

# ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากต้นข้าวโพดและขี้เลื่อยไม้มะขามโดยใช้กาวแปงเปียกเป็นตัวประสาน

## EFFICIENCY OF BRIQUETTE FUEL PRODUCED FROM CORN PLANT AND TAMARIND WOOD SAWDUST BY USING STRACH PASTE AS BINDER

<sup>1)</sup>สุภาพร นางแย้ม, <sup>2)</sup>เสาวลักษณ์ ลำบอง, <sup>3)</sup>วรภรณ์ จังธสมบัต, <sup>4)</sup>กาญจนา อัจฉริยจิต

<sup>1),2)</sup>นักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

<sup>3),4)</sup>อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

<sup>1)Supaporn Nangyam, <sup>2)Soawalak Lambong, <sup>3)Waraporn Jungtanasombut, <sup>4)Kanchana Utchariyajit</sup></sup></sup></sup>

<sup>1),2)</sup>Undergraduate Student in Bachelor of Education, Major of Science, Faculty of Education, Kanchanaburi Rajabhat University

<sup>3),4)</sup>Lecturer, Faculty of Science and Technology, Kanchanaburi Rajabhat University

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น (ต้นข้าวโพดและขี้เลื่อยไม้มะขาม) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ 1) ผลิตถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพดผสมขี้เลื่อยไม้มะขาม จำนวน 5 อัตราส่วน คือ 100 : 0 (สูตรที่ 1) 75 : 25 (สูตรที่ 2) 50 : 50 (สูตรที่ 3) 25 : 75 (สูตรที่ 4) และ 0 : 100 (สูตรที่ 5) โดยใช้กาวแปงเปียกเป็นตัวประสาน 2) ศึกษาสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่น ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด และระยะเวลาในการเผาไหม้) และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งสูตรต่างๆ และ 3) วิเคราะห์หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อให้ได้สูตรถ่านอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ ทำการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งสูตรต่างๆ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ด้วยวิธีการทดสอบค่าพิสัยของดินแดน (Duncan's new multiple range test) จากผลการวิจัยที่ได้ พบว่า เมื่อค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ระยะเวลา ในการเผาไหม้ และค่าความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือดลดลง ซึ่งถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วน มีความหนาแน่น ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด ระยะเวลาในการเผาไหม้ และค่าความร้อน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้มะขาม 100 เปอร์เซ็นต์ (สูตรที่ 5) มีค่าความหนาแน่น 0.78 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความร้อน 4,506.93 แคลอรีต่อกรัม และระยะเวลาในการเผาไหม้ 65.67 นาที สูงที่สุดในขณะที่ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด 15.67 นาที น้อยที่สุด ดังนั้น ถ่านอัดแท่งสูตรที่ 5 จึงมีประสิทธิภาพสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งสูตรอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม นอกจากค่าความร้อน ปัจจัยสำคัญอื่นๆ ที่บ่งบอกถึงคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ ระยะเวลาในการเผาไหม้ และระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด ดังนั้น จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า ถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากต้นข้าวโพดผสมขี้เลื่อยไม้มะขามในอัตราส่วน 75 : 25 (สูตรที่ 4) มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกับถ่านอัดแท่งสูตรที่ 5 ทั้งนี้เนื่องจากถ่านอัดแท่งสูตรที่ 4 มีระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด 18.33 นาที และระยะเวลาในการเผาไหม้ 61.33 นาที ไม่แตกต่างกับกับถ่านอัดแท่งสูตรที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าจะมีค่าความความร้อน 4,214.15 แคลอรีต่อกรัม น้อยกว่าถ่านอัดแท่งสูตรที่ 5

**คำสำคัญ :** เชื้อเพลิงอัดแท่ง ค่าความร้อน ระยะเวลาในการเผาไหม้

## ABSTRACT

This research was about the briquette fuel made from the rest of local materials used (corn plant and tamarind wood sawdust) in different ratios. The purposes of this research work were 1) to produce 5 ratios of charcoal briquette made from corn plant mixed tamarind wood sawdust including 100 : 0 (formula 1), 75 : 25 (formula 2), 50 : 50 (formula 3), 25 : 75 (formula 4) and 0 : 100 (formula 5) by using starch paste as binder 2) to investigate the physical properties (density, water boiling time and burning time) and heating value of different formulas of briquette fuel and 3) to determine the optimal composition for briquette production in order to achieve the formula of charcoal briquette having the best efficiency. In this work, mean difference in all data was determined by using a one-way analysis of variance followed by Duncan's new multiple range test (DMRT) in order to compare the efficiency of briquette formulas. The obtained research results revealed that higher density of briquette resulted in increase of burning time and heating value, while, decrease of water boiling time. All ratios of charcoal briquette had significant differences in density, water boiling time, burning time and heating value. Briquette made from 100 percent of tamarind wood sawdust (formula 5) had the highest values of density 0.78 g/cm<sup>3</sup>, heating value 4,506.93 cal/g and burning time 65.67 min, whereas, this formula had the lowest value of water boiling time 15.67 min. Therefore, charcoal briquette formula 5 had the most efficiency compared to different briquette formulas. However, beside of heating value, the other important factors indicating the quality of briquette fuel were burning time and water boiling time. Thus, experimental results could be concluded that briquette made from corn plant mixed tamarind wood sawdust in the ratio of 75 : 25 (formula 4) had the efficiency same to briquette formula 5. This is because briquette formula 4 had water boiling time 18.33 min and burning time 61.33 min non significant differences with briquette 5. Although, charcoal briquette formula 4 had heating value 4,214.15 cal/g lower than briquette formula 5.

**Keywords :** Briquette Fuel, Heating Value, Burning Time

## บทนำ

ถ่านเป็นแหล่งเชื้อเพลิงพื้นฐานที่มนุษย์รู้จัก ค้นเคย และนำมาใช้ประโยชน์ ตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ จนถึงปัจจุบัน (รุ่งนภา มากด้วง และอังกูร ลากธเนศ, 2554) โดยนำมาใช้ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน เช่น อุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร อาหารรมควัน อาหารอบแห้ง และการหุงต้ม ปิ้ง และย่างอาหาร เป็นต้น (สตีบพร จันทราชภูร์ และคณะ, 2548; ลักขมิ สุธธิวิโรรัตน์ และคณะ, 2558) ประเทศไทยใช้ถ่านซึ่งเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลมากถึง 9.4 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ภายในประเทศ (รุ่งนภา มากด้วง และอังกูร ลากธเนศ, 2554) โดยในปี พ.ศ. 2554 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน รายงานว่า ประเทศไทยมีการใช้ถ่านถึงประมาณสามล้านตันเทียบเท่า

น้ำมันดิบต่อปี (กิตติพงษ์ ลาลูน และคณะ, 2555) ดังนั้น หากตอบสนองความต้องการในการใช้เชื้อเพลิงจากถ่าน ด้วยการนำไม้ที่ได้จากธรรมชาติมาเผาเป็นถ่าน จะยิ่งก่อให้เกิดการทำลายป่าไม้ และส่งผลให้สภาวะโลกร้อน ที่ปรากฏในปัจจุบันทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้เศษวัสดุชีวมวลหลังการเก็บเกี่ยว ผลผลิตทางการเกษตร จึงเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่น่าสนใจ ซึ่งจิรพงศ์ พลธนภัทร (2554) รายงานว่า การนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม และซังข้าวโพด มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนถ่านไม้ธรรมชาติได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งหรือถ่านอัดแท่ง ให้ค่าความร้อนสม่ำเสมอ ใช้งานได้ทนทาน ไม่มีควัน ไม่มีกลิ่น และไม่แตกประทุ

ในจังหวัดกาญจนบุรี พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ทางการเกษตร โดยในปี พ.ศ. 2555 พื้นที่ประมาณ 2,600 ไร่ถูกใช้ในการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ ซึ่งหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่มีการเพาะปลูกเป็นจำนวนมาก คือ ข้าวโพด (สำนักงานจังหวัดกาญจนบุรี, 2556) นอกจากนี้ยังพบว่า ผู้คนในจังหวัดกาญจนบุรีนิยมสร้างที่พักอาศัย ที่ทำมาจากไม้มากขึ้น โดยไม้มะขาม ซึ่งเป็นไม้ที่มีความเหนียว แข็งแรง และหาได้ง่าย จัดเป็นไม้ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้แปรรูปเพื่อสร้างบ้านและผลิตเฟอร์นิเจอร์เป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ในจังหวัดกาญจนบุรีมีต้นข้าวโพดซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และซีลี้อยไม้มะขามซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปไม้เป็นจำนวนมาก ดังนั้น การนำต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขามมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งหรือถ่านอัดแท่ง เพื่อใช้ทดแทนพลังงานจากถ่านที่ได้จากการเผาไม้ฝืนจากธรรมชาตินั้น นอกจากจะช่วยลดปริมาณขยะและค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุเหลือใช้ และลดการเกิดปัญหาสภาวะโลกร้อนที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อนำไม้จากธรรมชาติมาผลิตเป็นถ่านได้อีกด้วย

### วัตถุประสงค์

1. ผลิตถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขาม โดยใช้กาวแป้งเปียกเป็นตัวประสาน จำนวน 5 สูตร ในอัตราส่วนผสมของต้นข้าวโพด : ซีลี้อยไม้มะขาม เท่ากับ 100 : 0 (สูตรที่ 1) 75 : 25 (สูตรที่ 2) 50 : 50 (สูตรที่ 3) 25 : 75 (สูตรที่ 4) และ 0 : 100 (สูตรที่ 5)
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่น ระยะเวลาที่ทำให้ น้ำเดือด และระยะเวลาในการเผาไหม้) และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งสูตรต่างๆ
3. วิเคราะห์หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อให้ได้สูตรถ่านอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

### ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาในงานวิจัยนี้เริ่มจาก การผลิตถ่านอัดแท่งจากต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขาม จำนวน 5 อัตราส่วน โดยใช้กาวแป้งเปียกเป็นตัวประสาน จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ซึ่งได้แก่ ค่าความหนาแน่น ระยะเวลา

ที่ทำให้ น้ำเดือด และระยะเวลาในการเผาไหม้ และค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งสูตรต่างๆ แล้วนำค่าเฉลี่ยของข้อมูลต่างๆ มาวิเคราะห์ หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อให้ได้สูตรถ่านอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพในการเป็นเชื้อเพลิงมากที่สุด งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ในระหว่างวันที่ 1 มีนาคม 2558 ถึงวันที่ 30 ตุลาคม 2558

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 1. การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขาม

นำวัตถุดิบ 2 ชนิด คือ ต้นข้าวโพด และซีลี้อยไม้มะขาม ไปตากแดดให้แห้ง โดยต้นข้าวโพดนั้นก่อนนำไปตากแดดให้นำไปบดหยาบหรือโมให้เป็นชิ้นเล็กๆ ก่อน เพื่อให้ต้นข้าวโพดแห้งเร็วขึ้น และตีไฟได้ง่ายขึ้นเมื่อนำไปเผาเป็นถ่าน ซึ่งในระหว่างตากแดดให้กลับวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดอย่างน้อยประมาณ 2 ครั้งต่อวัน เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา เมื่อวัตถุดิบทั้ง 2 แห่งสนิทแล้วให้นำไปเผาในเตาเผาดินเหนียวตามแบบภูมิปัญญาท้องถิ่น ดังแสดงในภาพที่ 1 จากนั้นนำถ่านต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขามไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดหยาบ ดังแสดงในภาพที่ 2 แล้วทำการร่อนด้วยตะแกรงร่อนเบอร์ 60 ซึ่งมีขนาดรูเท่ากับ 0.251 มิลลิเมตร จากนั้นนำผงถ่านต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขามมาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 1 โดยใช้กาวแป้งเปียกเป็นตัวประสาน ซึ่งในการผลิตถ่านอัดแท่งจะใช้กาวแป้งเปียกความเข้มข้น 11.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวน 130 กรัม และน้ำจำนวน 2 กรัม ผสมกับผงถ่าน 100 กรัม คลุกเคล้าส่วนผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดมือแบบสกรู ดังแสดงในภาพที่ 3 จากนั้นตัดถ่านอัดแท่งให้มีขนาด กว้าง ยาว สูง เท่ากับ 3'4'4 เซนติเมตร แล้วนำถ่านอัดแท่งไปตากแดดให้แห้ง



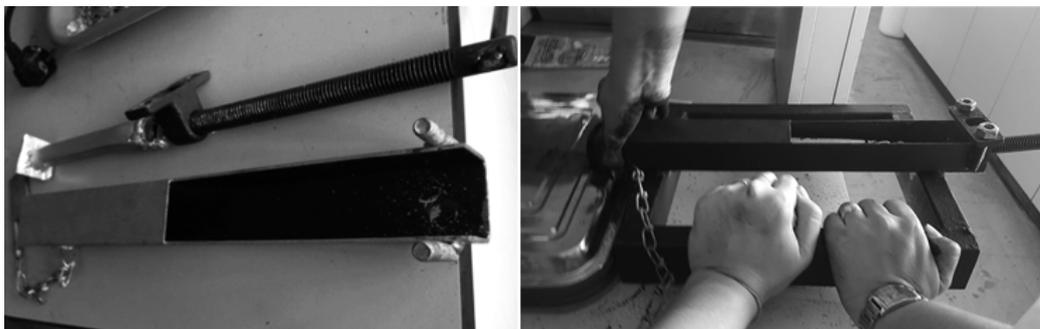
ภาพที่ 1 เตาเผาดินเหนียวตามแบบภูมิปัญญาท้องถิ่น

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างถ่านต้นข้าวโพดกับถ่านซีเลื่อยไม้มะขามที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่งสูตรต่างๆ

ถ่านอัดแท่ง สูตรที่	อัตราส่วนผสมระหว่างถ่าน	
	ต้นข้าวโพด (กรัม)	ซีเลื่อยไม้มะขาม (กรัม)
1	100	0
2	75	25
3	50	50
4	25	75
5	0	100



ภาพที่ 2 เครื่องบดหยาบ



ภาพที่ 3 เครื่องอัดแท่งถ่าน

## 2. การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากต้นข้าวโพดและขี้เลื่อยไม้มะขามในอัตราส่วนต่างๆ ดังหัวข้อ ต่อไปนี้

2.1 ความหนาแน่น คือ อัตราส่วนระหว่างมวล (กรัม) ต่อปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร) ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งสามารถคำนวณหาความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งได้จากสมการที่ (1) (วิไลพร ลักขมิวนาณิษฐ์ และคณะ, 2554)

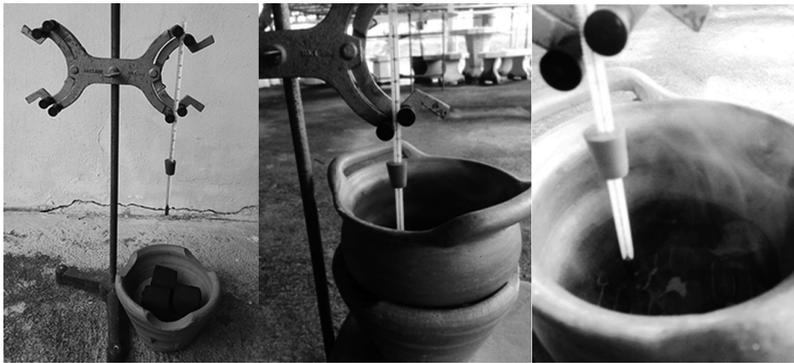
$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{มวล (g)}}{\text{ปริมาตร (cm}^3\text{)}} \dots (1)$$

ดังนั้น ในการทดสอบความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจึงสามารถทำได้โดยทำการชั่งน้ำหนัก และวัดขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) ของถ่านอัดแท่งแต่ละก้อนแล้วคำนวณ

หาอัตราส่วนระหว่างมวลต่อปริมาตรของถ่านอัดแท่งดังสมการที่ (1)

### 2.2 ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด

การทดสอบหาระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือดด้วยการต้มน้ำเป็นหนึ่งในวิธีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การหุงต้มของถ่านอัดแท่ง ทำได้โดยวัดระยะเวลาที่ถ่านอัดแท่งแต่ละสูตรใช้ในการต้มน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ภายใต้สภาวะเดียวกันให้เดือด (Onuegbu *et al.*, 2011; Ikelle and Ivoms, 2014) ซึ่งขั้นตอนในการทดสอบเริ่มจากตวงน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในหม้อต้มน้ำ จากนั้นชั่งถ่านอัดแท่งแต่ละสูตรมาจำนวน 100 กรัม จุดถ่านอัดแท่งให้ติดไฟ แล้วยกหม้อต้มน้ำวางบนเตา พร้อมกับจับเวลาตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนกับน้ำในหม้อต้ม จนถึงระยะเวลาที่น้ำในหม้อต้มเดือด ดังแสดงในภาพที่ 4

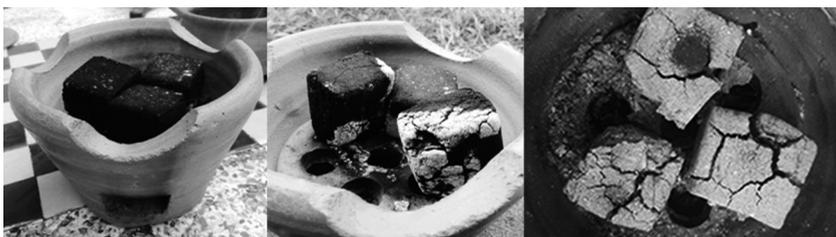


ภาพที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพการหุงต้มของถ่านอัดแท่งด้วยการต้มน้ำเพื่อหาระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด

### 2.3 ระยะเวลาในการเผาไหม้

ระยะเวลาในการเผาไหม้ คือ ระยะเวลาที่ถ่านอัดแท่งแต่ละสูตรติดไฟแล้วเผาไหม้ไปจนกลายเป็นเถ้า (Ikelle and Ivoms, 2014) ดังนั้น หลังจากที่ทำการศึกษาทดสอบเพื่อหา

ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ยกหม้อต้มน้ำออกจากเตา แล้วจับเวลาต่อจนกระทั่งถ่านถูกเผาไหม้หมดจนกลายเป็นขี้เถ้า ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพการหุงต้มของถ่านอัดแท่งด้วยการหาระยะเวลาในการเผาไหม้

### 3. การทดสอบหาค่าความร้อน

การทดสอบความสามารถของถ่านอัดแท่งในการเป็นเชื้อเพลิงสามารถทำได้โดยวัดค่าความร้อนสูงสุดของถ่านอัดแท่ง (ศิริชัย ต่อสกุล และคณะ, 2555) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการส่งตัวอย่างถ่านอัดแท่งทั้ง 5 อัตราส่วน ไปวิเคราะห์หาค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาและทดสอบหาสมบัติทางกายภาพต่างๆ และค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งเป็นจำนวน 3 ซ้ำ ในแต่ละอัตราส่วน แล้วทำเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากต้นข้าวโพด และซีลี้อยไม้มะขามในอัตราส่วนต่างๆ ด้วยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูล (ความหนาแน่น ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด ระยะเวลาในการเผาไหม้ และค่าความร้อน) โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ด้วยวิธีการทดสอบ ค่าพิสัยของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

### ผลการวิจัย

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่ผลิตจากต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขามในอัตราส่วนต่างๆ จำนวน 5 อัตราส่วน คือ 100 : 0 (สูตรที่ 1) 75 : 25 (สูตรที่ 2) 50 : 50 (สูตรที่ 3)

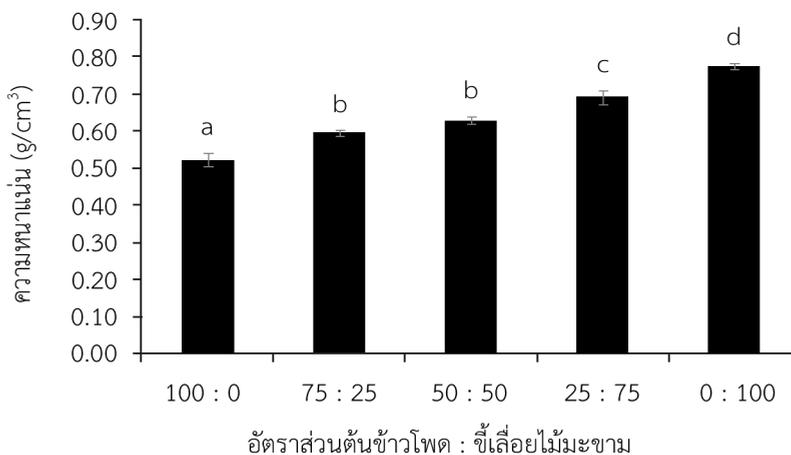
25 : 75 (สูตรที่ 4) และ 0 : 100 (สูตรที่ 5) ได้ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

#### 1. ความหนาแน่น

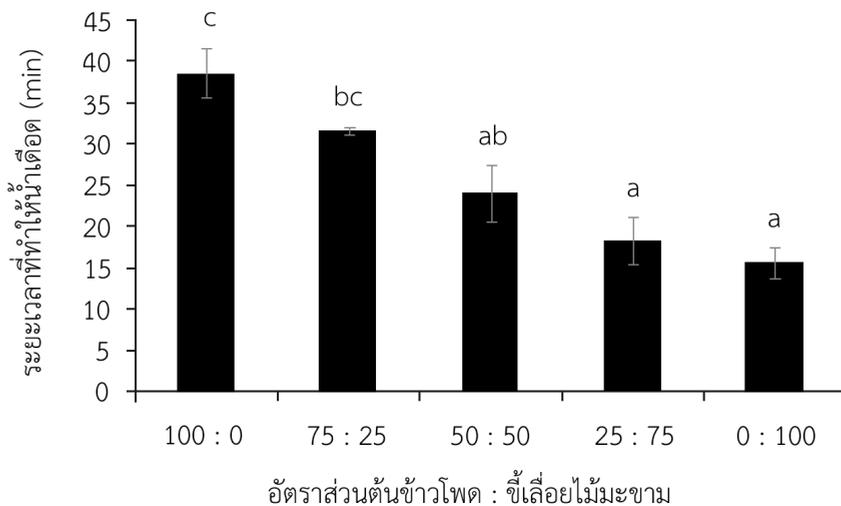
ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งทั้ง 5 อัตราส่วน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่ง ( $p < 0.001$ ) โดยถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขามในอัตราส่วน 0 : 100 (สูตรที่ 5) มีความหนาแน่นสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.78 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รองลงมา คือ ถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขามในอัตราส่วน 25 : 75 (สูตรที่ 4) 50 : 50 (สูตรที่ 3) 75 : 25 (สูตรที่ 2) และ 100 : 0 (สูตรที่ 1) โดยมีค่าเท่ากับ 0.69, 0.63, 0.60 และ 0.52 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6

#### 2. ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด

จากผลการทดลองพบว่า ถ่านอัดแท่งทั้ง 5 สูตร มีระยะเวลาที่ทำให้ให้น้ำเดือดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่ง ( $p < 0.001$ ) โดยลำดับของสูตรถ่านอัดแท่งที่มีระยะเวลาที่ทำให้ให้น้ำเดือด จากน้อยไปมาก คือ ถ่านอัดแท่งสูตรที่ 5 (0 : 100) สูตรที่ 4 (25 : 75) สูตรที่ 3 (50 : 50) สูตรที่ 2 (75 : 25) และสูตรที่ 1 (100 : 0) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.67, 18.33, 24.00, 31.67 และ 38.67 นาที ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 7 แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ถ่านอัดแท่งสูตรที่ 4 มีระยะเวลาที่ทำให้ให้น้ำเดือด ไม่แตกต่างกับถ่านอัดแท่งสูตรที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ระยะเวลาที่ทำให้ให้น้ำเดือดของถ่านอัดแท่งระหว่างสูตรที่ 1 กับ 2 และ 2 กับ 3 ก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 6 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขามในอัตราส่วนต่างๆ



ภาพที่ 7 ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือดของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขามในอัตราส่วนต่างๆ

### 3. ระยะเวลาในการเผาไหม้

การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ถ่านอัดแท่งทั้ง 5 อัตราส่วน มีระยะเวลาในการเผาไหม้แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p < 0.01$ ) โดยถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขามในอัตราส่วน 0 : 100 (สูตรที่ 5) มีระยะเวลาในการเผาไหม้สูงที่สุด รองลงมา คือ อัตราส่วน 25 : 75 (สูตรที่ 4) 50 : 50 (สูตรที่ 3) 75 : 25 (สูตรที่ 2) และ 100 : 0 (สูตรที่ 1) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 65.67, 61.33, 56.33, 53.33 และ 48.67 นาที ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 8 แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งระหว่างสูตรที่ 1 กับ 2, 2 กับ 3, 3 กับ 4 และ 4 กับ 5 ก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

### 4. ค่าความร้อน

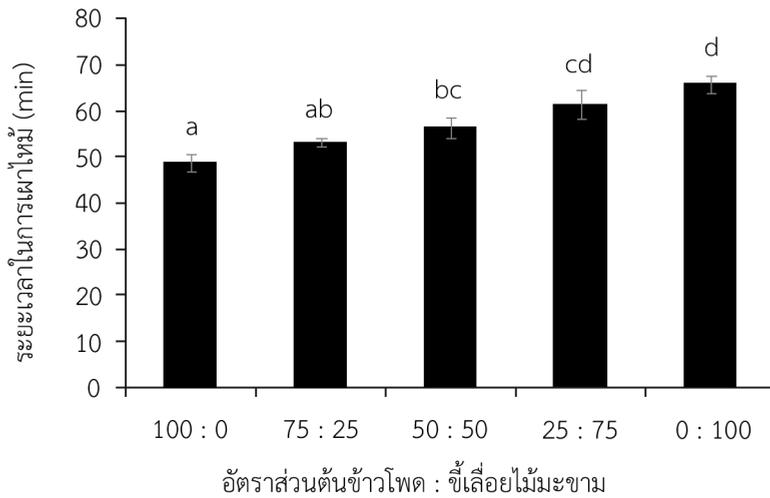
จากผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนทางสถิติพบว่า ถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขามทั้ง 5 อัตราส่วน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่ง ( $p < 0.001$ ) โดยอัตราส่วนของถ่านอัดแท่งที่มีค่าความร้อนสูงที่สุด คือ 0 : 100 (สูตรที่ 5) รองลงมา คือ 25 : 75 (สูตรที่ 4) 50 : 50 (สูตรที่ 3) 75 : 25 (สูตรที่ 2) และ 100 : 0 (สูตรที่ 1) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4,506.93, 4,435.23, 4,357.31, 4,214.15 และ 4,208.89 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 9

### 5. การวิเคราะห์อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

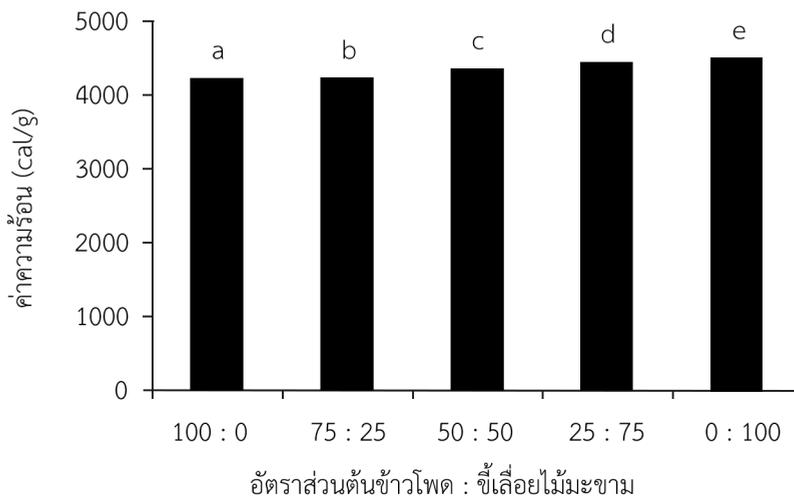
จากการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูล ซึ่งได้แก่ ความหนาแน่น ระยะเวลาที่ทำให้ น้ำเดือด ระยะเวลาในการเผาไหม้ และค่าความร้อน โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ด้วยวิธีการทดสอบค่าพิสัยของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 พบว่า ถ่านอัดแท่งสูตรที่ 5 ซึ่งผลิตจากซีลี้อยไม้มะขาม 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าระยะเวลาที่ทำให้ น้ำเดือด 15.67 นาที และระยะเวลาในการเผาไหม้ 65.67 นาที ต่ำสุด ในขณะที่มีค่าความหนาแน่น 0.78 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความร้อน 4,506.93 แคลอรีต่อกรัม สูงที่สุด โดยที่ค่าความหนาแน่นและความร้อนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับถ่านอัดแท่งสูตรอื่นๆ ดังนั้น ถ่านอัดแท่งสูตรที่ 5 จึงเป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการวิเคราะห์พบว่า ถ่านอัดแท่งสูตรที่ 4 ซึ่งผลิตจากต้นข้าวโพดผสมซีลี้อยไม้มะขามในอัตราส่วน 75:25 มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกับถ่านอัดแท่งสูตรที่ 5 เนื่องจากมีค่าระยะเวลาที่ทำให้ น้ำเดือด 18.33 นาที และระยะเวลาในการเผาไหม้ 61.33 นาที ไม่แตกต่างกับถ่านอัดแท่งสูตรที่ 5 ดังนั้น ถ่านอัดแท่ง

สูตรที่ 4 จึงเป็นหนึ่งในอัตราส่วนผสมที่สามารถใช้ทดแทน ถ่านอัดแท่งสูตรที่ 5 ได้ แม้ว่าถ่านอัดแท่งสูตรที่ 4 จะมี

ค่าความร้อน 4,214.15 แคลอรีต่อกรัม น้อยกว่าถ่านอัดแท่งสูตรที่ 5



ภาพที่ 8 ระยะเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขามในอัตราส่วนต่างๆ



ภาพที่ 9 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากต้นข้าวโพดและซีลี้อยไม้มะขามในอัตราส่วนต่างๆ

### สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่น ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด และระยะเวลาในการเผาไหม้) และ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากต้นข้าวโพดและ ซีลี้อยไม้มะขามในอัตราส่วน 100 : 0 (สูตรที่ 1) 75 : 25 (สูตรที่ 2) 50 : 50 (สูตรที่ 3) 25 : 75 (สูตรที่ 4) และ 0 : 100 (สูตรที่ 5) พบว่า สมบัติทางกายภาพและค่าความร้อนของ

ถ่านอัดแท่งทั้ง 5 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งมากขึ้น จะส่งผลให้ ค่าความร้อน และระยะเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง อัดแท่งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือดลดลง ซึ่ง ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาของยุทธชัย เกี้ยวสันเทียะ (2553); สังเวย สเวกวินารี่ (2555); Ikelle and Ivoms

(2014) ดังนั้น ถ่านอัดแท่งสูตรที่ 5 ซึ่งมีค่าความหนาแน่น ค่าความร้อน และระยะเวลาในการเผาไหม้สูงที่สุด แต่มีค่าระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือดน้อยที่สุด จึงเป็นสูตรถ่านอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการศึกษานี้ แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากระยะเวลาในการเผาไหม้ และระยะเวลาที่ทำให้ น้ำเดือดจัดเป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพของ เชื้อเพลิงด้วยเช่นกัน ดังนั้น ถ่านอัดแท่งสูตรที่ 4 ซึ่งมีระยะเวลา ในการเผาไหม้ และระยะเวลาที่ทำให้ น้ำเดือดไม่แตกต่างกับ ถ่านอัดแท่งสูตรที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญนั้น จึงอาจสรุปได้ว่า ถ่านอัดแท่งสูตรที่ 4 และสูตรที่ 5 มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน แม้ว่าถ่านอัดแท่งสูตรที่ 4 จะมีค่าความร้อนน้อยกว่าถ่าน อัดแท่งสูตรที่ 5 ก็ตาม

### ข้อเสนอแนะ

ในการทำวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยควรศึกษาผลของชนิด และอัตราส่วนของตัวประสานต่อประสิทธิภาพ ในการ เป็นเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากเศษชีวมวล เหลือใช้ นอกจากนี้อาจเลือกใช้เศษวัสดุเหลือใช้อื่นๆ เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพในการเป็นเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่ง

### เอกสารอ้างอิง

- กิตติพงษ์ ลาภูน สมโภชน์ สุดาจันทร์ และชัยยันต์ จันทร์ศิริ. (2555). การศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากผงถ่านวัสดุชีวมวล 3 ชนิดด้วยชุดเกลียวอัดถ่านอัดแท่ง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 43(3 พิเศษ). 87-90.
- จิรพงศ์ พลธนภัทร. (2554). *ความต้องการใช้ถ่านอัดแท่งจากไม้เบญจพรรณในจังหวัดนครราชสีมา*. ใน รายงานการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยพายัพ 2554 เนื่องในโอกาสฉลองสถาปนามหาวิทยาลัยพายัพ 37 ปี ก้าวสู่ปีที่ 38. เชียงใหม่.
- ยุทธชัย เกี้ยวสันเทียะ. 2553. *การทดสอบคุณภาพเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากต้นและเปลือกหมากเมื่อใช้โมลาสเป็นตัวประสาน*. ใน รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24. อุบลราชธานี.
- รุ่งนภา มากดั่ง และอังกร ลากธเนศ. (2554). *การศึกษาความต้องการถ่านอัดแท่งจากแกลบ กรณีศึกษาโรงสีข้าวบ้านแหลมโพธิ์-หัวแท่ จังหวัดพิษณุโลก*. ค้นเมื่อ เมษายน 10, 2559, จาก [http://www.bec.nu.ac.th/bec-web/graduate/strategy\\_article54.php](http://www.bec.nu.ac.th/bec-web/graduate/strategy_article54.php)
- ลักขมี สุทธิวีไรรัตน์ ประภัสสร ภาคอรธ และขวัญฤที สิทธิศรีสะอาด. (2558). *การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุชีวมวล*. สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้. ค้นเมื่อ เมษายน 10, 2559, จาก <http://forprod.forest.go.th/forprod/ebook/Research18/02.pdf>
- วิไลพร ลักขมีวาณิชย์ กาญจนา สิริกุลรัตน์ และณัฐธัญญา บุญถึง. (2554). *พฤติกรรมการยอมรับถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมกะลามะพร้าวของชุมชนตำบลข้างเค็ง อำเภอเมืองแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่*. เชียงใหม่ : สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง และสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ วัสดุและอุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย

คุณลุงสิงห์ แสงโคม ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เกี่ยวกับเตาเผาดินเหนียวตามแบบภูมิปัญญาท้องถิ่น และได้ให้คำปรึกษา และคำแนะนำเกี่ยวกับวิธีในการเผาถ่าน

- ศิริชัย ต๋อสกุล, กุณฑล ทองศรี, และจنگล สุภารัตน์. (2555). การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทน. ในรายงานการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. เพชรบุรี.
- สตั๊บพร จันทรราชภูริ์ เจริญพร เลิศสถิตธนกร และทรงชัย วิริยอำไพวงศ์. (2548). การผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งจากถ่านไม้ โสนโดยเทคนิคเอกซ์ทรูชั่น. ในรายงานการประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1 สาขา การอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน. ชลบุรี.
- สังเวย เสวกวิหารี. (2555). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พระนคร.
- สำนักงานจังหวัดกาญจนบุรี. (2556). แผนพัฒนาจังหวัดกาญจนบุรี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558-2561. ค้นเมื่อ มีนาคม 4, 2558, จาก [http://www.kanchanaburi.go.th/cgd/kavkan/content/1.14%20แผนพัฒนาจังหวัดกาญจนบุรี%204%20\(ปี%202558-2561\).pdf](http://www.kanchanaburi.go.th/cgd/kavkan/content/1.14%20แผนพัฒนาจังหวัดกาญจนบุรี%204%20(ปี%202558-2561).pdf)
- Ikelle, I.I., and Ivoms O.S.P. (2014). **Determination of the heating ability of coal and corn cob briquettes.** International organization of Scientific Research Journal of Applied Chemistry, 7(2): 77-82.
- Onuegbu, T.U., Ekpunobi, U.E., Ogbu, I.M., Ekeoma, M.O. and Obumselu F.O. (2011). **Comparative studies of ignition time and water boiling test of coal and biomass briquettes blend.** International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, 7(2): 153-159.