การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขยะกระดาษผสมชีวมวลจากวัชพืชด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่นแบบรีดเย็น
The Production of Charcoal Briquette from Used-Paper and Weed Biomass by Means of Cold-Compressed Extrusion

อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ[1*] ทีปกร คุณาพรวิวัฒน์[2] พรเทพ หอมผกา[3]
[1,2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม 61 ถนนพหลโยธิน
แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร 02-5791111
[3]บริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)99 หมู่ 10 ตำบล ศรีษะจรเข้น้อย
อำเภอ บางเสาธง จังหวัด สมุทรปราการ 10540 โทร 02-326-3900
E-mail: apirak.sa@spu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาถึงการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากขยะกระดาษผสมชีวมวลที่ได้จากวัชพืช โดยการนำมาบดผสมกันและใช้เทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่นแบบอัดรีดเย็นโดยมีแป้งเปียกเป็นตัวประสานวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับของเสีย วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการศึกษาได้แก่เศษกระดาษต่าง ๆ ซึ่งเป็นขยะในสำนักงาน โดยการนำมาบดผสมกับเศษวัชพืชที่ย่อยละเอียดและมีอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักอยู่ที่ 20:80 40:60 60:40 และ 80:20 ตามลำดับ ส่วนแป้งมันที่ใช้เป็นตัวประสานจะมีสัดส่วนการผสมต่อน้ำหนักวัตถุดิบเท่ากับ 1 : 10 จากการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่าความต้านทานแรงกดจะแปรผันตามสัดส่วนการผสมของเศษกระดาษแต่จะแตกต่างกันไม่มากนัก การทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิงพบว่า โดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 5,045 - 5,350 kcal/kg ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชน ความชื้นอยู่ระหว่าง 3.5 - 5.5 % โดยน้ำหนัก อัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.5 kg/ชม ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 606 - 931 kg/m^3 ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงจะอยู่ในช่วง 1.45 - 1.75 MPa ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ในเชิงพาณิชย์ จุดคุ้มทุนของการผลิตถ่านเชื้อเพลิงประมาณ 20,157 kg และมีระยะเวลาคืนทุนของโครงการสั้นเพียง 0.19 ปี ในการศึกษานี้ยังไม่รวมการวิเคราะห์เรื่องของก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ เพื่อดูความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในครัวเรือนหรือผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

คำสำคัญ : เชื้อเพลิงอัดแท่ง / เอ็กซ์ทรูชั่น / วัชพืช / ขยะกระดาษ

Abstract

This research is the study of the production of charcoal briquette from waste paper and weed biomass compacted by using cold-compressed technique and combined with gluten. The purpose of this research is to added value to the waste. The main raw materials are waste paper from offices and crushed weed biomass. The ratios of the formulas are 20:80, 40:60, 60:40 and 80:20 by weight. The cassava starch which is used to make gluten has the ratio of 1:10 by weight of the raw materials. From the study has found that the compressive strength will vary as the proportion of the waste paper but just a little. The test of the heating value showed that the average is between 5,045 – 5,350 Kcal/Kg which is higher than the heating value from local product The moisture content is between 3.5 – 5.5% by weight. The average capacity of the production of charcoal briquette is 0.5 Kg/h. The density is between 606 – 931 Kg/m^3. The compression is between 1.45 – 1.75 MPa which is higher than the commercial standard The breakeven point is about 20,157 Kg and the payback period will shortly meet in 0.19 year This study is not including the analysis of gases from the combustion for the possibility in household use or for commercial production. .

Keywords: Charcoal Briquette / Extrusion / Weed / Waste Paper

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญ ในการพัฒนาเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศ โดยเฉพาะภาคธุรกิจอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือนซึ่งต้องอาศัยพลังงานเป็นปัจจัยหลักในการดำเนินการอีกทั้งจากสถานการณ์พลังงานของโลกที่มีแนวโน้มทางด้านราคาที่เพิ่มสูงขึ้นและขาดแคลนได้ในอนาคต ประการนี้จึงเป็นเรื่องที่สำคัญสำหรับการลดการใช้พลังงานหรือเปลี่ยนมาใช้พลังงานทดแทนในรูปอื่นซึ่งจะช่วยทำให้เกิดผลดีต่อภาพรวมของประเทศเป็นอย่างมาก และปัจจุบันได้มีการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับพลังงานทดแทนในหลาย ๆ รูปแบบ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในภาคครัวเรือนซึ่งจะทำให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่เหมาะสม และเป็นการลดการใช้พลังงานของประเทศลงได้

โครงการวิจัยนี้เป็นการนำขยะกระดาษที่เกิดขึ้นในสำนักงานมาผสมกับชีวมวลในรูปของวัชพืชซึ่งถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบทั้งสองประเภทขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจะคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการผลิตที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนจนเกินไป และใช้วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมที่หาง่ายราคาถูก เพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่ำประโยชน์ที่ได้จากการวิจัยนี้นอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบที่ใช้แล้ว ยังเป็นการส่งเสริมให้มีการผลิตถ่านจากวัตถุดิบอื่น ๆ เพื่อใช้ในครัวเรือนหรืออาจขยายผลไปในเชิงพาณิชย์ และยังเป็นการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในครัวเรือน ผลของการศึกษานี้สามารถนำไปใช้กับกลุ่มอุตสาหกรรมหรือเกษตรกรรม ที่มีของเสียจากกระบวนการผลิตในลักษณะใกล้เคียงกันได้อีกด้วย

2. วัตถุประสงค์

1) เพิ่มมูลค่าให้กับขยะกระดาษและเศษวัชพืช

2) ศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่ใช้ส่วนผสมขยะกระดาษและเศษวัชพืช

3) ศึกษาและผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ให้เป็นไปตามมาตรฐาน [1] สำหรับนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์และในครัวเรือน

4) ส่งเสริมให้มีการนำขยะในรูปแบบอื่น ๆ กลับมาใช้ประโยชน์

3. วัตถุดิบและอุปกรณ์การศึกษา

ในการศึกษาจะใช้วัตถุดิบและอุปกรณ์หลัก สำหรับการผลิตแท่งเชื้อเพลิงดังนี้

3.1 เศษกระดาษและเศษวัชพืช

โดยปกติเศษกระดาษที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมภายในสำนักงานจะถูกขายเพื่อนำกลับไปรีไซเคิลเพื่อนำไปผลิตเป็นกระดาษอีกครั้งซึ่งราคาขายกระดาษนั้นจะมีราคาต่ำมาก สำหรับเศษวัชพืชประเภทเศษหญ้าและใบไม้นั้นก็มีอยู่ทั่วไป และจากการทดสอบพบว่าค่าความร้อน (heating value) ของเศษกระดาษอัดแท่งมีค่าความร้อนประมาณ 5,260 kcal/kg ภายใต้ความชื้นไม่เกิน 10% สำหรับเศษวัชพืชอัดแท่งมีค่าความร้อนประมาณ 5,380 kcal/kg (ข้อมูลจาก วว.) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สูงเหมาะสมที่จะนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง

3.2 เครื่องผลิตแท่งเชื้อเพลิง

ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจะใช้เครื่องอัดรีดด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นแบบรีดเย็นซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาของ [2] พบว่ากระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นแบบรีดเย็นนั้นจะใช้พลังงานจำเพาะค่อนข้างต่ำเพราะไม่ต้องการความร้อนในระหว่างการอัด แต่ต้องใช้ตัวประสานเพื่อทำหน้าที่ยึดเกาะวัตถุดิบให้คงรูปขณะขึ้นรูปให้เป็นแท่งเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกมากมายที่ใช้กระบวนการอัดรีดเย็นผลิตแท่งเชื้อเพลิง จากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ เช่นกะลาปาร์ม [3] ขี้เถ้าแกลบผสมซังข้าวโพดและกะลามะพร้าว [4] ไม้ยางพาราผสมกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม [5]

เครื่องผลิตแท่งเชื้อเพลิงจะมีลักษณะเป็นสกรูหมุนอัดอาศัยต้นกำลัง จากมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 5 แรงม้า สกรูหมุนด้วยความเร็วก่อนทดรอบประมาณ 1,450 รอบต่อนาที แท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดรีดจะมีลักษณะทรงกระบอกกลวง มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในประมาณ 15 mm และ 40 mm ตามลำดับ สำหรับความยาว สามารถตัดได้ตามต้องการ ลักษณะของเครื่องอัดรีดเย็นที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงในรูปที่1

รูปที่ 1 เครื่องผลิตแท่งเชื้อเพลิง

4. ขั้นตอนการศึกษา

4.1 อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ

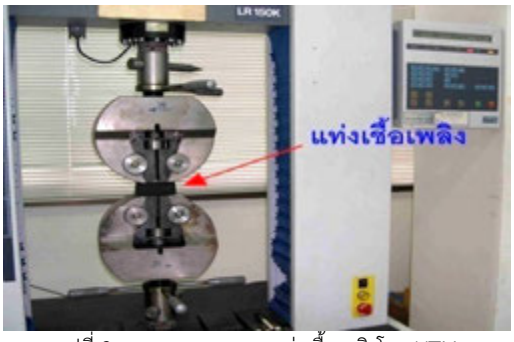
การกำหนดอัตราส่วนของวัตถุดิบเพื่อผลิตแท่งเชื้อเพลิงระหว่างเศษกระดาษกับเศษวัชพืชกำหนดไว้ 4 อัตราส่วน ดังนี้ 20:80 40:60 60:40 และ 80:20 โดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน สัดส่วนการผสมแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำหนักวัตถุดิบประมาณ 1:10 โดยกำหนดให้ใช้ความเร็วรอบเครื่องรีดหลังการทดรอบประมาณ 140 รอบต่อนาทีและทำการผสมสีฝุ่นสีดำเพื่อได้ให้ลักษณะที่ใกล้เคียงกับถ่านที่ใช้ในท้องตลาด

สำหรับกรรมวิธีการผสม เริ่มจากนำวัตถุดิบในอัตราส่วนที่กำหนดข้างต้นรวมทั้งแป้งมันสำปะหลังที่ผสมกับน้ำร้อน ที่มีอุณหภูมิระหว่าง 80-85 $^{\circ}$C และนำทั้งหมดมาผสมและคลุกเคล้ากัน หลังจากนั้นจึงนำเข้าเครื่องอัดรีดให้เป็นแท่งเชื้อเพลิงและตัดตามขนาดที่ต้องการ และนำไปตากแดดประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นจะได้แท่งเชื้อเพลิงแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 ลักษณะของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้

4.2 การทดสอบแรงกด

ในการทดสอบแรงกดโดยใช้ เครื่อง UTM (universal testing machine) ซึ่งเป็นการทดสอบแบบทำลาย เครื่องมือทดสอบเอนกประสงค์นี้ใช้สำหรับทดสอบการดึง การตัด การอัด และการเฉือน ขนาด 150 kN (15 ton) โดยการเปลี่ยนหัวจับ ชิ้นทดสอบจะได้รับแรงจากสกรูส่งกำลังที่ถูกขับโดยมอเตอร์ไฟฟ้า 380 โวลท์ ผ่านเกียร์ทดเพื่อให้หัวจับเลื่อนขึ้นในกรณีการทดสอบการดึงและเลื่อนลงในกรณีการทดสอบการอัด การตัดและการเฉือน สามารถวัดระยะยืดหรือยุบตัวได้จากเครื่องวัดระยะโดยจะแสดงผลที่แผงควบคุมคอนโทรลพาแนล (control panel) ส่วนแรงสามารถอ่านได้จากหน้าปัดดิจิตอลบนแผงควบคุมคอนโทรลพาแนล และประมวลผลของแรงสูงสุดจากโปรแกรมของเครื่อง และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ยอมรับได้ในเชิงพาณิชย์ [6] ซึ่งแรงกดที่ได้ก่อนแท่งเชื้อเพลิงจะแตกหักจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.375 MPa วิธีการทดสอบแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงแสดงอยู่ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การทดสอบแรงกดแท่งเชื้อเพลิงโดย UTM

4.3 การทดสอบค่าความร้อน

การทดสอบหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจะอาศัยอุปกรณ์ oxygen bomb calorimeter [7] โดยการนำค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดลอง มาคำนวณหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงโดยอาศัยสมการที่ 1 ดังนี้

$$Q_{เชื้อเพลิง} = (m_w+m_{eq})\,C_p\,\Delta T - Q_1 - Q_2 - Q_3 \qquad (1)$$

โดยที่ $Q_{เชื้อเพลิง}$ คือ ปริมาณความร้อนจากแท่งเชื้อเพลิง m_w คือ มวลของน้ำใน bucket m_{eq} คือ water equivalent ของ bomb calorimeter C_p คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง Q_1 คือ ความร้อนที่เกิดจากขดลวดไฟฟ้า Q_2 คือ ความร้อนที่เกิดจากกรดไนตริก และ Q_3 คือ ความร้อนที่เกิดจากกรดซัลฟูริก

ในทางปฏิบัติค่า Q_2 และ Q_3 จะมีค่าน้อยมากดังนั้นสมมติให้เท่ากับศูนย์และเพื่อให้อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (ΔT) มีค่าความถูกต้องมากขึ้นจึงหาค่า ΔT จากสมการที่ 2 ดังนี้

$$\Delta T = T_c - T_a - r_1(b-a) - r_2(c-b) \qquad (2)$$

โดยที่ a คือ เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ b คือ เวลาตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นจนถึง 60% ของอุณหภูมิทั้งหมด c คือ เวลาตั้งแต่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจนกระทั่งคงที่(สูงสุด – ต่ำสุด) T_a คือ อุณหภูมิเริ่มการเผาไหม้ T_c คือ อุณหภูมิที่จุดองศาเซลเซียส r_1 คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงก่อนการเผาไหม้ r_2 คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงหลังการจุดบอมบ์

4.4 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ในการอัดถ่านจากกระดาษและเศษวัชพืชนี้ เมื่อได้ข้อมูลตามที่กำหนดแล้วจเข้าสู่กระบวนการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและนำไปเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากวัตถุดิบอื่น เช่นถ่านจากแกลบ หรือถ่านจากไม้ โดยที่คุณสมบัติที่ใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบมีดังนี้

1) การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (moisture) ตาม ASTM D3173 โดยการคำนวณหาน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไปหลังจากการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ºC ในเวลา 2 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่

2) การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (ash) ตาม ASTM D 3174 ซึ่งเป็นกากที่เหลือจากการเผาไหม้ เมื่อตัวอย่างถูกเผาในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 700 - 750 ºC เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3) การวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย (volatile matter) ตาม ASTM D 3175 เป็นร้อยละของน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบที่สูญเสียไปหลังจากหักค่าความชื้นของตัวอย่างออกไปแล้ว เมื่อทำการอบตัวอย่างทดสอบให้มีอุณหภูมิ 750 ºC เป็นเวลา 7 นาที

4) การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัว (fixed carbon) ตาม ASTM D 3172 สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3

ปริมาณคาร์บอนคงตัว = 100 - (ความชื้น+ขี้เถ้า+สารระเหย) (3)

4.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

เป็นระดับการผลิตหรือการขายระดับใดระดับหนึ่ง ที่ก่อให้เกิดรายได้รวม (total revenues) เท่ากับ ต้นทุนรวม (total cost) นั่นคือ จุดที่ไม่มีผลกำไรหรือขาดทุนจากการดำเนินงานโครงการประเมินจากสมการที่ 4 ดังนี้

$$C = F + V\,N \qquad (4)$$

โดยที่ C คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิต F คือ ต้นทุนคงที่ V คือ ต้นทุนแปรผันต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการผลิต เช่น ค่าแรง ค่าไฟฟ้าในการผลิต ค่าวัตถุดิบต่อหน่วย เป็นต้น N คือ จำนวนผลผลิต รายได้จากการขายแท่งเชื้อเพลิงคำนวณจากสมการที่ 5

$$R = I\,N \qquad (5)$$

โดยที่ R คือ รายได้จากการขายแท่งเชื้อเพลิง I คือ ราคาขายต่อกิโลกรัม จุดคุ้มทุนจะเกิดขึ้นเมื่อสมการที่ 4 เท่ากับสมการที่ 5 และ N ที่ได้จะเป็นปริมาณการผลิตที่ทำให้เกิดจุดคุ้มทุน สำหรับระยะเวลาคืนทุน (payback period) จะประเมินจากผลของกระแสเงินสดรับสุทธิในแต่ละปีรวมกันและมีค่าเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนเริ่มแรก คำนวณได้จากสมการที่ 6

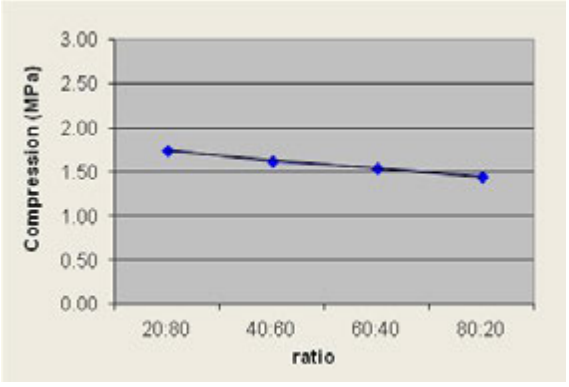
$$PP = F/(R-V) \qquad (6)$$

โดยที่ PP คือ ระยะเวลาคืนทุน

5. ผลการทดสอบ

5.1 ความต้านทานแรงกด

หลังจากผลิตแท่งเชื้อเพลิงตามอัตราส่วนผสมต่าง ๆ และได้นำมาทดสอบแรงกดจนได้ผลการทดสอบตามอัตราส่วนต่าง ๆในรูปที่ 4

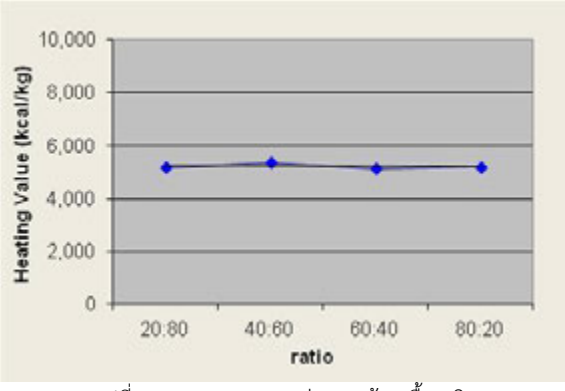


รูปที่ 4 ผลการทดสอบแรงกดของแท่งเชื้อเพลิง

จากรูปแสดงให้เห็นว่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงจะมีค่าลดลงตามอัตราส่วนผสมของกระดาษและวัชพืช แรงกดที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.45-1.75 MPa และจะมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนของกระดาษเพิ่มมากขึ้นเป็นเพราะอนุภาคของวัชพืชจะมีขนาดใหญ่และแข็งแรงกว่าเศษกระดาษที่ถูกย่อยสลาย จึงทำให้แท่งเชื้อเพลิงรับแรงกดได้มาก แต่จากผลการทดสอบโดยรวมทำให้เห็นว่าทุกอัตราส่วนผสมจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ในเชิงพาณิชย์

5.2 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง

การทดสอบค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงโดยใช้ oxygen bomb calorimeter พบว่าค่าความร้อนแท่งเชื้อเพลิงนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามส่วนผสมของวัตถุดิบทั้งสอง แต่จะแตกต่างกันไม่มากนัก อาจเป็นเพราะความชื้นที่อยู่ในแท่งเชื้อเพลิงที่มีค่าแตกต่างกันจึงทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้ไม่แปรผันตามอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ และการทดสอบทำให้เห็นว่าทุก ๆ อัตราส่วนผสมของแท่งเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนสูงกว่าเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (5,000 kcal/kg) และอัตราส่วนผสมที่ 40:60 ให้ค่าความร้อนที่มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5,350 kcal/kg รูปที่ 5 แสดงค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการผสมของ



รูปที่ 5 ผลการทดสอบหาค่าความร้อนเชื้อเพลิง

5.3 การทดสอบคุณสมบัติ

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกระดาษผสมชีวมวลและนำมาเปรียบเทียบกับถ่านจากแกลบและไม้ฟืนที่มีจำหน่ายในท้องตลาดพบว่า ค่าความชื้น สารระเหยและกำมะถันโดยเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าถ่านจากแกลบและไม้ฟืน การเผาไหม้จะเกิดซัลเฟอร์ไดอ๊อกไซ (SO_2) น้อยกว่า ส่วนค่าความร้อนเชื้อเพลิงจะมีค่าสูงกว่าซึ่งเป็นข้อได้เปรียบ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ศึกษา (ผลทดสอบจาก วว.)

วัตถุดิบ / คุณสมบัติ	ถ่านจากแกลบ	ถ่านจากไม้	ถ่านจากกระดาษและชีวมวล
ความชื้น (%)	8.12 – 11.54	5.91 – 8.01	3.50 – 5.50
ขี้เถ้า (%)	16.42 – 18.34	1.27 – 3.87	16.5 – 17.40
สารระเหย (%)	61.10 – 64.37	73.31 – 76.04	30.3 – 32.0
ค่าความร้อน (kcal/kg)	3,790 – 4,006	4,389 – 4,590	5,054 – 5,350
กำมะถัน (%)	0.11 – 0.21	0.14 – 0.30	0.0 – 0.12
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.107 – 0.109	0.642 – 0.834	0.606 – 0.931

สำหรับขี้เถ้าจะมีค่าใกล้เคียงกับถ่านจากแกลบแต่สูงกว่าถ่านจากไม้ ค่าความหนาแน่นจะใกล้เคียงกับถ่านจากไม้แต่สูงกว่าถ่านจากแกลบ รายละเอียดของผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ แสดงอยู่ในตารางที่ 1

5.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย ราคาเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง เครื่องบดย่อยวัสดุและอุปกรณ์ในการผสม ราคารวมประมาณ 82,000 บาท กำลังการผลิตอยู่ที่ 50 kg/ชม ราคาขายถ่านแท่งเชื้อเพลิง 7 บาท/kg ต้นทุนวัตถุดิบ 2.54 บาท/kg ชั่วโมงการผลิต 8 ชม/วัน และ 260 วัน/ปี ค่าแรงงานขั้นต่ำ 300 บาท/วัน ค่าแรงในการผลิตเฉลี่ย 0.094 บาท/kg มอเตอร์ที่ใช้ขนาด 5 HP. หรือ 3.73 kW ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4 บาท/หน่วย คิดเป็นต้นทุนค่าไฟฟ้าในการผลิต 0.298 บาท/kg ค่าไฟฟ้าในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง 0.173 บาท/kg จากข้อมูลประกอบข้างต้น ซึ่งเป็นส่วนผสมของกระดาษและวัชพืชในอัตราส่วน 40:60 สามารวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนโดยอาศัยสมการที่ 4 5 และ 6 จะได้ปริมาณการผลิตที่คุ้มทุนที่ 20,157 kg ระยะเวลาคืนทุน 0.19 ปี สำหรับอัตราส่วนผสมอื่นผลของจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน จะมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก

6. สรุปผล

การศึกษา การผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง โดยอาศัยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่นแบบอัดรีดเย็น โดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน วัตถุดิบหลักที่ใช้ได้จากกระดาษที่เป็นของเสียในสำนักงานและวัชพืชที่มีอยู่ทั่วไป โดยการนำมาบดผสมกันมีอัตราส่วนผสมเศษกระดาษต่อวัชพืชอยู่ที่ 20:80 40:60 60:40 และ 80:20 โดยน้ำหนัก ส่วนแป้งมันจะนำไปผสมกับน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 - 85 $^{\circ}$C โดยมีสัดส่วนการผสมต่อน้ำหนักวัตถุดิบเท่ากับ 1:10

จากการศึกษาพบว่าความต้านทานแรงกด จะแปรผันตามสัดส่วนการผสมของเศษกระดาษที่เพิ่ม แต่การเปลี่ยนแปลงก็จะแตกต่างกันไม่มากนัก ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงจะอยู่ในช่วง 1.45-1.75 MPa ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ในเชิงพาณิชย์ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5,054 – 5,350 kcal/kg ความชื้นอยู่ระหว่าง 3.50 – 5.50 % (ข้อมูลการทดสอบจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย) ซึ่งมีค่าอยู่ในมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชน อัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเฉลี่ย 50 kg/ชม ที่ความเร็วรอบ 140 RPM ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 606 - 931 kg/m^3 อุณหภูมิในการเผาไหม้ถ่านเฉลี่ยน 83 $^{\circ}$C ระยะเวลาการอัตราการติดไฟของถ่านอยู่ที่ 43 นาที ในปริมาณน้ำหนักถ่าน 300 g จุดคุ้มทุนของการผลิตแท่งเชื้อเพลิงอยู่ที่ 20,157 kg ระยะเวลาคืนทุน

0.19 ปี ในการศึกษานี้ยังไม่รวมเรื่องของการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ ซึ่งต้องศึกษาเพื่อดูความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในครัวเรือนหรือผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) จังหวัด สมุทรปราการ ที่เอื้อเฟื้อวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง ขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ในการอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการศึกษา ขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีปทุม สำหรับความอนุเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการนำเสนอผลงานวิจัย

8.การอ้างอิง

[1] สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสากรรม (สมอ.) ,2547,“ประกาศมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง”,สมอ.,กรุงเทพฯ,หน้า 1-3

[2] Husain, Z.,Zainac Z. and Abdullah, M.Z.,200,Briquetting of palm fiber and shell from the processing of palm nuts to palm oil, B Bioenergy.,22(10) : 505 -509

[3] Madhiyanon, T.,Sathitruangsak, P. and Soponnarit, S,2005,Study of Solid Fuel Produced from Ground Anthracite by Extrusion technique, the 18th Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand, Prince of Songkhla University, Phuket.

[4] อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ และคณะ, 2551, “การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมซังข้าวโพดและกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่นโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิจัยของสถาบันอุดมศึกษา, 17 – 19 มกราคม 2551 โรงแรมโซฟิเทล ราชาออคิด จังหวัดขอนแก่น

[5] ประสาน สถิตย์เรือศักดิ์, สราวุฒิ สังวรกาญจน์, และฐานิตย์ เมธิยานนท์,2550, “การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านไม้ยางพาราผสมกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน”การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21, 17-19 ตุลาคม 2550, โรงแรมเวลคัมจอมเทียนบีช จอมเทียน จังหวัด ชลบุรี

[6] S. R. Richards, 1990, “Physical testing of fuel briquettes”,Fuel Processing Technology,Vol 25,Issue 2 pp.89-100

[7] Gershon Joseph Shugar, Jack T. Ballinger,1996, Chemical Technicians' Ready Reference Handbook, Fourth Adition, McGraw-Hil