

การพัฒนาแท่งเชื้อเพลิงจากชีวมวลเหลือทิ้งวิสาหกิจชุมชนกาแฟสดแม่ตอน อำเภอคอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

Development of Fuel Briquettes from Biomass Residues of Mae-Ton Fresh Coffee SMEs in Doisaket District, Chiangmai Province

บัญชารัตน์ โจลานันท์^{1*} อานนท์ ไทยกรณ์¹ และภัชยานันท์ ย่างไพบูลย์¹

Received: February, 2016; Accepted: June, 2016

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแท่งเชื้อเพลิงจากชีวมวลเหลือทิ้ง (กะลากาแฟและเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟ) ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟสดแม่ตอนด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปแบบอัดมือและแบบเครื่องอัด รวมทั้งประเมินคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงทางกายภาพ ทางเคมี และค่าความร้อน รวมถึงประสิทธิผลภายใต้สภาวะการใช้งานจริงของแท่งเชื้อเพลิง ผลการศึกษาพบว่า ชีวมวลเหลือทิ้งมีศักยภาพด้านพลังงานความร้อน และสามารถพัฒนาอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงด้วยวิธีการอัดมือ เงื่อนไขที่เหมาะสมของการศึกษานี้ คือ อัตราส่วนผสมของตัวประสาน (แป้งเปียก) ที่ร้อยละ 10.5 โดยมวล พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอัดต่อก้อน ประมาณ 1 - 1.5 นาที แท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีลักษณะผิวเรียบ รูปร่างตรง มีสภาพการคงรูปสูง และให้ค่าความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 4,160 แคลอรีต่อกรัม การเผาไหม้แท่งเชื้อเพลิง (จำนวน 5 ก้อน/มวล 250 - 260 กรัม) พบว่า ระยะเวลาในการจุดติดไฟแท่งเชื้อเพลิง ระยะเวลาที่ใช้ต้มน้ำจนเดือด และความนานในการติดไฟจนกลายเป็นเถ้า เท่ากับ 2 นาที 10 นาที และ 53 นาที ตามลำดับ สีของเปลวไฟมีลักษณะเป็น สีแดงและไม่พบปัญหาด้านควัน กลิ่น รวมทั้งสะเก็ดไฟ

คำสำคัญ : แท่งเชื้อเพลิง; ชีวมวล; วัสดุเหลือทิ้ง; กาแฟ

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

* Corresponding Author E-mail Address: banjarata@yahoo.com

Abstract

This study aimed to develop fuel briquette from biomass residues (parchment and silver skin) of Mae-Ton Fresh Coffee SMEs by using mechanical extruder and manual compactor tool. Physical and chemical properties, heating value, and the effectiveness of fuel briquette use were examined. Results showed that biomass residues offering potential source of heat energy could be manually compressed to form fuel briquette. The briquette with mixed starch binder at 10.5% (by mass) was an appropriate condition and was produced at a rate of 1 briquette per 1 - 1.5 minute by using manual compactor technique. With good visual and physical quality (straight and smooth briquette form) and easily stored fuel, the heating value gained was 4,160 Cal/g. With burning the briquettes (5 pieces/250 - 260 g) the duration of ignition, boiling, and combustion were 2, 10, and 53 min respectively. It produced red flame, smokeless and odorless fuel briquette without fire flakes.

Keywords: Briquette; Biomass; Residues; Coffee

บทนำ

กาแฟ จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในพื้นที่สูงภาคเหนือของประเทศไทย ปัจจุบันพื้นที่ปลูกกาแฟของประเทศไทยมีประมาณ 269,596 ไร่ ให้ผลผลิตรวม 37,366 ตันต่อปี แบ่งเป็นกาแฟอาราบิก้าที่นิยมนำมาทำเป็นกาแฟคั่วบด และพื้นที่ปลูกอยู่บริเวณพื้นที่สูงภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน และเพชรบูรณ์ ที่เหลือเป็นกาแฟโรบัสต้าที่นิยมนำมาทำเป็นกาแฟสำเร็จรูป พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ที่จังหวัดชุมพรและระนอง [1] ด้วยความนิยมบริโภคกาแฟสดของผู้บริโภคชาวไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ความต้องการสารกาแฟ (อาราบิก้าและโรบัสต้า) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม หากปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมกาแฟทั้งในขั้นตอนการผลิตสารกาแฟ ได้แก่ กะลากาแฟและเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟ (Parchment and Silver Skin) และกากกาแฟ (Spent Coffee Grounds) ภายหลังการบริโภคไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ สามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้ Solange, I.M. et al. [2] รายงานคุณสมบัติของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกาแฟ รวมถึงเสนอแนะแนวทางการใช้ประโยชน์ว่า วัสดุเหลือทิ้งกากกาแฟ มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง ขณะที่กะลากาแฟ และเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟ เป็นชีวมวลที่มีเซลลูโลส ลิกนิน และคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณสูง ดังนั้นวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ จึงมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี ทั้งการเปลี่ยนรูปเป็นไบโอดีเซล และการผลิตเป็นก้อนเชื้อเพลิงให้พลังงานความร้อนโดยตรง

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟสดแม่ต๋อนเป็นกลุ่มวิสาหกิจที่ปลูกและผลิตกาแฟ (อาราบิก้า) คั่วบดขนาดเล็กอย่างครบวงจร ตั้งอยู่ที่อำเภอคอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ จากการผลิตกาแฟและการให้ข้อมูล

โดยสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟสดแม่ตอน พบว่ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ เริ่มก่อตั้งและจดทะเบียนเมื่อปี พ.ศ. 2552 ปัจจุบันมีสมาชิก 32 ราย มีวัตถุประสงค์เพื่อรวมกลุ่มการซื้อขายแปรรูปสารกาแฟในหมู่บ้านแม่ตอน ตำบลเทพเสด็จ อำเภอคอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ รวมทั้งจำหน่ายภายในตลาดเชียงใหม่และต่างจังหวัด กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟสดแม่ตอนจัดอยู่ในประเภทของสถานประกอบการผู้ผลิตกาแฟคั่วขนาดเล็ก โดยกระบวนการผลิตสารกาแฟใช้ทั้งสองวิธี คือ การทำสารกาแฟโดยวิธีเปียก (Wet Method/Wash Method) และการทำสารกาแฟโดยวิธีแห้ง (Dry Method/Natural Method) ปริมาณการผลิตประมาณ 16 - 20 ตันต่อปี นอกจากนี้ ทางกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟสดแม่ตอนยังได้รับการรับรองมาตรฐานจากองค์การอาหารและยา (อย.) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ทั้งนี้รายได้เฉลี่ยของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟสดแม่ตอนประมาณ 2,000,000 บาทต่อปี สำหรับปริมาณวัสดุหรือชีวมวลเหลือทิ้ง (กะลากาแฟและเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟ) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตพบว่ามีประมาณ 4 ตันต่อปี โดยการเผาทำลาย เป็นรูปแบบหนึ่งที่ใช้ในการจัดการวัสดุเหลือทิ้งเป็นส่วนใหญ่ [3] เนื่องจากข้อจำกัดของวัสดุเหลือทิ้งซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ดูดซับน้ำและย่อยสลายได้ยาก อย่างไรก็ตาม กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟสดแม่ตอนให้ความเห็นว่า การจัดการวัสดุเหลือทิ้งควรเน้นหาแนวทางการใช้ประโยชน์เป็นหลัก เช่น ด้านพลังงานทดแทนเพื่อลดต้นทุนการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต หรือด้านผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น

จากองค์ประกอบของกะลากาแฟและเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟ ซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักสูงถึงร้อยละ 40 - 50 [2], [4] จึงเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีศักยภาพด้านพลังงานความร้อน [5] - [6] ดังนั้นการศึกษานี้จึงต้องการใช้ประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าชีวมวลเหลือทิ้งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟสดแม่ตอน โดยพัฒนาเป็นแท่งเชื้อเพลิง (Briquette) ประโยชน์ที่เกิดขึ้น ได้แก่ 1) การบรรเทาปัญหาในการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ (การเผาทำลาย) และลดผลกระทบต่อด้านมลพิษทางอากาศ 2) แท่งเชื้อเพลิงที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้เป็นพลังงานทางเลือกและช่วยลดค่าใช้จ่ายของแก๊สหุงต้มให้แก่ภาคครัวเรือน และ 3) การผลิตองค์ความรู้ทางวิชาการ ด้านพลังงานทดแทนจากชีวมวลเหลือทิ้งของอุตสาหกรรมกาแฟคั่วบดให้แก่ประเทศ ซึ่งยังขาดแคลนสำหรับการพัฒนาในลำดับต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแท่งเชื้อเพลิงจากชีวมวลเหลือทิ้งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟสดแม่ตอน
2. เพื่อศึกษาเงื่อนไขทางเทคนิคที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง
3. เพื่อประเมินประสิทธิผลการใช้งานของแท่งเชื้อเพลิงที่พัฒนาขึ้น

วิธีการศึกษา

1. วัสดุชีวมวลและตัวประสาน

ชีวมวลเหลือทิ้งที่ใช้ในการศึกษาทดลองนี้ เป็นวัสดุผสมของกะลากาแฟและเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟที่เหลือทิ้งจากการกะเทาะเปลือกสารกาแฟด้วยเครื่องกะเทาะ (รูปที่ 1) ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟสดแม่ตอน

ซึ่งไม่สามารถทำการคัดแยกกะลาจากแฟกับเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟออกจากกันได้ วัสดุผสมจะถูกเตรียมโดยการบดย่อยให้มีขนาดเล็กลง ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ศึกษาในขั้นต่อไป



รูปที่ 1 เครื่องกะเทาะเปลือกสารกาแฟและชีวมวลเหลือทิ้งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟสดแม่ต๋อน

ตัวประสานที่ใช้ในการทดลองเตรียมขึ้นจากแป้งมันสำปะหลังในรูปของแป้งเปียก โดยนำแป้งมันสำปะหลังมาละลายโดยการต้มให้อยู่ในรูปของแป้งเปียก ประมาณ 3 - 5 นาที จะได้แป้งเปียกที่มีลักษณะที่มีสีขาวขุ่น [7]

2. เครื่องอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิง

การศึกษานี้ได้ทดลองเปรียบเทียบเทคนิคการอัดขึ้นรูปของแท่งเชื้อเพลิง โดยใช้กระบวนการอัดเย็นด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปแบบอัดมือ [8] และแบบอัดเครื่องแนวนอนแบบเกลียวทรมู (อนุเคราะห์เครื่องมือโดย ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้) ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 กระบอกลและฐานอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบอัดมือ [8]



รูปที่ 3 เครื่องแวนอนแบบเกลียวทหมุน (อนุเคราะห์เครื่องมือโดย ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้)

ลักษณะการทำงานด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปแบบอัดมือ อาศัยหลักการของลูกสูบอย่างง่ายและใช้แรงคนในการอัดแท่งเชื้อเพลิง โดยส่วนประกอบของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) ครอบอัดแท่งเชื้อเพลิง ประกอบด้วย แท่งอัดและครอบอัด โดยแท่งอัดมีรูปร่างเหมือนกันลูกสูบ ทำจากเหล็กมีรูกลวงตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ที่หัวและท้ายของแท่งอัดยึดด้วยฐานเหล็กวงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ส่วนตัวครอบอัดทำจากเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่พอดีกับแท่งอัด ตัวครอบอัดมีความยาว 20 เซนติเมตร และ 2) ฐานอัดแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งถูกออกแบบเพื่อใช้เป็นฐานรองรับแรงอัด มีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร เชื่อมด้วยแท่งเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ความยาว 14 เซนติเมตร จะพอดีกับรูกลวงของแท่งอัด ดังนั้นในการอัดแท่งเชื้อเพลิงจะทำให้เกิดรูกลวงของแท่งเชื้อเพลิงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร [8] โดยทั่วไปแรงอัดที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปแบบอัดมือจะเป็นแรงอัดในระดับต่ำถึงปานกลาง (Low to Moderate Pressure Compaction) ซึ่งแรงอัดโดยส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 30 - 50 MPa [9]

3. การทดลองผลิตแท่งเชื้อเพลิง

แผนการทดลองผลิตแท่งเชื้อเพลิง แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ การทดลองขึ้นต้นและการทดลองขึ้นละเอียด ดังนี้

3.1 การทดสอบขึ้นต้น เป็นการทดลองเปรียบเทียบการอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงด้วยวิธีการอัดมือและการอัดเครื่อง โดยแปรผันอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุชีวมวล (50 กรัม) : ตัวประสาน (แป้งเปียก) ที่ร้อยละ 2 4 6 8 และ 10 โดยมวล ตามลำดับ ทั้งนี้จะทำการประเมินความสามารถในการอัดขึ้นรูป และลักษณะทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงของทุกเงื่อนไขที่ทดสอบ เพื่อหาอัตราส่วนผสมเบื้องต้นที่มีความเหมาะสมสำหรับการทดลองในขั้นต่อไป

3.2 การทดลองขึ้นละเอียด เป็นขั้นตอนทำการผลิตแท่งเชื้อเพลิง โดยแปรผันอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุชีวมวล (50 กรัม) : ตัวประสาน (แป้งเปียก) ที่ร้อยละ 6 (Exp-1), 7.5 (Exp-2), 9 (Exp-3), 10.5 (Exp-4) และ 12 (Exp-5) โดยมวล ตามลำดับ แท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดขึ้นรูปทุกชุดการทดลองจะถูกนำไปตากแห้งตามธรรมชาติในอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยประมาณ 32 - 25°C เป็นระยะเวลา 5 วัน

ก่อนทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และค่าความร้อน รวมทั้งการประเมินระยะเวลาในการอัดขึ้นรูป ความสามารถในการขึ้นรูป ลักษณะผิวภายนอก รูปร่าง และสภาพการคงรูปของแท่งเชื้อเพลิง ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 การอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงแบบอัดมือ (การทดสอบชั้นละเอียดย)

| พารามิเตอร์ | ร้อยละอัตราส่วนผสมของตัวประสาน (โดยมวล) | | | | |
|------------------------------------|---|----------|-------|---------|-------|
| | Exp-1 | Exp-2 | Exp-3 | Exp-4 | Exp-5 |
| | 6.0 | 7.5 | 9.0 | 10.5 | 12.0 |
| ระยะเวลาในการอัด (นาที/ก้อน) | 0.5-1 | 0.5-1 | 1-1.5 | 1-1.5 | >2 |
| การขึ้นรูป (ไม่ได้/ได้/ได้ดี) | ได้ | ได้ | ได้ดี | ได้ดี | ได้ดี |
| ลักษณะผิว (เรียบ/ร้าว/เปราะแตก) | ก่อนตาก | ร้าว | ร้าว | เรียบ | เรียบ |
| | หลังตาก | เปราะแตก | ร้าว | ร้าว | เรียบ |
| รูปร่าง (บิดงอ/ตรง) | ก่อนตาก | บิดงอ | บิดงอ | ตรง | ตรง |
| | หลังตาก | บิดงอ | บิดงอ | ตรง | ตรง |
| สภาพการคงรูป* (ต่ำ/ปานกลาง/สูง) | ก่อนตาก | ต่ำ | ต่ำ | ปานกลาง | สูง |
| | หลังตาก | ต่ำ | ต่ำ | ปานกลาง | สูง |

หมายเหตุ: * สภาพการคงรูปของแท่งเชื้อเพลิงขณะจัดเก็บและเคลื่อนย้าย

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงแบบอัดมือ (การทดสอบชั้นละเอียดย)

| พารามิเตอร์ | ร้อยละอัตราส่วนผสมของตัวประสาน (โดยมวล) | | | | | เฉลี่ย |
|-------------------------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| | Exp-1 | Exp-2 | Exp-3 | Exp-4 | Exp-5 | |
| | 6.0 | 7.5 | 9.0 | 10.5 | 12.0 | |
| ความหนาแน่น (g/cc) | 0.41±0.02 | 0.44±0.01 | 0.47±0.04 | 0.51±0.02 | 0.54±0.01 | 0.47 |
| ความชื้น (%) | 7.93±0.40 | 9.08±0.82 | 11.50±0.60 | 13.31±0.56 | 13.90±0.75 | 11.15 |
| ปริมาณเถ้า (%) | 4.04±0.34 | 5.00±0.60 | 5.26±0.42 | 5.15±0.66 | 5.76±0.37 | 5.04 |
| ปริมาณสารระเหย ที่เผาไหม้ได้ (%) | 89.03±2.04 | 85.92±1.60 | 83.25±0.70 | 81.54±1.03 | 80.34±0.82 | 84.01 |
| ปริมาณคาร์บอน คงตัว (%) | 48.65±1.06 | 46.95±0.80 | 45.49±2.02 | 44.56±1.23 | 43.90±0.77 | 45.91 |
| ค่าความร้อน (cal/g) | 4,190±13.40 | 4,180±10.02 | 4,170±16.53 | 4,160±15.01 | 4,150±11.36 | 4,170 |

4. การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของแท่งเชื้อเพลิง

แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากทุกเงื่อนไขการทดลอง (Exp-1 - Exp-5) จำนวนประมาณ 5 แท่ง หรือมวลรวมประมาณ 250 - 260 กรัม จะถูกนำมาทดสอบ ในการต้มน้ำปริมาตร 1 ลิตร เพื่อประเมินระยะเวลาการจุดติดไฟของแท่งเชื้อเพลิง (ระยะเวลาที่แท่งเชื้อเพลิงสามารถลุกไหม้ได้) ระยะเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำจนเดือด (วัดระยะเวลา ณ เริ่มต้นในการต้มน้ำปริมาตร 1 ลิตร จนกระทั่งน้ำเดือด โดยการวัดอุณหภูมิของน้ำทุก 1 นาที) และความนานในการติดไฟ (วัดระยะเวลาต่อเนื่องทั้งหมดตั้งแต่แท่งเชื้อเพลิงลุกไหม้จนกลายเป็นเถ้า) รวมทั้งการประเมินเบื้องต้นของปริมาณควัน สะเก็ดไฟ และกลิ่นที่เกิดขึ้น ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง โดยอาสาสมัครผู้ประเมินจำนวน 5 ราย ให้นำนักการประเมิน 4 ระดับ ดังนี้ คือ ไม่เกิดขึ้น เกิดขึ้นน้อย เกิดขึ้นปานกลาง และเกิดขึ้นมาก

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์คุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงในห้องปฏิบัติการ จะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางด้านกายภาพ และทางเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์ขนาดคละ (ASTM C 136) ความหนาแน่น (ASTM D E75) ความชื้น (ASTM D 3173-03) ปริมาณเถ้า (ASTM D 3174-04) ปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ (ASTM D 3175-07) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM D 3172-07a) และค่าความร้อน (ASTM D 5865-07a) วิเคราะห์ผล ค่าเฉลี่ยทางสถิติ รวมทั้งทดสอบปัจจัยอัตราส่วนผสมของตัวประสาน ที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง ที่แตกต่างกันับนัยสำคัญทางด้านสถิติ 0.05 หรือระดับความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95

ผลการวิจัย

1. สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุชีวมวล

ผลวิเคราะห์ขนาดคละของวัสดุทดลอง (หลังบด) พบว่าขนาดของวัสดุโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงความละเอียดของตะแกรงเบอร์ 16 (1.19 mm) ร้อยละ 41.32 รองลงมาคือ ช่วงความละเอียดของตะแกรงเบอร์ 30 (0.589 mm) ตะแกรงเบอร์ 50 (0.297 mm) และตะแกรงเบอร์ 100 (0.15 mm) ในสัดส่วนร้อยละ 32.50 14.17 และ 5.15 ตามลำดับ ด้านสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุทดลอง พบว่ามีค่าความชื้นร้อยละ 8.44 ± 0.05 ปริมาณเถ้าร้อยละ 4.58 ± 1.00 ปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ ร้อยละ 90.50 ± 0.50 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 47.54 ± 0.58 และมีค่า pH เท่ากับ 6.88 ± 0.01

2. การผลิตและคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิง

ผลการทดสอบขั้นต้นโดยการอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงแบบอัดเย็นด้วยวิธีการอัดมือและวิธีการอัดเครื่อง โดยแปรผันอัตราส่วนการผสมของตัวประสาน (แป้งเปียก) ร้อยละ 2 - 10 โดยมวล พบว่าวิธีการอัดและอัตราส่วนผสมของตัวประสานมีผลต่อลักษณะทางกายภาพและความสามารถในการขึ้นรูปของแท่งเชื้อเพลิง ทั้งนี้วิธีการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไม่สามารถอัดวัสดุผสมให้ขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ วัสดุผสมเกิดการเปราะแตกระหว่างการอัดด้วยเครื่องอัดภายใต้ทุกเงื่อนไขที่ทดสอบ (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 การอัดวัสดุผสมด้วยเครื่องอัด

สำหรับวิธีการอัดมือ พบว่าช่วงอัตราส่วนผสมของแป้งเปียกร้อยละ 6 - 10 พบว่าเป็นเงื่อนไขที่สามารถอัดวัสดุผสมขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ถึงระดับได้ดี โดยแท่งเชื้อเพลิงไม่เปราะแตกและลักษณะผิวของแท่งเชื้อเพลิงอยู่ในระดับผิวร้าวถึงผิวเรียบ สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเฉลี่ย 0.5 - 1.5 นาทีต่อก้อน

ผลการทดสอบขั้นต้นบ่งชี้ว่า การใช้ตัวประสาน (แป้งเปียก) ในปริมาณที่ต่ำกว่าร้อยละ 6 ไม่สามารถขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงด้วยวิธีการอัดมือได้ แต่หากเพิ่มปริมาณตัวประสานมากเกินไป จะส่งผลให้ระยะเวลาในการอัดนานขึ้น เนื่องจากตัวแป้งเปียกมีความเหนียวที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ต้องใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปนานขึ้น ขณะที่การอัดแท่งเชื้อเพลิงด้วยเครื่องอัดรีดเย็นกลับพบว่าไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้ทุกเงื่อนไขที่ทดสอบ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากเครื่องอัดรีดเย็นแบบเกลียวหุ้มให้แรงอัดที่สูงกว่าวิธีการอัดด้วยมือค่อนข้างมาก ประกอบกับเนื้อวัสดุทดลอง (กะลาเผาและเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟ) มีลักษณะสมบัติไม่ดูดซึมน้ำ แท่งเชื้อเพลิงจึงปริและเปราะแตกไม่ยึดเกาะกันเป็นแท่งเชื้อเพลิงภายใต้แรงอัดที่สูงได้ แม้ว่า จะเพิ่มอัตราส่วนของตัวประสานให้มากขึ้นเท่าใดก็ตาม ดังนั้น เงื่อนไขอัตราส่วนผสมของตัวประสานช่วงร้อยละ 6 - 10 จึงเป็นเงื่อนไขที่มีความเหมาะสมเบื้องต้น เพื่อนำไปใช้ศึกษาในขั้นละเอียดต่อไป

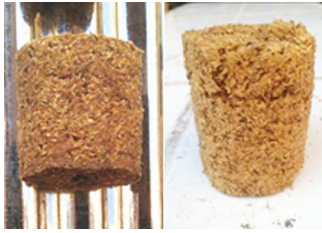
ผลการทดสอบขั้นละเอียดโดยแปรผันอัตราส่วนผสมตัวประสานร้อยละ 6 (Exp-1) 7.5 (Exp-2) 9 (Exp-3) 10.5 (Exp-4) และ 12 (Exp-5) จำนวน 5 ชุดการทดลอง และทำการอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงด้วยวิธีการอัดมือ พบว่าอัตราส่วนผสมของตัวประสานมีผลต่อระยะเวลาการอัด ความสามารถในการขึ้นรูป ลักษณะผิวของแท่งเชื้อเพลิง รูปร่าง และสภาพการคงรูปของแท่งเชื้อเพลิง (ตารางที่ 1) โดยระยะเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปทุกเงื่อนไขมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.5 - 2 นาทีต่อก้อน และอัตราส่วนผสมตัวประสานโดยมวลที่ร้อยละ 7.5 ขึ้นไปเป็นเงื่อนไขที่สามารถผลิตและทำการอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงได้ (รูปที่ 5)



(ก) ผสมตัวประสานร้อยละ 6 โดยมวล



(ข) ผสมตัวประสานร้อยละ 7.5 โดยมวล



(ค) ผสมตัวประสานร้อยละ 9 โดยมวล



(ง) ผสมตัวประสานร้อยละ 10.5 โดยมวล



(จ) ผสมตัวประสานร้อยละ 12 โดยมวล

รูปที่ 5 การศึกษาชั้นละเอียด (แท่งเชื้อเพลิง)

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาบ่งชี้ว่าอัตราส่วนผสมของตัวประสาน (แป้งเปียก) ที่ร้อยละ 10.5 โดยมวล (Exp-4) เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมของการศึกษานี้ เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงต่อก้อนสั้นที่สุด (1 - 1.5 นาที) ขณะเดียวกันแท่งเชื้อเพลิงมีลักษณะผิวเรียบ รูปร่างตรง และมีสภาพการคงรูปสูงระหว่างการจัดเก็บและเคลื่อนย้าย

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง (ตารางที่ 2) พบว่าค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ ปริมาณคาร์บอนคงตัว และค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงทุกเงื่อนไขที่ทดสอบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.47 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ร้อยละ 11.15 5.04 84.01 45.91 และ 4,170 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ

ชมธิตา ขึ้นนิยม [10] และอาทิตย์ มลิตทอง [11] ได้รายงานค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเขียวจากเศษซังข้าวโพด และจากผักตบชวาผสมกับถ่านลิกไนท์ ช่วง 4,055 - 4,194 แคลอรีต่อกรัม ดังนั้นค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง (4,160 แคลอรีต่อกรัม) จากวัสดุเหลือทิ้งกะลาจากกาแฟและเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแปสดแม่ตอน ที่เงื่อนไขอัตราส่วนผสมตัวประสานร้อยละ 10.5 ของการศึกษานี้ พบว่ามีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงเขียวจากเศษซังข้าวโพด และมีค่าใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงเขียวจากผักตบชวา

ผสมกับถ่านลิกไนท์ ถึงแม้ว่าอัตราส่วนผสมของตัวประสานที่แตกต่างกัน (6 - 12%) จะไม่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณของแข็งระเหยง่าย ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด และค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาบ่งชี้ว่าอัตราส่วนผสมของตัวประสานและค่าความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลโดยแปรผกผันต่อปริมาณเถ้า ของแข็งระเหยง่าย คาร์บอนทั้งหมด และค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง เนื่องจากความชื้นมีผลต่อค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงโดยตรง ซึ่งความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงไม่ควรเกินร้อยละ 10 ดังนั้น การศึกษานี้เสนอแนะว่าควรลดค่าความชื้น (13.31%) ของแท่งเชื้อเพลิงที่เงื่อนไขอัตราส่วนผสมตัวประสานที่ร้อยละ 10.5 (เงื่อนไขที่เหมาะสม) ลงเล็กน้อย โดยเพิ่มระยะเวลาในการตากแห้งแท่งเชื้อเพลิงให้นานขึ้น (0.5 - 1 วัน) อาจมีผลให้ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นได้

3. ประสิทธิภาพการใช้งานของแท่งเชื้อเพลิง

ผลการทดสอบสภาวะการใช้งานของแท่งเชื้อเพลิงโดยทำการจุดติดไฟ พบว่าค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการจุดติดไฟแท่งเชื้อเพลิง ระยะเวลาที่ใช้ต้มน้ำจนเดือด และระยะเวลาหรือความนานในการติดไฟของทุกชุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.06 นาที 12 นาที และ 50 นาที ตามลำดับ นอกจากนี้ ขณะจุดติดไฟของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมของตัวประสานร้อยละ 6 - 12 พบว่า การเผาไหม้โดยทั่วไปมีลักษณะที่เหมือนกัน คือ สีของเปลวไฟมีลักษณะเป็นสีแดง ส่วนสีของควันไฟเป็นสีขาว และควันไฟจะเกิดขึ้นเฉพาะตอนเริ่มจุดไฟแล้วค่อย ๆ หายไป ขณะเผาไหม้ไม่พบสะเก็ดไฟรวมทั้งกลิ่นของแท่งเชื้อเพลิงเกิดขึ้น

สรุปผลการดำเนินการ

การพัฒนาเป็นแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากวัสดุเหลือทิ้ง (กะลาจากาแฟและเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟ) ของกลุ่มผู้ผลิตกาแฟคว่ำกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟสดแม่ต๋อน พบว่าองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมีศักยภาพในการให้พลังงานค่าความร้อน และเอื้อต่อการพัฒนาเป็นแท่งเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตาม การศึกษาพบว่าเทคนิคการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสมควรใช้เทคนิคการอัดขึ้นรูปแนวตั้งด้วยวิธีการอัดมือ เนื่องจากการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแนวอนแบบเกลียวหมุน ให้แรงอัดที่สูงเกินไป ส่งผลให้วัสดุผสมทุกเงื่อนไขที่ทดสอบปริแตกและไม่สามารถทำการอัดขึ้นรูปได้ อัตราส่วนผสมของตัวประสาน (แบ่งเปียก) ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแท่งเชื้อเพลิงของการศึกษานี้ คือ ร้อยละ 10.5 (โดยมวล) เป็นเงื่อนไขการผลิตในทางปฏิบัติที่เหมาะสมที่สุด คือ มีระยะเวลาในการอัดต่อก่อนสั้นที่สุด (1 - 1.5 นาที) ความสามารถในการขึ้นรูปได้ดี แท่งเชื้อเพลิงมีลักษณะผิวเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน รูปร่างตรง และมีสภาพการคงรูปของแท่งเชื้อเพลิงสูง ด้านค่าความร้อนและประสิทธิภาพการใช้งานของแท่งเชื้อเพลิง พบว่าแท่งเชื้อเพลิง (เงื่อนไข 10.5%) ให้ค่าความร้อนเท่ากับ 4,160 แคลอรีต่อกรัม ระยะเวลาในการติดไฟของแท่งเชื้อเพลิง นาน 53 นาที ระยะเวลาที่ใช้ต้มน้ำเดือดอยู่ที่ 10 นาที นอกจากนี้ในการเผาไหม้ไม่พบปัญหาสะเก็ดไฟ ควันไฟ และกลิ่นของแท่งเชื้อเพลิงขณะใช้งาน

การศึกษานี้เสนอแนะว่า ขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือทิ้ง (กะลาจากาแฟและเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟ) ควรตากแท่งเชื้อเพลิงให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพค่าความร้อนให้แก่แท่งเชื้อเพลิง และควรพลิกกลับด้านแท่งเชื้อเพลิงอย่างสม่ำเสมอระหว่างการตากแท่งเชื้อเพลิง เพื่อป้องกันการโก่งตัวและการหดตัวที่ไม่เท่ากันของแท่งเชื้อเพลิง ไม่ควรเก็บแท่งเชื้อเพลิงที่ไม่แห้งสนิท

ไว้ที่รมเป็นเวลานานจะทำให้เกิดเชื้อราได้ง่าย นอกจากนี้ควรมีการศึกษาพัฒนาต่อยอดเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแบบกึ่งอัตโนมัติที่เหมาะสมกับวัสดุเหลือทิ้ง (กะลากาแฟและเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟ) โดยใช้วิธีการอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงในแนวตั้ง ด้วยแรงอัดระดับต่ำถึงปานกลาง (Low to Moderate Pressure Compaction) ประมาณ 30 - 50 MPa [9] เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน และให้อัตราการผลิตต่อก้อนเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น สำหรับการใช้งานจริง อาจประยุกต์ใช้แท่งเชื้อเพลิงร่วมกับเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิผลการใช้งานแท่งเชื้อเพลิง รวมถึงการควบคุมระดับความร้อนและอุณหภูมิในการเผาไหม้ได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟสดแม่ตอน อำเภอคอยสะเกิด จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความร่วมมือและความอนุเคราะห์ต่อการศึกษาค้นคว้าวิจัยเป็นอย่างดี

References

- [1] Office of Agricultural Economics. (2013). Coffee: Situations of Production, Market, and Export Price. Access (31 March 2015). Available ([http:// www.oae.go.th](http://www.oae.go.th))
- [2] Solange, I.M., Ercillia, M.S.M., Silvia, M. and Jose, A.T. (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and its Industrial Residues. Food Bioprocess Technology. Vol. 4. pp. 661-672
- [3] Department of Industrial Works. (2012). Guidelines and Criteria of Waste Property for the Production of Fuel Briquette and Block. Access (10 May 2015). Available (<http://www.diw.go.th>)
- [4] Kondamudi, N., Mohapatra, S.K. and Misra, M. (2008). Spent Coffee Grounds as a Versatile Source of Green Energy. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Vol. 56. pp. 11757-11760
- [5] Jamradloedluk, J. and Wiriyapaisong, S. (2007). Production and Characterization of Rice Husk Based Charcoal Briquettes. KCU Engineering Journal. Vol. 34. No. 4. pp. 391-398
- [6] Jolanun, B., Phutharukchat, A. and Khamtui, C. (2011). Community-Based Renewable Energy from Mimosa Pigra L. Charcoal Briquettes. KCU Research Journal. Vol. 16. No. 1. pp. 20-31
- [7] Mahayosanon, T. (2005). Design and Fabrication of Coal Briquette Machine for Household. M.Eng. (Agricultural Engineering) Thesis, Kasetsart University. (in Thai)
- [8] Watanajeera, L., Panyaping, K. and Neungkamkong, K. (2012). The Development of Fuel Briquette from Longan Biomass Residue. Research report of Rajamangala University of Technology Lanna. (in Thai)

- [9] McDougal, O., Eidemiller, S. and Weires, N. (2010). **Biomass Briquettes: Turning Waste Into Energy**. Access (27 December 2015). Available (<http://www.biomassmagazine.com>)
- [10] Chunniyom, C. (2010). **Study on the Value Added of Corncob Waste to Produce the Fuel Briquettes**. M.Sc. (Chemical Engineering) Thesis, Thammasart University. (in Thai)
- [11] Malithong, A. (1989). **An Investigation on Green Fuel Production from Water Hyacinth and Water Hyacinth Mixed with Lignite**. M.Sc. (Environmental Science) Thesis, Kasetsart University. (in Thai)