วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 28 ฉบับที่ 4 ต.ค.–ธ.ค. 2561
The Journal of KMUTNB., Vol. 28, No. 4, Oct.–Dec. 2018

บทความวิจัย

การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษเปลือกถั่วลิสง

พัชรี อินธนู* และ แพรขวัญ เกตุรมย์
สาขาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08–9555–2731 อีเมล: tle_turn@hotmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.08.001
รับเมื่อ 9 พฤศจิกายน 2560 ตอบรับเมื่อ 30 มกราคม 2561 เผยแพร่ออนไลน์ 8 สิงหาคม 2561
© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษเปลือกถั่วลิสง โดยศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลที่เตรียมจากเปลือกถั่วที่มีแป้งมันและแกลบเป็นตัวเชื่อมประสาน ณ แรงดันที่ใช้ในการกดอัดขึ้นรูป 2 แรงดัน คือ 4.5×10^5 ปอนด์/ตารางฟุต และ 13.2×10^5 ปอนด์/ตารางฟุต จากการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แรงดันสูงในการกดอัดมีสมบัติเชิงกลดีกว่าการใช้แรงดันต่ำซึ่งสัมพันธ์กับค่าดัชนีการแตกร่วน และความอัดแน่นที่มากกว่าคิดเป็นร้อยละ 4.20 และ 9 ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แรงดันต่ำในการกดอัดมีสมบัติทางความร้อนสูงกว่าการใช้แรงดันสูงแสดงในรูปของค่าความร้อนสูง และประสิทธิภาพการให้ความร้อน ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราการซึมผ่านของน้ำ และปริมาณความชื้นต่ำ มากไปกว่านั้นแกลบไม่เหมาะสำหรับการเป็นตัวเชื่อมประสานเนื่องจากลักษณะที่เป็นทรงกระบอกและปริมาณเถ้าสูงคิดเป็นร้อยละ 19.97

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงชีวมวล, เปลือกถั่ว, แป้งมัน, แกลบ

การอ้างอิงบทความ: พัชรี อินธนู และ แพรขวัญ เกตุรมย์, "การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษเปลือกถั่วลิสง," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 28, ฉบับที่ 4, หน้า 837–847, ต.ค.–ธ.ค. 2561.

Research Article

The Development of Biomass Fuel from Peanut Shell

Patcharee Intanoo* and Praekwun Ketrom

Department of Industrial Chemistry and Textile Technology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08–9555–2731, E–mail: tle_turn@hotmail.com
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.08.001

Received 9 November 2017; Accepted 30 January 2018; Published online: 8 August 2018
© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research was the development of biomass fuel from peanut shell. The mechanical and thermal properties of biomass fuel prepared from peanut shells with starch and rice husk, which were the binder at two hydraulic pressures of 4.5×10^5 and 13.2×10^5 lb_m/ft^2, were studied. It was found that the biomass fuel with high hydraulic pressure had a better mechanical property than that of low hydraulic pressure in terms of an increase in shatter index and densification of 4.20% and 9%, respectively. In contrast, the thermal property of biomass fuel with low hydraulic pressure was enhanced in terms of a higher heating value and a better thermal efficiency corresponding to the lower water penetration rate and moisture content. Moreover, rice husk was not suitable to use as a binder due to its cylindrical characteristic and high ash content of 19.97%.

Keywords: Biomass Fuel, Peanut Shells, Starch, Rice Husk

Please cite this article as: name, "The development of biomass fuel from peanut shell," *The Journal of KMUTNB*, vol. 28, no. 4, pp. 837–847, Oct.–Dec. 2018 (in Thai).

1. บทนำ

ในปัจจุบันโลกมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตเพื่อตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของมนุษย์และพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพลังงานฟอสซิลซึ่งเป็นพลังงานที่เกิดจากทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป [1] ดังนั้นจึงมีการคิดค้นพลังงานอื่นขึ้นมาทดแทน และพลังงานทดแทนที่นักวิจัยให้ความสนใจคือ พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวล [2] เนื่องจากเป็นพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยเมื่อเกิดการเผาไหม้ กล่าวคือ ปริมาณการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ต่ำกว่าร้อยละ 36–39 เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านหิน ซึ่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักของแก๊สเรือนกระจกและเป็นสาเหตุหลักของการเกิดสภาวะโลกร้อน [3] โดยทั่วไปเชื้อเพลิงชีวมวลมักผลิตจากขี้เลื่อย และแกลบเนื่องจากขี้เลื่อย และแกลบเป็นสารชีวมวลที่มีองค์ประกอบของลิกนินในปริมาณสูง (ร้อยละ 20–30) [4] ซึ่งโมเลกุลของลิกนินจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะทางเคมีหลายชนิด เช่น พันธะไฮโดรเจน และพันธะไกลโคซิดิก [5] เป็นต้น จึงส่งผลให้ลิกนินมีสมบัติการเป็นตัวเชื่อมประสานด้วยการยึดเส้นใยของสารชีวมวลให้รวมตัวกันและแยกออกจากกันได้ยาก ส่วนเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตจากสารชีวมวลชนิดอื่น เช่น กากปาล์ม สาคู เปลือกถั่วลิสง เป็นต้น จะอาศัยตัวเชื่อมประสาน และการเลือกใช้ตัวเชื่อมประสานมักจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลจากขี้เลื่อยโดยมีผงสะเดาเป็นตัวเชื่อมประสานพบว่าเมื่อปริมาณผงสะเดาเพิ่มขึ้นทำให้เชื้อเพลิงชีวมวลมีความแข็งแรงมากขึ้น (ร้อยละ 17.85) แต่มีสมบัติทางความร้อนลดลง (ร้อยละ 20–50) แสดงให้เห็นว่าผงสะเดาที่ใส่ลงไปทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานเพื่อเพิ่มความแข็งแรงเท่านั้น [6]

กระบวนการเปลี่ยนสารชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) กระบวนการคาร์บอไนเซชัน (Carbonization) เป็นต้น โดยกระบวนการคาร์บอไนเซชันเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเนื่องจากเป็นกระบวนการที่เหมาะสำหรับสารชีวมวลที่มีโครงสร้างซับซ้อน คือ สารชีวมวลจำพวกวัสดุลิโนเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นหลัก [7] องค์ประกอบเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอน เรียกว่า ผงคาร์บอนกัมมันต์ (Charcoal) ด้วยกระบวนการเผาไหม้ภายใต้สภาวะอับอากาศซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งสีดำที่มีรูพรุน และมีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.5–6.0 โดยปริมาณเถ้าจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารชีวมวล ข้อดีของกระบวนการคาร์บอไนเซชัน คือ สามารถควบคุมคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลได้ [8]

การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงชีวมวลมักเกิดจากการนำไปเผาไหม้โดยตรงเพื่อให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนและนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปผลิตกระแสไฟฟ้าหรือเปลี่ยนเป็นพลังงานกล [9] ดังนั้นจึงมีการพัฒนาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลให้มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยลดการสูญเสียพลังงานเพื่อนำมาทดแทนการใช้ถ่านหินในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า ข้อดีของเชื้อเพลิงชีวมวลในรูปของถ่านอัดแท่งมีหลายประการ เช่น ให้พลังงานความร้อนสูง ให้อัตราการเผาไหม้สม่ำเสมอเนื่องจากมีขนาดใกล้เคียงกันจึงสามารถควบคุมปริมาณการใช้ได้ง่าย ปริมาณเถ้าต่ำ และมีความหนาแน่นสูง (1.109 ก./ซม.^{3}) จึงสะดวกต่อการขนส่ง [10]

ถั่วลิสงเป็นพืชไร่ตระกูลถั่วที่ปลูกได้ตลอดปี และมีการปลูกแพร่หลายทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกมากที่สุด 105,315 ไร่ รองลงมาคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูก 67,005 ไร่ ในปัจจุบันการผลิตถั่วลิสงยังไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ในประเทศไทยจึงต้องมีการนำเข้าถั่วลิสงจากต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังส่งผลให้ส่วนของเปลือกถั่วลิสงที่ถูกทิ้งจนเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีในปริมาณมากและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวิธีนำเปลือกถั่วลิสงไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า คือ การนำเปลือกถั่วลิสงไปอัดแน่นจนมีลักษณะเป็นแท่งเรียกว่า เปลือกถั่วลิสงแห้งอัดแท่งและเมื่อนำเปลือกถั่วลิสงแห้งอัดแท่งไปเผาจะให้พลังงานสูงถึงร้อยละ 60 เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านโค๊กที่มีคุณภาพดี [11]

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษ

เปลือกถั่วลิสงโดยศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลในรูปถ่านอัดแท่งโดยมีแป้งมันและแกลบเป็นตัวเชื่อมประสานในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 20–50 ณ แรงดันที่ใช้ในการกดอัดขึ้นรูป 2 แรงดันดังนี้ 4.5×10^5 ปอนด์/ตารางฟุต และ 13.2×10^5 ปอนด์/ตารางฟุต

2. วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมสารชีวมวล (Biomass Preparation)

เปลือกถั่วและแกลบที่ใช้ในงานวิจัยนี้มาจากร้านแสงอรุณตลาดคำเที่ยง จังหวัดเชียงใหม่ และโรงสีข้าวชุมชนวัดทุ่งหมื่นน้อย จังหวัดเชียงใหม่ ตามลำดับ นำเปลือกถั่วและแกลบล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI) เพื่อกำจัดสิ่งปฏิกูล เช่น มูลสัตว์ กรวด ทราย และดิน เปลือกถั่วและแกลบที่ผ่านการล้างน้ำปราศจากไอออนจะถูกทำให้แห้งภายใต้แสงแดดนาน 7 วัน นำเปลือกถั่วและแกลบไปลดขนาดด้วยการปั่นที่ความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที นาน 3 นาที (ขนาดอนุภาคที่ได้น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร) สำหรับตัวเชื่อมประสานจะคัดขนาดด้วยตะแกรงคัดขนาด 60 เมช และเก็บในโถดูดความชื้นก่อนนำไปใช้งานทุกครั้ง การเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวลเริ่มจากการนำเปลือกถั่วเผาภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจนอิสระ เรียกว่า กระบวนการคาร์บอไนเซชันในภาชนะปิดที่อุณหภูมิ 350°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ผงเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีดำขนาดอนุภาคน้อยกว่า 250 ไมโครเมตร เรียกว่า คาร์บอไนซ์เปลือกถั่ว และเก็บในโถดูดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน จากนั้นแบ่งสารชีวมวลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ คาร์บอไนซ์เปลือกถั่วผสมแป้งมัน และคาร์บอไนซ์เปลือกถั่วผสมแกลบ

2.2 การเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass Fuel Preparation)

นำคาร์บอไนซ์เปลือกถั่วมาผสมแป้งมันและแกลบในอัตราส่วนระหว่างร้อยละ 20–50 ของตัวเชื่อมประสาน จากนั้นนำไปกดอัดเพื่อขึ้นรูปให้มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มิลลิเมตร และหนา 9 มิลลิเมตร ตามแม่แบบของเครื่องอัดไฮดรอลิก (Manual, Standard-Carver #4107870) ที่ แรงดัน 4.5×10^5 ปอนด์/ตารางฟุต และ 13.2×10^5 ปอนด์/ตารางฟุต

2.3 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล (Mechanical and Thermal Properties)

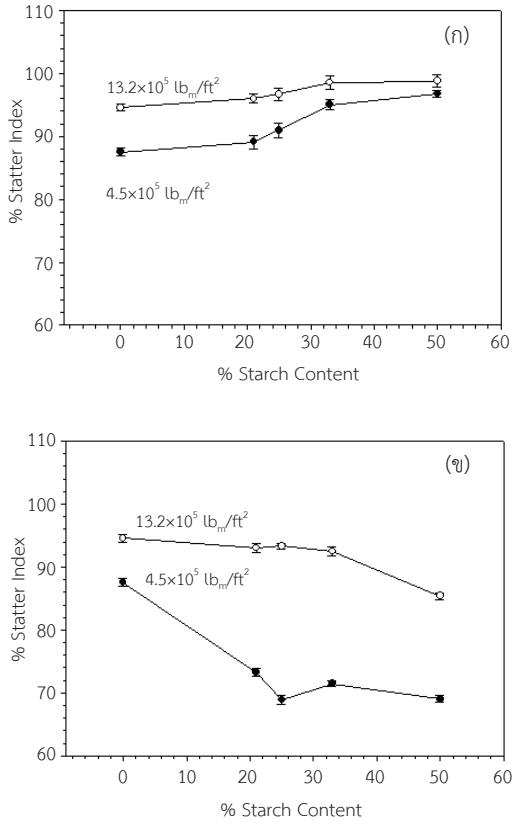
การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นการนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านการกดอัดขึ้นรูปมาทดสอบการแตกร่วน (Shatter Test) ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ และความแน่น (Densification Test) ส่วนสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นจะวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงจากองค์ประกอบของการวิเคราะห์แบบปริมาณ (Proximate Analysis) และนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาทดสอบประสิทธิภาพการให้ความร้อน (Thermal Efficiency) ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์แบบปริมาณ การทดสอบสมบัติเชิงกล การทดสอบสมบัติทางความร้อน และการทดสอบประสิทธิภาพการให้ความร้อนได้ระบุไว้ในงานวิจัยก่อนหน้า [12]

3. ผลและอภิปรายผล

3.1 สมบัติเชิงกลของเชื้อเพลิงชีวมวล

สมบัติเชิงกลของเชื้อเพลิงชีวมวลแสดงในรูปค่าดัชนีการแตกร่วน คือ ค่าที่แสดงถึงน้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวมวลที่เหลืออยู่เมื่อปล่อยเชื้อเพลิงชีวมวลตามแรงโน้มถ่วงโลกเป็นระยะทาง 1 เมตร เมื่อเทียบกับน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวมวลเริ่มต้น ซึ่งค่าดัชนีการแตกร่วนจะเป็นตัวแปรที่บอกถึงความคงตัวของเชื้อเพลิงชีวมวลขณะทำการขนส่ง จากการศึกษาพบว่าค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงชีวมวลเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเชื่อมประสานชนิดแป้งมันเพิ่มขึ้น และเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของแรงดันที่ใช้การกดอัด [รูปที่ 1 (ก)]

เมื่อพิจารณาเชื้อเพลิงชีวมวลกลุ่มที่มีการเติมแป้งมันและไม่เติมแป้งมัน พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ไม่เติมแป้งมันจะมีค่าดัชนีการแตกร่วนต่ำ คือ แตกละเอียดไม่จับตัวกันเป็นก้อนเมื่อถูกปล่อยในแนวดิ่งที่ระยะทาง 1 เมตร ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงต่ำแต่เมื่อมีการเติมแป้งมันลงไปในปริมาณที่แตกต่างกันเชื้อเพลิงชีวมวลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น คือ ยังคงลักษณะ



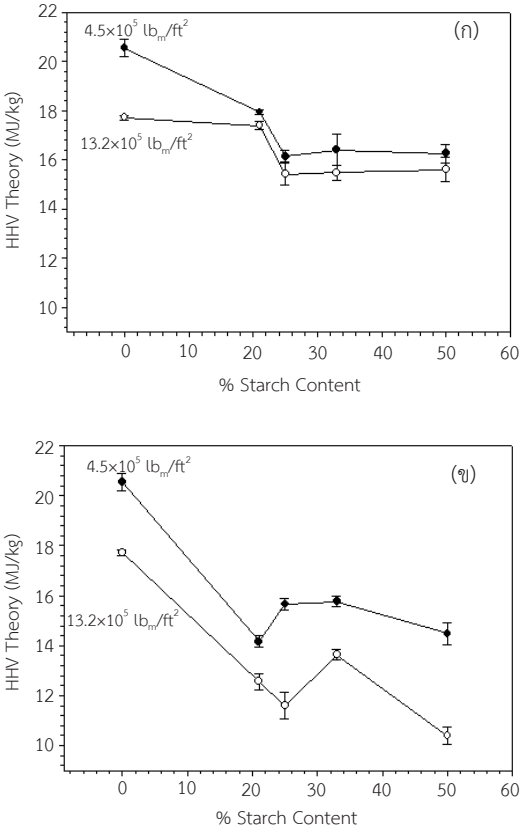
รูปที่ 1 ค่าดัชนีการแตกร่วนของ (ก) เชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกถั่วที่มีแป้งมันเป็นตัวเชื่อมประสาน และ (ข) เชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกถั่วที่มีแกลบเป็นตัวเชื่อมประสาน

ความเป็นก้อนเมื่อถูกปล่อยลงมาในแนวดิ่งที่ระยะทาง 1 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าดัชนีการแตกร่วนสูง [รูปที่ 1 (ก)] เมื่อพิจารณาแรงดันที่ใช้ในการกดอัดขึ้นรูปพบว่าการใช้แรงดันสูงที่ 13.2×10^5 ปอนด์/ตารางฟุต เชื้อเพลิงชีวมวลมีความแข็งแรงมากกว่าการใช้แรงดันต่ำเนื่องจากการใช้แรงดันสูงส่งผลให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคคาร์บอนลดลงและมีการอัดตัวกันแน่นขึ้นจึงทำให้มีค่าดัชนีการแตกร่วนสูง ส่วนค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีแกลบเป็นตัวเชื่อมประสานให้ผลการศึกษาตรงกันข้ามกับเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีแป้งมันเป็นตัวเชื่อมประสาน [รูปที่ 1 (ข)] คือ เชื้อเพลิงชีวมวลที่ไม่เติมแกลบจะมีค่าดัชนีการแตกร่วนสูงแต่เมื่อเติมแกลบลงไปในปริมาณแตกต่างกันเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าดัชนีการแตกร่วนลดลง (ความแข็งแรงลดลง) แสดงให้เห็นว่าแกลบไม่เหมาะที่จะเป็นตัวเชื่อมประสาน เนื่องจากแกลบมีลักษณะเป็นทรงรีจึงทำให้ความสามารถในการจับตัวกันของแกลบและอนุภาคคาร์บอนลดลงในขณะที่รูปทรงของอนุภาคแป้งมันและอนุภาคคาร์บอนมีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดเล็ก (250 ไมครอน) และมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจึงทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็กกว่าการใช้แกลบ แนวโน้มค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีแกลบเป็นตัวเชื่อมประสานเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความดันที่ใช้ในการกดอัดขึ้นรูป [รูปที่ 1 (ข)] สำหรับผลความแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวลจะเห็นว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แรงดันสูงในการกดอัดมีความอัดแน่นสูงกว่าการใช้แรงดันต่ำคิดเป็นร้อยละ 9

ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ทั้งแกลบและแป้งมันเป็นตัวเชื่อประสาน ณ แรงดันสูงและต่ำในการกดอัดของการศึกษานี้มีค่ามากกว่าร้อยละ 70 (รูปที่ 1) ซึ่งมีค่าสูงกว่างานวิจัยที่ผ่านมา [8] แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนีการแตกร่วนของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่มากกว่าร้อยละ 70 มีความคงตัวขณะทำการขนส่ง

3.2 ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงชีวมวล (High Heating Value; HHV)

ค่า HHV ของเชื้อเพลิงชีวมวล หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงชีวมวล 1 หน่วยน้ำหนัก หรือเรียกว่า ความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of Combustion) และความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลในงานวิจัยนี้คำนวณจากปริมาณขององค์ประกอบแบบปริมาณ คือ ปริมาณความชื้น (Moisture Content; MC) ปริมาณสารระเหยได้ (Volatile Matter; VM) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon; FC) และปริมาณเถ้า (Ash Content) [13] รูปที่ 2 แสดงค่า HHV ของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แป้งมันและแกลบเป็นตัวเชื่อมประสานในปริมาณที่แตกต่างกัน ณ แรงดัน 4.5×10^5 ปอนด์/ตารางฟุต และ 13.2×10^5 ปอนด์/ตารางฟุต พบว่าค่า HHV ของเชื้อเพลิงชีวมวลลดลงเมื่อปริมาณตัวเชื่อมประสานเพิ่มขึ้น จากการ



รูปที่ 2 ค่า HHV ของ (ก) เชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกถั่วที่มีแป้งมันเป็นตัวเชื่อมประสาน และ (ข) เชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกถั่วที่มีแกลบเป็นตัวเชื่อมประสาน

ศึกษาองค์ประกอบแบบปริมาณของเชื้อเพลิงชีวมวลแล้วสามารถแบ่งองค์ประกอบออกเป็น 2 ส่วนหลักดังนี้ ส่วนที่เผาไหม้ได้ คือ สารอินทรีย์ระเหยง่าย และคาร์บอนคงตัว และส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ ความชื้น และเถ้า ดังนั้นการเพิ่มปริมาณตัวเชื่อมประสานส่งผลให้ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้เพิ่มสูงขึ้นซึ่งองค์ประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้มักเป็นส่วนที่ไม่ให้พลังงาน [12] จึงส่งผลต่อการลดลงของค่า HHV แสดงให้เห็นว่าแป้งมันและแกลบที่เติมลงไปส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของเชื้อเพลิงชีวมวลเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ค่าความร้อนที่ลดลงของเชื้อเพลิงชีวมวล ณ แรงดันต่ำในการกดอัด (มากกว่า 16 เมกะจูล/กก.) โดยมีแป้งมันเป็นตัวเชื่อมประสานในอัตราส่วนที่แตกต่างกันนั้นมีความเหมาะสมต่อการใช้งานด้านพลังงานในรูปถ่านอัดแท่ง [14], [15] ในขณะที่เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีแกลบเป็นตัวเชื่อมประสานจะมีค่า HHV ต่ำ (น้อยกว่า 16 เมกะจูล/กก.) ซึ่งไม่เหมาะสำหรับงานด้านเชื้อเพลิง [14]

สำหรับผลของแรงดันที่ใช้ในการกดอัดขึ้นรูปต่อค่า HHV นั้นพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แรงดันสูงในการกดอัดมีค่า HHV ต่ำกว่าการใช้แรงดันต่ำในการกดอัด [รูปที่ 2 (ก)–(ข)] เนื่องจากการใช้แรงดันสูงทำให้เชื้อเพลิงชีวมวลมีปริมาณรูพรุนมากหรือมีความพรุนสูงส่งผลให้อัตราการซึมผ่านน้ำสูง และจะสอดคล้องกับความสามารถในการดูดความชื้นสูง [12] ซึ่งจะกล่าวในต่อไป มากไปกว่านั้นค่า HHV ของเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีแป้งเป็นตัวเชื่อมประสานจะมีค่า HHV สูงกว่าการใช้แกลบเป็นตัวเชื่อมประสานเนื่องจากแกลบมีส่วนที่ไม่ให้พลังงานเมื่อเกิดการเผาไหม้ในปริมาณมาก คือ ซิลิการ้อยละ 70–90 [16] จึงทำให้เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีแป้งเป็นตัวเชื่อมประสานเกิดการเผาไหม้ได้ดีกว่าการใช้แกลบเป็นตัวเชื่อมประสาน

จากการวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าการนำสารชีวมวลไปประยุกต์ใช้งานด้านเชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ควรนำสารชีวมวลไปแปรรูปให้อยู่ในรูปถ่านด้วยกระบวนการเผาภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจนอิสระดังแสดงในตารางที่ 1–2 เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจึงส่งผลให้ค่า HHV สูง [14], [15], [17] ซึ่งบ่งบอกถึงระยะเวลาในการให้ความร้อนของถ่านชีวมวลที่ยาวนานขึ้นโดยจะกล่าวในต่อไป

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แบบปริมาณของวัตถุดิบของเชื้อเพลิงชีวมวล

สารชีวมวล	ความชื้น (%)	สารอินทรีย์ระเหยได้ (%)	ขี้เถ้า (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	เอกสารอ้างอิง
เปลือกถั่วลิสง	9.99	80.46	3.98	5.57	งานวิจัยนี้
คาร์บอไนซ์เปลือกถั่วลิสง	1.15	68.97	2.82	27.05	งานวิจัยนี้
แกลบ	9.18	69.39	17.98	2.85	งานวิจัยนี้
แป้งมัน	12.35	0	0	0	งานวิจัยนี้
เปลือกทุเรียน	9.24	79.99	6.43	3.34	[14]
กากกาแฟ	6.64	76.89	1.78	14.69	[15]
กากชา	8.24	70.76	5.67	15.33	[15]
กากข้าวโพด	0.01	75.04	9.36	15.59	[17]
คาร์บอไนซ์กากข้าวโพด	0	45.00	16.69	38.31	[17]

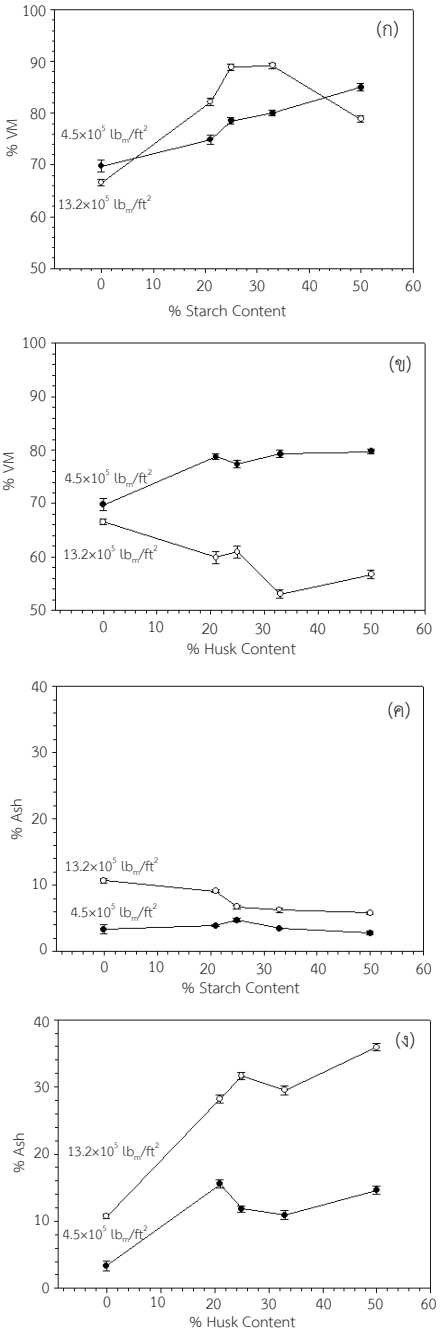
ตารางที่ 2 ค่าความร้อนของสารชีวมวลและคาร์บอไนซ์สารชีวมวลชนิดต่างๆ

สารชีวมวล	ค่าความร้อน เมกะจูล/กก.	ค่าความร้อน กิโลแคลอรี่/กก.	เอกสารอ้างอิง
เปลือกถั่วลิสง	14.48	3459.31	งานวิจัยนี้
คาร์บอไนซ์เปลือกถั่วลิสง	20.29	4847.34	งานวิจัยนี้
เปลือกทุเรียน	16.69	3987.29	[14]
กากกาแฟ	17.17	4101.96	[15]
กากชา	16.41	3920.40	[15]
กากข้าวโพด	17.13	4092.41	[17]
คาร์บอไนซ์กากข้าวโพด	20.01	4780.45	[17]

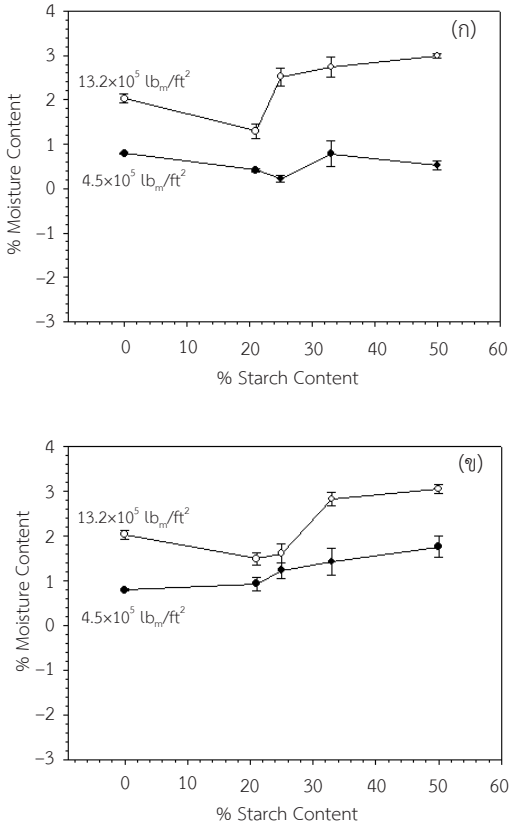
3.3 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย

จากที่ได้กล่าวถึงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 2 ส่วน จะเห็นได้ว่าส่วนที่สำคัญต่อความเป็นเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตได้ คือ สารอินทรีย์ระเหยง่ายและปริมาณคาร์บอนคงตัว ซึ่งสารอินทรีย์ระเหยง่าย คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเบา ได้แก่ มีเทน อีเทน โพรเพน และบิวเทน เป็นต้น ที่อยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวลทำหน้าที่เป็นตัวกลางทำให้เชื้อเพลิงชีวมวลติดไฟก่อนเกิดการเผาไหม้คาร์บอนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวล เมื่อพิจารณาเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีการเติมตัวเชื่อมประสานจะเห็นว่าปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 3) ส่วนปริมาณของคาร์บอนคงตัวให้ผลตรงกันข้ามกับปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย

จากการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูงทำให้มีความสามารถในการติดไฟดี คือ ติดไฟง่าย ส่วนปริมาณคาร์บอนคงตัวบอกถึงระยะเวลาในการติดไฟ เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แป้งมันเป็นตัวเชื่อมประสานจะมีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูงกว่าแกลบเนื่องจากแกลบมีปริมาณเถ้าสูงกว่า 4.52 เท่า (ตารางที่ 1) จึงส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แกลบเป็นตัวเชื่อมประสานมีองค์ประกอบของส่วนที่เผาไหม้ยากสูงและมีความสามารถในการติดไฟต่ำมากไปกว่านั้นเมื่อเปรียบเทียบแรงดันที่ใช้ในการกดอัดขึ้นรูปพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แรงดันต่ำมีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูงในขณะที่ปริมาณเถ้าน้อย [รูปที่ 3 (ก)–(ง)]



รูปที่ 3 สารอินทรีย์ระเหยง่ายของ (ก เชื้อเพลิงชีวมวลมีแป้งมันเป็นตัวเชื่อมประสาน (ข) เชื้อเพลิงชีวมวลมีแกลบเป็นตัวเชื่อมประสาน และเถ้าของ (ค) เชื้อเพลิงชีวมวลมีแป้งมันเป็นตัวเชื่อมประสาน (ง) เชื้อเพลิงชีวมวลมีแกลบเป็นตัวเชื่อมประสาน



รูปที่ 4 ความชื้นของ (ก) เชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกถั่วที่มีแป้งมันเป็นตัวเชื่อมประสาน และ (ข) เชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกถั่วที่มีแกลบเป็นตัวเชื่อมประสาน

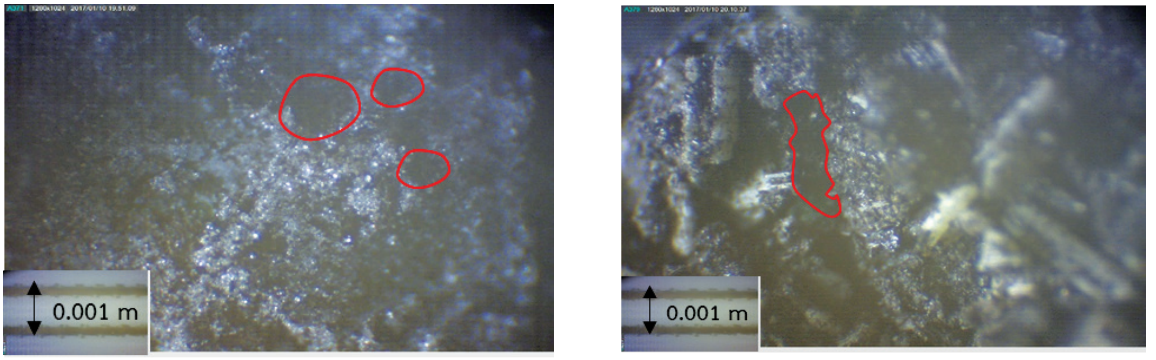
ซึ่งสอดคล้องกับค่า HHV ที่สูงกว่า (รูปที่ 2) อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีตัวเชื่อมประสานพบว่าที่ปริมาณตัวเชื่อมประสานร้อยละ 33 มีค่า HHV สูงที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากมีส่วนที่เผาไหม้ได้ คือ สารอินทรีย์ระเหยง่ายสูงที่สุดในขณะที่มีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด

3.4 ปริมาณความชื้น

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลแสดงให้เห็นถึงความสามารถของเชื้อเพลิงชีวมวลในการดูดความชื้นซึ่งปริมาณความชื้นเป็นตัวชี้วัดความสามารถในการติดไฟ หากมีค่าความชื้นต่ำความสามารถในการติดไฟจะสูง จากการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แรงดันต่ำในการกดอัดจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แรงดันสูงในการกดอัดส่งผลให้ปริมาณความชื้นต่ำ [รูปที่ 4 (ก)–(ข)] เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แรงดันต่ำทำให้ขนาดช่องว่างระหว่างอนุภาคใหญ่และมีปริมาณรูพรุนน้อย คือ มีความพรุนต่ำ จึงทำให้อัตราการซึมผ่านของน้ำต่ำ คือ 38.67 มิลลิลิตรต่อนาที คือ มีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำช้าซึ่งมีความสอดคล้องกับความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ ส่วนเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แรงดันสูงจะมีขนาดของรูพรุนเล็กและอาจมีปริมาณรูพรุนสูงกว่าทำให้ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำสูง (60.89 มิลลิลิตรต่อนาที) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้นสูงจึงส่งผลให้ค่า HHV และปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย กล่าวคือ เชื้อเพลิงที่มีค่า HHV สูงจะมีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูง และทำให้ความสามารถในการติดไฟสูงอีกด้วย [รูปที่ 3 (ก)–(ข)] สำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีแป้งมันเป็นตัวเชื่อมประสาน [รูปที่ 5 (ก)] จะมีค่าความชื้นต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีแกลบเป็นตัวเชื่อมประสานประมาณ 4.58 เท่า เนื่องจากลักษณะรูพรุนของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แกลบเป็นตัวเชื่อมประสานจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกซึ่งเป็นลักษณะตามธรรมชาติของแกลบ [รูปที่ 5 (ข)] จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แรงดันต่ำในการกดอัดขึ้นรูปจะมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าและมีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนสูงกว่า

3.5 ประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

การทดสอบประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นการนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่เตรียมได้ไปเผาไหม้โดยตรงและใช้พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ทำให้น้ำปริมาตร 15 มิลลิลิตร เดือดที่ อุณหภูมิ 100°ซ จากอุณหภูมิห้องขณะทำการศึกษา (30°ซ) พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านการกดอัดขึ้นรูปด้วยแรงดันต่ำ 4.5×10^5 ปอนด์/ตารางฟุต มีความสามารถในการติดไฟได้ง่าย โดยระยะเวลาในการจุดติดไฟคือ 5 นาที ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แรงดันสูงในการกดอัด 1.14 เท่า และระยะเวลาในการให้ความร้อนต่ำกว่าคิดเป็นร้อยละ 68.75 (ตารางที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคาร์บอนคงตัวที่ต่ำกว่าร้อยละ 44.25 จากผลการศึกษาการให้ความ



(ก) (ข)

รูปที่ 5 ลักษณะช่องว่างระหว่างอนุภาค (รูพรุน) ของ (ก) เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีแป้งมันเป็นตัวเชื่อมประสาน และ (ข) เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีแกลบเป็นตัวเชื่อมประสาน

ร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านการกดอัดขึ้นรูปด้วยแรงดันต่ำมีประสิทธิภาพการให้ความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านการอัดด้วยแรงดันสูงคิดเป็นร้อยละ 44.44 อีกทั้งปริมาณการใช้แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลในการทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100°ซ น้อยกว่าด้วย (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ไม่มีตัวเชื่อมประสาน ณ แรงดันต่างกัน

แรงดันที่ใช้ในการกดอัด (ปอนด์/ตารางฟุต)	**4.5×10^5**	**13.2×10^5**
ค่าความร้อน (เมกะจูล/กก.)	20.29	17.65
ระยะเวลาที่ใช้ในการจุดติดไฟ (นาที)	5.00	7.00
ระยะเวลาที่ทำให้อุณภูมิถึง 100°ซ (นาที)	17.06	31.27
น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ (กรัม)	15.48	23.84
ประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของเชื้อเพลิง [11]	90.66	46.31

4. สรุป

จากการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษเปลือกถั่วลิสงโดยการนำเปลือกถั่วลิสงมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีแป้งมันและแกลบเป็นตัวเชื่อมประสาน พบว่าสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แรงดันในการกดอัดขึ้นรูป 2 แรงดันคือ 4.5×10^5 ปอนด์/ตารางฟุต และ 13.2×10^5 ปอนด์/ตารางฟุต สามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้แรงดันสูงในการกดอัดขึ้นรูปมีสมบัติเชิงกลดีกว่าการใช้แรงดันต่ำ คือ ค่าดัชนีการแตกร่วนมากขึ้นร้อยละ 4.20 ซึ่งสอดคล้องกับความอัดแน่นสูง ในขณะที่เชื้อเพลิงชีวมวลที่เตรียมได้จากการใช้แรงดันต่ำมีสมบัติทางความร้อนดีกว่าซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นต่ำ มากไปกว่านั้นการใช้แกลบเป็นตัวเชื่อมประสานไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลและประสิทธิภาพการให้ความร้อนเนื่องจากความเป็นเส้นใยและมีปริมาณเถ้าสูงของแกลบ (ร้อยละ 19.97)

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ร้านแสงอรุณ ตลาดคำเที่ยง จังหวัดเชียงใหม่สำหรับเปลือกถั่วลิสง โรงสีข้าวชุมชนวัดทุ่งหมื่นน้อยแม่โจ้ มากไปกว่านั้นขอขอบคุณหลักสูตรเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้อำนวยความสะดวกสำหรับสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Phongnailert, “Pyrolysis reactor control for waste tire disposal of wanorniwas agricultural cooperatives limited, Sakonnakorn province,” M.S. thesis, Graduate School of Environmental

Development Administration, National Institute of Development Administration (NIDA), 2012.

[2] K. saensree, "Renewable energy in Thailand," *Journal of Renewable Energy*, vol. 1, pp. 1–2, 2012.

[3] A. Jacobs, S. Auburger, E. Bahrs, W. B. Siebrecht, O. Christen, and P.Götze, "Greenhouse gas emission of biogas production out of silage maize and sugar beet – An assessment along the entire production chain," *Applied Energy*, vol. 190, pp. 114–121, 2017.

[4] R. Pawongrat, "Pretreatment processes for enhancing the efficiency of ethanol production from lignocellulosic agricultural wastes," *Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University*, vol. 1, pp. 143–157, 2015.

[5] O. F. Obi, "Evaluation of the effect of palm oil mill sludge on the properties of sawdust briquette," *Renewable and Sustainble Energy Reviews*, vol. 52, pp. 1749–1758, 2015.

[6] K. Srithar, T. Rajaseenivasan, V. Srinivasan, and G. Syed, "An investigation on the performance of sawdust briquette blending with neem powder," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 55, pp. 2833–2838, 2016.

[7] U. Walairat and V. Tharapong, "Production of briquette charcoals from wet cake waste of ethanol industry from chiped cassava," *Journal of Energy Research*, vol. 3 pp. 1–19 ,2011.

[8] T. Rajaseenivasan, V. Srinivasan, G. S. M. Qadir, and K. Srithar, "An investigation on the performance of sawdust briquette blending with neem powder," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 55, pp. 2833–2838, 2016.

[9] X. Gao, M. Norwood, C. Frederick, A. McKee, C. A. Masiello, and P.Louchouarn, "Organic geochemical approaches to identifying formation processes for middens and charcoal-rich features," *Organic Geochemistry*, vol. 94, pp. 1–11, 2016.

[10] S. Rezania, M. F. M. Din, S. F. Kamaruddin, S. M. Taib, L. Singh, and E. L. Yong, "Evaluation of water hyacinth (Eichhornia crassipes) as a potential raw material source for briquette production," *Energy*, vol. 111, pp. 768–773, 2016.

[11] W. Sirichumpan, S. Idhipong, W. Sirichumpan, and Y. Supama, "Research and development on Peanut," Department of Agriculture, Thailand, 2015.

[12] S. H. Sengar, A. G. Mohad, Y. P. Khandeted, S. SPatail, and A. D. Chendake, "Performance of briquetting machine for briquette fuel," *International of Energy Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 29–30, 2012.

[13] M. Thabuot, T. Pagketanang, K. Panyacharoen, P. Mongkut, and P. Wongwicha, "Effect of applied pressure and binder proportion on the fuel properties of holey Bio-Briquettes," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 2, pp. 890–895, 2015.

[14] C. Asavatesanupap and M. Santikunaporn, "A feasibility study on production of solid fuel from glycerol and agricultural wastes," *International Transaction Journal of Engineering, Management, and Applied Sciences and Technologies*, vol. 1, pp. 43–51, 2010.

[15] N. Tangmankongworakoon and P. Preedasuriyachai, "The evaluation of fuel briquetts produced from municipal wastes," *International Journal*

of Environmental Science and Development, vol. 6, pp. 221–224, 2015.

[16] M. K. Pradhan, "Effect of rice husk ash on properties of aluminium alloys: A review," *Maulana Azad National Institute of Technology*, vol. 4, pp. 486–495, 2017.

[17] Q. Wang, K. Han, J. Gao, H. Li, and C. Lu, "The pyrolysis of biomass briquettes: Effect of pyrolysis temperature and phosphorus additives on the quality and combustion of bio-char briquettes," *Fuel*, vol. 199, pp. 488–496, 2017.