

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยสู่วิสาหกิจชุมชน

DEVELOPMENT OF CHARCOAL BRIQUETTE FROM THE CANE LEAVES AND THE BAGASSE TO COMMUNITY ENTERPRISE

ธนรัตน์ ยอดดำเนิน^{1*} เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์²

Thanirat Yoddamnern,^{1*} Soawalak Yotwinyuwong²

^{1,2} คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

^{1,2} Faculty of Industrial Technology Kamphaeng Phet Rajabhat University

* Corresponding author E-mail : thanirat@kpru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยสู่วิสาหกิจชุมชน ซึ่งในการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งนี้ได้ดำเนินการตั้งแต่การหาสร้างชุดผลิตถ่านอัดแท่ง ประกอบด้วยเตาเผา 200 ลิตร ชุดบดผงถ่าน ชุดผสมผงถ่าน เครื่องอัดถ่านแท่ง ตลอดจนการหาอัตราความเหมาะสมของส่วนผสมถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย การหาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่ง การวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ และศึกษาต้นทุนในการผลิต ใช้อัตราส่วนผสมจากใบอ้อยและชานอ้อย น้ำ และแป้งมันสำปะหลัง ทดสอบจำนวน 5 ตัวอย่าง ส่วนผสมระหว่างใบอ้อยและชานอ้อย น้ำ แป้งมันสำปะหลัง คือ 30:10:60, 40:10:50, 50:10:40, 60:10:30 และ 70:10:20 อัตราส่วนผสมที่ 1 - 5 ตัวอย่างตามลำดับ พบว่าอัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 5 คือ ใบอ้อยและชานอ้อย 70%, น้ำ 10% และแป้งมันสำปะหลัง 20% ให้ค่าความร้อนเท่ากับ 4,591.80 cal/g และมีค่าประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยสูงสุดประมาณ 46.5% หากขายสู่ท้องตลาดสามารถสร้างรายได้ 86,400 บาทต่อปี

คำสำคัญ : ถ่านอัดแท่ง, ใบอ้อย, ชานอ้อย, ประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน

Abstract

This research is to study the development of briquette charcoal from sugarcane leaves and bagasse to community enterprises. Which in the production and development of briquette charcoal, has been carried out since the founding of a briquette production unit. Consisting of a 200 liter kiln, charcoal powder grinder, charcoal powder batching machine, charcoal briquette machine. As well as finding the suitable rate of the charcoal briquette mixture from sugarcane leaves and bagasse Determination of thermal efficiency of briquette charcoal Analysis of economic data and study production costs. Using the ratio of sugarcane leaves and bagasse, water and tapioca flour. Test 5 samples. The mixture between sugarcane leaves and bagasse, tapioca water, is 30:10:60, 40:10:50, 50:10:40, 60:10:30 and 70:10:20 mixing ratio 1 - 5 samples, respectively. It was found that the sample ingredient ratio 1 is 70% sugarcane and bagasse, 10% water and 20% cassava flour. The calorific value is 4,591.80 cal/g. And has the highest thermal efficiency of charcoal briquette from sugarcane leaves and bagasse up to approximately 46.5%. If sold to the market, can generate an income of 86,400 baht per year.

Keywords: briquette charcoal, sugarcane leaves, bagasse, thermal efficiency

1. บทนำ

ปัญหาการขาดแคลนพลังงาน และราคาน้ำมันที่ปรับตัวสูงอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันนับเป็นปัญหาระดับโลก ดังนั้นการลดปริมาณการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป หรือพลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิงนอกจากนี้ยังช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้น ๆ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดปัญหาสภาวะโลกร้อน ปัจจุบันการใช้พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ ลม น้ำ แสงอาทิตย์ คลื่นและชีวมวลจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่งที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน

ชีวมวล (Biomass) หมายถึง สิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิตหรือองค์ประกอบเป็นสิ่งมีชีวิตหรือเป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตหรืออินทรีย์ต่าง ๆ เช่น ไม้ยืนต้นพืชที่มีส่วนประกอบเป็นแป้งและน้ำตาล วัชพืชบกและน้ำ ของเสียจากโรงงานที่เกี่ยวข้องกับการทำการเกษตร มูลสัตว์ ตลอดจนขยะที่มีอยู่ทั่วไป พลังงานชีวมวล หมายถึง พลังงานที่ได้จากชีวมวล โดยอาศัยกระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกตัวของอินทรีย์สารที่อยู่ในชีวมวลและผลิตพลังงานออกมา พลังงานชีวมวลจัดเป็นพลังงานการหมุนเวียนประเภทหนึ่งโดยเป็นการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ทางอ้อม พืชที่มีคลอโรฟิลล์จับเป็นพลังงานแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีเพื่อใช้ในการสร้างอาหารจากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ กระบวนการดังกล่าวเรียกว่าการสังเคราะห์แสง วัฏจักรของการผลิตพืชหรือชีวมวลเป็น วัฏจักรหมุนเวียน ดังนั้นไม่ว่าจะนำพืชไปไว้ใช้ป้อนอาหารหรือพลังงานตลอดก็ตาม ถ้าปริมาณการใช้สมดุลกับการเกิดชีวมวลใหม่เราจะมีชีวมวลไว้ใช้ตลอดไปแต่แนวทางดังกล่าวอาศัยธรรมชาติเพียงอย่างเดียวไม่ได้ เนื่องจากจำนวนประชากรในโลกมีเพิ่มมากขึ้น จึงมีการจัดการของมนุษย์เพื่อเร่งการผลิตชีวมวลให้เพียงพอกับความต้องการ เป็นต้น (สุธีระ ประเสริฐ, 2543, หน้า 247-266)

ถ่านอัดแท่งเป็นแหล่งพลังงานความร้อนอีกแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันถ่านอัดแท่งสามารถทดแทนถ่านจากป่าไม้ธรรมชาติได้เป็นอย่างดี และสนองนโยบายการอนุรักษ์ธรรมชาติ สามารถผลิตจากวัสดุธรรมชาติอื่น ๆ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ถ่านอัดแท่งจากขี้เลื่อย ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว ถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพารา ทั้งนี้ถ่านอัดแท่งได้รับความนิยมในภัตตาคาร ร้านอาหาร เนื่องจากให้พลังงานสูงและประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าถ่านไม้ทั่วไป

จังหวัดกำแพงเพชรเป็นจังหวัดที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่มีผลผลิตจากการเกษตรมากมายที่สามารถนำมาสร้างเศรษฐกิจชุมชนและเป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีพของชุมชนอ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สามารถสร้างรายได้ให้กับจังหวัดกำแพงเพชรเป็นอย่างมากสังเกตจากโรงงานน้ำตาล สมาคมคนชาวไร่อ้อย โดยใบอ้อยและชานอ้อยเป็นชิ้นส่วนที่เหลือจากการทำประโยชน์ที่ถูกทิ้งกองเหมือนขยะรอวันย่อยสลาย หรือเผาทิ้ง ทำให้เกิดมลพิษค่าฝุ่น PM2.5 ทำลายสุขภาพส่งผลให้แสบตา ปิดบังวิสัยทัศน์ในการขยับขยายพาหนะ และทำให้เกิดโรคทางเดินหายใจสะสมภายในปอดจนอาจเสียชีวิตได้ ขยะชีวมวลดังกล่าวสามารถนำมาเป็นส่วนผสมของถ่านอัดแท่งได้ ซึ่งการปลูกอ้อยในจังหวัดกำแพงเพชรมีประมาณ 450,000 ไร่ (สมาคมชาวไร่อ้อยจังหวัดกำแพงเพชร)

จากการวิเคราะห์อัตราการเผาอ้อยขณะผู้วิจัยพบว่า ปริมาณธาตุที่ได้จากการเผาอ้อยมีประโยชน์ต่อการทำวิจัยเป็นอย่างมาก เนื่องจากปริมาณคาร์บอนที่ต้องใช้ในการทำถ่านอัดแท่งมีปริมาณอัตราสูงถึงร้อยละ 41.6 (ภัทรภรณ์ แซ่เตี๋ย, 2555, หน้า 53) สามารถนำมาเป็นส่วนผสมในการทำถ่านอัดแท่งได้เป็นอย่างดีจากความสำคัญดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยสู่วิสาหกิจชุมชน การหาความเหมาะสมของส่วนผสมถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยเพื่อศึกษาและหาประสิทธิภาพต่าง ๆ ของถ่านอัดแท่ง เพื่อช่วยลดปัญหาการลักลอบตัดไม้ทำลายป่า โดยการนำถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้มาทดแทนถ่านไม้

<http://jeet.siamtechu.net>

ธรรมดาและสามารถช่วยลดปัญหาสภาวะโลกร้อนด้วยและเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเลือกใช้ถ่านและเป็นการใช้เศษวัสดุเหลือใช้ที่มีอยู่ได้อย่างมีคุณค่า

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย อัตราความเหมาะสมของส่วนผสมถ่านอัดแท่ง หาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่ง วิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์และศึกษาต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวิธีดำเนินการวิจัยตามกรอบของวัตถุประสงค์ของงานวิจัย แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) สร้างและหาประสิทธิภาพชุดผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย 2) หาอัตราความเหมาะสมของส่วนผสมถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย 3) หาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่ง และ 4) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์และศึกษาต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 การสร้างเตาเผา 200 ลิตร

โดยการเตรียมถังน้ำมัน 200 ลิตร มาทำความสะอาด จากนั้นดัดแปลงฝาปิดโดยเชื่อมต่อกับท่อเป็นปากปล่อง ดัดแปลงกันถังให้เป็นรูสำหรับเติมลมจากด้านล่าง ทำฐานเหล็กเส้นไว้สำหรับมารองกันถังจากภายในเพื่อรองรับน้ำหนักและจัดเรียงใบอ้อยและชานอ้อยที่จะนำมาเผา ทำท่อปล่องควันจากฐานเตาผ่านแกนประคองกลางถึงขึ้นมายังปากถังด้านบน



(ก) ปากปล่องเตาเผา



(ข) รูกันเตาเผา



(ค) ฐานรองกันเตาเผา



(ง) แกนประคองท่อปล่องควันเตาเผา



(จ) ท่อปล่องควันเตาเผา



(ฉ) เตาเผา 200 ลิตร

รูปที่ 1 การสร้างเตาเผา 200 ลิตร

3.2 การใช้งานเตาเผา 200 ลิตร

การเผาถ่านโดยใช้ถังน้ำมัน 200 ลิตร เป็นวิธีการเผาที่ง่ายที่สุดวิธีหนึ่ง และได้ผลเป็นที่น่าพอใจ การเผาถ่านในแบบแนวตั้งในแต่ละครั้งจะได้ถ่านประมาณ 15 กก. และเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ถึง 5 ลิตร

<http://jeet.siamtechu.net>

- 1) วางเตาเผา 200 ลิตร บนฐานที่ทำมาจากการเรียงอิฐมอญ เป็นช่องลมที่พร้อมสำหรับเติมอากาศเข้าไป จากด้านล่างสำหรับควบคุมอัตราการเผาไหม้ภายในเตา
- 2) จัดเรียงใบอ้อยและชานอ้อยที่ตากไว้จนแห้งไม่น้อยกว่า 3-4 วัน มาเรียงภายในเตาเผา
- 3) จุดไฟที่ปากเตาเพื่อเริ่มต้นเผาถ่าน ระวังตำแหน่งของกองไฟหน้าเตาไม่ให้เข้าใกล้เตาจนเกินไป ตำแหน่งที่เหมาะสมคือประมาณ 1 ฟุต ปล่อยให้ไอร้อนเท่านั้นที่ไหลเข้าไปในเตา
- 4) ดักเก็บน้ำส้มควันไม้ทางปล่องที่ควันออก โดยสังเกตจากสีของควัน
 - 4.1) ควันสีขาว จะเป็นช่วงการระเหยของไอน้ำจากภายในเนื้อไม้
 - 4.2) ควันเริ่มเปลี่ยนสีที่ไม่ใช่สีขาว เป็นช่วงอุณหภูมิที่ปากปล่องช่วงนี้อยู่ในช่วงระหว่าง 80 – 120 องศาเซลเซียส ให้ดักเก็บน้ำส้มควันไม้ ทั้งนี้ที่อุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้ปลอดภัยจากสารทาร์ที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย
- 5) สังเกตว่าไม่มีควัน ออกมาจากปากปล่องอีก ให้ทำการอุดปากเตาและปากปล่องด้วยดินเหนียวรวมทั้ง รอยรั่วอื่น ๆ จนควันไม่สามารถเล็ดลอดออกมาและไม่ให้อากาศเข้าไปในเตาได้โดยเด็ดขาด
- 6) ใบอ้อยใช้เวลาเผา 20-30 นาที ส่วนชานอ้อยใช้เวลาเผาประมาณ 50-60 นาที
- 7) ทิ้งเตาไว้ 2-3 ชั่วโมง เตาจะเย็นลงจนสามารถเปิดเตา นำถ่านออกมาได้
- 8) ใน 1 เตาจะได้ถ่านประมาณ 2 กิโลกรัมเนื่องจากวัสดุดิบมีน้ำหนักเบา



รูปที่ 2 ถ่านใบอ้อยและชานอ้อย

3.3 การสร้างเครื่องบดผงถ่าน

- 1) เตรียมครกหิน ใช้ในการบดถ่านจากใบอ้อยและชานอ้อยแบบหยาบ
- 2) เตรียมเครื่องปั่นอเนกประสงค์ ใช้ในการปั่นถ่านแบบละเอียด



(ก) ครกหินสำหรับบดหยาบ



(ข) เครื่องปั่นอเนกประสงค์สำหรับบดละเอียด

รูปที่ 3 ชุดบดผงถ่าน

3.4 การใช้งานเครื่องบดผงถ่าน

- 1) ใส่ถ่านที่ได้จากใบอ้อยและชานอ้อยลงครกหิน
- 2) ตำถ่านให้แตกจากชิ้นใหญ่ ๆ ให้อยู่ในสภาพแตกเป็นเสี่ยง ๆ แบบหยาบ
- 3) นำผงถ่านที่ได้จากการตำของครกหินมาใส่เครื่องปั่นอเนกประสงค์
- 4) ปั่นถ่านในเครื่องปั่นอเนกประสงค์จนละเอียด



(ก) ผงถ่านแบบหยาบ



(ข) ผงถ่านแบบละเอียด

รูปที่ 4 ผงถ่าน

3.5 การสร้างและใช้งานชุดผสมผงถ่าน

- 1) นำใบอ้อยและขานอ้อยมา น้ำ แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งให้น้ำหนักตามตัวอย่างส่วนผสม



รูปที่ 5 การชั่งใบอ้อยและขานอ้อยมา น้ำ แป้งมันสำปะหลัง

- 2) นำใบอ้อยและขานอ้อยมา น้ำ แป้งมันสำปะหลัง คลุกเค้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 6 คลุกเค้าส่วนผสมทั้งหมด

- 3) ส่วนผสมที่คลุกเค้าเข้ากันพร้อมใช้งาน



รูปที่ 7 ผงถ่านที่ผสมแล้ว

3.6 การสร้างเครื่องอัดถ่านแท่ง

- 1) เตรียมฐานสำหรับวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ลงบนแท่น
- 2) เตรียมและติดตั้งปล่องสำหรับใส่ผงถ่านที่ผสมแล้วสู่การอัดแท่ง

<http://jeet.siamtechu.net>

- 3) เตรียมและติดตั้งเกลียวสำหรับการอัดแท่งถ่าน
- 4) เตรียมและติดตั้งมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า สำหรับหมุนส่งกำลังผ่านสายพานและระบบเฟืองไปยังเกลียวอัดแท่งถ่าน
- 5) เตรียมและติดตั้งสายพานและระบบเฟือง เข้ากับมอเตอร์และเกลียวอัดแท่งถ่าน
- 6) เตรียมและติดตั้งกล่องควบคุมการทำงาน
- 7) เตรียมและติดตั้งล้อให้สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย
- 8) เครื่องอัดถ่านแท่งที่พร้อมใช้งาน



(ก) ฐานเครื่องอัดถ่าน



(ข) ปล่องสำหรับใส่ผงถ่าน



(ค) มอเตอร์



(ง) เกลียวอัดแท่งถ่าน



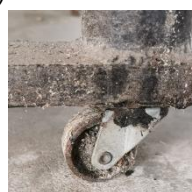
(จ) สายพานและระบบเฟือง



(ช) เครื่องอัดถ่านแท่ง



(ฉ) แผงควบคุม



(ซ) ล้อ

รูปที่ 8 การสร้างเครื่องอัดถ่านแท่ง

3.7 การหาอัตราส่วนผสมเหมาะสมในการทำถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย

การหาอัตราส่วนผสมระหว่างใบอ้อยกับชานอ้อยที่เหมาะสมในการทำอัดแท่ง คณะผู้วิจัยได้กำหนดส่วนผสมระหว่างใบอ้อยและชานอ้อย น้ำ แป้งมันสำปะหลัง ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่ง ที่ได้ศึกษาส่วนผสมจาก (ปิยะโชติ แทนจะโป๊ะ, 2554, หน้า 40) ซึ่งได้ทำการวิจัย แล้วนำมาเป็นแนวทางกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างใบอ้อยและชานอ้อย น้ำ แป้งมันสำปะหลัง โดยมีตัวอย่างทั้งหมด 7 อัตราส่วน ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมระหว่างปริมาณใบอ้อยและชานอ้อยต่อปริมาณแป้งและน้ำ

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนผสม (100%)		
	ใบอ้อยและชานอ้อย	น้ำ	แป้งมันสำปะหลัง
1	30	10	60
2	40	10	50
3	50	10	40
4	60	10	30

http://jeet.siamtechu.net

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนผสม (100%)		
	ใบอ้อยและชานอ้อย	น้ำ	แป้งมันสำปะหลัง
5	70	10	20
6	80	10	10
7	85	10	5

3.8 ทดสอบประสิทธิภาพถ่านอัดแท่ง

คณะผู้วิจัยได้หาค่าความร้อนและประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยโดยลำดับขั้นตอน ดังนี้

1) การหาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย

2) คัดถ่านอัดแท่งตามส่วนผสมที่ 1-5 ที่คงรูปและแห้งแล้วมาทดสอบ (ส่วนผสมที่ 6-7 เนื้อแตกขึ้นรูปไม่ได้)

3) ทดสอบประสิทธิภาพถ่านอัดแท่ง

3.1) การหาค่าความร้อน นำถ่านอัดแท่งบางส่วนของอัตราส่วนผสมทั้ง 5 ตัวอย่าง ส่งไปทำการหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย โดยภาควิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter

ผลการวิเคราะห์หาค่าความร้อนเชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น
ภาควิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
วันที่ 25 พฤษภาคม 2559

สารทดสอบ ถ่านผสมขอมเปิงมัน ผงถ่านและน้ำ
เครื่องทดสอบ Bomb Calorimeter
ผู้ขอรับบริการ ธีรวัฒน์ อินโซก

รูปผลการทดสอบดังนี้

ลำดับ	ชื่อสารทดสอบ	ค่าความร้อน(cal/g)
1	ตัวอย่างที่ 1	3,469.81
2	ตัวอย่างที่ 2	3,111.88
3	ตัวอย่างที่ 3	3,614.64
4	ตัวอย่างที่ 4	4,388.02
5	ตัวอย่างที่ 5	4,591.80

ลงชื่อผู้ทดสอบ
(นายสมจิต ธีระใจ)
ลงชื่อผู้ทดสอบ
(น.ส.พนิดา บุญเกิด)
ลงชื่อวิศวกร
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุชา พรหมวังชา)

รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์หาค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter

3.2) การหาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน นำถ่านอัดแท่งทั้ง 5 ตัวอย่าง มาทำการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน ตามมาตรฐานการทดสอบของสำนักงานพลังงานแห่งชาติ นำหม้อน้ำที่เตรียมไว้ขึ้นตั้งบนเตาไฟ จุดอุณหภูมิของน้ำทุกๆ 3 นาที เมื่อน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 เปลี่ยนกระทะสแตนเลสใหม่ จุดอุณหภูมิทุกๆ 3 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำไม่เพิ่มขึ้น ดังสมการ

$$\mu = \frac{n[ms(t_2 - t_1) + (t_3 - t_1)]}{wq} * 100\% \quad (1)$$

เมื่อ μ คือ ประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล (%)

w คือ น้ำหนักของถ่านอัดแท่ง (กรัม)

q คือ ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง (แคลอรีต่อกรัม)

m คือ น้ำหนักของน้ำในกระต๋สแตนเลส (กรัม)

n คือ จำนวนครั้งที่ทำให้น้ำเดือด (ครั้ง)

s คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 1 แคลอรีต่อกรัมองศาเซลเซียส

t_1 คือ อุณหภูมิของน้ำเมื่อเริ่มแรก (องศาเซลเซียส)

t_2 คือ อุณหภูมิของน้ำเดือด (องศาเซลเซียส)

t_3 คือ อุณหภูมิของน้ำสุดท้ายของกระต๋สแตนเลสหลังสุด (องศาเซลเซียส)



รูปที่ 10 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์และศึกษาด้านทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย

ในการศึกษาด้านทุนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยผู้วิจัยศึกษาถึงชุมชนในการวิจัยนี้ ใช้การวิเคราะห์ต้นทุนโดยทำวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับการผลิตในระดับครัวเรือน การคำนวณต้นทุนแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ด้านดังต่อไปนี้ (ธารินี มหายศนันท์, 2548)

1) ต้นทุนคงที่ คือ ต้นทุนที่ไม่แปรไปตามระดับกิจกรรมต่างๆ เช่น ต้นทุนของเครื่องจักรที่ซื้อมา ค่าเช่าที่ดิน ค่าอาคารโรงเรือน และค่าติดตั้ง เป็นต้น

2) ต้นทุนผันแปร คือ ต้นทุนที่แปรตามระดับกิจกรรม เช่น ค่าวัสดุ ค่าแรงงานค่าพลังงาน (น้ำมันไฟฟ้า) ต้นทุนผันแปรนี้จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นตามจำนวนหน่วยกิโลกรัมเสียโอกาส คือ ค่าใช้จ่ายที่ไม่ต้องจ่ายจริง แต่ต้องเสียไปเนื่องจากการใช้ทรัพยากร

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการหาประสิทธิภาพชุดผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย

4.1.1 เตาเผาถ่าน 200 ลิตร ในระยะเวลาในการเผาถ่านจากใบอ้อยอยู่ในระยะเวลาที่ 20 – 40 นาที ส่วนถ่านจากชานอ้อยที่ผ่านการเผาแล้วใช้ได้อยู่ในระยะเวลาการเผาที่ 40 – 60 นาที จากผลดังกล่าวเห็นว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเผาถ่านจากใบอ้อยและชานอ้อยอยู่ที่เวลา 40 นาที โดยมีลักษณะถ่านใบอ้อยเริ่มและติดมือ เนื้อผงละเอียด ถ่านชานอ้อยเนื้อด้านนอกสุกแข็ง ด้านในสุกแข็ง

4.1.2 ชุดบดผงถ่าน การบดผงถ่านให้ได้ตามที่ต้องการนั้นในระยะเวลา 5 นาที สามารถบดได้ครั้งหนึ่งได้ถึง 1.5 กิโลกรัมต่อการบด 1 ครั้ง ซึ่งหากบดครั้งละน้อย ๆ จะทำให้ใช้ระยะเวลาในการบดน้อยลงตามไปด้วย

<http://jeet.siamtechu.net>

4.1.3 ชุดผสมผงถ่าน ในการบดผงถ่านให้ได้ตามที่ต้องการนั้นในระยะเวลา 5 นาที สามารถบดได้ครั้งหนึ่ง ได้ถึง 1.5 กิโลกรัมต่อการบด 1 ครั้ง ซึ่งหากบดครั้งละน้อย ๆ จะทำให้ใช้ระยะเวลาในการบดน้อยลงตามไปด้วย

4.1.4 เครื่องอัดถ่านแท่ง ในช่วงการอัดถ่านก้อนแรก เครื่องอัดจะไล่ส่วนผสมมาอัดถ่านไม่แน่น โดยจะใช้เวลานานกว่าปกติเพื่ออัดถ่านให้ได้คุณภาพคงที่ไม่แตก เฉลี่ยแล้วถ่านอัดแท่ง 1 ก้อนจะใช้เวลาที่ประมาณ 6 วินาที ซึ่งหากจับเวลาภายในระยะเวลา 1 นาทีจะได้ถ่านอัดแท่งจำนวน 9 - 11 ก้อนต่อนาทีโดยเฉลี่ย

4.2 ผลการหาอัตราส่วนผสมถ่านอัดแท่งจากไบออยและชานอ้อยที่เหมาะสมในการทำถ่านอัดแท่ง

คณะผู้วิจัยได้นำถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างไบออยและชานอ้อย น้ำ แปะมันสำปะหลัง จำนวน 7 ตัวอย่าง มาอัดเป็นถ่านอัดแท่ง ผลการวิเคราะห์พบว่าแต่ละตัวอย่าง มีลักษณะแตกต่างกันดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการหาอัตราส่วนผสมถ่านอัดแท่งจากไบออยและชานอ้อยที่เหมาะสมในการทำถ่านอัดแท่ง

ตัวอย่างที่	ส่วนผสม (100%)			ผลการศึกษา		
	ไบออยและชานอ้อย	น้ำ	แปะมันสำปะหลัง	หลังอัด	หลังตาก	ลักษณะทางกายภาพหลังตาก
				ความสามารถในการขึ้นรูป	ความสามารถในการคงรูป	
1	30	10	60	ขึ้นรูปได้	คงรูป	เป็นแท่งมีรู ผิวละเอียด
2	40	10	50	ขึ้นรูปได้	คงรูป	เป็นแท่งมีรู ผิวละเอียด
3	50	10	40	ขึ้นรูปได้	คงรูป	เป็นแท่งมีรู ผิวละเอียด
4	60	10	30	ขึ้นรูปได้	คงรูป	เป็นแท่งมีรู ผิวละเอียด
5	70	10	20	ขึ้นรูปได้	คงรูป	เป็นแท่งมีรู ผิวละเอียด
6	80	10	10	ขึ้นรูปไม่ได้	ไม่คงรูป	ไม่เป็นแท่งและแตก
7	85	10	5	ขึ้นรูปไม่ได้	ไม่คงรูป	ไม่เป็นแท่งและแตก

อัตราส่วนผสมทั้ง 7 ตัวอย่างสามารถอัดออกมาเป็นถ่านอัดแท่งได้ โดยมีลักษณะผิวละเอียดทั้งหมด ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1, 2, 3, 4, และ 5 ส่วนผสมระหว่างไบออยและชานอ้อย น้ำ แปะมันสำปะหลัง คือ 30:10:60, 40:10:50, 50:10:40, 60:10:30 และ 70:10:20 อัตราส่วนทั้ง 5 ตัวอย่างตามลำดับ ส่วนตัวอย่างที่ 6 และ 7 ไม่สามารถขึ้นรูปได้และแตกหลังการตากแห้ง จึงไม่สามารถนำมาเป็นอัตราส่วนผสมและหาประสิทธิภาพทางความร้อนได้

<http://jeet.siamtechu.net>

(ก) ตัวอย่างที่ 1

(ข) ตัวอย่างที่ 2

(ค) ตัวอย่างที่ 3

(ง) ตัวอย่างที่ 4



(จ) ตัวอย่างที่ 5

(ฉ) ตัวอย่างที่ 6

(ช) ตัวอย่างที่ 7

รูปที่ 11 ลักษณะของถ่านอัดแท่งจากไบออยและชานอ้อยที่ขึ้นรูปแต่ละอัตราส่วนผสม

4.3 ผลการหาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากไบออยและชานอ้อย

ผลการหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากไบออยและชานอ้อยต้องมีค่าความร้อนใกล้เคียงกันหรือมีค่าความร้อนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มผช. ที่กำหนดไว้ว่าถ่านอัดแท่งจะต้องมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม พบว่า อัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 5 คือ ไบออยและชานอ้อย 70% , น้ำ 10% และแป้งมันสำปะหลัง 20% มีค่าความร้อนเพียง 4,591.80 cal/g ซึ่งสูงที่สุดในตัวอย่างอัตราส่วนผสมทั้งหมด ตัวอย่างที่ 5 มีค่าความร้อนสูงที่สุดจากทั้ง 5 ตัวอย่าง ซึ่งหาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน ตามมาตรฐานการทดสอบของสำนักงานพลังงานแห่งชาติ คำนวณหาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่งยกตัวอย่างที่ 5 ดังนี้

ตัวอย่างคำนวณอัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 5

กำหนด $\mu = ?$ (%) , $w = 200$ g. , $q = 4,591.80$ cal/g. , $m = 400$ g. , $n = 15$,

$s = 1$ cal/g. °C , $t_1 = 29$ °C , $t_2 = 100$ °C , $t_3 = 92$ °C

นำมาใส่ในสมการ

$$\mu = \frac{15[400(1)(100-29)+(92-29)]}{200(4,591.80)} \times 100\%$$

$$\mu = \frac{15[400(71)+(63)]}{918,360} \times 100\%$$

$$\mu = \frac{15[28,463]}{918,360} \times 100\%$$

$$\mu = \frac{426,945}{918,360} \times 100\%$$

$$\mu = 46.5\%$$

∴ ประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่งตัวอย่างที่ 5 เท่ากับ 46.5%

ส่วนผสม ตัวอย่างที่	อัตราส่วนผสม (100%)			ค่าความร้อน ถ่านอัดแท่ง (cal/g)	ประสิทธิภาพการใช้งานถ่านอัดแท่ง		
	ใบอ้อย และ ชาน อ้อย	น้ำ	แป้งมัน สำปะหลัง		อุณหภูมิของ น้ำสุดท้าย (องศา เซลเซียส)	จำนวนที่น้ำ เดือด (ครั้ง)	ประสิทธิภาพ การใช้งานทาง ความร้อน (%)
1	30	10	60	3,111.88	66	7	31.9
2	40	10	50	3,469.81	70	8	32.7
3	50	10	40	3,614.64	74	10	39.3
4	60	10	30	4,388.02	80	13	42.1
5	70	10	20	4,591.80	92	15	46.5

ผลการหาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย พบว่า อัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 5 มีประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่งสูงสุดประมาณ 46.5% ซึ่งมากกว่าอัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 1, 2, 3, และ 4 ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่ง 31.9%, 32.7%, 39.3% และ 42.1% ตามลำดับ จากการนำค่าที่ได้จากการทดลองไปแทนที่ในสมการที่ (1)

4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์และต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย

การผลิตในระยะสั้นใช้ปัจจัยการผลิต 2 ชนิดคือ ปัจจัยคงที่ และปัจจัยผันแปร ดังนั้น ต้นทุนการผลิตในระยะสั้นจึงมี 2 ชนิดคือ ต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร สามารถคำนวณหาต้นทุนชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้ (กิตติพงษ์ ถือสัตย์, 2547, หน้า 9)

4.4.1 ต้นทุนคงที่

ต้นทุนชนิดนี้จะมีจำนวนคงที่ตลอดไม่ว่าปริมาณการผลิตจะมากหรือน้อยแม้จะไม่ทำการผลิตเลยก็

จะเกิดต้นทุนคงที่ต้นทุนประเภทนี้ เช่น ค่าเสื่อมของเครื่องจักร เป็นต้น

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคาแบบ Straight – line Method ดังสมการต่อไปนี้

$$DP = \frac{P-S}{L} \quad (2)$$

โดยที่ P คือ ค่าซื้อเครื่องจักร (บาท)

S คือ ราคาขายหรือคงเหลือเมื่อเครื่องจักรหมดอายุ (บาท)

L คือ อายุการใช้งานของเครื่องจักร (ปี)

1) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) ทั้งหมดต่อปีในระยะเวลา 5 ปี โดยราคาขายหรือคงเหลือเมื่อเครื่องจักรหมดอายุคิดที่ 25 % ของราคาซื้อที่เข้ามา ซึ่งราคาเต็ม คือ 1) ราคาเตาเผาถ่าน 200 ลิตร เท่ากับ 2,500 บาท 2) ราคาชุดบดผงถ่าน เท่ากับ 1,300 บาท 3) ราคาชุดบดผงถ่าน เท่ากับ 20 บาท 4) ราคาเครื่องอัดถ่านแท่ง เท่ากับ 38,000 บาท นำค่าไปแทนในสมการที่ (2) จะได้ ค่าเสื่อมราคาแต่ละชุดรวมกัน = 375+195+3+5,700 = 6,273 บาท/ปี

2) ค่าบำรุงรักษา คิด 25% ของราคาเครื่อง ดังนั้นค่าบำรุงทั้งหมด = (2500+1300+20+38000) * 25% = 10,455 บาท/ปี

4.4.2 ต้นทุนแปรผัน

ต้นทุนนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนสินค้าที่ผลิต ถ้าผลิตมากจะเสียต้นทุนชนิดนี้มาก และถ้าไม่ผลิตก็ไม่เสียเลย ต้นทุนประเภทนี้ เช่น ค่าจ้างแรงงาน ค่าไฟฟ้า เป็นต้น

<http://jeet.siamtechu.net>

ค่าเสียโอกาส คือ ค่าใช้จ่ายที่ไม่ต้องจ่ายจริง แต่ต้องเสียไปเนื่องจากการใช้ทรัพยากร

จุดคุ้มทุนหมายถึง จำนวนหน่วยการผลิตหรือบริการของโครงการที่ทำให้เกิดรายรับของโครงการเท่ากับ ต้นทุนของโครงการ จำนวนหน่วยที่เป็นจุดคุ้มทุนนี้โครงการจะยังไม่มีการกำไร หรือกำไรเป็นศูนย์

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายคงที่}}{\text{อัตราค่าจ้าง} - \text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน}} \quad (3)$$

ระยะเวลาการคืนทุน คือ การหาคำตอบว่าเมื่อใดหรือนานเท่าไรที่กิจการจะคุ้มทุน หรือจะเริ่มมีผลกำไรขึ้นมา

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (4)$$

1) ค่าแบริ่งมันสำปะหลัง จากอัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 5 ผลิตได้ 120 ก้อน/วัน ในหนึ่งเดือนทำการ ผลิต 20 วัน ปริมาณแบริ่งมันสำปะหลังที่ใช้ต่อวันเท่ากับ 8 ถุง ๆ ละ 15 บาท จะได้ปริมาณแบริ่งมันสำปะหลังที่ใช้ต่อปี เท่ากับ 922 กิโลกรัม/ปี เมื่อคิดเป็นค่าแบริ่งมันสำปะหลังเท่ากับ 28,800 บาท/ปี

2) ค่าชานอ้อยจากโรงหีบหน้าโรงงานน้ำตาล ราคาตันละ 400 บาท ใช้ปริมาณชานอ้อยที่ใช้ 3,226 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นเงิน 1,290 บาท/ปี

4.4.3 รายได้จากการผลิต

หาได้จากราคาขายในท้องตลาดถ่านอัดแท่งราคา 30 บาทต่อกิโลกรัม โดยถ่านอัดแท่งหนึ่งก้อนมี น้ำหนัก 100 กรัม อัตราการผลิตถ่านอัดแท่งได้ 120 ก้อน/วัน ต่อปีจะมีรายได้จากการผลิตเท่ากับ 86,400 บาท/ปี

สรุป เมื่อตั้งระยะเวลาจุดคุ้มทุนไว้ที่ 5 ปี และใช้ส่วนผสมถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสมตัวอย่างที่ 5 ผลิตเดือนละ 20 วัน สามารถหากำไรต่อปีได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{กำไรต่อปี} &= \text{รายได้ต่อปี} - (\text{ต้นทุนคงที่ต่อปี} + \text{ต้นทุนแปรผันต่อปี}) \\ &= 86,400 \text{ บาท/ปี} - (6,273 \text{ บาท/ปี} + (28,800 \text{ บาท/ปี} + 1,290 \text{ บาท/ปี})) \\ &= 86,400 \text{ บาท/ปี} - (6,273 \text{ บาท/ปี} + 30,090 \text{ บาท/ปี}) \\ &= 86,400 \text{ บาท/ปี} - (36,363 \text{ บาท/ปี}) \\ &= 50,037 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยนี้ ในระยะเวลา 5 ปี หักลบการต้นทุนในการผลิตจะมีรายได้มากถึง 250,185 บาท

5. บทสรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย รวมถึงประสิทธิภาพเมื่อนำไปใช้งานจากส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดและหาจุดคุ้มทุนเมื่อทำเป็นวิสาหกิจชุมชน เพื่อส่งเสริมให้คนในชุมชนสามารถนำไปประกอบธุรกิจหรือสินค้า OTOP ได้ โดยชุดผลิตถ่านอัดแท่งนี้สามารถอัดแท่งถ่านได้แน่นและมีความเร็วในการอัดแท่งถ่านได้จำนวน 9 – 11 ก้อนต่อนาที อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือตัวอย่างที่ 5 ที่อัตราส่วน ถ่านใบอ้อย และชานอ้อย 70 % น้ำ 10 % แบริ่งมันสำปะหลัง 20 % มีค่าความร้อน 4,591.80 cal/g ซึ่งสูงที่สุดในตัวอย่างอัตราส่วนผสมทั้งหมดและมีประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่งสูงสุดประมาณ 46.5% มีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 36,363 บาท/ปี ซึ่งในการผลิตสามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้ 28,800 ก้อน/ปี หากขายท้องตลาดจะมีรายได้ 86,400 บาท/ปี หักค่าใช้จ่ายแล้วจะเหลือเงิน 50,037 บาท/ปี

ดังนั้นในระยะเวลา 5 ปี จะมีกำไรจากการผลิตถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย แล้วนำไปขายอยู่ที่ 250,185 บาท และมีคุณสมบัติที่ดีที่สุดทั้งด้านประสิทธิภาพและด้านเศรษฐศาสตร์เหมาะแก่การนำไปใช้งาน

6. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยสู่วิสาหกิจชุมชน ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ และโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรที่อำนวยความสะดวกและอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] อนิรุทธ กิติพงษ์ ถือสัตย์. “การศึกษาศักยภาพทางการตลาดและความเป็นไปได้ของธุรกิจถ่านอัดแท่งจากชังข้าวโพดในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา”. วิทยานิพนธ์การจัดการมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2547.
- [2] ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์, นภัสวงศ์ โอสถศิลป์ และสุธีรา งานชุกิจ. “การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตถ่านอัดแท่งจากชังข้าวโพดผสมถ่านจากกะลามะพร้าว”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรและอุตสาหกรรมวิจัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2548.
- [3] ธารินทร์ มหายศนันท์. “การออกแบบและสร้างเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับการผลิตในระดับครัวเรือน”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.
- [4] ปิยะโชติ แทนจะโป๊ะ. “เทคโนโลยีการผลิตถ่านอัดแท่งเชื้อเพลิงจากแกลบผสมชานอ้อย”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, 2554.
- [5] รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล. “การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสาปะหลัง”. วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2553.
- [6] ศิริชัย ต่อสกุล, กุณฑล ทองศรี และจงกล สุภารัตน์. “การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทน”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2555.
- [7] สุพจน์ เดชผล. “การศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมกับชานอ้อย”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.