



การประเมินความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล อัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ Evaluation of Biomass Pellets Production from Coffee Endocarp

Rattakorn Sawaddang Torpong Kreetachat and Saksit Imman*

รัฐกร สวัสดิ์แดง ต่อพงษ์ กริธาชาติ และ ศักดิ์สิทธิ์ อิ่มแมน*

สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000

*E-mail : saksit.im@up.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเหมาะสมการจัดการเปลือกกะลากาแฟ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการสีกาแฟ โดยนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยกระบวนการอัดร้อน (Hot Press Process) มีแปงมันสำปะหลังและน้ำเป็นตัวประสาน การศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ (1) การศึกษาความเหมาะสมทางเทคนิคประกอบด้วยการหาค่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการอัดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟให้ออกมาเป็นเม็ดที่แข็งแรง และทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM นำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานนำเข้าชีวมวลระดับกลางจาก 4 ประเทศ และ (2) การวิเคราะห์ผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมในรูปแบบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเปรียบเทียบกับการใช้ฟืนและก๊าซ LPG ผลการศึกษาพบว่าชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟมีค่าความร้อนอยู่ที่ 18.2 MJ/kg มีค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น และปริมาณเถ้า เท่ากับ 530kg/m³, 11.66%, 0.93% ตามลำดับ และชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ 100 กิโลกรัม ปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ 23.25 กิโลกรัม น้อยกว่าก๊าซ LPG และฟืนจากไม้กระถินยักษ์ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก 41.22 และ 75.54 กิโลกรัม ในปริมาณที่เท่ากันตามลำดับ

คำสำคัญ : ชีวมวล; เปลือกกะลากาแฟ; ค่าความร้อน; คาร์บอนฟุตพริ้นท์

Abstract

The objective of this research is to study the technical feasibility of biomass pellets production from coffee endocarp as agriculture residues in order to use as alternative energy. The biomass pellets in this research was produced by hot-press process technique mixing with tapioca starch. The feasibility study consists 2 part (1) Fuel properties of the pellets and (2) environmental benefit in term of greenhouse gas emission compared with firewood from *Leucaena leucocephala* and LPG gas. The fuel properties of pellets were analyzed according to ASTM standards. The results show the heating value of pellets was 18.2 MJ/kg and bulk density, moisture content, and ash were 530kg/m³, 11.66%, 0.93% respectively. The 100 kg. of biomass pellets from coffee endocarp release the greenhouse gas by 23.25 kg. less than LPG gas and firewood from *Leucaena leucocephala* that release the greenhouse gas by 41.22 and 75.54 kg. respectively.

Keywords : Biomass; Coffee Endocarp; Heating Value; Carbon footprint

บทนำ

ประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานในแนวโน้มที่สูงขึ้น โดยเฉพาะความต้องการใช้พลังงานจากน้ำมันสำเร็จรูป ซึ่งเป็นไปตามอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร สภาพเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมที่เจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง พลังงานจากน้ำมันสำเร็จรูปนี้เป็นพลังงานสิ้นเปลืองที่มีปริมาณลดลงเรื่อยๆ และอาจจะหมดลงในอนาคต กระทรวงพลังงานดำเนินการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan) หรือ AEDP2015 [1] ให้มีความสำคัญในการส่งเสริมการผลิตพลังงานทดแทน ในช่วงปี พ.ศ. 2558-2579 โดยใช้วัตถุดิบที่มีในประเทศให้เต็มศักยภาพมากที่สุด การใช้เทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมในการผลิตพลังงานทดแทน การพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อประโยชน์ในมิติด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม โดยมีเป้าหมายในปี พ.ศ. 2579 ให้มีสัดส่วนพลังงานทดแทนร้อยละ 30 ต่อการใช้งานพลังงานขั้นสุดท้าย แสดงถึงนโยบายของรัฐบาลที่ให้ความสำคัญกับชีวมวลในการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับพลังงานทดแทนในอนาคตของประเทศไทย

เปลือกกะลากาแฟเป็นของเหลือที่ได้จากกระบวนการแปรรูปกาแฟ โดยในเขตโครงการพัฒนาโดยตุง อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย กระบวนการสีกาแฟเชอรี่ 100 กิโลกรัม จะได้กาแฟคั่ว 12.6 กิโลกรัม และเปลือกกะลากาแฟที่เป็นของเหลือ 4.8 กิโลกรัม ปัจจุบันการกำจัดเปลือกกะลากาแฟนิยมนำไปเป็นปุ๋ยและเผาในที่โล่ง ซึ่งอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม หากสามารถนำมาอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด (biomass pellets) จะสามารถใช้ประโยชน์จากของเหลือที่เกิดประโยชน์สูงสุด มีประสิทธิภาพที่ดีด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการ

ทดลองอัดเม็ดชีวมวลจากเปลือกกะลากาแฟ (รูปที่ 1) แบบอัดร้อน (Hot Press Process) โดยเครื่องอัดชีวมวลแบบจานหมุน ประเภท ZLSP300BR กำลังไฟ 22 กิโลวัตต์/ชั่วโมง ความจุ 250-350 กิโลกรัม/ชั่วโมง (รูปที่ 2) มีตัวประสานคือแป้งมันและน้ำ ทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดชีวมวลให้ออกมาเป็นแท่งยาวและมีความแข็งแรง



รูปที่ 1 เปลือกกะลากาแฟ



รูปที่ 2 เครื่องอัดชีวมวลแบบจานหมุน

วิธีการอัดชีวมวลโดยเครื่องอัดชีวมวลแบบจานหมุน ประเภท ZLSP300BR

1. เปิดเครื่อง ตั้งค่าการทำงานเบื้องต้น
2. นำขี้เลื่อยประมาณ 3 กิโลกรัม (รูปที่ 1) ผสมน้ำมันเครื่องเก่าประมาณ 150 มิลลิลิตร ใส่เข้าไปในเครื่องอัดชีวมวล เครื่องอัดชีวมวลจะอัดขี้เลื่อยก้อนออกมา
3. นำขี้เลื่อยที่ออกมาจากเครื่อง วนกลับเข้าไปในเครื่องใหม่เรื่อยๆ ประมาณ 6 นาที จะเกิดความร้อนสูงขึ้นเรื่อยๆ
4. วัดอุณหภูมิเครื่อง บริเวณจานหมุน โดยเครื่องยิ่งอุณหภูมิ ให้มีความร้อนประมาณ 90 °C หรือสังเกตควันและไอน้ำที่ออกมาจากจานหมุน
5. นำเปลือกกะลากาแฟที่ผสมแอมโมเนียและน้ำตามสัดส่วนที่เหมาะสม ใส่เข้าไปในเครื่อง เปลือกกะลากาแฟจะถูกอัดออกมาเป็นแท่งยาวประมาณ 2-5 ซม. มี

ความแข็งแรง หากไม่เป็นไปตามนี้ให้ทดลองผสมแอมโมเนียและน้ำในอัตราส่วนอื่นๆ

6. เมื่อดำเนินการอัดชีวมวลจนได้ปริมาณที่ต้องการแล้ว ขั้นตอนสุดท้าย ให้นำขี้เลื่อยผสมน้ำมันเครื่องเก่า ประมาณ 3 กิโลกรัม ใส่เข้าไปในเครื่อง เพื่อให้ขี้เลื่อยไปอุดบริเวณรังผึ้งเครื่องอัดชีวมวล เป็นการทำความสะอาดและหล่อลื่นรังผึ้งให้ใช้งานได้ดี

7. นำเม็ดชีวมวลที่ได้ไปตากแดดหรือผึ่งในที่โล่งเพื่อลดอุณหภูมิ จากนั้นสามารถบรรจุใส่ถุงหรือภาชนะที่ปิดมิดชิดป้องกันความชื้น

หลังจากได้ชีวมวลอัดเม็ดแล้ว (รูปที่ 3) นำไปทดสอบค่าความร้อนตามมาตรฐาน ASTM E711 ทดสอบค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM E871 ทดสอบปริมาณเถ้าตามมาตรฐาน ASTM D1102 ทดสอบค่าความหนาแน่นรวมในภาชนะที่ทราบปริมาตร วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง

และวัดความยาวโดยเฉลี่ยจากเครื่อง Digital Vernier เปรียบเทียบค่าคุณสมบัติชีวมวลอัดเม็ดที่ได้กับมาตรฐานระดับปานกลางการนำเข้าชีวมวลของ 4 ประเทศ คือ สหภาพยุโรป (EU) สวีเดน เกาหลีใต้และประเทศไทย [2] และคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์การผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลาจากแผล 100 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับการปลูกต้นกระถินยักษ์โดยการเพาะเมล็ด และปลูกระยะเวลา 4 ปี ให้ได้พื้นที่ 100 กิโลกรัม และกระบวนการผลิตก๊าซ LPG 100 กิโลกรัม

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองอัดเม็ดชีวมวลจากเปลือกกะลาจากแผลโดยเครื่องอัดชีวมวลแบบอัดร้อน (Hot Press Process) มีตัวประสานคือแป้งมัน พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเปลือกกะลาจากแผล แป้งมันและน้ำ

เท่ากับ 3 : 0.5 : 0.3 โดยน้ำหนักตามลำดับ เมื่อนำเข้าเครื่องอัดชีวมวลทำให้ได้ชีวมวลอัดเม็ดที่แข็งแรงไม่แตกหักง่าย

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลาจากแผลกับมาตรฐานการนำเข้าชีวมวลระดับปานกลางของ 4 ประเทศ (ตารางที่ 1) พบว่าชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลาจากแผล มีค่าผ่านมาตรฐานของหลายประเทศ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางผ่านมาตรฐานของประเทศไทย ความยาวผ่านมาตรฐานประเทศสวีเดน ปริมาณเถ้าผ่านมาตรฐานของประเทศเกาหลีใต้ สวีเดน และประเทศไทย ซึ่งบางส่วนที่ไม่ผ่านมาตรฐานต้องมีการศึกษาและปรับปรุงคุณภาพชีวมวลอัดเม็ดต่อไป เช่น ค่าความหนาแน่น อาจปรับปรุงโดยการผสมกับขี้เลื่อยไม้เบญจพรรณ ที่ทำให้ชีวมวลอัดเม็ดมีน้ำหนักมากขึ้นและมีค่าความหนาแน่นสูงขึ้น [3]



รูปที่ 3 ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลาจากแผล

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลาจากแผลกับมาตรฐานการนำเข้าชีวมวลอัดเม็ดระดับปานกลางใน 4 ประเทศ [2]

Specifications Units		EU	Korea	Sweden	Thailand	ชีวมวลอัดเม็ด
		EN 14961-1	Grade3	Group 2	ธรรมดา	จากเปลือกกะลาจากแผล
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
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

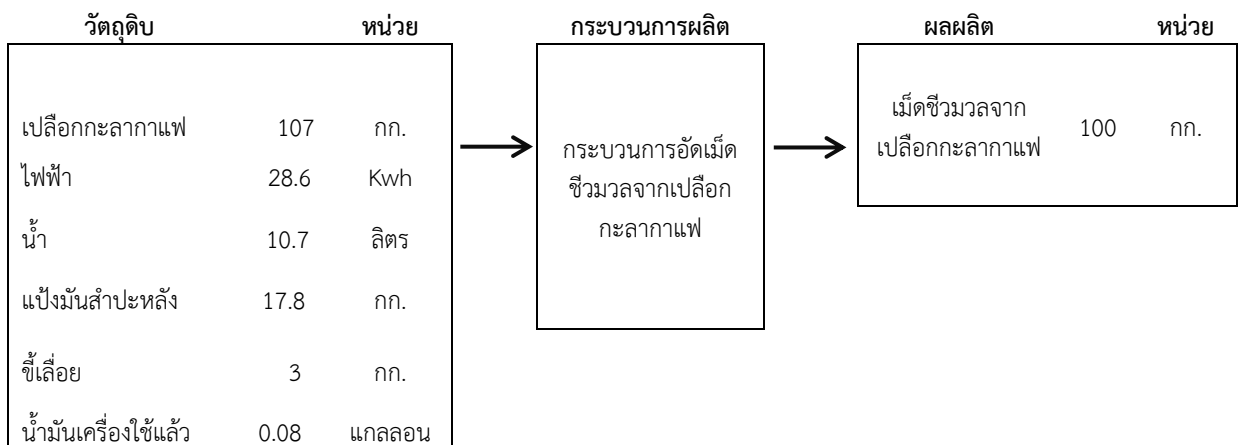
ค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลา กาแฟ มีค่าที่สูง ผ่านมาตรฐานการนำเข้าของทุกประเทศ หมายถึงสามารถให้ความร้อนจากการเผาไหม้ได้สูง ซึ่งเป็น จุดเด่นในของชีวมวลอัดเม็ดที่ควรพัฒนาเพื่อการใช้ ประโยชน์จากความร้อนจากการเผาไหม้ต่อไป

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลา กาแฟ กิ่งไม้กระถินยักษ์และก๊าซ LPG

การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ต่างๆ สามารถทำได้โดยการคำนวณจากข้อมูลกิจกรรม (Activity data) คูณกับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) [4] การผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลา กาแฟ อัตราส่วนผสมระหว่างเปลือกกะลา กาแฟ แป้งมันและน้ำ เท่ากับ 3 : 0.5 : 0.3 ส่วนโดยน้ำหนัก วัตถุดิบทั้งหมดนี้จะมีน้ำหนักรวม 3.8 กิโลกรัม สามารถอัดเป็นชีวมวลอัดเม็ด ได้ 2.8 กิโลกรัม ในการเดินเครื่อง 8 นาที แยกเป็นอุ่น เครื่อง 6 นาที และอัดชีวมวล 2 นาที

หากต้องการชีวมวลอัดเม็ด 100 กิโลกรัม ต้องใช้ เปลือกกะลา กาแฟ 107 กิโลกรัม แป้งมัน 17.8 กิโลกรัม และน้ำ 10.7 ลิตร และระยะเวลาเดินเครื่องอัดชีวมวล 78 นาที แยกเป็นอุ่นเครื่อง 6 นาที และอัดชีวมวล 72 นาที โดยมีส่วนผสมของซีลี้อย 3 กิโลกรัม และน้ำมันเครื่อง ที่ใช้แล้ว 0.08 แกลลอน (0.3 ลิตร) ในการอุ่นเครื่อง

กิ่งไม้กระถินยักษ์ นิยมถูกนำมาใช้เป็นฟืนในการ ให้ความร้อนในการประกอบอาหาร ในครัวเรือน เนื่องจาก พบได้ง่ายตามชายป่าและรอบหมู่บ้าน อีกทั้งเป็นพืช ที่โตเร็ว จากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในปี 2556 [5] ทดลองปลูกต้นกระถินยักษ์ระยะ 2x2 เมตร หรือ จำนวน 400 ต้นต่อไร่ ระยะเวลา 4 ปี สามารถให้ผลผลิต ในรูปแบบกิ่งไม้กระถินยักษ์แห้งประมาณ 1,658 กิโลกรัม ต่อไร่ มีค่าความร้อนที่สูงถึง 18.7 MJ/kg ดังนั้น ถ้าต้องการ ฟืนไม้กระถินยักษ์แห้ง 100 กิโลกรัม สามารถปลูกกล้า กระถินยักษ์ 25 ต้น ในพื้นที่ 100 ตารางเมตร ระยะเวลา 4 ปี (รูปที่ 5)



รูปที่ 4 กระบวนการอัดชีวมวลจากเปลือกกะลา กาแฟจำนวน 100 กิโลกรัม

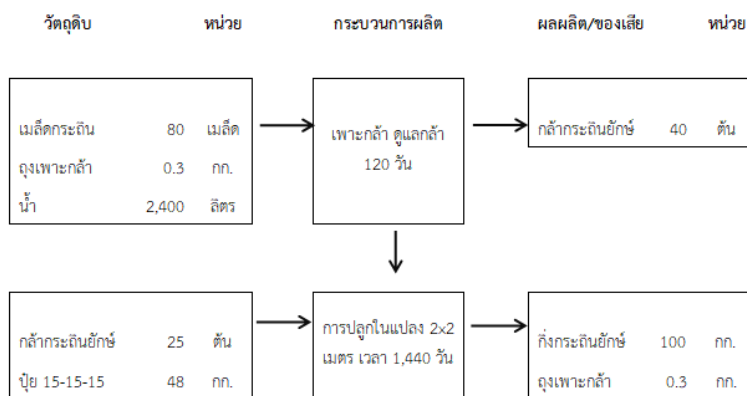
ตารางที่ 2 คาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลา กาแฟ 100 กิโลกรัม

ลำดับ	ชื่อ	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ [6] (kgCO ₂ eq/หน่วย)	จำนวนที่ใช้ในการอัดชีวมวลจากเปลือกกะลา กาแฟ ให้ได้ 100 กิโลกรัม	ค่า Emission (kgCO ₂ eq)
1	น้ำประปา	m ³	0.7043	0.0107	0.00753601
2	ไฟฟ้า	kWh	0.6093	28.6	17.426
3	แป้งมันสำปะหลัง	กก.	0.2810	17.8	5.0018
4	น้ำมันเครื่องใช้แล้ว	แกลลอน	10.2100	0.08	0.8168
รวม					23.252

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 บำรุงโดยปุ๋ยสูตร 15-15-15 ต้นละ 200 กรัม ปีละ 2 ครั้ง เมื่อต้นกระถินอายุ 4 ปี สามารถตัดและนำไปเป็นฟืนได้ [6]

ก๊าซ LPG เป็นก๊าซหุงต้มที่มีใช้ในเกือบทุกครัวเรือนในปัจจุบัน เนื่องจากมีความสะดวกในการประกอบอาหาร และยังสามารถควบคุมความร้อนในการประกอบอาหารได้ รวมถึงเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดควันไฟหรือมลพิษในครัวเรือน

การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ คือ ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลาจากแผล 100 กิโลกรัม ฟืนจากต้นกระถิน 100 กิโลกรัม ก๊าซ LPG 100 กิโลกรัม พบว่า ชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลาจากแผลปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า น้อยที่สุดคือ 23.25 กิโลกรัม รองลงมาคือก๊าซ LPG ปล่อย 41.22 กิโลกรัม (ตารางที่ 4) และฟืนจากต้นกระถินยักษ์ปล่อยมากที่สุดคือ 75.54 กิโลกรัม ดังนั้นชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลาจากแผล จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงประกอบอาหารในครัวเรือนได้ และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย



รูปที่ 5 กระบวนการปลูกไม้กระถินยักษ์ 25 ต้น โดยวิธีการเพาะเมล็ดในถุงเพาะชำ 40 ถุง

ตารางที่ 3 คาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการปลูกและผลิตกิ่งต้นกระถินยักษ์ 100 กิโลกรัม

ลำดับ	ชื่อ	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ [7] (kgCO ₂ eq/หน่วย)	จำนวนที่ใช้ในการผลิต ฟืนกระถินยักษ์ 100 กิโลกรัม	ค่า Emission (kgCO ₂ eq)
1	ถุงดำเพาะกล้า	กก.	1.7258	0.3	0.51774
2	น้ำประปา	m ³	0.7043	2.4	1.69032
3	ปุ๋ย 15-15-15	กก.	1.5083	48	72.3984
4	กำจัดถุงดำเพาะกล้า	กก.	3.1300	0.3	0.939
รวม					75.54546

ตารางที่ 4 คาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิต LPG 100 กิโลกรัม

ชื่อ	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ [6] (kgCO ₂ eq/หน่วย)	ปริมาณ LPG (กก)	ค่า Emission (kgCO ₂ eq)
ก๊าซ LPG	กก.	0.4122	100	41.22

สรุป

เปลือกกะลาตากาแฟเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตกาแฟ สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยการอัดเม็ดแบบร้อนโดยผสมกับแป้งมันและน้ำในอัตราส่วน 3 : 0.5 : 0.3 โดยน้ำหนัก คุณสมบัติที่ดีของชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลาตากาแฟคือค่าความร้อน ซึ่งมีมากถึง 18.2 MJ/kg ผ่านมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดจากหลายๆ ประเทศ และเมื่อศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลาตากาแฟเปรียบเทียบกับฟืนจากไม้กระถินยักษ์และก๊าซ LPG ในปริมาณที่เท่ากันคือ 100 กิโลกรัม พบว่าชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลาตากาแฟมีค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าน้อยที่สุด ที่ 23.25 กิโลกรัม ซึ่งถือว่าชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลาตากาแฟมีคุณสมบัติที่ดี ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย สามารถเป็นทางเลือกหนึ่งในการประยุกต์ใช้ในครัวเรือนและสามารถพัฒนาการใช้ชีวมวลในประเทศไทยทดแทนพลังงานจากฟอสซิลที่อาจหมดลงในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยฉบับนี้ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการให้การสนับสนุนการใช้เครื่องอัดชีวมวล ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยาในการสนับสนุนเครื่องมือในการหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ของชีวมวลอัดเม็ด และขอขอบคุณโครงการพัฒนาโดยตุงฯ ในการสนับสนุนเปลือกกะลาตากาแฟในการนำมาทดลองอัดเม็ดและศึกษาค่าคุณสมบัติต่างๆ งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Industrial Works, Manual and Properties Standard of Materials for Biomass Briquette Producing [Online], Available : <http://www2.diw.go.th> [2012, 2 December]. (in Thai)

- [2] Yubolket, V., Settheetham, D., 2017, Quality Comparison of Leaf-Trash Chunk-Compressed Fuel by Compressor and Hand, *KKU RESEARCH JOURNAL*. 17(4): 85-96. (in Thai)
- [3] Thanapol, T., Surichai, P., Preepaween, P., Panuwat, T., 2015, Community-Based Renewable Energy from Biomass Briquettes Fuel from Coconut Leaf, *Thammasat Journal of Science and Technology* is a publication of Thammasat University. 23(3): 418-131. (in Thai)
- [4] Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy. (2016). indicators for emissions of carbon dioxide per gross domestic product. Retrieved from <http://www.tdri.or.th> (in Thai)
- [5] Sukanan, C., Soralump, C. and Charnsethikul, P., 2012. Assessment and guidelines for reduction of greenhouse gas emissions Kasetsart university. The 11th Conference on Environmental, Chiang Rai. (in Thai).
- [6] Usubharatana, P. and Phungrussami, H., 2014, carbon footprint of organization: case study for Thammasat University. *Thammasat Journal of Science and Technology*. 22(1): 1-12. (in Thai)
- [7] Wangsantitham, A., 2014, Carbon footprint of organization of bureau of energy human resource development. Master of Engineering (Energy and environmental technology management) Thesis, Thammasat University. (in Thai)