

ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา *

Molding and binding method on properties of fuel from water hyacinth

นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล (Nipon Tanpaiboonkul) **

ธรรพ์ บุศย์น้ำเพชร (Tharaporn Budnumpetch) ***

บทคัดย่อ

ในการศึกษาความแตกต่างของวิธีการขึ้นรูปที่มีต่อสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง อัดเม็ด ต้นทุนต่อหน่วยจากผักตบชวา โดยใช้แป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ในอัตราส่วนคือ 3:1 3:2 3:3 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ตามลำดับ และเมื่อใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานในอัตราส่วน 3:5 3:6 3:7 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ตามลำดับ การศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาที่มีกากมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ในอัตราส่วน 3:3 มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงที่สุดร้อยละ 73.3 และมีค่าความหนาแน่นสูงสุด 0.443 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวาที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ในอัตราส่วน 3:3 มีค่าความร้อนสูงสุดคือ 3, 831.98 แคลอรี/กรัม และมีค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอยู่ระหว่าง 0.90-0.99 เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานจริงพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวาที่ใช้แป้งมันเป็นตัวประสาน ในอัตราส่วน 3:3 ให้อุณหภูมิสูงสุดที่ระดับ 89.2 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 60 นาทีแรก และเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิงรูปแบบต่างๆที่ทำการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวาที่ใช้กากมันสำปะหลังเป็นตัวประสานในอัตราส่วน 3:1 มีต้นทุนการผลิตต่ำสุดคือ 3.08 บาท/กิโลกรัม

คำสำคัญ : กากน้ำตาล กากมันสำปะหลัง เชื้อเพลิงอัดแท่ง เชื้อเพลิงอัดเม็ด แป้งมันสำปะหลัง ผักตบชวา

* เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย หลักสูตรเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (Assistant Professor, Department of Environment Technology, Faculty of Environment and Resource Studies, Maharakham University)

*** อาจารย์ ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (Under graduated, Department of Environment Technology, Faculty of Environment and Resource Studies, Maharakham University Corresponding author, tharaporn.b@msu.ac.th)

Abstract

The properties and cost per unit of fuel briquettes and pellets were studied with the different methods for molding. The mixtures including water hyacinth, cassava powder, cassava sludge as binder were mixed for a ratio of 3:1, 3:2, 3:3 (w/w) and molasses that used of as binder were mixed for ratio of 3:5, 3:6 and 3:7(w/v), respectively, The results found that maximum of fixed carbon and density of the fuel pellets of cassava sludge in the ratio of 3:3 showed 73.34% and 0.443 grams/ cubic centimeter and heat value from the water hyacinth mix with cassava pellet ratio 3:3 was indicated 3,831.98 calories/gram. The brittleness index have between 0.90 - 0.99. The fuel efficiency of fuel briquettes ratio of 3:3 was showed highest temperature during the first 60 minutes at 89.2 °C. In addition, when comparing the three kinds of binder, the fuel pellets ratio with cassava sludge ratio of 3:1 has the lowest production cost as 3.08 baht/kilogram

Keywords: Cassava pulp, fuel briquettes/pellets, molasses, water hyacinth

บทนำ

ชีวมวลเป็น สิ่งที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น ต้นไม้ อ้อย มันสำปะหลัง ถ่านฟืนแกลบ วัชพืชต่าง ๆ หรือ แม้กระทั่ง ขยะและมูลสัตว์ ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานชีวมวลอยู่มาก หากรู้จักนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ เราจะสามารถลดการใช้พลังงานด้านอื่น อาทิ พลังงานจากน้ำมัน ไฟฟ้า แก๊ส ถ่านหิน ฯลฯ ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดการสูญเสียเงินตราของประเทศ ในการนำเข้าเชื้อเพลิงดังกล่าวอีกด้วย ดังนั้นการคิดค้นและพัฒนาการนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ จึงเป็นการแสวงหาหนทางใหม่ ในการใช้พลังงานเพื่ออนาคต ในขณะเดียวกันก็ต้องพยายาม ลดความสูญเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพ ในการใช้พลังงานด้วยเช่นกัน พลังงานจากชีวมวลสามารถนำมาใช้ได้โดยผ่านกระบวนการทางความร้อนและกระบวนการชีวภาพ การใช้พลังงานชีวมวลโดยกระบวนการที่ใช้ความร้อน เราจะเห็นได้ทั่วไปในลักษณะของการนำถ่านไม้ หรือฟืนมาจุดไฟ เพื่อให้เกิดความร้อน สำหรับนำไปใช้ในการหุงต้มอาหาร หรือประโยชน์ในด้านอื่น ๆ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือ การขาดทรัพยากรป่าไม้ ถ่าน และฟืนซึ่งหาได้ยากและมีราคาแพงขึ้น ดังนั้น เราจึงจำเป็นต้องพัฒนาการใช้พลังงานจากชีวมวลให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และให้มีการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ให้น้อยที่สุด ชีวมวลเหล่านี้ บางส่วนได้ถูกนำไปใช้เพื่อการผลิตอยู่แล้ว เช่น แกลบจะถูกนำมาเผา เพื่อผลิตไอน้ำ นำไปหมุนกังหันใช้งาน ในโรงสีข้าว กากอ้อยและกากปาล์ม จะถูกนำมาเผาเพื่อผลิตไอน้ำ และไฟฟ้าใช้ในขบวนการผลิต และเศษไม้ยางพารา จะถูกนำมาเผา เพื่อผลิตถ่านร้อน ใช้ในการอบไม้ยางพารา เป็นต้น และเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากชีวมวล มีหลายประเภท อาทิ การสันดาป การผลิตเชื้อเพลิงเหลว การผลิตก๊าซ เชื้อเพลิง การผลิตก๊าซโดยการหมัก การผลิตไฟฟ้าโดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง เตาแก๊สชีวมวล เป็นต้น (สยามไบโอเอ็นเนอร์ยี, 2555)

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งผลิตได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เปลือกไม้ เศษไม้ ปีกไม้ หรือจากอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ เช่น ขี้เลื่อยนำมาผ่านกระบวนการย่อยและลดความชื้นแล้วนำมาอัดเป็นแท่ง ซึ่งมีคุณสมบัติให้ค่าความร้อนสูง ค่าความชื้นต่ำ (ในระหว่าง 8-15%) ซึ่งเหมาะสำหรับนำไปใช้งานเป็นเชื้อเพลิงในหม้อต้มน้ำหรือใช้ในเตาเผาในอุตสาหกรรมหรือในครัวเรือนต่างๆ การศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดต้องศึกษาน้ำหนักของเชื้อเพลิงรูปร่างและการจัดเก็บ เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณคาร์บอนที่เสถียรเป็นองค์ประกอบอยู่สูงแต่มีสารที่ระเหยได้ปริมาณต่ำ เชื้อเพลิงที่มีค่าความชื้นสูงจะมีผลทำให้ค่าความร้อนต่ำ เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดี เช่น ถ่านที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดี แต่สำหรับการใช้ถ่านเพื่อการหุงต้มในครัวเรือนนั้นถ่านที่มีคุณภาพดีที่สุดไม่จำเป็นต้องเป็นถ่านที่มีค่าความร้อนสูงสุด (สุพจน์, 2546)

ประเทศไทยได้รับความเดือดร้อนจากการแพร่กระจายของผักตบชวา ซึ่งเป็นพืชน้ำที่แพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เป็นปัญหาต่อแหล่งน้ำในการระบายและการคมนาคมซึ่งเป็นความลำบากขัดข้องแก่การเดินทางในแม่น้ำลำคลองทั่วไป (สุธีรา, 2557) นอกจากนี้ผักตบชวายังก่อให้เกิดปัญหาแก่งการที่เกี่ยวข้องกับแหล่งน้ำหลายด้าน เช่น ด้านการชลประทานก่อให้เกิดอัตราการไหลของน้ำในแหล่งน้ำลดลงและยังเป็นอุปสรรคต่อระบบประปาหรือน้ำดื่ม ด้านการไฟฟ้าพลังน้ำก่อให้เกิดการแย่งพื้นที่ในการกักเก็บน้ำในอ่าง ด้านการประมงก่อให้เกิดการลดลงของพื้นที่แหล่งน้ำหรือทำให้แสงสว่างในแหล่งน้ำลดลง ด้านการกสิกรรมก่อให้เกิดปัญหาการขึ้นน้ำให้แก่นาข้าว และการสาธารณสุขก่อให้เกิดเป็นที่ยู่ออาศัยของสัตว์พาหะนำโรคต่างๆ เป็นต้น (ศุภฤกษ์ และคณะ 2554) จากปัญหาดังกล่าวทำให้ในแต่ละปีหน่วยงานราชการต้องสูญเสียงบประมาณในการดำเนินงานเป็นจำนวนมาก จากปัญหาดังกล่าวทำให้มีการนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้แก่ ใช้บำบัดน้ำเสีย ใช้เป็นพืชดูดกลืนโลหะหนักที่มีในน้ำเสียได้เป็นอย่างดีโดยใช้ขบวนการดูดซับ(สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2559) ใช้ประดิษฐ์กระเป๋ และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ซึ่งนิยมใช้ในประเทศไทยแล้ว ยังสามารถส่งออกไปขายต่างประเทศอีกด้วย (อรุณีย์, 2557) นอกจากนี้ผักตบชวายังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานได้ เช่นการทำให้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ โดยใช้ส่วนผสมได้แก่ผักตบชวตากแห้งและบดให้มีขนาดเล็กและใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานเพื่อการขึ้นรูปหรือขึ้นรูปเป็นชีวมวลอัดแท่งร่วมกับแกลบเผา เป็นต้น (สุพรรณ และ จักรมาส, 2552)

ดังนั้นเพื่อเป็นการต่อยอดการใช้ประโยชน์จากผักตบชวาในด้านพลังงาน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษารูปแบบการขึ้นรูปเชื้อเพลิง จากผักตบชวาโดยเปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงที่มีการขึ้นรูปด้วยวิธีการที่แตกต่างกันคือแบบอัดแท่งและแบบอัดเม็ด มีสมมติฐานว่ารูปแบบของการขึ้นรูปเชื้อเพลิงจากผักตบชวานั้นมีส่วนช่วยให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยทำการศึกษาวิธีการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกัน ก่อนนำไปศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิง ต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ผักตบชวานำมาจากลำน้ำชี อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม แป้งมันสำปะหลังตราแมวแดงดาวเทียม ลูกโลก ซื้อมาจากท้องตลาดทั่วไป กากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลังจากโรงงานแป้งมัน ในจังหวัดกาฬสินธุ์ กากน้ำตาลซื้อมาจากร้านเกษตรภัณฑ์ ในจังหวัดมหาสารคาม และน้ำประปา

การเตรียมวัตถุดิบ

ผักตบชวา

นำผักตบชวามาหั่นเป็นท่อนๆ ขนาด 1 เซนติเมตร โดยประมาณ จากนั้นนำไปเข้าเครื่องสับใบไม้ กิ่งไม้ เพื่อย่อยให้ผักตบชวาละเอียดและมีขนาดเล็กลง เพื่อเพิ่มพื้นที่ยึดเกาะระหว่างตัวประสานกับผักตบชวา ซึ่งผักตบชวาที่เตรียมได้มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำผักตบชวาที่ผ่านการลดขนาดแล้วแล้วไปตากแดดกลางแจ้งเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อไล่ความชื้นออกจากผักตบชวา ก่อนนำไปวิเคราะห์สมบัติและนำไปขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง/อัดเม็ด ต่อไป

ตัวประสานที่ศึกษา

แป้งมันสำปะหลัง

นำแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำประปาทิ้งไว้ให้เข้ากัน ก่อนอุ่นให้ความร้อนประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส จนมีความเหนียวเพื่อนำไปใช้เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งและถ่านอัดเม็ดจากผักตบชวา ที่อัตราส่วนผักตบชวาต่อแป้งมันสำปะหลัง 3:1, 3:2 และ 3:3 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ตามลำดับ

กากมันสำปะหลัง

นำกากมันสำปะหลังตากแดดกลางแจ้งเป็นเวลา 1 สัปดาห์ จนแห้งซึ่งจะมีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดหรือให้มีขนาดเล็กลงก่อนนำไปผสมกับน้ำประปา อุ่นให้ความร้อนประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส กวนจนเป็นเนื้อเดียวกันและมีความเหนียวก่อนนำไปใช้เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งและถ่านอัดเม็ดจากผักตบชวา ที่อัตราส่วนผักตบชวาต่อกากมันสำปะหลัง 3:1, 3:2 และ 3:3 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ตามลำดับ

กากน้ำตาล

กากน้ำตาลเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้มและมีความเหนียวมาก สามารถหาซื้อได้จากท้องตลาดทั่วไป โดยนำไปผสมกับผักตบชวาเพื่อขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ทันที ที่อัตราส่วนผักตบชวาต่อกากน้ำตาล 3:1, 3:2, 3:3, 3:4, 3:5, 3:6, 3:7 และ 3:8 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ตามลำดับ

อัตราส่วนผสม

ออกแบบอัตราส่วนผสมผักตบชวาต่อตัวประสาน โดยใช้แป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง เริ่มต้นที่อัตราส่วน 3:1-3:3 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) และกากน้ำตาลเริ่มต้นที่อัตราส่วน 3:1-3:8 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนตัวประสานและวิธีการขึ้นรูปโดยแสดงในตารางที่ 1

การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งและอัดเม็ดของผักตบชวาผสมแป้งมันสำปะหลัง/กากมันสำปะหลังทำโดย ผักตบชวาและตัวประสานชนิดต่างๆ ตามตารางที่ 1 ถ้าตัวประสานเป็นของแข็งให้นำตัวประสานผสมน้ำสะอาด 1,200 มิลลิลิตร กวนผสมโดยใช้ความร้อน 50-60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีลักษณะเหนียว จึงนำมาผสมกับผักตบชวาคลุกให้เข้ากันก่อนนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัดแท่งและเครื่องขึ้นรูปแบบอัดเม็ด ในขณะที่เมื่อใช้ตัวประสานเป็นของเหลวให้ตวงตามอัตราส่วนที่กำหนดก่อนคลุกเคล้าและนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแท่ง/อัดเม็ดต่อไป

ตารางที่ 1 อัตราส่วนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง/เชื้อเพลิงอัดเม็ด

อัตราส่วนของการขึ้นรูปเชื้อเพลิง ผักตบชวา : ตัวประสาน		
แป้งมันสำปะหลัง (น้ำหนักต่อน้ำหนัก)	กากมันสำปะหลัง (น้ำหนักต่อน้ำหนัก)	กากน้ำตาล (น้ำหนักต่อปริมาตร)
กรัม/กรัม	กรัม/กรัม	กรัม/มิลลิลิตร
อัดแท่ง/อัดเม็ด	อัดแท่ง/อัดเม็ด	อัดแท่ง/อัดเม็ด
3:1	3:1	3:1
3:2	3:2	3:2
3:3	3:3	3:3
-	-	3:4
-	-	3:5
-	-	3:6
-	-	3:7
-	-	3:8

การทดสอบสมบัติผักตบชวา

ในการทดสอบคุณสมบัติผักตบชวานั้นจะทำการทดสอบผักตบชวาสดซึ่งนำมาจากแหล่งน้ำและผักตบชวาแห้งมาทำการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) ซึ่งการวิเคราะห์โดยประมาณ เป็นการหาปริมาณความชื้น (Moisture content) ปริมาณสารระเหย (Volatile solid) ปริมาณเถ้า (Ash) และปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D7582 – 15

การทดสอบเชื้อเพลิงอัดแท่ง/อัดเม็ด

หลังจากขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทำการวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิงดังนี้

การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis)

การหาค่าความร้อน (Heating value) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3286-96 ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter รุ่น cal 2k e2k

การทดสอบค่าความหนาแน่น โดยนำเชื้อเพลิงผักตบชวาแช่น้ำหนักและวัดปริมาตร แล้วนำมาคำนวณดังสมการ $\rho = M/V$ เมื่อ ρ คือความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร), M คือมวลของชีวมวลอัดแท่ง (กรัม) และ V คือปริมาตรของถ่านอัดแท่ง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

การทดสอบค่าดัชนีการแตกร่วนโดยวิธี Drop Shatter Test ตามมาตรฐาน ASTM D3038-93 เพื่อหาความสามารถของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีความหนาแน่นระหว่างการขนส่งการเก็บรักษาและการนำมาใช้งาน

การศึกษาต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล

ต้นทุนการผลิตชีวมวลอัดแท่งจากผักตบชวาคิดเป็นราคาต่อกิโลกรัม โดยคิดจากการทำงาน 8 ชั่วโมง พนักงานจำนวน 2 คน (อัตราค่าจ้าง 300 บาท/คน) โดยในกระบวนการผลิตชีวมวลอัดแท่งซึ่งจะประกอบด้วย ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4 บาท แป้งมันสำปะหลัง กากมันและกากน้ำตาล ราคา 30, 3.7 และ 20 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ผลการศึกษา

ลักษณะของผักตบชวา

ผักตบชวาสดที่นำมาจากแหล่งน้ำธรรมชาตินี้มีความสูงของลำต้นระหว่าง 37-56 เซนติเมตร ความยาวของราก 10-13 เซนติเมตร ขนาดความกว้างของใบอยู่ในช่วง 10-15.5 เซนติเมตร และขนาดความยาวของใบอยู่ในช่วง 8-13.5 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 1 เมื่อนำผักตบชวาสดไปตากแห้งจะมีลักษณะสีน้ำตาลอ่อน มีความชื้นเหลืออยู่ประมาณ 13.33% ใบมีลักษณะแห้งกรอบ ส่วนลำต้นมีลักษณะแห้งและเหนียว ซึ่งสมบัติของผักตบชวาสดและผักตบชวาแห้งที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 1 ลักษณะของผักตบชวาสด

ตารางที่ 2 การประเมินสมบัติผักตบชวา

คุณสมบัติ	ความชื้น (%)	ปริมาณสาร ระเหย (%)	ปริมาณเถ้า (%)	ปริมาณคาร์บอน คงตัว (%)	ค่าความร้อน Cal/g
ผักตบชวาแห้ง	13.33	18.66	26.66	41.34	3,383.1262
ผักตบชวาสด	57.77	13	14	15.23	-

ความสามารถในการขึ้นรูปเชื้อเพลิง

จากการศึกษาลักษณะของการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง/อัดเม็ด พบว่าเชื้อเพลิงแท่ง/อัดเม็ดจากแป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังมีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคืออัตราส่วน 3:1 ขึ้นรูปได้ยากเนื่องจากตัวประสานที่ใช้มีปริมาณที่น้อยการยึดติดระหว่างผักตบชวาจึงไม่มากนัก เชื้อเพลิงไม่เรียบเนียนและแตกหักง่าย ซึ่งแตกต่างกับอัตราส่วน 3:2 และ 3:3 ที่ขึ้นรูปได้สวยงามและมีผิวที่เรียบเนียน ส่วนการใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานพบว่าก้อนเชื้อเพลิงสามารถขึ้นรูปได้บางอัตราส่วนได้แก่อัตราส่วน 3:5, 3:6 และ 3:7 ส่วนอัตราส่วนอื่นนั้นไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากส่วนผสมมีลักษณะร่วนหรือเปียกจนเกินไป โดยรูปที่ 2 แสดงตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิงและอัดเม็ดจากกากมันสำปะหลัง และตารางที่ 3 แสดงการประเมินความสามารถในการขึ้นรูปของเชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวา



รูปที่ 2 เชื้อเพลิงอัดแท่ง/อัดเม็ดจากกากมันสำปะหลัง

ตารางที่ 3 การประเมินความสามารถในการขึ้นรูปของเชื้อเพลิงชีวมวลผักตบชวา

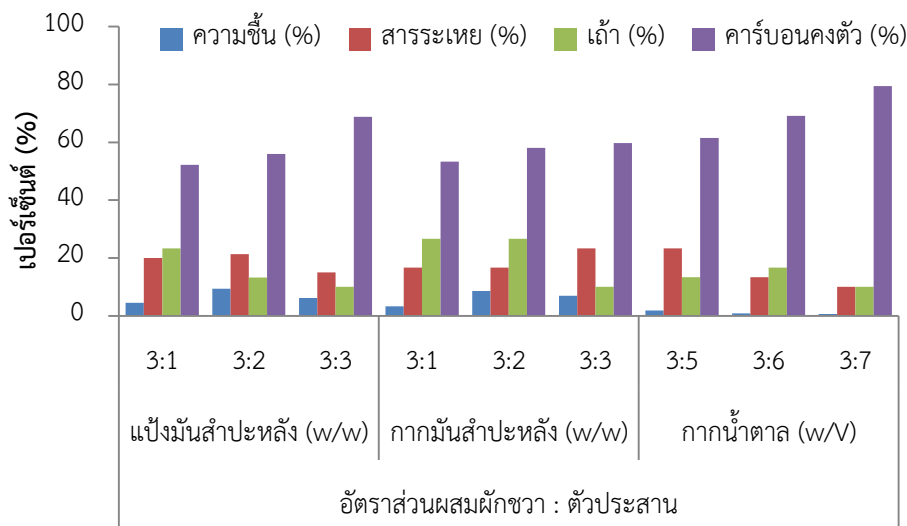
ชนิดของเชื้อเพลิง	อัตราส่วน	ความสามารถในการอัด		ความสามารถในการขึ้นรูป		ลักษณะของผิว		ความแข็งแรง (การแตกหัก)	
		อัดแท่ง	อัดเม็ด	อัดแท่ง	อัดเม็ด	อัดแท่ง	อัดเม็ด	อัดแท่ง	อัดเม็ด
ผักตบชวา : แป้งมันสำปะหลัง	3:1	อัดได้	อัดได้	ไม่ค่อยดี	ไม่ค่อยดี	เรียบ	เรียบ	ไม่แตก	ไม่แตก
	3:2	อัดได้	อัดได้	ดี	ดี	เรียบ	เรียบ	ไม่แตก	ไม่แตก
	3:3	อัดได้	อัดได้	ดี	ดี	เรียบ	เรียบ	ไม่แตก	ไม่แตก
ผักตบชวา : กากมันสำปะหลัง	3:1	อัดได้	อัดได้	ไม่ค่อยดี	ไม่ค่อยดี	เรียบ	เรียบ	ไม่แตก	ไม่แตก
	3:2	อัดได้	อัดได้	ดี	ดี	เรียบ	เรียบ	ไม่แตก	ไม่แตก
	3:3	อัดได้	อัดได้	ดี	ดี	เรียบ	เรียบ	ไม่แตก	ไม่แตก
ผักตบชวา : กากน้ำตาล	3:1	ไม่สามารถขึ้นรูปได้ (กากน้ำตาลน้อยเกินไป)							
	3:2	ไม่สามารถขึ้นรูปได้ (กากน้ำตาลน้อยเกินไป)							
	3:3	ไม่สามารถขึ้นรูปได้ (กากน้ำตาลน้อยเกินไป)							
	3:4	ไม่สามารถขึ้นรูปได้ (กากน้ำตาลน้อยเกินไป)							
	3:5	อัดได้	อัดได้	ดี	ดี	เรียบ	เรียบ	ไม่แตก	ไม่แตก
	3:6	อัดได้	อัดได้	ดี	ดี	เรียบ	เรียบ	ไม่แตก	ไม่แตก
	3:7	อัดได้	อัดได้	ดี	ดี	เรียบ	เรียบ	ไม่แตก	ไม่แตก
	3:8	ไม่สามารถขึ้นรูปได้ (กากน้ำตาลมากเกินไป)							

การวิเคราะห์โดยประมาณของเชื้อเพลิง

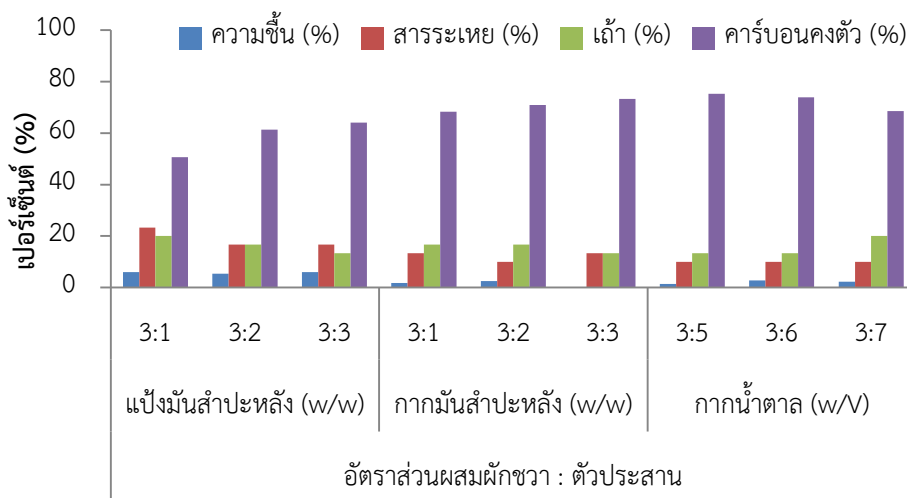
จากการทดสอบการวิเคราะห์โดยประมาณ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D7582-15 ในส่วนของเชื้อเพลิงที่มีการขึ้นรูปที่ต่างกัน จากรูปที่ 3 และรูปที่ 4 พบว่าส่วนใหญ่การขึ้นรูปโดยวิธีการอัดเม็ดมีปริมาณสารระเหยที่ช่วยในการติดไฟได้ต่ำกว่าการขึ้นรูปแบบอัดแท่ง แต่จะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูงกว่าการขึ้นรูปแบบอัดแท่ง ทำให้พบว่าการขึ้นรูปที่แตกต่างกันของเชื้อเพลิงยังไม่สามารถแสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าการขึ้นรูปด้วยวิธีการแบบใดมีความเหมาะสมต่อการเป็นเชื้อเพลิงที่ดี ดังนั้นจึงต้องพิจารณาที่สมบัติความหนาแน่น ค่าความร้อน ดัชนีการแตกกร่อน และประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงจริงต่อไปด้วย

เมื่อเปรียบเทียบการใช้ตัวประสานในอัตราส่วนที่แตกต่างกันพบว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งผักตบชวา/ กากน้ำตาล อัตราส่วน 3:7 (น้ำหนักต่อปริมาตร) มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุดที่ร้อยละ 79.4 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 10.0 ซึ่งทั้งคาร์บอนคงตัวและปริมาณสารระเหยเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (ทองทิพย์, 2542) ดังแสดงในรูปที่ 3 ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งผักตบชวา/ กากมันสำปะหลัง อัตราส่วน 3:3 (โดยน้ำหนัก) มีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูงที่สุดร้อยละ 59.7 ปริมาณสารระเหยร้อยละ

23.3 ตามลำดับ เช่นเดียวกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่พบปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุดในเชื้อเพลิงผักตบชวา/กากน้ำตาล อัตราส่วน 3:5 ที่ร้อยละ 73.3 และปริมาณสารระเหยร้อยละ 10.0 % ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 การวิเคราะห์โดยประมาณของเชื้อเพลิงอัดแท่ง



รูปที่ 4 การวิเคราะห์โดยประมาณของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

การทดสอบค่าความร้อนของวัตถุดิบและเชื้อเพลิงอัดแท่ง/อัดเม็ด จากเครื่อง Bomb calorimeter ซึ่งทำการเปรียบเทียบการขึ้นรูปที่แตกต่างกันพบว่าค่าความร้อนของการขึ้นรูปแบบอัดแท่งจะมีค่าความร้อนที่สูงกว่าการขึ้นรูปแบบอัดเม็ด เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์โดยประมาณ พบว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่ได้มีผลต่อค่าความร้อนเพียงอย่างเดียวแต่ปริมาณความชื้นและปริมาณสารระเหยมีผลต่อค่าความร้อนอีกด้วย ในการ

เปรียบเทียบเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีอัตราส่วนที่ต่างกัน พบว่าในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดเดียวกันเมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวประสานจะทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น แสดงว่าอัตราส่วนตัวประสานมีผลทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวประสานนั้นมีองค์ประกอบที่สามารถติดไฟได้เช่นกัน และซึ่งพบว่าอัตราส่วน

3:3 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาผสมกับกากมันสำปะหลังมีค่าความร้อนสูงที่สุดที่ 3,831 แคลอรี/กรัม ซึ่งค่าความร้อนจากเชื้อเพลิงอัดแท่ง/อัดเม็ดจากผักตบชวาส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถพิจารณาเพิ่มเติมจากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเชื้อเพลิง (สังเวทย์, 2555) ดังแสดงในตารางที่ 4 ส่วนการทดสอบค่าความร้อนจากผักตบชวาผสมกับกากน้ำตาล ในอัตราส่วน 3:5, 3:6, 3:7 (น้ำหนักต่อปริมาตร) พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วน 3:5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) มีค่าความร้อนมากที่สุดที่ 3,685.07 แคลอรี/กรัม

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง

เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่มีต่อวิธีการขึ้นรูปชีวมวลที่ใช้ตัวประสานชนิดเดียวกันและมีอัตราส่วนที่เท่ากันพบว่า การขึ้นรูปแบบอัดเม็ดมีความหนาแน่นสูงกว่าการขึ้นรูปแบบอัดแท่ง เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ขึ้นรูปมีกำลังอัดสูงตามมาตรฐานการขึ้นรูปเม็ดชีวมวล นอกจากนี้ขนาดชีวมวลที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบอัดเม็ดมีขนาดเล็กกว่าการอัดแท่งจึงทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคได้ดีกว่าส่งผลให้ความหนาแน่นของการขึ้นรูปแบบอัดเม็ดสูงกว่าการขึ้นรูปแบบอัดแท่ง ดังแสดงในตารางที่ 4

เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีตัวประสานชนิดเดียวกันแต่อัตราส่วนที่ต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวประสานเพิ่มขึ้นจะทำให้เชื้อเพลิงชีวมวลมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ยกเว้นตัวประสานที่เป็นกากน้ำตาลในอัตราส่วน 3:7 (น้ำหนักต่อปริมาตร) มีความหนาแน่นลดลงอาจเป็นเพราะว่าเมื่อปริมาณกากน้ำตาลเพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคของชีวมวลลดลง และเมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบเชื้อเพลิงชีวมวลในอัตราส่วนเดียวกันแต่ตัวประสานต่างกันพบว่าตัวประสานที่เป็นกากมันสำปะหลังจะมีความหนาแน่นที่สูงกว่าตัวประสานที่เป็นแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนใหญ่ สำหรับในการขึ้นรูปแบบอัดเม็ดอัตราส่วน 3:3 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ที่ใช้เป็นแป้งมันสำปะหลังมีความหนาแน่นสูงที่สุด 0.443 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ก็ยังมีความหนาแน่นต่ำกว่าตัวประสานที่เป็นกากน้ำตาลอาจเป็นเพราะว่ากากน้ำตาลที่มีสถานะเป็นของเหลวข้นและเหนียวช่วยในการยึดประสานและอัดแน่นกับชีวมวลจากผักตบชวาได้ดีกว่าตัวประสานชนิดอื่นๆ เช่นเดียวกับงานของ อัจฉรา และคณะ (2554) และ อรุณีย์ (2557) โดยความหนาแน่นที่สูงที่สุดคือเชื้อเพลิงอัดเม็ดอัตราส่วน 3:6 (น้ำหนักต่อปริมาตร) มีค่า 1.344 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ค่าดัชนีการแตกร่วนเชื้อเพลิง

การทดสอบดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงนั้นค่าควรอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 ซึ่งค่าดัชนีการแตกร่วนแสดงถึงคุณสมบัติที่มีความเหมาะสมในการนำไปเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน ซึ่งถ้ามีค่าการแตกร่วนน้อยก็จะส่งผลให้เชื้อเพลิงไม่แข็งแรง แตกง่าย ร่วนซุยและถ้ามีค่าดัชนีการแตกร่วนมากก็จะส่งผลให้ก้อนเชื้อเพลิงอัดแน่น มีความแข็งแรงมาก (อัจฉรา และคณะ, 2554) เชื้อเพลิงผักตบชวาอัดแท่ง/อัดเม็ด ที่อัตราส่วน 3:1, 3:2, 3:3 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) มีค่าอยู่ในช่วงค่าที่กำหนด 0.5-1 ดังแสดงในตารางที่ 4 ในการเปรียบเทียบการทดสอบดัชนีการแตกร่วนของการขึ้นรูปที่แตกต่างกันส่วนใหญ่พบว่า การขึ้นรูปแบบอัดเม็ดมีดัชนีการแตกร่วน

ที่สูงกว่าการขึ้นรูปแบบอัดแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงข้างต้น เพราะการขึ้นรูปแบบอัดเม็ดมีการยึดเกาะและประสานกันได้ดีกว่าการขึ้นรูปแบบอัดแห้ง

ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแห้ง/อัดเม็ด มีค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.90-0.99 ซึ่งจะเห็นได้ว่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแห้ง/อัดเม็ด มีแนวโน้มสูงขึ้นตามอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นการเพิ่มอัตราส่วนของตัวประสานมากขึ้นทำให้ความสามารถของแรงยึดเกาะประสานของเชื้อเพลิงอัดแห้ง/อัดเม็ด เพิ่มขึ้นไม่แตกหักง่าย (สุริยา, 2544) นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแห้ง/อัดเม็ดมีทำขึ้นมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานทุกอัตราส่วน

ตารางที่ 4 ค่าความร้อน ความหนาแน่นและดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิง

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)		ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)		ดัชนีการแตกร่วน	
		อัดแห้ง	อัดเม็ด	อัดแห้ง	อัดเม็ด	อัดแห้ง	อัดเม็ด
ผักตบชวา/ แป้งมัน	3:1	3,588.6	3,275.2	0.189	0.334	0.92	0.95
	3:2	3,722.9	3,392.1	0.229	0.356	0.97	0.98
	3:3	3,831.9	3,433.4	0.247	0.443	0.97	0.99
ผักตบชวา/ กากมัน	3:1	3,514.8	3,671.6	0.229	0.255	0.95	0.95
	3:2	3,737.4	3,572.9	0.240	0.362	0.98	0.98
	3:3	3,721.3	3,762.1	0.267	0.317	0.98	0.97
ผักตบชวา/ กากน้ำตาล	3:5	3,685.1	3,548.5	0.749	1.140	0.92	0.95
	3:6	3,620.4	3,573.3	0.755	1.344	0.90	0.97
	3:7	3,620.4	3,678.1	0.763	0.790	0.96	0.97

ประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเชื้อเพลิง

จากการศึกษาการทดสอบการต้มน้ำหรือประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเชื้อเพลิงอัดแห้ง/อัดเม็ด โดยการนำเชื้อเพลิงมาต้มให้น้ำมีอุณหภูมิสูงสุดจากเชื้อเพลิงทั้งแบบอัดแห้งและแบบอัดเม็ด ในทุกตัวประสานจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำที่มากที่สุดจากทุกอัตราส่วนและทุกตัวประสาน พบว่าอุณหภูมิน้ำที่สูงที่สุด คือเชื้อเพลิงอัดแห้งจากผักตบชวาผสมแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 3:3 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) มีอุณหภูมิสูงสุด 89.2 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 60 นาที โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ เชื้อเพลิงมีลักษณะติดไฟง่าย กลิ่นฉุนเล็กน้อย มีควันมากในช่วงระยะเวลาแรกของการติดไฟ อุณหภูมิค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่ถึงจุดเดือด มีเถ้าเหลือจากการเผาไหม้จำนวนมาก สีของเถ้าหลังจากผ่านการเผาไหม้เป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับถ่านจากท้องตลาดทั่วไป ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้งานจริงมีอุณหภูมิ 93.5 องศาเซลเซียส ที่เวลา 60 นาที พบว่าถ่านจากท้องตลาดทั่วไปมีความร้อนมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากขึ้นกับองค์ประกอบต่างๆของเชื้อเพลิง เช่น ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และค่าคาร์บอนคงตัว ต่างมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของเชื้อเพลิง

กล่าวคือ เชื้อเพลิงจะมีประสิทธิภาพที่ดีนั้นต้องมีค่าคาร์บอนคงตัวที่สูง ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้าที่น้อย (ทองทิพย์, 2542)

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเชื้อเพลิงผักตบชวาผสมแป้งมันสำปะหลังและ ผักตบชวาผสมกากมันสำปะหลัง แสดงในตารางที่ 5 ในระหว่างการขึ้นรูปที่แตกต่างกันพบว่าการขึ้นรูปแบบอัดแท่งมีค่าประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเชื้อเพลิงได้ดีกว่าการขึ้นรูปแบบอัดเม็ด โดยสังเกตได้จากระยะเวลาการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่นานกว่าและมีอุณหภูมิสูงกว่าการขึ้นรูปแบบอัดเม็ด ส่วนประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเชื้อเพลิงผักตบชวาผสมกากน้ำตาลที่มีการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน พบว่าการขึ้นรูปแบบอัดแท่งและอัดเม็ดมีค่าประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเชื้อเพลิงได้ใกล้เคียงกันทั้งสองรูปแบบ เนื่องจากระยะเวลาการเผาไหม้เชื้อเพลิงของการขึ้นรูปแบบอัดแท่งและอัดเม็ดจะใช้ระยะเวลาการเผาไหม้ที่นานและให้ความร้อนได้ใกล้เคียงกันทั้งสองรูปแบบ

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการใช้งานจริงเชื้อเพลิงและต้นทุนการผลิต

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ประสิทธิภาพการใช้งานจริงเชื้อเพลิง(%)				ราคา (บาทต่อกิโลกรัม)	
		อัดแท่ง		อัดเม็ด		อัดแท่ง	อัดเม็ด
		อุณหภูมิ สูง สุด ใน ช่วง 60 นาที (C°)	ประสิทธิภาพ (%)	อุณหภูมิ สูง สุด ในช่วง 60 นาที (C°)	ประสิทธิภาพ (%)		
ผักตบชวา/ แป้งมัน	3:1	89.1	18.41	75.2	11.63	10.04	9.65
	3:2	74.3	16.42	86.2	13.65	14.54	14.15
	3:3	89.2	19.32	90.1	12.61	17.54	17.15
ผักตบชวา/ กากมัน	3:1	77.3	18.17	65.3	11.20	3.46	3.08
	3:2	70.5	18.33	78.4	10.35	4.02	3.63
	3:3	77.3	15.98	78.5	11.29	4.39	4.00
ผักตบชวา/ กากน้ำตาล	3:5	75.2	16.96	79.6	17.61	16.82	16.44
	3:6	77.5	17.56	78.9	17.79	17.54	17.15
	3:7	66.3	16.33	61.6	16.17	18.09	17.71

*หมายเหตุ ถ่านไม้จากท้องตลาดมีอุณหภูมิสูงสุดในช่วง 60 นาทีแรก เท่ากับ 93.5 องศาเซลเซียส

การประเมินต้นทุนการผลิต

เมื่อเปรียบเทียบตัวประสานทั้ง 3 ชนิดพบว่าตัวประสานที่เป็นกากมันสำปะหลังมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด (ตารางที่5) ซึ่งอัตราส่วน 3:1 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) มีราคาต่ำที่สุด เท่ากับ 3.08 บาท/กิโลกรัม เนื่องจากกากมันสำปะหลังเป็นของเสียจากทางอุตสาหกรรมทางการเกษตรจากการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่สามารถนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ จึงมีราคาต้นทุนต่ำกว่าตัวประสานอื่นๆ ในส่วนของการขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง/

อัดเม็ดจากผักตบชวาที่มีตัวประสานชนิดเดียวกันและอัตราส่วนที่เท่ากัน พบว่า การขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดเม็ดมีราคาต้นทุนการผลิตต่ำกว่าการขึ้นรูปชีวมวลแบบชนิดอัดแท่ง เป็นเพราะว่าเครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบอัดเม็ดมีกำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่า (4.8 kW) เครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบอัดแท่ง (9 kW) เมื่อเปรียบเทียบเชื้อเพลิงอัดแท่ง/อัดเม็ดจากผักตบชวาทุกอัตราส่วน มีราคาต้นทุนการผลิตที่ใกล้เคียงกับราคาถ่านอัดแท่งในเมืองไทยที่มีราคาต้นทุนอยู่ที่ 9-15 บาท/กิโลกรัม โดยขึ้นกับวัตถุดิบ(วิเศษถ่านอัดแท่ง, 2559) แต่เชื้อเพลิงอัดแท่ง/อัดเม็ดจากผักตบชวาทุกอัตราส่วน จะมีราคาต้นทุนการผลิตต่ำกว่า ถ่านที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไปจากพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ที่มีราคาต้นทุน เท่ากับ 50 บาท/กิโลกรัม

สรุปผลการศึกษา

1. การทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง/อัดเม็ด จากผักตบชวามผสมแป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง ในการขึ้นรูปของอัตราส่วน 3:1 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) พบว่าสามารถขึ้นรูปได้ แต่จะแตกหักง่าย ผิวของเชื้อเพลิงไม่เรียบเนียน ในอัตราส่วน 3:2 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) และอัตราส่วน 3:3 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) สามารถขึ้นรูปได้ดีและมีความแข็งแรง ผิวของเชื้อเพลิงเรียบเนียน ไม่แตกหักง่าย เหมาะสมในการนำมาทำเชื้อเพลิง
2. เชื้อเพลิงอัดแท่ง/อัดเม็ด จากกากน้ำตาล อัตราส่วน 3:5 3:6 3:7 (น้ำหนักต่อปริมาตร) สามารถขึ้นรูปได้ดีทั้ง 3 อัตราส่วน มีผิวเรียบเนียน มีความแข็งแรงไม่แตกหักง่าย เหมาะสำหรับนำมาใช้ทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง/อัดเม็ด
3. อิทธิพลของอัตราส่วนและการขึ้นรูปส่งผลต่อเชื้อเพลิงอัดแท่ง/อัดเม็ด พบว่าเชื้อเพลิงอัตราส่วน 3:2 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ของการขึ้นรูปแบบอัดเม็ดจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าความชื้นสูงร้อยละ 9.41 ทำให้มีการติดไฟได้ยาก เชื้อเพลิงอัตราส่วน 3:3 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ของการขึ้นรูปแบบอัดเม็ดจากกากมันสำปะหลังให้ค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 73.34 และเชื้อเพลิงอัตราส่วน 3:7 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากการกากน้ำตาลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงที่สุดร้อยละ 79.4 ส่งผลให้เชื้อเพลิงมีการติดไฟที่ยาวนาน และเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.188-1.344 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่งผลให้มีค่าดัชนีการแตก่วนสูงด้วย
4. เชื้อเพลิงอัดแท่งผักตบชวามผสมแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 3:3 ให้ค่าความร้อนสูงถึง 3,831.98 แคลอรีต่อกรัม จะส่งผลให้เชื้อเพลิงนั้นมีประสิทธิภาพต่อการนำไปใช้งานจริง
5. เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวามผสมแป้งมันสำปะหลัง อัตราส่วน 3:3 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ให้ค่าความร้อนสูงจากการใช้งานจริงถึง 91.2 องศาเซลเซียส และเชื้อเพลิงอัดแท่งผสมกากน้ำตาลอัตราส่วน 3:5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) และเชื้อเพลิงอัดเม็ดผสมกากน้ำตาลอัตราส่วน 3:6 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ให้ค่าความร้อนจากการใช้งานจริงเท่ากัน เท่ากับ 80.1 องศาเซลเซียส
6. จากการประเมินต้นทุนการผลิตพบว่าราคาต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิงจากผักตบชวาอัดแท่งผสมตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 3:3 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ที่มีค่าอุณหภูมิการใช้งานจริง 91.2 องศาเซลเซียสสูงที่สุดจากทุกอัตราส่วนและทุกตัวประสาน มีราคา 17.15 บาท/กิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าราคาของเชื้อเพลิงจากถ่านท้องตลาด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผู้ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ศูนย์วิจัยด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงานที่ยั่งยืน และหลักสูตร วท.บ.เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

สยามไบโอเอ็นเนอจี(2555). พลังงานชีวมวล. เข้าถึงเมื่อ 8 เมษายน 2559. เข้าถึงได้จาก

<http://www.siambioenergy.com/bio65/index.php/2012-10-14-08-58-20/2012-10-14-08-59-07/98-2012-10-13-15-28-31>

สุพจน์ เดชมผล. (2546). “การศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมกับขานอ้อย”. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุธีรา ชูบัณฑิต. (2557). ผักตบชวาปัญหาระดับชาติ: กฎหมายกำจัดผักตบชวา. เข้าถึงเมื่อ 8 เมษายน 2559 เข้าถึงได้จาก www.senate.go.th/w3c/senate/pictures/comm/71/file_1408422840.pdf
สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2559). โครงการบำบัดน้ำเสียบึงมักกะสันอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. เข้าถึงเมื่อ 8 เมษายน 2559 เข้าถึงได้จาก <http://km.rdpb.go.th/Project/View/6639>

อรุณีย์ พรหมศรี. (2557). “ท่าทางและการบาดเจ็บจากการทำงานในกลุ่มผู้จักสานผักตบชวา: การศึกษานำร่อง”. วารสารนเรศวรพะเยา ปีที่ 7 ฉบับที่ 3 (กันยายน-ธันวาคม): 204-211.

สุพรรณ ยั่งยืน และ จักรมาส เลหาวิช. (2552). “การหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแบบรีดเย็น”. วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ปีที่ 32 ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม): 653-658.

ทองทิพย์ พูลเกษม. (2542). “การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านไม้ในการหุงต้มครัวเรือน”. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

สังเวย เสวกวิหारी. (2555). “ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด”. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

อัจฉรา อัครจุฑิกลชัย, ชลันดา เสมสายัณห์, นัฐพร ประภักดิ์, ณัฐธิดา เปี่ยมสุวรรณศิริ และ นิภาวรรณ ชูชาติ. (2554). “การนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง”. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 162-168. ครั้งที่ 49 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 1-4 กุมภาพันธ์ 2554. กรุงเทพฯ.

ศุภฤกษ์ ดวงขวัญ, จันทรหอม แก่นพินิจ และปัทมินี อุ่มทอง. (2554). การจัดการผักตบชวา. เข้าถึงเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2559 เข้าถึงได้จาก http://reo06.mnre.go.th/home/index.php?option=com_content&task=view&id=1794&Itemid=264

สุริยา ชัยเดชทยากุล. (2544). “การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียและ

เศษชิ้นไม้สับของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ”. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
วิษณุถาวรวัฒน์. (2559). ถ่านอัดแท่ง. เข้าถึงเมื่อ 24 กรกฎาคม 2559 เข้าถึงได้จาก
<http://www.vitsava.com/>

ภาษาต่างประเทศ

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2015. Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis : D7582-15
In ASTM. Annual Book of American Standard Testing Methods, Vol 05.06.
American Society for Testing and Materials (ASTM). 1993. Standard Test Method for Drop Shatter Test for Coke : D3038-93 In ASTM. Annual Book of American Standard Testing Methods, Vol 05.06.
American Society for Testing and Materials (ASTM). 1996. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Isoperibol Bomb Calorimeter : D3286-96
In ASTM. Annual Book of American Standard Testing Methods, Vol 05.06.