วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 30, ฉบับที่ 2 เม.ย.–มิ.ย. 2563
The Journal of KMUTNB., Vol. 30, No. 2, Apr.–Jun. 2020

บทความวิจัย

การใช้วัสดุทางการเกษตรในการผลิตแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งและไขมันเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ธมนันท์ คำพา เธียรวุฒิ ดนตรี และ นัจภัค สุขสวัสดิ์*
สาขาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ศิริธรรม สิงห์โต
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 3835 8201 อีเมล: najjapak_so@rmutto.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2020.02.003
รับเมื่อ 23 กันยายน 2562 แก้ไขเมื่อ 22 ตุลาคม 2562 ตอบรับเมื่อ 30 ตุลาคม 2562 เผยแพร่ออนไลน์ 11 กุมภาพันธ์ 2563
© 2020 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ของเหลือทิ้งทั้งจากครัวเรือนและอุตสาหกรรมมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ในการศึกษานี้เป็นการผลิตและทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็ง และไขมันเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผสมวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ แกลบ ขุยมะพร้าว และกิ่งมะม่วง จากผลการทดลองพบว่า วัสดุทางการเกษตร ได้แก่ กิ่งมะม่วงสับและแกลบบดมีค่าความร้อน 4,020 และ 3,330 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (ตามลำดับ) ซึ่งเหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือส่วนผสมในการทำเชื้อเพลิง ในการผลิตแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งพบว่า แอลกอฮอล์ที่ไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร และแอลกอฮอล์ที่ผสมกิ่งมะม่วง มีค่าความร้อนที่ดีที่สุด (4,820 และ 5,030 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) แอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งที่ผสมกิ่งมะม่วงที่ผลิตได้ เมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 1 เดือน มีประสิทธิภาพในเชิงระยะเวลาต้มน้ำเดือด และระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือดคงที่ (291 วินาที) ไม่แตกต่างจากแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งในวันที่ผลิต (233 วินาที) การผสมวัสดุทางการเกษตรช่วยชะลอการลดลงของน้ำหนักของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งได้ แต่การผสมกิ่งมะม่วงในแอลกอฮอล์แข็งจะทำให้มีค่าเถ้าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บเชื้อเพลิงเป็นเวลา 2 และ 3 เดือน ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง ในส่วนของการผลิตไขมันเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่า ไขมันที่ไม่ผสมวัสดุทางการเกษตรซึ่งมีลักษณะติดไฟยากแต่ให้ค่าความร้อนสูงที่สุด 8,210 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ไขมันที่ผสมแกลบมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงดีที่สุด คือ มีระยะเวลาต้มน้ำจนเดือดน้อยที่สุด (303 วินาที) และระยะที่ทำให้น้ำเดือดนานที่สุด (504 วินาที) เมื่อเทียบกับไขมันที่ผสมขุยมะพร้าวและกิ่งมะม่วง ดังนั้นชนิดของวัสดุทางการเกษตรที่แตกต่างกันให้คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงสำหรับเชื้อเพลิงแข็งทั้งแอลกอฮอล์แข็งและไขมันเชื้อเพลิงอัดแท่งที่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: กิ่งมะม่วง แกลบ ขุยมะพร้าว แอลกอฮอล์แข็ง ไขมันอัดแท่ง

การอ้างอิงบทความ: ธมนันท์ คำพา เธียรวุฒิ ดนตรี นัจภัค สุขสวัสดิ์ และ ศิริธรรม สิงห์โต, "การใช้วัสดุทางการเกษตรในการผลิตแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งและไขมันเชื้อเพลิงอัดแท่ง," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 30, ฉบับที่ 2, หน้า 186–198, เม.ย.–มิ.ย. 2563.

Research Article

The Utilization of Agricultural Residues for Solid Fuel Alcohol and Lipid Fuel Briquette Production

Thamanan Khampha Thianrawut Dontree and Najjapak Sooksawat*
Undergraduate Student, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangpra, Chonburi, Thailand
Siritham Singhtho
Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Pathum Thani, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 3835 8201, E–mail: najjapak_so@rmutto.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2020.02.003
Received 23 September 2019; Revised 22 October 2019; Accepted 30 October 2019; Published online: 11 February 2020
© 2020 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research showed the feasibility of using material residues from household and industry for remanufactured products. Solid fuel alcohol and lipid fuel briquette prepared with agricultural residues (rice husk, coconut coir dust and chopped mango branches) were produced and their fuel properties were tested. The result showed that the agricultural residues with chopped mango branches and rice husk had high heating values of 4,020 and 3,330 kilocalories per kilogram, respectively. The values of these residues indicated good properties particularly for the fuel supply purpose. In comparison, the solid alcohol, without adding any residue and with adding the chopped mango branches, showed high heating value of 4,820 and 5,030 kilocalories per kilogram, respectively. After the 1-month storage of the solid alcohol fuel, the fuel with chopped mango branches show no statistically significant difference in period of rolling boiled temperature (291 seconds), compared with the one obtained from the solid alcohol on the date of production (233 seconds). Adding agricultural residues reduced loss of the net weight of the solid alcohol. However, adding the chopped mango branches showed increasing percentage of ash after storage for 2 and 3 months. This might affect to the fuel property of the solid alcohol. For production of lipid fuel briquette, the result showed that lipid without agricultural residue (control) had the highest heating value (8,210 kilocalories per kilogram). The lipid mixed with rice husk performed thermal property very well with the minimum boiling time (303 seconds) and the greatest rolling boil time (504 seconds) compared to the counterpart mixed with coconut coir dust and chopped mango branches. Thus, different agricultural residues could affect to the fuel and thermal properties of both solid fuel alcohol and solid lipid fuel briquette.

Keywords: Rice Husk, Coconut Coir Dust, Chopped Mango Branches, Solid Alcohol, Lipid Briquette

Please cite this article as: T. Khampha, T. Dontree, N. Sooksawat, and S. Singhtho, "The utilization of agricultural residues for solid fuel alcohol and lipid fuel briquette production," *The Journal of KMUTNB*, vol. 30, no. 2, pp. 186–198, Apr.–Jun. 2020 (in Thai).

1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งเป็นสิ่งจำเป็นยิ่งขึ้นทุกวันเพื่อลดมลพิษและรักษาสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรมเกษตรผลิตวัสดุเหลือทิ้งและวัสดุผลพลอยได้ทางการเกษตร เช่น แกลบ เปลือก และกาบมะพร้าว ซึ่งวัสดุเหล่านี้มีค่าความร้อนที่ดี และอาจเหมาะสมต่อการนำมาเป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงแข็ง นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีอุตสาหกรรมสารสกัดสมุนไพรที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีเอทานอลซึ่งเป็นตัวทำละลายที่เหลือทิ้งปริมาณมากหลังใช้ในการสกัด และสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ สำหรับของเสียชนิดที่พบมากในชุมชนซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมคือ ไขมันจากครัวเรือนและร้านอาหาร เมื่อมีการจัดเก็บรวบรวมอย่างเป็นระบบ เช่น การติดตั้งถังดักไขมันของเทศบาลตำบลเมืองแกลง จังหวัดระยอง สามารถนำไขมันมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงได้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซื้อก๊าซหุงต้ม

แกลบ และเปลือกมะพร้าวเป็นวัสดุทางการเกษตรที่ให้สัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต 0.21 และ 0.33 ตันต่อตันผลผลิตตามลำดับ ซึ่งเป็นสัดส่วนต่อผลผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่ค่อนข้างสูง [1] จากการประเมินศักยภาพทางพลังงานของแกลบและเปลือกมะพร้าวพบว่า มีค่าความชื้นต่ำ (ร้อยละ 12) และค่าความร้อนสูง 13.52 และ 16.23 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเหมาะสมต่อการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง [1] โดยทั่วไปวัสดุทางการเกษตรประกอบด้วยองค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งจะมีปริมาณที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ ไม้เนื้ออ่อน อย่างเช่น กิ่งมะม่วง ซึ่งพบได้ในสวนผลไม้จัดเป็นวัสดุทางการเกษตรที่มีอยู่ทั่วไป หาได้ง่าย และมีปริมาณเซลลูโลสสูง [2]

แอลกอฮอล์แข็งเป็นเชื้อเพลิงที่สะดวกในการพกพา มีความปลอดภัย แต่ยังมีความไวไฟ มีอุณหภูมิไฟที่สม่ำเสมอ และค่าความร้อนมีความเบี่ยงเบนต่ำ โดยทั่วไปแอลกอฮอล์แข็งถูกใช้ในอุตสาหกรรมการบริการด้านอาหาร การท่องเที่ยว และการใช้งานภาคสนาม เป็นต้น แอลกอฮอล์แข็งในท้องตลาดมีความเสถียรในการเก็บรักษาต่ำหลังจากผ่านช่วงระยะเวลาหนึ่งก้อนที่แข็งจะเริ่มนิ่มและมีของเหลวรั่วซึม [3] ส่วนใหญ่ในการผลิตจะใช้สารรักษาสภาพ ได้แก่ ไนโตรเซลลูโลส ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแอลกอฮอล์แข็งสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงแล้วจะต้องตรวจไม่พบสารดังกล่าว (มอก.950-2547) [4] หรือใช้สารไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสที่มีราคาสูง ปัจจุบันประเทศไทยมีอุตสาหกรรมผลิตสารสกัดจากสมุนไพรที่ใช้เอทานอลเป็นสารสกัด เช่น สารสกัดจากกระชายดำ ซึ่งหลังจากได้ผลิตภัณฑ์แล้ว พบว่า มีเอทานอลที่ผ่านการใช้งานแล้วเป็นปริมาณมาก อีกทั้งประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมซึ่งมีวัสดุทางการเกษตรเป็นผลพลอยได้ในปริมาณมาก เช่น แกลบ ขุยมะพร้าว และกิ่งมะม่วง เป็นต้น วัสดุดังกล่าวมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก และมีพลังงานเคมีสะสมอยู่ในโครงสร้างองค์ประกอบ [1] จึงอาจช่วยเพิ่มค่าความร้อนให้กับแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งอีกด้วย จากที่กล่าวมาข้างต้นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และอุตสาหกรรมที่มีปริมาณมากมาผลิตเป็นแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็ง จึงเป็นการลดปริมาณของเหลือทิ้ง และเป็นการนำของเหลือทิ้งกลับมาใช้ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ คือ แอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการจัดการแบบของเสียเหลือศูนย์ (Zero-waste) ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และยังช่วยลดการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ ทั้งนี้ จำเป็นต้องมีการศึกษาประสิทธิภาพของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตได้ รวมทั้งอายุการเก็บรักษาของแอลกอฮอล์อีกด้วย

แอลกอฮอล์ที่เป็นของเหลวสามารถเปลี่ยนรูปเป็นของแข็งได้จากการใส่สารที่ทำให้แข็งตัวทำให้แอลกอฮอล์จับตัวกันเป็นก้อนได้ ซึ่งการรวมตัวกันของแอลกอฮอล์แข็งสามารถเกิดขึ้นได้จากการทำปฏิกิริยากันระหว่างกรดสเตียริกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังสมการที่ (1)

$$C_{17}H_{35}COOH + NaOH = C_{17}H_{35}COONa + H_2O \quad (1)$$

จากปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดเกลือโซเดียมสเตียเรตที่เป็นโมเลกุลสายคาร์บอนยาวที่มีขั้ว เมื่อให้ความร้อนจะมีโครงสร้างตาข่ายสามมิติ กระจายตัวอยู่ในแอลกอฮอล์ หลังจากที่เย็นตัวลงแล้ว โมเลกุลของแอลกอฮอล์กับโซเดียมสเตียเรต จะมีโครงสร้างแข็งตัวเกิดเป็นผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์แข็ง [3]

ในสูตรการผลิตแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งนั้นมีวัตถุดิบที่ใช้คือแอลกอฮอล์จำพวกเอทานอลเป็นส่วนผสมหลัก ร่วมกับกรดสเตียริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ และอาจเติมหรือไม่เติมเซลลูโลส [5] โดยปัจจัยในการผลิตที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งนั้น ได้แก่ ปริมาณ Methylcellulose หรือ Ethylcellulose ที่ใช้เป็นสารรักษาสภาพ [6] ปริมาณกรดสเตียริก ปริมาณสารสีที่ผสม รวมถึงอุณหภูมิในกระบวนการผลิต [3] และการบรรจุภัณฑ์ [7] ทั้งนี้ จำเป็นจะต้องมีการทดสอบการผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแอลกอฮอล์แข็งสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง (มอก.950-2547) ซึ่งมีการทดสอบ เช่น ค่าความร้อน และน้ำหนักสุทธิ เป็นต้น [4]

ไขมันจากครัวเรือนเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากบ้านเรือนและร้านอาหารที่ได้จากถังดักไขมัน การดักน้ำมันและไขมันจากบ้านพักอาศัยจะช่วยทำให้ท่อระบายน้ำไม่อุดตันและส่งกลิ่นเหม็น ถังดักไขมันที่ไม่ผ่านตะแกรงจะมีน้ำมันและไขมัน 2,700 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าผ่านตะแกรงจะมีน้ำมันและไขมัน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนลักษณะน้ำเสียจากร้านอาหารจะมีน้ำมันและไขมัน 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร [8] เทศบาลตำบลเมืองแกลง จังหวัดระยอง มีการจัดการรวบรวมน้ำมันและไขมันจากบ่อดักไขมันมาที่เทศบาล แล้วนำมาตากแห้งแล้วปั้นเป็นก้อนเชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำในโรงฆ่าสุกร ไขมันที่มีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 50 สามารถนำมาทำก้อนเชื้อเพลิงได้ [9] โดยปัญหาที่พบจากการใช้งานก้อนไขมันเปล่าเป็นเชื้อเพลิงคือการจุดติดไฟยาก ดังนั้นการผสมวัสดุทางการเกษตรจึงอาจช่วยในการจุดติดไฟได้ดีขึ้น

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตและศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง และอายุเก็บรักษาของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งที่ผสมวัสดุทางการเกษตร โดยใช้แอลกอฮอล์เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมสกัดสารจากเมล็ดมะขามและกระชายดำเป็นวัตถุดิบหลัก และเพื่อผลิตและศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของไขมันจากครัวเรือนอัดแท่งที่ผสมวัสดุทางการเกษตร โดยใช้วัสดุทางการเกษตรคือแกลบขุยมะพร้าว และกิ่งมะม่วงสับ

2.วิธีการวิจัย

2.1 แอลกอฮอล์เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมสกัดสารจากเมล็ดมะขามและกระชายดำ

นำเอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 95 มาเป็นสารตัวทำละลายผงเมล็ดมะขามหรือผงกระชายดำ 100 กรัม เพื่อสกัดสารสำคัญทางอาหาร ด้วยสัดส่วนผงต่อตัวทำละลาย 1:20 สกัดที่ 50±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปั่นกวนทุก 15 นาที หลังจากนั้นกรองส่วนใสซึ่งมีของแข็งละลายทั้งหมด (Total Soluble Solid; TTS) 2 องศาบริกซ์ แล้วทำการระเหยที่ความดันต่ำ 0–200 mbar ที่ 45±5 องศาเซลเซียส จนกระทั่งของแข็งละลายทั้งหมด (TTS) เป็น 10 องศาบริกซ์ หลังจากทำการระเหยจะได้เอทานอลเหลือทิ้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 95 มาใช้ในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็ง [10]

2.2 ไขมันจากครัวเรือน

น้ำมันและไขมันจากบ้านเรือนและร้านอาหารถูกรวบรวมมาที่เทศบาลตำบลเมืองแกลง จังหวัดระยอง แล้วนำมาตากในร่ม เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 2 วัน จนกระทั่งมีลักษณะแข็งเป็นไข [8] หลังจากนั้นจะทำการสุ่มเก็บไขมันเพื่อมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2.3 การเตรียมวัสดุทางการเกษตร [11]

กิ่งมะม่วง แกลบ และขุยมะพร้าวได้จากสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ นำกิ่งมะม่วงมาสับย่อย ตากให้แห้ง นำแกลบมาปั่นบด และนำขุยมะพร้าวมาผ่านการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร (mesh no. 8) แล้วจึงนำวัสดุที่ร่อนผ่านตะแกรง เก็บไว้ในถุงซิปล็อค ภายในโถดูดความชื้น เพื่อรอใช้งานต่อไป

2.4 การเตรียมเชื้อเพลิง

2.4.1 แอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็ง [5]

ตวงเอทานอลปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร แล้วอุ่นจนอุณหภูมิเป็น 70 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นชั่งกรดสเตียริก 50 กรัม ละลาย

ในเอทานอลที่อุ่น เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟ 98% โดยชั่ง NaOH 100 กรัมในน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร เตรียมไว้ แล้วชั่งวัสดุทางการเกษตรอย่างละ 30 กรัม (แกลบบด ขุยมะพร้าว หรือกิ่งมะม่วง) ผสมในเอทานอลที่ละลายกรดสเตียริกแล้ว ผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นตวงสารละลาย NaOH 120 มิลลิลิตร เทใส่ในเอทานอลที่ผสมกรดสเตียริกและวัสดุทางการเกษตร โดยแยกการผลิตเป็นไม่ใส่วัสดุทางการเกษตร (ชุดควบคุม) และใส่วัสดุทางการเกษตรแต่ละชนิด หลังจากนั้นกวนสารผสมที่ได้ จะเริ่มแข็งตัว ใส่สารผสมในถ้วย ใส่แอลกอฮอล์แข็ง แล้วใช้ฟิล์มหดโพลีเอทิลีน (PE) หุ้มแล้วใช้เครื่องเป่าลมร้อนเป่าที่ฟิล์ม เพื่อหุ้มก้อนแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็ง ทั้งนี้ มีการแบ่งการทดลองออกดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชุดการทดลอง

ชุด	สูตรผสม
1	แอลกอฮอล์แข็งที่ไม่ใส่วัสดุเกษตร (ควบคุม)
2	แอลกอฮอล์แข็งที่ใส่กิ่งมะม่วงสับ
3	แอลกอฮอล์แข็งที่ใส่แกลบบด
4	แอลกอฮอล์แข็งที่ใส่ขุยมะพร้าว
5	ไขมันที่ไม่ผสมวัสดุ (ควบคุม 1)
6	ไขมันผสมแกลบบด
7	ไขมันผสมขุยมะพร้าว
8	ไขมันผสมกิ่งมะม่วง
9	ไขมันผสมเอทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ควบคุม 2)
10	ไขมันผสมเอทานอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแกลบบด
11	ไขมันผสมเอทานอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ และขุยมะพร้าว
12	ไขมันผสมเอทานอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกิ่งมะม่วง

2.4.2 ไขมันอัดแท่ง

ชั่งไขมัน 500 กรัม ชั่งวัสดุทางการเกษตร 100 กรัม ตวงเอทานอล 100 มิลลิลิตร และชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายในเอทานอล หลังจากนั้นทำการผสมไขมันกับวัสดุทางการเกษตรและเอทานอลตามชุดทดลองดังตารางที่ 1 แล้วอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงด้วยท่อและลูกสูบพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว จะได้เชื้อเพลิงอัดแท่ง น้ำหนัก 100 กรัม และยาว 10 เซนติเมตร โดยประมาณ

2.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุทางการเกษตร แอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็ง และไขมันอัดแท่ง

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ น้ำหนัก ค่าเถ้าที่เหลือของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งในสูตรผสมต่างๆ ตามชุดทดลอง ค่าความร้อนในกิ่งมะม่วงสับ แกลบบด ขุยมะพร้าว แอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งในสูตรผสมต่างๆ ตามชุดทดลอง และไขมันอัดแท่งในสูตรผสมต่างๆ ตามชุดทดลอง ด้วยเครื่องบอมบ์-แคลอริมิเตอร์ (PARR 6300, USA) ใช้การวิเคราะห์หาค่าความร้อนตามมาตรฐาน ASTM D5865

2.6 การทดสอบประสิทธิภาพของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งและไขมันอัดแท่ง

2.6.1 แอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็ง

ตวงน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วนำแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงมาจุดติดไฟให้ความร้อนแก่บีกเกอร์ โดยบันทึกอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น จับเวลาที่ก้อนเชื้อเพลิงเผาไหม้ทั้งหมด เวลาที่เริ่มติดไฟจนน้ำเดือด เวลาที่ทำให้น้ำเดือดคงที่ อุณหภูมิน้ำหลังไฟดับ น้ำหนักของน้ำก่อนต้ม และน้ำหนักของน้ำที่ระเหยเป็นไอน้ำ

ทำการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าและการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา [12], [13] โดยการคำนวณเถ้า (%) และประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%) จากสมการที่ (2) และ (3) ดังนี้

$$\text{เถ้า (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังเผา} - \text{น้ำหนักถ้วย})}{(\text{น้ำหนักก่อนเผา} - \text{น้ำหนักถ้วย})} \times 100 \quad (2)$$

$$\eta = \frac{(C_{water} \times W_{water} \times \Delta T) + (h_{vapour} \times W_{vapour})}{m \times LHV} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ η = Thermal Efficiency (%)

W_{water} = น้ำหนักน้ำที่ใช้ทดสอบ, กรัม

W_{vapour} = น้ำหนักน้ำที่ระเหยเป็นไอน้ำ, กรัม

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายของน้ำที่ได้จากการทดสอบ, องศาเซลเซียส

h_{vapour} = Latent Heat of Vaporizer, 2260 J/g °C

m = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้, กรัม

LHV = Lower Heating Value of fuel, J/g

C_{water} = Specific Heat of Water, 4.178 J/g °C

2.6.2 ไขมันอัดแท่ง

ตวงน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วนำไขมันอัดแท่งที่บ่มในที่ร่มเป็นระยะเวลา 3 เดือน จำนวน 20 กรัม มาจุดติดไฟให้ความร้อนแก่บีกเกอร์ โดยบันทึกเวลาที่เริ่มติดไฟจนน้ำเดือด และเวลาที่ทำให้น้ำเดือดคงที่

2.7 การทดสอบอายุเก็บรักษาของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็ง

เก็บแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งตามสูตรที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 0, 1, 2 และ 3 เดือน แล้วนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ น้ำหนัก เวลาที่ก้อนเชื้อเพลิงเผาไหม้ทั้งหมด เวลาที่เริ่มติดไฟจนน้ำเดือด และเวลาที่ทำให้น้ำเดือดคงที่

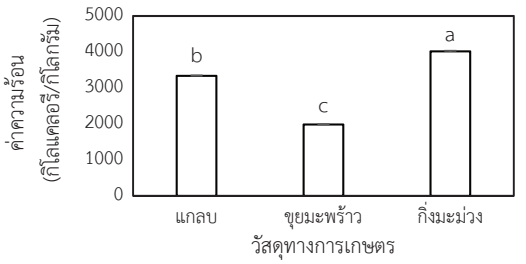
2.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลผลของการเก็บรักษาต่อประสิทธิภาพของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งและไขมันอัดแท่งมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 ด้วย ANOVA และ Tukey HSD ในโปรแกรม IBM SPSS

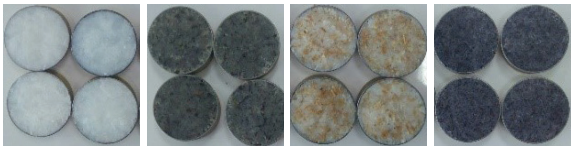
3.ผลการวิจัย

3.1 คุณสมบัติของวัสดุทางการเกษตร

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ค่าความร้อนของวัสดุทางการเกษตรทั้งสามชนิดพบว่า วัสดุทางการเกษตรทั้งสามชนิดมีค่าความร้อนสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เรียงตามลำดับจากมากไปน้อยคือ กิ่งมะม่วง แกลบบด และขุยมะพร้าว (4,020, 3,330 และ 1,980 ตามลำดับ รูปที่ 1) วัสดุที่มีคุณสมบัติด้านค่าความร้อนเหมาะสมต่อการเป็นเชื้อเพลิงในแอลกอฮอล์แข็ง คือ กิ่งมะม่วง และแกลบ เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงกว่า 3,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม [14], [15] ทั้งนี้การใช้วัสดุดังกล่าวแทนเซลลูโลสอาจช่วยเพิ่มค่าความร้อนให้กับแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็ง



รูปที่ 1 ค่าความร้อนของวัสดุทางการเกษตร



(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 2 แอลกอฮอล์แข็งที่ไม่ผสมวัสดุ (ก) แอลกอฮอล์แข็งที่ผสมกิ่งมะม่วง (ข) แอลกอฮอล์แข็งที่ผสมแกลบ (ค) และแอลกอฮอล์แข็งที่ผสมขุยมะพร้าว (ง)

3.2 ลักษณะทั่วไป

3.2.1 แอลกอฮอล์แข็งที่ผสมวัสดุทางการเกษตร

แอลกอฮอล์ที่ไม่ผสมวัสดุทางการเกษตรและที่ผสมวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ กิ่งมะม่วง แกลบบด และขุยมะพร้าว ที่ผลิตได้ มีลักษณะแข็งดังรูปที่ 2 แอลกอฮอล์แข็งชุดควบคุมมีสีขาวขุ่น [รูปที่ 2 (ก)] ในขณะที่แอลกอฮอล์แข็งที่ผสมกิ่งมะม่วงสับ มีสีเขียวเข้มปนเหลือง [รูปที่ 2 (ข)] สำหรับแอลกอฮอล์แข็งที่ผสมแกลบบดมีสีเหลืองอ่อน [รูปที่ 2 (ค)] และแอลกอฮอล์แข็งที่ผสมขุยมะพร้าวมีสีเทาปนม่วงอ่อน [รูปที่ 2 (ง)] ซึ่งสามารถสังเกตเห็นเศษวัสดุผสมอยู่ในแอลกอฮอล์แข็งทั้งสามชนิด ลักษณะทั่วไปของแอลกอฮอล์แข็งที่ผสมวัสดุทางการเกษตรมีสีสันและเป็นที่ต้องการของตลาดสำหรับกลุ่มผู้ซื้อที่สนใจ

3.2.2 ไขมันอัดแท่งที่ผสมวัสดุทางการเกษตร

จากรูปที่ 3 ไขมันเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ไม่ผสมวัสดุทางการเกษตรทั้งที่ไม่ผสมและผสมเอทานอลนั้นมีลักษณะและสีของไขมันจากครัวเรือน [รูปที่ 3 (ก) และ 3 (จ)] ไขมันเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผสมวัสดุทางการเกษตรจะมีลักษณะและสีของวัสดุทางการเกษตรตามลักษณะผสมของวัสดุทางการเกษตรนั้นๆ

รูปที่ 3 ไขมันที่ไม่ผสมวัสดุ (ก) ไขมันผสมแกลบ (ข) ไขมันผสมขุยมะพร้าว (ค) ไขมันผสมกิ่งมะม่วง (ง) ไขมันผสมเอทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ (จ) ไขมันผสมเอทานอล โซเดียมไฮดรอกไซด์และแกลบ (ฉ) ไขมันผสมเอทานอลโซเดียมไฮดรอกไซด์และขุยมะพร้าว (ช) และไขมันผสมเอทานอลโซเดียมไฮดรอกไซด์และกิ่งมะม่วง (ซ)

ไขมันเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผสมแกลบบดมีสีเหลืองของแกลบ [รูปที่ 3 (ข) และ 3 (ฉ)] ไขมันเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผสมขุยมะพร้าวมีสีน้ำตาลอ่อนของขุยมะพร้าว [รูปที่ 3 (ค) และ 3 (ช)] ไขมันเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผสมกิ่งมะม่วงมีสีน้ำตาลเข้มของกิ่งมะม่วงผสมอยู่ [รูปที่ 3 (ง) และ 3 (ซ)]

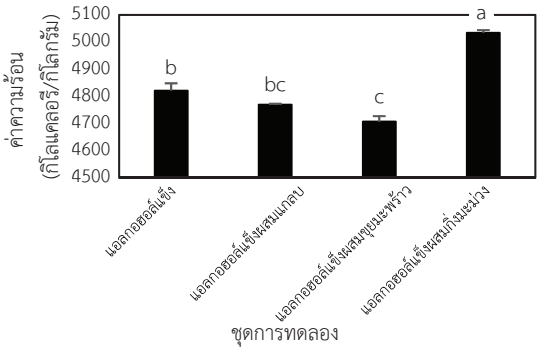
3.3 แอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งที่ผสมวัสดุทางการเกษตร

3.3.1 คุณสมบัติทางเคมี

จากผลการทดลองวิเคราะห์ค่าความร้อนของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งที่ผสมวัสดุทางการเกษตรทั้งสามชนิด (รูปที่ 4) พบว่า แอลกอฮอล์ชุดควบคุมที่ไม่ผสมวัสดุทางการเกษตรมีค่าความร้อนผ่านมาตรฐาน มอก.950-2547 (4,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) อยู่ที่ 4,820 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม นอกจากนี้แอลกอฮอล์แข็งที่ใส่กิ่งมะม่วงสับให้ค่าความร้อน (5,030 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) ที่สูงกว่าแอลกอฮอล์ชุดควบคุม แอลกอฮอล์แข็งที่ใส่แกลบบด และแอลกอฮอล์แข็งที่ใส่ขุยมะพร้าว (4,820, 4,770 และ 4,710 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ; $p<0.05$) จากการทดลองนี้สรุปได้ว่าแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งที่ผสมกิ่งมะม่วงให้ค่าความร้อนสูงที่สุด

3.3.2 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

จากการทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของแอลกอฮอล์แข็งที่ผสมวัสดุทางการเกษตร (รูปที่ 5) พบว่า ในวันที่ผลิต



รูปที่ 4 ค่าความร้อนของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งที่ผสมวัสดุทางการเกษตร

(เดือนที่ 0) เมื่อจุดติดไฟทดสอบแอลกอฮอล์แข็งชุดควบคุมและชุดที่ผสมวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ กิ่งมะม่วง แกลบบด และขุยมะพร้าว มีเวลาที่ก้อนเชื้อเพลิงติดไฟจนดับ [634-717 วินาที; รูปที่ 5 (ก)] เวลาที่เริ่มติดไฟจนน้ำเดือด [295-355 วินาที; รูปที่ 5 (ข)] และเวลาที่ทำให้น้ำเดือดคงที่ [233-279; รูปที่ 5 (ค)] ในทุกชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$)

เมื่อเก็บแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งเป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่า ระยะเวลาติดไฟ ระยะเวลาต้มน้ำเดือด และระยะเวลาที่น้ำเดือดคงที่ ของแอลกอฮอล์แข็งทุกชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างจากวันที่ผลิต (เดือนที่ 0; $p\geq0.05$)

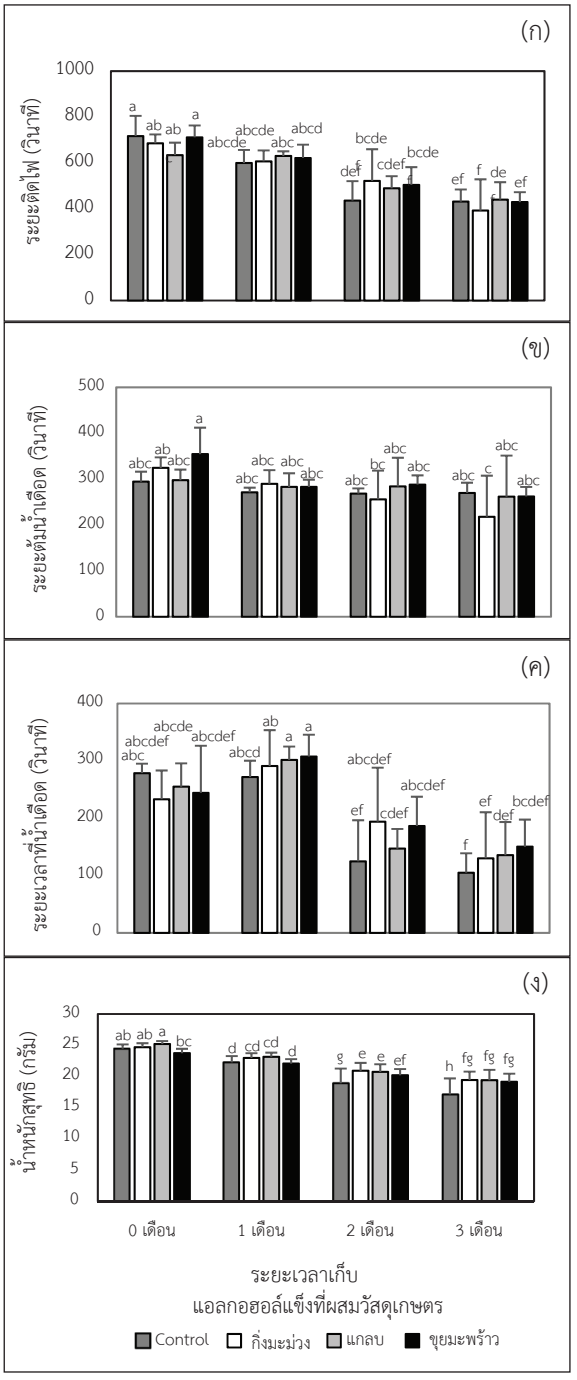
เมื่อเก็บแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งเป็นระยะเวลา 2 เดือน พบว่า ระยะเวลาติดไฟของชุดควบคุมที่ไม่ผสมวัสดุเกษตร (436 วินาที) และแอลกอฮอล์ที่ผสมขุยมะพร้าว (504 วินาที) มีค่าเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ [รูปที่ 5 (ก); $p<0.05$] เมื่อเทียบกับวันที่ผลิต (เดือนที่ 0; 717 และ 711 วินาที ตามลำดับ) ชุดควบคุมมีระยะเวลาที่น้ำเดือดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (125 วินาที; $p<0.05$) เมื่อเทียบกับวันที่ผลิต [เดือนที่ 0; 279 วินาที; รูปที่ 5 (ค)] แต่เมื่อเก็บแอลกอฮอล์ที่ผสมวัสดุเกษตรทั้งสามชนิดเป็นเวลา 2 เดือน พบว่า มีระยะเวลาต้มน้ำเดือดและเวลาที่ทำให้น้ำเดือดไม่แตกต่างจากวันที่ผลิต [เดือนที่ 0; รูปที่ 5 (ข) และ 5 (ค)]

ในเดือนที่ 3 พบว่า ระยะเวลาติดไฟของทุกชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยลดลง [392-440 วินาที; $p<0.05$; รูปที่ 5 (ก)]

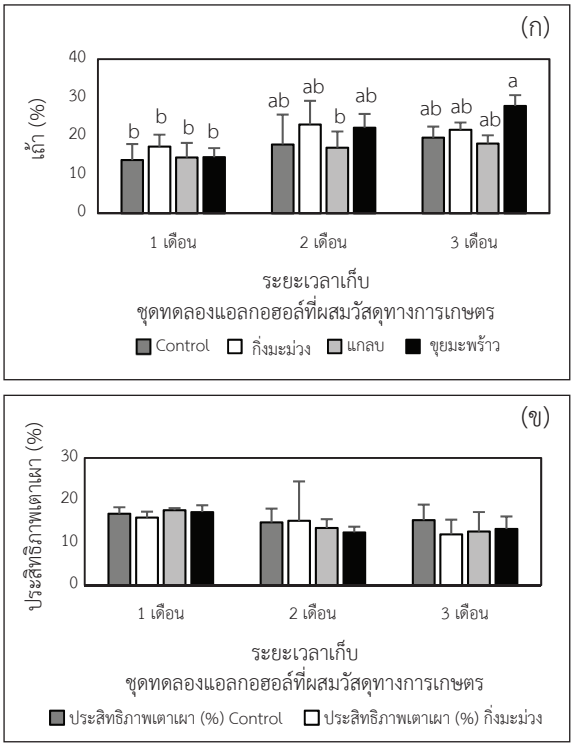
เมื่อเทียบกับวันที่ผลิต (เดือนที่ 0; 634-717 วินาที) และชุดควบคุมที่ไม่ผสมวัสดุเกษตรมีระยะเวลาที่น้ำเดือดลดลง [p<0.05; รูปที่ 5 (ค)] จะเห็นได้ว่าการผสมกิ่งมะม่วง แกลบ และขุยมะพร้าวอาจช่วยเพิ่มค่าความร้อนที่ใช้ในกระบวนการให้ความร้อนน้ำจนเดือดเป็นระยะหนึ่งได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อเก็บแอลกอฮอล์ที่ผสมกิ่งมะม่วงเป็นเวลา 3 เดือน พบว่า มีระยะเวลาต้มน้ำเดือดลดลงจากวันที่ผลิต [เดือนที่ 0; รูปที่ 5 (ข)] ซึ่งระยะเวลาต้มน้ำเดือดที่น้อยแสดงถึงการให้ความร้อนและทำให้น้ำเดือดได้ดี ในขณะที่เมื่อเก็บแอลกอฮอล์ที่ผสมแกลบเป็นเวลา 3 เดือน พบว่า มีระยะเวลาต้มน้ำเดือดและเวลาที่ทำให้น้ำเดือดไม่แตกต่างจากวันที่ผลิต [เดือนที่ 0; รูปที่ 5 (ข) และ 5 (ค)] จากการทดลองนี้แอลกอฮอล์ที่ไม่ใส่วัสดุเกษตร (ควบคุม) และแอลกอฮอล์ที่ผสมขุยมะพร้าวสามารถเก็บรักษาได้ 1 เดือน และแอลกอฮอล์ที่ผสมแกลบหรือกิ่งมะม่วงสามารถเก็บได้ 2 เดือน

น้ำหนักของแอลกอฮอล์แข็งที่ผสมวัสดุทางการเกษตรทั้งสามชนิด [24–25 กรัม; รูปที่ 5 (ง)] มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากชุดควบคุม (24 กรัม; p≥0.05) เมื่อเทียบกันในวันที่ผลิต (เดือนที่ 0) อย่างไรก็ตาม เมื่อเก็บแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งเป็นเวลา 1, 2 และ 3 เดือน พบว่า น้ำหนักของชุดควบคุมลดลงทุกเดือน (p<0.05) และมีน้ำหนักน้อยกว่าทุกชุดทดลองที่ผสมกิ่งมะม่วง แกลบ และขุยมะพร้าวในเดือนเดียวกัน (p<0.05) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากแอลกอฮอล์บางส่วนในแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งที่ไม่ถูกเซลลูโลสตรึงจึงสูญเสียไปหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 1, 2 และ 3 เดือน การเก็บแอลกอฮอล์ที่ผสมวัสดุเกษตรทั้งสามชนิดเป็นระยะเวลา 1, 2 และ 3 เดือน ทำให้มีน้ำหนักลดลงในแต่ละเดือน (p<0.05) แต่น้ำหนักที่ลดลงนั้นน้อยกว่าแอลกอฮอล์ชุดควบคุม

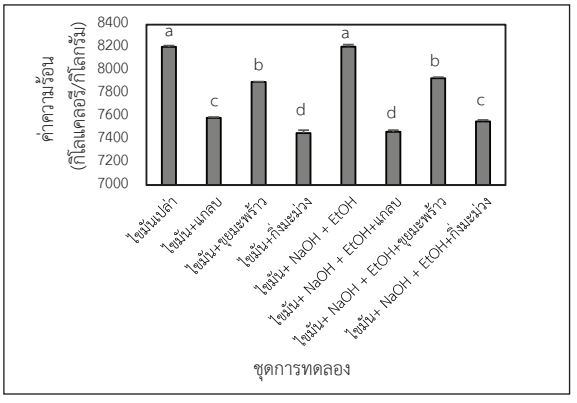
ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตโดยวิธีนี้เมื่อผสมขุยมะพร้าวสามารถเก็บรักษาอย่างน้อยหรือเก็บได้ 1 เดือน โดยให้ระยะเวลาติดไฟ ระยะเวลาต้มน้ำเดือด และระยะเวลาที่น้ำเดือดไม่ด้อยลงจากวันที่ผลิต แต่น้ำหนักของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งจะมีค่าลดลง และการผสมวัสดุทางการเกษตรช่วยชะลอการลดลงของน้ำหนักของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งได้



รูปที่ 5 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งที่ผสมวัสดุทางการเกษตร; ระยะเวลาติดไฟ (ก) ระยะเวลาต้มน้ำเดือด (ข) ระยะเวลาที่น้ำเดือด (ค) และน้ำหนักสุทธิ (ง)



รูปที่ 6 คุณสมบัติทางเคมีของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งและประสิทธิภาพของเตาเผา; เถ้า [%, (ก)] และประสิทธิภาพเตาเผา [%, (ข)]



รูปที่ 7 ค่าความร้อนของไขมันที่ผสมวัสดุทางการเกษตร

3.3.3 คุณสมบัติทางเคมีของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งและประสิทธิภาพของเตาเผา

เมื่อทดสอบจุดติดไฟแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็ง แล้วหาน้ำหนักเถ้า (รูปที่ 6) พบว่า เมื่อเก็บแอลกอฮอล์แข็งทุกชุดการทดลองเป็นระยะเวลา 1 เดือน มีค่าเถ้าเฉลี่ย [ร้อยละ 14–17, รูปที่ 6 (ก)] โดยเถ้าที่ได้หลังการเผาควรมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนักแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็ง จะทำให้ไม่เกิดปัญหาในการเผาไหม้และการกำจัดเถ้า [14], [15] เมื่อเก็บแอลกอฮอล์แข็งทุกชุดการทดลองเป็นระยะเวลา 2 เดือน มีค่าเถ้าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ [$p \geq 0.05$; รูปที่ 6 (ก)] แต่เมื่อเก็บแอลกอฮอล์แข็งที่ผสมกิ่งมะม่วงเป็นระยะเวลา 3 เดือน มีค่าเถ้าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 28 ทั้งนี้ จากการทดลองนี้พบว่า การเก็บแอลกอฮอล์แข็งที่ผสมกิ่งมะม่วงหรือแกลบเป็นระยะเวลา 2 และ 3 เดือน มีค่าเถ้าร้อยละ 22 และ 28 สำหรับกิ่งมะม่วง และร้อยละ 22 และ 23 สำหรับแกลบ ซึ่งสูงและอาจทำให้เกิดปัญหาการเผาไหม้และการกำจัดเถ้าได้ ดังนั้นแอลกอฮอล์ที่ผสมวัสดุทางการเกษตรทั้งสามชนิดสามารถเก็บได้ 1 เดือน [รูปที่ 5 (ข), 5 (ค) และ 6 (ก)]

ในส่วนของประสิทธิภาพของเตาเผาสำหรับการเผาทุกชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ [$p \geq 0.05$; รูปที่ 6 (ข)] ซึ่งแสดงว่าเตาเผาไม่ส่งผลต่อการทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งทุกชุดทดลอง

3.4 ไขมันที่ผสมวัสดุทางการเกษตร

3.4.1 คุณสมบัติทางเคมี

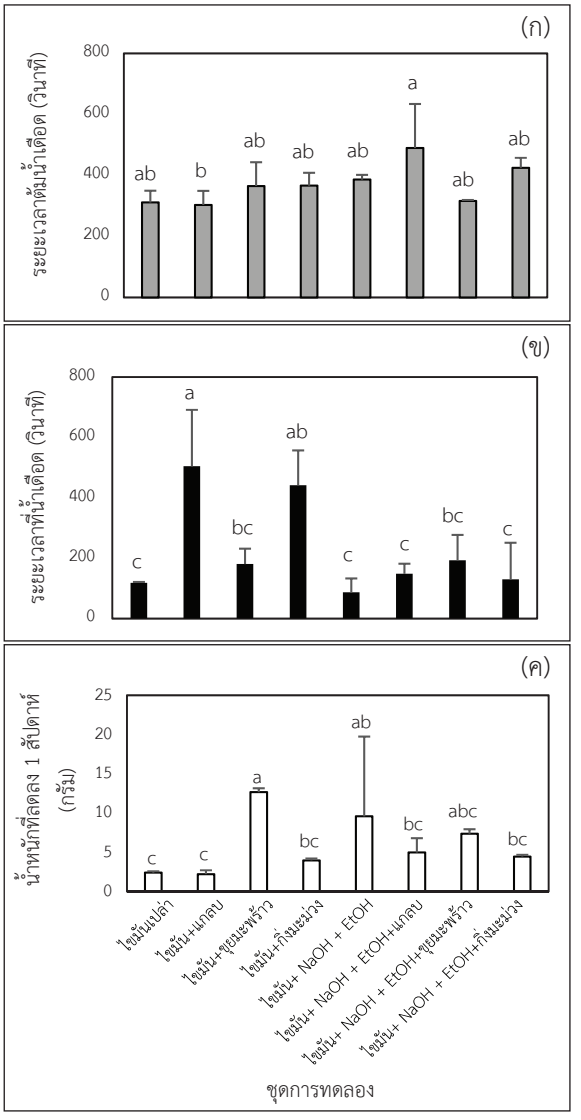
จากผลการทดลองวิเคราะห์ค่าความร้อนของไขมันอัดแท่งที่ผสมวัสดุทางการเกษตรทั้งสามชนิดเมื่อเก็บไขมันอัดแท่งชุดควบคุมและชุดทดลองไว้ 3 เดือน (รูปที่ 7) พบว่า ไขมันชุดควบคุมที่ไม่ผสมวัสดุทางการเกษตร (ควบคุม 1; ไขมันเปล่าและควบคุม 2; ไขมันผสมเอทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์) มีค่าความร้อนสูงที่สุด คือ 8,210 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ทั้งนี้เนื่องจากไขมันมีโครงสร้างและพันธะเคมีที่สะสมพลังงานไว้สูงกว่าวัสดุทางการเกษตรซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เมื่อเติมสูตรผสมและควบคุมน้ำหนักให้เท่ากันในการทดสอบค่าความร้อน ไขมันเปล่าจึงมีค่าความร้อนสูงที่สุดและรองลงมาคือ ไขมันผสมขุยมะพร้าวทั้งที่ไม่ผสมและผสมเอทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.4.2 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

จากผลการทดลองต้มน้ำเดือดด้วยไขมันอัดแท่งที่เก็บเป็นระยะเวลา 3 เดือน ในสูตรผสมต่างๆ (รูปที่ 8) พบว่า ไขมันผสมแกลบบดมีระยะเวลาต้มน้ำเดือดเร็วที่สุดและมีระยะเวลาที่น้ำเดือดนานที่สุด [504 วินาที $p<0.05$ รูปที่ 8 (ก) และ 8 (ข)] โดยไขมันผสมแกลบบดมีระยะเวลาต้มน้ำเดือดที่เร็วกว่า (303 วินาที) ไขมันผสมเอทานอล โซเดียมไฮดรอกไซด์และแกลบบด (490 วินาที $p<0.05$) ส่วนผลของการศึกษาระยะเวลาที่น้ำเดือดพบว่า การเติมเอทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ลดระยะเวลาที่น้ำเดือดในไขมันผสมแกลบบด และไขมันผสมกิ่งมะม่วง [$p<0.05$ รูปที่ 8 (ข)]

นอกจากนี้หลังจากการเก็บไขมันเชื้อเพลิงอัดแท่งทุกสูตรผสมนาน 1 สัปดาห์ ก่อนบ่มต่อจนครบ 3 เดือน ยังพบว่าไขมันผสมขุยมะพร้าวมีน้ำหนักลดลงมากที่สุด [ร้อยละ 13 $p<0.05$ รูปที่ 8 (ค)] และรองลงมาเป็นไขมันผสมเอทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ [ควบคุม 2 ร้อยละ 10 รูปที่ 8 (ค)] ไขมันผสมแกลบบดมีน้ำหนักเมื่อเก็บ 1 สัปดาห์ลดลงน้อยที่สุด [ร้อยละ 2 รูปที่ 8 (ค)]

เมื่อผสมแอลกอฮอล์และโซเดียมไฮดรอกไซด์กับไขมันและวัสดุเกษตรอาจช่วยหรือไม่ช่วยเพิ่มค่าความร้อนของไขมันอัดแท่งเชื้อเพลิง (รูปที่ 7) ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุเกษตร เช่น องค์ประกอบทางเคมีในชีวมวลที่แตกต่างกัน และการผสมเอทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ยังลดคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงลง คือ เพิ่มระยะเวลาต้มน้ำเดือดเมื่อผสมแกลบ [รูปที่ 8 (ก)] ซึ่งสอดคล้องกับการลดค่าความร้อนลงเมื่อผสมแกลบ (รูปที่ 7) และยังลดระยะเวลาที่น้ำเดือดลงอีกด้วย [รูปที่ 8 (ข)] จากคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของไขมันผสมวัสดุเกษตรสรุปได้ว่า ระยะเวลาต้มน้ำเดือดและระยะเวลาที่น้ำเดือดของไขมันผสมแกลบบดดีที่สุดเมื่อเทียบกับไขมันผสมขุยมะพร้าว ไขมันผสมกิ่งมะม่วง และไขมันชุดควบคุม ถึงแม้ว่าไขมันผสมขุยมะพร้าวจะให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าก็ตาม



รูปที่ 8 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของไขมันอัดแท่งที่ผสมวัสดุทางการเกษตร; ระยะเวลาต้มน้ำเดือด (ก) ระยะเวลาที่น้ำเดือด (ข) และน้ำหนักที่ลดลงเมื่อบ่ม 1 สัปดาห์ (ค)

4. อภิปรายผลและสรุป

วัสดุทางการเกษตรที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงควรมีค่าร้อนไม่ต่ำกว่า 3,000 แคลอรี่ต่อกรัม [14], [15] จากผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของกิ่งมะม่วง แกลบ และขุยมะพร้าวพบว่า กิ่งมะม่วงและแกลบมีค่าความร้อนที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิง สำหรับการผลิตแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งด้วยเอทานอลเหลือทิ้งทางอุตสาหกรรมพบว่าแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งที่ไม่ผสมวัสดุทางการเกษตรและแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งที่ผสมกิ่งมะม่วงมีค่าความร้อนสูง

ผ่านมาตรฐาน มอก.950-2547 (4,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) แอลกอฮอล์แข็งที่ผสมกิ่งมะม่วงมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ดีกว่าแอลกอฮอล์แข็งควบคุมที่ไม่ผสมวัสดุเกษตร คือมีระยะเวลาต้มน้ำเดือดน้อยกว่าเมื่อเก็บเป็นเวลา 3 เดือน ทั้งนี้ การผสมวัสดุทางการเกษตร (กิ่งมะม่วงแกลบ และขุยมะพร้าว) ช่วยชะลอการลดลงของน้ำหนักของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็ง แต่อย่างไรก็ตาม แอลกอฮอล์ที่ผสมกิ่งมะม่วงมีค่าเถ้าเพิ่มขึ้นซึ่งอาจส่งผลต่อการเผาไหม้และการกำจัดเถ้าเมื่อเก็บแอลกอฮอล์แข็งไว้เกิน 1 เดือน ถึงแม้แอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งที่ผสมกิ่งมะม่วงจะมีค่าความร้อนที่ดีกว่า และเก็บรักษาได้นานกว่าแอลกอฮอล์แข็งที่ไม่ผสมวัสดุเกษตร

ค่าความร้อนของแอลกอฮอล์แข็งที่ผสมกิ่งมะม่วงมีค่าสูงอาจเนื่องมาจากค่าความร้อนของกิ่งมะม่วงที่สูง ส่วนแกลบนั้นมีค่าความร้อนสูงกว่าขุยมะพร้าวแต่เมื่อผสมในแอลกอฮอล์แข็งแล้ว พบว่า มีค่าความร้อนไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 4) ทั้งนี้อาจเนื่องมากจากขุยมะพร้าวอาจมีการดูดซับแอลกอฮอล์ได้ดีจึงทำให้มีค่าความร้อนที่ดีด้วย

สำหรับการผลิตแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งจำเป็นต้องมีการพัฒนาให้ผ่านมาตรฐาน มอก.950-2547 ต่อไป เช่น อายุการเก็บรักษา 6 เดือน เสถียรภาพของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งและน้ำหนักสุทธิ เป็นต้น [4] จากการทดลองนี้พบว่า ในวันที่ผลิตแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งนั้น แอลกอฮอล์ที่ผสมกิ่งมะม่วงมีค่าความร้อนและน้ำหนักสุทธิที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อเก็บรักษานานในแต่ละเดือนมีค่าน้ำหนักสุทธิลดลงซึ่งส่งผลต่อเสถียรภาพของแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งและทำให้มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงลดลง (รูปที่ 5) และไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว

ในส่วนของการผลิตไขมันเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้น พบว่าการผสมขุยมะพร้าวทำให้ไขมันอัดแท่งมีค่าความร้อนสูงกว่าการผสมแกลบบดและกิ่งมะม่วงเมื่อเทียบต่อน้ำหนักที่เท่ากัน (รูปที่ 7) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากความชื้นในขุยมะพร้าวที่อาจสูงกว่าวัสดุอื่น เมื่อบ่มไว้เป็นเวลานาน จึงมีน้ำหนักลดลงอย่างมาก [รูปที่ 8 (ค)] เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความร้อนในน้ำหนักที่เท่ากันกับชุดทดลองอื่นจึงอาจมีสัดส่วนไขมันที่มากและให้ค่าความร้อนที่สูงตามไปด้วย

ความชื้นของวัสดุทางการเกษตรมีผลต่อน้ำหนักที่ลดลงโดยเฉพาะไขมันที่ผสมขุยมะพร้าว ความชื้นที่เหมาะสมต่อการนำวัสดุเกษตรมาทำเชื้อเพลิงนั้นไม่ควรเกินร้อยละ 50 [15] จากการวิเคราะห์เบื้องต้นของกิ่งไม้รวมปนแห้งของเทศบาลอำเภอแกลง จังหวัดระยอง พบว่า มีความชื้นร้อยละ 16 มีสารระเหยร้อยละ 65.6 มีถ่านคงตัวร้อยละ 15 มีค่าเถ้าร้อยละ 3.4 และมีค่าความร้อน 4,020 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (ไม่ได้แสดงผล) ส่วนความชื้นของก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลที่ดีควรมีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8–15 [15]

ไขมันชุดการทดลองที่ผสมเอทานอล และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ชุดควบคุม 2) นั้น อาจเกิดหรือไม่เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาของการเกิดไบโอดีเซล กล่าวคือน้ำมันหรือไขมันทำปฏิกิริยากับเอทานอลโดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [16], [17] ทั้งนี้กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมีปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาหลายอย่าง ได้แก่ ผลของความชื้น และกรดไขมันอิสระ โดยน้ำจะเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสบู่ ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน โดยแอลกอฮอล์ที่ใช้ต้องมากพอที่จะทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาผันกลับ และผลของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจำเป็นต้องอาศัยอุณหภูมิที่เหมาะสม [17] ไขมันทุกชุดทดลองให้ค่าความร้อนที่สูง (7,450–8,210 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง (3,420–4,180 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) [15] แต่อย่างไรก็ตาม การเผาไหม้ไขมันอัดแท่งเชื้อเพลิงในการทดลองนี้ให้กลิ่นและควันซึ่งอาจไม่เหมาะสมในการใช้งานในระบบเปิด จากการทดลองนี้ ไขมันที่ผสมแกลบบดมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงในการต้มน้ำเดือดที่ดีที่สุด คือมีระยะเวลาต้มน้ำจนเดือดเร็วที่สุด (303 วินาที) และระยะที่ทำให้น้ำเดือดนานที่สุด (504 วินาที) ดังนั้นการผสมแกลบช่วยเพิ่มการติดไฟและมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ดีกว่าการไม่ผสมวัสดุเกษตรถึงแม้จะการผสมแกลบจะมีค่าความร้อนที่น้อยกว่าการผสมขุยมะพร้าวก็ตาม

การผสมเอทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ลดค่าความร้อนของไขมันผสมแกลบบด 120 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

(รูปที่ 7) แต่ช่วยเพิ่มค่าความร้อนของไขมันผสมกิ่งมะม่วง 100 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ในขณะที่การผสมแอลกอฮอล์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในไขมันที่ผสมขุยมะพร้าวมีค่าความร้อนไม่แตกต่างกับการไม่ผสม (7,930 และ 7,900 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ; รูปที่ 7) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขุยมะพร้าวอาจดูดซับเอทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ไว้ ทำให้มีค่าความร้อนไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่แกลบเมื่อผสมกับเอทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้มีการเปลี่ยนรูปที่ให้ค่าความร้อนน้อยลง เช่น การระเหยของเอทานอล แต่เมื่อผสมกิ่งมะม่วงกับเอทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้มีการเปลี่ยนรูปที่ให้ค่าความร้อนมากขึ้น

การผลิตไขมันเชื้อเพลิงอัดแท่งควรมีการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีเพิ่มเติมทั้งในส่วนของวัสดุเกษตรและไขมันอัดแท่ง เช่น ค่าสารระเหยได้ ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าคาร์บอนคงตัว รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมี เช่น ธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงและลักษณะที่เหมาะสมต่อการใช้งานของแท่งเชื้อเพลิง [15] และนอกจากนี้ในการใช้งานจำเป็นต้องคำนึงถึงระบบปิดหรือระบบเตาเผาที่ใช้ด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยงบสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ประจำปีงบประมาณ 2561 รวมทั้งขอขอบคุณเทศบาลตำบลเมืองแกลง จังหวัดระยอง สำหรับการสนับสนุนไขมันจากครัวเรือน และบุคลากรสาขาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ สำหรับการสนับสนุนเครื่องสับย่อยกิ่งไม้

เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2013, September). Potential of Biomass. Ministry of Energy. Bangkok, Thailand [Online]. Available: http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html

[2] S. Choojun, *Organic Acid Production from Biomass Residue*. Bangkok: Chulalongkorn University Press, 2011, pp. 4–15 (in Thai).

[3] H. Du, J. Fan, and W. Wu, "Rapid preparation of solid alcohol," *Advance Materials Research*, vol. 781–784, pp. 131–134, 2013.

[4] Thai Industrial Standards Institute. Thai Industrial Standard for Solid Fuel Alcohol 950-2547. Ministry of Industry. Bangkok, Thailand [Online]. Available: https://www.tisi.go.th/data/standard/fulltext/TIS-950-2547m.pdf

[5] S. Kulwatanaporn, "Production of solid alcohol," *Science and Technology Journal*, vol. 15, no. 3, pp. 75–77, 2000.

[6] D. W. Knight and I. R. Morgan, "Alcohol-containing compositions useful as solid fuels and processes for their manufacture," Patent no. US20150111972A1, 2012.

[7] G. Pristouri, A. Badeka, and M. Kontominas, "Effect of packaging material headspace, oxygen and light transmission, temperature and storage time on quality characteristics of extra virgin olive oil," *Food Control*, vol. 21, no. 4, pp. 412–418, 2010.

[8] D. Sirivilai, C. Poboon, and W. Phoochinda, "Wastewater management of local authorities: A case study of Muangklang Municipality, Rayong Province," *NIDA Journal of Environmental Management*, vol. 8, no. 2, pp. 1–19, 2012 (in Thai).

[9] S. Mungmeesith, "Construction of biomass furnace for local community," *Silpakorn University Journal*, vol. 1199, no. 40, pp. 1–50, 2011 (in Thai).

[10] Expert Center of Innovative Herbal Products, "Extract from black Ginger and Tamarind seed,"

Thailand Institute of Scientific and Technological Research, PathumThani, Thailand, 2017 (in Thai).

[11] S. Kanokpanont, S. Inthaphunt, and A. Bunsiri, "Synthesis of carboxymethyl cellulose from young coconut husk," *Songklanakarin Journal of Plant Science*, vol. 4, no. 4, pp.60–65, 2017 (in Thai).

[12] K. Chaiwong, N. Wichan, A. Santawee, J. Tawornngamyingsakul, and T. Junhom, "Effect of inlet air flow on thermal efficiency of Bio-char stove on agricultural waste" *RMUTL Engineering Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 37–42, 2016.

[13] N. Namkam, "Efficiency evaluation on biomass furnace combustion chamber of refractory insulator," *Science and Technology of Nakorn Sawan Rajabhat University Journal*, vol. 9, no. 9, pp. 37–49, 2017 (in Thai).

[14] N. Tangmunkongworakul, "The production of fuel briquettes from bio-agricultural wastes and household wastes," *Srinakharinwirot University Journal of Science and Technology*, vol. 6, no. 11, pp. 66–77, 2014 (in Thai).

[15] L. Wattanachira, N. Laapan, V. Chatchavarn, A. Thanyacharoen, and P. Rakruam, "Development of biobriquettes from mixed rice-strawand longan waste residues," *KMUTT Research and Development Journal*, vol. 39, no. 2, pp. 239–255, 2016 (in Thai).

[16] K. Wanchai and P. Prangbang, "Biodiesel production from palm oil using KI/CaO/Al_2O_3 as a solid base catalyst," *Thai Science and Technology Journal*, vol. 23, no. 5, pp. 774–782, 2015 (in Thai).

[17] S. Chirachakhrit. (2009, January). Biodiesel production from use vegetable oil. *Engineering Journal Siam University* [Online]. 18(1), pp. 1–8. Available: http://ejsu.siam.edu/journals/PDF_18/5.pdf