้อเสียคือเป็นการตัดไม้ทำลายป่าและเป็นการกระทำที่ผิดกฎหมายในพื้นที่ป่าสงวนหรือพื้นที่คุ้มครองอื่น ๆ รวมถึงระยะเวลาที่ต้นกระถินยักษ์จะโตพอที่จะตัดมาทำฟืนได้อาจจะมากกว่า 4 ปีขึ้นไป เนื่องจากไม่มีการบำรุงและดูแลตามหลักทางวิชาการ

3. ก๊าซ LPG เป็นก๊าซหุงต้มที่มีใช้ในเกือบทุกครัวเรือนในปัจจุบัน เนื่องจากมีความสะดวกในการประกอบอาหารและยังสามารถควบคุมความร้อนในการประกอบอาหารได้ รวมถึงเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดควันไฟหรือมลพิษในครัวเรือน ก๊าซ LPG มีค่าความร้อนสูงถึง 49.24 MJ/kg

ตาราง 24 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตก๊าซ LPG 100 กิโลกรัม

ลำดับ	ชื่อ	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ ($kgCO_2eq$/หน่วย)	ปริมาณ LPG (กก)	ค่า Emission (kgCO2eq)
1	ก๊าซ LPG	กก.	0.4122	100	41.22

การวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์คือ ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ 100 กิโลกรัม กิ่งต้นกระถิน 100 กิโลกรัม ก๊าซ LPG 100 กิโลกรัม พบว่าชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าน้อยที่สุดคือ 23.24 กิโลกรัม รองลงมาคือก๊าซ LPG ปล่อย 41.22 กิโลกรัม และกิ่งไม้กระถินยักษ์ปล่อยมากที่สุดคือ 73.85 กิโลกรัม ดังนั้นชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนได้ และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

การคำนึงถึงด้านเศรษฐศาสตร์ การลงทุน ต้นทุนและระยะเวลาคุ้มทุน เป็นประเด็นประกอบการศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้ เพื่อเป็นแนวทางการตัดสินใจสำหรับนักลงทุนในการพิจารณาลงทุนกิจการอัดเม็ดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ ซึ่งสามารถทราบถึงอัตราการผลิต

เม็ดชีวมวลต่อวัน ต้นทุนของชีวมวลอัดเม็ดต่อ 1 กิโลกรัม และการตั้งราคาขายและระยะเวลาคืนทุน นักลงทุนสามารถพิจารณาข้อมูลดังกล่าวเพื่อประกอบการตัดสินใจลงทุนโครงการได้

การศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์

อัตราส่วนผสมระหว่างเปลือกกะลากาแฟ แป้งมันและน้ำ เท่ากับ 3:0.5:0.3 ส่วนโดยน้ำหนัก และส่วนผสมทั้งหมด 3.8 กิโลกรัม สามารถอัดเป็นชีวมวลอัดเม็ดได้ 2.8 กิโลกรัม เมื่อหักส่วนที่เสียหายออกประมาณ 30% คือเม็ดชีวมวลที่มีความยาวน้อยกว่า 0.5 เซนติเมตร รวมถึงเศษเปลือกกะลากาแฟที่ไม่ถูกอัดเป็นเม็ดชีวมวล จะเหลือชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ จำนวน 1.96 กิโลกรัม โดยที่เวลา 1 ชั่วโมงสามารถอัดชีวมวลได้ 53 กิโลกรัม

1. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

อัตราการผลิต	53	กิโลกรัม/ชั่วโมง
ราคาวัตถุดิบ		
เปลือกกะลากาแฟ	0	บาท/กิโลกรัม
แป้งมัน	13	บาท/กิโลกรัม
น้ำ	0	บาท/ลิตร
น้ำมันเครื่องเก่า	0	บาท/ลิตร
ขี้เลื่อย	0	บาท/กิโลกรัม
ไฟฟ้า	3.25	บาท/หน่วย

คิดราคาต้นทุนชีวมวลอัดเม็ดต่อ 1 กิโลกรัม

เปลือกกะลากาแฟ		0	บาท
แป้งมัน	0.5 x 13 / 2.52	2.58	บาท
น้ำ		0	บาท

พลังงานไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้า x ชั่วโมงทำงาน = 22 x 1.0 = 22 KWh

ค่าไฟฟ้าใน 1 กิโลกรัม เท่ากับ (22 / 53) x 3.25 1.37 บาท

ค่าแรง 2 คน ๆ ละ 300 บาท/วัน ๆ ละ 7 ชั่วโมง ได้ชีวมวล 371 กิโลกรัม/วัน

ค่าแรงใน 1 กิโลกรัม เท่ากับ 600 / 371 1.61 บาท

ตาราง 25 สรุปค่าใช้จ่ายในการอัดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ จำนวน 1 กิโลกรัม

ลำดับ	วัตถุดิบและอุปกรณ์	ค่าใช้จ่ายต่อ 1 กิโลกรัม
1	เปลือกกะลากาแฟ	0
2	แป้งมัน	2.58
3	น้ำ	0
4	ไฟฟ้า	1.37
5	ค่าแรง	1.61
	รวม	**5.56**

2. การคำนวณความคุ้มทุนโครงการอัดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ

2.1 เครื่องอัดชีวมวลประเภท ZLSP300BR กำลังไฟ 22 กิโลวัตต์/ชั่วโมง ความจุ 250–350 กิโลกรัม/ชั่วโมง ราคารวมการขนส่ง ประมาณ 260,000 บาท

2.2 ค่าก่อสร้างโรงเรือนชั่วคราวและติดตั้งระบบไฟฟ้า 30,000 บาท

2.3 รวมต้นทุนคงที่ 290,000 บาท

2.4 ราคาขายชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ 6.50 บาท/กก. (คำนวณจากราคาต้นทุนบวกกำไร 17%)

2.5 ต้นทุนชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ 5.56 บาท/กก.

2.6 กำไรต่อกิโลกรัม 0.94 บาท/กก.

2.7 ใน 1 ปี ดำเนินการทำงาน 297 วัน

2.8 ผลผลิตใน 1 ปี เท่ากับ 371 x 297 = 110,187 กิโลกรัม

การวิเคราะห์ระยะเวลาการผลิตที่คุ้มทุนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{จำนวนผลิตที่จุดคุ้มทุน } (N^*) = \frac{F}{p-v}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{N^*}{N}$$

เมื่อ N^* *คือ จำนวนผลิตที่จุดคุ้มทุน (กก.)*

F *คือ ต้นทุนคงที่ (บาท)*

p คือ ราคาขายต่อหน่วย (บาท/กก.)

v คือ ต้นทุนแปรผัน (บาท/กก.)

N คือ จำนวนที่ต้องการผลิตต่อปี (กก./ปี)

$$\text{จำนวนผลิตที่จุดคุ้มทุน } (N^*) = \frac{290{,}000}{6.50-5.56} = 308{,}510$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{308{,}510}{110{,}187} = 2.79 \text{ ปี}$$

จากการคำนวณความคุ้มทุนของโครงการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ สามารถดำเนินโครงการได้ โดยที่มีการลงทุนเครื่องมือและค่าก่อสร้างอาคาร รวม 290,000 บาท มีการจ้างแรงงาน 2 คนต่อวัน ทำงานวันละ 7 ชั่วโมง ผลิตชีวมวลอัดเม็ดวันละ 371 กิโลกรัม และจำหน่ายในราคา 6.50 บาทต่อกิโลกรัมซึ่งคำนวณจากราคาต้นทุนต่อ 1 กิโลกรัม บวกกำไรที่ 17% โดยโครงการนี้สามารถคืนทุนได้ภายใน 2.79 ปี หรือประมาณ 2 ปี 289 วัน

ในการลงทุนโครงการจริงต้องมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ประกอบอีก 2 ประเด็นคือ 1) พื้นที่จังหวัดเชียงรายมีฤดูฝนประมาณ 4–5 เดือนต่อปี ซึ่งฝนตกเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้เปลือกกะลากาแฟที่กองอยู่บนพื้นที่โล่งด้านนอกอาคารมีความชื้นมากเกินไป กองเปลือกกะลากาแฟที่ถูกฝนตกใส่ ไม่สามารถนำมาอัดเป็นชีวมวลได้ ต้องทำให้แห้งในระดับหนึ่งโดยการตากแดด ดังนั้นใน 1 ปี จะสามารถอัดเม็ดชีวมวลได้ 7–8 เดือนเท่านั้น 2) ปริมาณเปลือกกะลากาแฟที่ใช้ต่อวันมีปริมาณมาก กล่าวคือใน 1 วันต้องใช้เปลือกกะลากาแฟจำนวน 718 กิโลกรัมในการอัดให้ได้ชีวมวล 371 กิโลกรัมในเวลา 7 ชั่วโมง พื้นที่โครงการพัฒนาดอยตุงใน 1 ปีมีวัตถุดิบเปลือกกะลากาแฟประมาณ 100 ตัน จะสามารถอัดเม็ดชีวมวลได้เพียง 139 วันเท่านั้น ส่งผลให้ระยะเวลาคุ้มทุนขยายออกไปเป็น 8 ปี

เมื่อได้ตัวอย่างเม็ดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟมาแล้ว สิ่งสำคัญในการวิจัยฉบับนี้คือการทดสอบนำตัวอย่างชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟไปทดลองใช้ในครัวเรือนใน คือเป็นเชื้อเพลิงเพื่อประกอบอาหาร สังเกตและจัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความร้อน รวมถึงความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกในระดับครัวเรือน เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในครัวเรือนและเป็นการใช้ประโยชน์ของเหลือในพื้นที่ให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด

การทดสอบนำชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟไปใช้ในครัวเรือน

การประยุกต์ใช้ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟในครัวเรือน เป็นการทดลองการเผาชีวมวลอัดเม็ดจริง เพื่อประกอบอาหาร เปรียบเทียบกับการใช้ฟืนจากไม้กระถินยักษ์และก๊าซหุงต้ม เก็บข้อมูลปริมาณที่ใช้และระยะเวลาการให้ความร้อนของทั้ง 3 วัตถุดิบ เพื่อนำมาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียข้อจำกัดของแต่ละวัตถุดิบและสรุปผล จากตาราง 26 ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟให้ความร้อนที่ดี มีระยะเวลาการเผาไหม้ยาวนาน ราคาประมาณ 2 บาทต่อการจุด 72 นาที เมื่อเทียบกับฟืนจากไม้กระถินยักษ์ พบว่าฟืนจากไม้กระถินยักษ์มีค่าความร้อนที่สูงกว่า มีราคาที่สูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับแหล่งปลูกของต้นกระถินว่าตัดมาจากแปลงปลูกหรือตัดมาจากป่า ถ้าตัดมาจากแปลงปลูกจะมีราคาสูงเนื่องจากต้นทุนด้านปุ๋ยและค่าดูแลรักษา ฟืนจากไม้กระถินยักษ์มีระยะเวลาเผาไหม้ประมาณ 49 นาทีซึ่งสั้นกว่าชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ และเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซ LPG หรือก๊าซหุงต้มพบว่า ก๊าซ LPG มีค่าความร้อนที่มากกว่าชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ 2.7 เท่า สามารถปรับระดับความร้อนสูง–ต่ำได้ มีความสะดวกในการใช้งานมากกว่า แต่มีต้นทุนสูงคือประมาณ 16 บาทต่อการจุด 60 นาที และต้นทุนจะมากขึ้นเมื่อปรับระดับความร้อนให้สูงขึ้น

ตาราง 26 สรุปข้อมูลการทดลองใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ในครัวเรือนเพื่อประกอบอาหาร

ที่	ประเภท	จำนวนที่ใช้ (กรัม)	ระยะเวลาเผาไหม้ (นาที)	ลักษณะเปลวไฟ	ค่าความร้อน (MJ/Kg.)	ราคาต่อหน่วย (บาท)
1	ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ	300	72	มีเปลวไฟสูงช่วง 5–40 นาทีแรก	18.2	2
2	ฟืนจากไม้กระถินยักษ์	300	49	มีเปลวไฟสูงช่วง 5–15 นาทีแรก	18.78	0–5
3	ก๊าซ LPG	114	60	สามารถปรับระดับความร้อนให้สูง–ต่ำได้	49.24	16

1. เปลือกกะลากาแฟ จำนวน 300 กรัม นำมาจุดในเตาไฟสนามและประกอบอาหาร จำนวน 3 ครั้ง ได้ผลดังนี้

ตาราง 27 ระยะเวลาการเผาไหม้ของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ

ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกกะลากาแฟ	ระยะเวลาการเผาไหม้ (นาที)
1	300 กรัม	70
2	300 กรัม	76
3	300 กรัม	72
	เฉลี่ย	**72.6**

การประกอบอาหารโดยใช้ความร้อนจากเปลือกกะลากาแฟ จำนวน 300 กรัม มีระยะเวลาการเผาไหม้เฉลี่ยที่ 72.6 นาที การจุดติดง่าย มีเปลวไฟสูงในช่วง 5-40 นาที หลังจากนั้นจะกลายเป็นถ่านสีแดงติดไฟประมาณ 20 นาที สามารถให้ความร้อนได้นาน เหมาะสำหรับการประกอบอาหารประเภทต้มที่ต้องใช้ระยะเวลามาก เช่น ต้มเนื้อให้เปื่อย ตุ๋นเนื้อ เป็นต้น

ภาพ 27 การประยุกต์ใช้ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟในการประกอบอาหาร

2. ฟืนจากไม้กระถิน จำนวน 300 กรัม นำมาจุดในเตาไฟสนาม จำนวน 3 ครั้ง ได้ผลดังนี้

ตาราง 28 ระยะเวลาการเผาไหม้ของฟืนจากไม้กระถินยักษ์

ครั้งที่	น้ำหนักไม้กระถิน	ระยะเวลาการเผาไหม้ (นาที)
1	300 กรัม	45
2	300 กรัม	52
3	300 กรัม	50
	เฉลี่ย	**49**

ฟืนจากไม้กระถิน จำนวน 300 กรัม มีระยะเวลาการเผาไหม้เฉลี่ย 49 นาที การจุดติดง่าย มีเปลวไฟสูง ให้ไฟแรงในช่วง 5–15 นาทีแรก หลังจากนั้นฟืนที่ติดไฟจะกลายเป็นถ่านติดไฟประมาณ 20 นาที และค่อย ๆ ดับลง เหมาะสำหรับการประกอบอาหารประเภทที่ต้องใช้ระยะเวลาไม่มาก เช่น การนึ่งข้าวเหนียว การต้มหรือแกง เป็นต้น

ภาพ 28 การเผาฟืนจากไม้กระถินยักษ์

3. แก๊สหุงต้มแบบกระป๋อง น้ำหนักกระป๋องละ 435 กรัม นำมาจุดในเตาแก๊สสนามและประกอบอาหาร จำนวน 3 ครั้ง ระยะเวลา 1 ชั่วโมง วัดน้ำหนักเปรียบเทียบก่อน-หลัง ได้ผลดังนี้

ตาราง 29 น้ำหนักของแก๊สหุงต้มแบบกระป๋องหลังจากการประกอบอาหาร

ครั้งที่	น้ำหนักแก๊สก่อนใช้ (กรัม)	น้ำหนักแก๊สหลังใช้ (กรัม)	น้ำหนักแก๊สที่ใช้ไป (กรัม)
1	345	200	145
2	345	240	105
3	345	255	90
	เฉลี่ย		**113.3**

แก๊สหุงต้มแบบกระป๋อง นำมาประกอบอาหารในเวลา 1 ชั่วโมง ใช้แก๊สเฉลี่ย 114 กรัม ขึ้นอยู่กับระดับความแรงของเปลวไฟที่ผู้ใช้สามารถกำหนดระดับได้ ถ้าแก๊สน้ำหนัก 300 กรัม จะสามารถให้ความร้อนได้นานถึง 124-200 นาทีเหมาะสำหรับการประกอบอาหารทุกประเภท เนื่องจากสามารถปรับระดับความร้อนได้ ให้ความร้อนสูง และกระจายทั่วถึงภาชนะ

ภาพ 29 การประกอบอาหารโดยใช้แก๊สหุงต้มแบบกระป๋อง

สรุปข้อดี ข้อเสียและข้อจำกัดของแหล่งเชื้อเพลิงในครัวเรือน ทั้ง 3 ชนิด

ตาราง 30 ข้อดี/ข้อเสีย/ข้อจำกัดของแหล่งเชื้อเพลิงในครัวเรือน

ลำดับ	ชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ	
	ข้อดี	**ข้อเสีย/ข้อจำกัด**
1	สามารถให้ความร้อนนาน จุดติดไฟง่าย	กระบวนการผลิตยาก มีขั้นตอนซับซ้อน
2	มีควันไฟเล็กน้อย ไม่มีกลิ่น	ทำให้ภาชนะที่ประกอบอาหารดำ
3	ราคาถูก (กิโลกรัมละ 5 บาท)	
4	ขนาดเล็ก สะดวกต่อการขนส่ง	
ลำดับ	**ฟืนจากไม้กระถินยักษ์**	
	ข้อดี	**ข้อเสีย/ข้อจำกัด**
1	สามารถให้ความร้อนดี จุดติดง่าย	มีควันไฟขณะเริ่มการจุดติด ส่งกลิ่นเหม็น
2	หาได้ง่ายในพื้นที่ หรือตามป่าทั่วไป	ทำให้ภาชนะที่ประกอบอาหารดำ
3	ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง	การใช้ฟืนเป็นการตัดต้นไม้
ลำดับ	**แก๊สหุงต้มแบบกระป๋อง**	
	ข้อดี	**ข้อเสีย/ข้อจำกัด**
1	สามารถให้ความร้อนดี ไม่มีควันไฟ	ราคาสูง (100 กรัม ราคา 14 บาท)
2	ควบคุมความร้อน สูง/ต่ำ ได้	ภาชนะบรรจุเกลายเป็นขยะอันตราย
3	สามารถประกอบอาหารได้ทุกประเภท	
4	หาซื้อได้ง่ายตามซุปเปอร์มาร์เก็ต	

จากการทดลองใช้ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ จุดไฟสำหรับให้ความร้อนเพื่อการประกอบอาหารในครัวเรือน พบว่ามีการให้ความร้อนที่ดี จุดติดไฟง่าย ระยะเวลาการจุดติดไฟนาน ราคาถูก สามารถประกอบอาหารประเภทที่ต้องใช้เวลานานได้ดี เป็นการนำของเหลือจากภาคเกษตรกรรมมาพัฒนาให้เป็นพลังงานและใช้ในครัวเรือนเพื่อลดรายจ่ายได้ ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมทางหนึ่งในการนำมาประยุกต์ใช้ในครัวเรือนได้

ในอดีตทางเลือกสำหรับในการนำเปลือกกะลากาแฟไปใช้ให้เกิดประโยชน์ยังมีไม่มากนัก เช่น การเผาทิ้ง การทำเป็นวัสดุปลูกในไม้ประดับต่าง ๆ แต่ในปัจจุบันมีแนวความคิดการนำเปลือกกะลากาแฟไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น การเผาเปลือกกะลากาแฟในรูปแบบควบคุมอากาศ ทำให้ได้แก๊สและนำไปใช้ในรูปแบบพลังงานความร้อน รวมถึงได้แกลบดำของเปลือกกะลากาแฟนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ทดแทนแกลบดำจากข้าวซึ่งมีราคาสูง นอกจากนี้ยังมีแนวคิดการนำเปลือกกะลากาแฟไปใช้เป็นวัสดุสำหรับเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็กในกรง เช่น หนู กระต่าย เม่นแคระ โดยที่เปลือกกะลากาแฟมีลักษณะคล้ายขี้เลื่อยที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์เล็กในกรง ช่วยซับของเสียของสัตว์และรองพื้นกรงเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ ทั้งนี้ควรพิจารณาเปลือกกะลากาแฟที่ไม่ละเอียดเกินไป เนื่องจากทำให้เกิดฝุ่นและเป็นอันตรายต่อสัตว์เลี้ยง รวมถึงคำนึงถึงกลิ่นอ่อน ๆ ของกาแฟ ที่ติดอยู่กับเปลือกกะลากาแฟ ว่ามีผลกระทบต่อสัตว์เลี้ยงมากน้อยเพียงใด

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ ได้ทำการทดลองอัดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ โดยวิธีการอัดร้อน เครื่องอัดชีวมวลเป็นแบบเครื่องจานหมุน โดยมีแป้งมันสำปะหลังและน้ำเป็นตัวประสาน ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับอัดชีวมวลให้ออกมาเป็นเม็ดที่แข็งแรง ผิวมันเรียบ ไม่แตกหักง่าย คืออัตราส่วนระหว่างเปลือกกะลากาแฟ: แป้งมันสำปะหลัง:น้ำ เท่ากับ 3.0:0.5:0.3 โดยน้ำหนัก เมื่อผสมวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้เข้าด้วยกันจะมีน้ำหนักรวม 3.8 กิโลกรัม สามารถอัดชีวมวลอัดเม็ดออกมาได้น้ำหนัก 2.8 กิโลกรัมในระยะเวลา 8 นาที

การทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ ตามมาตรฐาน ASTM เปรียบเทียบกับมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดระดับกลางของ 4 ประเทศ คือ สหภาพยุโรป ประเทศสวีเดน ประเทศเกาหลีใต้และประเทศไทย พบว่าค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ มีค่า 18.21 MJ/Kg เป็นค่าเดียวที่ผ่านมาตรฐานของทั้ง 4 ประเทศ และเมื่อเทียบกับมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดของประเทศไทย ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ ผ่านมาตรฐาน 4 ข้อคือ เส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว ปริมาณเถ้าและค่าความร้อน แสดงถึงคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีและความเป็นได้ในการพัฒนาคุณสมบัติชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟให้ดีมากขึ้นไป

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ 100 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับ การปลูกต้นกระถินยักษ์ให้ได้ฟืน 100 กิโลกรัม และการผลิตก๊าซ LPG จำนวน 100 กิโลกรัม พบว่าการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ 100 กิโลกรัม ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดที่ 23.24 kgCO2eq รองลงมาคือการผลิตก๊าซ LPG และกิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือการปลูกต้นกระถินยักษ์ให้ได้ฟืน 100 กิโลกรัม ดังนั้นชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ ส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ โดยมีเป้าหมายผลิตชีวมวลอัดเม็ดวันละ 371 กิโลกรัม จำหน่ายในราคา 6.5 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งโครงการนี้สามารถคืนทุนได้ภายใน 2.79 ปี หรือประมาณ 2 ปี 289 วัน

การทดสอบใช้ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ เพื่อประกอบอาหารในครัวเรือน สามารถให้ความร้อนที่ดี และต่อเนื่อง ระยะเวลาประมาณ 70 นาที เหมาะสมสำหรับการประกอบอาหารประเภทตุ๋น หรือต้มเนื้อสัตว์ที่ใช้ระยะเวลานาน ข้อเสียจากการใช้คือภาชนะจะดำจากน้ำมันทาร์ของควันไฟ

ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ จึงเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก ที่ให้คุณสมบัติด้านความร้อนที่ดี ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อย มีความเหมาะสมต่อการลงทุนโครงการผลิตเพื่อจำหน่าย ระยะเวลาคืนทุนน้อย และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการให้ความร้อนการประกอบอาหารในครัวเรือนทดแทนการใช้ฟืนและก๊าซหุงต้ม ลดการตัดไม้ทำลายป่าและเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในครัวเรือน เป็นการใช้ของเหลือจากภาคการเกษตรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ที่ส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถตอบโจทย์การพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของประเทศไทยในอนาคตได้

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2555). **โครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของBiomass pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับอนาคต**. สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2560. จาก http://e-lib.dede.go.th/mm-ata/Bib15106%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%89%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%AA%E0%B8%B8%E0%B8%94%E0%B8%97%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A2.pdf

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). **การประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวล**. สืบค้นเมื่อ 22 ธันวาคม 2560. จาก http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). **ค่าการแปลงหน่วย coversion factors**. สืบค้นเมื่อ 26 กุมภาพันธ์ 2561. จาก http://www.eppo.go.th/info/cd-2015/Appendix%20II/CONVERSION%20FACTORS.doc.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579**. สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2560. จาก http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/AEDP2015.pdf.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). **สถิติและข้อมูลพลังงาน (Energy Statistics & Information).** สืบค้นเมื่อ 22 ธันวาคม 2560. จาก http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid= 42079.

กระทรวงพาณิชย์. (2559). **ราคาสินค้ามันสำปะหลัง**. ศูนย์บริการข้อมูลสารสนเทศ ณ จุดเดียวของกระทรวงพาณิชย์ 2559. สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2561. จาก http://www.moc.go.th/index.php/2015-12-07-11-18-37.html.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2558). **อัตราค่าไฟฟ้าจำแนกตามกิจการไฟฟ้า**. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. สืบค้น เมื่อ 17 กรกฎาคม 2561. จาก https://esd.pea.co.th/pdf/electricity_rate_58 02.pdf.

โครงการประเทศสีเขียว. (ม.ป.ป). **กระถินยักษ์**. สืบค้นเมื่อ 21 เมษายน 2560. จาก http://www.greencoun.com/Leucaena1.php.

ชัยณรงค์ แก้วด้วง, ธิติพงษ์ บัวลอย และธนชาติ เจดีย์ถา. (ม.ป.ป). **คู่มือการปรับปรุง**

คุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลโดยการอัดเม็ด. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์.

เดชณรงค์ ยะแสง, ธวัชชัย พิพิทธภัณฑ์ และมนตรี ทรงตระกูลวงศ์. (2556). **การออกแบบและสร้างเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงแข็งชนิดสกรูอัดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร**. วิทยานิพนธ์ อส.บ., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, น่าน.

ธนาพล ตันติสัตยกุล, กะชามาศ สายดำ, สุจิตรา ภูส่งสี และศิวพร เงินเรืองโรจน์. (2558). การศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,** 5, 20.

ธนาพล ตันติสัตยกุล, สุริฉาย พงษ์เกษม, ปรีย์ปวีณ ภูหญ้า และภาณุวัฒน์ ไถ้บ้านกวย. (2558). พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,** 3, 14.

ธีร์ดนัย พร้อมมูล. (2558). **การพัฒนาคุณภาพของชีวมวลอัดเม็ดจากขี้เลื่อยในประเทศไทย.** วิทยานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพ.

นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล และธรพร บุศย์น้ำเพชร. (2559). ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา. **Veridian E-Journal,** Science and Technology Silpakorn University. 3, 86-100.

บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์ และบุญรอด สัจจกุลนุกิจ. (2555). **รายงานการวิจัยเรื่องโครงการแนวทางการส่งเสริมมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลแปรรูปในภาคอุตสาหกรรม**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2547). **การพัฒนาเครื่องอัดแท่งชีวมวลสำหรับใช้ผลิตถ่านชีวภาพ.** สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2560**.** จาก http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/961/1/BIB522_F.pdf.

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. (2549). **ชีวมวล (Biomass)**. กรุงเทพ: สำนักพิมพ์ คิวพริ้นต์ เมเนจเม้นท์ จำกัด.

วิทยาลัยโลจิสติกส์และโซ่อุปทานมหาวิทยาลัยนเรศวร. (2555). **แนวโน้มความต้องการใช้พลังงานในแต่ละประเทศ**. สืบค้นเมื่อ 7 กันยายน 2560. จาก http://www.freightmaxad.com/ magazine/?p=4260.

วีรชัย อาจหาญ. (2551). **การศึกษาต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. สืบค้นเมื่อ 6 กันยายน 2560. จาก http://webkc.dede.go.th/testmax/node/1018

สากล มีสุข. (2550). **ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเทคโลยีการผลิตกาแฟอาราบิก้าของเกษตรกร อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ ศศ.ม., มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). **คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน**. สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2561. จาก http://www2.diw.go.th/iwmb/form/iwd040_%E0%B8%9C%E0%B8%99%E0%B8%A7%E0%B8%81%20%E0%B8%87_%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%B3%E0%B8%A3%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87.pdf

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2554). **แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร** (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพ: พีทู ดีไซด์ แอนด์ พริ้นท์.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2559). **ค่า Emission Factor โดยแบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม**. สืบค้นเมื่อ 23 ตุลาคม 2560. จาก http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_822ebb1ed5.pdf.

Coals MKS. (2015). **Bio Fuel Products**. Retrieved 22 September 2017. from https://www.indiamart.com/mks-coals/o-fuel-products.html.

Elias A. Christoforou PAF. (2016). Thermochemical Properties of Pellets Derived from Agro-residues and the Wood Industry. **Waste Biomass Valor**. Retrieved 27 May 2017. from https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-016-9677-z

Huang J. (2016). **How To Make Wood Pellets – Wood Pellet Manufacture Steps**. Retrieved 16 September 2017 . from http://www.renewableenergyworld.com/ugc/articles/2016/05/how-to-make-wood-pellets--wood-pellet-manufacture-steps.html.

Liu Z, Liu Xe, Fei B, Jiang Z, Cai Z and Yu Y. (2013). The properties of pellets from mixing bamboo and rice straw. **Renewable Energy**. Retrieved 27 May 2017. from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112007781

News TI. (2018). **Companies in Japan Changed to Wood Pellets to clean-up coal power**. Retrieved 3 March 2018. from https://www.timberindustrynews.com

/companies-in-japan-changed-to-wood-pellets-to-clean-up-coal-power/.

Nunes LJR, Matias JCO and Catalão JPS. (2016). Wood pellets as a sustainable energy alternative in Portugal**. Renewable Energy**. Retrieved 27 May 2017. from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148115301609

Wikipedia. (2007). **Coffea arabica.** Retrieved 5 October 2017. from https://en.wikipedia.org/wiki/Coffea _arabica.

Yang I, Kim S-h, Sagong M and Han G-S. (2016). Fuel characteristics of agropellets fabricated with rice straw and husk. **Korean Journal of Chemical Engineering**. 33(3), 851-860

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ–สกุล	นายรัฐกร สวัสดิ์แดง
วัน เดือน ปี เกิด	27 ธันวาคม 2525
สถานที่เกิด	จังหวัดราชบุรี
วุฒิการศึกษา	วท.บ. ภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548
ที่อยู่ปัจจุบัน	209/1 หมู่ 5 ตำบลล้อมแรด อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง
ผลงานตีพิมพ์	รัฐกร สวัสดิ์แดง ศักดิ์สิทธิ์ อิ่มแมน และต่อพงศ์ กรีธาชาติ (ผู้บรรยาย). (24–25 พฤษภาคม 2561). การประเมินความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ. ในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 17 (หน้า5). อุดรธานี: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร