การพัฒนาก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง

ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ[1*] ณรงค์ศักดิ์ ลาปัน[2] วิภาวดี ชัชวาลย์[3] อานันท์ ธัญญเจริญ[4]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 128 ถ.ห้วยแก้ว อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300
และ ภาคภูมิ รักร่วม[5]
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

บทคัดย่อ

การผลิตก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษเหลือทิ้งจากการเกษตร เป็นทางเลือกหนึ่งของการค้นหาแหล่งพลังงานที่มีความเหมาะสมสำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตก้อนเชื้อเพลิงที่ใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของเศษฟางข้าวและเศษลำไยเหลือทิ้ง โดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน และใช้การอัดแบบเปียกด้วยแรงอัดต่ำ 50 และ 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำการทดลองที่อัตราส่วนของเศษฟางข้าวต่อเศษลำไยเหลือทิ้งที่อัตราส่วนต่างๆ กัน ดังนี้ 100:0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80 และ 0:100 โดยน้ำหนัก จากนั้นตรวจวัดสมบัติทางกายภาพของก้อนเชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่ ลักษณะรูปร่าง ค่าความหนาแน่น และสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าความชื้น ค่าเถ้า ค่าสารระเหยได้ ค่าคาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน จากผลการทดลองพบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิต คือการใช้เศษฟางข้าวต่อเศษลำไยเหลือทิ้งที่อัตราส่วน 20:80 โดยน้ำหนัก มีแป้งเปียกร้อยละ 6 เป็นตัวประสาน ใช้แรงอัดที่ 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งก้อนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความหนาแน่น 0.33 กรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับค่าความชื้น ค่าเถ้า ค่าสารระเหยได้ และค่าคาร์บอนคงตัว ของก้อนเชื้อเพลิงมีค่าร้อยละ 7.39, 5.00, 85.73 และ 1.88 ฐานแห้ง ตามลำดับ ขณะที่ค่าความร้อนของก้อนเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 3,698.46 แคลอรี่ต่อกรัม และก้อนเชื้อเพลิงมีค่าประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน เท่ากับร้อยละ 10.64

คำสำคัญ : เมล็ดผสมเปลือกลำไย / เศษฟางข้าวเหลือทิ้ง / แป้งเปียก / ก้อนเชื้อเพลิงชีวมวล

---

* *Corresponding Author : lwattanachira@gmail.com*

1 *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์*

2 *นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์*

3 *นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์*

4 *นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์*

5 *อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์*

Development of Biobriquettes from Mixed Rice-straw and Longan Waste Residues

Ladawan Wattanachira[1*] Narongsak Laapan[2] Vipavadee Chatchavarn[3] Aanun Thanyacharoen[4]

Rajamangala University of Technology Lanna, 128 Huay Kaew Road, Muang District, Chiang Mai 50300

and Pharkphum Rakruam[5]

Chiang Mai University, 239, Huay Kaew Road, Muang District, Chiang Mai 50200

Abstract

Biobriquettes prerared from agricultural residues are an alternative energy sources suitable for application in such an agriculture-based country as Thailand. The objective of this study was to prepare biobriquettes using an optimum mixture of rice-straw (RS) and longan waste residues (LR) with tapioca paste as a binder. Biobriquettes were prepared by wet method under low-pressure compaction of 50 and 75 kg/cm^2. The experiments were conducted using RS:LR ratios of 100:0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80 and 0:100 (by weight). Physical properties, including shape, density as well as chemical properties, including moisture content, ash, volatile matter, fixed carbon and heating value of the biobriquettes were determined. The results showed that the optimum mixture formula of biobriquettes was RS:LR of 20:80 (by weight) with 6% tapioca paste, preparation should be made at a compaction pressure of 50 kg/cm^2. The density of these biobriquette was 0.33 g/cm^2, while the moisture content, ash, volatile matter and fixed carbon contents were 7.39, 5.00, 85.73 and 1.88% (dry basis), respectively. The heating value was 3,698.46 cal/g and the thermal efficiency of this fuel was 10.64%.

Keywords : Seed and Peel of Longan / Rice-straw Residue / Tapioca Paste / Biobriquettes

* *Corresponding Author : lwattanachira@gmail.com*

1 *Assistant Professor Department of Environmental Engineering Faculty of Engineering.*

2 *Student Department of Environmental Engineering Faculty of Engineering.*

3 *Student Department of Environmental Engineering Faculty of Engineering.*

4 *Student Department of Environmental Engineering Faculty of Engineering.*

5 *Lecturer Department of Environmental Engineering Faculty of Engineering.*

1. บทนำ

ปัจจุบัน การค้นคว้าเพื่อหาพลังงานทดแทนกำลังเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ปัจจัยสำคัญคือเป็นเชื้อเพลิงราคาถูก มีปริมาณเพียงพอ จัดหาได้ง่ายในท้องถิ่น รวมทั้งกรรมวิธีในการนำมาใช้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยหนึ่งในพลังงานทดแทนที่เป็นทางเลือกที่ดี คือ พลังงานทดแทนจากก้อนเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งเป็นการประหยัดและชะลอการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เป็นการลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ลดผลกระทบจากการทิ้งชีวมวลเพิ่มมากขึ้น และยังมีผลกระทบต่อทั้งเศรษฐกิจ สังคม รวมถึงความสมดุลของสิ่งแวดล้อม ประโยชน์ที่เกิดจากการนำชีวมวลมาใช้ใหม่ส่งผลดีต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมสำหรับภาคชนบทและอุตสาหกรรม ผลที่เกิดขึ้นเป็นผลดีต่อทั้งระดับชาติและระดับโลก

พลังงานทดแทนในรูปแบบของพลังงานชีวมวลยังสอดคล้องกับยุทธศาสตร์แห่งชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2551-2555 เป็นแนวทางปฏิบัติที่ตอบสนองต่อปัญหาสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง สามารถทำให้บรรเทาหรือลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะในพื้นที่เปราะบางและล่อแหลม [1-2] ซึ่งภาคเหนือตอนบนนับได้ว่าเป็นพื้นที่ประสบปัญหาหมอกควันที่เป็นปัญหามลพิษอากาศที่สำคัญมากปัญหาหนึ่งของประเทศไทย โดยเฉพาะเมื่อต้นปี พ.ศ. 2550 (19 ม.ค. 2550) พื้นที่ 3 จังหวัดได้แก่ แม่ฮ่องสอน เชียงราย และเชียงใหม่ ได้ถูกประกาศเป็นเขตภัยพิบัติเนื่องจากมลพิษอากาศที่มีผลกระทบรุนแรงต่อสุขภาพคน และสิ่งแวดล้อม ซึ่งค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน หรือ PM10 มีค่าเกินมาตรฐาน 2-3 เท่า (ค่ามาตรฐาน 120 มิลลิกรัมกรัม/ลูกบาศก์เมตรหรือ ppm) สาเหตุหลักที่เป็นเหตุให้เกิดมลพิษอากาศที่สำคัญ คือ การเผาขยะเกษตรเหลือทิ้งในที่โล่ง ได้แก่ การเผาตอซังหลังการเก็บเกี่ยวข้าว การเผาเศษฟาง การเผาเศษหญ้า เช่น วัชพืช ใบไม้กิ่งไม้ การเผาฟืนและถ่านตลอดจนการเกิดไฟป่า เป็นต้น สาเหตุรอง ได้แก่ การปิ้งย่าง อุตสาหกรรมขนาดเล็กและใหญ่ การจราจร และการก่อสร้าง ตามลำดับ [1-3]

ประเทศไทยมีผลผลิตทางการเกษตรที่หลากหลาย เช่น ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และยางพารา ซึ่งในระหว่างการเก็บเกี่ยว และการแปรรูปผลผลิตเกษตรนั้นๆ ก่อให้เกิดชีวมวล หรือเรียกว่า วัสดุเกษตรเหลือทิ้ง เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย และซังข้าวโพด เป็นต้น จากรายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย พ.ศ.2554 ได้กล่าวว่าฟางข้าวเป็นชีวมวลที่มีศักยภาพเชิงพลังงานมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลอื่นๆ แต่ฟางข้าวไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากเท่าที่ควร และโดยทั่วๆ ไปมักจะถูกทำลายทิ้งโดยการเผา ซึ่งกระทบโดยตรงต่อการเกิดมลพิษอากาศโดยเฉพาะในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน [2-4] นอกจากนี้ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และลำพูนมีการเพาะปลูกลำไยมากกว่า 70% ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดและพบว่าปริมาณผลผลิตลำไยในปี 2553 มีสูงมากถึง 525,230 ตัน คิดเป็นปริมาณชีวมวลลำไยได้ 176,752 ตัน [5] ซึ่งชีวมวลลำไยหรือเศษลำไยเหลือทิ้งเหล่านั้นไม่ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง โดยเฉพาะเมล็ดและเปลือกลำไยที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปลำไยอบแห้ง และเศษกิ่งก้านใบที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งหลังการเก็บเกี่ยว

คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดโดยเริ่มต้นจากมุมมองของการจัดการเศษเหลือทิ้งเกษตรโดยการนำไปใช้ประโยชน์ และเล็งเห็นว่า การพัฒนาก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลที่คุณภาพดีจะเป็นแนวทางให้คนในชนบท สามารถนำไปใช้แทนถ่านไม้และฟืนได้จริง ลดค่าใช้จ่ายครัวเรือน รวมทั้งเป็นการรักษาและอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ของชาติอีกทางหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลโดยสำนักงานสถิติแห่งชาติซึ่งได้รายงานการสำรวจการใช้พลังงานครัวเรือนในพื้นที่ภาคเหนือ โดยกล่าวถึงค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเฉลี่ยต่อเดือนของครัวเรือน ตั้งแต่ ปี 2550-2556 เพิ่มสูงขึ้นจาก 1,128 เป็น 1,558 บาท และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเฉลี่ยต่อเดือนจำแนกตามประเภทของพลังงาน ในปี 2553-2556 เป็นถ่านไม้และฟืนโดยเพิ่มจากร้อยละ 2.4 เป็น 4.7 ก๊าซหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน เพิ่มจากร้อยละ 3.4 เป็น 6.5 [6]

นอกจากนี้ การพัฒนาก้อนเชื้อเพลิงได้รับการศึกษาจากนักวิชาการมากมาย โดยใช้วัสดุที่แตกต่างกัน เช่น ใช้เศษวัชพืชหรือเศษวัสดุทางการเกษตร [2] หญ้านวลน้อยผสมวัสดุทางการเกษตรเหลือทิ้ง ได้แก่ ยอดและใบอ้อย ฟางข้าว ก้านทางปาล์มน้ำมัน ต้นมันสำปะหลัง และซังข้าวโพด [7] กระดาษ ขี้เลื่อย และขยะจากการตัดแต่ง

ต้นไม้ [8] ซึ่งคุณภาพของก้อนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ แรงอัดในการขึ้นรูปก้อนเชื้อเพลิง และวัสดุประสาน แนวคิดการศึกษาการผลิตก้อนเชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นทางเลือกหนึ่งของการพัฒนาใช้พลังงานทดแทนจึงเกิดขึ้น โดยสามารถเป็นการช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่ามากถึงปีละ 86,000 ลูกบาศก์เมตร ช่วยลดมลพิษอากาศที่เกิดจากการเผาในที่โล่งของ เศษเหลือทิ้งเกษตรต่างๆ ช่วยลดก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก [2] โดยสอดคล้องกับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ที่ได้ระบุถึงปัจจัยสำคัญของเชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนนั้นต้องมีราคาถูก มีปริมาณมากเพียงพอ จัดหาได้ง่าย และกรรมวิธีการนำมาใช้ประโยชน์ไม่ควรยุ่งยากซับซ้อน ก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจึงเป็นทางเลือกที่เป็นการใช้ประโยชน์จากชีวมวลที่เหมาะสมที่สุด โดยเฉพาะการผลิตก้อนเชื้อเพลิงจากเศษเหลือทิ้งเกษตร ซึ่งวิธีการอัดเป็นก้อนชีวมวลนั้นเป็นการทำเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของเศษวัสดุและทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน โดยสามารถเป็นเชื้อเพลิงทดแทนทั้งในครัวเรือนและอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งได้ [8]

การเริ่มต้นการศึกษาโดยลดาวัลย์ วัฒนะจีระและคณะ [9] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากชีวมวลลำไย โดยใช้เครื่องอัดก้อนแบบอาศัยแรงคนอัด ซึ่งจินตนาพร แสนผาบ และคณะ [10] ได้ศึกษาในส่วนของการเลือกใช้ตัวประสานที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก้อนเชื้อเพลิงดังกล่าว จากการศึกษา พบว่าก้อนเชื้อเพลิงจากชีวมวลลำไยที่มีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดีสุด คือก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเมล็ดผสมเปลือกลำไยต่อเศษกิ่งก้านใบลำไย อัตราส่วน 80:20 โดยน้ำหนัก ที่ใช้ตัวประสานแป้งเปียกที่ร้อยละ 6 ให้ค่าความร้อน 3,184.76 แคลอรี่ต่อกรัม มีค่าความชื้น ร้อยละ 8.15 ซึ่งสูงเล็กน้อยและมีผลต่อก้อนเชื้อเพลิงที่ศึกษาได้โดยติดไฟได้ยากเล็กน้อย จากนั้น ลดาวัลย์ วัฒนะจีระและคณะ [11] ได้ศึกษาการผลิตก้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่องโดยพัฒนาเครื่องอัดก้อนให้สามารถทำงานได้สะดวกขึ้นโดยใช้แรงอัดที่อาศัยแรงจากแม่แรงขนาด 5 ตัน และสามารถอ่านค่าแรงอัดจากมาตรวัดที่ติดตั้งไว้ที่เครื่องอัดด้วย โดยทำการศึกษาต่อเนื่องเพื่อค้นหาวัสดุช่วยติดไฟมาเป็นส่วนผสมในก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลลำไย ซึ่งการศึกษาโดยลดาวัลย์ วัฒนะจีระและคณะ [11] ใช้วัสดุช่วยติดไฟคือขี้เลื่อยไม้มะพร้าว และชุติกาญจน์ สมจินดา และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาโดยเลือกใช้วัสดุช่วยติดไฟ คือเศษไม้ไผ่เหลือทิ้ง การทดลองใช้วัสดุติดไฟทั้งสองชนิดนั้นทำพร้อมกันและมีวิธีขั้นตอนการทดลองที่เหมือนกันทุกขั้นตอน โดยใช้อัตราส่วนของชีวมวลลำไยต่อวัสดุช่วยติดไฟที่ 3:1, 1:1 และ1:3 โดยน้ำหนัก แรงอัดที่ใช้คือ 25, 50, 75 และ100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และใช้ตัวประสานแป้งเปียก ร้อยละ 6 ผลการทดลองพบว่า แรงอัดที่มีผลดีต่อลักษณะทางกายภาพของก้อนเชื้อเพลิง คือ แรงอัด 50 และ 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมของก้อนเชื้อเพลิงจากชีวมวลลำไยต่อขี้เลื่อยไม้มะพร้าว คือ 3:1 โดยน้ำหนัก ที่แรงอัด 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และตรวจวัดค่าความร้อนได้ค่า 6,178.40 แคลอรี่ต่อกรัม มีค่าความชื้น ร้อยละ 9.95 โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมของก้อนเชื้อเพลิงจากเมล็ดผสมเปลือกลำไยกับเศษไม้ไผ่เหลือทิ้ง คือ 3:1 โดยน้ำหนัก และผลิตก้อนเชื้อเพลิงได้ดีทั้งที่แรงอัด 50 และ75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยเมื่อตรวจค่าความร้อนได้ค่า 3,927.87 และ 4,143.69 แคลอรี่ต่อกรัม มีค่าความชื้น ร้อยละ 7.79 และ7.74 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลจากการทดลองของก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลลำไยที่ผสมด้วยเศษไม้ไผ่เหลือทิ้งซึ่งมีค่าความชื้นใกล้เคียงกันกับก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลลำไยที่ไม่ผสมวัสดุช่วยติดไฟจึงกล่าวได้ว่าการเพิ่มเศษไม้ไผ่เหลือทิ้ง มีผลทำให้ก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถให้ค่าความร้อนที่สูงขึ้นจากเดิม และการติดไฟดีขึ้น โดยไม่เปรียบเทียบการทดลองกับก้อนชีวมวลลำไยที่ผสมด้วยขี้เลื่อยไม้มะพร้าวเนื่องจากค่าความชื้นแตกต่างกันมากกว่าเศษไม้ไผ่เหลือทิ้ง [9-12]

อย่างไรก็ตามการศึกษาวิจัยมุ่งเน้นเพื่อโอกาสการทำก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กในชุมชนท้องถิ่น จึงทำให้การวิจัยครั้งนี้ได้ใช้นำข้อมูลที่ได้ศึกษาไว้ดังกล่าวมาแล้วมาทำการศึกษาต่อเนื่อง โดยเลือกวัสดุที่มีทั่วไปในท้องถิ่น และควรเป็นวัสดุที่มีศักยภาพดีในการเป็นเชื้อเพลิง จึงสนใจนำเศษฟางข้าวมาใช้ศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากสอดคล้องกับปัจจัยที่เสนอแนะไว้โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานดังได้กล่าวมาแล้วนั้น

กล่าวคือศักยภาพเชิงพลังงานจากชีวมวลของแข็งของฟางข้าวที่เกิดขึ้นในจังหวัดเชียงใหม่มีมากที่สุด คือ 167.29 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ส่วนชีวมวลอื่นๆ เช่น แกลบ ต้นข้าวโพด และซังข้าวโพด มีศักยภาพเพียง 35.15, 30.20 6.71 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ [2,4] ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาเพื่อการผลิตก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวและเมล็ดผสมเปลือกลำไย โดยใช้แป้งเปียกร้อยละ 6 เป็นตัวประสาน แรงอัดที่ใช้ คือ 50 และ75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แปรอัตราส่วนผสมโดยใช้เศษฟางข้าวต่อเมล็ดและเปลือกลำไยต่างๆ กัน คือ 100:0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80 และ 0:100 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองจะทำให้ได้สูตรผลิตก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีส่วนผสมและแรงอัดที่เหมาะสม รวมทั้งตรวจวัดสมบัติทั้งทางกายภาพ เคมี และการเป็นเชื้อเพลิงของก้อนเชื้อเพลิงที่ได้จากการศึกษาด้วย

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เศษเหลือทิ้งที่ใช้ในการวิจัย

เศษฟางข้าวเหลือทิ้ง (RS) เป็นเศษเหลือทิ้งจากการเกษตร ซึ่งเกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยวข้าว รวบรวมได้จากหมู่ 4 ต.สารภี อ.สารภี จ.เชียงใหม่ ในระหว่างเดือนกันยายน 2556 - เดือนตุลาคม 2556 วัดค่าความชื้นได้ร้อยละ 7.05 ฐานแห้ง

เมล็ดผสมเปลือกลำไย (LR) เป็นเศษลำไยเหลือทิ้งที่เกิดจากการแปรรูปลำไยอบแห้ง เก็บรวบรวมจากชุมชนบ้านแม่ร่องน้อย ตำบลอุโมงค์ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน ช่วงเวลาที่เก็บรวบรวม เดือนสิงหาคม 2555 - เดือนกันยายน 2555 วัดค่าความชื้นได้ ร้อยละ 7.93 ฐานแห้ง

2.2 ตัวประสานทำก้อนเชื้อเพลิง

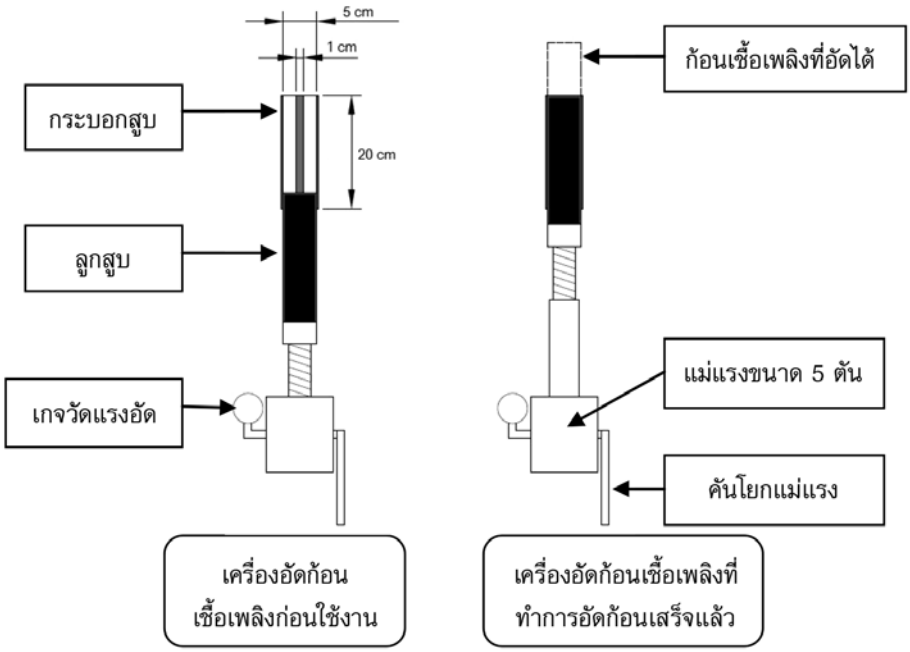
ตัวประสานที่ใช้ในการศึกษาการอัดก้อนเชื้อเพลิง คือ แป้งเปียก ซึ่งใช้ที่อัตราส่วน ร้อยละ 6 [9-12] เตรียมจากการกวนผสมแป้งมันกับน้ำในอัตราส่วน 0.15 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก กวนให้เป็นแป้งเปียกด้วยความร้อนจากเตาไฟฟ้า กำลังไฟ 1.5 กิโลวัตต์ เมื่อเริ่มเดือดให้กวนต่อไปจนแป้งใส รวมเวลาที่ใช้กวนแป้งเปียกโดยประมาณ 3 นาที 35 วินาที [13] แป้งมันสำปะหลังที่ใช้ ตราปลาไทย 5 ดาว ผลิตโดยบริษัท อ.ที.ซี. เอี๊ยบตงจั่น จำกัด เลขที่ 88 หมู่ 7 ต.อัจฉริยะประสิทธิ์ อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 11130

2.3 น้ำที่ใช้ผสมทำก้อนเชื้อเพลิง

น้ำประปาจากห้องปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

2.4 เครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิง

เครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ขึ้นใช้ในงานวิจัยนี้ อาศัยหลักการอัดแบบกระบอกสูบและลูกสูบ ความยาวกระบอกอัด 20 เซนติเมตรโดยประมาณ ตัวกระบอกสูบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 เซนติเมตร ก้านลูกสูบที่ใช้อัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ซึ่งอาศัยแรงอัดจากแม่แรงขนาด 5 ตัน ดังแสดงในรูปที่ 1 ก้อนเชื้อเพลิงที่ได้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 - 5 เซนติเมตร มีรูตรงกลางก้อนซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณ 1 เซนติเมตร [11-13]



รูปที่ 1 เครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ขึ้นใช้ในงานวิจัยนี้

2.5 วิธีการทดลอง

2.5.1 การเตรียมเศษเหลือทิ้งที่ใช้ทำการทดลองเพื่อผลิตก้อนเชื้อเพลิงชีวมวล

เศษเหลือทิ้งที่เตรียมไว้เพื่อใช้ผสมสำหรับการทำทดลองผลิตเป็นก้อนเชื้อเพลิง ต้องทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 (ขนาดช่องว่าง 0.589 มิลลิเมตร) และเก็บในกล่องที่สามารถป้องกันการดูดซับความชื้นได้ดี [11-13]

1) รวบรวมเศษฟางข้าวเหลือทิ้ง ดังรายละเอียดข้อ 2.1 นำไปบดด้วยเครื่องบดเศษกิ่งก้านใบไม้ก่อน 1 ครั้ง แล้วบดต่อด้วยเครื่องบดละเอียดอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงร่อนผ่านตะแกรง

2) รวบรวมเมล็ดผสมเปลือกลำไย นำมาล้างน้ำและสะเด็ดน้ำ อบให้แห้งโดยอาศัยความร้อนบนเตาอบ ลำไย รายละเอียดดังข้อ 2.1 นำไปบดด้วยเครื่องบดละเอียด จากนั้นจึงร่อนผ่านตะแกรง

2.5.2 การตรวจวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของเศษเหลือทิ้งที่ใช้ทดลอง

เศษเหลือทิ้งที่จะนำไปตรวจวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นต้องทำการบดละเอียดต่อจากเศษเหลือทิ้งที่เตรียมไว้ทำการทดลองผลิตก้อนเชื้อเพลิง โดยต้องให้มีความละเอียดและสามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 (ขนาดช่องว่าง 0.250 มิลลิเมตร) ซึ่งเป็นไปตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ASTM [14-16]

2.5.3 การทดสอบหาการดูดซับน้ำของเศษเหลือทิ้งที่ใช้ทดลองผลิตก้อนเชื้อเพลิง

การทดสอบหาการดูดซับน้ำของเศษเหลือทิ้งที่ใช้ทดลอง ทำโดยการนำเศษเหลือทิ้งที่เตรียมสำหรับทดลองผลิตเป็นก้อนเชื้อเพลิงชั่งน้ำหนัก 50 กรัม ใส่ภาชนะสำหรับผสม แล้วค่อยๆ เติมน้ำครั้งละ 20 มิลลิลิตร บันทึกและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเศษเหลือทิ้ง โดยสังเกตจากการจับตัว การทดลองกำและบีบเศษเหลือทิ้งที่ปริมาตรน้ำต่างๆ กัน ซึ่งปริมาตรน้ำที่เหมาะสม คือมีน้ำซึมออกมาที่ร่องนิ้วเล็กน้อยเป็นการประเมินเบื้องต้นว่าเศษเหลือทิ้งนั้นมีความชื้นเหมาะสมสำหรับการอัดก้อน หรือเมื่อนำเศษเหลือทิ้งนั้นไปตรวจวัดค่าความชื้นภายหลังการทดสอบการดูดซับน้ำแล้ว ควรได้ค่าความชื้นโดยประมาณในช่วงค่า ร้อยละ 50-60 ฐานเปียก [7,9-13,17]

2.5.4 การทดลองเพื่อศึกษาการทำก้อนเชื้อเพลิงจากการผสมของเศษฟางข้าวกับเม็ดผสมเปลือกลำไย

ทำการศึกษาเพื่ออัดก้อนเชื้อเพลิงโดยใช้เศษฟางข้าวต่อเศษลำไยเหลือทิ้งที่อัตราส่วนต่างๆ กัน คือ 100:0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80 และ 0:100 โดยน้ำหนักตามลำดับ ใช้แป้งเปียก ร้อยละ 6 เป็นตัวประสาน และใช้แรงอัด 50 และ 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร [13] แสดงดัง ตารางที่ 1 จากนั้นนำก้อนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปตากให้แห้งเพื่อลดความชื้นและทำให้วัสดุเกาะตัวกัน [17-18] โดยระบุค่าความชื้นก้อนเชื้อเพลิงที่ได้ควรมีค่าที่ร้อยละ 8 [19] หรือช่วงค่าร้อยละ 10-15 [20]

ตารางที่ 1 รายละเอียดของก้อนเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนและแรงอัดต่างๆ กัน

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของฟางข้าวต่อเมล็ดผสมเปลือกลำไย	แรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	
	50	75
RS:LR 100:0	BQ1	BQ8
RS:LR 80:20	BQ2	BQ9
RS:LR 60:40	BQ3	BQ10
RS:LR 50:50	BQ4	BQ11
RS:LR 40:60	BQ5	BQ12
RS:LR 20:80	BQ6	BQ13
RS:LR 0:100	BQ7	BQ14

2.5.5 การตรวจวิเคราะห์สมบัติของก้อนเชื้อเพลิงที่ได้จากการศึกษา

1) สมบัติทางกายภาพ วิเคราะห์จากลักษณะรูปร่าง ผิว และรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นของก้อนเชื้อเพลิง สำหรับค่าความหนาแน่นทำโดยชั่งน้ำหนัก และหาปริมาตรของก้อนเชื้อเพลิง หน่วยค่าความหนาแน่น คือ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [7, 9-13]

2) สมบัติทางเคมี วิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมี (Proximately Analysis) ได้แก่ ค่าความชื้น (ASTM D3173-11) ค่าเถ้า (ASTM D3174-11) ค่าสารระเหยได้ (ASTM D3175-11) ค่าคาร์บอนคงตัว (ASTM D3172-07a) และวัดค่าความร้อน (ASTM D240) [14-16]

3) สมบัติทางเชื้อเพลิง ทำการทดลองด้วยวิธีการต้มน้ำเดือดโดยใช้ก้อนเชื้อเพลิงที่ศึกษาได้ นำไปหาค่าประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงในครัวเรือนได้ [7] [17-22] โดยเตาที่ใช้ในการทดลองเพื่อการต้มน้ำครั้งนี้ ใช้เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพดี ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน [2-4] การทำทดลองควบคุมโดยใช้เตาอั้งโล่เตาเดียวกัน และหม้อที่ใช้ต้มน้ำใบเดิมทุกครั้งที่ทำการทดลอง ขนาดหม้อที่ใช้ต้มน้ำพอดีกับขนาดของปากเตา ซึ่งในการทดลองนี้ใช้หม้ออลูมิเนียม เบอร์ 22 อุณหภูมิห้องที่ทำการต้มน้ำเดือดอยู่ระหว่าง 25-26 องศาเซลเซียส และท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีลมและฝน [11-13]

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 สมบัติเบื้องต้นของเศษเหลือทิ้งที่ใช้ศึกษา

สมบัติเบื้องต้นของเศษเหลือทิ้งที่ใช้ศึกษา แสดงดัง ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติเบื้องต้นของเศษเหลือทิ้งที่ใช้ศึกษาเศษเหลือทิ้ง

เศษเหลือทิ้ง	ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ ฐานแห้ง)				ค่าความร้อน (แคลอรี่ต่อกรัม)
	ความชื้น	ค่าเถ้า	ค่าสารระเหยได้	ค่าคาร์บอนคงตัว	
ฟางข้าว (RS)	7.05±0.08	22.16±0.05	70.14±0.28	0.65	3,189.39±24.1
เมล็ดผสมเปลือกลำไย (LR)	7.93±0.13	3.42±0.12	88.48±0.02	0.17	3,788.26 ±24.1

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

ค่าคาร์บอนคงตัวคำนวณจาก 100% - ค่าเฉลี่ย (ความชื้น + เถ้า + สารระเหยได้)

จากตารางที่ 2 พบว่า ทั้ง RS และ LR มีค่าความชื้นค่อนข้างต่ำ ซึ่งเหมาะสมใช้เป็นวัสดุทำก้อนเชื้อเพลิง คือ อยู่ในช่วงค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 50 [18] ส่วนค่าสารระเหยได้สูงซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงองค์ประกอบที่ลุกติดไฟง่าย โดยค่าที่สูงจะมีแนวโน้มมีค่าความร้อนสูงด้วย ซึ่งผลการตรวจวัด พบว่า ค่าสารระเหยได้และค่าความร้อนของ RS มีค่าต่ำกว่าของ LR ซึ่งชีวมวลที่ใช้ทำก้อนเชื้อเพลิงไม่ควรมีค่าความร้อน ต่ำกว่า 3,000 แคลอรี่ต่อกรัม จึงกล่าวได้ว่าเศษเหลือทิ้งที่นำมาใช้ศึกษามีศักยภาพที่ดีในด้านค่าสารระเหยได้และค่าความร้อน สำหรับค่าเถ้า ไม่ควรเกินร้อยละ 20 เพราะจะทำให้ไม่เกิดปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดเถ้า ส่วนค่าคาร์บอนคงตัวไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 15 เพื่อมีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน [18,21] ผลการทดลองกล่าวได้ว่า ค่าเถ้าของเศษฟางข้าวมีโอกาสทำให้เกิดปัญหาเผาไหม้ได้บ้าง ส่วนค่าคาร์บอนคงตัวของทั้ง RS และLR มีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจส่งผลต่อการลุกไหม้ของก้อนเชื้อเพลิงได้ โดยทำให้ก้อนเชื้อเพลิงลุกไหม้ได้ไม่นานและต้องเติมเชื้อเพลิงบ่อยครั้ง [17,21]

3.2 ผลการทดสอบหาการดูดซับน้ำของเศษเหลือทิ้งที่ใช้ศึกษา

ผลการทดสอบหาการดูดซับน้ำของเศษเหลือทิ้งที่ใช้ศึกษา พบว่าเศษฟางข้าวดูดซับน้ำได้ดีที่สุดที่สัดส่วนเศษฟาง 50 กรัม ต่อน้ำ 200 มิลลิลิตร ส่วนเมล็ดผสมเปลือกลำไยดูดซับน้ำได้ดีที่สัดส่วน 50 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร [9-13] ดังนั้น การอัดก้อนเชื้อเพลิงซึ่งต้องทำให้วัสดุมีความชื้นสูงเพื่อให้วัสดุยึดเกาะกันได้ดีนั้น การใช้เศษฟางเป็นส่วนผสมต้องใช้น้ำปริมาณมากกว่าเมล็ดผสมลำไยมากเป็น 2 เท่า จากลักษณะเศษเหลือทิ้งที่ใช้ศึกษาซึ่งมีลักษณะร่วน ไม่จับตัวเป็นก้อนได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องมีการผสมน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยผลการทดสอบหาการดูดซับน้ำพบว่าทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนได้ดี นอกจากนี้ผลการทดสอบหาการดูดซับน้ำ ยังเป็นการสนันสนุนวิธีการอัดแบบอัดเย็นที่เลือกใช้ในการศึกษานี้ว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมกับเศษเหลือทิ้งที่ใช้ศึกษาด้วย [7,17,21]

3.3 ผลการทดลองทำก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวและเศษลำไยเหลือทิ้ง

3.3.1 สมบัติทางกายภาพ

1) ลักษณะรูปร่าง

จากการสังเกตรูปร่างของก้อนเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ได้จากการทดลองพบว่าก้อนเชื้อเพลิง BQ1, BQ2, BQ3 และ BQ4 มีลักษณะผิวไม่เรียบ รูปร่างงอ และมีการแตกร้าวอย่างชัดเจน ส่วนก้อนเชื้อเพลิง BQ5, BQ6 และ BQ7 มีลักษณะดีขึ้นตามลำดับคือ ผิวเรียบขึ้น รูปร่างตรงขึ้น และการแตกร้าวลดลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนก้อนเชื้อเพลิง BQ8, BQ9, BQ10 และ BQ11 มีลักษณะผิวไม่เรียบ รูปร่างงอ และมีการแตกร้าวอย่างชัดเจน ส่วนก้อนเชื้อเพลิง BQ12, BQ13 และ BQ14 มีลักษณะดีขึ้นตามลำดับคือ ผิวเรียบขึ้น รูปร่างตรงขึ้นและการแตกร้าวลดลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงดัง รูปที่ 2

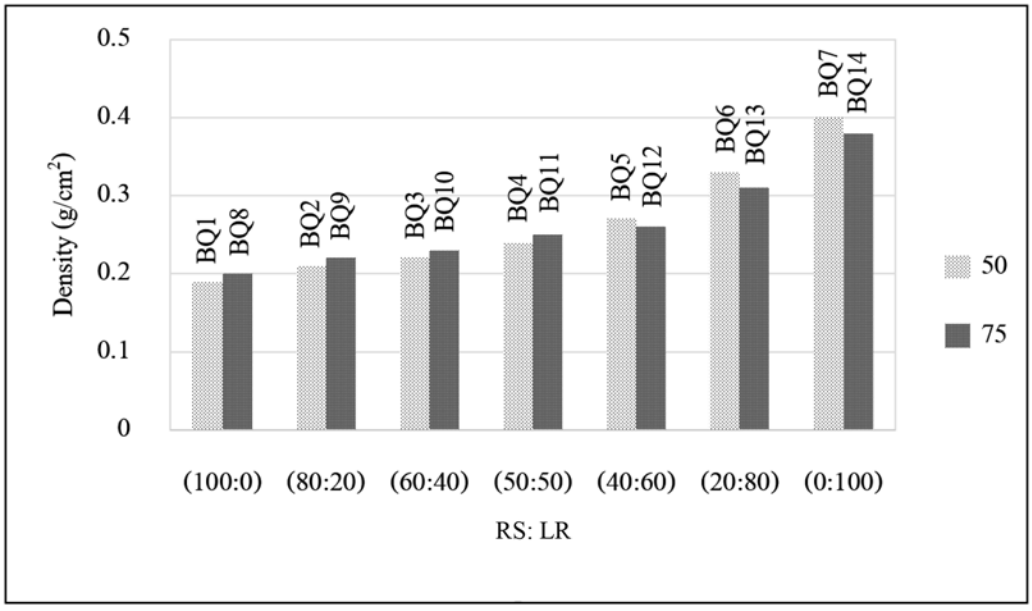
รูปที่ 2 รูปร่างของก้อนเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน RS:LRต่างๆกัน โดยเปรียบเทียบที่แรงอัด 50 และ 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

แรงอัด (Kg/cm^2)	สัดส่วนฟางข้าวต่อเมล็ดผสมเปลือกลำไย						
	100:0	80:20	60:40	50:50	40:60	20:80	0:100
50	BQ1	BQ2	BQ3	BQ4	BQ5	BQ6	BQ7
75	BQ8	BQ9	BQ10	BQ11	BQ12	BQ13	BQ14

ผลการทดลอง สรุปได้ว่า ก้อนเชื้อเพลิงที่มีเมล็ดผสมเปลือกลำไยเป็นส่วนผสมหลัก ให้ลักษณะก้อนเชื้อเพลิงที่มีสมบัติทางกายภาพดีกว่าก้อนเชื้อเพลิงที่มีฟางข้าวเป็นส่วนผสมหลัก โดยลักษณะรูปร่างของก้อนเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งใช้แรงอัดที่ 50 และ 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ให้ก้อนเชื้อเพลิงที่มีลักษณะกายภาพดีเกิดขึ้นจากการใช้อัตราส่วนที่มีเมล็ดผสมเปลือกลำไยปริมาณสูง โดยพบในก้อนเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วน RS:LR เท่ากับ 40:60, 20:80 และ0:100 โดยน้ำหนัก

2) ค่าความหนาแน่น

เศษเหลือทิ้งต่างๆ ก่อนการอัดเป็นก้อนเชื้อเพลิงมักมีค่าความหนาแน่นต่ำ ทำให้ต้องใช้ปริมาณมากหากจะนำไปทำเชื้อเพลิง และไม่สะดวกต่อการขนส่ง และเก็บรักษา การผลิตเป็นก้อนเชื้อเพลิงจึงเป็นการทำให้ค่าความหนาแน่นของก้อนเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น และจะส่งผลต่อค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นด้วย ไม่ต้องใช้พื้นที่เก็บวัสดุจำนวนมาก การนำไปใช้งานไม่สร้างปัญหาและลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง [4,17,21] ผลการทดลองแสดงค่าความหนาแน่นของก้อนเชื้อเพลิงที่สัดส่วนต่างๆ โดยเปรียบเทียบที่แรงอัด 50 และ 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แสดงดัง รูปที่ 3



รูปที่ 3 ค่าความหนาแน่นของก้อนเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน RS:LR ต่างๆ กัน โดยเปรียบเทียบที่แรงอัด 50 และ 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

จากรูปที่ 3 พบว่า ก้อนเชื้อเพลิงที่ใช้แรงอัด 50 และ 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่น กล่าวคือ เมื่ออัตราอัตราส่วนของเมล็ดผสมเปลือกลำไยเพิ่มมากขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความหนาแน่นของก้อนเชื้อเพลิง ซึ่งเกิดจากเมล็ดผสมเปลือกลำไยดูดซึมน้ำน้อย ค่าความชื้นต่ำ จึงต้องใช้แรงอัดที่มากเพื่อช่วยให้เกิดการยึดเกาะตัวให้เป็นก้อน สำหรับก้อนเชื้อเพลิงที่ใช้แรงอัด 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าความหนาแน่นของก้อนเชื้อเพลิงสูงกว่าที่อัดด้วยแรง 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรเล็กน้อย [17-18]

ผลการทดลอง พบว่าก้อนเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมเศษฟางข้าวอยู่ในปริมาณสูง คือ ก้อนเชื้อเพลิง RS:LR ที่อัตราส่วน 100:0, 80:20, 60:40 และ 50:50 โดยน้ำหนัก เมื่อไปเปรียบเทียบกับก้อนเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมของเศษฟางข้าวที่ลดน้อยลง คือ ก้อนเชื้อเพลิง RS:LR

ที่อัตราส่วน 40:60, 20:80 และ 0:100 โดยน้ำหนัก พบว่าแรงอัดที่ใช้เพียง 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สามารถทำให้ก้อนเชื้อเพลิงมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าก้อนเชื้อเพลิงที่ใช้แรงอัด 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่อนข้างชัดเจน ทั้งนี้เพราะเศษฟางข้าวดูดซับน้ำได้มากกว่า ค่าความชื้นจึงสูงและทำให้การยึดเกาะตัวเป็นก้อนชีวมวลเกิดได้เร็วขึ้นจึงต้องการแรงอัดที่ต่ำกว่า [17-18] ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าอัตราส่วนผสมที่ใช้แรงอัดเหมาะสมมีผลดีต่อสมบัติทางกายภาพของก้อนชีวมวล คือการเพิ่มขึ้นของค่าความหนาแน่นของก้อนเชื้อเพลิง ผลจากการทดลองพบว่าก้อนเชื้อเพลิงที่ใช้แรงอัด 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีความเหมาะสมในกรณีที่มีอัตราส่วนผสมของเศษฟางข้าวในปริมาณสูง และก้อนเชื้อเพลิงที่ใช้แรงอัด 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีความเหมาะสมในกรณีที่มีอัตราส่วนผสมของเศษฟางข้าวในปริมาณน้อย [17,21]

ผลการทดลองที่ศึกษาได้ของขั้นตอนนี้ ซึ่งตรวจสมบัติทางกายภาพของก้อนเชื้อเพลิงโดยพิจารณาจากลักษณะรูปร่าง และค่าความหนาแน่นของก้อนเชื้อเพลิง จึงเลือกก้อนเชื้อเพลิง BQ4, BQ5 และ BQ6 ที่ใช้แรงอัด 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และก้อนเชื้อเพลิง BQ11, BQ12 และ BQ13 ที่ใช้แรงอัด 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มาตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมีต่อไป

3.3.2 สมบัติทางเคมี

การตรวจวัดสมบัติทางเคมีของก้อนเชื้อเพลิง โดยพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด คือ ค่าองค์ประกอบทางเคมี และค่าความร้อน ซึ่งตรวจวัดเฉพาะก้อนเชื้อเพลิงที่มีสมบัติทางกายภาพดี แสดงดัง ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีของก้อนเชื้อเพลิงที่แรงอัด 50 และ 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

แรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	ก้อนเชื้อเพลิง	ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ ฐานแห้ง)				ค่าความร้อน (แคลอรี่ต่อกรัม)
		ค่าความชื้น	ค่าเถ้า	ค่าสารระเหยได้	ค่าคาร์บอนคงตัว	
50	BQ4	5.62±0.03	9.06±0.01	85.22±0.08	0.10	4,182.49±72.5
	BQ5	6.26±0.03	6.45±0.03	85.48±0.22	1.81	3,925.66±62.9
	BQ6	7.39±0.02	5.00±0.06	85.73±0.40	1.88	3,698.46±13.9
75	BQ11	7.56±0.08	8.43±0.25	82.84±0.06	1.17	3,666.48±82.5
	BQ12	7.52±0.03	7.27±0.06	84.75±0.02	0.46	3,925.12±75.4
	BQ13	7.97±0.06	4.81±0.01	87.16±0.18	0.06	3,416.03±56.4

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

ค่าคาร์บอนคงตัวคำนวณจาก 100% - ค่าเฉลี่ย (ความชื้น + เถ้า + สารระเหยได้)

1) ค่าองค์ประกอบทางเคมีของก้อนเชื้อเพลิง

ก. ค่าความชื้น

ค่าความชื้นเป็นค่าที่บอกปริมาณน้ำคงเหลือหลังการตากแห้งก้อนเชื้อเพลิง ซึ่งผลการทดลอง พบว่าค่าความชื้นของก้อนเชื้อเพลิง BQ4, BQ5 และ BQ6 ซึ่งทำที่แรงอัด 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าความชื้นร้อยละ 5.62, 6.26 และ 7.39 ฐานแห้ง โดยก้อนเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมของเมล็ดผสมเปลือกลำไยเพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลต่อค่าความชื้นของก้อนเชื้อเพลิง และสอดคล้องกับสมบัติเบื้องต้นของค่าความชื้นของเมล็ดผสมเปลือกลำไยที่สูงกว่าเศษฟางข้าวเล็กน้อย สำหรับค่าความชื้นของก้อนเชื้อเพลิง BQ11, BQ12 และ BQ13 ซึ่งทำที่แรงอัด 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าร้อยละ 7.56, 7.52 และ 7.97 ฐานแห้ง ซึ่งพบว่ามีความแปรปรวนและไม่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของเมล็ดผสมเปลือกลำไยที่เพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลที่ดี ควรมีค่า

ความชื้นอยู่ในช่วงค่าที่ร้อยละ 8 ฐานแห้ง [8] หรือช่วงค่าร้อยละ 10-15 ฐานแห้ง [20] ดังนั้นก้อนเชื้อเพลิงทั้งหมดมีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์ดี นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลลำไยผสมด้วยเศษไม้ไผ่เหลือทิ้ง พบว่าให้ค่าความชื้น ร้อยละ 7.44 ฐานแห้ง ซึ่งค่าความชื้นใกล้เคียงกัน [9,11]

ข. ค่าเถ้า

เถ้าเป็นส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ของเชื้อเพลิง ผลการทดลองค่าเถ้าของก้อนเชื้อเพลิงพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่มีแนวโน้มแบบเดียวกัน คือค่าเถ้าของก้อนเชื้อเพลิงมีค่าลดลงตามสัดส่วนที่ลดลงของส่วนผสมปริมาณเศษฟางข้าวที่ใช้ โดยสอดคล้องกับสมบัติเบื้องต้นที่ตรวจพบในเศษฟางข้าวที่มีค่าเถ้าสูงกว่าเมล็ดผสมเปลือกลำไยค่อนข้างมาก ซึ่งค่าเถ้าไม่ควรเกิน ร้อยละ 4 ฐานแห้ง [20] และจากผลการทดลอง พบว่า ค่าเถ้าของก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทั้งหมดมีค่าสูง ตั้งแต่ช่วงร้อยละ 4.81-9.06 ซึ่งเกินเกณฑ์การเป็นเชื้อเพลิงที่ดี และเมื่อไปเปรียบเทียบกับก้อนเชื้อเพลิงซึ่งทำจากชีวมวลลำไยโดยเติมเศษไม้ไผ่เหลือทิ้ง พบว่าให้ค่าเถ้าที่ร้อยละ 3.49 ฐานแห้ง [9,11] ดังนั้นจึงมีโอกาสเกิดปัญหาเถ้า และปัญหาการกำจัดเถ้าอาจเกิดได้จากก้อนเชื้อเพลิงที่ได้จากการศึกษานี้

ค. ค่าสารระเหยได้

ค่าสารระเหยได้ของก้อนเชื้อเพลิง BQ4, BQ5 และ BQ6 มีค่าใกล้เคียงกันมากโดยอัตราส่วนผสมที่ใช้ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าสารระเหยได้ ในขณะที่ค่าสารระเหยได้ของก้อนเชื้อเพลิง BQ11, BQ12 และ BQ13 มีค่าสูงและมีค่าเพิ่มมากขึ้นโดยเกิดในก้อนเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนที่มีปริมาณเมล็ดผสมเปลือกลำไยเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้น ก้อนเชื้อเพลิงที่ใช้แรงอัดสูงจึงมีโอกาสทำให้ก้อนเชื้อเพลิงเกิดการลุกไหม้ได้ง่ายกว่าก้อนเชื้อเพลิงที่ใช้แรงอัดต่ำกว่า โดยเฉพาะเกิดได้ดีในก้อนเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมของเมล็ดผสมเปลือกลำไยในปริมาณสูง อย่างไรก็ตาม ค่าสารระเหยได้ของก้อนเชื้อเพลิงที่ศึกษาได้ทั้งหมดมีช่วงค่าตั้งแต่ร้อยละ 82.84-87.16 ฐานแห้ง ซึ่งกล่าวได้ว่ามีค่าสูง และอยู่ในเกณฑ์การเป็นก้อนเชื้อเพลิงที่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับก้อนเชื้อเพลิงซึ่งทำจากชีวมวลลำไยที่ผสมด้วยเศษไม้ไผ่เหลือทิ้ง พบว่ามีค่าสารระเหยได้ร้อยละ 88.34 ฐานแห้ง [9,11]

ง. ค่าคาร์บอนคงตัว

คาร์บอนคงตัว เป็นค่าองค์ประกอบส่วนที่เผาไหม้ได้ยาก ปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูงทำให้ก้อนเชื้อเพลิงมีเวลาในการลุกไหม้นาน จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบก้อนเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมเหมือนกัน คือ BQ5 กับ BQ12 มีค่าคาร์บอนคงตัว ร้อยละ 1.81 และ 0.46 ฐานแห้ง ส่วนค่าคาร์บอนคงตัวของ BQ6 กับ BQ13 มีค่าร้อยละ 1.88 และ 0.06 ฐานแห้ง ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้แรงอัดต่ำให้ค่าคาร์บอนคงตัวที่สูงกว่าก้อนเชื้อเพลิงที่ใช้แรงอัดสูง โดยสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของก้อนเชื้อเพลิงที่มีค่าสูงจึงลุกไหม้ได้นาน นอกจากนี้อัตราส่วนผสมที่มีปริมาณเมล็ดผสมเปลือกลำไยสูงมีผลต่อการเพิ่มค่าคาร์บอนคงตัวให้สูงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม ค่าคาร์บอนคงตัวของก้อนเชื้อเพลิงที่ดีควรมีไม่ต่ำกว่าร้อยละ 15 ฐานแห้ง ดังนั้น ค่าคาร์บอนคงตัวของก้อนเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ศึกษาได้จึงมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์การเป็นก้อนเชื้อเพลิงที่ดีค่อนข้างมาก [17-18, 21] เมื่อเปรียบเทียบกับก้อนเชื้อเพลิงซึ่งทำจากชีวมวลผสมด้วยเศษไม้ไผ่เหลือทิ้ง พบว่าให้ค่าคาร์บอนคงตัวที่ร้อยละ 0.43 ฐานแห้ง [9,11] ส่วนในกรณีที่ทำการศึกษาพัฒนาศักยภาพผลิตก้อนเชื้อเพลิงโดยการอัดแบบเย็นชนิดเม็ดซึ่งใช้ชีวมวลเมล็ดเงาะ พบว่าให้ค่าคาร์บอนคงตัวที่สูงมีค่าร้อยละ 3.80 ฐานแห้ง [18]

ผลการทดลอง สรุปได้ว่าค่าองค์ประกอบทางเคมีของก้อนเชื้อเพลิง ซึ่งมีอัตราส่วนผสมที่มีเมล็ดผสมเปลือกลำไยอยู่ปริมาณสูง ได้แก่ BQ5, BQ6 และใช้แรงอัด 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าองค์ประกอบทางเคมีของก้อนเชื้อเพลิงที่ค่อนข้างดีกว่าก้อนก้อนเชื้อเพลิงที่มีเศษฟางข้าวเป็นส่วนผสมในปริมาณสูงและใช้แรงอัดสูง

2) ค่าความร้อน

ค่าความร้อนที่ตรวจวัดเป็นค่าความร้อนสูง โดยผลการทดลองพบว่า ค่าความร้อนของก้อนเชื้อเพลิงมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมของปริมาณเศษฟางข้าวที่ใช้ในก้อนเชื้อเพลิงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติเบื้องต้นจากการตรวจวัดเศษฟางข้าวซึ่งมีค่าความร้อนต่ำกว่าเมล็ดผสมเปลือกลำไย ในขณะที่ค่าความร้อนของ BQ11, BQ12 และ BQ13 มีค่าค่อนข้างแปรปรวน

ผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนมีแนวโน้มแบบเดียวกับค่าความชื้น ทั้งนี้เพราะความชื้นมีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง กล่าวคือเมื่อเชื้อเพลิงมีความชื้นสูงจะมีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ ทำให้ค่าความร้อนลดลง อย่างไรก็ตาม ค่าความร้อนของก้อนเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาอยู่ในเกณฑ์การเป็นก้อนเชื้อเพลิงที่ดี [18-19,22] โดยการวิจัยได้ศึกษาเพื่อยืนยันสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงที่ดีด้วยการทดสอบต้มน้ำเดือดโดยใช้ก้อนเชื้อเพลิงที่ได้จากการศึกษาต่อไป

3.3.3 การทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของก้อนเชื้อเพลิงโดยการต้มน้ำเดือด

ก้อนเชื้อเพลิงที่มีลักษณะทางกายภาพ และค่าองค์ประกอบทางเคมี รวมทั้งค่าความร้อนสูง คือ BQ4, BQ5, BQ6 และ BQ12 โดยเมื่อพิจารณาแล้ว พบว่า BQ5 และ BQ6 เป็นก้อนเชื้อเพลิงที่ควรนำไปทำการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงด้วยวิธีการต้มน้ำเดือด แสดงดังรูปที่ 4 โดยไม่พิจารณาเลือกก้อนเชื้อเพลิง BQ4 และBQ12 ทั้งนี้เพราะมีลักษณะทางเคมีของค่าเถ้าสูงและค่าคาร์บอนคงตัวต่ำ

รูปที่ 4 ก้อนเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ทดสอบการการต้มน้ำเดือดโดยใช้เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพดี ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ผลการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของก้อนเชื้อเพลิงด้วยวิธีการต้มน้ำเดือดของก้อนเชื้อเพลิง BQ5 และ BQ6 แสดงดัง ตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติทางเชื้อเพลิงของก้อนเชื้อเพลิงโดยการต้มน้ำเดือด

ก้อนเชื้อเพลิง	จำนวนครั้งที่ทำให้น้ำเดือด (ครั้ง)	เวลาที่ทำให้น้ำเดือด (นาที)	อุณหภูมิสูงสุดของน้ำที่เกิดในหม้อสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	เวลาในการติดไฟทั้งหมด (นาที)	ค่าความร้อน (แคลอรี่ต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน (ร้อยละ)
BQ5	1	5 ± 0.7212	80.5	44 ± 0.7212	3,925.66	10.23
BQ6	1	5 ± 0.2658	76.0	44 ± 3.9988	3,698.46	10.64

จากตารางที่ 4 พบว่า ก้อนเชื้อเพลิงทั้ง BQ5 และ BQ6 ต้มน้ำให้เดือดได้ 1 ครั้ง เวลาที่ใช้ทำให้น้ำเริ่มเดือดใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 5 นาที โดย BQ5 และ BQ6 ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงสุดของน้ำที่เกิดในหม้อสุดท้าย คือ 80.5 และ 76.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งทั้ง BQ5 และ BQ6 มีระยะเวลาของการติดไฟใกล้เคียงกัน ที่ประมาณ 44 นาที และคำนวณค่าประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนได้ คิดเป็นร้อยละ 10.23 และ 10.64 ตามลำดับ ดังนั้น ผลการทดลองกล่าวได้ว่า ค่าประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของก้อนเชื้อเพลิง BQ5 และ BQ6 ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก คือก้อนเชื้อเพลิง BQ6 มีค่าประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนสูงกว่าก้อนเชื้อเพลิง BQ5 เพียงเล็กน้อย

นอกจากนี้ ผลการทดสอบการต้มน้ำเดือดของก้อนเชื้อเพลิงที่ศึกษาได้ จากการสังเกต พบว่า ก้อนเชื้อเพลิงมีระยะเวลาในการติดไฟดีที่สุดในช่วงเวลา 10-15 นาทีแรก โดยอุณหภูมิน้ำเดือดที่เกิดขึ้นอยู่ที่ประมาณ 93-95 องศาเซลเซียส ซึ่งเปรียบเทียบกับผลการศึกษาทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียผสมกับเศษชิ้นไม้สับของโรงงานเยื่อกระดาษ อุณหภูมิน้ำเดือดเกิดได้ที่ 100 องศาเซลเซียส [22] ขณะเดียวกันสอดคล้องกับการศึกษาทำก้อนเชื้อเพลิงจากเศษลำไยผสมด้วยเศษไม้ไผ่เหลือทิ้ง ซึ่งอุณหภูมิน้ำเดือดใกล้เคียงกันคือที่ 93-95 องศาเซลเซียส โดยมีค่าประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน เท่ากับ 9.98 [9,11]

ผลการทดลองกล่าวได้ว่า ค่าประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของก้อนเชื้อเพลิง BQ5 และ BQ6 ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก กล่าวได้ว่า ค่าประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน BQ6 สูงกว่าก้อนเชื้อเพลิง BQ5 เพียงเล็กน้อย แต่มีค่าสูงกว่าก้อนเชื้อเพลิงจากเศษลำไยผสมด้วยเศษไม้ไผ่เหลือทิ้งซึ่งได้ศึกษาไว้แล้ว [11-12]

4. สรุปผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองอัดก้อนเชื้อเพลิงโดยใช้เศษฟางข้าวและเศษลำไยเหลือทิ้ง

1) เศษฟางข้าวเหลือทิ้ง (RS) และเมล็ดผสมเปลือกลำไย (LR) มีสมบัติเบื้องต้นเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุผลิตก้อนเชื้อเพลิงชีวมวล

2) ผลที่ได้จากการศึกษา คือ ก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวและเมล็ดผสมเปลือกลำไย ที่ใช้แรงอัด 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราส่วนของเศษฟางข้าวต่อเมล็ดผสมเปลือกลำไย เท่ากับ 20 ต่อ 80 โดยน้ำหนัก (หรือก้อนเชื้อเพลิง BQ6) เป็นสูตรก้อนเชื้อเพลิงที่มีสมบัติทางกายภาพ เคมี และการเป็นเชื้อเพลิง ที่ทำให้ได้ก้อนเชื้อเพลิงลักษณะรูปร่างตรง แข็งแรง มีค่าความหนาแน่น 0.33 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ค่าความชื้น ค่าเถ้า ค่าสารระเหยได้ ค่าคาร์บอนคงตัว มีค่าร้อยละ 7.39, 5.00, 85.73 และ 1.88 ฐานแห้ง ตามลำดับ โดยมีค่าความร้อน 3,698.46 แคลอรี่ต่อกรัม สมบัติทางเชื้อเพลิงโดยการต้มน้ำเดือดของก้อนเชื้อเพลิง คือ ระยะเวลาเวลาในการติดไฟทั้งหมด 44 นาที และค่าประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน คิดเป็นร้อยละ 10.64

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้งบประมาณสนับสนุนการวิจัยจนสามารถทำการวิจัยได้เสร็จสมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

1. The Energy Policy and Planning Office [Online], Available : http://www.eppo.go.th/vrs/VRS55-06-biomass.html [2013, 5 September]. (In Thai)

2. Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Biomass potential in Thailand [Online], Available : http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=__content&view=article&id=130:201 0-05-07-08-10-57&catid=58&Item=68, [2013, 14 November]. (In Thai)

3. Ruengchovit, J., 2015, “Participatory Action Research : PAR in the Solving of Haze Pollution in Northern Area of Thailand,” *GREEN RESEARCH. ERTC 12*, 29, pp. 26-29. (In Thai)

4. Department of Alternative Energy Development, 2001, The Report of Alternative Fuels in Thailand.

(In Thai)

5. Office of Agricultural Economics, 2010, Information of Agricultural Economics 2009, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (In Thai)

6. Statistical Energy of Thailand 2556, The Surveying of Household Energy [Online], Available : www.thai-germancooperation.info/download/20140821__eedp__08__situation__housing__data__eei__ddevelopment.pdf. [2016, 4 January]

7. Chaiyod, C., 2009, An Investigation on Green Fuel Production from Crop Residues Mixed with Manila Grass, Master of Science Program in Renewable Energy Thesis, Naresuan University. (In Thai)

8. McDougal, O., Eidemiller, S. and Weires, N., 2011, Biomass Briquettes : Turning Waste Into Energy [Online], Available : http://biomassmagazine.com/articles/5148/biomass-briquettes-turning-waste-into-energy. [2011, 19 August]

9. Wattanachira, L., 2013, Research Report: Studied of biomass briquette from longan residue, Rajamangala University of Technology. (In Thai)

10. Saenparb, J., Bunreankit, P. and Meengean, P., 2013, A Secelection of the Binder for Longan Biomass Densification, Environmental Engineering Project, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai. (In Thai)

11. Wattanachira, L., Panyaping, K. and Ngean-kumkong, K., 2014, Research Report : Improvement of Longan Biomass Briquette Quality Using Aid Combustion Materials, Rajamangala University of Technology Lanna. (In Thai)

12. Somjinda, C. and Karnchanajan, W., 2014, Using of Bamboo Residue as Aid Combustion Materials for Biomass Briquette from Longan Residue, Environmental Engineering Project, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai. (In Thai)

13. Laapun, N., Chatchavarn, V. and Thanyacharoen, A., 2015, A Study on Optimum of Rice-straw Mixed with Longan Waste Residue for Making Biomass Briquette, Environmental Engineering Project, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai. (In Thai)

14. ASTM., 2011, Annual Book of American Society for Testing and Materials Standard, Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke.

15. ASTM., 2011, Annual Book of American Society for Testing and Materials Standard, Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke, ASTM D3174-11.

16. ASTM., 2011, Annual Book of American Society for Testing and Materials Standard, Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke, ASTM D3175-11.

17. Damrongthai, P., 1999, “Improvement and Promotion of Green Fuel Briquette Use,” *Proceeding of Kasetsart University 37th*, 3-5 Febuary 1999, Bangkok, pp. 24-29. (In Thai)

18. Mungmeesith, S., 2011, The Making of Biomass Stove for Community, Silpakorn University Research and Development Institute. (In Thai)

19. Mahayossanan, T., 2004, Design and Fabrication of Coal Briquette Machine for Household, Master of Science Thesis, Agricultural Engineering, Department of Agricultural Engineering, Kasetsart University.

20. Chen, L., Xing, L. and Han, L. 2009, “Renewable energy from Agro-residues in China : Solid Biofuels and Biomass Briquetting Technology,”

Renewable and Sustainable Energy Review, 13, pp. 2689-2695.

21. 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)

22. Chaiyadejtayakul, S., 2002, Utilization of Sludge Cake from Waste Water Treatment Plant and Fine Wood-chip of Pulp and Paper Mills for Briquetted Fuel, Master of Science Thesis, Department of Appropriate Technology for Resource Development, Mahidol University, p. 114. (In Thai)