การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผลิตร่วมถ่านซังข้าวโพดกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ

Development of Briquette Fuel from Co-Production of Corn Cob Charcoal and Low-Grade Coal Lignite Rejects

วีระ พันอินทร์*

Weera Punin*

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

Department of Physics, Faculty of Science, Lampang Rajabhat University

Received : 3 June 2017

Accepted : 3 January 2018

Published online : 12 January 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาทางเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนประกอบของถ่านซังข้าวโพดและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ โดยทำการศึกษาอัตราส่วนถ่านซังข้าวโพดต่อถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่อัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และอัตราส่วน 5:5 ร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับ วิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ดังนี้ ค่าความร้อนตามมาตรฐาน (ASTM D 240) ค่าความชื้นตามมาตรฐาน (ASTM E 3173) ปริมาณเถ้าตามมาตรฐาน (ASTM E 3174) และค่าความหนาแน่นตามมาตรฐาน (ASTM E 75) จากนั้นวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เครื่องมือทางการเงินคือ ระยะเวลาคืนทุนและประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้โปรแกรม SimaPro Version 7.2 ผลการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ที่นำถ่านซังข้าวโพดและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่อัตราส่วน 6:4 ร้อยละโดยน้ำหนักมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเนื่องจากมีค่าความร้อนสูง 9,877 kcal/kg ค่าความชื้นร้อยละ 5.93 ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,006 kg/m^3 (ค่าความร้อนมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ 5,000 kcal/kg ความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 และค่าความหนาแน่นมากกว่าหรือเท่ากับ 600 kg/m^3) และปริมาณเถ้าร้อยละ 9.74 ตามลำดับ ผลประเมินทางเศรษฐศาสตร์พบว่าระยะเวลาคืนทุนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน 6:4 ร้อยละโดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 2.47 ปี ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญจากการประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนที่ 6:4 ร้อยละโดยน้ำหนัก คือผลกระทบจาก Greenhouse effect เท่ากับ 2,997 Pt รองลงมาคือ Summer smog เท่ากับ 759 Pt, Ozone layer เท่ากับ 347 Pt และ Acidification เท่ากับ 260 Pt ตามลำดับ ดังนั้นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านซังข้าวโพดผสมถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่อัตราส่วน 6:4 ร้อยละโดยน้ำหนัก มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตไฟฟ้าหรือความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม

คำสำคัญ : เชื้อเพลิงอัดแท่ง ถ่านซังข้าวโพด ถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ

***Corresponding author. E-mail** : verapunin@hotmail.com

Abstract

This researchaims is to investigate the techno-economics and the life cycle assessment of briquette fuel composed of corn cob charcoal and the low-grade coal lignite rejects. The ratios of corn cob charcoal to low-grade coal lignite rejects were 9:1, 8:2, 7:3, 6:4and 5:5 (%Weight), respectively. Analysis of the optimal mixing ratios between the corn cob charcoal and low-grade coal lignite rejects were undertaken by testing the thermal value based on ASTM D 240, moisture contents were based on ASTM D 3173, ash was based on ASTM D 3174, and density was based on ASTM E 75 respectively. Thereafter, analyze the economics aspects of the production and the use of briquette fuel was undertaken by using the financial tool was payback period (PBP). And life cycle assessment of briquette fuel was undertaken by using the SimaPro Version 7.2. The results showed that the optimal mixing ratio of corn cob charcoal and low-grade coal lignite rejects was 6:4(%wt.) have the feasibility to produce the briquette fuel. Because of the of it's have a high value 9,877kcal/kg, the percentage of moisture was 5.93% and the density value was 1,006 kg/m^3 (The briquette fuel have a high heating value greater 5,000 kcal/kg, the percentage of moisture content not exceeding 10 percent and the density greater than 600 kg/m^3 according to production of briquette fuels standards) and the ash value was 9.74 respectively. Economics estimate results showed that the payback period (PBP) of the production and the use of briquette fuel was about 2.47 years. The major environmental impact from the life cycle assessment of briquette fuel was the Greenhouse effect was about 2,997 Pt, followed by the Summer smog effect was about 759 Pt, Ozone layer was about 347 Pt and the Acidification was about 260 Pt, respectively.

Keywords : Briquette, Corn Cob Charcoal,Low-Grade Coal Lignite Rejects

บทนำ

พลังงานถือเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต ไม่ว่าจะเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อน ทั้งภาคอุตสาหกรรม ภาคการคมนาคมขนส่ง ภาคการเกษตร และภาคครัวเรือนมีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ในขณะที่ทรัพยากรด้านพลังงานมีจำกัด ประเทศไทยได้จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan: AEDPพ.ศ.2558-2579) โดยตั้งเป้าหมายในการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนทุกชนิด ร้อยละ 20 ภายในปี 2579 เพื่อผลักดันให้เกิดการพัฒนาพลังงานทดแทนและรองรับการขยายตัวในการใช้พลังงานทดแทนระยะยาวส่งผลให้ประเทศไทยกลายเป็นผู้นำในด้านพลังงานทดแทน สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ถึง 22.5 ล้านตัน ลดการนำเข้าพลังงานได้ 3.2 แสนล้านบาทต่อปี (จากฐานราคาน้ำมัน 50 ดอลลาร์ต่อบาร์เรล) และลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้ 42 ล้านตันต่อปี (Alternative Energy Development Plan: AEDP Ministry of Energy, 2015) จึงมีการตระหนักถึงการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีการนำทรัพยากรที่เหลือใช้กลับมาแปรสภาพเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ประชาชนมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ประเทศไทยมีพื้นทำการเกษตรประมาณ 5.97 ล้านไร่ โดยผลพลอยได้ที่สำคัญนอกเหนือจากผลผลิตทางการเกษตรก็คือ “ชีวมวล (Biomass)” หรือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร อาทิเช่น ขี้เลื่อย เศษไม้ยางพารา ปลายไม้

ยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว ต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซังข้าวโพด แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว ชานอ้อย เป็นต้น (เทียบได้น้ำมันดิบปีละไม่น้อยกว่า 6,500 ล้านลิตร) สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวลได้ (Ministry of Energy, 2009; Department of Alternative Energy Department and Efficiency(DEDE) Ministry of Energy, 2014) จะเห็นว่าโรงไฟฟ้าประเภทนี้กระจายไปในทุกภาคของประเทศไทย เพราะถือว่าเป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งจากเกษตรกรมาผลิตกระแสไฟฟ้า จึงเป็นการกระจายรายได้ให้แก่เกษตรกร จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นพบว่าในปี 2557 จังหวัดลำปางมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 205,722 ไร่ โดยมีผลผลิต 184,396 ตัน มีวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดมากถึง 79,027 ตัน (Lampang Provincial Agricultural Extension Office, 2015) ซึ่งมีอยู่จำนวนมากจึงควรนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ได้ แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยด้านค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ค่อนข้างต่ำก็เป็นข้อจำกัดที่สำคัญสำหรับนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลให้ดีขึ้นโดยเรียกขั้นตอนนี้ว่าการปรับระดับเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งมีด้วยกัน 3 วิธีคือ (1) การทำความสะอาดเชื้อเพลิงชีวมวล (Physical Cleaning) เป็นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนประเภท หิน ดิน ทราย ที่ติดมากับชีวมวล(2) การนำเอาเชื้อเพลิงชีวมวลมาอัดแท่ง (Biomass Pellet) ให้พลังงานในการเผาไหม้สูง แต่ปริมาณขี้เถ้าน้อย สามารถควบคุมปริมาณการใช้ได้ง่ายเพราะมีขนาดที่เท่าๆ กัน ทำให้มีอัตราการเผาไหม้ที่สม่ำเสมอ และการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และ (3) การนำเอาเชื้อเพลิงชีวมวลมาผสมกับเชื้อเพลิงอื่น (Biomass Mixing) เพื่อเป็นการเพิ่มคุณสมบัติด้านความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนนำไปเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้า (Arun K.*et al*.,1998)ปัจจุบันมีงานวิจัยเผยแพร่ที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงอัดแท่งไว้เป็นอย่างมากมาย อาทิ Antonio C. Caputo *et al.,* 2004 ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขยะชุมชนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าและสำหรับการผลิตความร้อนเพื่อใช้ในอิตาลี และ R. Marsh *et al.,*2007 ทำการศึกษาเรื่องการวัดค่าการถ่ายเทความร้อนและการเปลี่ยนแปลงความแรงการอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีผลต่อการกำจัดสารระเหยเพื่อดูศักยภาพความเป็นไปได้ในการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาทดแทนถ่านหินในระบบแก๊สซิไฟเออร์ เป็นต้น

การผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีการใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงประมาณวันละ 40,000 ตัน (Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) Maemoh Power Plant, 2016) เมื่อกระบวนการ coal washing สิ้นสุดลงจะก่อให้เกิดของเสียจากกระบวนการดังกล่าว นั่นคือ “Low-grade coal rejects” ซึ่งถ่านหินคุณสมบัติต่ำนี้ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ และยังไม่มีการศึกษาค้นคว้าความเป็นไปได้ที่จะนำถ่านหินเหลือทิ้งคุณภาพต่ำกลับไปใช้ประโยชน์มากเท่าที่ควร นับเป็นสิ่งที่น่าเสียดายเพราะปริมาณถ่านหินเหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่ตกค้างมีปริมาณมาก จากการเข้าไปสำรวจบริเวณ coal washing ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ พบว่ามีถ่านหินเหลือทิ้งคุณภาพต่ำนี้ประมาณร้อยละ 2.4 ซึ่งด้วยสมบัติของถ่านหินที่มีสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบและมีความสามารถในการติดไฟได้ดี อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงต่างๆ จึงมีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะนำถ่านหินเหลือทิ้งคุณภาพต่ำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองเพื่อนำถ่านซังข้าวโพดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งร่วมกับถ่านหินเหลือทิ้งคุณภาพต่ำให้เป็นไปตามมาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2006) ซึ่งเป็นการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทนและยังเป็นการนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ มีประสิทธิภาพอย่างคุ้มค่า รวมทั้งยังเป็นแนวทางหนึ่งที่มีส่วนช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้งที่ตกค้างและเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค เศรษฐศาสตร์และประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนประกอบของถ่านซังข้าวโพดร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำเพื่อเป็นการพัฒนาและปรับปรุงเชื้อเพลิงอัดแท่งให้มีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวจะสามารถช่วยลดค่ากำจัดถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำอีกทั้งยังช่วยเพิ่มทางเลือกในการกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเพื่อเป็นการลดปัญหาการเผาทำลายซังข้าวโพดในพื้นที่โล่งแจ้ง การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถแบ่งตามขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. **ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง**

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเริ่มจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ การผสมอัตราส่วนของถ่านซังข้าวโพดร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำและขั้นตอนสุดท้ายอัดแท่งขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งตามมาตรฐาน ASTM E 75

1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

1) ถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่ความชื้นประมาณร้อยละ 23.9

2) ถ่านซังข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการเผาด้วยเตาไพโรไลซิส นำมาบดด้วยเครื่องบด-ย่อยขนาด 5.5 แรงม้า และร่อนแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ยี่ห้อ LabZen โดยงานวิจัยนี้ใช้ถ่านซังข้าวโพดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ2มิลลิเมตรซึ่งมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 15

1.2 อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งทำการศึกษาที่อัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของถ่านซังข้าวโพดร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่อัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4และ 5:5 ตามลำดับ

1.3 รูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1) รูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นตามแบบมาตรฐาน ASTM E 75 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ความยาว 30 มิลลิเมตร และความหนาแน่นของเชื้อเพลิงมากกว่าหรือเท่ากับ 600 kg/m^3 ซึ่งเป็นขนาดของเชื้อเพลิงที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับเตาเผาที่ใช้กับหม้อน้ำอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้า

1.4 การเตรียมวัตถุดิบ

1) ตัวอย่างถ่านซังข้าวโพด ในงานวิจัยนี้จะใช้ซังข้าวโพดของ ตำบลแม่ทะ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง มาเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิสให้เป็นถ่านซังข้าวโพด จากนั้นนำมาลดขนาดด้วยเครื่องบด-ย่อย โดยให้มีขนาดเล็กประมาณ 2 มิลลิเมตร

2) การเตรียมถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำซึ่งมีลักษณะวาวด้านเหมือนดิน มีความแข็งไม่มากและแตกร่วนได้ง่าย อ่อนตัวที่อุณหภูมิต่ำและมีความชื้นประมาณร้อยละ 23 มาตรฐานเปียก ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

1.5 การผสมวัตถุดิบ

โดยนำถ่านซังข้าวโพดกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่ผ่านการเตรียมไว้มาผสมกันร้อยละโดยน้ำหนัก ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้

1) ให้ความร้อนกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำด้วยเครื่อง hot plate จนกระทั่งมีอุณหภูมิที่เหมาะสมจนทำให้ถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำนั้นกลายเป็นของเหลวหนืด

2) นำถ่านซังข้าวโพดที่เตรียมไว้มาผสมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่ผ่านการให้ความร้อนจนกลายเป็นของเหลวหนืด ตามอัตราส่วนที่ต้องการซึ่งถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานอัตราส่วนเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด จากนั้นคนเชื้อเพลิงทั้งสองให้ทั่วกัน

3) หยุดให้ความร้อนแก่เชื้อเพลิง และปล่อยไว้ให้เย็นลงตามธรรมชาติ

1.6 การอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1) นำเชื้อเพลิงที่ผ่านการผสมตามอัตราส่วนที่ต้องการไปอัดแท่งขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยกำหนดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องMP40pellet press ยี่ห้อ Across International, L.L.Cที่ความดัน 150 Mpa

2. การวิเคราะห์สมบัติด้านกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การศึกษาความเป็นไปได้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนประกอบของถ่านซังข้าวโพดร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่อัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4และ 5:5 ตามลำดับ ทำการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) เนื่องจากแต่ละอัตราส่วนขึ้นรูปภายใต้ความดัน 150 Mpaด้วยเครื่องMP40pellet press ยี่ห้อ Across International, L.L.Cทำการวิเคราะห์ตัวแปรอัตราส่วนละ 3 ซ้ำ ดังนี้ ค่าความร้อนตามมาตรฐาน ASTM D 240ค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM D 3173 ปริมาณเถ้าตามมาตรฐาน ASTM E 3174 และค่าความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM E 75ตามลำดับ

2.1 การหาปริมาณความชื้น (Moisture Content)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3173 นำตัวอย่างมาวิเคราะห์อัตราส่วนอย่างละ 3 ซ้ำ โดยให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (Drying Oven) ที่อุณหภูมิประมาณ 104-110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำระเหย ค่าความชื้น (M, %) มาตรฐานเปียก ที่ได้สามารถคำนวณได้จากสมการ (1) ดังนี้

$$M = \frac{(A-B)}{A} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ M = ค่าความชื้น (%)

A = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (g)

B = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังอบ (g)

2.2 การหาปริมาณเถ้า (Ash Content)

ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3174 นำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนอัตราส่วนอย่างละ 3 ซ้ำในเตาเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และค่อยๆ เพิ่มความร้อนเป็น 700-750 องศาเซลเซียสจนกระทั้งได้น้ำหนักที่คงที่ของถ้วยทนไฟรวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือพร้อมฝาปิด จำนวนร้อยละของปริมาณเถ้า (N, %) สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาไหม้แล้ว ดังสมการ (2) ดังนี้

$$N = \frac{(C-D)}{E} \times 100 \qquad (2)$$

เมื่อ N = ปริมาณเถ้า (%)
C = น้ำหนักภาชนะพร้อมเถ้า (g)
D = น้ำหนักของภาชนะ (g)
E = น้ำหนักตัวอย่างทดลองที่ใช้ (g)

2.3 การหาค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value)

ทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงตามมาตรฐาน ASTM D 240 ซึ่งสามารถวิเคราะห์โดยตรงทำได้โดยการนำตัวอย่างเชื้อเพลิงไปทดสอบหาค่าความร้อนอัตราส่วนละ 3 ซ้ำ จากเครื่อง Bomb Calorimeter โดยนำตัวอย่างเชื้อเพลิงมาเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในตัว Bomb ที่มีออกซิเจนอยู่ในปริมาณเกินพอ โดยกระแสไฟฟ้าจะวิ่งผ่านฟิวส์ไปสัมผัสตัวอย่างเชื้อเพลิง เมื่อเกิดการเผาไหม้ตัวอย่างเชื้อเพลิงจนหมดเครื่อง Bomb Calorimeter จะอ่านค่าความร้อนผ่านสายไฟทั้งสองโดยมีหน่วยเป็นแคลอรีต่อกรัม

2.4 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น (DensityValue)

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์อัตราส่วนละ 3 ซ้ำ โดยนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปชั่งมวลและทำการหาปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยถ้วยยูเรก้า (การแทนที่น้ำ) จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากสมการ (3) ดังนี้

$$D = \frac{M}{V} \qquad (3)$$

เมื่อ D = ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)
M = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (g)
V = ปริมาตรของน้ำ (m^3)

3. การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

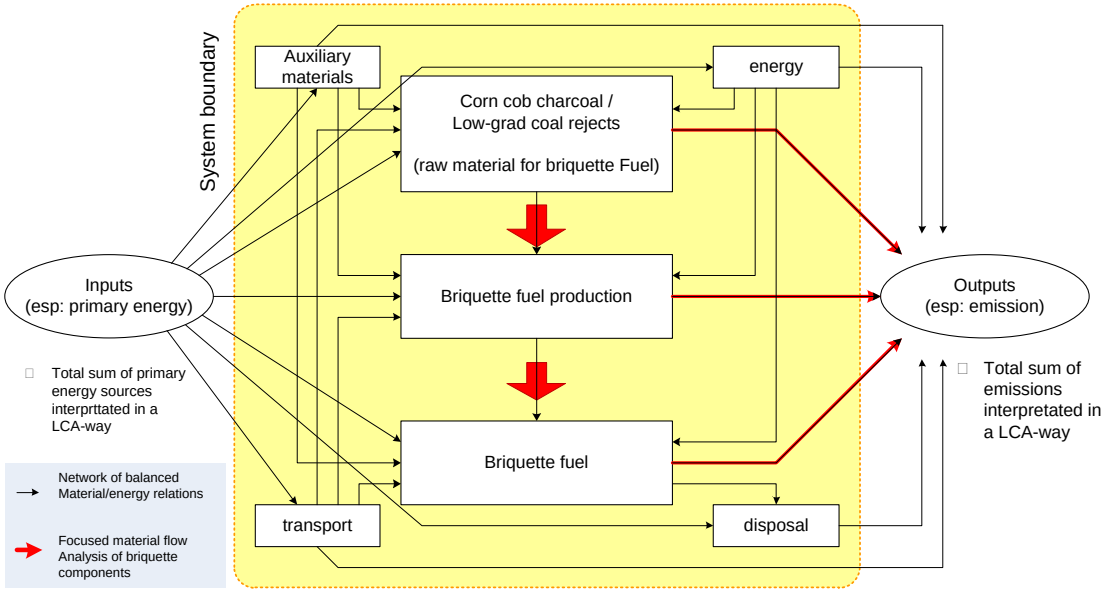
การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Antonio C. *et al*., 2004) นำมาใช้ในการพิจารณาเพื่อการตัดสินใจเลือกโครงการหรือวิธีดำเนินการใดๆ โดยมีเป้าหมายของการวิเคราะห์โครงการ คือการวิเคราะห์โครงการนั้นๆ จะต้องนำไปสู่ข้อสรุปขั้นสุดท้ายในการเลือกลงทุนในโครงการต่างๆ ว่าควรลงทุนในโครงการนั้นหรือไม่ การอาศัยเทคนิคในการวิเคราะห์การลงทุนจะช่วยให้มั่นใจได้ว่าการลงทุนในโครงการลงทุนนั้นจะช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับองค์กร เกณฑ์ในการวิเคราะห์ คือ

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PBP)การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านซังข้าวโพดร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำมีต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงเป็นการลงทุนจัดหาเครื่องจักร อีกทั้งค่าไฟฟ้า ค่าแรงงาน และค่าการบำรุงรักษาเครื่องจักร เพื่อใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อทำการผลิตในช่วงแรกจะอยู่ในสภาวะขาดทุนแต่เมื่อผ่านไประยะหนึ่งก็จะเริ่มมีผลกำไรจากการผลิต ซึ่งเรียกว่า ระยะเวลาคืนทุน และสามารถคำนวณหาจุดคุ้มทุนได้จากสมการ (4) ต่อไปนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{เงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}} \qquad (4)$$

4. การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การประเมินวัฏจักรชีวิต (International Organization for Standardization ISO 14040, 2006)คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ สำหรับงานวิจัยนี้การประเมินวัฏจักรชีวิตกำหนดขอบเขตแบบ Gate to Gate แสดงดังภาพที่ 1 โดยพิจารณาเฉพาะขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมของถ่านซังข้าวโพดกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ เริ่มตั้งแต่เตรียมซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง และการจัดการเศษซากของวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมทั้งของเสียที่มีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการหาวิธีปรับปรุงกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด



ภาพที่ 1 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งสำหรับงานวิจัยนี้ นักวิจัยแบ่งขั้นตอนการดำเนินการออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

1) เป้าหมาย (Goal Definition) เพื่อศึกษาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนประกอบของถ่านซังข้าวโพดร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำเพื่อเปรียบเทียบค่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตและการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยการคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 7.2 พร้อมทั้งหาแนวทางในการลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น

2) การกำหนดขอบเขต (Scope Definition) การประเมินวัฏจักรชีวิตงานวิจัยนี้เป็น Gate to gate โดยพิจารณากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนประกอบของถ่านซังข้าวโพดร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ

3) การกำหนดหน่วยการทำงาน (Functional Unit) งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ผลกระทบจากการใช้พลังงาน การใช้ทรัพยากร วัตถุดิบ สารเคมี วัสดุต่างๆ และผลกระทบหรือของเสียประเภทต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4.2 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis)

การจัดทำบัญชีรายการ คือขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่สำคัญ และจำเป็นต้องใช้สำหรับการคำนวณค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเป็นข้อมูลปริมาณของสารที่เข้าและออกจากระบบของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิง เช่น น้ำมัน เป็นต้นปริมาณวัตถุดิบ วัสดุ และทรัพยากรต่างๆ ปริมาณการใช้สารเคมี และปริมาณของเสียประเภทต่างๆ ที่เกิดขึ้น ฯลฯ

4.3 การประเมินค่าผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต

ขั้นตอนการประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดำเนินการโดยการนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาทำการคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 7.2 ซึ่งมีแนวทางในการวิเคราะห์ลักษณะของผลกระทบประเภทต่างๆ ที่สำคัญ เช่น สภาวะการเกิดก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse effect) สภาวะการเกิดหมอกควัน (Summer smog) สภาวะการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ(Ozone layer) และภาวะฝนกรด (Acidification) เป็นต้น

4.4 การประเมินแนวทางเพื่อปรับปรุง

การประเมินแนวทางเพื่อปรับปรุง คือการนำผลการศึกษาที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมาคำนวณลงในโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 7.2 โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าต่างๆ จากนั้นวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น สรุปผล และจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต รวมถึงจัดทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้สมบูรณ์ครบถ้วนและสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตที่กำหนดไว้

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา3ส่วนหลักๆ คือ ศึกษาทางด้านเทคนิคเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนประกอบของถ่านซังข้าวโพดร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำพร้อมทั้งวิเคราะห์สมบัติทางด้านความร้อน วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี วิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ และการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณของการใช้ทรัพยากรและพลังงานในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งซึ่งผลการศึกษาแสดงดังต่อไปนี้

1. **ผลการวิเคราะห์สมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของถ่านซังข้าวโพด**

จากการศึกษาสมบัติเบื้องต้นของถ่านซังข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสพบว่า ลักษณะทั่วไปของถ่านซังข้าวโพดเป็นคาร์บอนสีดำ สามารถบดเป็นผงให้ละเอียดเพื่อนำไปผสมร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ เพื่อขึ้นรูปเป็นเชื้อแพลิงอัดแท่งได้ ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพและทางเคมี แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของถ่านซังข้าวโพด

สมบัติของถ่านซังข้าวโพด	ถ่านซังข้าวโพด
ความหนาแน่น (kg/m^3)	408.7
ความชื้น (%)	6.21
ปริมาณเถ้า (%)	16.95
ค่าความร้อน (kcal/kg)	6,745.7
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)	76.85

ที่มา: การวิเคราะห์สมบัติของถ่านซังข้าวโพดหลังผ่านกรรมวิธีไพโรไลซิส

จากตารางที่ 1 แสดงสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของถ่านซังข้าวโพดพบว่ามีสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้โดยเฉพาะมีค่าความร้อนเท่ากับ 6,745.7kcal/kg ซึ่งมีค่าความร้อนสูงกว่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ 5,000kcal/kg ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 408.7kg/m^3 ค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 6.21 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 76.85 และปริมาณเถ้าร้อยละ 16.95 ดังนั้นจากสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านซังข้าวโพดมีความเป็นไปได้ในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2. สมบัติด้านการเป็นเชื้อเพลิงของถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำไม่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้โดยตรง เพราะสมบัติของถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำไม่ติดไฟที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และมีปริมาณความชื้นสูง แต่ถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำนั้นมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวประสานของเชื้อเพลิงอัดแท่งทางด้านความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเชื้อเพลิงอัดแท่งได้เนื่องจากถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำมีค่าความร้อนสูงเท่ากับ 3,947kcal/kg แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ

สมบัติการเป็นเชื้อเพลิง	ถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ
ค่าความร้อน (kcal/kg)	3,947
ความชื้น (%)	23.9
ปริมาณเถ้า (%, โดยน้ำหนัก)	0.02
ปริมาณสารระเหย (%, โดยน้ำหนัก)	45
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%, โดยน้ำหนัก)	60
ปริมาณออกซิเจน (%, โดยน้ำหนัก)	20
ปริมาณไฮโดรเจน (%, โดยน้ำหนัก)	5

ที่มา: โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนถ่านหินลิกไนต์แม่เมาะจังหวัดลำปาง

จากตารางที่ 2 พบว่าสมบัติด้านความเป็นเชื้อเพลิงของถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำทางด้านปริมาณเถ้าร้อยละ 0.02 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 45 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 60 ปริมาณออกซิเจนร้อยละ 20 และปริมาณไฮโดรเจนร้อยละ 5 ส่วนค่าความร้อนของถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำมีค่าเท่ากับ 3,947 kcal/kg ซึ่งนับว่าถ่านหิน

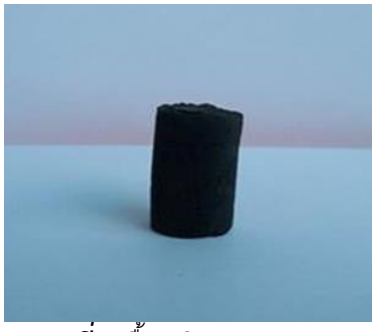
ลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำมีสมบัติทางด้านการนำมาใช้เป็นตัวประสานของเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ แต่ไม่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้โดยตรงเนื่องจากมีความชื้นสูง

3. การประเมินผลการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

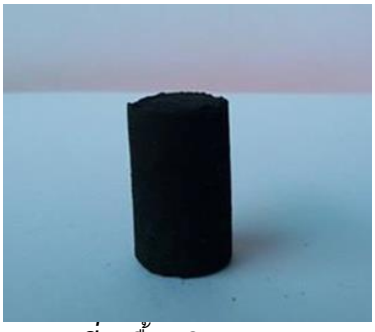
การประเมินความสามารถในการขึ้นรูปของเชื้อเพลิงถ่านซังข้าวโพดผสมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำหลังจากทำการอัดแท่งเชื้อเพลิงด้วยเครื่อง MP40pellet press ยี่ห้อ Across International, L.L.Cดังนี้

3.1ผลของถ่านซังข้าวโพดผสมถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

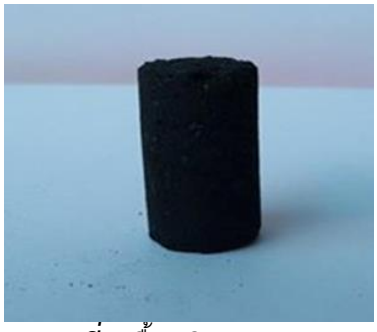
การประเมินความสามารถการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งในอัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 ร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยมีแนวทางการประเมินดังนี้ ความสามารถการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สูง 30 มิลลิเมตร หลังจากทำการอัดด้วยเครื่องMP40pellet press ยี่ห้อ Across International, L.L.C และเมื่อนำเชื้อเพลิงออกมาจากบล็อก หากเชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถคงรูปตามขนาดที่ต้องการได้ แสดงว่าความสามารถในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งอยู่ในเกณฑ์ดี แม้ทำการเคลื่อนย้ายก็ยังคงรูปไม่ร่อนหรือสึกกร่อน ผิวของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังการผ่านการอัดแท่งแล้ว หากมีผิวสม่ำเสมอกันตลอดแท่งถือว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้นั้นอยู่ในเกณฑ์ดี หากผิวไม่สม่ำเสมอมีลักษณะขรุขระถือว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดี ไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ผลการอัดแท่งเชื้อเพลิงแสดงดังภาพต่อไปนี้



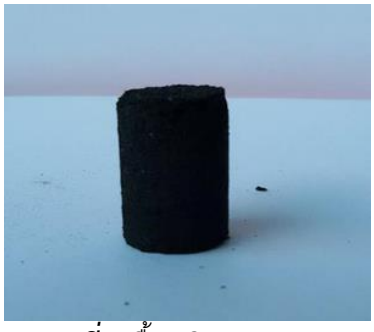
ภาพที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง (10:0)



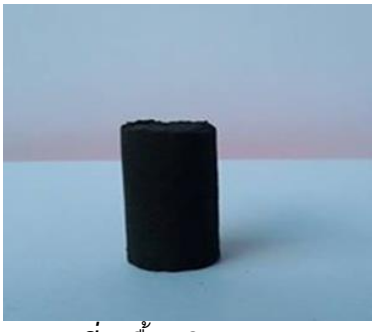
ภาพที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง (9:1)



ภาพที่ 4 เชื้อเพลิงอัดแท่ง (8:2)



ภาพที่ 5 เชื้อเพลิงอัดแท่ง (7:3)



ภาพที่ 6 เชื้อเพลิงอัดแท่ง (6:4)

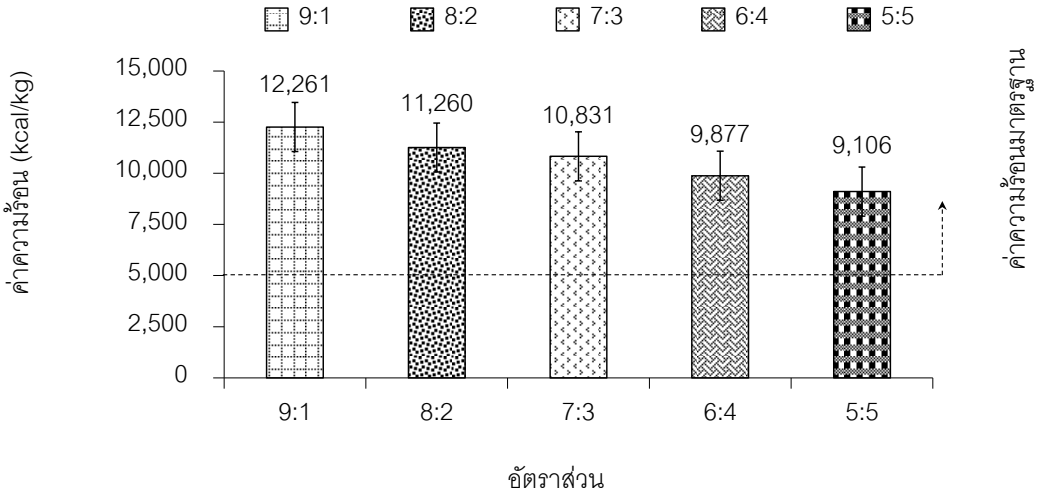
ภาพที่ 7 เชื้อเพลิงอัดแท่ง (5:5)

ภายหลังการอัดแท่งเชื้อเพลิงถ่านซังข้าวโพดผสมถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำด้วยเครื่อง MP40pellet press และเมื่อนำเชื้อเพลิงออกมาจากบล็อกพบว่าอัตราส่วน 10:0 (ภาพที่ 2) และอัตราส่วน 9:1 (ภาพที่ 3) ร้อยละโดยน้ำหนัก เชื้อเพลิงที่ผลิตออกมาไม่เกาะตัวกันเป็นเนื้อเดียวกัน และไม่สามารถคงรูปตามขนาดที่ต้องการได้หลังจากทิ้งไว้ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเป็นเวลา 30 นาทีจึงไม่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ส่วนเชื้อเพลิง

อัตราส่วน 8:2 (ภาพที่ 4) อัตราส่วน 7:3 (ภาพที่ 5) และอัตราส่วน 6:4 (ภาพที่ 6) ร้อยละโดยน้ำหนักที่ผลิตออกมาสามารถมาเกาะตัวกันเป็นเนื้อเดียวกันและสามารถคงรูปตามขนาดที่ต้องการได้หลังจากทิ้งไว้ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเป็นเวลา 30 นาทีเช่นกันจึงมีความเหมาะสมต่อการนำมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ ขณะที่เชื้อเพลิงอัตราส่วนที่ 5:5 (ภาพที่ 7) ร้อยละโดยน้ำหนักพบว่าเมื่อผลิตออกมาเชื้อเพลิงเกาะตัวกันเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ไม่สามารถคงรูปตามขนาดที่ต้องการได้ เนื่องจากมีอัตราส่วนของปริมาณถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำสูงเกินไปจึงทำให้เชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีความอ่อนตัวสูง ไม่สามารถคงรูปตรงตามเงื่อนไขการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้จึงไม่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4. ผลจากอัตราส่วนผสมต่อค่าความร้อนเชื้อเพลิงอังแท่ง

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะแปรผกผันกับปริมาณถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำคือ เมื่ออัตราส่วนของถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำเพิ่มขึ้นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งก็จะลดลง โดยอัตราส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านซังข้าวโพดร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่มีค่าความร้อนมากที่สุดคืออัตราส่วนที่ 9:1 รองลงมาคืออัตราส่วน 8:2, 7:3 และ 6:4 มีค่าความร้อนเท่ากับ 12,261 kcal/kg, 11,260 kcal/kg, 10,831 kcal/kg และ 9,877 kcal/kg ตามลำดับ และอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนต่ำสุดคือ อัตราส่วนที่ 5:5 มีค่าความร้อนเท่ากับ 9,106 kcal/kg แสดงดังภาพที่ 8



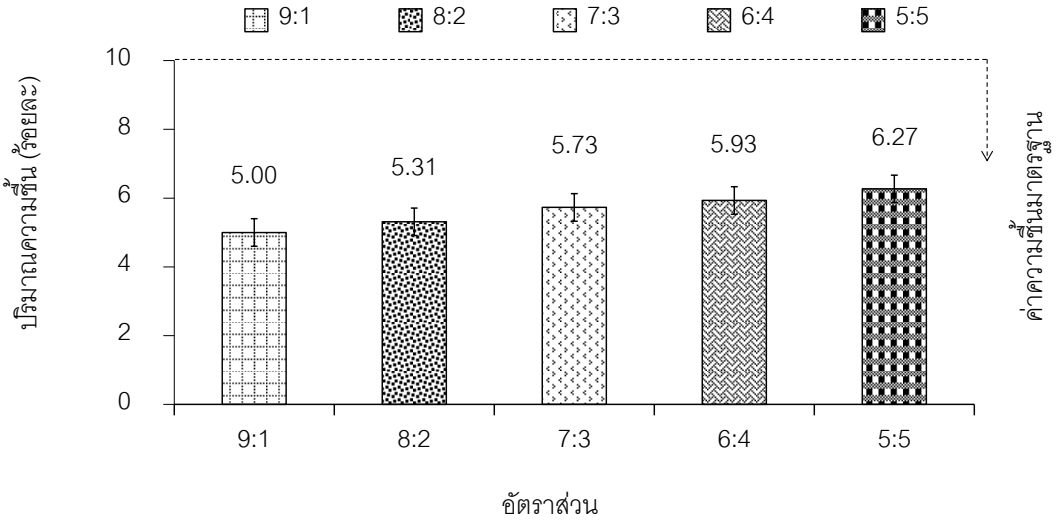
ภาพที่ 8 ค่าความร้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งถ่านซังข้าวโพดผสมถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ

จากภาพที่ 8 อัตราส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านซังข้าวโพดร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำมีค่าความร้อนสูงเนื่องจากภายหลังการอัดแท่งขึ้นรูปเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วนแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อลดความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากนั้นจึงนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าความร้อนอัตราส่วนละ 3 ซ้ำ โดยพบว่าทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนสูงกว่าค่ามาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ 5,000kcal/kg จึงเป็นประโยชน์ทางด้านความร้อนของการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ ดังนั้นผลการวิจัยในส่วนนี้สรุปได้ว่าสามารถนำเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วนมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

5. ผลจากอัตราส่วนผสมต่อปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอังแท่ง

ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะแปรผันตรงกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำเช่นเดียวกับค่าความร้อน เนื่องจากถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำมีความชื้นร้อยละ 23.9 และค่าความร้อน 3,947kcal/kg เมื่ออัตราส่วนของถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ค่าความร้อนของ

เชื้อเพลิงอัดแท่งลดลงตามไปด้วย โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจะต้องมีปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งเป็นมาตรฐานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลการวิจัยในส่วนนี้พบว่าอัตราส่วนของเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วนมีความชื้นเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ แสดงดังภาพที่ 9

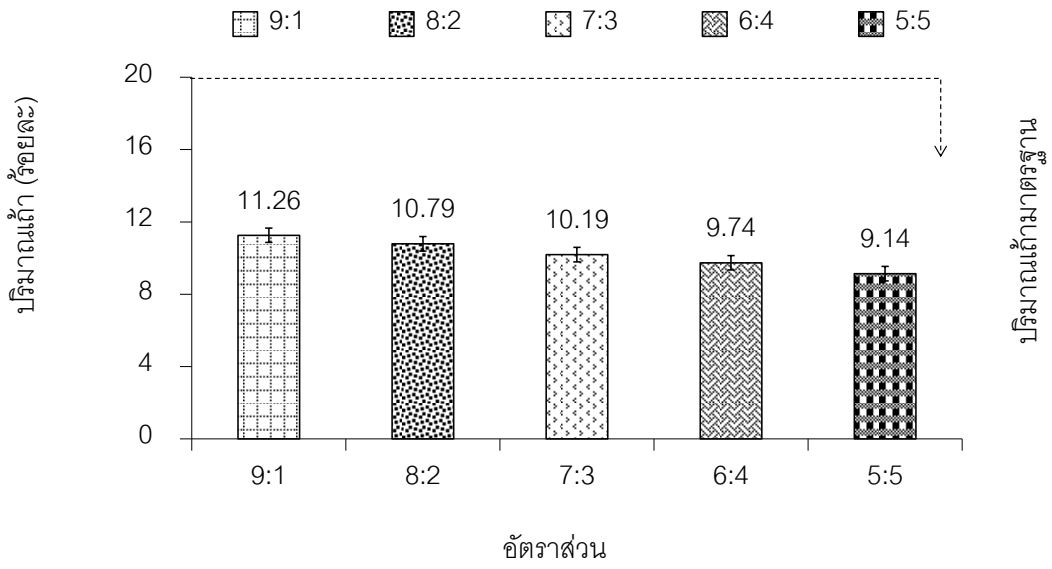


ภาพที่ 9 ปริมาณความชื้นเชื้อเพลิงอัดแท่งถ่านซังข้าวโพดผสมถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ

จากภาพที่ 9 พบว่าทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ เชื้อเพลิงอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วนนั้นมีปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงไม่เกินร้อยละ 10 ตามมาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังนั้นสามารถนำเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วนมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

6. ผลจากอัตราส่วนผสมต่อปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะมีปริมาณลดลงเมื่ออัตราส่วนของถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่ใช้ผสมกับถ่านซังข้าวโพดมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ปริมาณเถ้าของถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำมีเพียงร้อยละ 0.02 หลังผ่านกระบวนการเผาไหม้แล้ว ดังนั้นอัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้ามากที่สุดคือ อัตราส่วนที่ 9:1 รองลงมาคืออัตราส่วนที่ 8:2, อัตราส่วนที่ 7:3 และอัตราส่วนที่ 6:4ร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่ามีปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ11.26, ร้อยละ 10.79, ร้อยละ10.19 และร้อยละ 9.74 ตามลำดับ และอัตราส่วนที่มีปริมาณต่ำสุดคืออัตราส่วนที่ 5:5 มีปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 9.14 เนื่องจากมีปริมาณส่วนผสมของถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำผสมอยู่มากนั่นเองแสดงดังภาพที่ 10

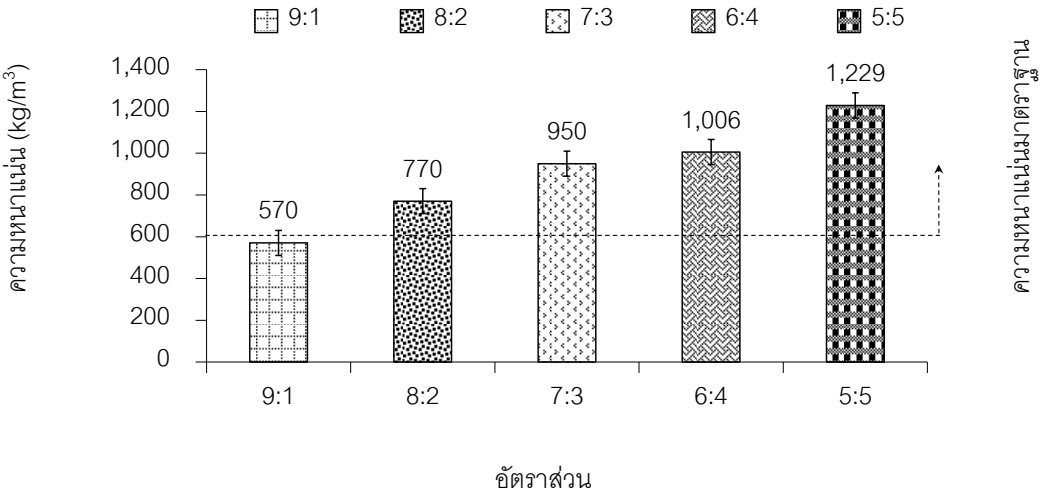


ภาพที่ 10 ปริมาณเถ้าเชื้อเพลิงอัดแท่งถ่านซังข้าวโพดผสมถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ

จากภาพที่ 10 พบว่าปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วนมีปริมาณเถ้าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 9.14-11.26 มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งคือไม่เกินร้อยละ 20 โดยอัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้าสูงที่สุดคืออัตราส่วนที่ 9:1 มีปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 11.26 ส่วนอัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้าน้อยที่สุดคืออัตราส่วนที่ 5:5 มีปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 9.14 ดังนั้นสามารถเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วนมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

7. ผลจากอัตราส่วนผสมต่อค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะมีปริมาณสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนของถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่ใช้ผสมกับถ่านซังข้าวโพดมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำทำหน้าที่เป็นตัวประสานอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังนั้นเมื่ออัตราส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งมีปริมาณถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำมากขึ้นจะทำให้เชื้อเพลิงเกาะตัวกันแน่นจึงทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตขึ้นมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเชื้อเพลิงจะต้องมีค่าความหนาแน่นมากกว่าหรือเท่ากับ 600 kg/m^3 ตามเงื่อนไขการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนที่ผ่านเงื่อนไขการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ อัตราส่วนที่ 8:2 อัตราส่วนที่ 7:3 อัตราส่วนที่ 6:4 และอัตราส่วนที่ 5:5 ร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ค่าความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่งถ่านซังข้าวโพดผสมถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ

จากภาพที่ 11 พบว่าค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วนแปรผันตรงกับปริมาณถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ เมื่ออัตราส่วนของถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเพราะถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำมีค่าความหนาแน่นสูง อัตราส่วนที่มีปริมาณความหนาแน่นสูงที่สุดคือ อัตราส่วนที่ 5:5 รองลงมาคืออัตราส่วน 6:4 และอัตราส่วน 7:3 เท่ากับ 1,229 kg/m^{3}1,006 kg/m^{3}และ 950 kg/m^{3}ตามลำดับ และอัตราส่วนที่มีปริมาณความหนาแน่นต่ำที่สุดที่ผ่านมาตรฐานการผลิตคือ อัตราส่วนที่ 8:2 kg/m^3 มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 770 kg/m^3

ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านซังข้าวโพดผสมถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้คือ อัตราส่วนที่ 8:2 อัตราส่วนที่ 7:3 และอัตราส่วนที่ 6:4 เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งสามอัตราส่วนนี้สามารถอัดขึ้นรูปได้ดี มีค่าความร้อนเท่ากับ 11,260 kcal/kg 10,831 kcal/kg และ 9,877 kcal/kg ตามลำดับ ซึ่งค่าความร้อนที่ได้สูงเกินค่ามาตรฐานของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ 5,000 kcal/kg ค่าความชื้นร้อยละ 5.31, ร้อยละ 5.73 และร้อยละ5.93 ตามลำดับ คือมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10ของมาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความหนาแน่น 770 kg/m^{3}950 kg/m^{3}และ 1,006 kg/m^{3}ตามลำดับคือมีค่าความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/m^{3}ตามมาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง และมีปริมาณเถ้าร้อยละ 10.79 ร้อยละ 10.19 และร้อยละ 9.74 ตามลำดับ คือมีปริมาณเถ้าน้อยกว่าร้อยละ 20 ตามมาตรฐานผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

8. วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

สำหรับในหัวข้อนี้นักวิจัยได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านซังข้าวโพดร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำในแต่ละอัตราส่วนที่ผ่านเกณฑ์การผลิตเพื่อใช้เป็นข้อมูลหรือแนวทางการตัดสินใจของผู้ประกอบการในการเลือกเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมาลงทุนผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งการอาศัยเทคนิคในการวิเคราะห์การลงทุนจะช่วยให้มั่นใจได้ว่าการลงทุนในโครงการลงทุนนั้นจะช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผู้ประกอบการ ซึ่งเกณฑ์การตัดสินใจที่นักวิจัยใช้ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะใช้กระแสเงินสดในการพิจารณาเป็นสำคัญ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ระยะเวลาคืน (PBP) ของเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 การคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์เชื้อเพลิงอัดแท่ง

รายการ	หน่วย	ค่าที่ใช้ในการคำนวณ		
		อัตราส่วน 8:2	อัตราส่วน 7:3	อัตราส่วน 6:4
1. อายุของโครงการผลิตไฟฟ้า	ปี	15	15	15
2. อัตราผลตอบแทนที่ได้จากการลงทุน	%	12	12	12
3. ปริมาณของซังข้าวโพด[a]	ตันต่อปี	21,504	21,504	21,504
4. ปริมาณของผงถ่านซังข้าวโพด[b]	ตันต่อปี	15,805	15,805	15,805
5. ปริมาณเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้[c]	ตันต่อปี	17,385	18,175	18,966
6. เงินลงทุนก่อนเริ่มโครงการ	บาท	710,000	710,000	710,000
7. กระแสเงินสดเข้า				
รายได้จากค่าการขายเชื้อเพลิงอัดแท่งสำหรับผลิตไฟฟ้า	บาทต่อปี	6,525,000	6,600,000	6,690,000
8. กระแสเงินสดออก				
ภาระค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักร	บาทต่อปี	3,960,000	4,554,000	4,752,000
ภาระค่าดูแลรักษาระบบ5%	บาทต่อปี	86,460	86,460	86,460
ภาระค่า coal rejects	บาทต่อปี	790,000	1,185,000	1,580,000
ภาระค่าจ้างแรงงานคน 15คน	บาทต่อปี	1,485,000	1,485,000	1,485,000
ระยะเวลาคืนทุน	ปี	4.96	3.38	2.47
การจัดลำดับความเหมาะสมการลงทุน		❸	❷	❶

หมายเหตุ: [a]*ปริมาณของซังข้าวโพดเป็นปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในตำบลแม่ทะ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง จำนวน 21,504 ตันต่อปี (สำนักงานเกษตรจังหวัดลำปาง, 2559).*

[b]*ปริมาณซังข้าวโพดหลังผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะได้ทำให้ได้ถ่านจากซังข้าวโพดร้อยละ 73*

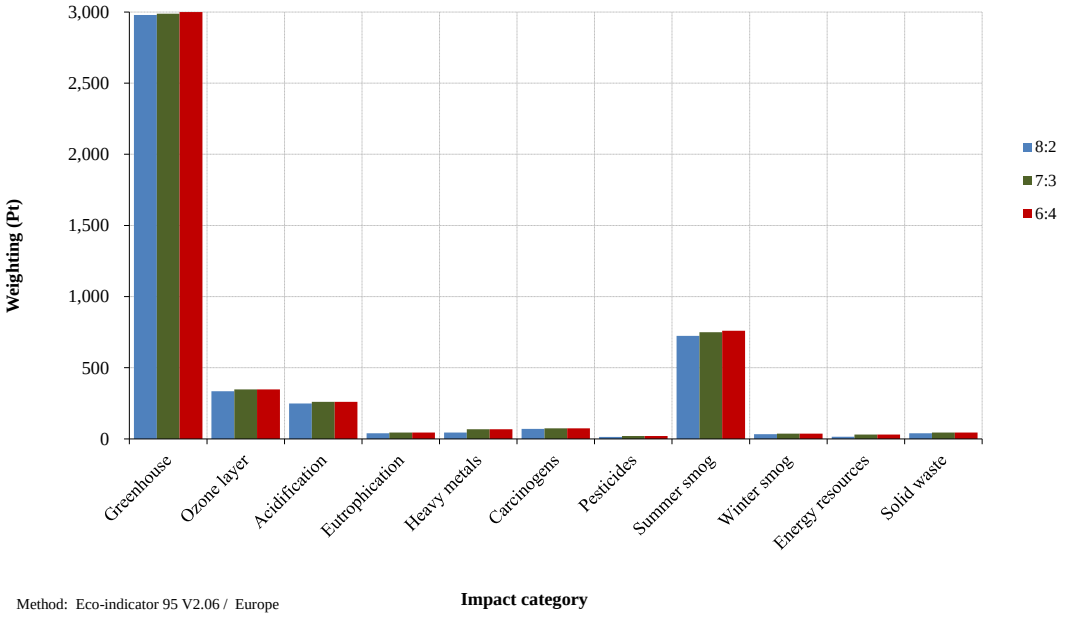
[c]*ปริมาณเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้คิดจากถ่านซังข้าวโพดซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักผสมถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งตามอัตราส่วนที่กำหนด*

จากตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านซังข้าวโพดผสมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำในอัตราส่วน 8:2 อัตราส่วน 7:3 และอัตราส่วน 6:4 ร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านซังข้าวโพดผสมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำในอัตราส่วน 6:4 มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดเท่ากับ 2.47 ปี รองลงมาคือ อัตราส่วน 7:3 มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 3.38 ปี และอัตราส่วน 8:2 มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 4.96 ปีตามลำดับ

9. การประเมินวัฏจักรชีวิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

นักวิจัยได้ทำการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีความเหมาะสมทางด้านกายภาพและความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นมาคำนวณด้วยโปรแกรม SimaPro Version 7.2 ซึ่งมีการแบ่งประเภทของผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่พิจารณาออกเป็น 11ประเภท (1) Greenhouse หรือผลกระทบที่ทำให้เกิดสภาวะเรือนกระจก (2) Ozone layer หรือผลกระทบที่ทำให้เกิดการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ (3) Acidification หรือผลกระทบที่ทำให้เกิดสภาวะฝนกรด (4) Eutrophication หรือผลกระทบที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์สายน้ำเปลี่ยนสี (5) Heavy metals หรือผลกระทบที่เกิดจากโลหะหนัก(6) Carcinogens หรือผลกระทบที่

ทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง (7) Pesticides หรือผลกระทบที่ทำให้เกิดสารเคมีตกค้างทางการเกษตร (8) Summer smog หรือผลกระทบที่เกิดจากการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย(9) Winter smog หรือผลกระทบที่ทำให้เกิดปัญหาหมอกควัน (10) Energy resources ผลกระทบที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรทางด้านพลังงาน (11) Solid waste ผลกระทบที่ทำให้เกิดกากของเสียตกค้างโดยผลกระทบทุกประเภทถูกพิจารณาทั้งในแง่ของปริมาณและความรุนแรงและแสดงผลกระทบในหน่วยของ Point (Pt)



ภาพที่ 12 ผลการเปรียบเทียบค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากภาพที่ 12 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านซังข้าวโพดร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำในอัตราส่วนที่ 8:2อัตราส่วนที่ 7:3และอัตราส่วนที่ 6:4ร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 7.2 พบว่าตลอดวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านซังข้าวโพดร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำทั้งสามอัตราส่วนมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมใกล้เคียงกัน ซึ่งปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีแนวโน้มจะเกิดขึ้นได้มากที่สุดคือผลกระทบจาก Greenhouse effect เท่ากับ 2,997Pt รองลงมาคือ Summer smog เท่ากับ 759Pt, Ozone layer เท่ากับ 347Pt และ Acidification เท่ากับ 260Pt ตามลำดับ ดังนั้นหากมีการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านซังข้าวโพดร่วมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนควรพิจารณาถึงแนวทางหรือเทคโนโลยีการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้น

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านซังข้าวโพดผสมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้คือ อัตราส่วน 8:2 อัตราส่วน 7:3 และอัตราส่วน 6:4 ร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งสามอัตราส่วนนี้สามารถอัดขึ้นรูปได้ดี มีค่าความร้อนเท่ากับ 11,260kcal/kg 10,831kcal/kg และ 9,877kcal/kg ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าความร้อนมาตรฐานการ

ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ 5,000kcal/kg ค่าความชื้นร้อยละ 5.31 ร้อยละ 5.73 และร้อยละ 5.93 ตามลำดับ ค่ามาตรฐานความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 770kg/$m^3$950kg/m^3 และ 1,006kg/m^3 มีค่าความหนาแน่นมากกว่า 600kg/m^3 ตามมาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งและปริมาณเถ้าร้อยละ 10.79 ร้อยละ 10.19 และร้อยละ9.74 ตามลำดับมีปริมาณเถ้าไม่เกินกว่าร้อยละ 20 ตามมาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านซังข้าวโพดผสมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำในอัตราส่วน6:4มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดเท่ากับ 2.47 ปี รองลงมาคือ อัตราส่วนที่ 7:3มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 3.38 ปีและอัตราส่วนที่ 8:2 มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 4.96 ปีตามลำดับ สำหรับการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมพบว่า ทั้งสามอัตราส่วนมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมใกล้เคียงกัน ซึ่งปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีแนวโน้มจะเกิดขึ้นได้มากที่สุดคือผลกระทบจาก Greenhouse effect เท่ากับ 2,997Pt รองลงมาคือ Summer smog เท่ากับ 759Pt, Ozone layer เท่ากับ 347Pt และ Acidification เท่ากับ 260Pt ตามลำดับจากผลการทดลองนี้สนับสนุนสมมติฐานของงานวิจัยได้ว่าเชื้อเพลิงถ่านจากซังข้าวโพดและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำมีความเหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งทางด้านสมบัติกายภาพ เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิง อัดแท่งที่ผลิตจากถ่านซังข้าวโพดผสมถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำในอัตราส่วนที่6:4ร้อยละโดยน้ำหนัก มีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาลงทุนเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนในกระบวนการผลิตไฟฟ้าหรือความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง และโรงไฟฟ้าแม่เมาะการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่สนับสนุนงบประมาณ (สัญญาเลขที่ วท. 07/2559) ข้อมูลและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

American Society for Testing and Materials (ASTM). (2006). *Standard Definitions of Terms and Abbreviations Relating to Physical and Chemical Characteristics of Refuse Derived Fuel*. In: Waste management, annual book of ASTM Standards 2006. ASTM International, West Conshohocken, vol 11.04

Antonio C. Caputo, Mario Palumbo, Federica Scacchia. (2004). Perspectives of RDF use in decentralized areas: comparing power and co-generation solutions. *Journal of Applied Thermal Engineering*, *24*, 2171-2187

Antonio C. Caputo, Pacifico M. Pelagagge. (2004). RDF production plants: II Economics and profitability. *Thermal Engineering Journal*, *22* , 439-448.

Arun K. Tripathi, P.V.R. Iyer and Tara Chandra Kandpal. (1998). A Thchno-economic evaluation of biomass briquetting in India. *Biomass and bioenergy Journal*, Vol.14, Nos. 5/6, pp. 479-488, 1998.

Department of Alternative Energy Department and Efficiency(DEDE) Ministry of Energy. (2015). *Alternative Energy Development Plan: AEDP2015*. Retrieved September 19, 2015, from http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf

Department of Alternative Energy Department and Efficiency(DEDE) Ministry of Energy. (2014).*Biomass Database Potential in Thailand*. Retrieved August 6, 2015, from http://www2.dede.go.th

Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) Maemoh Power Plant. (2016). *Status of Availability, Utilization, and Potential of Fly Ash use in Construction*. Retrieved November 17, 2016, from http://maemoh.egat.com/index.php/saratttt/89-sarat/89-sarat1

International Organization for Standardization ISO 14040. (2006). *Environmental management Life cycle assessment-Principles and framework*. Geneva: n.p.

Lampang Provincial Agricultural Extension Office. (2015). *A basic agricultural information system*.Retrieved August 2, 2015, from http://www.lampang.doae.go.th

Ministry of Energy. (2009). *Biomass Energy Technology*. Retrieved August 2, 2015, from http://www.energy.go.th

R.Marsh, A.J.Griffiths, K.P.Williams.(2007). Measurement of heat transfer and change in compressive strength of wastederived solid fuels due to depolarization. *Journal of Fuel*, *87*, 1724-1733