

การศึกษาการใช้ต้นถั่วเหลือง ทางมะพร้าว และทางปาล์ม เป็นตัวประสาน
ธรรมชาติ สำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่ง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



3590406587

MJU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

การศึกษาการใช้ต้นถั่วเหลือง ทางมะพร้าว และทางปาล์ม เป็นตัวประสาน
ธรรมชาติ สำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่ง

บุญยาพร แสนพรหม

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง)

วันที่ 28 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2563

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ)

วันที่ 28 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2563

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)

วันที่ 29 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2563

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)

วันที่ 28 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2563

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่ 29 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2563



ชื่อเรื่อง	การศึกษาการใช้ต้นกล้วยเหือง ทางมะพร้าว และทางปาล์ม เป็นตัว ประสานธรรมชาติ สำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่ง
ชื่อผู้เขียน	นางสาวบุญยาพร แสนพรม
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีเศษวัสดุเหลือทิ้งในปริมาณที่สูง กระบวนการอัดแท่งเป็นเทคโนโลยีการเพิ่มความหนาแน่นได้ดีและยังสามารถเข้าถึงได้ ราคาต่ำ แต่การเพิ่มความหนาแน่นด้วยวิธีนี้มีข้อด้อยในด้านการใช้ตัวประสาน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ต้นกล้วยเหือง ทางมะพร้าว และทางปาล์ม เป็นตัวประสานธรรมชาติ สำหรับกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยเครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย โดยทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการผลิต ชนิดของตัวประสานธรรมชาติที่มีผลต่อการอัดและคุณภาพเชื้อเพลิงอัดแท่ง ศึกษาโครงสร้างของชีวมวลที่เป็นผลมาจากอุณหภูมิและแรงดันในการขึ้นรูป และประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ ความหนาแน่น ความต้านทานแรงกด ดัชนีการแตกร่วน ความต้านทานน้ำ คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางความร้อน และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ชีวมวลที่ทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ชีวมวลหลัก ประกอบด้วย เศษไม้ ฟางข้าว และซังข้าวโพด และ วัสดุประสานธรรมชาติ ประกอบด้วย ทางปาล์ม ทางมะพร้าว และต้นกล้วยเหือง ส่วนตัวประสานทั่วไปที่ใช้คือ แป้งมันสำปะหลัง กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเริ่มจากนำชีวมวลทั้ง 6 ชนิด บดย่อยให้มีขนาด <1-5 mm ผสมที่อัตราส่วน ชีวมวลหลัก 100% วัสดุประสานธรรมชาติ 20%, 40% และ 60% โดยน้ำหนัก สำหรับแป้งมันสำปะหลังจะใช้ที่อัตราส่วน 1%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก

ผลการศึกษา พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการอัดแท่งได้แก่ ชนิดของตัวประสาน ชีวมวลทั้ง 3 ชนิด สามารถนำมาใช้เป็นตัวประสานธรรมชาติในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยวิธีการอัดแบบเย็นได้ สามารถยึดเกาะกับชีวมวลหลักได้ทุกชนิด คุณภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีความแข็งแรง คงทน บริเวณผิวสัมผัสเรียบเนียน พื้นที่หน้าตัดเนื้อชีวมวลยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน ขนาดของชีวมวลหลักและตัวประสานธรรมชาติที่นำมาใช้งานที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1-3 mm อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 5% แรงดันที่ใช้ในการกดอัดจะทำให้โครงสร้างชีวมวลจะถูกทำลาย เกิดการแตกหัก ถูกบีบอัดให้พื้นที่ระหว่างอนุภาคให้มีขนาดเล็กลง ประกอบกับอุณหภูมิที่ส่งผลให้กลไกของชีวมวลละลายทำให้โครงสร้างของอนุภาคระหว่างวัสดุยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อใช้ทาง

ไบปาล์ม มีค่าแรงดันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 65.84-80.81 kg/m² ทางมะพร้าว มีค่าแรงดันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 41.51-72.30 kg/m² และต้นกล้วยเหลือ มีค่าแรงดันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 73.14-100.08 kg/m² อุณหภูมิที่เหมาะสม ในการขึ้นรูปอยู่ในช่วง 70-80 °C เมื่อทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นได้ทำการคัดเลือกเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM และเกณฑ์ตามคู่มือกรมโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ประกอบด้วย WC: PL60: CS5 (BQ1), CC: PL40: CS5 (BQ2), CC: PL20: CS5 (BQ3), WC: CL60: CS5 (BQ4), WC: CL40: CS5 (BQ5), CC: CL20: CS5 (BQ6), WC: SB60: CS5 (BQ7), RS: SB40: CS5 (BQ8) และ WC: SB20: CS5 (BQ9) ผลการวิเคราะห์ในด้านคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง มีค่าความหนาแน่น BQ1-BQ9 อยู่ในช่วง 882.60-1,160.65 kg/m³ ดัชนีการแตกร่วน มีค่าอยู่ในช่วง 90.02-99.09% ความต้านทานน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 90.26-95.86% และความต้านทานแรงกดอัด มีค่าอยู่ในช่วง 3.12-7.84 MPa และค่าความร้อน มีค่าอยู่ในช่วง 15.59-17.01 MJ/kg สำหรับการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งทุกอัตราส่วนมีค่ามากกว่า 0 อยู่ในช่วง 55,672.59-293,010.85 Baht อัตราผลตอบแทนภายใน มีค่าอยู่ในช่วง 11.58-31.14% ต้นทุนต่อหน่วยของเชื้อเพลิงอัดแท่ง มีค่าอยู่ในช่วง 3.53-3.78 baht/kg ระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วง 4.04-6.92 y เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เศษไม้ ฟางข้าว และซังข้าวโพดผสมแบ่งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวที่ 20% มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วย 6.2198, 6.0617, 6.3655 Baht/kg ตามลำดับ เมื่อนำวัสดุตัวประสานธรรมชาติทั้งสามชนิดได้แก่ ทางไบปาล์ม ทางมะพร้าว และต้นกล้วยเหลือ มาใช้เพื่อลดอัตราส่วนแบ่งมันสำปะหลังสามารถลดต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งลงได้ 2.5023, 2.2795 และ 2.5949 Baht/kg คิดเป็น 40.23, 37.60 และ 40.76% ตามลำดับ ในด้านความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อเพิ่มตัวประสานธรรมชาติในการผลิต จากเศษไม้ ฟางข้าว และซังข้าวโพด มีค่าความร้อนเฉลี่ย 15.44, 14.30 และ 12.77 MJ/kg ตามลำดับ ในด้านค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 7.38, 14.01 และ 33.11% เมื่อเปรียบเทียบชีวมวลหลักทั้ง 3 ชนิด ซึ่งเศษไม้เหมาะที่จะใช้ตัวประสานธรรมชาติทางไบปาล์ม และต้นกล้วยเหลือดีที่สุดที่ 60% ฟางข้าวใช้กับต้นกล้วยเหลือเท่านั้นที่ 40% และซังข้าวโพดใช้ทางไบปาล์ม 40% เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตต่อหน่วยและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง BQ1-BQ3 และ BQ7 มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ ให้ค่าความร้อนสูง มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในสูง จึงเหมาะแก่การนำไปใช้งานและนำไปประยุกต์ใช้กับชีวมวลประเภทอื่นๆได้

คำสำคัญ : ชีวมวล, เชื้อเพลิงอัดแท่ง, วัสดุประสานธรรมชาติ, การเพิ่มความหนาแน่น



3590406597

MU- iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

Title	STUDY OF USING SOYBEAN TREE COCONUT AND PALM BRANCH AS NATURAL BINDER FOR BIOMASS FUEL BRIQUETTES
Author	Miss Boonyaporn Saenprom
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Nigran Homdoun

ABSTRACT

Thailand is an agricultural country with high amount of potentially valuable waste. These wastes can be utilized as biomass that can be converted into energy through cold pressed process. The technology is cost-efficient and easily accessible to the community. However, the compression requires binder to help extrusion affecting the cost of briquette fuel production. Therefore, this research aimed to use soybean plant, coconut fronds and oil palm leaves as a natural binder to produce briquette fuel through conical screw compressor. The variables examined affecting the production processes are: (1) types of natural binders that affect compression and quality of briquette fuel (2) structure of biomass resulting from temperature and pressure briquette (3) physical properties, density, compressive strength, shatter index, water resistance, chemical properties, thermal value, and production costs of briquette fuel performed under specified conditions. Biomass tested are divided into 2 types: primary biomass consisting of wood chip, rice straw and corn cobs, natural binders consisting of oil palm leaves, coconut fronds and soybean plants. The common solder parts use is cassava starch. The process of producing briquette fuels begins with all 6 types of biomass, crushed to <1-5 mm mixed at 100% primary biomass ratio, 20% natural, 40% and 60% by weight. For cassava starch, a ratio of 1%, 5% and 10% by weight was used.

The results of the study found that all 3 types of biomass binders can be used as natural binders in the process of producing briquette fuel using cold

compression methods and can be attached to all major types of biomass. The briquette fuel obtained is strong, durable with smooth surface and is touchable. The size and the suitable natural binder of the main biomass are between 1-3 mm. The smallest cassava starch ratio is 5%. The pressure used in compression causes destruction on the biomass structure. On the other hand, the breaks were compressed to make the bond between the particles smaller. Combination with temperature causes the lignin of biomass to dissolve and the structure of the particles between the binder material becomes homogeneous. When using the oil palm leaves, the average pressure is in the range of 65.84-80.81 kg/m² while the average value of the pineapple is in the range of 41.51-72.30 kg/m² and soybean plants were 73.14-100.08 kg/m². The optimum molding temperature was of 70-80 °C. After preliminary test, the compressed fuel that meets the criteria of ASTM standard and the guidelines of the Department of Industrial works are 9 samples consisting of WC: PL60: CS5 (BQ1), CC: PL40: CS5 (BQ2), CC: PL20: CS5 (BQ3), WC: CL60: CS5 (BQ4), WC: CL40: CS5 (BQ5), CC: CL20: CS5 (BQ6), WC: SB60: CS5 (BQ7), RS: SB40: CS5 (BQ8) and WC: SB20: CS5 (BQ9). Density of briquette BQ1-BQ9 is in the range 882.60-1,160.65 kg/m³, shatter index values are 90.02-99.09%, water resistance in the range of 90.26-95.86% and compressive strength of 3.12-7.84 MPa. Heating values were 15.63-17.04 MJ/kg. Economic evaluation reveals that the net present value of briquette production in all ratios is greater than 0 with a price range of 55,672.59-293,010.85 Baht. Internal rate of return values were 11.58-31.14% While the cost of production per unit is 2.8033-3.7640 baht/kg with a payback period of 4.04-6.92 years. Using compressed fuel from cassava starch reduces the production cost of about 20% 20% (6.2198, 6.0617, 6.3655 Baht/kg). Meanwhile, when oil palm leaves, coconut fronds and soybean plants were used, the cost of briquette production greatly reduced to 2.5023, 2.2795 and 2.5949 Baht/kg. Representing 40.23, 37.60 and 40.76% in the heat of compressed fuel when adding natural binders in Production from wood waste, rice straw and corncobs. The calorific value increased by an average of 7.38, 14.01 and 33.11%. When comparing the 3 main types of biomass Which wood chips are suitable to use natural binders via palm leaves And the best soybean plants at 60%. Rice straw is only used for soybean plants at 40% and corncobs use the palm leaves 40%. Considering briquette fuels used for heating, BQ1-BQ3 and BQ7 should be

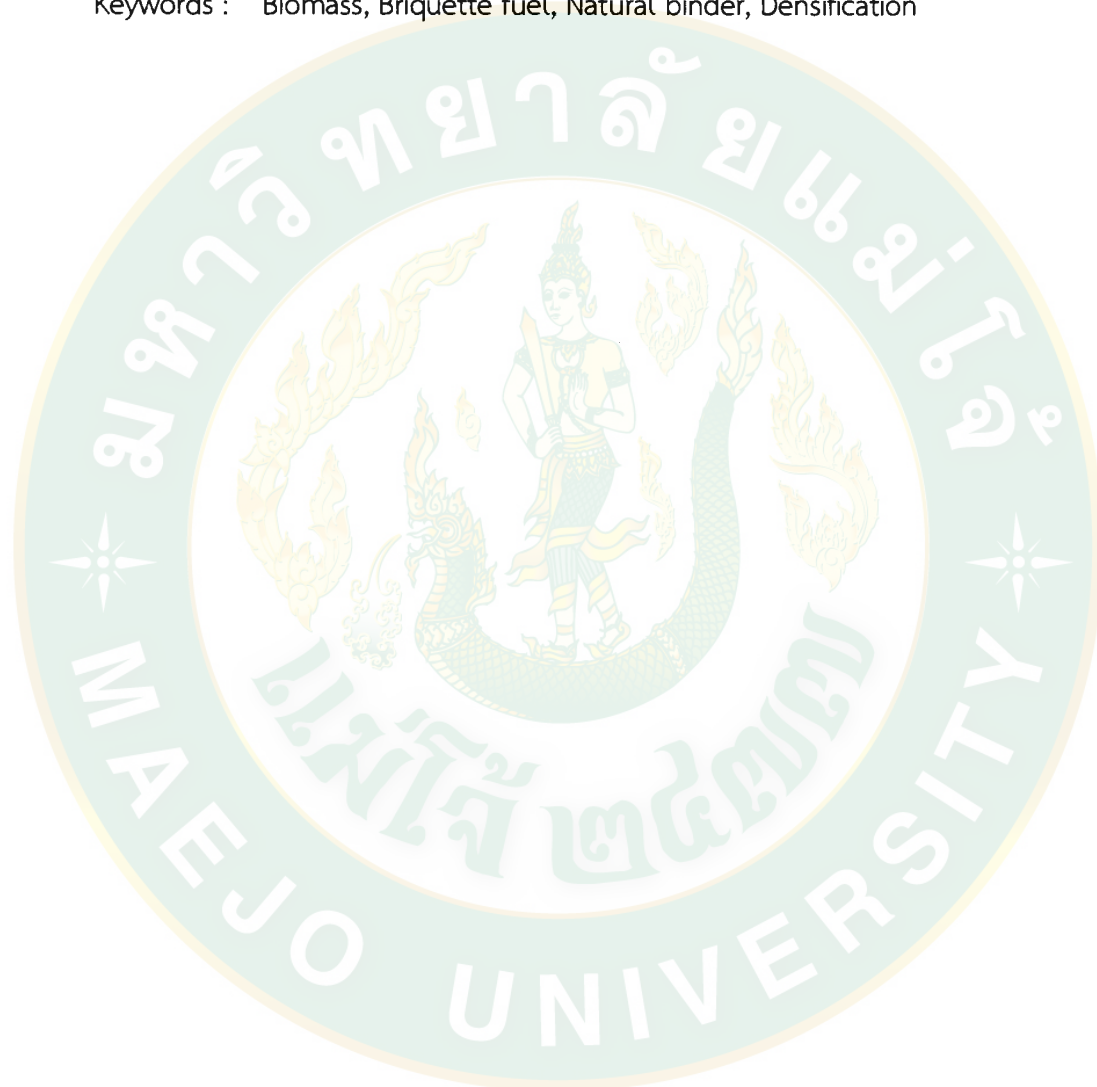


3590408587

MU- iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

chosen. The use of biomass as a natural binder can promote the use of compressed biomass at community and household levels. Overall, the study presents a creation of value from waste food that can be also applied to other types of waste.

Keywords : Biomass, Briquette fuel, Natural binder, Densification



3590406597

MU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงผ่านไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง ประธานกรรมการที่ปรึกษาหลัก ที่ให้ความรู้ ดูแลเอาใจใส่ สละเวลา ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ ตลอดจนตรวจแก้ไขตั้งแต่เริ่มต้นดำเนินงานวิจัยจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดร. นัฐพร ไชยญาติ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำชี้แนะ และแนวทางการแก้ปัญหา อีกทั้งให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช จินดารักษ์ รองคณบดีฝ่ายกิจการนิสิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้เกียรติมาเป็นประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ตลอดจนได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บริษัทลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ที่ได้สนับสนุนต้นถั่วเหลืองเพื่อนำมาใช้ในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณ หัวหน้าแผนกนวัตกรรมวิจัยและพัฒนา ในการติดต่อประสานงานเป็นอย่างดีเยี่ยม รวมถึงเจ้าหน้าที่เกษตร เจ้าของแปลง บ้านทุ่งหัวช้าง จังหวัดลำพูน และบ้านเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย ทุกๆท่าน

ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนวิจัย จาก วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ “โครงการผลิตและพัฒนาบัณฑิตทางด้านพลังงาน ในกลุ่มประเทศอาเซียน ในระดับบัณฑิตศึกษา” ทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้ “โครงการกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2561” และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในการสนับสนุนทุนการพัฒนาผลิตภัณฑ์นวัตกรรม ภายใต้ “โครงการพัฒนาหน่วยวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อการสร้างนวัตกรรมด้านการเกษตร ประจำปีงบประมาณ 2561”

และท้ายที่สุดนี้ต้องขอขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน อันเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยดูแลห่วงใย เป็นกำลังใจที่สำคัญ สนับสนุนทุนการศึกษาเพื่อรอความสำเร็จของผู้วิจัย ตลอดจนบุคลากรทุก ๆ ท่าน รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ น้อง ๆ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านทั้งที่ได้กล่าวนามมาข้างต้น และไม่ได้กล่าวนามได้ทั้งหมดในที่นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างสูง จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

บุญยาพร แสนพรม



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ณ
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ฒ
สารบัญตารางผนวก.....	ท
สารบัญภาพผนวก.....	น
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
ขอบเขตของงานวิจัย.....	7
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจสอบเอกสาร.....	8
พลังงานชีวมวล (Biomass Energy).....	8
โครงสร้างและคุณสมบัติทั่วไปของชีวมวล.....	11
การแปลงสภาพชีวมวล.....	18
เชื้อเพลิงอัดแท่ง (Briquette fuel).....	20
หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิง.....	22
กระบวนการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	23
ขั้นตอนการอัดแท่ง.....	25



3590408597

MTU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ตัวประสาน (Binder).....	27
การเลือกตัวประสานธรรมชาติ.....	28
กลไกในการยึดเกาะกันของตัวประสาน.....	30
กลไกการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	31
เทคโนโลยีเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง.....	32
การประเมินคุณภาพและสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	35
การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวล.....	36
การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพ.....	39
การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	41
การตรวจสอบเอกสาร.....	45
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	58
วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	58
1) วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	58
2) เครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	63
3) เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	68
4) เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า.....	70
5) อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบคุณสมบัติทางเคมี.....	72
6) อุปกรณ์และเครื่องทดสอบแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง.....	76
7) วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบโครงสร้างของชีวมวล.....	78
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	79
ขั้นตอนที่ 1: การจัดหาและเตรียมวัสดุ.....	80
ขั้นตอนที่ 2: การทดสอบการขึ้นรูป.....	82
ขั้นตอนที่ 3 : การทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ.....	85
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผล.....	94



3590406587

MU-IThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของชีวมวลที่นำมาอัดแท่ง.....	94
4.2 ผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง	96
4.2.1. ผลของชนิดตัวประสานธรรมชาติที่มีต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	96
4.2.2 ผลของสัดส่วนแป้งมันสำปะหลังที่มีต่อเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	97
4.2.3 ผลของขนาดชีวมวลในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง	98
4.3 ผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	99
4.3.1 ผลกระทบอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	99
4.3.2 ผลกระทบของชนิดตัวประสานธรรมชาติต่อความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่ง	102
4.3.3 ผลของแรงดันที่มีต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	104
4.4 ผลกระทบของอุณหภูมิในการอัดแท่ง.....	106
4.5 การวิเคราะห์โครงสร้างของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีผลจากแรงดันและอุณหภูมิ	108
4.5.1 การศึกษาลักษณะฐานโครงสร้างของวัตถุดิบ	108
4.5.2 ผลกระทบของอุณหภูมิและแรงดันต่อโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	111
4.6 การเลือกตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสม	113
4.6.1 ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	113
4.7 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ.....	115
4.7.1 ความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่ง	115
4.7.2 ดัชนีการแตกร่วน	115
4.7.3 ความต้านทานน้ำ.....	116
4.7.4 ความต้านทานแรงกดอัด.....	117
4.8 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	118
4.9 ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์.....	119
4.9.1 ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย	120
4.9.2 ระยะเวลาในการคืนทุน	129



3590408597

MTU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

4.9.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายใน.....	130
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	132
ข้อเสนอแนะ	134
บรรณานุกรม.....	135
ภาคผนวก.....	149
ภาคผนวก ก. ลักษณะทางกายเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้	150
ภาคผนวก ข. ตารางผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ	157
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการคำนวณ	181
ภาคผนวก ง. การเผยแพร่บทความวิชาการ.....	185
ประวัติผู้วิจัย.....	213



3590408597

MTU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สัดส่วนการเกิดชีวมวลต่อปริมาณผลผลิตที่ใช้ประเมินปริมาณการเกิดชีวมวลแต่ละชนิด	10
ตารางที่ 2 ศักยภาพของปริมาณชีวมวลชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตได้ในประเทศไทย	11
ตารางที่ 3 รูปแบบและวิธีการอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง	25
ตารางที่ 4 ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	29
ตารางที่ 5 มาตรฐานของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง	36
ตารางที่ 6 เกณฑ์คุณสมบัติของชีวมวลที่นำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงตามกรมโรงงานอุตสาหกรรม....	36
ตารางที่ 7 สรุปการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง	55
ตารางที่ 8 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลโดยวิธีการประมาณ (Proximate Analysis)	59
ตารางที่ 9 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis).....	59
ตารางที่ 10 การวิเคราะห์องค์ประกอบโครงสร้างของชีวมวล	60
ตารางที่ 11 คุณสมบัติของแอมโมเนียสำหรับ	63
ตารางที่ 12 อัตราส่วนที่ใช้ผสมระหว่างชีวมวลหลัก วัสดุประสานธรรมชาติและแอมโมเนียสำหรับ ..	83
ตารางที่ 13 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลก่อนนำไปเป็นตัวประสาน	95
ตารางที่ 14 อัตราส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน	105
ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความดันจากเครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย.....	105
ตารางที่ 16 ผลการสังเกตลักษณะทางกายภาพทั่วไปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	114
ตารางที่ 17 สมมติฐานในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	120
ตารางที่ 18 ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน	121
ตารางที่ 19 ต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิงในขั้นตอนการบดหยาบ	122
ตารางที่ 20 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า และต้นทุนไฟฟ้าในขั้นตอนการบดละเอียด	123
ตารางที่ 21 ปริมาณการใช้และต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า ในขั้นตอนการบดละเอียด ...	123



3590405587

MU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ตารางที่ 22 กำลังการผลิต อัตราการใช้พลังงาน และต้นทุนไฟฟ้าในขั้นการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง	124
ตารางที่ 23 สรุปต้นทุนพลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง	125
ตารางที่ 24 ต้นทุนค่าแรงในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง	125
ตารางที่ 25 ต้นทุนค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง	126
ตารางที่ 26 ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน	128
ตารางที่ 27 ระยะเวลาในการคืนทุนของเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน	130
ตารางที่ 28 สรุปผลการประเมินเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	131



3590408597

มจร :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศไทยในช่วง 11 เดือนของปีพ.ศ. 2562	2
ภาพที่ 2 แหล่งพลังงานชีวมวล	3
ภาพที่ 3 วัสดุชีวมวลที่มีแนวโน้มใช้เป็นตัวประสานธรรมชาติ	6
ภาพที่ 4 องค์ประกอบของชีวมวล	12
ภาพที่ 5 โครงสร้างของลิกโนเซลลูโลส	12
ภาพที่ 6 (ก) การวิเคราะห์ thermogravimetric (TGA) และ (ข) การวิเคราะห์ derivative thermogravimetric (DTG) ขององค์ประกอบชีวมวล	13
ภาพที่ 7 โครงสร้างของหน่วยของเซลโลไบโอส	14
ภาพที่ 8 หน่วยซ้ำของสายเซลลูโลสต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล	14
ภาพที่ 9 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	15
ภาพที่ 10 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส	16
ภาพที่ 11 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน	17
ภาพที่ 12 ลักษณะโครงสร้างผนังเซลล์ของพืช และภาพตัดขวางของไมโครไฟברิล	17
ภาพที่ 13 ลักษณะการยึดเกาะกันของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินภายในชีวมวล	18
ภาพที่ 14 ภาพ 3 มิติ ของลักษณะการสานกันของเส้นใยของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	20
ภาพที่ 15 เชื้อเพลิงเขียวจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	21
ภาพที่ 16 ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	21
ภาพที่ 17 เทคโนโลยีและเชื้อเพลิงกระบวนการอัดร้อน	24
ภาพที่ 18 ขั้นตอนการอัดแท่งเชื้อเพลิง	26
ภาพที่ 19 ตัวประสานประเภทเมทริก	27
ภาพที่ 20 ตัวประสานประเภทฟิล์ม	28



3590406587

MU- iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในระหว่างให้ความร้อน	30
ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน	31
ภาพที่ 23 เครื่องอัดแบบลูกสูบ	33
ภาพที่ 24 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย.....	33
ภาพที่ 25 เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวพร้อมขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด.....	34
ภาพที่ 26 เครื่องอัดแท่งแบบลูกกลิ้ง	35
ภาพที่ 27 ตัวอย่างซีลี้อยอัดแท่งที่ใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์ม 20 %	46
ภาพที่ 28 แม่พิมพ์กับตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งภายใต้แรงดันในเครื่องอัด	47
ภาพที่ 29 เครื่องแท่งไฮดรอลิกส์และแม่พิมพ์แบบ Holey	48
ภาพที่ 30 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว	50
ภาพที่ 31 รูปร่างของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน RS : LR ต่าง ๆ กัน ที่แรงดันต่าง ๆ	51
ภาพที่ 32 เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟผสมเปลือกมะขามใช้ผงบงเป็นตัวประสาน.....	52
ภาพที่ 33 เชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลลำไยและวัสดุช่วยติดไฟ	53
ภาพที่ 34 ชีวมวลหลักที่ใช้ในงานวิจัย	61
ภาพที่ 35 วัสดุประสานธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัย.....	62
ภาพที่ 36 วัสดุประสานทั่วไปที่ใช้ในงานวิจัย (แป้งมันสำปะหลัง).....	63
ภาพที่ 37 เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวรูปกรวย.....	64
ภาพที่ 38 เกลียวอัดรูปกรวย.....	64
ภาพที่ 39 กระบอกแม่พิมพ์.....	65
ภาพที่ 40 เครื่องย่อยปุ๋ยพืชสด รุ่น KTL-1000.....	66
ภาพที่ 41 เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบหยาบ รุ่น MJU-EB3 : PRO	66
ภาพที่ 42 เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบละเอียด รุ่น F-19ZSIII.....	67
ภาพที่ 43 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด รุ่น AIT-42R	67
ภาพที่ 44 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล รุ่น CDR-30	68

ภาพที่ 45 เวอร์เนียร์ไมโครพลาสติก ดิจิตอล 6 นิ้ว รุ่น 801353.....	68
ภาพที่ 46 เครื่องทดสอบดัชนีการแตกร่วน.....	69
ภาพที่ 47 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดอัด.....	70
ภาพที่ 48 อุปกรณ์ทดสอบความต้านทานน้ำ.....	70
ภาพที่ 49 แคลมป์มิเตอร์ รุ่น UT200A.....	71
ภาพที่ 50 มิเตอร์ไฟฟ้า.....	71
ภาพที่ 51 เตาเผาอุณหภูมิสูง.....	72
ภาพที่ 52 โกลดความชื้น.....	73
ภาพที่ 53 ถ้วยกระเบื้อง.....	73
ภาพที่ 54 ตู้อบลมร้อน.....	74
ภาพที่ 55 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล 4 ตำแหน่ง.....	74
ภาพที่ 56 ชุดอุปกรณ์ทดสอบค่าความร้อนรุ่น ART.2060/2070.....	76
ภาพที่ 57 เครื่องอัดไฮดรอลิกซ์.....	77
ภาพที่ 58 ชุดกระบอกอัดทดสอบแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป.....	77
ภาพที่ 59 ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนกระบอกอัด.....	78
ภาพที่ 60 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	79
ภาพที่ 61 ขั้นตอนจัดหาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	81
ภาพที่ 62 ขั้นตอนบดย่อยชีวมวล.....	81
ภาพที่ 63 ขั้นตอนลดความชื้นชีวมวล.....	82
ภาพที่ 64 ขั้นตอนการผสมชีวมวล.....	83
ภาพที่ 65 จุดที่ทำการวัดอุณหภูมิก่อนและหลังการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	84
ภาพที่ 66 การอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวล.....	84
ภาพที่ 67 การลดความชื้นเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	85
ภาพที่ 68 ทดสอบปริมาณความชื้นของชีวมวล.....	87



3590405597

ภาพที่ 69 การต่อลวดจุดระเบิดกับตัวอย่างในการทดสอบค่าความร้อน	88
ภาพที่ 70 การบรรจุก๊าซออกซิเจนในกระบอกบอมบ์	88
ภาพที่ 71 การต่อขั้วสายไฟ และตำแหน่งการปิดฝาเครื่อง	89
ภาพที่ 72 ขั้นตอนการทดสอบแรงดันในการขึ้นรูป.....	91
ภาพที่ 73 ตัวอย่างก้อนเชื้อเพลิงที่ผ่านทดสอบแรงดันจากเครื่องไฮดรอลิกซ์	91
ภาพที่ 74 การเตรียมตัวอย่างส่องกล้องจุลทรรศน์	92
ภาพที่ 75 ไดอะแกรมการดำเนินงานวิจัย	93
ภาพที่ 76 ลักษณะของทางใบปาล์มและต้นถั่วเหลืองเมื่อใช้มือบีบ	97
ภาพที่ 77 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่าง ๆ	98
ภาพที่ 78 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ขนาดชีวมวลต่าง ๆ	99
ภาพที่ 79 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนแป้งมัน 5% และ 10% เมื่อใช้ทางใบปาล์มเป็นตัวประสานธรรมชาติ	100
ภาพที่ 80 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนแป้งมัน 5% และ 10% เมื่อใช้ทางมะพร้าวเป็นตัวประสานธรรมชาติ	101
ภาพที่ 81 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนแป้งมัน 5% และ 10% ใช้ต้นถั่วเหลืองเป็นตัวประสานธรรมชาติ.....	101
ภาพที่ 82 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนตัวประสานธรรมชาติ 20%.....	103
ภาพที่ 83 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนตัวประสานธรรมชาติ 40%.....	103
ภาพที่ 84 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนตัวประสานธรรมชาติ 60%.....	104
ภาพที่ 85 อุณหภูมิขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติ 60%	107
ภาพที่ 86 อุณหภูมิขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติ 40%	107
ภาพที่ 87 อุณหภูมิขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติ 20%	108
ภาพที่ 88 ลักษณะสัณฐานของชีวมวลหลักที่กำลังขยายต่าง ๆ.....	109
ภาพที่ 89 ลักษณะสัณฐานของวัสดุประสานธรรมชาติที่กำลังขยายต่าง ๆ.....	110
ภาพที่ 90 ลักษณะสัณฐานของแป้งมันสำปะหลัง	111



3590406587

ภาพที่ 91 ลักษณะสัณฐานโครงสร้างของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่แรงดันสูงสุด	112
ภาพที่ 92 ลักษณะสัณฐานโครงสร้างของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่แรงดันต่ำสุด	112
ภาพที่ 93 ลักษณะสัณฐานโครงสร้างของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อุณหภูมิสูงสุด	113
ภาพที่ 94 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่ได้	114
ภาพที่ 95 ความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่ง	115
ภาพที่ 96 ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	116
ภาพที่ 97 ความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	117
ภาพที่ 98 ความต้านทานแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	118
ภาพที่ 99 สมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	119
ภาพที่ 100 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	119
ภาพที่ 101 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อเปลี่ยนตัวประสานธรรมชาติ	129



3590406987

สารบัญตารางผนวก

หน้า

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นเมื่อใช้ทางใบปาล์ม และแบ่งมัน10%.....	158
ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ทางมะพร้าว และแบ่งมัน10%.....	158
ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ต้นกล้วยเหลือง และแบ่งมัน10%.....	159
ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น เมื่อใช้ตัวประสานทางใบปาล์มและแบ่งมัน5% ..	160
ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น เมื่อใช้ตัวประสานทางมะพร้าวและแบ่งมัน5% ..	161
ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น เมื่อใช้ตัวประสานต้นกล้วยเหลืองและแบ่งมัน5% ..	162
ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการแทรกผ่านเมื่อใช้ทางใบปาล์ม และแบ่งมัน5%	163
ตารางผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการแทรกผ่านเมื่อใช้ทางมะพร้าว และแบ่งมัน5%	164
ตารางผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการแทรกผ่านเมื่อใช้ต้นกล้วยเหลือง และแบ่งมัน5%	165
ตารางผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์การต้านทานน้ำเมื่อใช้ทางใบปาล์ม และแบ่งมัน5%	166
ตารางผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์การต้านทานน้ำเมื่อใช้ทางมะพร้าว และแบ่งมัน5%.....	167
ตารางผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์การต้านทานน้ำเมื่อใช้ต้นกล้วยเหลือง และแบ่งมัน5%.....	168
ตารางผนวกที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดอัดเมื่อใช้ทางใบปาล์ม และแบ่งมัน5%...	169
ตารางผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดอัดเมื่อใช้ทางมะพร้าว และแบ่งมัน5%...	169
ตารางผนวกที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดอัดเมื่อใช้ต้นกล้วยเหลือง และแบ่งมัน5% ...	170
ตารางผนวกที่ 16 ผลการทดสอบค่าความร้อนของทางใบปาล์ม	171
ตารางผนวกที่ 17 ผลการทดสอบค่าความร้อนของทางมะพร้าว	171
ตารางผนวกที่ 18 ผลการทดสอบค่าความร้อนของต้นกล้วยเหลือง	171
ตารางผนวกที่ 19 ผลการทดสอบค่าความร้อนของแบ่งมันสำปะหลัง	172
ตารางผนวกที่ 20 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเศษไม้	172
ตารางผนวกที่ 21 ผลการทดสอบค่าความร้อนของฟางข้าว	172
ตารางผนวกที่ 22 ผลการทดสอบค่าความร้อนของขี้ข้าวโพด.....	172



ตารางผนวกที่ 23 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง WC: PL60: CS (BQ1).....	173
ตารางผนวกที่ 24 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง CC: PL40: CS (BQ2).....	173
ตารางผนวกที่ 25 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง CC: PL20: CS (BQ3).....	173
ตารางผนวกที่ 26 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง WC: CL60: CS (BQ4).....	174
ตารางผนวกที่ 27 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง WC: CL40: CS (BQ5).....	174
ตารางผนวกที่ 28 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง CC: CL20: CS (BQ6).....	174
ตารางผนวกที่ 29 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง WC: SB60: CS (BQ7).....	175
ตารางผนวกที่ 30 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง RS SB40: CS (BQ8)	175
ตารางผนวกที่ 31 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง WC: SB20: CS (BQ9).....	175



359040597



สารบัญภาพผนวก

หน้า

ภาพผนวกที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งทางปาล์มเป็นตัวประสาน	151
ภาพผนวกที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งทางมะพร้าวเป็นตัวประสาน.....	152
ภาพผนวกที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตันถั่วเหลืองเป็นตัวประสาน.....	153
ภาพผนวกที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งทางใบปาล์มเป็นตัวประสาน	154
ภาพผนวกที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งทางมะพร้าวเป็นตัวประสาน.....	155
ภาพผนวกที่ 6 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตันถั่วเหลืองเป็นตัวประสาน.....	156
ภาพผนวกที่ 7 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	176
ภาพผนวกที่ 8 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	176
ภาพผนวกที่ 9 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	177
ภาพผนวกที่ 10 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	177
ภาพผนวกที่ 11 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	178
ภาพผนวกที่ 12 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	178
ภาพผนวกที่ 13 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	179
ภาพผนวกที่ 14 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	179
ภาพผนวกที่ 15 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	180
ภาพผนวกที่ 16 บทความทางวิชาการที่ 1.....	187
ภาพผนวกที่ 17 บทความทางวิชาการที่ 2.....	196
ภาพผนวกที่ 18 บทความทางวิชาการที่ 3.....	205
ภาพผนวกที่ 19 โปสเตอร์นิทรรศการแสดงผลงาน งานเกษตรแม่โจ้ 85 ปี.....	211
ภาพผนวกที่ 20 แผ่นพับนิทรรศการแสดงผลงาน งานเกษตรแม่โจ้ 85 ปี.....	212



3590405587

MTU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

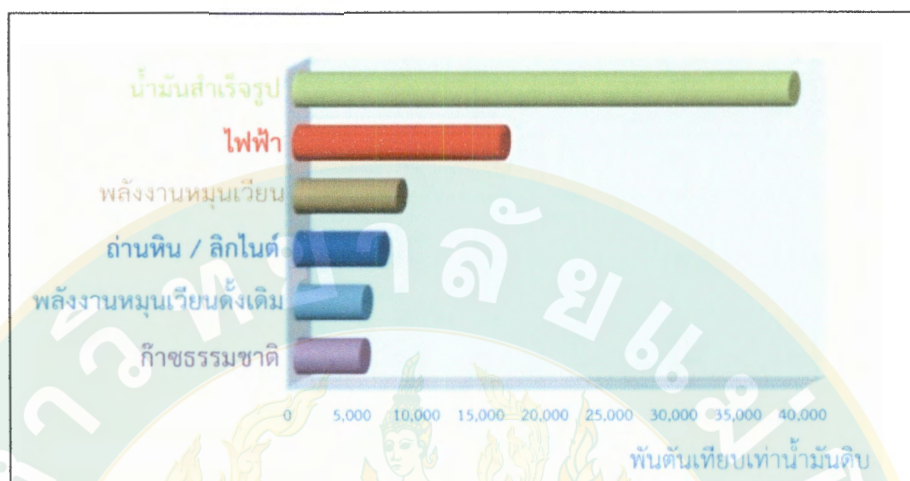
บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ การปรับปรุงคุณภาพชีวิต และการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ การใช้พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากร ประกอบกับการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของโลกที่เป็นต้นเหตุหลักสำคัญ เมื่อเทียบเชื้อเพลิงที่ใช้เฉลี่ยต่อคนต่อปีจะมีค่าเทียบเท่าน้ำมันดิบประมาณ 1.970 TOE (ธนาคารโลก, 2560) จะเห็นว่าค่าดังกล่าวอยู่ในอัตราที่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศกำลังพัฒนา มีความต้องการ พลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากทรัพยากรพลังงานภายในประเทศมีค่อนข้างจำกัด จึงต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศกว่าครึ่งหนึ่งของความต้องการและสัดส่วนการพึ่งพามีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงในการจัดหาพลังงานในอนาคต นอกจากนี้ราคาพลังงานก็มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เป็นภาระต่อผู้ใช้พลังงานความสามารถในการแข่งขันในเชิงเศรษฐกิจ และดุลการค้าระหว่างประเทศ ซึ่งสวนทางกับปริมาณพลังงานที่ลดลงเรื่อย ๆ โดยพบว่าน้ำมันสำเร็จรูปเป็นเชื้อเพลิงที่มีการใช้งานมากที่สุด คิดเป็น 77 ล้านตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ รองลงมาคือก๊าซธรรมชาติ คิดเป็น 57 ล้านตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ จากการสำรวจปริมาณของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ยังเหลืออยู่ใต้พื้นผิวของโลก โดยอ้างอิงข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณสำรองที่พิสูจน์แล้ว (proved reserves) (BP p.l.c. 2019, 2019) และปริมาณการผลิตรายปีจากแหล่งสถิติสองแหล่ง คือ Energy Information Administration (EIA) ประเทศสหรัฐอเมริกา และบริษัทน้ำมัน British Petroleum พบว่าปริมาณสำรองที่พิสูจน์แล้วของโลก ณ สิ้นปี พ.ศ. 2561 มีปริมาณทั้งหมด 1,729.7 พันล้านบาร์เรล และจะมีใช้ไปอีกต่อไปไม่ถึง 50 ปี เมื่อพิจารณาสถานการณ์พลังงานในประเทศไทย มีปริมาณสำรองปิโตรเลียมรวมทั้งพื้นที่พัฒนาร่วมไทย-มาเลเซีย ณ สิ้นปี 2561 จากข้อมูลสถิติกรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ กระทรวงพลังงาน (กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ กระทรวงพลังงาน, 2561) พบว่าปริมาณน้ำมันดิบเหลือเพียง 136.88 ล้านบาร์เรล ที่ผ่านมาประเทศไทยจากรายงานสถานการณ์พลังงานของประเทศไทยเดือนมกราคม-พฤศจิกายน 2562 จาก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2562) ดังภาพที่ 1 มีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในช่วง 11 เดือนของปีพ.ศ. 2562 มีปริมาณ 79,427 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งเพิ่มจากช่วงเดียวกันของปีก่อนร้อยละ 3.7 คิดเป็นมูลค่ากว่า 1,121,243 ล้านบาท ซึ่งน้ำมันสำเร็จรูปยังคงเป็นพลังงานที่ใช้มากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 48.4 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย รองลงมา ประกอบด้วย

ไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียน ถ่านหิน/ลิกไนต์พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม และก๊าซธรรมชาติคิดเป็น ร้อยละ 20.1 10.1 8.3 6.7 และ 6.4 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศไทยในช่วง 11 เดือนของปีพ.ศ. 2562

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2562)

จากข้อความดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าการบริโภคพลังงานมากขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อม ในขณะที่แหล่งทรัพยากรพลังงานมีอยู่อย่างจำกัดและมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้จึงต้องตระหนักและให้ความสำคัญในการลดใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล และลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ รัฐบาลโดยกระทรวงพลังงานจึงมีนโยบายพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศไทย จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2015) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) มุ่งเน้นให้ความสำคัญในการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากวัตถุดิบพลังงานทดแทนที่มีอยู่ภายในประเทศให้เป็นแหล่งพลังงานหลัก ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล และพลังงานความร้อนใต้พิภพ ในรูปของภาคไฟฟ้า ภาคความร้อน และภาคขนส่ง อีกทั้งเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในทุกภาคส่วน เท่ากับ 30% รวมไปถึงการพัฒนาศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทนด้วยเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสม และพัฒนาเพื่อผลประโยชน์ร่วมกันในสังคมและสิ่งแวดล้อมแก่ชุมชน ซึ่งหนึ่งในพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นพลังงานและเกิดความมั่นคงด้านพลังงาน คือ พลังงานชีวมวล ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แหล่งพลังงานชีวมวล

ที่มา : Powermax Wuxi Teneng power machinery (ม.ป.ป.)

ประเทศไทยตั้งอยู่บนพื้นฐานเกษตรกรรมตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม มีการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เช่น ข้าว อ้อย ข้าวโพด มะพร้าว มันสำปะหลัง ไม้ยางพารา และปาล์มน้ำมัน เป็นต้น จากข้อมูลสำนักยุทธศาสตร์และการวางแผนเศรษฐกิจมหภาค (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2561) ประเมินการเศรษฐกิจ ในปี พ.ศ.2562 ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross domestic product : GDP) คาดว่าจะขยายตัวร้อยละ 3.8.-4.5 ปรับตัวดีขึ้นเนื่องจากการขยายตัวร้อยละ 3.2 ในปี 2561 ในไตรมาสแรกที่ผ่านมา พบว่าการผลิตสาขาเกษตรกรรมมีขยายตัวสูงถึงร้อยละ 7.7 เป็นการขยายตัวสูงสุดในรอบยี่สิบไตรมาสที่ผ่านมา โดยผลผลิตพืชเกษตรสำคัญ ได้แก่ ข้าวเปลือก (ร้อยละ 63.0) ข้าวโพด (ร้อยละ 39.6) ปาล์มน้ำมัน (ร้อยละ 7.0) และอ้อย (ร้อยละ 7.3) เมื่อปริมาณการผลิตที่มากขึ้น ผลพลอยที่ได้ คือ เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural Residues) เช่น ฟางข้าว แกลบ ชังข้าวโพด ทะลายปาล์ม เส้นใยปาล์ม ชานอ้อย เศษไม้ เป็นต้น เศษชีวมวลเหลือทิ้งเหล่านี้มีปริมาณมาก หาได้ง่ายในท้องถิ่น ส่วนหนึ่งมีการนำไปทำปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้ในการเกษตร แต่ส่วนใหญ่นำไปทำลายด้วยการเผา ภาคเหนือตอนบนเป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาหมอกควันที่เป็นปัญหามลพิษ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากร สิ่งแวดล้อมของคนในชุมชน หรือชั้นบรรยากาศ นำไปสู่ปัญหาภาวะโลกร้อน (Global warming) นอกจากปัญหาด้านพลังงานแล้ว ประเทศไทยยังต้องเผชิญกับ ความท้าทายด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้พลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอันเนื่องมาจากสภาวะโลกร้อน จึงต้องมียุทธศาสตร์การปล่อยก๊าซเรือน

กระจกที่เข้มข้น ซึ่งเป็นปัจจัยส่วนสำคัญที่ทำให้ระบบพลังงานของประเทศต้องเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบลดคาร์บอน (Low-carbon energy system) ดังนั้นหากพิจารณาให้เกิดประโยชน์สูงสุด เศษชีวมวลเหลือทิ้งเหล่านี้มีศักยภาพสามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานได้ ด้วยกระบวนการการเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อน (Thermochemical conversion) และทางชีวเคมี (Biochemical conversion) เช่น การเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) กระบวนการหมัก (Fermentation) เป็นต้น ซึ่งการนำมาใช้ในกระบวนการเผาไหม้โดยตรงนั้น จะให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ต่ำ ทำให้ค่าพลังงานความร้อนที่ได้ต่ำ อีกทั้งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ง่าย ส่วนการนำมาใช้กับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ปัญหาที่พบคือ น้ำมันดิน (Tar) ส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่าง ๆ นอกจากนี้ชีวมวลส่วนใหญ่ยังมีความหนาแน่นต่ำ ไม่สามารถนำมาใช้งานได้โดยตรง จึงต้องเพิ่มคุณภาพชีวมวลด้วยกระบวนการเพิ่มความหนาแน่น (Densification) เปลี่ยนวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำให้เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง ช่วยลดความชื้นและยังสามารถปรับปรุงขนาดและรูปร่างให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้งาน สามารถแปรรูปให้เป็นเชื้อเพลิงได้ในหลายรูปแบบ เช่น ชีวมวลอัดเม็ด (Wood pellet) ชีวมวลอัดแท่ง (Biomass briquette) และถ่านอัดแท่ง (Charcoal) หากสามารถเพิ่มคุณภาพให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในท้องถิ่นเหล่านี้ได้ น่าจะส่งผลให้มีการใช้ชีวมวลอย่างแพร่หลาย ตามนโยบายแผนพลังงานทดแทนของรัฐบาลที่สนับสนุน ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล และส่งเสริมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล Wood chip, Wood pellet รวมถึงช่วยแก้ปัญหาการกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากการเผาทำลาย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเตาชีวมวลใช้ในชุมชน

กระบวนการเพิ่มความหนาแน่นเพื่อแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงาน โดยทั่วไปแล้วมีกรรมวิธีการขึ้นรูป 2 ลักษณะ คือ กระบวนการอัดร้อน (Hot press process) และกระบวนการอัดเย็น (Cold press process) การขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดร้อนจะใช้ผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน โดยวัสดุที่นำมาผลิตจะขึ้นรูปยึดเกาะตัวกันได้ด้วยความร้อนตลอดระยะเวลาถึง 350 °C ใช้พลังงานและความดันในกระบวนการผลิตสูง อีกทั้งเทคโนโลยีที่ใช้มีราคาค่อนข้างแพง ทำให้ต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิงสูงตาม จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในท้องถิ่น ในส่วนการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดเย็นเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป เนื่องจากเป็นกรรมวิธีขึ้นรูปที่ง่าย ใช้พลังงานและความดันในการอัดต่ำ เทคโนโลยีที่นำมาผลิตก็มีราคาไม่สูง สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในชุมชน แต่กระบวนการอัดเย็นนี้ มีปัญหาในเรื่องของตัวประสาน (Binder) ที่ทำหน้าที่ช่วยยึดเกาะให้เนื้อชีวมวลเป็นเนื้อเดียวกันและขึ้นรูปได้ ปัญหาที่พบในการผลิตคือต้องใช้อัตราส่วนตัวประสานค่อนข้างสูง ทำให้มีค่าใช้จ่ายในกระบวนการเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คุณสมบัติในด้านความร้อนของชีวมวลต่ำ อีกทั้งยังทำให้มีต้นทุนในผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งสูงขึ้น ดังนั้นหากสามารถลดการใช้ตัวประสานให้ได้มากที่สุด ก็จะสามารถผลิตใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในชุมชนและอุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงต้องพัฒนาเทคโนโลยีต่อไป การใช้วัสดุ

ประสานธรรมชาติเป็นอีกทางเลือกในการลดตัวประสาน จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่ามีชีวมวลบางชนิดที่มีศักยภาพในการเป็นตัวประสานใช้กับชีวมวลชนิดอื่นได้ดังแสดงในภาพที่ 3 แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ยังไม่มีการศึกษาการใช้วัสดุประสานธรรมชาติแบบ 100% งานวิจัยที่มีความสนใจ ได้แก่ (ธนาพล และคณะ, 2558) นำทางมะพร้าวมาผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งด้วยกระบวนการอัดเย็น โดยใช้น้ำมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน พบว่าแท่งเชื้อเพลิงสามารถอัดขึ้นรูปได้ดี แท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีความแน่นสูงและสามารถคงรูปอยู่ได้ (ประทีป, 2538) ได้นำผักตบชวาเป็นตัวประสาน ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เลื่อยเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด ผลการทดสอบพบว่า ผักตบชวาสามารถนำมาเป็นตัวประสานในการอัดแท่งได้ดีทุกอัตราส่วน (นฤมล และคณะ, 2555) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เศษวัสดุทางการเกษตรผสมกับทางใบปาล์ม และใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ใบปาล์มผสมเกือบทุกอัตราส่วนสามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงเขียวได้โดยไม่เสียรูปและหลุดออกจากกัน ใบปาล์มมีคุณสมบัติเป็นตัวประสานเชื้อเพลิงได้ (ณัฐกิตติ์ และคณะ, 2560) ทดลองอัดแท่งโดยนำต้นและเปลือกกล้วยมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่า สามารถขึ้นรูปได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ เมื่อสัมผัสกับน้ำเชื้อเพลิงมีความเหนียว แข็งแรง เกาะกันแน่น และมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากผลการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าวัสดุชีวมวลเหล่านี้ น่าจะมีคุณสมบัติเป็นตัวประสานให้กับเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยในครั้งนี้

อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการยืนยันผลของการนำเอาวัสดุประสานธรรมชาติมาใช้งาน ยังคงมีตัวแปรต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมในการขึ้นรูปเป็นแท่งของเชื้อเพลิง ให้ได้ตามมาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังนั้นโครงการวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพัฒนาและต่อยอดวัสดุประสานธรรมชาติในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลที่มีอยู่ในท้องถิ่น โดยการศึกษาจะทำการทดสอบตัวแปรทั้งหมด 3 อย่าง ได้แก่ ชนิดของตัวประสาน, อัตราส่วนส่วนประสาน: วัสดุหลัก, ขนาดของตัวประสานที่มีผลต่อชีวมวล และจะทำการศึกษาผลกระทบของความดันและอุณหภูมิที่มีต่อโครงสร้างของชีวมวล ผลจากการทดสอบจะวิเคราะห์ในส่วนของคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทั้งคุณภาพทางกายภาพ เคมี และความร้อน รวมไปถึงต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของตัวประสานธรรมชาติในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย จะส่งผลให้ต้นทุนของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลง และการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งก็จะมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เพราะฉะนั้นการคิดค้นและพัฒนาการนำต้นกล้วย ทางปาล์ม ทางมะพร้าว เป็นตัวประสานธรรมชาติในการผลิตเป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่งจึงเป็นการแสวงหาหนทางใหม่ ทดแทนพลังงานสิ้นเปลือง ส่งผลให้พลังงานมันคงทำให้เศรษฐกิจมีคั้ง สอดคล้องกับนโยบายแผนพัฒนาพลังงานทดแทนของรัฐบาล และก้าวสู่ยุค Thailand 4.0



359040597

MUJ iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



(ก) ผักตบชวา



(ข) ต้นถั่วเหลือง



(ค) ทางมะพร้าว



(ง) ทางปาล์มน้ำมัน

ภาพที่ 3 วัสดุชีวมวลที่มีแนวโน้มใช้เป็นตัวประสานธรรมชาติ

ที่มา : (ก) กลุ่มพัฒนายั่งยืน ต.ตลาดจินดา (2559) (ข) ถั่วเหลืองสาละวิน (2551) (ค) นิคมสหกรณ์
บางสะพาน (2554) (ง) ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2556)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาชนิดของตัวประสานธรรมชาติที่มีผลต่อการอัดแท่ง และคุณภาพเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- 2) เพื่อศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยใช้วัสดุประสานธรรมชาติเป็นตัวประสานหลัก
- 3) เพื่อศึกษาผลกระทบของความดันและอุณหภูมิที่มีต่อโครงสร้างของชีวมวล
- 4) เพื่อประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ทางความร้อน และต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาการใช้ต้นถั่วเหลือง ทางใบปาล์ม และทางมะพร้าว เป็นตัวประสานธรรมชาติ สำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่ง มีขอบเขตการศึกษาดังนี้

- 1) ชีวมวลหลักในการอัดแท่งเชื้อเพลิง ได้แก่ ชังข้าวโพด เศษไม้ และฟางข้าว
- 2) วัสดุประสานธรรมชาติหลักที่ใช้ ได้แก่ ทางมะพร้าว ทางปาล์ม และต้นถั่วเหลือง
- 3) อัตราส่วนชีวมวลหลัก: ตัวประสานธรรมชาติ: ตัวประสานทั่วไป คือ
 - 100: 20: 1, 100: 20: 5, 100: 20: 10 (โดยมวล)
 - 100: 40: 1, 100: 40: 5, 100: 40: 10 (โดยมวล)
 - 100: 60: 1, 100: 60: 5, 100: 60: 10 (โดยมวล)
 และปริมาณน้ำที่ใช้อยู่ในช่วง 50% – 100% ต่ออัตราส่วนชีวมวลหลัก
- 4) ศึกษาตัวแปรทั้งหมด 3 ตัวแปร ได้แก่ ชนิดของตัวประสาน อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบและตัวประสาน ขนาดของตัวประสาน (<1 mm, 1 – 3 mm, 3 – 5 mm)
- 5) การวัดความดันและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอัดแท่ง จะทำการทดสอบโดยใช้เครื่องอัดแท่งแบบไฮดรอลิกส์
- 6) ประเมินเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบกับตัวประสานชนิดแ่งมันสำปะหลัง
- 7) การประเมินคุณสมบัติ, การทดสอบคุณภาพ, การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ จะใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบโครงสร้างของชีวมวลเมื่อความดันและอุณหภูมิเปลี่ยนไปในกระบวนการอัดแท่ง
2. ได้สัดส่วนวัสดุตัวประสานธรรมชาติ: วัสดุชีวมวลหลัก สำหรับใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง
3. ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้วัสดุตัวประสานธรรมชาติเป็นตัวประสาน
4. ได้ข้อมูลตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่ใช้วัสดุธรรมชาติเป็นตัวประสาน
5. ได้ต้นทุนและการใช้พลังงานในการอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง



3580405587

MUJ iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งโดยใช้วัสดุประสานธรรมชาติ เพื่อลดต้นทุนจากการใช้แบริ่งมันสำปะหลัง ในเนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึง พลังงานชีวมวล เศรษฐศาสตร์ การเกษตร เชื้อเพลิงอัดแท่ง ตัวประสานทั่วไป ตัวประสานธรรมชาติ กระบวนการเพิ่มความหนาแน่น การแปลงสภาพชีวมวล เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง การวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง และศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามลำดับ

พลังงานชีวมวล (Biomass Energy)

ชีวมวล (Biomass) คือ วัสดุหรือสารที่ได้จากธรรมชาติหรือสิ่งมีชีวิตโดยไม่นับการกลายเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรหลากหลายชนิด เช่น ข้าว มันสำปะหลัง น้ำตาล ยางพารา น้ำมันปาล์ม ฯลฯ โดยหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะถูกทิ้งซากให้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะปลูกแต่ส่วนใหญ่เกษตรกรจะกำจัดโดยเผาทำลาย ซึ่งสร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม แต่หากพิจารณาอย่างถี่ถ้วนแล้วนั้น ชีวมวลเหล่านี้มีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงอย่างดี และให้ค่าพลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2553) โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยใช้ความร้อน หรือกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยอาศัยจุลินทรีย์ (ธีรศักดิ์, 2559) พลังงานที่ได้มาจากชีวมวลจะอาศัยกระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกตัวของอินทรีย์สารที่อยู่ในชีวมวล และผลิตพลังงานออกมาเนื่องจากในชีวมวลจะประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) กำมะถัน (S) ไนโตรเจน (N) และธาตุอื่น ๆ ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนการเจริญเติบโตของพืชใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำและเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงทำให้ได้แป้งและน้ำตาลและนำไปเก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช ดังนั้นเมื่อนำพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเราจึงได้พลังงานออกมาทั้งที่ได้จากพืชโดยตรงและโดยอ้อม

ประเทศไทยนับว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม มีปริมาณชีวมวลที่เหลือทิ้งเนื่องจากกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตการเกษตร โดยเศรษฐกิจเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ได้เหล่านี้มีสัดส่วนสูงเมื่อเทียบกับผลผลิต ดังตารางที่ 1 แสดงสัดส่วนชีวมวลต่อปริมาณผลผลิตชีวมวลแต่ละชนิด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), 2556) ชีวมวลบางส่วนสามารถนำกลับมาใช้ได้ แต่บางส่วนเกษตรกรจะกำจัดด้วยการเผาทำลายทันที ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1. การใช้



3590406597

PDF GENERATED BY iThesis 5915301016 thesis / rev: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ประโยชน์ในภาคการเกษตร โดยรวบรวมชีวมวลมาทำเป็นปุ๋ยหมัก เพาะเห็ด หรือนำไปทำเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ 2. การใช้ประโยชน์ในภาคการผลิต นำไปหมักโดยอาศัยจุลินทรีย์เกิดเป็นเชื้อเพลิงเหลวเป็นต้น โดยส่วนใหญ่จะทำการกำจัดชีวมวลเหล่านี้ด้วยการเผาก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่าง ๆ หากมีการกำจัดอย่างถูกวิธีเช่น นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ หรือนำมาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงาน ก็จะสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับชีวมวลเหลือทิ้งเหล่านี้ นอกจากนี้ยังเป็นเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่งด้วย

ชีวมวลที่ถูกแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ นั้น จะเห็นได้จากข้อมูลทางสถิติของ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), 2556) ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ปริมาณชีวมวลที่คงเหลือจากการนำไปใช้งานมีทั้งสิ้นประมาณ 62,844,420.53 ตัน อ้างอิงจากข้อมูลของปีการเพาะปลูกในปี พ.ศ. 2556 การประเมินศักยภาพของชีวมวล โดยการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลอุปสงค์และอุปทานซึ่งรวมในการใช้ชีวมวล ชีวมวลบางประเภทมีปริมาณคงเหลือเป็นจำนวนมาก เช่น ใบและทางปาล์ม ใบและลำต้นต้นถั่วเหลือง เป็นต้น ส่วนชีวมวลที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันผู้ประกอบการหาแนวทางในการกำจัดและลดต้นทุนในการผลิตด้วยการนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อลดค่าใช้จ่ายภายในและเป็นการลดมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งชีวมวลที่สามารถนำมาใช้งานแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลนั้น บางชนิดยังมีปัญหาในด้านความหนาแน่นรวมของวัตถุดิบที่ต่ำ มีการย่อยสลายทางธรรมชาติได้ง่าย ขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ ปริมาณความชื้นที่สูง การขนส่งที่ต้องมีค่าใช้จ่าย อีกทั้งการกำจัดที่ไม่ถูกต้อง อีกทั้งมีสิ่งปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ ซึ่งชีวมวลที่เหลือนี้สามารถนำมาแปลงสภาพ ใช้งานในด้านพลังงานได้อย่างหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการเผาให้ความร้อนโดยตรง (combustion) กระบวนการเพิ่มความหนาแน่น (Densification) กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis process) กระบวนการผลิตก๊าซ (Gasification) และกระบวนการอื่น ๆ (นคร, 2553) แม้ว่าชีวมวลจะสามารถนำมาใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ได้หลากหลายชนิด แต่ละชนิดให้ค่าความร้อนที่แตกต่างกันตามลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลนั้น ๆ ดังนั้นการพัฒนาข้อเสียหรือข้อด้อยของชีวมวลให้สามารถนำกลับมาใช้งานในแง่ของพลังงานโดยการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ส่งผลให้ควบคุมประสิทธิภาพของระบบได้ง่าย อีกทั้งง่ายต่อการขนส่งรวมทั้งสามารถควบคุมสภาวะในการจัดเก็บ และเป็นการกำจัดที่ถูกไม่ทำให้เกิดมลพิษทางด้านอากาศอีกด้วย



3590408597

MTU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ตารางที่ 1 สัดส่วนการเกิดชีวมวลต่อปริมาณผลผลิตที่ใช้ประเมินปริมาณการเกิดชีวมวลแต่ละชนิด

ชนิดพืช	ชนิดชีวมวล	สัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต (ตัน/ตันผลผลิต)
1.ข้าว	ฟางข้าว	0.49
	แกลบ	0.21
2.อ้อย	ใบและยอดอ้อย	0.17
	ชานอ้อย	0.28
3.ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ยอด ใบ และลำต้นข้าวโพด	1.84
	ซังข้าวโพด	0.24
4.มันสำปะหลัง	เหง้ามันสำปะหลัง	0.20
	กากมันสำปะหลัง	0.06
	เปลือกมันสำปะหลัง	0.28
5.ปาล์มน้ำมัน	ลำต้น	1.0
	ใบและทางปาล์ม	1.41
	ทะลายปาล์มเปล่า	0.32
	เส้นใยปาล์ม	0.19
	กะลาปาล์ม	0.04
6.ต้นถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิสง	ยอด ใบและลำต้น	1.177
7.ยางพารา	ตอ รากและกิ่งก้านไม้	5 ตันต่อไร่
	ปลายไม้	12 ตันต่อไร่
	ปึกไม้	12 ตันต่อไร่
	ขี้เลื่อยและเศษไม้	3 ตันต่อไร่
8.มะพร้าว	จั่นและทะลายมะพร้าว	0.29
	เปลือกและกาบมะพร้าว	0.33

ที่มา: ข้อมูลของปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2556

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2556)

ตารางที่ 2 ศักยภาพของปริมาณชีวมวลชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตได้ในประเทศไทย

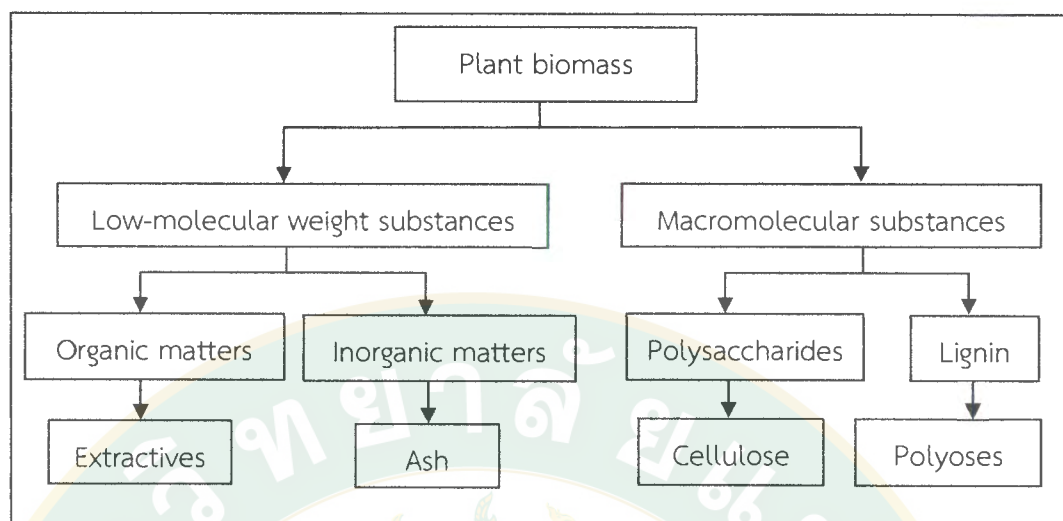
ชนิดของ ชีวมวล	ปริมาณที่เกิดขึ้น (ตัน)	ใช้ประโยชน์ แล้ว (ตัน)	ปริมาณคงเหลือ (ตัน)	ค่าความร้อน (TJ)
1.ฟางข้าว	19,005,628.14	8,112,801.26	10,892,826.89	134,308.56
2.แกลบ	8,145,269.20	8,006,283.36	138,985.84	1,879.09
3.ซังข้าวโพด	1,215,078.72	1,094,081.58	120,997.14	1,163.99
4.ใบและทางปาล์ม	18,065,006.01	1,707,454.87	16,357,551.14	28,789.29
5.ใบและลำต้นถั่ว	65,017.48	3,250.87	61,766.61	1,002.47
6.ไม้ยางพารา	1,094,365.00	218,873.00	875,492.00	5,751.98
7.กะลามะพร้าว	252,508.25	230,540.03	21,968.22	393.89
8.ทะลายปาล์ม	4,099,859.52	1,891,985.90	2,207,873.62	15,985.00
เปลา				
9.เปลือกและกาก	333,310.89	329,976.78	3,334.11	54.11
มะพร้าว				
10.จั่นและทะลาย	292,909.57	56,824.46	236,085.06	3,635.71
มะพร้าว				
รวม	134,134,102.21	71,289,681.68	62,844,420.53	562,222.85

ที่มา: ข้อมูลของปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2556
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2556)

โครงสร้างและคุณสมบัติทั่วไปของชีวมวล

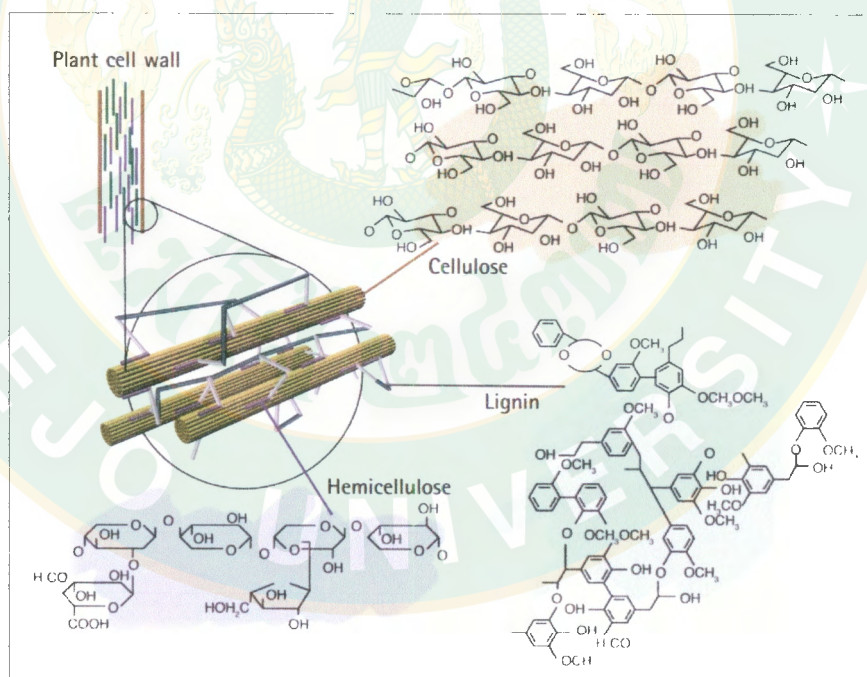
ชีวมวลเป็นวัสดุที่ประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) สารอนินทรีย์ (Inorganic matters) และสารอินทรีย์ขนาดเล็ก (Eriksson et al., 1990) โดยองค์ประกอบของชีวมวลแสดงดังภาพที่ 4 แบ่งออกเป็นปริมาณของสารโมเลกุลใหญ่ (Macromolecular) และสารโมเลกุลเล็ก (Micromolecular) ในชีวมวลจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของชีวมวล โดยที่ลิกนิน (Lignin) จะมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 18–35 โดยน้ำหนัก เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส (Cellulose and hemicellulose) ร้อยละ 65–75 โดยน้ำหนัก และสารโมเลกุลเล็กชนิดอื่น ๆ มีองค์ประกอบที่น้อยกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก





ภาพที่ 4 องค์ประกอบของชีวมวล

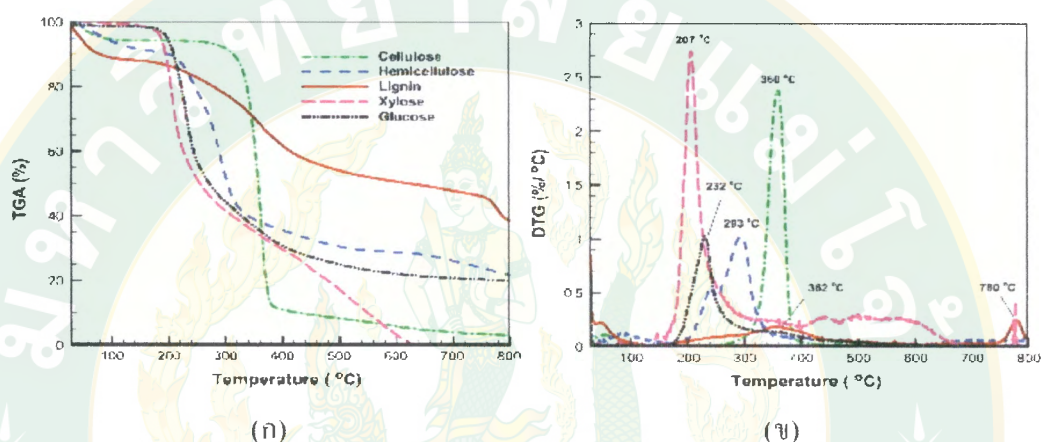
ที่มา: Mohan et al (2006)



ภาพที่ 5 โครงสร้างของลิกโนเซลลูโลส

ที่มา: Tumluru et al (2011)

โดยทั่วไปองค์ประกอบของชีวมวลจะเรียกว่า ลิกโนเซลลูโลส ดังภาพที่ 5 ประกอบไปด้วย เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (lignin) สารสกัดอินทรีย์ (organic extractives) แร่ธาตุอนินทรีย์ (inorganic minerals) หรือ “ขี้เถ้า (ash)” ซึ่งสามส่วนแรกนั้นจะเป็น องค์ประกอบหลักของชีวมวลทั่วไป (ทศพร และคณะ, 2018) และสัดส่วนของทั้งสามองค์ประกอบจะ แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล ดังแสดงจากภาพที่ 6 โดยจะพบว่าแต่ละองค์ประกอบ ของชีวมวลจะมีอุณหภูมิที่ทำให้มีความรุนแรงของการสลายตัวไม่เท่ากัน



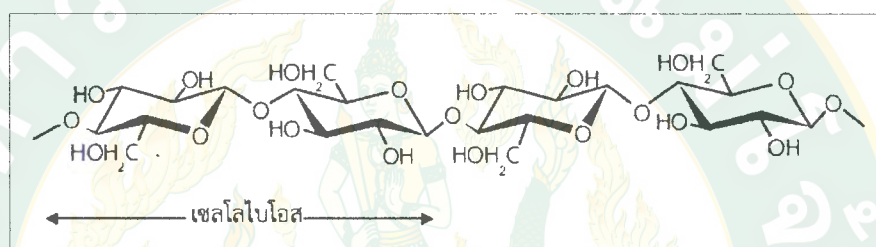
ภาพที่ 6 (ก) การวิเคราะห์ thermogravimetric (TGA) และ (ข) การวิเคราะห์ derivative thermogravimetric (DTG) ขององค์ประกอบชีวมวล

ที่มา: Chen et al (2015)

1. เซลลูโลส

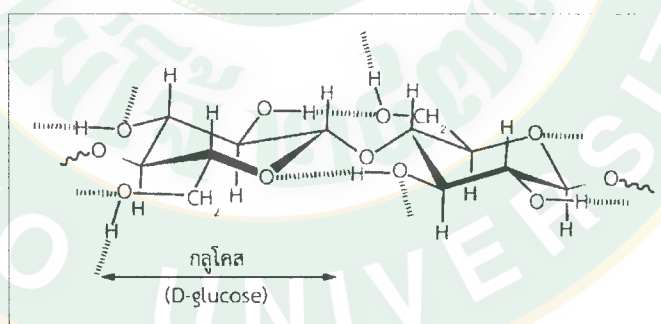
เซลลูโลส คือพอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (106 หรือมากกว่า) ซึ่งเซลลูโลส จะประกอบกันเป็นเส้นใยในชีวมวล (Tumuluru et al., 2011) เกิดจากเกิดจากฮอโมพอลิแซ็กคาไรด์ (homopolysaccharides) ที่ประกอบด้วย β -D-glucopyranose ต่อกันเป็นเส้นตรง โดยพันธะไกลโคไซด์ ((1 $\rightarrow$ 4)-glycosidic) (Balat et al., 2008) ที่ตำแหน่ง β -1,4 (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2012) สารประกอบกลูโคส (glucose anhydride) จะถูกสร้างขึ้นผ่านการกำจัดน้ำออกจากกลูโคสและกลูโคสจะถูกทำให้เป็นพอลิเมอร์เข้าไปในสายของเซลลูโลสที่มีหน่วยกลูโคส 5,000-10,000 โมเลกุล พื้นฐานของเซลลูโลสประกอบด้วยสองหน่วย เรียกว่าหน่วย เซลโลบิโอส (cellobiose) (Mohan et al., 2006) ดังภาพที่ 7 ทำหน้าที่เป็นหน่วยโครงสร้าง (building block) ของเซลลูโลสยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของกลูโคสและระหว่างสายของพอลิเมอร์ แสดง

ดังภาพที่ 8 สามารถเขียนโครงสร้างพื้นฐานของเซลลูโลสได้เป็น $(C_6H_{10}O_5)_m$ เมื่อ m คือระดับของพอลิเมอร์เชชัน (Chen et al., 2015) เซลลูโลสจะเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 240–350 °C ส่งผลให้น้ำที่อยู่ภายในเซลลูโลสระเหยออกทั้งหมด เมื่อได้รับความร้อนอย่างรวดเร็ว น้ำภายในเซลลูโลสจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ปริมาณที่พบแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนของพืช เช่น เนื้อไม้พบประมาณ 40%–50% และเส้นใยปาล์มพบประมาณ 98% เซลลูโลสเป็นโฮโมโพลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรง ไม่มีกิ่งก้าน โดยทั่วไปในธรรมชาติพบเซลลูโลส 2 แบบ คือ Crystalline cellulose และ Amorphous cellulose สำหรับโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส แสดงดังภาพที่ 9



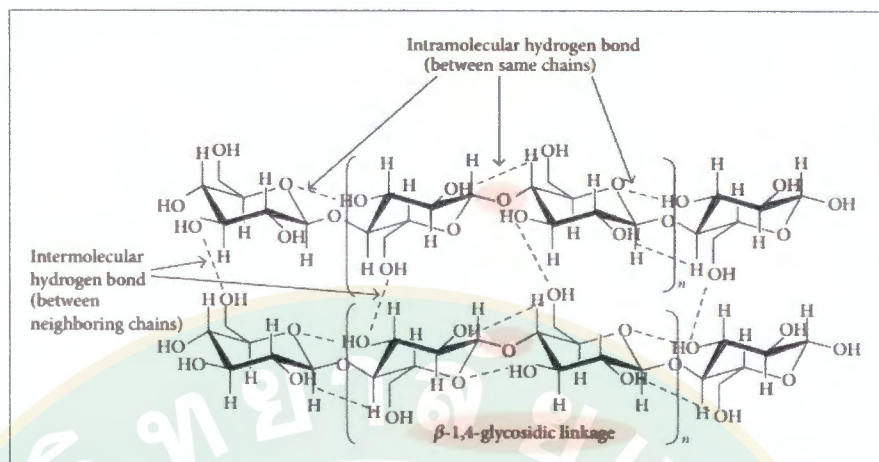
ภาพที่ 7 โครงสร้างของหน่วยของเซลโลไบโอส

ที่มา: Pu et al (2007)



ภาพที่ 8 หน่วยซ้ำของสายเซลลูโลสต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล

ที่มา: Glazer et al (2007)

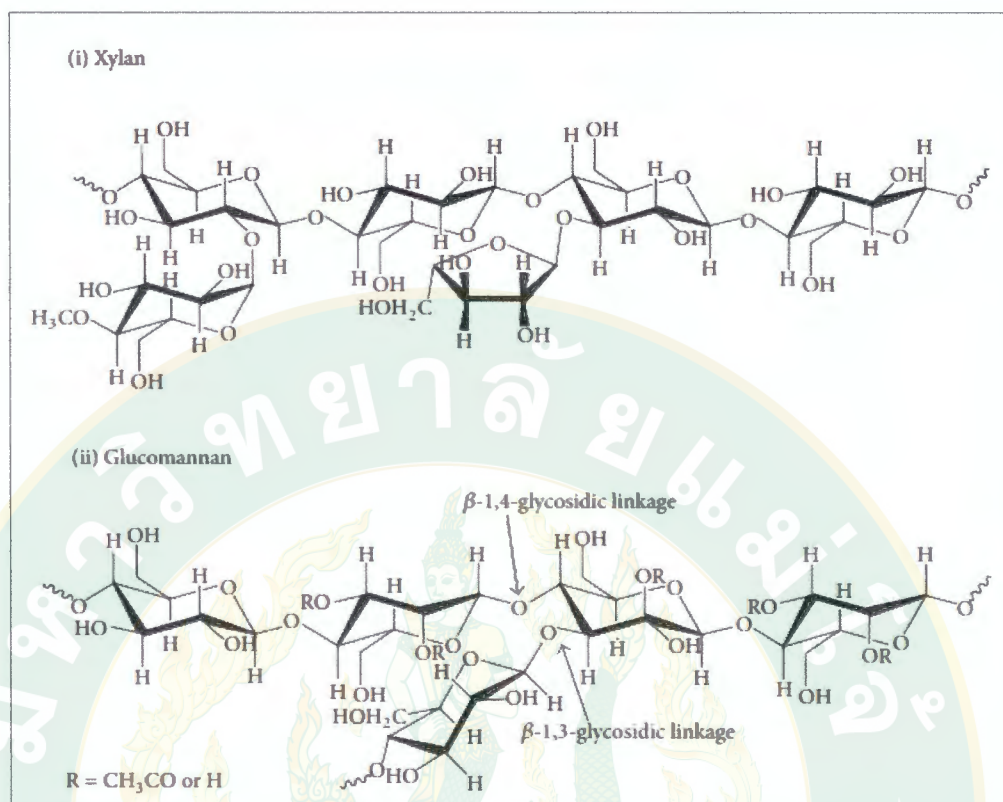


ภาพที่ 9 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

ที่มา: Lee et al (2014)

2. เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses)

เฮมิเซลลูโลส เป็นสารโพลีเมอร์ของพวกดีไซโลสกระจายตัวอย่างอิสระในผนังเซลล์พืช โครงสร้างเป็นแบบอะมอร์ฟัสที่มีความแข็งแรงน้อย เป็นการผสมผสานกันของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) ต่างชนิดกัน เช่น กลูโคส (glucose), แมนโนส (mannose), กาแลคโตส (galactose) ไซโลส (xylose) อาราบิโนส (arabinose) กรดเมธิลกลูคูโรนิก (4-O-methyl glucuronic acid) และกรดกาแล็กทูโรนิก (galacturonic acid) ซึ่งมีหน่วยซ้ำของมอนอเมอร์ (monomers) ที่เป็นแซ็กคาไรด์ (saccharide) ประมาณ 150 โมเลกุล ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสต่ำกว่าเซลลูโลส ไซโลส ซึ่งเป็นน้ำตาลเพนโตส (pentose sugar) จะเป็นส่วนหลักของเฮมิเซลลูโลสที่มาจากไม้เนื้อแข็ง (Mohan et al., 2006) เช่น เฮมิเซลลูโลสของไม้ผลัดใบประกอบด้วยไซแลน (xylan) ประมาณ 80–90 wt% (Prins et al., 2006) ในขณะที่อาราบิโนสจะพบเป็นจำนวนมากในเศษวัสดุทางการเกษตรและสมุนไพร เช่น อาราบิโนสในสมุนไพร 10–20 % ของน้ำตาลเพนโตสทั้งหมดหรือพบอาราบิโนสสูงถึง 30–40 % ของน้ำตาลเพนโตสทั้งหมดของเส้นใยข้าวโพดที่เหลือจากกระบวนการ ในขณะที่ไม้เนื้อแข็งถูกพบเพียง 2–4 % ของน้ำตาลเพนโตสทั้งหมด เฮมิเซลลูโลสจะสลายตัวที่อุณหภูมิ 130–260 °C (Demirbaş, 2009) เฮมิเซลลูโลส ละลายได้ในสารละลายแอลคาไลน์อ่อน และถูกไฮโดรไลซ์ (Hydrolyzed) ง่ายด้วยกรดหรือเบสเจือจาง (ดุขฎิพร, 2557) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบไปด้วยสารระเหยเป็นหลัก และจะมีปริมาณน้ำมันดิน และคาร์บอนคง โครงสร้างพื้นฐานของเฮมิเซลลูโลสสามารถเขียนได้เป็น $(C_5H_8O_4)_n$ ดังภาพที่ 10

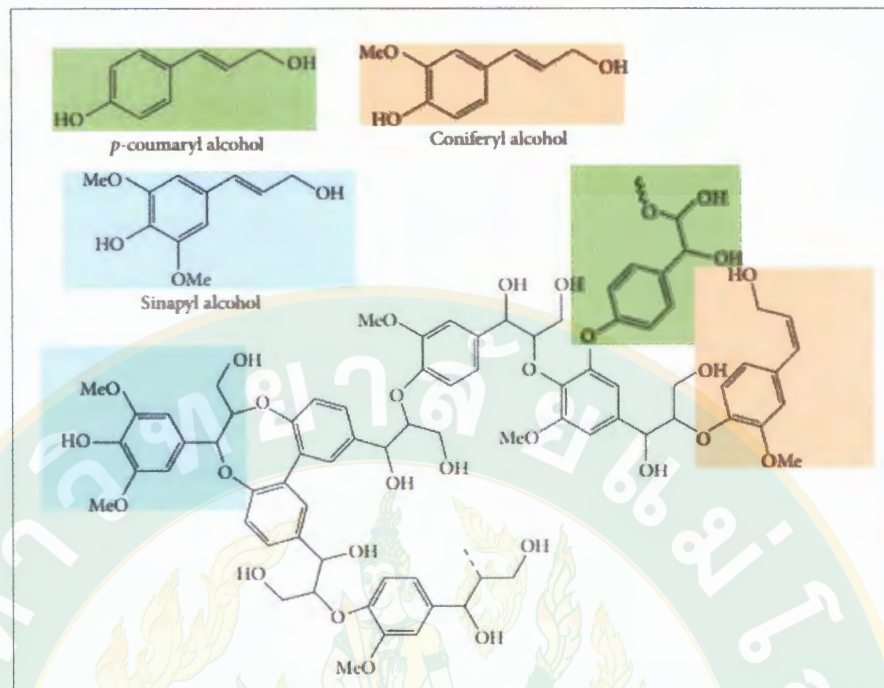


ภาพที่ 10 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา: Lee et al (2014)

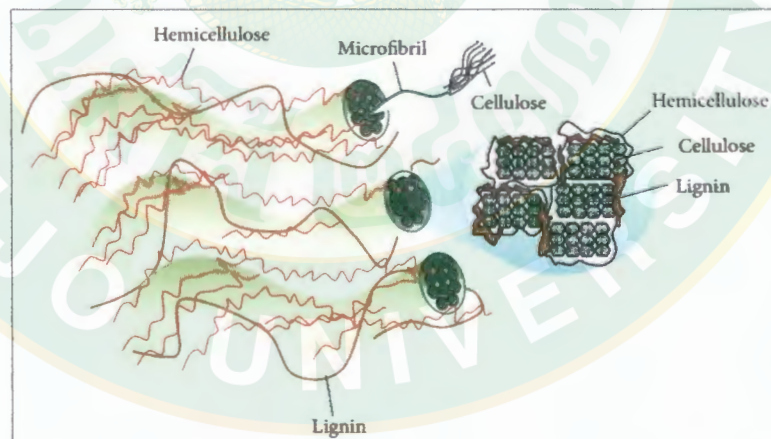
3. ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นอสัณฐาน (amorphous) ซึ่งเชื่อมต่อกับเรซินแบบร่างแห (cross-link resin) มีโครงสร้างที่ไม่แน่นอน มีกิ่งก้านเป็นสามมิติ ดังภาพที่ 11 ประกอบไปด้วยไฮโดรเจนของออกซิเจนเตตฟีนิลโพรเพน (oxygenated phenyl propane (C₉)) (Mohagheghi et al., 2002) ลิกนินเป็นส่วนประกอบในผนังเซลล์ร่วมกับ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และส่วนประกอบ เพคติน (pectin) เป็นตัวเชื่อมเพื่อยึดให้เส้นใยเซลลูโลสรวมกันเป็นมัดๆ เรียกว่า ไมโครไฟบริล (Microfibril) ดังแสดงในภาพที่ 12 โดยมีสารลิกนินเป็นตัวเชื่อมต่อเฮมิเซลลูโลสด้วยพันธะโควาเลนต์เป็นการเชื่อมต่อแบบร่างแหของพอลิแซ็กคาไรด์ที่ต่างกันมีพันธะเคมีชนิดต่าง ๆ มากมาย ทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงเพิ่มสูงขึ้น (Tumluru et al., 2011) ลิกนินมีสูตรทางเคมีคือ $[C_9H_{10}O_3 \cdot (OCH_3)_{0.9-1.7}]_m$ (Chen et al., 2015) การสลายตัวของลิกนินจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 280–500 °C (Demirbaş, 2009) โครงสร้างแสดงดังภาพที่ 13



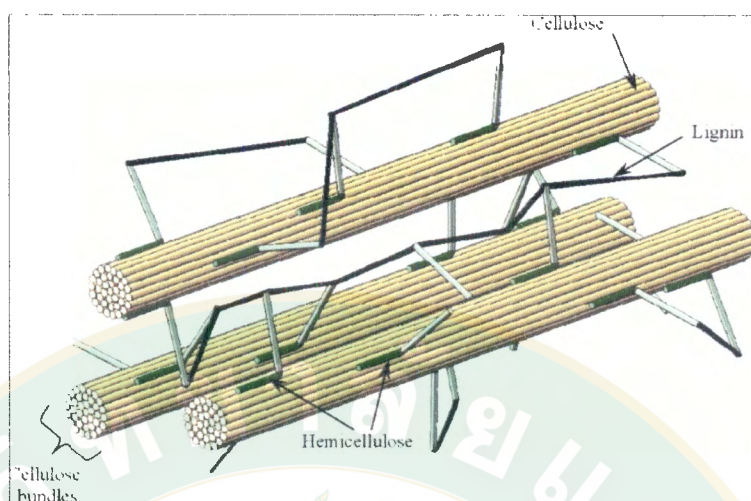
ภาพที่ 11 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน

ที่มา: Lee et al (2018)



ภาพที่ 12 ลักษณะโครงสร้างผนังเซลล์ของพืช และภาพตัดขวางของไมโครไฟบริล

ที่มา: Lee et al (2018)



ภาพที่ 13 ลักษณะการยึดเกาะกันของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินภายในชีวมวล

ที่มา: Shaw et al (2018)

การแปลงสภาพชีวมวล

1. การเพิ่มความหนาแน่นชีวมวล (Densification)

กระบวนการเพิ่มความหนาแน่นชีวมวล เป็นการแปลงสภาพชีวมวลเชิงกายภาพ เปลี่ยนรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยอาศัยแรงดันในการทำให้ชีวมวล ผนึกกันแน่น (นคร, 2553) สามารถทำได้โดยการนำวัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตร เข้าสู่กระบวนการอัดขึ้นรูปให้มีลักษณะเป็นแท่ง ทำให้วัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำกลายเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง ชีวมวลมีกลไกที่ทำให้การอัดขึ้นรูป และเกิดการเกาะตัวกันเป็นเนื้อเดียวกันได้ มี 3 ประการ ดังต่อไปนี้

1) อิทธิพลของแรงกดอัด (Compressive strength) ทำให้เพคตินและสารโมเลกุลต่ำอื่น ๆ ในเนื้อของวัสดุชีวมวล ถูกขับออกมาจากเซลล์ของเนื้อไม้ และทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างเนื้อวัสดุชีวมวล

2) ลิกนิน เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของชีวมวลส่วนใหญ่ จะเกิดการอ่อนตัวที่อุณหภูมิระหว่าง 130–190 °C หากมีผลกระทบจากน้ำในเนื้อชีวมวลจะทำให้เกิดการอ่อนตัวของลิกนินลดลง จึงสันนิษฐานว่าลิกนินที่อ่อนตัวจะเป็นตัวสร้างการยึดเกาะภายในเนื้อวัสดุระหว่างการอัดแน่นชีวมวล แล้วนำไปสู่การเกาะตัวกันของเนื้อเชื้อเพลิง

3) การเกาะตัวกันของเนื้อวัสดุที่ถูกบีบอัดอาจจะมาจากรังสีความร้อนของผลิตภัณฑ์จากเฮมิเซลลูโลส ที่สลายตัวแปรสภาพระหว่างกระบวนการ

นอกจากกลไกการบีบอัดแล้วนั้น การเพิ่มความหนาแน่นให้แก่ชีวมวล ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จะต้องพิจารณาในกระบวนการเพิ่มความหนาแน่น เช่น คุณสมบัติทางเคมีและส่วนประกอบของชีวมวลที่นำมาใช้ สภาพการเตรียมชีวมวล สภาพที่ใช้ในการอัด อุปกรณ์และชนิดเครื่องมือที่นำมาใช้ในกระบวนการอัด

2. ปัจจัยที่สำคัญของการเพิ่มความหนาแน่น

- ขนาดของชีวมวลยิ่งเล็กลงจะง่ายต่อการอัดแท่งและเพิ่มความหนาแน่นให้มากขึ้นง่าย (Kaliyan et al., 2009) ชีวมวลที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสในการสร้างพันธะเกาะยึดได้มาก และทำให้กระบวนการอัดแท่งที่เกิดขึ้นได้เร็ว ซึ่งโดยทั่วไปแล้วชีวมวลควรมีขนาดประมาณ 6–8 mm หรือเล็กกว่านั้น

- อุณหภูมิในการอัดแท่ง การอัดแท่งชีวมวลที่อุณหภูมิ 225–250 °C มีความหนาแน่นเชิงพลังงานสูงกว่าชีวมวลอัดแท่งที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ความแข็งแรงในการรับแรงกดของชีวมวลอัดแท่งยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการ (Reed et al., 1978)

- อุณหภูมิของกระบอกอัดแท่ง เทคโนโลยีการอัดแท่งโดยใช้เครื่องอัดแบบสกรู สามารถให้ความร้อนแก่กระบอกอัดแท่ง ซึ่งจะทำให้ผิวของชีวมวลขณะอัดแท่งบางส่วนเกิดการคาร์บอนไนซ์หรือทอริไฟล์ คือ ผิวชีวมวลจะเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลดำ ทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ทนต่อความชื้นระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งอุณหภูมิของกระบอกควรอยู่ที่ประมาณ 280–290 °C (A Singh et al., 1982)

- ความดัน ระหว่างการอัดแท่งความดันจะส่งผลต่อความหนาแน่น ความทนทาน และการใช้พลังงานในกระบวนการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากการศึกษาของนักวิจัยต่าง ๆ พบว่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งแปรผันตามกับค่าความดัน ซึ่งความดันที่เหมาะสมในการอัดอยู่ที่ 10–60 MPa (O'Dogherty et al., 1984)

จากตัวแปรข้างต้น การเพิ่มอุณหภูมิและความดันในการอัด จะส่งผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานที่ป้อนเข้าไปเพิ่มขึ้น (Nurek et al., 2019)

3. เทคนิคในการเพิ่มความหนาแน่นของชีวมวล

เทคนิคเพิ่มเติมของการเพิ่มความหนาแน่นที่นิยมใช้มี 2 เทคนิค คือ การสร้างตัวเชื่อม (Solid bridge) และกระบวนการสานเข้าด้วยกันมีรายละเอียดดังนี้ (กัณณณี, 2559)

การสร้างตัวเชื่อม (Solid Bridge) เป็นองค์ประกอบหนึ่งของการทำให้ชีวมวลที่มีลักษณะเป็นผงมีความหนาแน่นขึ้นด้วยเทคนิคเชิงกล โดย (Rumpf et al., 1962) ได้จัดประเภทของเทคนิคเชิงกลของการทำให้หนาแน่นขึ้นไว้ 5 ประเภท ได้แก่ แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคของของแข็ง

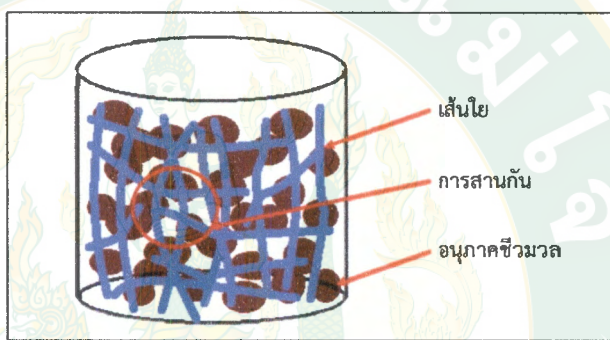


3590406597

ทวว :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

แรงระหว่างผิวและแรงดันที่ของเหลวเคลื่อนที่ เช่น น้ำซึมเข้าสู่พื้นผิว แรงยึดติด แรงเชื่อมแน่น ระหว่างอนุภาค และแรงยึดติดเชิงกลที่จะสร้างพันธะปิด ทั้งนี้ตัวประสานที่มีอยู่ในอนุภาคของชีวมวล ที่ทำหน้าที่ในการเป็นตัวประสานทำให้ ระหว่างอนุภาคจับตัวกันแน่นขึ้น

กระบวนการสานเข้าด้วยกัน (Intertwining) เป็นกลไกที่เกิดจากการเสริมแรงของเส้นใย กับตัววัตถุที่อาศัยตัวเชื่อม แรงระหว่างโมเลกุล และแรงยึดติดเชิงกล โดยเส้นใยสามารถยึดเหนี่ยว อนุภาคชีวมวลติดกันและอนุภาคชีวมวลที่ไม่ติดกัน (WS particles) ทำให้อนุภาคของชีวมวลยึด ติดกันแน่นมากขึ้น ส่งผลต่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (Kong et al., 2013) ดังภาพที่ 14 เส้นสีน้ำเงิน แสดงให้เห็นเส้นใย ทรงกลมสีน้ำตาลแดงแสดงถึงอนุภาคของชีวมวล



ภาพที่ 14 ภาพ 3 มิติ ของลักษณะการสานกันของเส้นใยของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ที่มา: Kong et al (2013)

เชื้อเพลิงอัดแท่ง (Briquette fuel)

เชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากขึ้นรูปโดยการอัดแท่งเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ต่าง ๆ หรือกากที่ได้จากภาคอุตสาหกรรม เช่น ชังข้าวโพด แกลบ ชานอ้อย ฟางข้าว เป็นต้น การอัด แท่งนี้ถือกำเนิดมาจากการอัดถ่านเขียว (Green Charcoal) ของประเทศฟิลิปปินส์ โดย มร.กอนซาโล คาแทน (Gonzalo O. Catan) และคณะ โดยได้ทำการศึกษา นำเศษใบไม้ใบหญ้าไปหมักให้เน่าเปื่อย ด้วยจุลินทรีย์บางชนิด แล้วจึงอัดประสานเป็นตัวเชื่อม (ประลอง, 2547) เชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถแบ่ง ออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. เชื้อเพลิงเขียว (Green Briquette)

เป็นการนำเศษชีวมวลเหลือทิ้งทางเกษตรมาอัดขึ้นรูป ให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เชื้อเพลิงที่ได้มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกเหมาะแก่การนำไปใช้งาน สามารถจุดติดไฟและเผาไหม้ได้เวลานานมากขึ้น เช่น เชื้อเพลิงเขียวจากฟางข้าว เชื้อเพลิงเขียวจากขังข้าวโพด ฯลฯ เป็นต้น ดังภาพที่ 15

2. ถ่านอัดแท่ง (Briquetting Charcoal)

เนื่องจากสมบัติบางประการของเชื้อเพลิงเขียวที่ผลิตได้ ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในครัวเรือนที่ชุมชนหนาแน่นและในภาคอุตสาหกรรม เพราะปัญหาของเชื้อเพลิงเขียวเมื่อทำการเผาไหม้จะมีปริมาณควันสูง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติต่ำกว่าฟืนหรือถ่านไม้ ทั้งในด้านความร้อน ปริมาณเถ้า และระยะเวลาในการลุกไหม้มีระยะเวลาสั้น จึงมีการนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง โดยนำเศษชีวมวลที่เหลือทิ้งแล้ว มาเข้าเตาเผาให้เป็นถ่านสีดำก่อน แล้วจึงค่อยนำมาเข้าเครื่องอัดแท่ง เช่น ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว ถ่านอัดแท่งจากทะเลลายปาล์ม ถ่านอัดแท่งจากผักตบชวา เป็นต้น ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 15 เชื้อเพลิงเขียวจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ที่มา: ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ม.ป.ป.)



ภาพที่ 16 ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ที่มา: หจก. เทพอัคคี (2557)

หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิง

การอัดแท่งเป็นการใช้แรงกดต่ออนุภาคเล็ก ๆ ทำให้เกิดการอัดแน่นพอเหมาะที่จะรวมตัวกันเป็นก้อน โดยอาศัยหลักการคือสสารทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วยสนามของแรงดึงดูด (Attractive force) ความแข็งแรง (Strength) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาค ของสนามของแรงนี้ ล้อมรอบด้วยอะตอม โมเลกุล และสารแขวนลอย เป็นการเชื่อมต่อกันที่สำคัญเป็นพิเศษกับการเชื่อมติดกันแน่นของอนุภาคที่ถูกกดอัดเข้าด้วยกัน กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ประกอบด้วย การให้แรงดันแก่มวลของอนุภาค โดยอาจมีตัวประสาน หรือไม่มีตัวประสาน เพื่อให้มวลสารรวมตัวกันและเกาะกันได้ดี ซึ่งระหว่างกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง กลไกการขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงถูกสร้างขึ้นด้วยการเกาะกันระหว่างอนุภาคและแรงที่กระทำภายในอนุภาค (เกษรา และคณะ, 2561) คือ กลไกการเชื่อมประสานของแข็ง (Solids bridges) เกิดจากอนุภาคของชีวมวล ได้รับการบีบอัดภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง ทำให้อนุภาคอยู่ใกล้กันมากขึ้นและเกิดแรงยึดเหนี่ยว ระหว่างกันจนถึงสภาวะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) สภาวะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวร (Plastic deformation) และการเชื่อมประสานของเส้นใย (Fiber interlocking) เซลล์ของชีวมวลที่ประกอบด้วยช่องว่างภายใน (Vacuole) ขนาดใหญ่ก็จะถูกบีบอัดตัวลงทำให้องค์ประกอบของผนังเซลล์คือ ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ถูกปล่อยออกมาทำปฏิกิริยากับอนุภาครอบ ๆ ขณะที่ภายใต้สภาวะความร้อนและแรงบีบอัดสูง ลิกนินจะอ่อนตัวและไหล เป็นผลให้การแพร่ภายในโมเลกุลเปียกทั่วถึงและความซับซ้อนของสายโซ่โพลีเมอร์ระหว่างเส้นใยที่ติดกันดีขึ้น แรงกระทำระหว่างอนุภาคของแข็ง (Attractive forces between solid particles) เมื่อชีวมวลถูกบีบอัดทำให้ระยะภายในอนุภาคเล็กลง แรงกระทำภายในโมเลกุลมีบทบาทในการประสานกันของอนุภาค แรงภายในโมเลกุลที่กล่าวถึงนี้ได้แก่ แรงดึงดูดอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ (Valence attraction or electron sharing) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals force) และพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonds) และกลไกการเชื่อมประสานทางกล (Mechanical interlocking) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นขณะที่มีการอัดตัวของเส้นใย และให้ความแข็งแรงเชิงกล อย่างเพียงพอที่จะต้านทานแรงแตกตัวที่มีสาเหตุจากการกลับคืนสู่สภาพแบบยืดหยุ่นตามการบีบอัด

กระบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิง จะใช้แรงดันแก่อนุภาคของชีวมวล ซึ่งอาจจะไม่ใช่ตัวประสานในการอัดขึ้นรูป หรืออาจจะใช้ตัวประสาน เพื่อให้มวลของสารรวมตัวกันและยึดเกาะกันได้ดียิ่งขึ้น โดยสามารถแบ่งตามแรงดันในการอัดออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ (กัณมณี, 2559)

1) การอัดแท่งที่ใช้แรงดันสูง (High pressure compression) เกิดจากการเพิ่มขึ้นของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่เป็นของเหลว (Liquid) และของแข็ง (Solid)



3590406597

NUJ 1Thesis 5915301016 Thesis / rev: 27052563 20:36:23 / seq: 133

เรียกว่า แรงแอดฮีชัน (Adhesion forces) และการเกิดพันธะอินเตอร์ล็อกกิ้ง (Interlocking bond) ระหว่างอนุภาคของวัสดุ

2) การอัดแท่งที่ใช้แรงดันปานกลาง (Medium pressure compression) แต่จะอาศัยความร้อนช่วยในการอัดตัวของอนุภาควัสดุ ซึ่งความร้อนจะทำให้องค์ประกอบของชีวมวลพวกลิกนิน และเซลลูโลส อ่อนตัวและยึดเกาะกันได้

3) การอัดแท่งที่ใช้แรงดันต่ำ (Low pressure compression) การอัดแบบนี้จะอาศัยตัวประสานช่วยในการอัดอนุภาคของวัสดุ สำหรับกลไกการอัดขึ้นรูปเป็นแท่งแบบใช้ตัวประสานนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสาน ซึ่งตัวประสานที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติทางเคมีที่มีกลุ่มยางเหนียว ที่จะทำให้หน้าสัมผัสเชื่อมยึดเกาะกับวัสดุได้ดี นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของวัสดุชนิดเดียวกัน (Cohesion force) และพันธะอินเตอร์ล็อกกิ้งระหว่างวัสดุ

กระบวนการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การอัดแท่งวัสดุต่าง ๆ สามารถแบ่งตามกระบวนการขึ้นรูปเป็น 2 ลักษณะ คือ กระบวนการอัดแบบอัดร้อน และกระบวนการอัดแบบอัดเย็น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)

กระบวนการอัดแบบร้อน (Hot Press Process)

การอัดร้อนเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้มากมาย เช่น ชีลื้อย แกลบ ชังข้าวโพด ฟางข้าว ต้นถั่วเหลือง เป็นต้น กระบวนการนี้เทคโนโลยีที่ใช้มีราคาค่อนข้างสูง อีกทั้งใช้ความร้อนและแรงอัดในกระบวนการอัดปานกลางถึงมาก (Han et al., 2015) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 260–350 °C ที่จะสลายเพคติน ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสในเนื้อวัสดุให้กลายเป็นตัวประสานเกาะยึดติดกันแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน ตัวอย่างเครื่องอัดและแท่งเชื้อเพลิงดังภาพที่ 17 การอัดแบบนี้ถือกำเนิดในประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อประมาณ 60 ปีที่แล้ว ซึ่งผู้ที่คิดค้นขึ้นมาคือ R.T.Bowling โดยทำการประดิษฐ์พินส่งเคราะห์จากชีลื้อย ให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีประสิทธิภาพสูง ไม่มีเขม่า เถ้า และไม่ส่งกลิ่นเหม็นในขณะเผาไหม้ (S. C. Bhattacharya et al., 1998)

ข้อดีของการอัดแบบร้อน คือ

- สามารถใช้ได้กับวัสดุได้หลากหลาย
- ไม่ใช้ตัวประสานในการอัดขึ้นรูป
- ได้เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูง

ข้อเสียของการอัดร้อน คือ

- สิ้นเปลืองพลังงานในกระบวนการอัดมาก
- อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดแท่งสูง
- เครื่องอัดแท่งมีราคาสูง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูง



ภาพที่ 17 เทคโนโลยีและเชื้อเพลิงกระบวนการอัดร้อน

ที่มา: General Kinematics Corporation (2017), ไทยซูมิจำกัด (2554)

กระบวนการอัดแบบเย็น (Cold Press Process)

การอัดด้วยวิธีนี้เป็นการอัดขึ้นรูปชีวมวลโดยใช้อุณหภูมิในระหว่างการอัดต่ำ ใช้แรงในการอัดปานกลางถึงต่ำ อาศัยความสามารถของวัสดุชีวมวลการในจับตัวกันเป็นแท่ง สามารถอัดแท่งได้โดยใช้ตัวประสาน เช่น แป้งมันสำปะหลัง ปูนขาว กากน้ำตาล เป็นต้น เติมน้ำเข้าไปช่วยเป็นยึดเกาะระหว่างเนื้อวัสดุช่วยในการผลิตเชื้อเพลิงแข็งหรือแบบไม้ใช้ตัวประสานก็ได้ แต่จะเป็นการอัดเย็นระบบใหม่ที่ไม่ต้องใช้ตัวประสาน ทำเพียงขั้นตอนเดียวและไม่ต้องบดวัสดุก่อนเข้าอัดหากวัสดุไม่ได้มีขนาดใหญ่ แต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติอย่างมากเพื่อให้โมเลกุลของวัสดุอัดตัวแน่นจนจับตัวเป็นก้อนได้มอเตอร์ที่ใช้มีกำลังค่อนข้างสูง และใช้พลังงานไฟฟ้ามาก

ข้อดีของการอัดแบบเย็น คือ

- สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าอัดร้อน
- ขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยากและซับซ้อน
- ใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปต่ำ
- เครื่องอัดแท่งมีราคาถูก ซ่อมบำรุงรักษาง่าย
- ค่าความร้อนที่ได้มีค่าแตกต่างจากวิธีอัดร้อนเล็กน้อย

ข้อเสียของการอัดเย็น คือ ต้องใช้ตัวประสานในการอัดขึ้นรูปเป็นแท่ง ทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต ทำให้มีต้นทุนการผลิตสูง (Kaur et al., 2017) หรือถ้าไม่ใช้ตัวประสานในการอัดแท่งสามารถทำได้โดยนำวัสดุชีวมวลจากธรรมชาติหรือจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานธรรมชาติ เช่น ด้วงสดมีความเหนียว ได้แก่ ทางปาล์ม (Safana et al., 2018) ทางมะพร้าว (ธนาพล และคณะ, 2558) ต้นกล้วยเหลือง (ณัฐกิตติ์ และคณะ, 2560) ชัน (ณัฐนิช, 2560) และเหง้ามันสำปะหลัง (เกษรา และคณะ, 2561) เป็นต้น

สำหรับการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือวัสดุของเสียชนิดต่าง ๆ มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้นั้น จะต้องทำการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุนั้น ๆ ว่ามีความสามารถในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงหรือไม่ อีกทั้งต้องหาอัตราส่วนผสมของวัสดุนั้น ๆ ให้มีความเหมาะสมโดยเลือกรูปแบบตามลักษณะของวัสดุ ดังตารางที่ 3 เช่น ถ้าวัสดุเหลือใช้ร้อนไม่จับเป็นก้อนควรเติมตัวประสาน เช่น แป้งมันหรือกากน้ำตาลในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้จับตัวได้ดี หรือหากวัสดุเหลือใช้มีค่าความร้อนต่ำอาจจะนำวัสดุอื่น ๆ ที่มีค่าความร้อนสูงกว่ามาผสมเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความร้อนสูงเพิ่มขึ้นตามต้องการเพื่อให้เชื้อเพลิงที่ผลิตออกมาผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 3 รูปแบบและวิธีการอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

ลักษณะของวัสดุที่ใช้	รูปแบบและวิธีการดำเนินงาน
เนื้อวัสดุที่สามารถจับตัวเป็นก้อนได้ดีเมื่อใช้มือบีบ	ควรใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปแบบอัดเย็น
เนื้อวัสดุที่สามารถเกิดการยึดเกาะและจับตัวกันได้	ควรใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปแบบอัดร้อน
วัสดุที่นำมาใช้มีความร้อนไม่สามารถจับตัวกันเป็นก้อนได้	ควรนำวัสดุที่เลือกใช้ไปผสมกับตัวประสานก่อน เช่น แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล กลีเซอรีน ฯลฯ ถ้าหากหลังผสมแล้วมีการจับตัวได้ดีขึ้นจึงใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปแบบอัดเย็น

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555)

ขั้นตอนการอัดแท่ง

กระบวนการในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง มีขั้นตอนการอัดทั้งหมด 6 ขั้นตอน ดังภาพที่ 18 ซึ่งวัสดุที่นำมาผลิตนั้นจะต้องผ่านขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนการย่อย (Grinding procedure)

ขั้นตอนนี้เป็นการเตรียมวัตถุดิบ โดยเป็นกระบวนการบดย่อยวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ไม่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูป จึงจำเป็นต้องลดขนาดก่อน ทำได้โดยผ่านเครื่องจักรต่าง ๆ โดยขนาดของวัสดุจะขึ้นอยู่กับขนาดของรูตะแกรงที่จะนำไปใช้งาน

2) ขั้นตอนการลดความชื้น (Drying procedure)

ก่อนจะนำวัตถุดิบมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้น จะต้องทำให้วัสดุมีความชื้นน้อยกว่า 10% ซึ่งเหมาะกับกระบวนการอัด ทำได้โดยการนำไปตากแดดด้วยวิธีธรรมชาติ หรือเข้าเครื่องอบลมร้อน หรือจะตากในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ หรือจะใช้เครื่องจักรช่วยในการลดความชื้น

3) ขั้นตอนการผสม (Mixing procedure)

หลังจากลดความชื้นของวัตถุดิบพร้อมที่จะผลิต เตรียมวัสดุตั้งต้นผสมกับตัวประสานเข้าด้วยกันเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อให้ง่ายต่อการอัดเป็นแท่ง ในขั้นตอนนี้ อาจจะมีการผสมน้ำเข้าไปด้วย เพื่อเพิ่มความชื้นและช่วยให้วัสดุผสมเข้ากันสามารถจับตัวกันเป็นแท่งได้

4) ขั้นตอนการอัดขึ้นรูป (Pressing procedure)

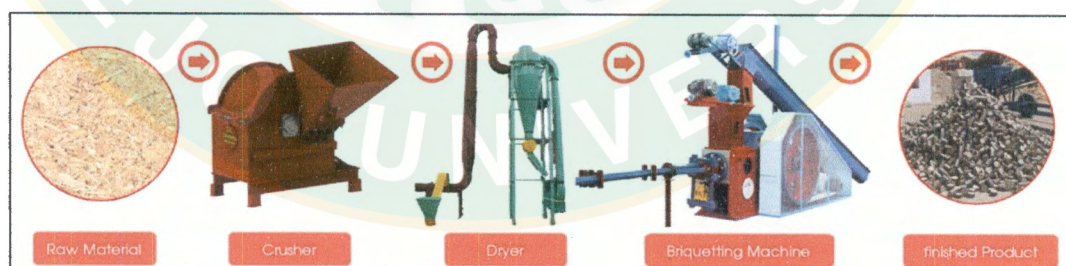
เมื่อส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน นำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดแท่ง โดยแรงที่ใช้ในการอัดนั้นไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องอัดและกระบวนการอัด ดังนั้นคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ ขึ้นอยู่กับแรงอัดและระยะเวลาที่ทำการอัด

5) ขั้นตอนระบายความร้อน (Cooling procedure)

เนื่องจากระหว่างกระบวนการอัดเกิดความร้อนระหว่างชีวมวลกับเครื่องอัด อีกทั้งยังมีความชื้นจากน้ำที่นำไปผสมทำให้เกิดความชื้นขึ้น จึงต้องทำการระบายความร้อนและความชื้นออกจากเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ขึ้นรูปเป็นแท่งแล้ว อีกทั้งเพื่อให้เกิดการคงรูปของเชื้อเพลิง

6) ขั้นตอนการบรรจุ (Packing procedure)

ขั้นตอนสุดท้ายของการผลิต หลังจากที่ลดความชื้นและระบายความชื้นจนได้ตามมาตรฐานที่กำหนดแล้วนำเชื้อเพลิงอัดแท่งบรรจุในถุงตามขนาด



ภาพที่ 18 ขั้นตอนการอัดแท่งเชื้อเพลิง

ที่มา: Jay Hhodiya Machine Tools (2019)

ตัวประสาน (Binder)

ตัวประสาน หมายถึง วัสดุที่เติมลงไปในการผสมหรือสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมรวมกันแล้วไม่สามารถละลายซึ่งกันและกัน จะแยกชั้นออกจากกันไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน วัสดุที่เติมลงไปจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานสารที่แยกชั้นออกจากกันให้รวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวและมีความคงตัวมากขึ้น (S.C. Bhattacharya et al., 1990) ดังนั้นตัวประสานจึงทำหน้าที่ยึดเกาะระหว่างชีวมวลที่นำมาเข้ากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งให้ขึ้นรูปเป็นแท่งได้ อีกทั้งเพิ่มสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง ยกตัวอย่างเช่น ความหนาแน่น ความต้านทานต่อแรงกด ความต้านทานแรงกดอัด รวมถึงความต้านทานน้ำ เป็นต้น ลักษณะตัวประสานที่ดี ควรจะมีคุณสมบัติ คือ มีแรงยึดเกาะที่ดีโดยจะต้องมีส่วนประกอบของลิกนิน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เป็นจำนวนมาก จะต้องไม่ดูดความชื้นเพราะจะทำให้คุณสมบัติเชื้อเพลิงลดลง อีกทั้งจะต้องไม่สีกกร่อนง่าย มีความแข็งแรงคงทน และที่สำคัญจะต้องไม่ส่งกลิ่นเหม็นหรือสารพิษขณะที่เผาไหม้ ในส่วนของปริมาณเนื้อหาของตัวประสานที่เกิดขึ้นควรมีปริมาณให้น้อยที่สุด วัสดุที่นิยมนำมาเป็นตัวประสาน ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล มูลสัตว์ ดินเหนียว โคลน ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556) แบ่งตัวประสานออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

1) ตัวประสานประเภทเมทริก (Matrix Type Binder) ในกรณีที่อนุภาคจะถูกเกาะกันเป็นก้อนอย่างแน่น ความต่อเนื่องจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับต้นแบบของวัสดุตัวประสาน ตัวอย่างตัวประสานชนิดนี้ ได้แก่ พาราฟิน ดินเหนียว จากการการกลั่นปิโตรเลียม น้ำมันดิบจากไม้ เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 19



ก) พาราฟิน

ข) ดินเหนียว

ภาพที่ 19 ตัวประสานประเภทเมทริก

ที่มา: Cangzhou BaoLaiDa (ม.ป.ป.), Planet Botanix (2017)

2) ตัวประสานประเภทฟิล์ม (Film-Type Binder) โดยส่วนมากจะใช้เป็นสารละลายตัวประสานหรือน้ำที่ใช้เป็นตัวทำละลาย โดยผลผลิตที่ได้จะค่อนข้างแข็งและคงทนเมื่อทำให้แห้งแล้ว หลังการอัดแท่ง ตัวอย่างตัวประสานชนิดนี้ ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต เบนโทไนท์ โมลาส ยางเหนียว กาว เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 20



ก) กาบน้ำตาล

ข) เบนโทไนท์

ภาพที่ 20 ตัวประสานประเภทฟิล์ม

ที่มา: สันทัด (2553), Alibaba.com (ม.ป.ป.)

3) ตัวประสานประเภทเคมี (Chemical Binder) ประสิทธิภาพของตัวประสานจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเคมีระหว่างส่วนประกอบของตัวประสานกับวัตถุดิบที่ถูกเกาะตัวเป็นก้อนตัวประสานทางเคมี ประสิทธิภาพของตัวประสานจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเคมีระหว่างส่วนประกอบของตัวประสานกับวัตถุดิบที่ถูกเกาะตัวเป็นก้อน ตัวอย่างของตัวประสานชนิดนี้ ได้แก่ สารผสมระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์กับโมลาส

4) ตัวประสานธรรมชาติ (Natural Binder) ตัวประสานชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายกับตัวประสานประเภทฟิล์ม ทำหน้าที่ในการลดการใช้แอมโมเนียสำหรับอัดแท่งหรือค่าตัวประสานที่มีต้นทุนสูง (บุญยาพร, 2561) ยกตัวอย่างเช่น ทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว และต้นถั่วเหลือง เป็นต้น

การเลือกตัวประสานธรรมชาติ

โดยทั่วไปชีวมวลจัดเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส ส่วนใหญ่ได้จากพืช ซึ่งพืชแต่ละชนิดประกอบด้วย สารประกอบทางเคมีอินทรีย์หลายชนิด โดยมีสารประกอบลิกโนเซลลูโลสของพืช

อินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตและลิกนิน ประมาณ 50% ของคาร์โบไฮเดรตในพืชจัดเป็นเซลลูโลส ส่วนลิกนินเป็นสารประกอบพีนอล มีอยู่ 20-30% ยกตัวอย่างดังตารางที่ สำหรับชีวมวลที่เลือกมาเป็นวัสดุประสานธรรมชาตินั้นประกอบไปด้วยสารประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ เซลลูโลส ลิกนิน สารแทรก เป็นต้น (Eriksson et al., 1990)

ในการเลือกชีวมวลที่จะนำมาเป็นตัวประสานธรรมชาติได้นั้น จะพิจารณาถึงโครงสร้างองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลนั้นจากลักษณะทางสรีรวิทยาของพืชร่วมด้วย โดยโครงสร้างของพืชที่มีความเปราะ เมื่อได้รับแรงดันจากภายนอกกระทำ จะทำให้ปริมาตรลดลงและช่วยเพิ่มความหนาแน่น การเปลี่ยนรูปเชิงกลจะทำให้อนุภาควัตถุบีบผ่านขั้นตอนการอัดต่อเนื่องส่งผลให้ชีวมวลจับตัวกันเป็นแท่ง นอกจากนี้องค์ประกอบที่สำคัญอีกประการของชีวมวลที่จะนำมาใช้ได้นั้นจะต้องมีสมบัติของการหยุ่นหนืด (Viscoelasticity) สูง (MAXTON ENGINEERING, 2019) คือ มีพฤติกรรมตอบสนองต่อความเค้นที่กระทำของวัสดุ กล่าวคือ วัสดุนั้น ๆ จะต้องมีความเหนียว ซึ่งจะต้องทำหน้าที่คล้ายกับกาวเพื่อเป็นสารยึดเกาะเชื่อมระหว่างอนุภาคชีวมวล ซึ่งสารประกอบของพืชกลุ่มนั้นคือ ลิกนิน เมื่ออุณหภูมิการอัดแห้งถึงจุดอ่อนตัวในการเปลี่ยนรูปสารเหนียวจะเกิดขึ้น ดังนั้นจึงทำให้เกิดการยึดติดกับเส้นใยเข้าด้วยกันอย่างใกล้ชิดและรักษารูปร่างให้คงเดิม หากวัสดุชีวมวลนั้นมีปริมาณลิกนินอยู่ในระดับต่ำ จึงจำเป็นต้องเพิ่มสัดส่วนของสารยึดเกาะที่เหมาะสม เพื่อช่วยในการขึ้นรูป จะทำให้เชื้อเพลิงอัดแห้งมีความแข็งแรงและรูปร่างคงที่ โดยพืชที่มีปริมาณลิกนินสูง จะเป็นพวกที่มีท่อลำเลียง โดยพืชที่มีอายุมากจะมีลิกนินมากกว่าพืชที่มีอายุน้อย (ปิ่น, 2558) ซึ่งตัวอย่างปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแสดงดังตารางที่ 4

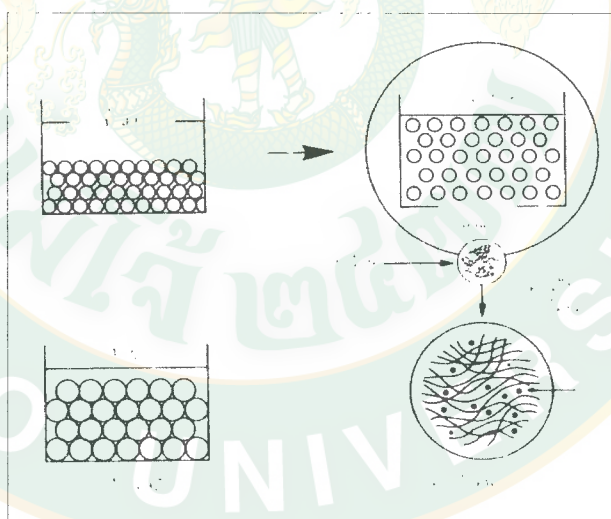
ตารางที่ 4 ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

วัสดุลิกโนเซลลูโลส	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
ลำต้นไม้เนื้ออ่อน	45-50	24-40	18-25
เปลือกถั่ว	25-30	25-35	30-40
แกนฝักข้าวโพด	45	35	15
หญ้า	25-40	35-50	10-30
ฟางข้าวสาลี	30	50	15

ที่มา: Sun et al (2002)

กลไกในการยึดเกาะกันของตัวประสาน

ในโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากการจัดเรียงตัวระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินในเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห (micelles) ทำให้การจัดเรียงตัวลักษณะนี้ทำให้เม็ดแป้งละลายน้ำได้ยาก ดังนั้นขณะที่แป้งถูกผสมกับชีวมวลและน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวขึ้นเล็กน้อย ดังภาพที่ 21 เนื่องจากพันธะระหว่างโมเลกุลของเม็ดแป้งในบริเวณที่เป็นผลึก (crystalline regions) มีความแข็งแรงที่จะต้านทานต่อการละลายได้หากนำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดแท่งเกิดกระบวนการอัดความร้อนที่เกิดจากการสัมผัสกันของกระบอกอัดและชีวมวลจนกระทั่งถึงอุณหภูมิประมาณ 60–70 °C (Leach et al., 1959) ความร้อนทำให้พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonds) ที่ยึดโครงสร้างในเม็ดแป้งแตกออกทำให้ดูดซึมน้ำได้มากขึ้น โมเลกุลของน้ำที่อยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลงทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากเกิดความหนืด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดเจลาติไนซ์เซชัน (Gelatinization) (กล้าณรงค์ และคณะ, 2550) เรียกจุดนี้ว่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (จนทำให้ชีวมวลกับตัวประสานสามารถยึดเกาะเป็นแท่งได้)



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในระหว่างให้ความร้อน

ที่มา: กล้าณรงค์ และคณะ 2550)

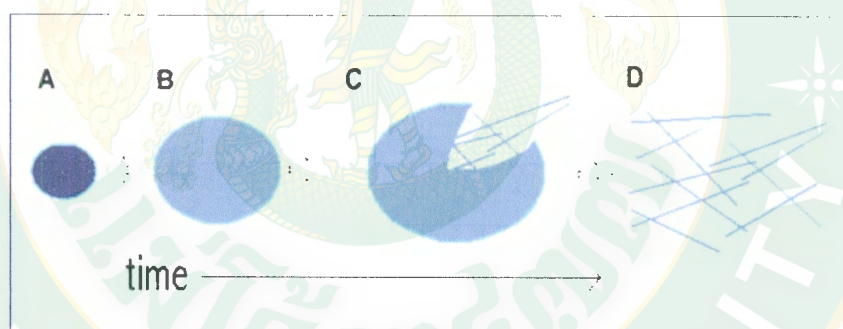


3590406597

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี / 59:53010:6 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะที่ให้ความร้อนดังภาพที่ 22 มีรายละเอียดลำดับการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. (ช่วง A) เริ่มมีการพองตัวในส่วนที่เป็นระเบียบน้อยที่สุด คือ ในส่วนอสัณฐาน
2. (ช่วง B) การพองตัวจะทำให้เกิดแรงตึงผิว (surface tension) ต่อขนาดของผลึกที่อยู่ข้างเคียงทำให้โครงสร้างผลึกเสียหาย
3. (ช่วง C) การให้ความร้อนต่อไปจะเกิดการแตกตัว (Uncoiling) ของ double helical region เกิด break up ของโครงสร้างผลึก side chain ของแอมิโลเพคตินที่แยกตัวออกมาจะถูกไฮเดรต (hydrate) และมีการพองตัวไปในแนวรอบ ๆ ดังนั้นจึงทำให้เกิด stress ต่อโครงสร้างผลึกที่ยังเหลืออยู่
4. (ช่วง C) การเกิดไฮเดรชัน (hydration) ทำให้เพิ่มการเคลื่อนย้าย (mobility) ของโมเลกุล ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของโมเลกุล
5. (ช่วง D) โมเลกุลของแอมิโลสซึ่งมีขนาดเล็กจะแพร่ออกมาจากแกรนูลบวม (swollen granule) การให้ความร้อนต่อไปจะทำให้บวมแตกออกมากขึ้นจนในที่สุดได้เป็นสารละลาย



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะที่ให้ความร้อน

ที่มา: Morrison et al (1983)

กลไกการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง

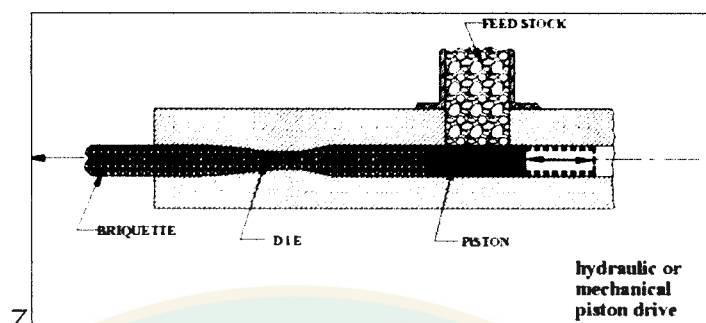
(Warajanont, 2013) กล่าวว่า กลไกสำคัญที่ทำให้ชีวมวลสามารถอัดตัวกลายเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ โดยแบ่งออก 5 ส่วนสำคัญ ได้แก่ 1.การเชื่อมประสานของของแข็ง 2.แรงกระทำระหว่างอนุภาคของแข็ง 3.การเชื่อมประสานทางกล 4.แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวและแรงดันคาปิลารี และ 5. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล มีรายละเอียดดังนี้

การเชื่อมประสานของแข็ง เกิดจากอนุภาคของชีวมวลได้รับแรงบีบอัดภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง ทำให้อนุภาคอยู่ใกล้กันมากขึ้น และเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันจนถึงสภาวะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบ ยืดหยุ่น สภาวะเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวร และการเชื่อมประสานของเส้นใย แรงกระทำระหว่างอนุภาคของของแข็ง เมื่อชีวมวลถูกบีบอัดทำให้ระยะภายในอนุภาคลดลง แรงกระทำภายในโมเลกุลมีบทบาทในการประสานกันของอนุภาค แรงดึงดูดภายในของอนุภาค ได้แก่ แรงดึงดูดอิเล็กทรอนิกส์ร่วมพันธะ แรงแวนเดอร์วาลส์ และพันธะไฮโดรเจน การเชื่อมประสานทางกล เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นมีการอัดตัวของเส้นใย และให้ความแข็งแรงเชิงกลอย่างเพียงพอที่จะต้านทานแรงแตกตัวที่มีสาเหตุจากการกลับคืนสู่สภาพแบบยืดหยุ่นตามการบีบอัด แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิว และแรงดันคาปิลารีถูกสร้างขึ้นจากสามสถานะที่แตกต่างกันขณะทำการอัดคือ สถานะแผนดูล่า สถานะฟูนิคูลาร์ และสถานะคาปิลารี ที่เต็มไปด้วย ของเหลว แรงดึงผิวภายในอนุภาค แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งเป็นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของ ชีวมวลที่ถูกบีบอัด โดยทำให้พื้นผิวดูดซับอนุภาคภายในจะเพิ่มมากขึ้น หรือลดระยะห่างระหว่างอนุภาคภายในเพื่อช่วยในกลไกการรวมตัวของชีวมวล

เทคโนโลยีเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง

1. เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston press)

ประกอบด้วยลูกสูบชัก (Reciprocating piston) เพื่อดันวัตถุดิบที่มาจากช่องป้อนเข้าไปในกระบอกอัดรูปเรียว (Tapered die) ดังภาพที่ 23 มีหลักการทำงาน คือ ลูกสูบจะอัดวัสดุเข้าไปในปลายท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัด ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวรีดรูปกรวย (Conical chock) ทำหน้าที่ด้านการเคลื่อนที่ของวัสดุ ผลจากการดันนี้รวมทั้งการเสียดสีของวัสดุกับผนังท่อ ทำให้เกิดความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 150–300 °C และได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกอัดแท่งออกมาเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50–100 mm เครื่องอัดแบบนี้มีความสามารถในการผลิตได้ 40–1,000 kg/h ปัญหาที่พบโดยทั่วไปคือ การเสียดสีของกระบอกอัดและการแตกของลูกสูบ (Karchesy et al.,1979)



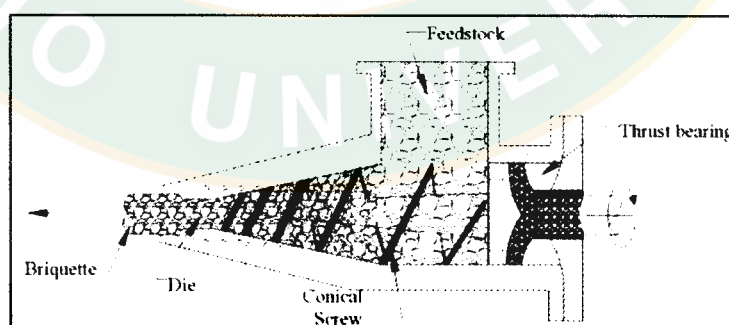
ภาพที่ 23 เครื่องอัดแบบลูกสูบ

ที่มา: Trama TecnoAmbiental (TTA) et al (2016)

2. เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw press)

การอัดโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียววัตถุดิบจากช่องป้อน (Feed hopper) ถูกส่งผ่านและอัดด้วยเกลียว แบ่งเครื่องอัดแบบนี้ได้เป็น 3 ประเภท คือ

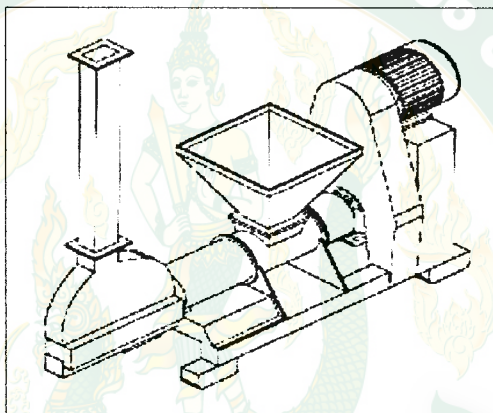
2.1) เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย (Conical screw press) ดังภาพที่ 24 มีหลักการทำงานคือเกลียวรูปกรวยจะดันให้วัสดุเคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อพื้นเกลียวไปวัสดุถูกดันผ่านกระบอกอัดขนาด 25 mm การไหลผ่านของวัสดุเข้าไปในกระบอกอัดเพิ่มขึ้นพร้อมกับแรงเสียดทานที่มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 100–200 °C ส่งผลให้พอลิเมอร์ลิกนินละลายทำหน้าที่เป็นตัวประสาน หลังจากระบายความร้อนจะได้แท่งเชื้อเพลิงอัด กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแท่งแบบนี้อยู่ในช่วง 500–1,000 kg/h อัตรากำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนอัดอยู่ระหว่าง 35–75 kW วัสดุที่ใช้ทำการอัดควรมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดและมีความชื้นร้อยละ 8–10



ภาพที่ 24 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย

ที่มา: Fuchs et al (2014)

2.2) เครื่องอัดแบบเกลียวมีขดลวดความร้อนที่กระบออัด (Screw press with a heated die) มีหลักการทำงาน คือ วัสดุถูกดันโดยเกลียวที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกหรือรูปกรวยเล็กน้อย ผ่านเข้าไปในกระบออัดที่มีอุณหภูมิจากขดลวดความร้อนระหว่าง 200–350 °C ซึ่งความร้อนนี้จะทำให้วัสดุที่สัมผัสกับท่อเกิดการเผาไหม้และสามารถยึดเกาะตัวกันได้ดี เครื่องอัดแบบนี้มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกเหล็กเหล็มนขนาด 50 mm การออกแบบของหัวเกลียวอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีรูกลวงตรงกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 mm เพื่อเป็นช่องให้ก๊าซหรือควันที่เกิดในระหว่างการอัดถ่ายเทออกมา ดังแสดงในภาพที่ 25 กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแบบนี้อยู่ในช่วง 50–500 kg/h วัสดุที่ใช้มีลักษณะเม็ดละเอียดและมีปริมาณความชื้นในช่วงร้อยละ 8–12



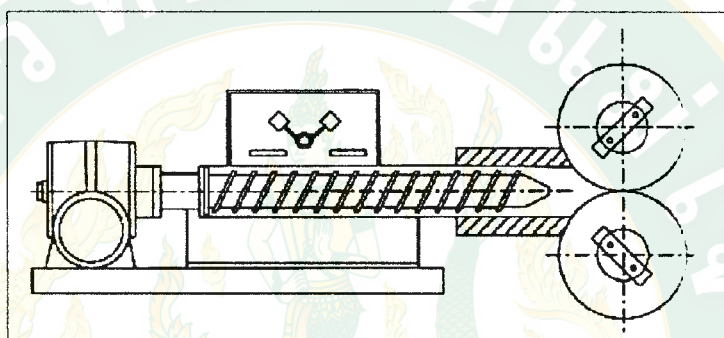
ภาพที่ 25 เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวพร้อมขดลวดความร้อนที่กระบออัด

ที่มา: ญัฐนิช (2550)

2.3) เครื่องอัดแบบเกลียวคู่ (Twin-screw press) เครื่องอัดแบบนี้มีเกลียวอัด 2 อันต่อกับเพลลาที่สวมเข้ากับชิ้นส่วนของเกลียว (Screw parts) สามารถเปลี่ยนความเร็วรอบในการหมุนได้เนื่องจากแรงอัดและแรงเสียดทานสูง ทำให้อุณหภูมิของวัสดุสูงถึง 250 °C ดังนั้นจึงต้องมีส่วนหล่อเย็นที่กระบออัด วัตถุดิบที่นำใช้อัดควรมีขนาด 30–80 mm และวัตถุดิบที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 25 ขึ้นไปจึงจะสามารถทำการอัดได้ โดยไม่ต้องทำให้แห้งเสียก่อน กำลังการผลิตของเครื่องนี้อยู่ในช่วง 2,800–3,600 kg/h ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้

3. เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll press)

การทำงานของเครื่องอัด จะเริ่มทำงานโดยอัดวัสดุที่ตกมาในระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองที่หมุนทิศทางตรงกันข้าม ทำให้วัสดุถูกอัดแน่นเข้าไปในตัวรองรับแท่นอัด (Pillow-shaped briquetted) การอัดแท่งแบบนี้จึงต้องใช้วัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าการอัดแบบอื่น และเชื้อเพลิงที่ได้มีความหนาแน่นน้อยกว่าการอัดแบบอื่น ๆ เพราะช่วงเวลาในการอัดสั้น ทำให้ยากต่อการสร้างสภาวะของอุณหภูมิและแรงอัดในการหลอมละลายลิกนิน ดังนั้นการอัดแท่งแบบลูกกลิ้งจำเป็นที่ต้องใช้ตัวประสานเข้าช่วยในกระบวนการอัดขึ้นรูป ดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 เครื่องอัดแท่งแบบลูกกลิ้ง

ที่มา: Trama TecnoAmbiental et al (2016)

การประเมินคุณภาพและสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ในการประเมินคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ถูกต้องจะต้องวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM (American society for testing and materials) โดยแบ่งออกเป็นคุณสมบัติทางด้านเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน และคุณสมบัติทางด้านกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ดัชนีการแตกร่วน ความทนแรงกดอัด และความต้านทานน้ำ

เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพ (สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555) และ (ธราเทพ และคณะ, 2544) จะต้องมีความคาร์บอนคงตัวค่อนข้างมาก แต่ปริมาณเถ้า สารระเหย ความชื้น จะต้องมิต่ำ ค่าความร้อนที่ได้ก็จะต้องมีค่าสูง เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง สามารถสรุปมาตรฐานดังตารางที่ 5 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) และเกณฑ์การพิจารณาดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 มาตรฐานของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

คุณสมบัติ	มาตรฐานวิเคราะห์	ค่ามาตรฐาน
ความหนาแน่นรวม		ไม่น้อยกว่า 600 kg/m ³ .
ดัชนีการแตกร่วน		อยู่ระหว่าง 90%-99%
ความทนต่อแรงกดอัด		ไม่น้อยกว่า 0.375 MPa
ความต้านทานน้ำ		อยู่ระหว่าง 90%-99%
ความชื้น	ASTM D1762-84	ไม่เกินกว่า 10% ของน้ำหนัก
ค่าความร้อน	ASTM D5865	ไม่น้อยกว่า 12 MJ/kg (3000 Cal/kg ขึ้นไป)
ซีเถ้า	ASTM D3174	ไม่ควรเกิน 20% ของน้ำหนัก
สารระเหย	ASTM D3175	ไม่ควรเกิน 25% ของน้ำหนัก
คาร์บอนคงตัว	ASTM D3176	ไม่ควรต่ำกว่า 75% ของน้ำหนัก
กำมะถัน	ASTM D3177	ไม่ควรเกินร้อยละ 2 ของน้ำหนัก

ตารางที่ 6 เกณฑ์คุณสมบัติของชีวมวลที่นำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงตามกรมโรงงานอุตสาหกรรม

คุณสมบัติของชีวมวลที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง	
ค่าความร้อน (Heating Value)	สูง
คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)	สูง
ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matters)	สูง
เถ้า (Ash)	ต่ำ
ความชื้น (Moisture content)	ต่ำ
กำมะถันรวม (Total Sulphur)	ต่ำ

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวล

การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate Analysis)

เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลหรือสสารทั่วไป สามารถวิเคราะห์แยกองค์ประกอบ โดยประมาณได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ ความชื้น ส่วนที่เผาไหม้ได้ ประกอบด้วย สารระเหยและคาร์บอนคงตัว และส่วนที่สามคือส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้คือ ซีเถ้า โดยทำการวิเคราะห์ตามวิธี Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal



1) ความชื้น (Moisture) หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวล ส่วนมากจะมีความชื้นสูงเพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่ ปริมาณความชื้นที่พบในเชื้อเพลิงชีวมวลขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาใช้ควรมีความชื้นไม่เกิน 50% เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียความร้อน ในการไล่ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับปริมาณความชื้นสามารถวิเคราะห์ตามวิธี (ASTM Standard. D1762-84, 2007) โดยนำถ้วยกระเบื้องไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 10 min จากนั้นนำมาพักในโถดูดความชื้นให้เย็น 1 h จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1 g มาวิเคราะห์โดยให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 h หรือจนน้ำหนักจะคงที่เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นที่ได้สามารถคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง ดังสมการที่ 1

$$MC (\%) = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100$$

สมการที่ 1

เมื่อ	MC	คือ	ปริมาณความชื้น (%) dry basic
	W_1	คือ	น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบไล่ความชื้น (g)
	W_2	คือ	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

2) ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible Substance) จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ คาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) และ สารระเหย (Volatile Matter)

2.1 คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) คือ สารประกอบคาร์บอนซึ่งระเหยได้ยาก โดยจะคงเหลืออยู่ในของเสียหลังจาก ที่เผาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 °C ในสภาวะปิด ตามมาตรฐานการวิเคราะห์ ASTM D 3172 โดยตัวอย่างที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจะมีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน จะทำการวิเคราะห์เมื่อเสร็จจากการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยและเถ้าออกไปแล้ว ตามสมการที่ 2

$$FC (\%) = 100 - (AC + MC + VM)$$

สมการที่ 2

เมื่อ	FC	คือ	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)
	MC	คือ	ปริมาณความชื้น (%)
	VM	คือ	ปริมาณสารระเหย (%)
	AC	คือ	ปริมาณเถ้า (%)

2.2 สารระเหย (Volatile Matter) เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าประกอบที่สามารถระเหยได้เมื่อได้รับความร้อน ซึ่งเชื้อเพลิงที่ได้มีองค์ประกอบของ คาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจนสูงจะส่งผลให้ติดไฟง่ายและลุกไหม้อย่างรวดเร็ว การวิเคราะห์จะทำตาม (ASTM Standard. D3175, 1997) โดยการนำตัวอย่างที่ทดสอบ เเผาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 7 min แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณสารระเหยจากการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง ดังสมการที่ 3

$$VM (\%) = \left(\frac{(A - B)}{A} \times 100 \right) - MC$$

สมการที่ 3

เมื่อ	VM	คือ	ปริมาณสารระเหย (%)
	A	คือ	น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผาที่อุณหภูมิ 950 °C (g)
	B	คือ	น้ำหนักตัวอย่างหลังเผาที่อุณหภูมิ 950 °C (g)
	MC	คือ	ปริมาณความชื้น (%)

3) ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้หรือขี้เถ้า (Ash) เชื้อเพลิงชีวมวลในส่วนใหญ่จะมีปริมาณเถ้าประมาณ 1–3 % แต่ฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10–20% จึงต้องนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 650 °C เป็นเวลา 180 min จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ของถ้วยรวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือ นำมาชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์ปริมาณเถ้าตาม (ASTM Standard. D3174, 1997) สามารถได้จากสมการที่ 4

$$AC (\%) = \frac{C}{A} \times 100$$

สมการที่ 4

เมื่อ	AC	คือ	ปริมาณเถ้า (%)
	C	คือ	น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผาที่อุณหภูมิ 650 °C (g)
	A	คือ	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)

การวิเคราะห์ขั้นสุดท้าย (Ultimate Analysis)

สำหรับการวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง เพื่อหาค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ ผลที่ได้เป็นปริมาณร้อยละของธาตุต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นถ่านหิน ได้แก่ ปริมาณคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S)



การวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล (ASTM Standard. D3177, 1997)

ค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value; LHV) หมายถึง เป็นค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลที่ไม่รวมค่าความร้อนแฝง โดยการนำชีวมวลหนัก 1 kg มาหาค่าความร้อน ซึ่งค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ต่อ กิโลกรัม

ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value; HHV) หมายถึง ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งรวมถึงปริมาณความร้อนแฝงที่ถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ที่เป็นองค์ประกอบเกิดการควบแน่น โดยการนำชีวมวลหนัก 1 kg มาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด สามารถหาประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน

ค่าความร้อนเชื้อเพลิง คือปริมาณความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิง เนื่องจากการสันดาปที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระบบโดยปฏิกิริยาสันดาปของเชื้อเพลิงจำพวกสารไฮโดรคาร์บอน เมื่อสันดาปในบรรยากาศของออกซิเจน ผลของการสันดาปจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำทดสอบโดยใช้บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ นำเชื้อเพลิงไปเผาไหม้กับออกซิเจนบริสุทธิ์ ภายใต้ความดันในบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะถ่ายเทให้กับตัวบอมบ์ โดยมีน้ำหล่อเย็นรอบตัวบอมบ์และอุปกรณ์อื่น ๆ โดยรอบ ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ ปริมาณความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$Q = mc_p \Delta T$$

สมการที่ 5

เมื่อ	Q	คือ	ปริมาณความร้อน (kJ)
	m	คือ	มวลของน้ำในแคลอรีมิเตอร์ (kg)
	c_p	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ 4.187 (kJ/kg K)
	ΔT	คือ	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (K)

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพ

ความหนาแน่น (Density) ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลแท่งของเชื้อเพลิงต่อปริมาตรของแท่งเชื้อเพลิง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6 (Nat et al., 2015)

$$\rho = \frac{m}{\pi^2 h}$$

สมการที่ 6

เมื่อ	ρ	คือ	ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (kg/m^3)
	m	คือ	มวลของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (kg)
	r	คือ	รัศมีของแท่งเชื้อเพลิง (m)
	h	คือ	ความยาวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (m)

ความต้านทานแรงกดอัด (Compressive strength) ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นการทดสอบความแข็งของแท่งเชื้อเพลิง โดยใช้แรงกดในทิศทางตรงและกดตรงพื้นที่วงกลมของแท่งเชื้อเพลิงทั้ง 2 ด้าน และเพิ่มแรงขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งเม็ดเชื้อเพลิงแตกหักหรือขาดออกจากกัน คำนวณได้จากสมการที่ 7

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

สมการที่ 7

เมื่อ	σ	คือ	ความต้านทานแรงกดอัด (kg/cm^2)
	F	คือ	ขนาดแรงกดอัด (kg)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงกดอัด (cm^2)

ดัชนีการแตกร่วน (Shatter index test) เป็นการทดสอบคุณสมบัติที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเหมาะแก่การนำไปใช้งาน ซึ่งถ้ามีค่าการแตกร่วนน้อยก็จะส่งผลให้เชื้อเพลิงไม่แข็งแรง แตกง่าย ร่วนซุยและถ้ามีค่าดัชนีการแตกร่วนมากก็จะส่งผลให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีความแข็งแรงมาก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 8 และ 9 (Rajaseenivasan et al.,2016)

$$\text{Weight loss (\%)} = \left(\frac{SH_1 - SH_2}{SH_1} \right) \times 100$$

สมการที่ 8

$$\text{Shatter index (\%)} = 100 - (\%) \text{ Weight loss}$$

สมการที่ 9

เมื่อ	Weight loss	คือ	น้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบ (%)
	SH_1	คือ	น้ำหนักตัวอย่างก่อนการทดสอบ (kg)
	SH_2	คือ	น้ำหนักตัวอย่างหลังการทดสอบ (kg)
	Shatter index	คือ	ดัชนีการแตกร่วน (%)

ความต้านทานน้ำ (Water resistance) ของเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นการทดสอบเพื่อวัดความสามารถในการต้านทานน้ำ เมื่อเชื้อเพลิงอัดแท่งสัมผัสกับน้ำในอากาศหรือฝนในระหว่างการจัดเก็บหรือการขนส่ง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10 และ 11 (Sengar et al.,2012)

$$\text{Water gained by briquette (\%)} = \left(\frac{WR_2 - WR_1}{WR_1} \right) \times 100 \quad \text{สมการที่ 10}$$

$$\text{Water resistance (\%)} = 100 - \text{Water gained} \quad \text{สมการที่ 11}$$

เมื่อ	Water gained by briquette	คือ	น้ำหนักที่เชื้อเพลิงดูดซึมน้ำ (%)
	WR ₁	คือ	น้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนแช่น้ำ (kg)
	WR ₂	คือ	น้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังแช่น้ำ (kg)
	Water resistance	คือ	ความต้านทานน้ำเชื้อเพลิงอัดแท่ง (%)

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ นิยมนำมาใช้ในการพิจารณาเพื่อตัดสินใจเลือกโครงการหรือวิธีดำเนินการใด ๆ โดยมีเป้าหมายของการวิเคราะห์โครงการ คือ การวิเคราะห์นั้น ๆ จะต้องนำไปสู่ข้อสรุปขั้นสุดท้ายใน การเลือกลงทุนในโครงการต่าง ๆ ว่าควรลงทุนในโครงการนั้นหรือไม่ โดยศึกษาการประมาณการค่าใช้จ่าย การลงทุน ต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยจะวิเคราะห์ใช้พารามิเตอร์หลักที่จำเป็นต่อการตัดสินใจในการลงทุนทั่วไปประกอบด้วย มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ ระยะเวลาคืนทุน และการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย มีรายละเอียดดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิบ่งชี้ถึง จำนวนผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับตลอดระยะเวลาของโครงการ อาจมีค่าเป็นบวกหรือลบหรือศูนย์ได้ขึ้นอยู่กับขนาด (Magnitude) ของมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม (PVB) หักออกด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (PVC) ของโครงการนั้น คำนวณดังสมการที่ 12

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^k \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

สมการที่ 12

เมื่อ	t	คือ	ปี
	M	คือ	อายุของโครงการ
	K	คือ	ระยะเวลาในการก่อสร้างระบบ
	R	คือ	อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดที่เหมาะสม
	B _t	คือ	ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t
	C _t	คือ	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการในปีที่ t

2. อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return; IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ คือ ผลตอบแทนเป็นร้อยละต่อโครงการ หรืออัตราดอกเบี้ยในการลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของโครงการมีค่าเท่ากับศูนย์ จึงจำเป็นต้องอธิบายเพิ่มเติมถึงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราดอกเบี้ยกับขนาดของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ หากอัตราดอกเบี้ยที่ใช้ในการคิดลดแล้วทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าลดลงแล้วทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก อัตราดอกเบี้ยระดับใหม่ที่สูงกว่าจะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าลดลง และลดลงต่อไปตราบเท่าที่อัตราดอกเบี้ยยังคงเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ในที่นี้จะมีอัตราดอกเบี้ยระดับหนึ่งที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 0 พอดี ซึ่งก็คือ อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ เมื่อกำหนดให้ r คือ อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ และค่าของ r จะสามารถหาได้จากสมการที่ 13 ดังนี้

$$\sum_{t=1}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} = 0$$

สมการที่ 13

เมื่อ	t	คือ	ปี
	r	คือ	อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดที่เหมาะสม
	B _t	คือ	ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t
	C _t	คือ	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการในปีที่ t



3590408697

MTU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

3. วิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Payback Period: PB)

การวิเคราะห์จะอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิตต่อปริมาณการผลิตและราคาขาย โดยจุดคุ้มทุน (Break-even Point) ระยะเวลาที่กระแสเงินสดรับ สะสมเท่ากับเงินที่ลงทุนไป เป็นตัวชี้วัดที่ใช้บอกสภาพ ความเสี่ยงของโครงการได้ โครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นจะมีความเสี่ยงต่ำกว่าโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนยาว ซึ่งมีเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ จะยอมรับโครงการเมื่อ $PB \leq$ ระยะเวลาคืนทุนเป้าหมาย (target payback period) และไม่ยอมรับโครงการ เมื่อ $PB >$ ระยะเวลาคืนทุนเป้าหมาย (target payback period) แสดงว่าการลงทุนของโครงการ ให้ผลไม่คุ้มค่า สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 14

$$PB = \frac{PC}{NT}$$

สมการที่ 14

เมื่อ	PB	คือ	ระยะเวลาในการคืนทุน (y)
	PC	คือ	ต้นทุนการผลิต (Baht/y)
	NT	คือ	รายได้สุทธิ (Baht/y)

4. ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Cost of production per unit)

ต้นทุน หมายถึง รายจ่ายที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้มาซึ่งสินค้า โดยคาดหวังว่าจะก่อให้เกิดประโยชน์หรือได้ผลตอบแทนกลับมา ไม่ว่าในปัจจุบันหรืออนาคต ซึ่งการได้มาซึ่งสินค้านั้นอาจใช้เงินสดสินทรัพย์อื่น ๆ เพื่อแลกมาก็ได้ ในทางบัญชีต้นทุนยัง หมายถึง ตัวเลขข้อมูลทางบัญชีที่ได้ทำการบันทึกไว้เพื่อใช้ในการวางแผน ควบคุมการดำเนินงาน วางแผนงบประมาณในการจัดซื้อวัตถุดิบ จ้างแรงงาน ตลอดจนคำนวณออกมาเป็นราคาขาย และประมาณการกำไร เพื่อใช้ในการตัดสินใจลดหรือเพิ่มการลงทุนในอนาคต

การจำแนกประเภทต้นทุนตามส่วนประกอบการผลิตของผลิตภัณฑ์ (ศักดิ์สิทธิ์, 2561) ในการผลิตสินค้าปัจจัยที่เป็นส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ วัตถุดิบตรง ค่าแรงงาน ทางตรง และค่าใช้จ่ายการผลิต จึงสามารถแบ่งต้นทุนตามลักษณะนี้ได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1) วัตถุดิบทางตรง (direct materials) คือ วัตถุดิบที่เป็นปัจจัยสำคัญในการผลิต ในการแปรสภาพเป็นสินค้าสำเร็จรูป สามารถคำนวณปริมาณได้ว่าในหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์ใช้เท่าไร ในการผลิตสินค้าแต่ละชนิด วัตถุดิบตรงอาจเป็นชนิดเดียวหรือหลายชนิดก็ได้ขึ้นอยู่กับสัดส่วนการใช้ที่ถือเป็นปัจจัยสำคัญ



3580406597

2) ค่าแรงงานทางตรง (direct labor) คือ จำนวนเงินค่าจ้างที่กิจการจ่ายให้แก่พนักงาน ลูกจ้าง ที่ช่วยแปรสภาพวัตถุดิบเป็นสินค้าสำเร็จรูป เป็นค่าแรงงานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โดยตรง สามารถวัดจำนวนการทำงานได้แน่นอนในรูปของชั่วโมงการทำงาน นำมาคิดเข้าเป็นต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์

3) ค่าใช้จ่ายการผลิต (manufacturing overhead) คือ ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการ ผลิต ทั้งหมด นอกเหนือวัตถุดิบทางตรงและแรงงานทางตรงที่ทำให้การผลิตสำเร็จลงได้เป็นสินค้าสำเร็จรูป หรือผลิตภัณฑ์ได้แก่ วัสดุทางอ้อม แรงงานทางอ้อม และค่าใช้จ่ายการผลิตอื่น ๆ ค่าใช้จ่าย การผลิต สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

3.1) ค่าใช้จ่ายการผลิตผันแปร คือ ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตที่มีพฤติกรรม ต้นทุนเปลี่ยนไปตามกิจกรรมที่เปลี่ยนไป เช่น วัสดุทางอ้อม แรงงานทางอ้อม ค่าไฟฟ้า เป็นต้น

3.2) ค่าใช้จ่ายการผลิตคงที่ คือ ค่าใช้จ่ายการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการผลิตที่มีต้นทุน รวมคงที่ไม่เปลี่ยนไปตามกิจกรรม ณ ระดับหนึ่ง เช่น ค่าเช่าโรงงาน ค่าประกันภัยโรงงาน ค่าเสื่อม ราคาโรงงาน ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร เป็นต้น

ลักษณะพฤติกรรมของต้นทุน (cost behavior) หมายถึง การศึกษาในช่วงเวลาหนึ่งที่มีความหมาย ต้นทุนจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในระดับของกิจกรรมที่เพิ่มขึ้นหรือ ลดลง ระดับของกิจกรรม หมายถึง ฐานหรือปริมาณที่ก่อให้เกิดต้นทุนนั้น ๆ เช่น จำนวนหน่วยที่ผลิต จำนวนชั่วโมงการทำงาน จำนวนหน่วยขาย เป็นต้น การจำแนกต้นทุนวิธีนี้แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

1) ต้นทุนผันแปร (variable costs) ลักษณะของต้นทุนผันแปร จะเป็นต้นทุนที่มีต้นทุนรวม เปลี่ยนไปตามระดับกิจกรรมที่เปลี่ยนไปในสัดส่วนโดยตรง แต่จะมีต้นทุนต่อหน่วยคงที่

2) ต้นทุนคงที่ (fixed costs) ลักษณะของต้นทุนคงที่จะเป็นต้นทุนที่มีต้นทุนรวมจะไม่ เปลี่ยนแปลงไปตามระดับของกิจกรรมที่เปลี่ยนไป ณ ระดับหนึ่ง แต่จะมีต้นทุนต่อหน่วยเปลี่ยนแปลง ในทางตรงข้าม เช่น ถ้าระดับกิจกรรม คือ จำนวนหน่วยผลิต ต้นทุนต่อหน่วยจะลดลงเมื่อผลิตมากขึ้น หรือต้นทุนต่อหน่วยจะมากขึ้นเมื่อผลิตน้อยลง ต้นทุนคงที่ของกิจการ เช่น ค่าเช่า ค่า ประกันภัย ค่า เสื่อมราคา เป็นต้น

3) ต้นทุนผสม (mixed costs) เป็นต้นทุนที่มีต้นทุนรวมเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร รวมอยู่ด้วยกัน บางครั้งเรียกว่า ต้นทุนกึ่งผันแปร (semi variable cost) เช่น ค่าโทรศัพท์ ค่าไฟ ค่า เช่าเครื่องจักร ค่าเช่าเครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น

สำหรับต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของเชื้อเพลิงอัดแท่ง สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 15

$$CU = CM + CE + CL + CMM$$

สมการที่ 15



359040597

เมื่อ	CU	คือ	ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (Baht/kg)
	CM	คือ	ต้นทุนวัตถุดิบ (Baht/kg)
	CE	คือ	ต้นทุนไฟฟ้า (Baht/kg)
	CL	คือ	ต้นทุนค่าแรงงาน (Baht/kg)
	CMM	คือ	ต้นทุนค่าบำรุงรักษาเครื่อง (Baht/kg)

หลักการตัดสินใจ (Decision rule) ที่แสดงว่าโครงการมีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจและการเงินหรือไม่ พิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เมื่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก แสดงว่าโครงการนั้นมีความเหมาะสมที่จะลงทุนได้ มูลค่าปัจจุบันผลประโยชน์รวมสูงกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม การลงทุนใด ๆ ที่ได้รับผลตอบแทนคุ้มกับจำนวนเงินที่ลงทุนอย่างรวดเร็วย่อมเป็นการดีเพราะโอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตมีน้อยลงและผู้ลงทุนสามารถนำเงินผลตอบแทนส่วนเกินจากเงินที่ลงทุนมาหาผลประโยชน์อย่างอื่นต่อไปได้อีก (ศักดิ์สิทธิ์, 2561)

การตรวจสอบเอกสาร

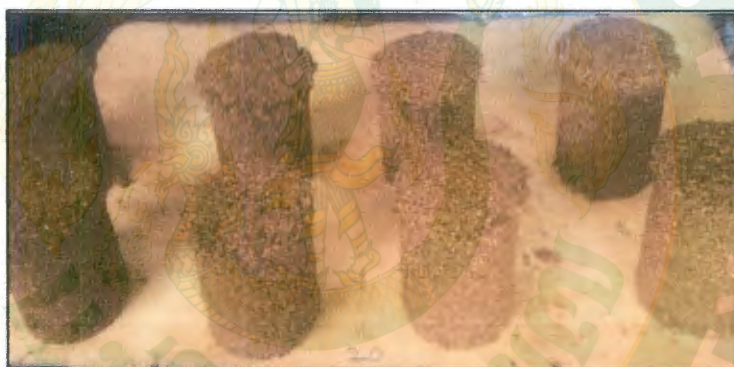
Oyelaran (2015) ได้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนตัวประสานที่มีต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากถั่วลิสง โดยวิธีการอัดร้อน ด้วยเครื่องอัดแบบลูกสูบ ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ที่อัตราส่วน 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักชีวมวล ขนาดอนุภาคเปลือกถั่วลิสงที่ใช้ 0.60 mm แรงดันที่ใช้ $1.2 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ พบว่า เมื่อเติมปริมาณตัวประสานแป้งมันสำปะหลังมากขึ้น ค่าความหนาแน่น ค่าความร้อน ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ก็จะแปรผันตามกันไปด้วย สามารถช่วยค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการเก็บรักษาทำให้ประหยัด ผลของแป้งมันสำปะหลัง แสดงให้เห็นว่าการขยายตัวด้านข้างและแกนสูงสุดคือ 1.91 และ 6% ตามลำดับ ความหนาแน่นสูงสุด 611 ถึง 641 kg/m^3 มีค่าความหนาแน่นในช่วง 69.89 - 93.52% ส่วนค่าความร้อนระหว่าง 19.82 - 21.97 MJ/kg ดังนั้นตัวประสานที่ 20% มีผลดีที่สุดและมีอิทธิพลมากต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

Obi et al (2014) งานวิจัยนี้ศึกษาพลังงานชีวมวลสำหรับการใช้พลังงานหมุนเวียนในชุมชน โดยนำขี้เลื่อยมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง และใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (POMS) ใช้เป็นตัวประสาน ในอัตราส่วน 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100% ของน้ำหนักชีวมวล ทำการศึกษาวิเคราะห์ผลของ POMS ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและการเผาไหม้ ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ในกระบวนการผลิตใช้เครื่องอัดแท่งแบบไฮดรอลิกส์ทรงกระบอกขนาด 20 ton ยาว 32.3 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.6 cm หัวลูกสูบบีรูปร่างกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 31.8 cm หนา 2 cm ปริมาณขี้เลื่อยในการอัดแต่ละครั้ง $273 \pm 3 \text{ g}$ ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูป $15.65 \pm 0.05 \text{ kg/cm}^2$ และ



3590408597

เติมน้ำผสม $2,400 \text{ cm}^3$ ต่อน้ำหนักชีวมวล เติมสารยัดเกาะในแต่ละอัตราส่วน ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ประมาณ 10 min ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของกากตะกอนน้ำมันปาล์มในซีลียอมีผลต่อสมบัติทางกายภาพและการเผาไหม้ของก้อนแปงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ความหนาแน่นของการบีบอัด ความทนทานและความต้านทานต่อน้ำของก้อนเพิ่มขึ้นเมื่อระดับสารยัดเกาะเพิ่มขึ้นจาก 10 - 100% พบว่าสารระเหยเก่าและค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อระดับสารยัดเกาะเพิ่มขึ้น มีค่าเท่ากับ 19.78 MJ/kg ขณะที่ค่าคงที่ของคาร์บอนลดลงเมื่อระดับสารยัดเกาะเพิ่มมากขึ้น ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจสอบคุณสมบัติการเผาไหม้ทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระดับสารยัดเกาะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตซีลียออัดแท่งโดยใช้กากตะกอนจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นสารยัดเกาะ 100% ก้อนที่ระดับยัดเกาะนี้มีความหนาแน่นและค่าความร้อนสูงที่สุด คุณสมบัติที่มีคุณภาพขึ้นส่วนซีลียอที่ดีสามารถผลิตได้โดยใช้กากตะกอนจากน้ำมันปาล์มเป็นสารยัดเกาะ ดังภาพที่ 27 และสามารถส่งเสริมการใช้ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานได้



ภาพที่ 27 ตัวอย่างซีลียออัดแท่งที่ใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์ม 20 %

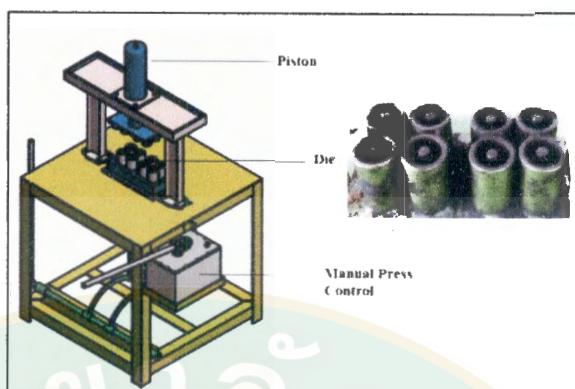
Rukayya et al (2015) ทำการศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อความคงทนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากแกลบและซังข้าวโพด ด้วยกระบวนการอัดเย็น ในกระบวนการเพิ่มความหนาแน่น โดยลดขนาดแกลบและซังข้าวโพดให้มีขนาด $< 2 \text{ mm}$ และ $< 1.6 \text{ mm}$ ตามลำดับ อัตราส่วนแปงมันสำปะหลัง: น้ำ 2:3 จากนั้นกวนผสมกันเป็นเวลา 5 min ก่อนที่จะเติมผสมกับแกลบและซังข้าวโพด ทดลองทั้งหมด 24 ตัวอย่าง โดยใช้อัตราส่วนตัวประสานตั้งแต่ 5–35% ใช้เครื่องอัดแท่งแบบไฮดรอลิกส์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 32 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 51 mm และความยาวของ 100 mm ดังภาพที่ 28 แรงอัดที่ใช้ 19 และ 31 MPa กดค้างไว้เป็นเวลา 60 s ผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีความหนาแน่น และมีความแข็งแรงกว่าเชื้อเพลิงจากวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ เมื่อพิจารณาแรงอัดที่ใช้ทั้งสองชนิดเฉลี่ย เท่ากับ 176 kPa ที่ความดัน 31 MPa เปลือกข้าวกับซังข้าวโพด

ด้วยตัวประสาน 20% เชื้อเพลิงมีความคงทนมีการสูญเสียมวลเพียง 4% ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า แป้งมันสำปะหลังและน้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับความแข็งแรงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง แต่มีผลต่อความหนาแน่นซึ่งเน้นถึงความจำเป็นในการทำความเข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อความแปรปรวนของชีวมวล



ภาพที่ 28 แม่พิมพ์กับตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งภายใต้แรงดันในเครื่องอัด

Mallika et al (2015) ศึกษาผลกระทบของแรงดันและสัดส่วนของตัวประสานที่มีต่อสมบัติเชื้อเพลิง ชีวมวลที่นำมาผลิตได้แก่ ชี้อ้อยไม้น้ำ, ชี้อ้อยไม้มูลาปัส, ช้างข้าวโพด และเส้นใยปาล์ม ตัวประสานที่ใช้ คือ กากน้ำตาล และเส้นใยปาล์ม อัตราส่วน วัสดุชีวมวลหลัก: ตัวประสาน คือ 4:1 กากน้ำตาลที่ใช้ 15–30 %wt และเส้นใยปาล์ม 20% ของน้ำหนัก เพื่อเพิ่มการยึดเกาะของชีวมวล ซึ่งขนาดอนุภาคของชีวมวลในการทดลอง <5 mm ใช้เครื่องอัดแบบไฮดรอลิกส์ ดังภาพที่ 29 ช่วงความดันที่ทำการศึกษได้แก่ 40, 50, 60 และ 70 kg/cm² กดค้างไว้เป็นเวลา 1 min ผลการทดลองพบว่าก่อนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเฉลี่ยและความสูง 12, 38 และ 25–30 mm. ตามลำดับ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพิ่มขึ้น เมื่อความดันเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 260–416 kg/m³ ชี้อ้อยไม้น้ำที่มีการใช้กากน้ำตาล 20%wt. และความดัน 70 kg/cm² ค่าความร้อนจากชี้อ้อยไม้น้ำอัดแท่งสูงสุด 21.26 MJ/kg ส่วนเชื้อเพลิงจากชี้อ้อยไม้น้ำฟาร์มอีตรา การเผาไหม้ช้าสุด 2.01 g/min ปริมาณเถ้าที่มีค่าต่ำอาจส่งผลต่อค่าความร้อนสูงของวัสดุ ปริมาณคาร์บอนคงที่สูงขึ้นจะเพิ่มค่าความร้อนโดยประมาณของมวลชีวภาพ ค่าความร้อนของชี้อ้อยไม้น้ำสูงกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ และสร้างพลังงานได้มาก



ภาพที่ 29 เครื่องแท่งไฮดรอลิกส์และแม่พิมพ์แบบ Holey

Mitchual (2013) ได้ศึกษาผลกระทบของชนิด ขนาดอนุภาค แรงดันในการกดอัดที่มีต่อความหนาแน่นและความสามารถรับแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เลื่อยของไม้เนื้อแข็งเขตร้อน 6 ชนิดที่ใช้แบ่งกลุ่มตามความหนาแน่นของชีวมวล คือ กลุ่มสายพันธุ์ที่มีความหนาแน่นต่ำ กลุ่มสายพันธุ์ที่มีความหนาแน่นปานกลาง และกลุ่มสายพันธุ์ที่มีความหนาแน่นสูง ตากแดดให้แห้งที่ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 75% อุณหภูมิ 28 °C เป็นเวลา 5–7 day ขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดแท่งแบบไฮดรอลิกส์ ที่ความดัน 10–50 MPa อนุภาคที่ใช้มีขนาด ≤ 1 mm, 1–2 mm และ 2–3.35 mm พบว่า ที่ขนาดอนุภาค ≤ 1 ที่ความดัน 10 MPa มีความหนาแน่นต่ำสุด คือ 366 kg/m³ จากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสายพันธุ์ T. scleroxylon และมีค่าสูงสุดคือ 741 kg/m³ ที่ความดัน 50 MPa จากขี้เลื่อยสายพันธุ์ P. Africana สำหรับที่ขนาดอนุภาค 1–2 mm. มีความหนาแน่นต่ำสุด คือ 354 kg/m³ ที่ความดัน 10 MPa และสูงสุด คือ 723 kg/m³ ที่ความดัน 50 MPa จากสายพันธุ์ P. Africana และที่ขนาดอนุภาค 2–3.35 mm มีความหนาแน่นต่ำที่สุด คือ 324 kg/m³ ที่ความดัน 10 MPa จากสายพันธุ์ T. scleroxylon และมีค่าสูงสุดคือ 720 kg/m³ ที่ความดัน 50 MPa จากสายพันธุ์ P. Africana จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะแปรผันกับแรงดันที่ใช้ หากใช้แรงดันที่มากเชื้อเพลิงก็จะมี การอัดตัวสารสมบัติของชีวมวลก็จะสลายเกิดการยึดเกาะกันแน่นขึ้น สอดคล้องกับข้อเสนอแนะจาก Tumuluru, JS ซึ่งกล่าวไว้ว่าเชื้อเพลิงที่ทำจากไฮดรอลิกส์จะมีค่าน้อยกว่า 1,000 kg/m³ โดยจะมีความหนาแน่นระหว่าง 300 ถึง 600 kg/m³

จินดา:มณี และคณะ (2558) นำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ด้วยเครื่องอัดแท่งแบบสกรูเดี่ยว วัสดุชีวมวลที่ใช้ 2 ชนิดคือ ชิงช้าโวตและขี้เลื่อยจากก้อนเชื้อเห็ด และใช้ตัวประสานแบ่งมันสำปะหลัง: ปูนขาว สัดส่วน 1:1 1:2 และ 2:1 ที่อัตราส่วนตัวประสานร้อยละ 10–50 โดยน้ำหนักชีวมวล พบว่าขี้เลื่อยจากก้อนเชื้อเห็ดสามารถขึ้นรูปเป็นแท่งได้ในทุกอัตราส่วน และใช้เวลาน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชิงช้าโวต เนื่องจากชิงช้าโวตมีลักษณะทางกายภาพที่

ค่อนข้างหยาบและมีเส้นใยน้อยกว่าซีเลื่อย และการอัดแท่งซังข้าวโพดยังทำให้อุณหภูมิผิวด้านนอกของกระบอกลดต่ำกว่าการอัดซีเลื่อยที่อัตราส่วนเดียวกัน ทั้งนี้ตัวประสานก็มีผลต่อกระบวนการเพิ่มความหนาแน่น โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งจากซีเลื่อย พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวประสานจาก 10–50 %wt. จะทำให้ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกับซังข้าวโพด โดยที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง:ปุนขาว (2:1) จะมีระยะเวลาในการผลิตได้เร็ว เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีส่วนช่วยในการยึดหยุ่น ทำให้ชีวมวลมีการอ่อนตัว ผิวน้ำมันทำให้ง่ายต่อการอัด ส่วนปุนขาวจะทำให้แท่งชีวมวลแข็งตัวและขึ้นรูปได้เร็ว แต่อุณหภูมิกระบอกลดสูงขึ้น ระหว่างการทำไม่ควรให้กระบอกลดมีอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน จะทำให้ผิวของเชื้อเพลิงที่ได้กลายเป็นถ่านที่มีความแข็ง และส่งผลให้เกิดปัญหาการติดแน่น ในระหว่างกระบวนการอัดแท่งควรฉีดน้ำลงบริเวณผิวกระบอกลดเพื่อระบายความร้อน จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 777.78 และ 840.94 kg/m³ มีค่าความร้อนต่ำอยู่ในช่วง 14–17 MJ/kg มีต้นทุนการผลิตต่ำสุด 5.14 และ 6.87 Baht/kg สำหรับซีเลื่อยและซังข้าวโพดอัดแท่งตามลำดับ ชีวมวลอัดแท่งที่ผลิตได้มีศักยภาพที่สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนทดแทนการใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน ลดปัญหาการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ไม่ถูกวิธี และลดการเกิดปัญหาหมอกควัน

ธนาพล และคณะ (2558) ทำการศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด ด้วยวิธีอัดเย็น ใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน โดยคั้นน้ำแป้ง 50 g/น้ำ 1 liter ให้ความร้อนและกวนจนมีลักษณะเหนียวขึ้นเป็นแป้งเปียก ในอัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวประสานที่ 10:5, 10:6 10:7, 10:8 และ 10:9 โดยน้ำหนัก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 cm ยาว 50 cm จากการทดลองสรุปได้ว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งมีความแน่นและคงรูปได้ดี ตั้งแต่อัตราส่วนผสม เท่ากับ 10 : 5 เป็นต้นไป เนื่องจากมีความเหนียว ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้พบว่ามีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 13.54–14.19 MJ/kg และมีค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัว อยู่ในช่วง 12.7–20.5, 56.0–68.9, 3.1–3.6 และ 9.9–20.7 % ตามลำดับ สำหรับการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาทดแทนการใช้ฟืนไม้ ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 13.13 kgCO₂eq/kg และผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ มีอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 9.4 % มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 12,551 Baht และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 6 y 6 m ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน โดยปัจจัยที่เป็นความเสี่ยงในการบริหารจัดการและมีผลต่อผลตอบแทนของโครงการมากที่สุดคือ จำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวัน รองลงมาคือค่าแรง คนงาน จำนวนวันที่ผลิตและราคาเครื่องจักร

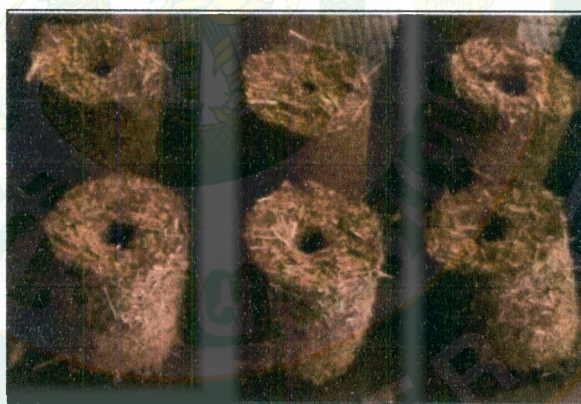
ธนาพล และคณะ (2558) ศึกษาความเป็นไปได้ ในการนำทางมะพร้าวผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทนในชุมชน โดยศึกษาความเหมาะสมทางเทคนิคคือ สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแท่งเชื้อเพลิง เพื่อ



3590406597

MTU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ประเมินความเป็นได้ในการบริหารจัดการโดยชุมชนในทางปฏิบัติ ใช้น้ำแ่งมันสำปะหลังเป็นตัว
ประสาน อัดขึ้นรูปด้วยวิธีอัดเย็นและได้ทำการทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM
ผลการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงชีวมวลสามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ทุกอัตราส่วนผสม จากการ
ตรวจสอบด้วยสายตา (visual inspection) พบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีความแน่น ความเหนียวและ
สามารถคงรูปอยู่ได้เมื่อทดลองบีบด้วยมือไม่กะเทาะแตกออกจากกัน ดังภาพที่ 30 ค่าความร้อนของ
เชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 2,865–4,185 Cal/g และมีประสิทธิภาพการใช้
งานเชิงความร้อนอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 8.55–13.36 ค่าความชื้น สารระเหย ปริมาณเถ้า และ
คาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 7.25–23.40, 67.62–76.31, 3.33–5.28
และ 2.26–10.71 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมที่ให้คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีที่สุดคือทางมะพร้าว 1
กิโลกรัม ต่อน้ำแ่งมันสำปะหลัง 1.25 liter การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า อัตรา
ผลตอบแทนภายในร้อยละ 15.6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 48,178 Baht และระยะเวลาคืนทุน
เท่ากับ 5 y 1 m ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน โดยปัจจัยที่เป็นความเสี่ยงในการบริหาร
จัดการและมีผลต่อผลตอบแทนของโครงการมากที่สุด คือ ราคาเชื้อเพลิง และจำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิต
ได้ต่อวัน รองลงมาคือ ค่าแรงคนงานจำนวนวันที่ผลิตและราคาเครื่องจักรตามลำดับ



ภาพที่ 30 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว

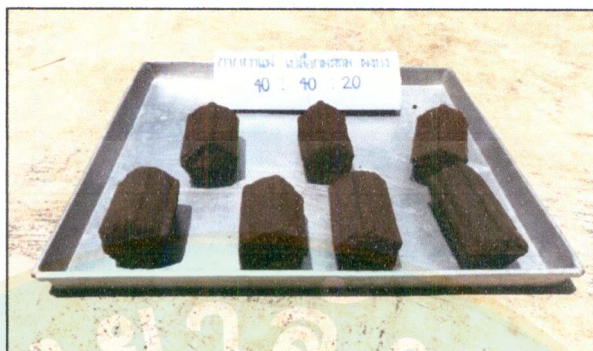
ลดาวัลย์ และคณะ (2559) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตก้อนเชื้อเพลิง ใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของเศษฟางข้าวและเศษลำไยเหลือทิ้ง โดยใช้แ่งเปียกเป็นตัวประสานและใช้การอัดแบบเปียกด้วยแรงดันต่ำ 50 และ 75 kg/cm² อัตราส่วนของเศษฟางข้าวต่อเศษลำไยเหลือทิ้งที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน ดังนี้ 100:0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80 และ 0:100 โดยน้ำหนัก จากนั้นตรวจวัดสมบัติทางกายภาพของก้อนเชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่ ลักษณะรูปร่างแสดงดังภาพที่ 31 ค่าความหนาแน่นและสมบัติทางเคมี จากผลการทดลองพบว่า ส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิต

คือ การใช้เศษฟางข้าวต่อเศษลำไยเหลือทิ้งที่อัตราส่วน 20:80 โดยน้ำหนัก มีแ่งเปียกร้อยละ 6 เป็นตัวประสาน ใช้แรงอัดที่ 50 kg/cm^2 ซึ่งก้อนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความหนาแน่น 0.33 g/cm^3 สำหรับค่าความชื้น ค่าเถ้า ค่าสารระเหยได้ และค่าคาร์บอนคงตัวของก้อนเชื้อเพลิงมีค่าร้อยละ 7.39, 5.00, 85.73 และ 1.88 ตามลำดับ ขณะที่ค่าความร้อนของก้อนเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 3,698.46 Cal/g ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน เท่ากับร้อยละ 10.64 และมีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 15.13 Baht/kg



ภาพที่ 31 รูปร่างของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน RS : LR ต่าง ๆ กัน ที่แรงดันต่าง ๆ

ณัฐนิช (2550) ศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง จากกากกาแฟผสมเปลือกมะขามด้วยวิธีการอัดแบบไม่ผ่านการเผา โดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้อัตราส่วนที่แตกต่างกันของกากกาแฟผสมเปลือกมะขามและตัวประสานที่ใช้ คือ แ่งมันสำปะหลัง และผงบง คือ 80:0:20, 60:20:20, 40:40:20, 20:60:20 และ 0:80:20 จากผลการศึกษาพบว่าแท่งเชื้อเพลิงทุกอัตราส่วนขึ้นรูปได้ ดังภาพที่ 32 แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่อัตราส่วน 80:0:20 และอัตราส่วน 40:40:20 จากกากกาแฟผสมเปลือกมะขาม ที่ใช้แ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน และแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่อัตราส่วน 80:0:20 จากกากกาแฟผสมเปลือกมะขามโดยใช้ผงบงเป็นตัวประสาน มีค่าผ่านมาตรฐานแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล อัตราส่วนที่เหมาะสมเหล่านี้มีค่าความร้อน 4,495–4,751.8 Cal/g ปริมาณความชื้น 7.76–8.42% ปริมาณสารระเหย 70.79–74.9% ปริมาณเถ้า 1.25–4.06% ปริมาณคาร์บอนคงตัว 16.73–26.09% ความหนาแน่น $0.46\text{--}0.61 \text{ g/cm}^3$ ระยะเวลาการมอดดับของเชื้อเพลิง 18–22 min และมีประสิทธิภาพ การใช้งานทางความร้อน 7.17–7.35% เมื่อนำอัตราส่วนที่เหมาะสมทั้ง 3 อัตราส่วน มาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลการวิเคราะห์พบว่าทั้ง 3 อัตราส่วน อาจให้ผลตอบแทนที่ไม่คุ้มค่าต่อการผลิตเนื่องจากกากกาแฟมีต้นทุนที่สูง



ภาพที่ 32 เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟผสมเปลือกมะขามใช้ผงบงเป็นตัวประสาน

ลดาวัลย์ และคณะ (2556) ทำการศึกษาต่อเนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งเขียวจากลำไย (LB) ผสมด้วยแป้งเปียกร้อยละ 6 (Bq0) (ผสมแป้งมันกับน้ำอัตราส่วน 0.15: 1 โดยน้ำหนัก กวนให้เข้ากัน) ใช้วัสดุที่ช่วยติดไฟ 2 ชนิด คือ เศษไม้ไผ่เหล็ทัง (M_1) และขี้เลื่อยจากไม้มะพร้าว (M_2) สัดส่วนที่ทำการทดลอง คือ LB: M_1 และ LB: M_2 ที่ 3 สัดส่วน ดังนี้ 3:1, 1:1 และ 1:3 โดยน้ำหนัก ชีวมวลลำไย นำมาลดขนาดผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 30 และชีวมวลช่วยติดไฟลดขนาดผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 60 ทำการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดแท่งแบบกระบอกสูบและลูกสูบ อาศัยแรงอัดจากแม่แรงขนาด 5 ton แรงอัดที่ใช้ได้แก่ 25, 50, 75 และ 100 kg/cm² ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า แท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งจาก LB: M_1 ที่สัดส่วน 3:1 โดยน้ำหนัก ใช้แรงอัดที่ 50 และ 75 kg/cm² (Bq2 และ Bq3) เป็นสัดส่วนที่เหมาะสม เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีลักษณะทางกายภาพ รูปร่างค่อนข้างตรง ผิวเรียบ มีรอยร้าวน้อยมาก และแข็งแรง ดังภาพที่ 33 ซึ่งมีความหนาแน่น 0.33 และ 0.34 g/cm³ และมีค่าความร้อน 3,927.87 และ 4,143.69 Cal/g ตามลำดับ เชื้อเพลิงอัดแท่ง LB: M_2 ที่สัดส่วน 3:1 โดยน้ำหนัก ใช้แรงอัด 75 kg/cm² (Bq6) เป็นสัดส่วนที่เหมาะสม เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้รูปร่างค่อนข้างตรง ผิวเรียบปานกลาง และมีความแข็งแรง โดยมีความหนาแน่นที่ 0.30 g/cm³ และมีค่าความร้อน 6,178.40 Cal/g จากการวิเคราะห์ต้นทุนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง Bq2, Bq3 และ Bq6 ทั้งสามอัตราส่วน คิดเป็น 0.4525, 0.4525 และ 0.4500 Baht/kg ตามลำดับ ทั้งนี้สรุปได้ว่า เศษไม้ไผ่เหล็ทังและขี้เลื่อยจากไม้มะพร้าวสามารถนำไปผสมกับชีวมวลลำไยและปรับปรุงให้ได้แท่งเชื้อเพลิงให้ที่มีคุณภาพดีกว่าแบบเดิม และสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งเกษตรอื่น ๆ ที่เป็นสาเหตุของการเกิดมลพิษในแต่ละชุมชนมาประยุกต์ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งให้มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ดี อีกทั้งพัฒนาให้มีอุปกรณ์เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพ นำไปสู่การผลิตทั้งในระดับชุมชนและอุตสาหกรรมได้ต่อไปในอนาคต

สัดส่วน 3: 1 โดยน้ำหนัก



แรงอัด 25 kg/cm²



แรงอัด 50 kg/cm²



แรงอัด 75 kg/cm²



แรงอัด 100 kg/cm²

สัดส่วน 1: 1 โดยน้ำหนัก



แรงอัด 25 kg/cm²



แรงอัด 50 kg/cm²



แรงอัด 75 kg/cm²



แรงอัด 100 kg/cm²

สัดส่วน 1: 3 โดยน้ำหนัก



แรงอัด 25 kg/cm²



แรงอัด 50 kg/cm²



แรงอัด 75 kg/cm²



แรงอัด 100 kg/cm²

ภาพที่ 33 เชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลลำไยและวัสดุช่วยติดไฟ

ชมธิตา (2553) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษซังข้าวโพดซึ่งได้มาจากโรงงานผลิตเมล็ดพันธุ์พืชม้ามาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ในขั้นตอนทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเศษซังข้าวโพดพบว่า มีปริมาณความชื้น 8.12% ปริมาณสารระเหยได้ 71.03% ปริมาณเถ้า 3.13% ปริมาณคาร์บอนคงตัว 14.66% และค่าความร้อน 4,054.56 Cal/g ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้ จากนั้นนำเศษซังข้าวโพดมาผสมกับตัวประสาน 4 ชนิดได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล กากของเสียจากโรงงานกระดาษ และน้ำมันเครื่องใช้แล้ว ในสัดส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 แล้วจึงนำไปอัดแท่ง จากผลการทดลอง พบว่าการอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่สัดส่วน 50%



3590406587

MTU 1Thesis 5915301016 thesis / rev: 27052563 20:36:23 / seq: 133

แป้งมันสำปะหลัง เหมาะสมที่สุดเนื่องจากอัตราน้ำน้อย มีความแข็งแรงสูง และใช้เวลาในการจุดไฟต่ำ ในขณะที่เดียวกับการใช้น้ำมันเครื่องใช้แล้วไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นตัวประสานในการอัดแท่งเศษซังข้าวโพด ทั้งนี้เมื่อใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน จะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความคงตัวของเถ้าและระยะเวลาการเผาไหม้สูงสุด ในขณะที่เมื่อใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสานจะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความร้อน ค่าดัชนีการแตกกร่อน ค่าความต้านทานน้ำสูงสุด มีค่าความร้อน 16.97 MJ/kg นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีอัตราส่วน 50% แป้งมันสำปะหลังมาคำนวณ พบว่า การอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่มีปริมาณ 100 ton/y โดยใช้สองสายการผลิตให้ผลการลงทุนที่คุ้มค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการได้เท่ากับ 1,980,721.32 Baht อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 45.76% อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุนเท่ากับ 1.16 และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2.18 y

ศิริสุข (2546) ได้ทำการศึกษาผลิตเชื้อเพลิงชีวจากฟางข้าวและซังข้าวโพด หาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างฟางข้าวกับซังข้าวโพด ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน อัตราส่วนที่ใช้ 10: 0, 9: 1, 8: 2, 7: 3, 6: 4 และ 5: 5 พบว่ามีค่าความร้อนเฉลี่ยคือ 4,216, 4,444, 4,753, 4,953, 5,252 และ 5,802 Cal/kg ตามลำดับ ดังนั้นการผลิตเชื้อเพลิงชีวที่มีส่วนผสมของถ่านจากฟางข้าวกับซังข้าวโพดซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ 6: 4 มีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 5.99 มาตรฐานเปียก มีค่าความร้อน 5,252 kcal/kg และ ปริมาณเถ้าร้อยละ 17.9 การประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า ต้นทุนในการผลิตต่อกิโลกรัม คือ 3.55 Baht และจุดคุ้มทุนของโครงการ คือ 2 y 3 m 12 d

อัฒม์ และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบไม้และฟางข้าวด้วยเครื่องอัดแท่งแบบสกรูเดียว โดยใช้แป้งมันสำปะหลังและปูนขาวเป็นตัวประสาน สัดส่วนตัวประสานที่ใช้ คือ 1:1, 1:2 และ 2:1 ในอัตราส่วนที่ร้อยละ 10–50 ของน้ำหนักชีวมวล ผลการทดลองพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบไม้ ใช้เวลาอัดทั้งหมด 8 min/round อุณหภูมิที่ผิวกระบอกลบเพิ่มจาก 31 เป็น 66.9 °C มีความหนาแน่นสูงสุด 1,216 kg/m³ ที่สัดส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อปูนขาว 2:1 ในอัตราส่วน 50% โดยน้ำหนักชีวมวล มีค่าความร้อนเฉลี่ย 11.75 MJ/kg และมีต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งต่ำสุด 6.48 Baht/kg ในส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฟางข้าว ใช้เวลาทั้งหมด 26 min/round อุณหภูมิผิวกระบอกลบเพิ่มจาก 31 เป็น 95.2 °C มีความหนาแน่นสูงสุด 1,364 kg/m³ ที่สัดส่วนแป้งมันสำปะหลัง : ปูนขาว 1:2 ในอัตราส่วน 50% โดยน้ำหนักชีวมวล มีค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 10.99 MJ/kg และมีต้นทุนการผลิตชีวมวลอัดแท่งต่ำสุด 11.78 Baht/kg ทั้งนี้การใช้ตัวประสานที่เป็นแป้งมันสำปะหลังจะช่วยให้การอัดแท่งง่ายขึ้น ช่วยเพิ่มค่าความร้อนให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแต่มีต้นทุนการผลิตสูง ในขณะที่ปูนขาวช่วยให้ขึ้นรูปเป็นแท่งของเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ง่ายขึ้น แต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้ชีวมวลแข็งตัวและติดที่กระบอกลบ และส่งผลให้ค่าความร้อนมีค่าลดลง



3590406587

MUJ 1Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ตารางที่ 7 สรุปการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง

นักวิจัย	วัสดุหลัก	วัสดุประสาน	อัตราส่วน	ขนาดชีวมวล (mm)	ความดัน (MPa)	อุณหภูมิ (°C)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ต้นทุนการ ผลิต (Baht/kg)
Mallika Thabuot et al	ซีลี้อยไม้ไผ่ ซังข้าวโพด ซีลี้อยไม้ยูคาลิปตัส เส้นใยปาล์ม	เส้นใยปาล์ม กากน้ำตาล	4:1 15 – 30 %wt	< 5	40, 50, 60 และ 70	-	21.26	-
O.A. Oyelaran et al	เปลือกถั่วลิสง	แป้งมันสำปะหลัง	5, 10, 15 และ 20 %wt	0.60	1.2×10^3 N/m ²	-	19.82 - 21.97	-
Okey Francis Obi et al.	ซีลี้อย	กากตะกอนปาล์ม	10 - 100%wt	-	15.65	-	19.78	-
Rukayya I. Muazu et al.	แกลบ ซังข้าวโพด	แป้งมันสำปะหลัง	5 – 35 %wt	< 2 mm. < 1.6 mm	19 และ 31	-	-	-
กฤตณัย และคณะ	กะลาปาล์ม เส้นใยปาล์ม ทะลายปาล์ม	-	1:1:1	-	1,360.50 N/mm ²	-	20.29	5.00
อัทธ และคณะ	ใบไม้ ฟางข้าว	แป้งมันสำปะหลัง ปูนขาว	1:1, 1:2 และ 2:1 10 – 50 %wt	-	-	66.9 95.2	11.75 10.99	6.48 11.78



ตารางที่ 6 สรุปการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

นักวิจัย	วัสดุหลัก	วัสดุประสาน	อัตราส่วน	ขนาดชีวมวล mm.	ความดัน (MPa)	อุณหภูมิ (°C)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ต้นทุนการผลิต (Baht/kg)
จินตตามณี และคณะ	ซังข้าวโพด ซีเลื้อยจากก้อนเชื้อเห็ด	แป้งมันสำปะหลัง	1:1, 1:2 และ 2:1	-	-	-	14 – 17	5.14
		ปูนขาว	10 – 50 %wt	-	-	-	-	6.87
ธนาพล และคณะ	เปลือกสับปะรด	แป้งมันสำปะหลัง	10:5, 10:6 10:7, 10:8 และ 10:9	-	-	-	13.54 – 14.19	NPV =12,551
ลดาวัลย์ และคณะ	ฟางข้าว เศษลำไยเหลือทิ้ง	แป้งมันสำปะหลัง	100:0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80 และ 0:100	-	50 kg/m2	-	12.56	15.13
ลดาวัลย์ และคณะ	ชีวมวลลำไย เศษไม้ไผ่เหลือทิ้ง	แป้งมันสำปะหลัง	3:1, 1:1 และ 1:3	0.589	25, 50, 75	-	-	4.525,
	ซีเลื้อยจากไม้มะพร้าว		6 %wt	0.250	และ 100 kg/cm2	-	16.44 - 25.86	4.525 4.500
ชมธิดา และคณะ	ซังข้าวโพด	แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล กากของ เสียจากโรงงาน กระดาษ น้ำมัน เครื่องใช้แล้ว	10, 20, 30, 40 และ 50 %wt	-	-	-	16.97	NPV =1,980,721.32

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาดังกล่าวข้างต้น พบว่า การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร ไม่ว่าจะเป็น ชังข้าวโพด ฟางข้าว เศษไม้ แกลบ กากกาแฟ เปลือกไม้ เป็นต้น ด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบอัดเย็น โดยส่วนใหญ่ใช้แ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน มีการใช้งานที่อัตราส่วนตั้งแต่ 20–100% มีต้นทุนการผลิตอยู่ในช่วง 5–12 baht/kg ซึ่งถือว่าต้นทุนที่สูง เป็นสาเหตุของการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งลดลง (ภาสินี, 2563) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้เป็นตัวประสานเพื่อลดการใช้แ่งมันสำปะหลัง และลดต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งให้สามารถนำมาใช้งานกับชีวมวลชนิดอื่น ๆ ได้อย่างแพร่หลาย อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในระดับครัวเรือน ชุมชน หรือสามารถสร้างเป็นอาชีพได้



บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอเนื้อหาของ วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร และวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยหลักการดำเนินงานวิจัยจะทำการศึกษาศึกษาการทดสอบการขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน รายละเอียด วิธีการศึกษาการวิจัยแสดงดังรูปที่ 75 หลังจากได้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูป ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และความร้อน จากนั้นจะทำการคัดเลือกเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน นำไปทดสอบแรงดันในการขึ้นรูป รวมไปถึงทดสอบโครงสร้างของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง และทำการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ต้นทุนการผลิต สำหรับวิธีการดำเนินงานวิจัยแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ประกอบด้วยชีวมวลหลัก ได้แก่ เศษไม้ ฟางข้าว และซังข้าวโพด วัสดุประสานธรรมชาติ ได้แก่ ทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว และต้นกล้วย เหลือง ส่วนตัวประสานทั่วไปคือ แป้งมันสำปะหลัง สำหรับอุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องจักรกลต่าง ๆ ได้แบ่งประเภทตามการทำงานไว้ออกเป็น 7 ประเภท โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1.1) ชีวมวลในงานวิจัย

ชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยมีทั้งหมด 6 ชนิด แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1.ชีวมวลหลัก ได้แก่ เศษไม้ ฟางข้าว และซังข้าวโพด ดังแสดงในภาพที่ 34 2.วัสดุประสานธรรมชาติ ได้แก่ ทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว และต้นกล้วย เหลือง แสดงในภาพที่ 35 ชีวมวลหลักทั้งสามชนิด โดยเศษไม้ นำมาจากโรงงานแปรรูปไม้ อำเภอคลองสะแก ฟางข้าวจากแปลงนาของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในท้องถิ่น อำเภอสนทราย และซังข้าวโพดจากวิสาหกิจชุมชนบ้านปิงโค้ง อ.เชียงดาว ส่วนวัสดุประสานธรรมชาติ ทางใบปาล์มและทางมะพร้าว รวบรวมจากศูนย์วิจัยพลังงานทดแทนและแปลงสาธิตเกษตรทฤษฎีใหม่ ตามแนวพระราชดำริ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และต้นกล้วย เหลือง ติดต่อกับหัวหน้าแผนกนวัตกรรมและพัฒนา บริษัท ลานนาเกษตร จำกัด เพื่อติดต่อขอสนับสนุนเศษต้นกล้วย เหลืองที่เหลือทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวจากแปลงเกษตรกร บ้านทุ่งหัวช้าง จ.ลำพูน และบ้านเวียงป่าเป้า จ.เชียงราย ในเบื้องต้นได้นำชีวมวลทั้ง 6 ชนิดไปวิเคราะห์ทางเคมี โดยวิธีการประมาณ และแบบแยกธาตุ ผลการวิเคราะห์เบื้องต้น

โดยวิธีการประมาณ พบว่า ชีวมวลทั้ง 6 ชนิด มีความชื้นอยู่ในช่วง 2.86–8.24% ส่วนสารระเหย มีค่าอยู่ในช่วง 72.50–83.95% ปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วง 2.40–18.54% และปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 1.36–11.28% มีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 15.01–17.85 MJ/kg ทั้งนี้ปริมาณความชื้นที่อยู่ในชีวมวลจะมีผลต่อค่าความร้อนของชีวมวล แสดงดังตารางที่ 8 ซึ่งคุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลทั้ง 6 ชนิดมีคุณสมบัติสอดคล้องกับชีวมวลทั่วไปที่มีอยู่ในประเทศไทยของ สำหรับผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ พบว่า ชีวมวลหลักทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วง 38.70–48.10% ปริมาณไฮโดรเจนอยู่ในช่วง 5.60–7.72% ปริมาณออกซิเจนอยู่ในช่วง 36.40–45.74% ปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.08–2.72% และปริมาณซัลเฟอร์อยู่ในช่วง 0.00–0.02% ดังแสดงในตารางที่ 9 นอกจากนี้ในการเลือกชนิดของชีวมวลที่จะนำมาใช้งานทั้งชีวมวลหลัก และวัสดุประสานธรรมชาติ จะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบของโครงสร้างชีวมวล โดยวัสดุประสานธรรมชาติจะพิจารณาเลือกชีวมวลที่มีสารประกอบประเภทลิกนินในปริมาณที่สูง ในที่นี้อยู่ระหว่าง 20–25% ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลโดยวิธีการประมาณ (Proximate Analysis)

ชีวมวล	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	เถ้า (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	ค่าความร้อน (MJ/kg)
เศษไม้	6.34	83.95	1.80	7.91	15.92
ฟางข้าว	7.87	79.93	11.28	2.40	15.01
ซังข้าวโพด	2.86	80.10	1.36	18.54	18.90
ทางใบปาล์ม	7.40	71.53	5.40	15.70	17.85
ทางมะพร้าว	7.46	72.30	6.90	13.34	15.67
ต้นกล้วยเหลือ	8.24	72.50	8.40	10.86	17.37
แป้งมันสำปะหลัง	5.27	78.24	10.15	6.34	14.10

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis)

ชีวมวล	คาร์บอน (%)	ไฮโดรเจน (%)	ออกซิเจน (%)	ไนโตรเจน (%)	ซัลเฟอร์ (%)
เศษไม้	48.10	5.99	45.74	0.08	0.00
ฟางข้าว	38.70	5.60	36.40	0.34	0.02
ซังข้าวโพด	46.58	5.87	45.46	0.47	0.01



3590405597

ตารางที่ 9 (ต่อ) การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis)

ชีวมวล	คาร์บอน (%)	ไฮโดรเจน (%)	ออกซิเจน (%)	ไนโตรเจน (%)	ซัลเฟอร์ (%)
ทางใบปาล์ม	47.31	6.01	40.65	0.21	0.00
ทางมะพร้าว	39.60	5.78	38.53	0.35	0.00
ต้นถั่วเหลือง	46.26	7.72	43.31	2.72	0.00
แป้งมันสำปะหลัง	36.96	3.22	59.71	0.11	0.00

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์องค์ประกอบโครงสร้างของชีวมวล

ชีวมวล	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	สารแทรก (%)	หมายเหตุ
เศษไม้	45-50	25-35	25-35		(Malherbe et al., 2002)
ฟางข้าว	32-47	19-27	5-27		(Yoswathana et al., 2010)
ซังข้าวโพด	45.00	35.00	15.00	18.00	(Prasad et al., 2007)
ทางใบปาล์ม	40-50	23-38	18-32	3.86	(Noorshamsiana., 2018)
ทางมะพร้าว	31.73	43.19	25.08		(George et al., 1998)
ต้นถั่วเหลือง	40.5	34	21.7	3.8	(Reddy and Yang., 2009)

1.2) วัสดุประสานทั่วไป (แป้งมันสำปะหลัง)

แป้งมัน เป็นวัสดุตัวประสานที่นิยมใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเชื้อ (Arewa et al., 2016), (Oladeji et al., 2010) , (Oladeji et al., 2012) แต่การใช้แป้งมันมักส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น การลดการใช้แป้งมันจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ (เกษรา และคณะ, 2561) (ภาสินี, 2563) แป้งมันสำปะหลังที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ตรา ปลามังกร บรรจุในกระสอบขนาด 30 kg มีลักษณะเป็นผงสีขาว สีนํ้ามีความมันวาว แสดงดังภาพที่ 36 เมื่อผสมน้ำและให้ความร้อนจะมีความเหนียวเป็นกาวใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสี มีคุณสมบัติดังตารางที่ 11 ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งในงานวิจัยนี้อัตราส่วนแป้งมัน 1%, 5% และ 10%





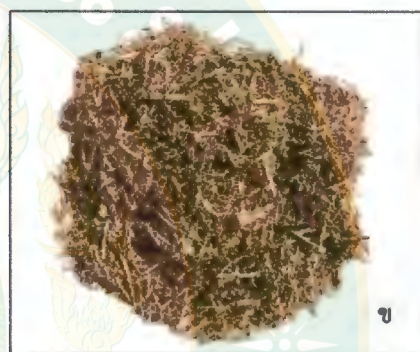
(ก) เศษไม้จากโรงงานแปรรูป



(ข) เศษไม้ที่พร้อมใช้งาน



(ก) ฟางข้าวจากแปลงนาเกษตรกร



(ข) ฟางข้าวที่พร้อมใช้งาน



(ก) ชังข้าวโพดจากวิสาหกิจชุมชนบ้านปึงโค้ง



(ข) ชังข้าวโพดที่พร้อมใช้งาน

ภาพที่ 34 ชีวมวลหลักที่ใช้งานวิจัย



3590406597

MTU 1Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



(ก) ทางใบปาล์มจากศูนย์วิจัยพลังงานทดแทน



(ข) ทางใบปาล์มที่ผ่านการบดย่อย



(ก) ทางมะพร้าวจากแปลงสาธิตเกษตรทฤษฎีใหม่



(ข) ทางมะพร้าวที่ผ่านการบดย่อย



(ก) ต้นถั่วเหลืองจากแปลงเกษตรกรบ้านเวียงป่าเป้า



(ข) ต้นถั่วเหลืองที่ผ่านการบดย่อย

ภาพที่ 35 วัสดุประสาณธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ 36 วัสดุประสานทั่วไปที่ใช้ในงานวิจัย (แป้งมันสำปะหลัง)

ตารางที่ 11 คุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง

คุณสมบัติ	รายละเอียด
ความชื้น (%)	13
ความหนืด (BU Min)	550
ปริมาณเถ้า (% Max)	0.2
ปริมาณกำมะถัน (ppm)	100 (Nonfood)
ความหนาแน่น (kg/m ³)	546.25
ค่าความร้อน (MJ/kg)	14.04 (3,353.14 Cal/g)

2) เครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

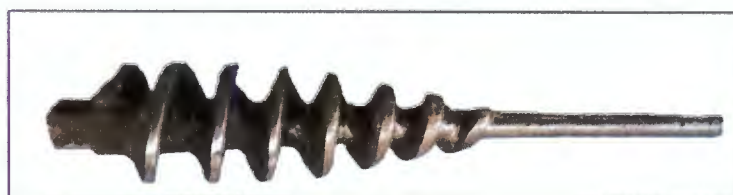
2.1) เครื่องอัดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

การผลิตขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งใช้ เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวรูปกรวย ดังภาพที่ 37 มีชุดส่งต้นกำลังของเครื่องใช้มอเตอร์ผลิตภัณฑ์ของ Mitsubishi รุ่น Super line ขนาด 5 hp ความเร็วรอบ 1,440 rpm ส่งกำลังไปยังฟูลเลย์ตัวขับ 3 ร่องขนาด 6 inch และส่งกำลังไปยังฟูลเลย์ตัวตาม 3 ร่องขนาด 20 inch โดยใช้สายพานร่อง B จำนวน 3 เส้น ในการขับเพื่อให้แกนเพลลาที่เชื่อมต่อกับเกลียวอัดทำงาน มีกำลังการผลิตของเครื่องอัดแท่งอยู่ในช่วง 50–100 kg/h สำหรับชุดอัดแท่งเชื้อเพลิง มีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เกลียวอัด กระบอกอัด ชุดป้อนเชื้อเพลิง และกระบอกแม่พิมพ์ ในส่วนของกระบอกอัด มีลักษณะทรงกระบอกท่อนุ้มเกลียวอัดอย่างพอดี มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 mm ยาว 844 mm ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันให้กับชีวมวลในการอัดแท่ง โดยเกลียวอัดที่ใช้แบบเกลียวอัดรูปกรวย

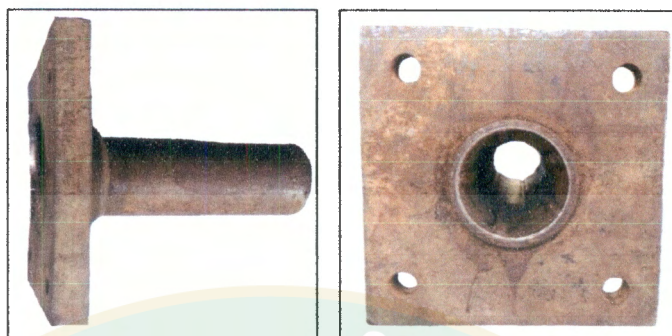
ดั่งภาพที่ 38 ทำหน้าที่ลำเลียงวัสดุที่ทำการผสมแล้วไปยังด้านหน้าและทำการเพิ่มความดันขณะที่วัสดุเคลื่อนที่เข้าไปยังกระบอกอัดเพื่อทำการอัดขึ้นรูป โดยเกลียวอัดประกอบด้วยสองชิ้นส่วน ได้แก่ ส่วนของแกนเกลียว ทำจากแท่งอลูมิเนียม ขนาดของแกนกลางเกลียวในช่วงต้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 mm ช่วงปลาย 35 mm ยาว 405 mm และส่วนของฟันเกลียว ทำจากอลูมิเนียมชนิดแผ่น มีความหนา 10 นำมาพันเชื่อมเข้ากับแกนเกลียว จำนวน 7 ฟัน ส่วนหัวของเกลียวอัดที่ใช้ต่อเชื่อมกับเพลาคับเป็นเหล็กทรงสี่เหลี่ยมมีขนาด 24x24x30 mm เส้นผ่านศูนย์กลางโดนอก 12.5 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง 29.8 mm และระยะพิตช์เกลียวป้อน 35 mm ชุดป้อนเชื้อเพลิง ใช้สำหรับรองรับวัสดุเพื่อป้อนวัสดุเข้าสู่เกลียว โดยจะมีลักษณะของช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมขนาดความกว้าง 200 mm สูง 300 mm ทำจากเหล็กแผ่นดำ หนา 1.2 mm สามารถรองรับวัสดุได้สูงสุด 3 kg และกระบอกแม่พิมพ์ มีลักษณะเป็นทรงกระบอก สูง 240 mm มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 49.6 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 70.9 mm ใส่องล็ดการลื่นไถล 5 mm และกลิ้งสเทย์ 5 rad ฐานรองมีลักษณะเป็นแผ่นทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 200x200 mm หนา 25 mm ดั่งภาพที่ 39



ภาพที่ 37 เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวรูปกรวย



ภาพที่ 38 เกลียวอัดรูปกรวย



ภาพที่ 39 กระบอกแม่พิมพ์

2.2) เครื่องย่อยปุ๋ยพืชสด (เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบหยาบ)

เครื่องย่อยปุ๋ยพืชสด (เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบหยาบ) รุ่น KTL-1000 ดังภาพที่ 40 เป็นเครื่องย่อยขนาดใหญ่ มีขนาด 120x220x150 cm น้ำหนักโดยประมาณ 450 kg ใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาด 10-16 hp เป็นระบบ Disc Chipper+Hammer Mill ภายในส่วนของการบดย่อย มี 1 ใบมีดสับและ 21 ใบมีดเหวี่ยงแบบอิสระ ใบมีดทำจากเหล็กเกรดพิเศษ สามารถสับย่อย วัสดุได้ทุกประเภท ทั้งสดและแห้ง มีกำลังการทำงาน 1,000 kg/h (ธนศิษฐ์ และคณะ, 2559) ขึ้นกับวัสดุและความละเอียดของชิ้นงาน สำหรับเครื่องย่อยนี้จะใช้ย่อย ทางมะพร้าว ทางใบปาล์ม และต้นถั่วเหลือง มีขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร โดยนำชีวมวลมาตัดให้มีความยาวพอประมาณ ป้อนเข้าห้องย่อย ด้านบน ใบมีด ทำหน้าที่บดย่อยชีวมวลผ่านตะแกรง ส่วนที่หยาบจะถูกย่อยออกไปทางด้านข้างของเครื่อง ส่วนที่ละเอียดผ่านตะแกรงลงที่รองรับด้านล่าง หลังจากทำการย่อยเสร็จ นำส่วนที่หยาบกลับมาเข้าเครื่องอีกครั้งเพื่อทำการบดให้มีความละเอียดมากขึ้น จากนั้นนำไปตากแดดเพื่อลดความชื้น

2.3) เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบหยาบ

ภาพที่ 41 แสดงเครื่องบดย่อยอเนกประสงค์ รุ่น MJU-EB3: PRO เครื่องมีขนาด กว้าง 800 mm ยาว 1,100 mm และ สูง 1,100 mm ใช้ต้นกำลังขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1.5 hp แรงดันไฟฟ้า 220 V (ฐานเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร, 2556) มีอุปกรณ์ควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ และใช้ป้องกันไม่ให้กระแสไหลผ่านเกินพิกัดที่กำหนด ถ้าเกินค่าที่กำหนด โอเวอร์โวลต์จะตัดวงจร ส่วนใหญ่การใช้งานจะใช้กับวัสดุที่มีความแข็ง เป็นเส้นใย โดยเครื่องนี้จะใช้บดย่อย ฟางข้าว ชังข้าวโพด เศษไม้ และชีวมวลที่ผ่านการย่อยจากเครื่องย่อยปุ๋ยพืชสดเพื่อให้มีความละเอียดมากขึ้น โดยผ่านใบมีดหั่น จำนวน 2 ใบ ใบมีดตี 8 ใบ บดย่อยผ่านตะแกรงเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm



ภาพที่ 40 เครื่องย่อยพืชสด รุ่น KTL-1000



ภาพที่ 41 เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบหยาบ รุ่น MUU-EB3 : PRO

2.4) เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบละเอียด

เครื่องย่อยแบบละเอียด powder crusher machine รุ่น F-19ZSIII ดังภาพที่ 42 มีมอเตอร์ ขนาด 2.2 hp กำลังไฟฟ้าขาออก 1.5-2.2 kW ใช้แรงดันไฟฟ้า 220 V ใช้सानพานในการส่งกำลัง ความเร็วรอบในการบดย่อย 5,500 rpm ภายในเครื่องบดย่อยมีชุดตีและบดชีวมวลทั้งหมด 4 ชุด โดยชีวมวลที่ผ่านเครื่องมีขนาดระหว่าง 0.5–3.0 mm โดยจะใช้เครื่องบดย่อยนี้ย่อยชีวมวลที่ผ่านเครื่องบดแบบหยาบมาแล้ว ได้แก่ เศษไม้ ฟางข้าว ชังข้าวโพด ทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว และต้นถั่วเหลือง หลังจากผ่านเครื่องบดละเอียดแล้ว ต้องนำไปผ่านตะแกรงร่อนขนาด 1 mm อีกครั้งก่อนการนำไปใช้งาน โดยตะแกรงที่ใช้สามารถเปลี่ยนได้ตามขนาดที่เราต้องการ



ภาพที่ 42 เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบละเอียด รุ่น F-19ZSIII

2.5) เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด (Infrared thermometer)

เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด ผลิตภัณฑ์ของ Aeropak รุ่น AIT-42R มีย่านวัดอุณหภูมิในช่วง $(-20)-500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความละเอียด $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลาในการตอบสนอง 0.5 S ขนาดเครื่อง $230 \times 100 \times 56\text{ mm}$ ดังภาพที่ 43 ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิกระบอกอัด เกลียวอัด และเชื้อเพลิงอัดแท่งในระหว่างกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง



ภาพที่ 43 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด รุ่น AIT-42R

2.6) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ของ CST รุ่น CDR-30 ดังภาพที่ 44 เป็นเครื่องชั่งชนิดแสดงการประมวลผลแบบตัวเลข โดยอาศัยหลักการอิเล็กทรอนิกส์ ทำงานจากแผงวงจร(Main Board)

ต่อเชื่อมกับส่วนรับน้ำหนัก เหมาะสมกับงานที่ต้องการควบคุมความแม่นยำและความรวดเร็วในการทำงาน อาศัยพลังงานจากกระแสไฟฟ้าสลับ 220 V ผ่านแบตเตอรี่แบบชาร์จขนาด 6 V สามารถใช้งานได้นานประมาณ 60 h มีพิกัดกำลัง 30 kg ความละเอียด 1 g ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักวัตถุดิบก่อนทำการผลิต และหาค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง



ภาพที่ 44 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล รุ่น CDR-30

3) เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

3.1) การวิเคราะห์ความหนาแน่น (Density)

การทดสอบวัดค่าความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่งจะใช้หลักการวัดขนาดรูปทรงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเชิงปริมาตรเทียบกับมวล (เจนจิรา, 2561) (Garrido et al., 2017) (ภาสินี, 2563) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิทัล ขนาด 6 นิ้ว ผลิตภัณฑ์ของ HACHI รุ่น 801353 ดังภาพที่ 45 แสดงผลที่ความละเอียด 0.1 mm ค่าความแม่นยำ ± 0.2 mm มีระยะวัด 0–150 mm ใช้สำหรับวัดความสูง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อใช้ในการหาความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่ผลิตได้ให้มีขนาดที่แม่นยำ



ภาพที่ 45 เวอร์เนียเทอร์โมพลาสติก ดิจิตอล 6 นิ้ว รุ่น 801353



3590406597

MSU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

3.2) การทดสอบและวิเคราะห์ดัชนีการแตกร่วน (Shatter index machine)

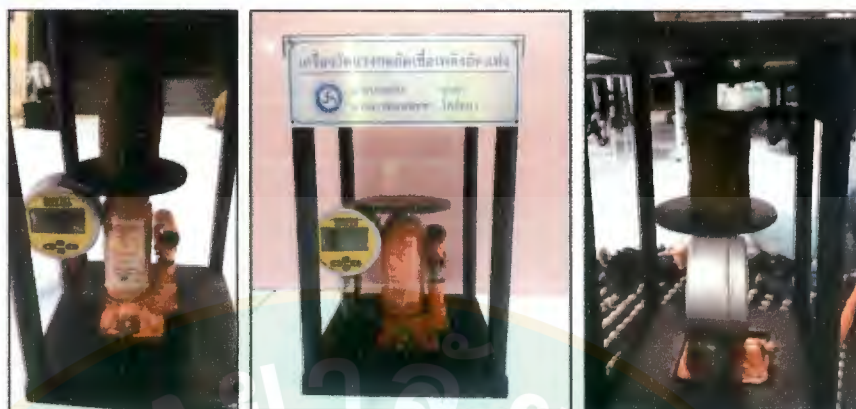
การทดสอบดัชนีการแตกร่วน เพื่อทดสอบความแข็งแรง ทนทาน ในการขนส่งของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทำได้โดยการตัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลให้มีขนาด 100 mm ซึ่งน้ำหนักก่อนการทดสอบ โดยใช้เครื่องทดสอบแบบชนิดหมุนตามมาตรฐาน ASAC 5269.53 แสดงดังภาพที่ 46 ซึ่งการทำงานของเครื่องจะ ใช้กำลังจากมอเตอร์ร่วมกับชุดอินเวอร์เตอร์ส่งกำลังไปยังสายพานร่อน V ทดรอบเพลาคับหมุนด้วยความเร็วรอบ 50 rpm เป็นเวลา 10 min จากนั้นนำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ (Tembe et al., 2014)



ภาพที่ 46 เครื่องทดสอบดัชนีการแตกร่วน

3.3) การทดสอบและวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดอัด (Compressive strength)

เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกด ประกอบด้วยแม่แรงกระปุก แบบไฮดรอลิก ผลิตภัณฑ์ของ komoto ขนาด 200 kg ฐานรองรับแรงกดอัดชีวมวล ประมวลผลด้วยเครื่องวัดความดันแบบดิจิทัล สามารถอ่านความดันตั้งแต่ 0–60 MPa ดังภาพที่ 47 โดยวิธีการทดสอบทำได้โดยตัดเชื้อเพลิงอัดแท่งให้มีขนาด 100 mm นำวางบนฐานรอง จากนั้นใช้แรงโยกไฮดรอลิกให้แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลชนฐานด้านบนจนเกิดการแตกหัก พร้อมกับอ่านค่าที่ได้จากหน้าจอแสดงผล (Kers et al., 2010)



ภาพที่ 47 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดอัด

3.4) เครื่องทดสอบความต้านทานน้ำ (Water resistance)

การทดสอบความต้านทานน้ำนั้นจะเป็นการบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับน้ำหรือมีความชื้นสูงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคือ ภาชนะเปิด ใส่ น้ำ ให้มี ปริมาตร 1,000 ml ดังภาพที่ 48 ทำการทดสอบโดยชั่งน้ำหนักก่อนทดสอบ นำตัวอย่างทดสอบให้ ลอยน้ำ เป็นเวลา 30 S จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ (Deniz, 2013)



ภาพที่ 48 อุปกรณ์ทดสอบความต้านทานน้ำ

4) เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า

4.1) ดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ (Digital Multimeter)

ดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ ใช้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรหรือในระบบไฟฟ้า โดย สามารถวัดค่ากระแสได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ โดยที่ไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับ สายไฟโดยตรง เพื่อคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของการผลิต นำไปสู่การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยใช้เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้าชนิดดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ผลิตภัณฑ์ของ UNI-T รุ่น UT200B

4.2) มิเตอร์ไฟฟ้า (Electricity meter)

ภาพที่ 50 มิเตอร์ไฟฟ้า

5) อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบคุณสมบัติทางเคมี

5.1) เตาเผาอุณหภูมิสูง

เตาเผาอุณหภูมิสูง ผลิตภัณฑ์ของ CHAVACHOTE ดังภาพที่ 51 ใช้สำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของซีเมนต์ โดยจะใช้หาปริมาณสารระเหย เถ้าและคาร์บอนคงตัว ตัวเตาเป็นเตาแบบปิดทำจากอิฐทนความร้อนและครอบด้วยเหล็ก สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สูงสุด 1,200 °C ด้านภายนอกมีความกว้าง 450 mm ความยาว 500 mm และความสูง 530 mm ภายในตัวเตามีความกว้าง 170 mm ความยาว 500 mm และความสูง 160 mm ใช้ขดลวดเป็นแหล่งให้ความร้อนและเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K ตรวจวัดอุณหภูมิภายในเตา (เจนจิรา, 2561)



ภาพที่ 51 เตาเผาอุณหภูมิสูง

5.2) โถดูดความชื้น (Desiccator)

โถดูดความชื้นใช้สำหรับพักตัวอย่างให้มีอุณหภูมิที่ลดลงและดูดความชื้น ตัวโถดูดความชื้นและฝาปิดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 mm ดังแสดงในภาพที่ 52 ทำมาจากแก้ว ภายในมีแผ่นเซรามิกสำหรับวางตัวอย่างและมีซิลิกาเจลอยู่ด้านล่างใช้สำหรับดูดความชื้นออกจากตัวอย่างที่นำไปทดสอบ ซึ่งจะทำให้ตัวอย่างไม่มีความชื้นหรือน้ำเจือปน

5.3) ถ้วยกระเบื้อง (crucible porcelain)

ถ้วยกระเบื้องเซรามิกทรงสูงพร้อมฝาปิด ดังภาพที่ 53 ใช้เป็นอุปกรณ์ในการวิเคราะห์หาสารของซีเมนต์โดยประมาณด้วยการเผา มีปริมาตร 40 ml ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm ความสูง 50 mm สามารถทนต่อความร้อนในการเผาได้สูงสุดถึง 1,000 °C



ภาพที่ 52 โถดูดความชื้น



ภาพที่ 53 ถ้วยกระเบื้อง

5.4) ตู้อบลมร้อน (Hot air Oven)

ตู้อบลมร้อน ใช้ทดสอบเพื่อหาค่าความชื้นของชีวมวล เป็นผลิตภัณฑ์ของ MEMMERT รุ่น UFB500 ทำมาจากเหล็กสแตนเลส ดังแสดงในภาพที่ 54 ขนาดภายนอกตู้อบกว้าง 710 mm ลึก 550 mm และสูง 760 mm ส่วนขนาดภายในตู้อบกว้าง 560 mm ลึก 400 mm และสูง 480 mm มีน้ำหนัก 69 kg และมีปริมาตรทั้งหมด 108 L สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สูงสุด 300 °C และมีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2 kW



ภาพที่ 54 ตู้อบลมร้อน

5.5) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล 4 ตำแหน่ง

เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักชีวมวลในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ การวิเคราะห์โดยประมาณ และการวิเคราะห์ที่ต้องการความละเอียดสูง เป็นผลิตภัณฑ์ของ Ohaus รุ่น PA214 ดังภาพที่ 55 เป็นเครื่องชั่งที่มีความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง หน้าจอแสดงผลเป็นตัวเลข LCD พิกัด 210 g ค่าความละเอียด 0.0001 g มีตู้กระจกกันลม (Large Breeze Break) ในขณะที่ทำการวัด ภายในมีจานชั่งน้ำหนักขนาด 9 cm สามารถชั่งได้ถึง 14 หน่วย คือ กรัม (g), มิลลิกรัม (mg), ออนซ์ (oz), กะรัต (ct) และ อื่น ๆ



ภาพที่ 55 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล 4 ตำแหน่ง



5.6) อุปกรณ์ และเครื่องมือชุดทดสอบค่าความร้อนชีวมวล (Bomb calorimeter)

บอมบ์แคลอริมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของปฏิกิริยาการเผาไหม้ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งการศึกษานี้จะอยู่บนพื้นฐานของกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ หรือกฎการอนุรักษ์พลังงาน (Law of conservation of energy) ซึ่งมีใจความว่า “พลังงานไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือทำลายให้สูญหายไป แต่อาจเปลี่ยนรูปได้” เครื่องบอมบที่ใช้ในการทดสอบเป็นผลิตภัณฑ์ของ ESSOM รุ่น ART 2060/2070 ดังภาพที่ 56 ประกอบด้วยประกอบด้วยลูกบอมบโลหะอยู่ภายใน metal bucket ทรงกระบอกซึ่งบรรจุน้ำปริมาตร 2 liter โดย metal bucket นี้จะวางอยู่ภายใน insulated jacket อีกชั้น stirrer และเทอร์โมมิเตอร์จะอยู่ภายใน bucket เพื่อควานน้ำให้มีอุณหภูมิเท่ากันทุกสัดส่วนและติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา สำหรับลูกบอมบ จะทำด้วยโลหะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก เป็น stainless steel ที่ทนความดันสูง ซึ่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ของตัวอย่างจะเกิดขึ้นภายในลูกบอมบนี้ เม็ดตัวอย่างที่ถูกอัดแล้วจะถูกนำไปวางบน cup โดยวางทับเชือกและลวดที่สอดอยู่ระหว่างขั้วจะต้องไม่สัมผัสกับ cup ลูกบอมบจะถูกปิดอย่างแน่นหนาด้วย screw-ring หลังจากนั้นจึงอัดแก๊สออกซิเจนประมาณ 30 bar (Núñez-Regueira et al., 2001) ซึ่งขั้วหรือจุดเชื่อมกับวงจรไฟฟ้าจะอยู่ด้านบนของลูกบอมบ ดังภาพที่ 56 การทำงานของเครื่องนั้นจะใช้หลักการของ Direct ซึ่งเป็นการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการเผาผลาญวัตถุเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ วัตถุจะถูกบรรจุใน Chamber และ Charged ด้วยออกซิเจนภายใต้ความดันสูงจากนั้นให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน Fuse และทำให้เกิดการจุดระเบิด (ignites) เชื้อเพลิง ได้แก่ ส่วนผสมของวัตถุและออกซิเจน เนื่องจากเครื่องบอมบจะถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปสู่สภาวะแวดล้อม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากชีวมวลแต่ละชนิดเช่น ลิกนิน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส จะปลดปล่อยปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ออกมาในปริมาณที่แตกต่างกัน (Bech et al., 2009)





ภาพที่ 56 ชุดอุปกรณ์ทดสอบค่าความร้อนรุ่น ART.2060/2070

6) อุปกรณ์และเครื่องทดสอบแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

6.1) เครื่องรีดน้ำผักตบชวา และชุดอุปกรณ์ให้ความร้อน

เครื่องรีดน้ำผักตบชวา ดังภาพที่ 57 ใช้สำหรับทดสอบแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบทางอ้อม โดยใช้แรงจากไฮดรอลิกกดชีวมวลให้เป็นแท่งโดยใช้ชุดกระบอกอัดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm สูง 100 mm ดังภาพที่ 58 กำหนดแรงที่ใช้ในการกดอัดโดยเทียบจากค่าความหนาแน่นจากการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเครื่องอัดแท่งแบบเกลียวรูปกรวย จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อคำนวณหาความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ให้มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งในการอัดโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกนั้นจะใช้ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนเป็นตัวให้ความร้อนเหมือนกับการอัดโดยใช้เครื่องอัดแบบสกรู ประกอบไปด้วย 5 ชิ้นส่วน ดังแสดงในภาพที่ 59 ได้แก่ 1) ฮีตเตอร์รัดท่อเซรามิคทนความร้อน ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่กระบอกอัด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 68x90 mm ใช้กำลังไฟฟ้า 1,200 W และแรงดันไฟฟ้า 220 V 2) โซลิดสเตทรีเลย์ รุ่น SG1-DA025-A1 single phases แรงดันไฟฟ้าขาเข้า 4-32 Vdc แรงดันไฟฟ้าขาออก 24-280 Vac กระแสไฟฟ้า 25 A 3) ฮีทซิงค์ รุ่น KH-100-45 สำหรับ single phases SSR กระแสไฟ 40 A 4) คอนโทรลเลอร์ควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการ รุ่น AP-400-201 สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0-400 °C และ 5) เทอร์โมคัพเบิล

JB-T ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิ โดยมีหลักการทำงานคือ เทอร์โมคัปเพิลจะวัดอุณหภูมิส่งไปยังคอนโทรลเลอร์ควบคุมอุณหภูมิที่ทำหน้าที่ในการประมวลผลสัญญาณอินพุตจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและสั่งงานเอาต์พุต เพื่อไปควบคุมอุปกรณ์ที่ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิอีกที โดยการทำงานคือหัววัดอุณหภูมิ หรือ temperature sensor จะทำหน้าที่วัดอุณหภูมิแล้วแปลงสัญญาณส่งมาที่ temperature controller หากอุณหภูมิไม่ได้ตามที่ตั้งไว้ temperature controller จะจ่ายแรงดันไปให้อิทธิเตอร์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ

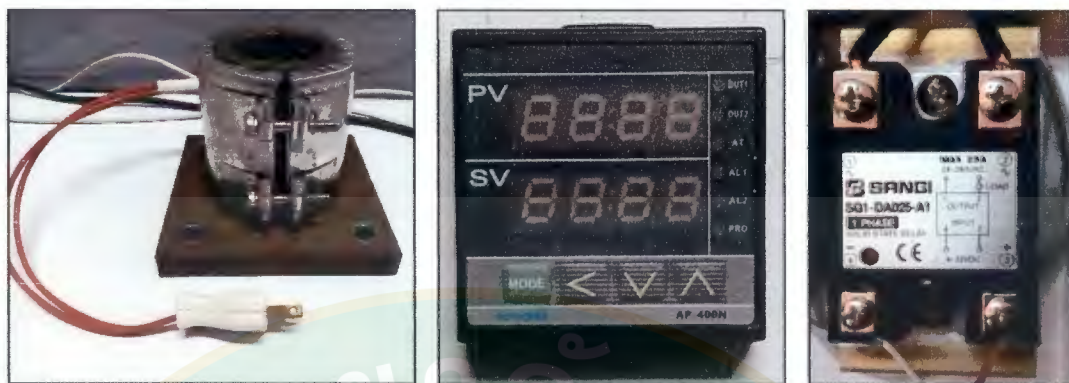


ภาพที่ 57 เครื่องอัดไฮดรอลิกซ์



ภาพที่ 58 ชุดกระบอกอัดทดสอบแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป





ก) ฮีทเตอร์รัดท่อเซรามิกทนความร้อน ข) คอนโทรลเลอร์ควบคุมอุณหภูมิ ค) โซลิตสเตอร์ทีลีย์



ง) การต่อวงจรชุดให้ความร้อน

ภาพที่ 59 ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนกระบอกลัด

7) วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบโครงสร้างของชีวมวล

7.1) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลิตภัณฑ์ของ JEOL รุ่น JSM 5410LV ดังแสดงในภาพที่ 60 เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ศึกษาลักษณะพื้นฐานของวัสดุในระดับจุลภาค ที่มีรายละเอียดเล็กมาก ๆ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนรุ่นนี้ใช้แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบเทอร์มิออนิก (thermionic emission electron gun) ซึ่งกลุ่มอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้ารวบรวมอิเล็กตรอน (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน สามารถให้กำลังแยกแยะเชิงระยะทางได้ประมาณ 3.5 nm ที่ 30 kV สามารถขยายภาพได้สูงถึง 300,000 เท่า (ความคมชัดขึ้นกับชนิดของวัสดุและสภาวะใช้งาน) กล้องนี้มีอุปกรณ์ตรวจวัดอิเล็กตรอนแบบทุติยภูมิ (secondary electron) และยังคงกับอุปกรณ์

วิเคราะห์สัญญาณเอกซเรย์ระดับพลังงานปานกลาง (ไม่เกิน 20kV) หรืออุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive Spectrometer (EDS)) ได้ (อุไรวรรณ, 2531)

หลักการทำงาน คือ ลำอิเล็กตรอนจะถูกปล่อยออกมาผ่านแหล่งกำเนิด อนุภาคอิเล็กตรอนเมื่อกระทบกับพื้นผิวของชิ้นตัวอย่าง จะมีอิเล็กตรอนทั้งส่วนที่ผ่านทะลุออกไปและส่วนที่มีการสะท้อนกลับมา ซึ่งหลักการนั้นจะใช้อิเล็กตรอนส่วนที่สะท้อนกลับมายังอุปกรณ์ตรวจจับ (detector) ที่อยู่ฝั่งเดียวกับเครื่อง กำเนิดอิเล็กตรอนในการสร้างภาพ



ภาพที่ 60 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

สำหรับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย การใช้ต้นกล้วย ทางใบปาล์ม และทางมะพร้าวเป็นตัวอย่าง ประสานธรรมชาติแบ่งออกเป็นทั้งหมด 3 ขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ ขั้นตอนการจัดหาวัสดุ ขั้นตอนทดสอบการขึ้นรูป และการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดแสดงดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 : การจัดหาและเตรียมวัสดุ

ขั้นตอนที่ 2 : การทดสอบการขึ้นรูป 3 ขั้นตอน

- 2.1) ขั้นตอนการผสม
- 2.2) ขั้นตอนการอัดแท่ง
- 2.3) ขั้นตอนการลดความชื้นและการบรรจุ



ขั้นตอนที่ 3 : การทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ

- 3.1) ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ
- 3.2) ทดสอบคุณสมบัติทางเคมี
- 3.3) ทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน
- 3.4) วิธีการคัดเลือกเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสม
- 3.5) ทดสอบแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป
- 3.6) ทดสอบโครงสร้างของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

ขั้นตอนที่ 1: การจัดหาและเตรียมวัสดุ

1.1 ก่อนจะทำการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ต้องหาแหล่งของวัตถุดิบ โดยชีวมวลหลักและวัสดุตัวประสานธรรมชาติที่ใช้ทั้งหมด 6 ชนิด ส่วนใหญ่จะเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และได้จากหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต หลังจากสามารถไปติดต่อตามโรงงานหรือชุมชนที่มีศักยภาพที่จะนำมาใช้งานได้ ไม่ว่าจะเป็น เศษไม้ จากโรงงานแปรรูปไม้ อ.ดอยสะเก็ด ช้างข้าวโพด จากวิสาหกิจชุมชนบ้านปิงโค้ง อ.เชียงดาว ฟางข้าว จากแปลงนาของเกษตรกรบ้านป่าดู่ อ.ดอยสะเก็ด ส่วนทางใบ ปาล์มและทางมะพร้าว รวบรวมจากศูนย์วิจัยพลังงานทดแทนและแปลงสาธิตเกษตรทฤษฎีใหม่ ตามแนวพระราชดำริ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และต้นถั่วเหลือง ติดต่อกับทางหัวหน้าแผนกนวัตกรรมและพัฒนา บริษัท ลานนาเกษตร จำกัด เพื่อติดต่อขอสนับสนุนเศษต้นถั่วเหลืองที่เหลือทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวจากแปลงเกษตรกร บ้านทุ่งหัวช้าง จ.ลำพูน และบ้านเวียงป่าเป้า จ.เชียงราย ดังแสดงในภาพที่ 61



3590405597

MUJ :Thesis 5915301016 thesis / recd: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาพที่ 61 ขั้นตอนจัดหาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

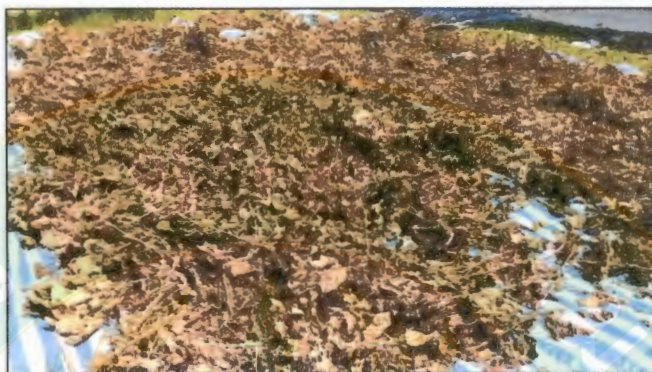
1.2) ขั้นตอนการบดย่อย หลังจากจัดหาเตรียมวัตถุดิบก่อนจะนำไปใช้งาน จำเป็นที่จะต้องลดขนาดให้เล็กลงเพื่อง่ายต่อการนำไปใช้งานเพื่อง่ายต่อการดำเนินงานในขั้นตอนต่อไป ดังภาพที่ 62 หากไม่ทำการบดย่อยลดขนาดในขณะที่ชีวมวลมีความสดจะทำให้ยากต่อการย่อย



ภาพที่ 62 ขั้นตอนบดย่อยชีวมวล



1.3) ขั้นตอนการลดความชื้น ภายหลังจากการเสร็จสิ้นกระบวนการบดย่อยวัตถุดิบแล้ว นำตัวอย่างที่ได้ไปลดความชื้น ด้วยวิธีการตากแดด ดังภาพที่ 63 เป็นระยะเวลา 5 วัน หรือมากกว่า ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศที่ปฏิบัติงาน หลังจากนั้นนำไปร่อนคัดขนาด



ภาพที่ 63 ขั้นตอนลดความชื้นชีวมวล

ขั้นตอนที่ 2: การทดสอบการขึ้นรูป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยปฏิบัติงาน ณ ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ โดยทดสอบขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ ของชีวมวลหลัก: ตัวประสานธรรมชาติ: ตัวประสานแป้งมัน เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านความร้อน โดยกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งมีเงื่อนไข และรายละเอียดดังต่อไปนี้

เงื่อนไขในการทดสอบ

- ชีวมวลหลักที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง ได้แก่ ชังข้าวโพด เศษไม้ และฟางข้าว
- วัสดุประสานธรรมชาติหลักที่ใช้ ได้แก่ ทางมะพร้าว ทางใบปาล์ม และต้นกล้วย
- อัตราส่วนชีวมวลหลัก: ตัวประสานธรรมชาติ: ตัวประสานแป้งมัน คือ 100%: 20%, 40%, 60%: 1%, 5%, 10% และปริมาณน้ำที่ใช้อยู่ในช่วง 50-100% ต่ออัตราส่วนชีวมวลหลัก
- ขนาดอนุภาคของชีวมวลหลักและตัวประสานอยู่ในระหว่าง $<1\text{ mm}$ - 3 mm

ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง แบ่งขั้นตอนออกเป็นทั้งหมด 4 ขั้นตอน ได้แก่

2.1) ขั้นตอนการผสม

ภายหลังเสร็จขั้นตอนการเตรียมวัสดุแล้ว ทำการผสมตามอัตราส่วนดังตารางที่ 10 จะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งหมด 81 ตัวอย่าง โดยวิธีการในการผสม เริ่มจากชั่งน้ำหนักของชีวมวลหลัก ตามด้วยตัวประสานธรรมชาติ และแป้งมันสำปะหลัง ทำการคลุกเคล้าวัตถุดิบทั้งสามเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ทำลักษณะเช่นนี้ก่อนการนำไปอัดทุกครั้ง ดังภาพที่ 64 จากนั้นค่อย ๆ เติมน้ำลงไปพร้อมกับผสมชีวมวลคลุกเคล้าเข้ากับน้ำอย่างทั่วถึง เมื่อทุกอย่างคลุกเคล้าเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ทำการทดสอบเบื้องต้นก่อนการอัด โดยหยิบชีวมวลมาหนึ่งกำมือจากนั้นออกแรงบีบชีวมวลให้แน่นหากเป็นก้อนก็นำไปเข้าเครื่องอัดแท่งได้



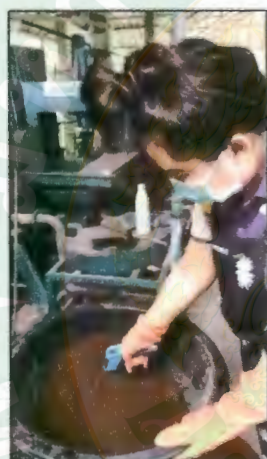
ภาพที่ 64 ขั้นตอนการผสมชีวมวล

ตารางที่ 12 อัตราส่วนที่ใช้ผสมระหว่างชีวมวลหลัก วัสดุประสานธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลัง

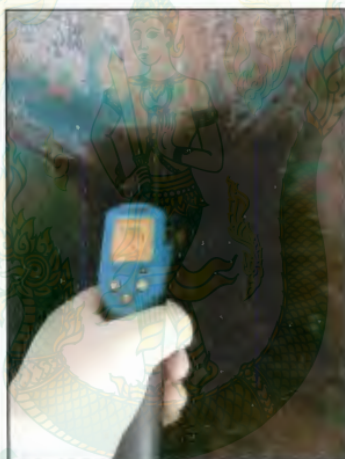
วัตถุดิบ	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก		
ชีวมวลหลัก (g)	100	100	100
วัสดุประสานธรรมชาติ (g)	20	60	40
แป้งมันสำปะหลัง (g)	1	5	10

2.2) ขั้นตอนการอัดแท่ง

หลังจากทำการผสมชีวมวลพร้อมสำหรับนำไปใช้งานแล้ว ทำการวัดอุณหภูมิก่อนการอัดแท่งทั้งหมด 3 จุด ได้แก่ วัดอุณหภูมิกะบอกรัด และเกลียวอัด ดังภาพที่ 65 จากนั้นเปิดเครื่องเพื่อทำการทดสอบ ในการอัดช่วงแรกจะต้องค่อยๆ ใส่วัตถุดิบลงไปในห้องใส่ชีวมวลออกแรงช่วยในการกดวัตถุดิบให้ถูกอัดในกระบอกอัดและออกมายังกระบอกแม่พิมพ์ เนื่องจากเครื่องอัดที่ใช้เป็นเครื่องอัดแบบความดันต่ำ ทำการอัดวนซ้ำประมาณ 3 รอบ หรือสังเกตลักษณะทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ หากเนื้อสัมผัสของแท่งมีการผสมยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน จับมาดูแล้วไม่แตกร่วน ผิวนเรียบ ไม่มีรอยแตกร้าว ดังภาพที่ 66 ในระหว่างการทำการอัดวัตถุดิบทั้ง 3 จุดดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นจนเสร็จกระบวนการหลังเพื่อจะได้ทราบอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดของชีวมวลแต่ละชนิด



(ก) วัดอุณหภูมิชีวมวล

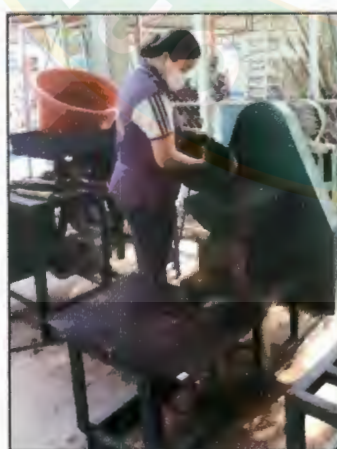


(ข) วัดอุณหภูมิเกลียวอัด



(ค) วัดอุณหภูมิกระบอกอัด

ภาพที่ 65 จุดที่ทำการวัดอุณหภูมิก่อนและหลังการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง



ภาพที่ 66 การอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวล

2.3) ขั้นตอนการลดความชื้น

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการลดความชื้นที่มีอยู่ในชีวมวลเพื่อให้ได้ตามมาตรฐานของ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) กำหนดค่าความชื้นจะต้องไม่เกินร้อยละ 10 ทำได้โดยการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปตากแดดเป็นเวลา 7 วัน ดังแสดงในภาพที่ 67 หรือทำด้วยวิธีการอื่น ๆ จากนั้นเก็บตัวอย่างบรรจุไว้ในถุงซิปล็อค



ภาพที่ 67 การลดความชื้นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ขั้นตอนที่ 3 : การทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ

3.1) ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง มีทั้งหมด 4 คุณสมบัติ คือ 1.คุณสมบัติของความหนาแน่น 2. คุณสมบัติของความแข็งแรง 3. คุณสมบัติการต้านทานน้ำ และ 4. คุณสมบัติของการต้านทานแรงกดอัด (Richards, 1990) ซึ่งแต่ละคุณสมบัติทำการทดสอบ 3 ซ้ำ มีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

- ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง ทดสอบโดยการสุ่มเลือกแท่งตัวอย่าง ทำการชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของแท่งด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ จากนั้นจดบันทึกค่าเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลตามสมการที่ 6

- ดัชนีการแตกร่วน ทดสอบโดยการนำตัวอย่างมาซึ่งน้ำหนักก่อนทดสอบ จากนั้นนำเข้าเครื่องทดสอบความแข็งแรงแบบหมุนตามมาตรฐาน ASAC 5269.53 (เจนจิรา, 2561) และใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วที่ 50 rpm จับเวลา 10 min ในระหว่างทดสอบเชื้อเพลิงจะหมุนสัมผัสกับผนัง ทำให้ผิวของเชื้อเพลิงซีวมวลบางส่วนหลุด และแตกออกจากกัน จึงต้องนำตัวอย่างมาซึ่งน้ำหนักหลังการทดสอบ บันทึกผลและคำนวณตามสมการที่ 8 และ 9

- ความต้านทานแรงกดอัด ทดสอบโดยการวางตัวอย่างในแนวตั้ง ใช้แรงกดในอัตราคงที่ 0.305 mm/min (Musa, 2006) บีบอัดจนกว่าแท่งเชื้อเพลิงจะร้าวและแตกออกจากกัน จากนั้นทำการบันทึกบันทึกค่า

- ความต้านทานน้ำ ทดสอบโดยนำตัวอย่างมาซึ่งน้ำหนักก่อนการทดสอบ จากนั้นนำตัวอย่างแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 29 ± 2 °C เป็นเวลา 30 S (Davies et al., 2013) เมื่อครบกำหนดเวลานำขึ้นมาซับน้ำให้แห้งสนิทจากนั้นนำตัวอย่างมาซึ่งน้ำหนัก บันทึกค่า นำไปคำนวณตามสมการที่ 10 และ 11

3.2) ทดสอบคุณสมบัติทางเคมีโดยประมาณ

คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวล ทำการทดสอบและวิเคราะห์โดยประมาณ ได้แก่ การวิเคราะห์ความชื้น สารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัว (Jittabut, 2015) เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกใช้ประโยชน์จากชีวมวล เนื่องจากชีวมวลแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีที่ค่อนข้างซับซ้อน มีทั้งส่วนที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทำให้การวิเคราะห์แบบละเอียดค่อนข้างยุ่งยากและบางครั้งไม่มีความจำเป็น จึงมักนิยมใช้การวิเคราะห์แบบประมาณแทน ซึ่งการวิเคราะห์แบบประมาณแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ส่วนที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ สารที่ระเหยได้และคาร์บอนคงตัว และส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ได้แก่ ความชื้น และเถ้า โดยการวิเคราะห์มีรายละเอียด ดังนี้

ก่อนทำการทดสอบจะต้องนำถ้วยกระเบื้องเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 30 min เพื่อทำความสะอาดถ้วยเบืองตัน จากนั้นเก็บไว้ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้ถ้วยมีอุณหภูมิเย็นลงจึงสามารถเริ่มทดสอบได้

- การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM D1762-84 โดยชั่งชีวมวล 1 g ใส่กระป๋องอลูมิเนียมนำไปอบในตู้อบลมร้อน ดังภาพที่ 68 ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 h หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ จากนั้นนำออกมาพักไว้ในโถดูดความชื้นก่อนการนำไปชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ บันทึกค่าจากนั้นคำนวณปริมาณความชื้นตามสมการที่ 1

- การวิเคราะห์สารระเหย ตามมาตรฐาน ASTM D 3175 ทำการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างที่ผ่านการวิเคราะห์ความชื้นดังกล่าวข้างต้นที่น้ำหนักเริ่มต้น 1 g นำไปเข้าเตาเผาอุณหภูมิสูง ทำการเผา



3590406597

MTU :Thesis 59:5301016 Thesis / rev: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ที่อุณหภูมิ 950 °C ปิดฝาด้วยกระเบื้อง เพื่อไม่ให้เกิดการเผาไหม้เกิดขึ้น เป็นเวลา 6-7 min จากนั้นนำถ้วยกระเบื้องมาพักไว้ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้จนเย็น จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักหลังการเผา บันทึกค่าและนำผลไปคำนวณปริมาณสารระเหยที่ได้ตามสมการที่ 3



ภาพที่ 68 ทดสอบปริมาณความชื้นของชีวมวล

- การวิเคราะห์เถ้า ตามมาตรฐาน ASTM D 3174 ทดสอบโดยใช้ตัวอย่างที่ผ่านการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและสารระเหยที่น้ำหนักเริ่มต้น 1 g มาเผาที่อุณหภูมิ 650 °C ในเตาเผาอุณหภูมิสูง เป็นระยะเวลา 3 h ปิดฝาด้วยกระเบื้องเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ จะเหลือสารอนินทรีย์ที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ซึ่งคือเถ้า จากนั้นนำถ้วยกระเบื้องที่เสร็จกระบวนการทดสอบไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้จนเย็น จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักหลังการเผา บันทึกค่าและนำผลไปคำนวณหาปริมาณเถ้าตามสมการที่ 4
- การวิเคราะห์คาร์บอนคงตัว ตามมาตรฐาน ASTM D 3172 เป็นส่วนที่สามารถเผาไหม้ได้ของชีวมวล หลังจากทำการกำจัดความชื้น สารระเหย หาได้โดยนำเปอร์เซ็นต์ความชื้น สารระเหย และเถ้า ลบออกจาก 100 ตามสมการที่ 2 ซึ่งทุกตัวอย่างต้องอยู่ในสภาวะความชื้นเดียวกัน ปริมาณคาร์บอนมีความสำคัญมากต่อการแบ่งระดับชั้นของเชื้อเพลิง ถ้ามีค่ามากขึ้นคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

3.3) ทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน

การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของชีวมวลทั้ง 6 ชนิด ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ของ ESSOM รุ่น ART.2060/2070 ตามมาตรฐาน ASTM D240, D4809, D5865 มีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

3.3.1 นำตัวอย่างชั่งน้ำหนักประมาณ 1 g จดบันทึกค่าไว้ นำไปอัดให้เป็นเม็ด

3.3.2 ตวงน้ำปริมาตร 1,800 ml ใส่ถังบรรจุกระบอกบอมป์

3.3.3 ตัดลวดจุดระเบิด (Fuse wire) ให้มีความยาว 100 mm จากนั้นพันลวดลวดที่น็อตทั้งสองข้าง นำตัวอย่างที่ผ่านการชั่งน้ำหนักแล้วใส่ในถ้วยบอมป์ นำลวดที่พันเสร็จมาสัมผัสผิวของตัวอย่าง ดังภาพที่ 69 ระวังอย่าให้เส้นลวดโดนตัวถ้วย จากนั้นนำไปใส่ในกระบอกปิดฝาให้แน่น



ภาพที่ 69 การต่อลวดจุดระเบิดกับตัวอย่างในการทดสอบค่าความร้อน

3.3.4 คลายเกลียวน็อตที่ใช้สำหรับบรรจุออกซิเจน ก่อนบรรจุออกซิเจนให้ปิดลิ้นระบายอากาศให้แน่นก่อน แล้วค่อยเปิดลิ้นช่องบรรจุก๊าซอย่างช้า ๆ ดังภาพที่ 70 เพื่อป้องกันก๊าซออกซิเจนที่เข้าไปจะไปเป่าเชื้อเพลิงหกออกจากถ้วย จนกระทั่งออกซิเจนในลูกบอมป์มีความดันประมาณ 30 bar



ภาพที่ 70 การบรรจุก๊าซออกซิเจนในกระบอกบอมป์



359040597

MTU :thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

3.3.5 นำลูกบอมบ์ลงไปจนถึงแคลอริมิเตอร์ ต่อขั้วไฟฟ้าด้านบนของฝาลูกบอมบ์ทั้ง 2 ฝั่ง นำแท่งเหล็กที่ติดกับถังบรรจุน้ำเชื่อมเข้ากับตัวกวนน้ำ และใส่แท่งเทอร์โมคัปเปิลจุ่มน้ำเพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำ ปิดฝาด้านบนเครื่องนำสายไฟต่าง ๆ ผ่านรูที่ฝาของเครื่อง โดยฝั่งด้านซ้ายจะเป็นช่องสำหรับตัวกวนน้ำห้ามให้แท่งชนกับฝา ส่วนตรงกลางจะเป็นช่องสำหรับขั้วไฟฟ้าที่ต่อกับเครื่อง และฝั่งด้านขวาจะเป็นช่องของแท่งเทอร์โมมิเตอร์วัดน้ำ ดังภาพที่ 71



ภาพที่ 71 การต่อขั้วสายไฟ และตำแหน่งการปิดฝาเครื่อง

3.5.6 กดสวิตช์ (ปุ่มสีเขียว) เพื่อเปิดเครื่องบอมบ์ และเปิดเครื่องแสดงค่าอุณหภูมิ นำสายเคเบิล USB มาเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ จากนั้นไปเปิดโปรแกรม Bomb กรอกข้อมูลต่าง ๆ จนได้หน้าที่พร้อมจะทำการทดสอบ เปิดสวิตช์สีส้มเพื่อให้เครื่องกวนน้ำทำงาน จากนั้นกด START LOG DATA เครื่องก็จะทำงานจนถึงที่เวลา 300 S เครื่องจะเริ่มทำการทำงาน

3.5.7 ในระหว่างนี้เครื่องก็จะทำงานไปเรื่อย ๆ กราฟที่ได้จะค่อยๆขึ้น จนเกิดความเสถียรและเผาไหม้หมด จากนั้นปิด เปิดกระบอกบอมบ์เอาสวดออกมาวัดความยาวที่เหลือกรอกข้อมูล

3.4) วิธีการคัดเลือกเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสม

ในการคัดเลือกอัตราส่วน แร่ดินที่ใช้ในการขึ้นรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสม จะทำการประเมินโดยพิจารณาองค์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นหลักในการประเมินคุณภาพ (Fitzgerald et al., 1980) ทำการวิเคราะห์ผลตามมาตรฐาน ASTM standard เริ่มพิจารณาจากคุณสมบัติทางด้านกายภาพ ประกอบด้วย ค่าความหนาแน่น มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 600 kg/m^3 ค่าดัชนีการแตกร่วน ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำ มีค่า $0.9-0.99\%$ และค่าความทนแรงกดอัดจะต้องมีค่าสูงด้วย เนื่องจากแสดงถึงความแข็งแรงและการนำไปใช้งาน ในด้านคุณสมบัติทางเคมีเชื้อเพลิง

อัดแท่งจะต้องมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง แต่มีปริมาณความชื้น เล็ก และสารระเหยได้ต่ำ อีกทั้งค่าความร้อนที่ได้ไม่ควรต่ำกว่า 3,000 Cal/ g ด้วย เมื่อพิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ แล้วจะพิจารณาถึงต้นทุนในการผลิตของแต่ละอัตราส่วนเปรียบเทียบกับ โดยเลือกที่อัตราส่วนที่ผ่านเกณฑ์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดังกล่าวข้างต้นและมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ มีระยะเวลาในการคืนทุนสั้น

3.5) ทดสอบแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป

หลังจากที่ทำการคัดเลือกตัวอย่างเชื้อเพลิงที่เหมาะสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานแล้วนั้น นำมาทดสอบแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบทางอ้อม โดยใช้ค่าของความหนาแน่นของเครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวยมาเปรียบเทียบ วิธีการทดสอบดังภาพที่ 72 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.5.1 ชั่งน้ำหนักชีวมวลทั้ง 3 ประเภทตามอัตราส่วนที่จะทำการศึกษาแรงดัน จากนั้นคลุกคล้าส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นนำไปใส่กระบอบอัดให้เต็มกระบอบ

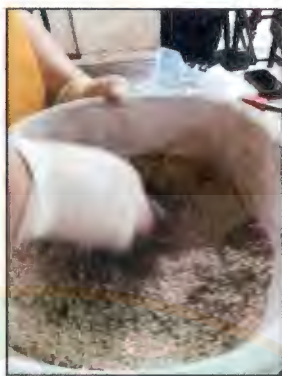
3.5.2 เปิดเครื่องรีดผักตบชวา และชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนในขณะที่ทำการอัด ปรับตั้งอุณหภูมิที่ใช้ของแต่ละตัวอย่างให้เท่ากับตอนที่อัดจากเครื่องอัดแบบสกรู จากนั้นใช้แรงจากไฮดรอลิกกดลงบนพื้นที่ผิวของก้านอัดค้างไว้เป็นเวลา 30 Se จากนั้นนำตัวอย่างที่อัด ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูง ทำการบันทึกข้อมูล และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นที่ได้ โดยตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ทำการทดสอบแรงดันแสดงดังภาพที่ 73



3580406597



ก) ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบ



ข) ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน



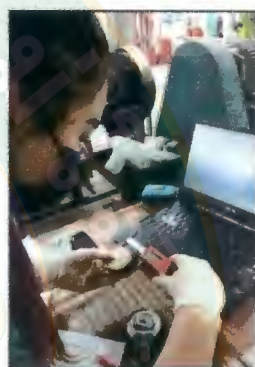
ค) นำใส่ลงกระบอบอกอัด



ง) กดอัดขึ้นรูป



จ) นำเชื้อเพลิงอัดแท่งออกมาแม่พิมพ์



ช) วิเคราะห์ผล

ภาพที่ 72 ขั้นตอนการทดสอบแรงดันในการขึ้นรูป



ภาพที่ 73 ตัวอย่างก้อนเชื้อเพลิงที่ผ่านทดสอบแรงดันจากเครื่องไฮดรอลิกซ์

3.6) ทดสอบโครงสร้างของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของชีวมวล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของสถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เตรียมชิ้นงานด้วยวิธีการพิเศษหลัก 3 ขั้นตอน คือการคงสภาพชิ้นตัวอย่าง (fixation) การเคลือบพื้นผิว การกำจัดน้ำ (dehydration) ของชิ้นงาน (coating) โดยนำตัวอย่างไปติด Stub ดังภาพที่ 74 เพื่อลดความชื้นของตัวอย่าง โดยเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้วมาเข้าเครื่องกลึงตุลลักษณะสัณฐานของชีวมวลและเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละชนิด

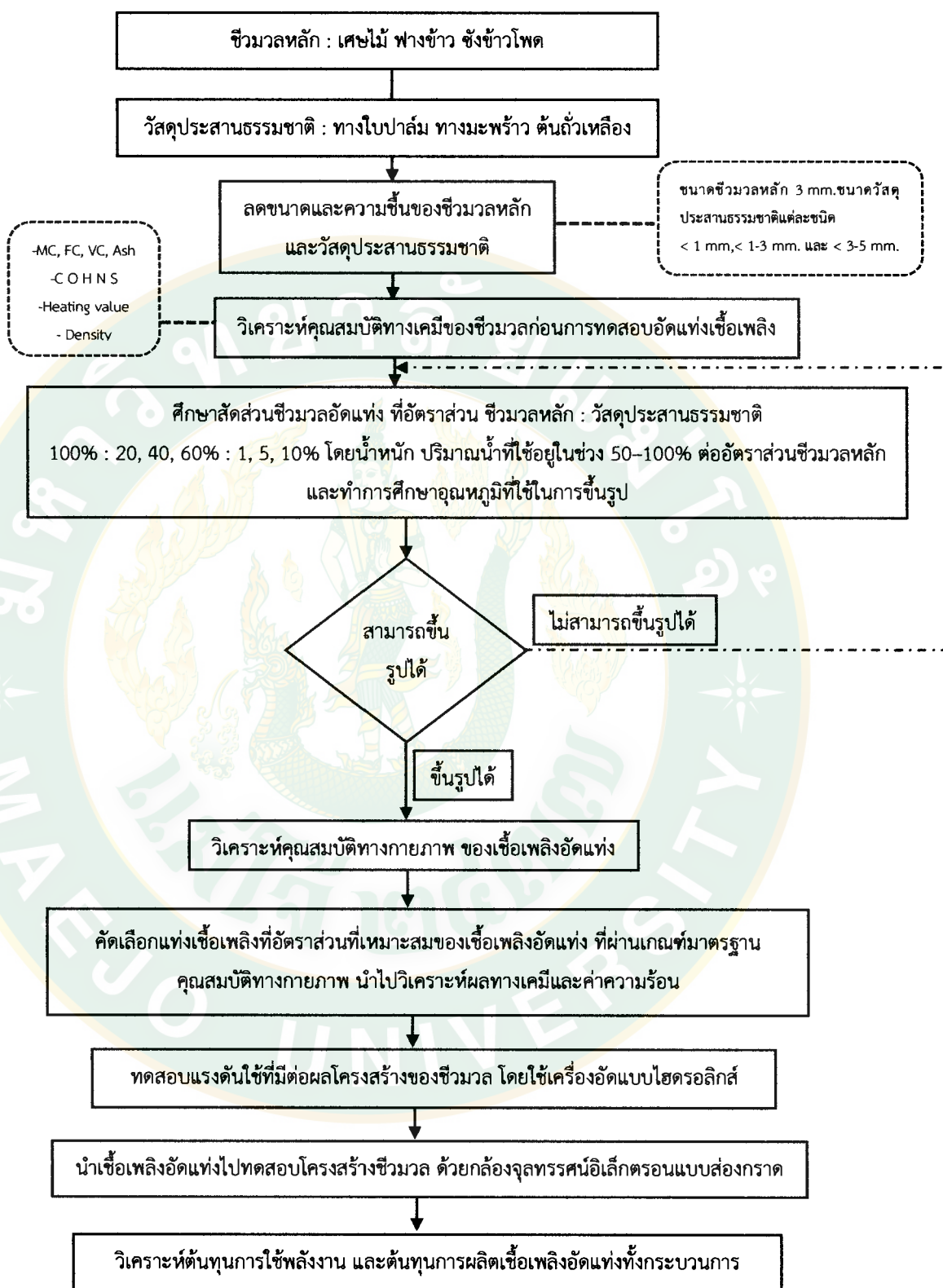


ภาพที่ 74 การเตรียมตัวอย่างส่องกล้องจุลทรรศน์



3590406597

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ / Thesis 5915301016 / Thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาพที่ 75 ไต่อะแกรมการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผล

ผลการวิจัยในบทนี้ได้นำเสนอผลการทดลองในด้านการศึกษาการใช้ต้นถั่วเหลือง ทางมะพร้าว และทางใบปาล์ม เป็นตัวประสานธรรมชาติ สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยศึกษา ตั้งแต่คุณสมบัติพื้นฐานของชีวมวลที่ใช้ ตัวแปรหลักที่มีผลต่อการอัดแท่งและความหนาแน่น อุณหภูมิ ในการอัดแท่ง การวิเคราะห์โครงสร้างที่เกิดจากความดันและอุณหภูมิ การคัดเลือกเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสม การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้วัสดุประสานธรรมชาติทั้งทางกายภาพ เคมี ความร้อน ตลอดจนถึงผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์การนำไปใช้งานในอนาคต รายละเอียดผลการวิเคราะห์มีดังนี้

4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของชีวมวลที่นำมาอัดแท่ง

4.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของวัสดุประสานธรรมชาติ

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัตถุดิบก่อนนำไปทดลอง ประกอบด้วย ทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว ต้นถั่วเหลือง และแ่งมันสำปะหลัง ซึ่งคุณสมบัติทางเคมี ใช้การวิเคราะห์แบบโดยประมาณ (proximate analysis) ประกอบด้วย ความชื้น สารระเหย ถ่านคาร์บอนคงตัว และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) ประกอบด้วย ธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์ ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย ความหนาแน่น ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณความชื้นของทางใบปาล์มและทางมะพร้าวมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.40% และ 7.46% ส่วนต้นถั่วเหลืองสูงกว่าเล็กน้อย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.24% ดังตารางที่ 13 ซึ่งการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นวัสดุที่นำมาใช้ควรมีความชื้นต่ำกว่า 12% (Brožek, 2016) ปริมาณความชื้นของชีวมวลมีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง หากมีความชื้นสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ ส่งผลให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำลง (Demirbas, 2007) ในด้านของปริมาณสารระเหยที่ได้ของทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว และต้นถั่วเหลือง มีค่าใกล้เคียงกัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71.53%, 72.30 และ 72.50% ตามลำดับ ซึ่งปริมาณระเหยได้เมื่อได้รับความร้อนจะมีแนวโน้มที่มีค่าความร้อนสูงด้วย อย่างไรก็ตาม สารที่ระเหยได้บางชนิดอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อวัสดุหรืออุปกรณ์ที่นำวัสดุเชื้อเพลิงไปใช้งาน เมื่อได้รับอุณหภูมิที่สูงจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดอุปกรณ์ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง ในด้านปริมาณคาร์บอนคงตัวของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 15.70%, 13.34% และ 10.86% ตามลำดับ ซึ่งปริมาณ



คาร์บอนคงตัวที่มีอยู่ในชีวมวลจะส่งผลให้สัดส่วนค่าความร้อนของชีวมวลเพิ่มสูงขึ้น จึงมีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน (Parikh et al., 2005) และปริมาณของเถ้า มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.40, 6.90% และ 8.40% ตามลำดับ (Sun et al., 2016) กล่าวไว้ว่าชีวมวลที่มีปริมาณเถ้าสูงจะส่งผลต่อปริมาณของเสียตกค้างที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ การออกแบบระบบกำจัดเถ้า จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบเพื่อกำจัด ส่วนของการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีใช้วิธีการวิเคราะห์โดยแยกธาตุพบว่าชีวมวลที่นำมาใช้งานทั้ง 3 ชนิด มีค่าปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วง 39.60%–47.31% ปริมาณไฮโดรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 5.78%–7.72% ปริมาณออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 38.53%–43.31% และปริมาณไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 0.21–2.72% ส่วนค่าความร้อนที่ได้จากการทดสอบ ทางใบปาล์มมีค่าเฉลี่ย 17.85 MJ/kg ทางมะพร้าวมีค่าเฉลี่ย 15.67 MJ/kg และต้นถั่วเหลืองมีค่าเฉลี่ย 16.70 MJ/kg และในส่วนคุณสมบัติทางกายภาพ ความหนาแน่นปรากฏของทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว และต้นถั่วเหลือง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 310.8 kg/m³ 373.02 kg/m³ และ 318.89 kg/m³ ตามลำดับ ส่วนลักษณะสีของทางใบปาล์มและทางมะพร้าวเป็นน้ำตาลอ่อน ส่วนต้นถั่วเหลืองสีจะออกเขียวเข้ม ผลการวิเคราะห์ภาพรวมในตารางปริมาณธาตุของชีวมวลแต่ละชนิด รวมถึงปริมาณค่าความร้อนสูง ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้จะเป็นผลทำให้ค่าความร้อนในการสันดาปแตกต่างกัน (Jittabut, 2015) อีกทั้งจะได้ทราบถึงคุณสมบัติของชีวมวลนั้น ๆ และนำไปใช้งานให้ถูกต้องอีกทั้งสามารถนำไปปรับใช้กับชีวมวลอื่น ๆ ได้

ตารางที่ 13 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลก่อนนำไปเป็นตัวประสาน

Proximate analysis (%wt.)	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	เถ้า (%)	คาร์บอนคง ตัว (%)	ค่าความร้อน (MJ/kg)
ทางใบปาล์ม	7.40	71.53	5.40	15.70	17.85
ทางมะพร้าว	7.46	72.30	6.90	13.34	15.67
ต้นถั่วเหลือง	8.24	72.50	8.40	10.86	16.70
Ultimate analysis (%wt.)	คาร์บอน (%)	ไฮโดรเจน (%)	ออกซิเจน (%)	ไนโตรเจน (%)	ซัลเฟอร์ (%)
ทางใบปาล์ม	47.31	6.01	40.65	0.21	0.00
ทางมะพร้าว	39.60	5.78	38.53	0.35	0.00
ต้นถั่วเหลือง	46.26	7.72	43.31	2.72	0.00

ตารางที่ 13 (ต่อ) การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลก่อนนำไปเป็นตัวประสาน

Physical analysis	ทางใบปาล์ม	ทางมะพร้าว	ต้นถั่วเหลือง
ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m^3)	373.8	363.02	387.89
ลักษณะสี	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลอ่อน	เขียวเข้ม

การศึกษากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

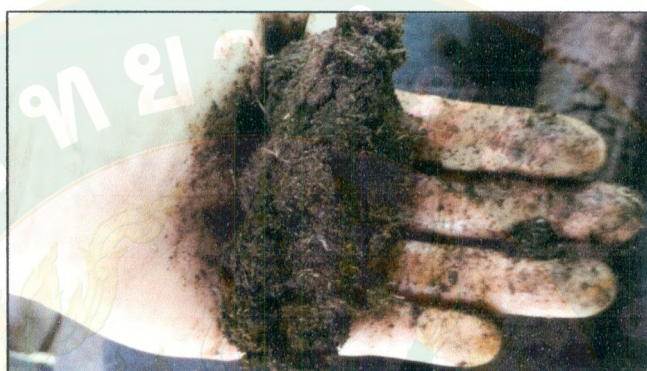
4.2 ผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบอัดเย็น เพื่อลดการใช้แบริ่งสำหรับสับหลัง และนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เพื่อให้มีความเหมาะสมในด้านลักษณะทางกายภาพและการนำไปใช้ประโยชน์ ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้การผลิต ได้แก่ ชนิดตัวประสาน ธรรมชาติ ปริมาณสัดส่วนของแบริ่งสำหรับสับหลัง และขนาดของชีวมวลที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1. ผลของชนิดตัวประสานธรรมชาติที่มีต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตัวประสานที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ทางใบปาล์ม (PL) ทางมะพร้าว (CL) และต้นถั่วเหลือง (SB) ซึ่งชีวมวลทั้งสามชนิดมีผลต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ผลการศึกษาพบว่า ทางใบปาล์ม เมื่อนำมาใช้เป็นตัวประสานธรรมชาติ ที่อัตราส่วนทางใบปาล์ม 40% และแบริ่งสำหรับสับหลัง 5% เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีความแข็งแรง คงทน ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปได้รวดเร็ว สามารถยึดเกาะกับชีวมวลหลักได้ทุกชนิด ซึ่งในขณะที่ทำการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจะเกิดความร้อนขึ้นระหว่างกระบวนการอัด เกลียวอัด และชีวมวล ทำให้องค์ประกอบกลินินที่อยู่ในทางใบปาล์มเกิดละลายตัวมีความเหนียว (Stelte et al., 2011) เมื่อสัมผัสและบีบแรงๆ ชีวมวลจับกันเป็นก้อนไม่คลายตัว ดังภาพที่ 76 ถือได้ว่าเป็นตัวประสานธรรมชาติที่ดีมีคุณสมบัติในการช่วยยึดติดขึ้นรูปได้ ขณะเดียวกัน เมื่อนำต้นถั่วเหลืองมาใช้เป็นตัวประสานธรรมชาตินั้น ต้นถั่วเหลืองสามารถยึดเกาะกับชีวมวลหลักได้ทุกชนิดเช่นเดียวกับทางใบปาล์ม เชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่าย หากนำต้นถั่วเหลืองเพียงชนิดเดียวมาผสมน้ำและทำการอัดขึ้นรูป จะเห็นว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ ขึ้นรูปเป็นแท่งได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ใช้เวลาในกระบวนการผลิตไม่นาน เมื่อสัมผัสมีความเหนียวเหมาะในการนำไปใช้งานเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวประสานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ ส่วนตัวประสานธรรมชาติ ชนิดทางมะพร้าว เมื่อนำมาใช้งานในหน้าที่ของการยึดเกาะระหว่างชีวมวลหลักให้เข้ากับ ตัวประสาน

ธรรมชาติ พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้ ต้องใช้เวลาในการขึ้นรูปนานพอสมควรเมื่อเทียบกับตัวประสานอีกสองชนิดข้างต้น ไม่มีความเหนียว แต่เชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีความแข็งแรง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบเซลล์โลสที่เป็นเส้นใยของทางมะพร้าวที่มีมาก (Pestaño et al., 2016) ทำให้ยึดเกาะกับชีวมวลหลักได้ทุกชนิด แต่หากนำทั้งสามชนิดมาเทียบกันเพื่อที่จะเลือกนำไปใช้งานทางมะพร้าว มีคุณสมบัติในการเป็นตัวประสานต่ำกว่าชีวมวลทั้ง 2 ชนิด



ภาพที่ 76 ลักษณะของทางใบปาล์มและต้นถั่วเหลืองเมื่อใช้มือบีบ

4.2.2 ผลของสัดส่วนแป้งมันสำปะหลังที่มีต่อเชื้อเพลิงอัดแท่ง

แป้งมันสำปะหลัง (CS) ใช้เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง มีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยยึดเกาะระหว่างอนุภาคของชีวมวลในการขึ้นรูป ทำให้ผิวของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลมีความมันวาวเรียบเนียน สัดส่วนแป้งมันที่กำหนดใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง แบ่งออกเป็น 3 สัดส่วน ได้แก่ 1, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ในขณะที่สัดส่วนการใช้งานโดยทั่วไปของแป้งมันสำปะหลังจะอยู่ที่ 20%–50% (Rubio et al., 1999) ผลการศึกษาพบว่า ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เมื่อใช้อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง 1% โดยน้ำหนัก ปรากฏว่า ไม่สามารถขึ้นรูปได้ ลักษณะผิวภายนอกแตกเนื้อชีวมวลร่วน ชีวมวลหลักกับตัวประสานธรรมชาติไม่สามารถยึดเกาะเป็นแท่งได้ ดังแสดงในภาพที่ 77 (ก) ทั้งนี้อาจจะเกิดมาจากปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่มีปริมาณน้อย ทำให้คุณสมบัติทางเคมีของตัวประสานธรรมชาติเพียงอย่างเดียวมีไม่เพียงพอในการช่วย ยึดเกาะอนุภาคระหว่างชีวมวลไว้ได้ สำหรับการใช้สัดส่วนแป้งมันสำปะหลังที่ 5% โดยน้ำหนัก ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่าสามารถขึ้นรูปได้ เมื่อใช้ชีวมวลหลักผสมกับตัวประสานธรรมชาติทุกชนิด ดังภาพที่ 77 (ข) นับได้ว่าเป็นอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังที่น้อยที่สุดที่สามารถขึ้นรูปได้ สามารถเลือกไปใช้งานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ (Zanella et al., 2017) และเมื่อใช้อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังที่ 10% โดยน้ำหนัก พบว่าสามารถขึ้นรูปในทุกอัตราส่วน เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้ มีความแข็งแรง ลักษณะผิว

ภายนอกมีความเรียบเนียน ดังภาพที่ 77 (ค) จะสังเกตได้ว่า เมื่อยิ่งเพิ่มปริมาณสัดส่วนแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น จะทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีความมันวาว คงทน ขึ้นรูปง่าย ในขณะเดียวกันก็จะทำให้เพิ่มต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจึงควรเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสม



(ก) อัตราส่วน 1%

(ข) อัตราส่วน 5%

(ค) อัตราส่วน 10%

ภาพที่ 77 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่าง ๆ

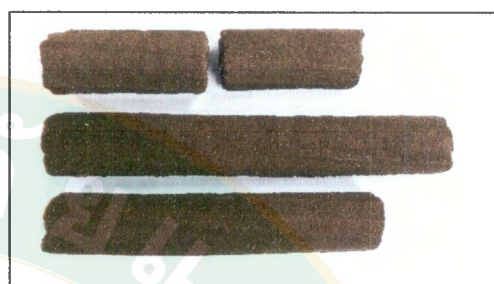
4.2.3 ผลของขนาดชีวมวลในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ขนาดของชีวมวลที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 6 ชนิด เป็นตัวแปรที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อการขึ้นรูป อีกทั้งจะส่งผลต่อการทำงานของเครื่องอัดแท่ง โดยขนาดของชีวมวลแต่ละชนิดที่กำหนดไว้มีทั้งหมด 3 ขนาด ได้แก่ 1 mm, 1–3 mm และ 3–5 mm ผลการศึกษาพบว่า การใช้ขนาดชีวมวลหลักและตัวประสานธรรมชาติระหว่าง <1 mm จนถึงขนาด 3 mm ดังภาพที่ 78 (ก) สามารถขึ้นรูปได้ ไม่เกิดปัญหาระหว่างกระบวนการผลิต โดยพบว่าอนุภาคยังมีขนาดเล็กทำให้การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งมีความเรียบง่าย เชื้อเพลิงที่ได้ที่ความแข็งแรง มีความละเอียด มีรอยแตกเพียงเล็กน้อย ใช้เวลาในการขึ้นรูปไม่นาน ซึ่งจากงานวิจัยของ (Eriksson et al., 1990) ได้กล่าวไว้ว่า อนุภาคขนาดเล็กจะส่งผลต่อความหนาของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ยังมีความละเอียดมาก จะทำให้มีพื้นที่มากในการยึดติดซึ่งส่งผลให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลต่อความแข็งแรงของแท่งเชื้อเพลิงอีกด้วย (Križan, 2007) สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้ขนาดชีวมวลหลักและตัวประสานธรรมชาติ ที่มีขนาดตั้งแต่ 3–5 mm เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีผิวขรุขระ แตกออกจากรูปร่าง ไม่คงทน ดังภาพที่ 78 (ข) นอกจากนั้นพบว่า เมื่อทำการผสมวัตถุดิบเข้าด้วยกันแล้วบางอัตราส่วนทำให้มีความหยาบ เมื่อนำเข้าเครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวยทำให้เกิดปัญหา กล่าวคือ ชีวมวลติดกระบอกไม่

สามารถออกเองได้ เนื่องจากพื้นที่ระหว่างกระบอกอัดและเกลียวอัดมีระยะห่างต่ำ และเมื่อวัตถุดิบที่อยู่ในกระบอกไม่มีความละเอียด ทำให้ไม่มีช่องว่างในการดันชีวมวลออกมา อีกทั้งยังทำให้เกิดแรงดันในกระบอกสูง จึงเกิดการระเบิดออกมา (Warajanont, 2013)



ก) ขนาดชีวมวล 3-5 mm



ข) ขนาดชีวมวลตั้งแต่ <1-3 mm

ภาพที่ 78 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ขนาดชีวมวลต่าง ๆ

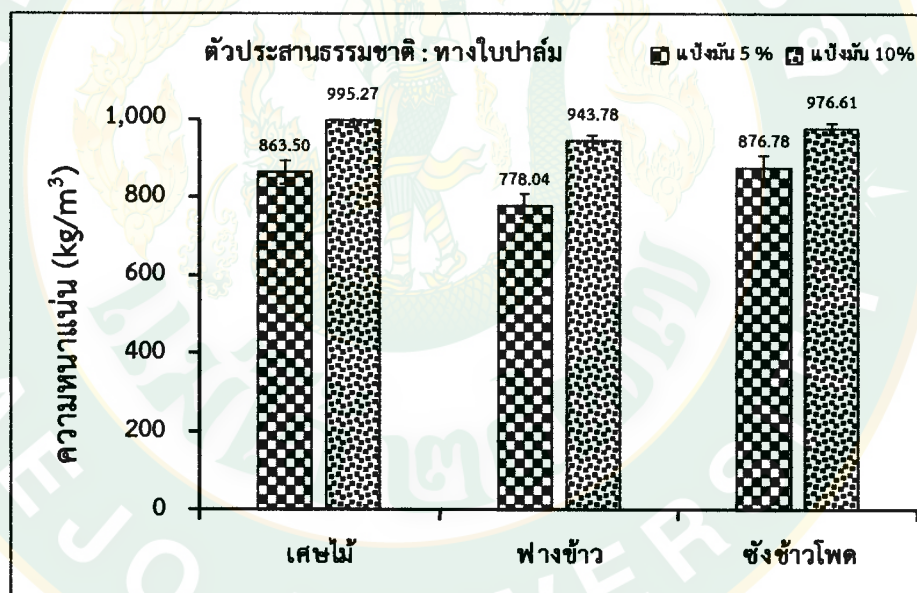
4.3 ผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ความหนาแน่นเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งทุกรูปแบบ มาตรฐานของการอัดแท่งที่ทั่วโลกใช้ 600 kg/m^3 (Eriksson et al., 1990) อีกทั้งยังมีความสำคัญและเป็นตัวแปรผันตรงกับความหนาแน่น และความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Mwinuka, 2015) การทดลองศึกษาผลกระทบจะเลือกใช้ ขนาดของชีวมวลหลักและตัวประสานธรรมชาติ 1–3 mm ที่สัดส่วนตัวประสาน 20%, 40% และ 60% และแบ่งมันสำปะหลัง 5% และ 10% รายละเอียดมีดังนี้

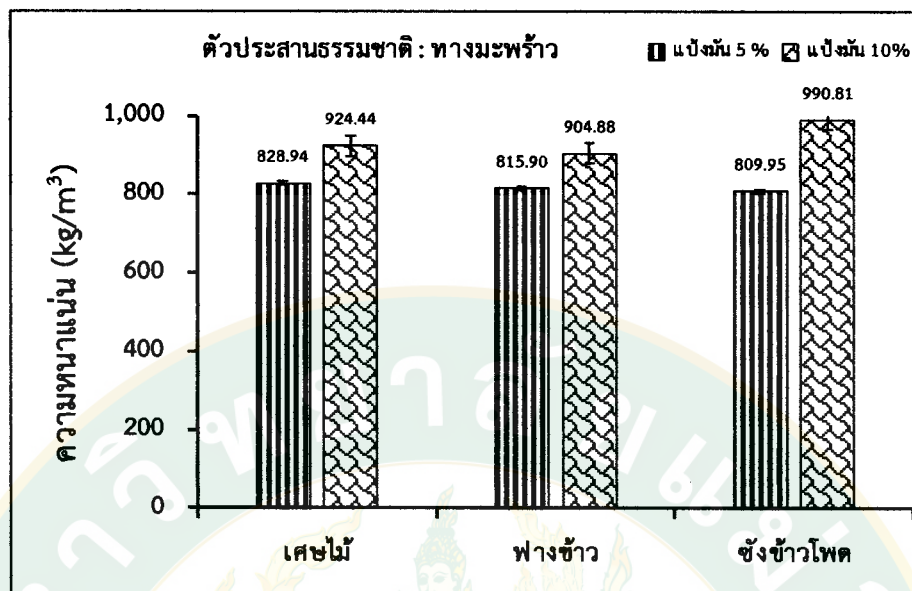
4.3.1 ผลกระทบอัตราส่วนแบ่งมันสำปะหลังต่อความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่แบ่งมันสำปะหลัง 5% และ 10% โดยใช้วัสดุประสานธรรมชาติ พบว่า ทุกอัตราส่วนของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความหนาแน่นสูงกว่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยทั่วไปมีค่าเฉลี่ย 600 kg/m^3 ตาม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้อัตราส่วนแบ่งมันสำปะหลัง 10% ให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยสูงกว่าอัตราส่วนแบ่งมัน 5% ทั้งนี้เนื่องมาจากแบ่งมันสำปะหลังมีปริมาณของอะไมโลสสูง ซึ่งเป็นพอลิเมอร์สายตรงของน้ำตาลดี-กลูโคส (D-glucose) ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ มีความสามารถดูดน้ำได้มาก (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2018) เมื่อเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งมีความร้อนเกิดขึ้น ทำให้เม็ดแป้งสุกเกิดปฏิกิริยาเจลลิตไนซ์ พองตัวกลายเป็นเจลที่แข็งแรงยึดเกาะกับชีวมวล (กล้าณรงค์ และคณะ, 2550) เมื่อนำไปตากปล่อยให้เย็นตัวลง เกิดปฏิกิริยารีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัวของ

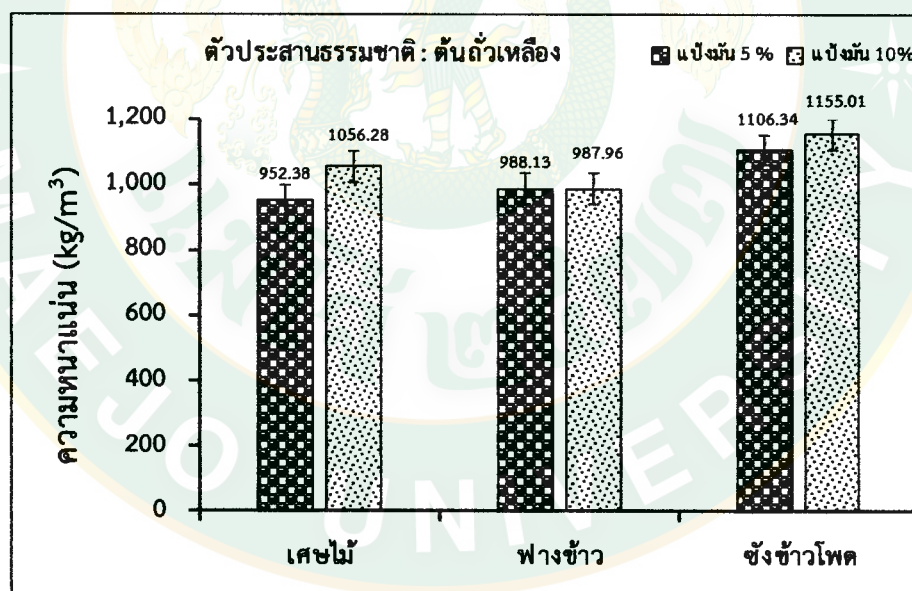
เมื่อดัดแปลง ที่ผ่านกระบวนการเจลาติไนซ์ (gelatinization) โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน ซึ่งเคยรวมตัวกับน้ำแล้วเกิดเป็นเจล จะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันของโมเลกุลน้ำตาลกลูโคสในสายจะมาเชื่อมต่อกันเองใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน และขับน้ำที่เคยจับอยู่ออกจากโมเลกุล เรียกว่า syneresis (Limsangouan et al., 2018) ทำให้เกิดเป็นผลึกใหม่ (Zakari et al., 2013) ทำให้เกิดความแข็งแรงระหว่างพันธะที่ยึดเกาะระหว่างชีวมวลและแป้งมันสำปะหลัง ส่งผลให้คุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นมากขึ้น (Sen et al., 2016) ตามอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง โดยผลค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สัดส่วนแป้งมันสำปะหลังร่วมกับทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว และต้นกล้วย เมื่อใช้เศษไม้มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 863 kg/m^3 และ 995.27 kg/m^3 ตามลำดับ ชีวมวลประเภทฟางข้าว มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย เท่ากับ 778.04 kg/m^3 และ 943.78 kg/m^3 ตามลำดับ และชีวมวลประเภทขี้ข้าวโพด มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย เท่ากับ 876.78 kg/m^3 และ 976.61 kg/m^3 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 79-81



ภาพที่ 79 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนแป้งมัน 5% และ 10% เมื่อใช้ทางใบปาล์มเป็นตัวประสานธรรมชาติ



ภาพที่ 80 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนน้ำมัน 5% และ 10% เมื่อใช้ทางมะพร้าว เป็นตัวประสานธรรมชาติ



ภาพที่ 81 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนน้ำมัน 5% และ 10% ใช้ดินถั่วเหลือง เป็นตัวประสานธรรมชาติ



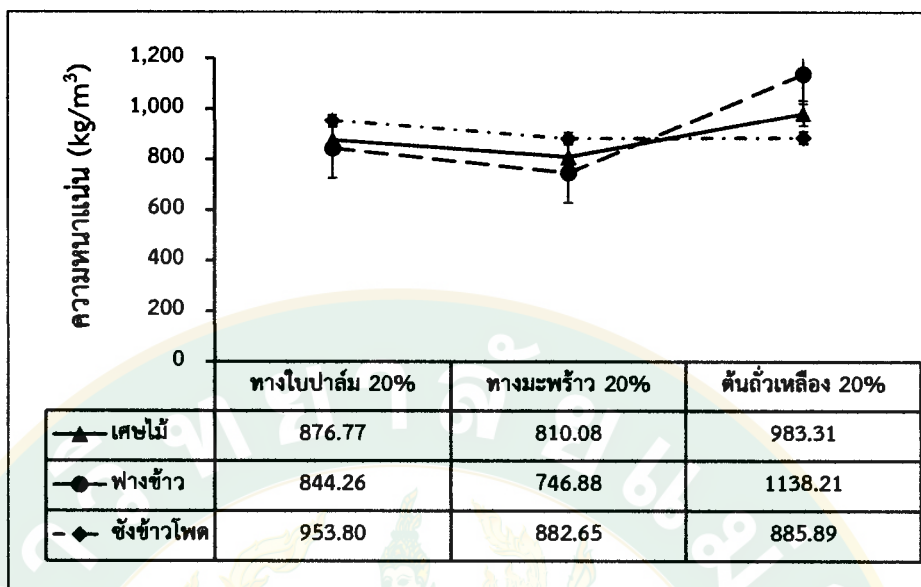
4.3.2 ผลกระทบของชนิดตัวประสานธรรมชาติต่อความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ในการวิเคราะห์ผลของชนิดตัวประสานธรรมชาติ ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยทำการเลือกแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง 5% มาวิเคราะห์ผล เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังน้อยที่สุด และผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกอัตราส่วน ผลการศึกษา พบว่า เมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว และต้นกล้วย ที่อัตราส่วน 20% โดยน้ำหนัก เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ทางปาล์มเป็นตัวประสาน มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย เท่ากับ 876.77 , 844.26 และ 953.80 kg/m^3 เมื่อใช้ชีวมวลหลัก เศษไม้ ฟางข้าว และซังข้าวโพด ตามลำดับ ดังภาพที่ 82 เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ฟางข้าวเป็นชีวมวลหลักเมื่อใช้ต้นกล้วยเป็นตัวประสานธรรมชาติ มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยสูงสุด เนื่องจาก โครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้ชีวมวลประเภทฟางข้าวมีปริมาณเซลลูโลสในปริมาณที่มากทำให้ชีวมวลมีความแข็งแรง เมื่อผสมกับต้นกล้วยที่มีองค์ประกอบของ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินและสารแทรกอื่น ๆ นอกจากจากนี้ยังเป็นผลมาจากอุณหภูมิและแรงดัน เมื่อให้แรงกดต่อชีวมวลมากก็จะส่งผลให้มีเชื้อเพลิงที่ได้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นในขณะเดียวกันเมื่อใช้ตัวประสานทางมะพร้าวกลับมีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุด หากพิจารณาค่าความหนาแน่นโดยรวม เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ต้นกล้วยเป็นตัวประสานให้ค่าความหนาแน่นค่อนข้างมาก ในขณะเดียวกันเมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติที่อัตราส่วน 40% โดยน้ำหนัก เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย เท่ากับ 810.08, 746.88 และ 882.65 kg/m^3 ตามลำดับ ดังภาพที่ 83 แท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ชีวมวลหลักประเภทฟางข้าวผสมกับต้นกล้วยให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดเช่นเดียวกับที่อัตราส่วนตัวประสาน 20 % ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ตัวประสานธรรมชาติ ที่อัตราส่วน 60% โดยน้ำหนัก มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย เท่ากับ 983.31, 1138.21 และ 885.89 kg/m^3 ตามลำดับ ดังภาพที่ 84 เมื่อทำการวิเคราะห์พิจารณาผลโดยรวม จากรูปจะเห็นว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ต้นกล้วยให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสูงกว่าอีก 2 ชนิด ที่มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากต้นกล้วยมีกลุ่มยางเหนียว เช่น ลิกนิน ทำหน้าที่เป็นตัวแทนซีเมนต์สำหรับยึดติดเส้นใยเซลลูโลสให้อยู่ด้วยกัน (เกษรา และคณะ, 2561) ปริมาณที่ใช้เหมาะสมสำหรับคุณสมบัติความหนาแน่นที่ดี

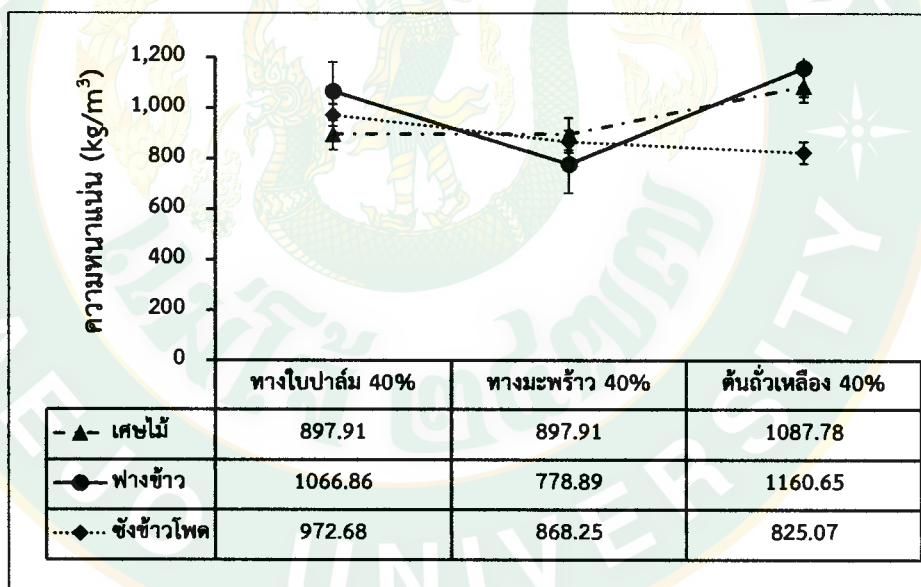


3580408587

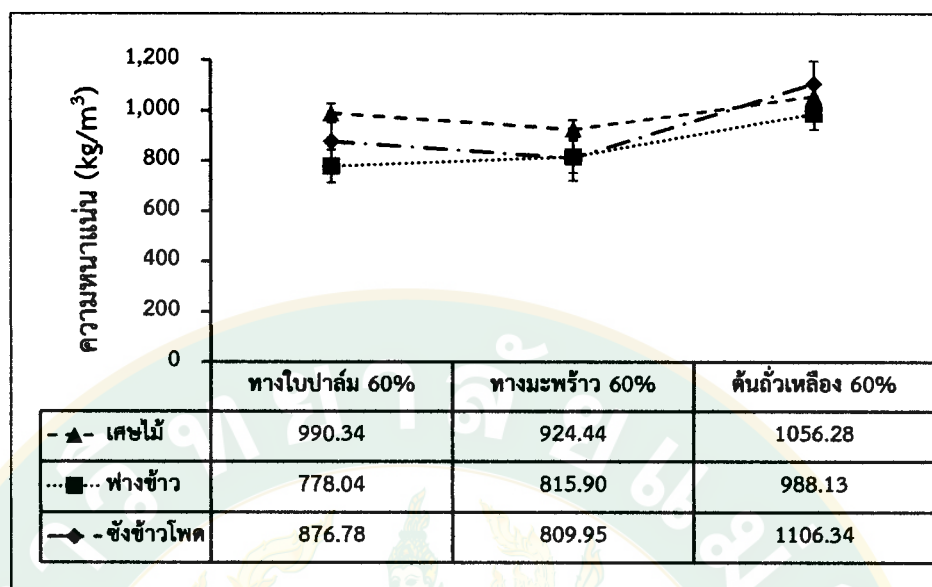
MUJ 1Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาพที่ 82 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนตัวประสานธรรมชาติ 20%



ภาพที่ 83 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนตัวประสานธรรมชาติ 40%



ภาพที่ 84 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนตัวประสานธรรมชาติ 60%

4.3.3 ผลของแรงดันที่มีต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

แรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยกระบวนการอัดแบบเย็น จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นที่ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง ชนิดของตัวประสานธรรมชาติ จึงทำการเลือกเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผ่านเกณฑ์คุณสมบัติทางกายภาพวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของแต่ละอัตราส่วนทั้งหมด 9 ตัวอย่าง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 14 การวิเคราะห์ความดันในการอัดของเครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย โดยการวัดทางอ้อมจากเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ โดยใช้ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นตัวเทียบค่า ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 15 พบว่า แรงดันในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ชีวมวลประเภททางใบปาล์มเป็นตัวประสานมีค่าแรงดันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 65.84–80.81 kg/m² ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ตัวประสานทางมะพร้าวมีค่าแรงดันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 41.51–72.30 kg/m² และแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ตัวประสานประเภทต้นถั่วเหลืองมีค่าแรงดันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 73.14–100.08 kg/m² จากผลการทดสอบจะเห็นว่าแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแปรผันตามค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละชนิดและอัตราส่วนของชีวมวลหลัก ซึ่งมีโครงสร้างและเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตที่แตกต่างกัน กล่าวคือการเพิ่มขึ้นของแรงดันทำให้เกิดความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (Thabuot et al., 2015) จะสัมพันธ์กับปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาคชีวมวลทั้งสองชนิด เมื่อชีวมวลถูกบีบอัดจะเกิดแรงระหว่างอนุภาคของแข็ง (Attractive force between Solid particles) ทำให้ระยะห่างภายในอนุภาคลดลงและเกิดการเชื่อมประสานระหว่างอนุภาคเล็ก ๆ ของชีวมวลเข้าด้วยกัน โดยในระหว่างกระบวนการ

อัดขึ้นรูปต้องอาศัยแรงกดระหว่างเกลียวอัดและกระบอกอัดเพื่อให้สามารถอัดออกมาเป็นแท่ง เชื้อเพลิง ซึ่งแรงภายในโมเลกุลนี้คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Force) (เกษรา และคณะ, 2561) ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากขึ้น (Adhesive and Cohesive Force) ส่งผลให้ลด ระยะห่างของอนุภาคภายในเพื่อช่วยให้เกิดกลไกการรวมตัวของอนุภาคชีวมวล (Chinnappan et al., 2012) นอกจากนี้คุณสมบัติในการอัดซึ่งมีผลต่อการทำลายโครงสร้างของลิกนิน ส่งผลต่อความ หนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้อีกด้วย (Križan et al., 2014) โดยค่าความหนาแน่นจะเป็นตัว บ่งชี้ถึงคุณภาพของแท่งเชื้อเพลิง ทำให้การขนส่งมีประสิทธิภาพมากขึ้น และลดความต้องการของ พื้นที่ในการจัดเก็บ

ตารางที่ 14 อัตราส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ตัวอย่าง	สัญลักษณ์ แท่น	อัตราส่วนโดย มวล (kg)	ค่าความหนาแน่น เฉลี่ย (kg/m ³)
เศษไม้: ทางปาล์ม60%: แป้งมัน	WC: PL60: CS	1: 0.6: 0.05	990.34
ซังข้าวโพด: ทางปาล์ม40%: แป้งมัน	CC: PL40: CS	1: 0.4: 0.05	972.68
ซังข้าวโพด: ทางปาล์ม20%: แป้งมัน	CC: PL20: CS	1: 0.2: 0.05	953.80
เศษไม้: ทางมะพร้าว60%: แป้งมัน	WC: CL60: CS	1: 0.6: 0.05	924.44
เศษไม้: ทางมะพร้าว40%: แป้งมัน	WC: CL40: CS	1: 0.4: 0.05	897.91
ซังข้าวโพด: ทางมะพร้าว20%: แป้งมัน	CC: CL20: CS	1: 0.2: 0.05	882.60
เศษไม้: ต้นกล้วยเหลือ60%: แป้งมัน	WC: SB60: CS	1: 0.6: 0.05	1,056.28
ฟางข้าว: ต้นกล้วยเหลือ40% : แป้งมัน	RS: SB40: CS	1: 0.4: 0.05	1,160.65
เศษไม้: ต้นกล้วยเหลือ20%: แป้งมัน	WC: SB20: CS	1: 0.2: 0.05	983.31

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความดันจากเครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย

ตัวอย่าง	แรงดันที่ใช้ (kg/cm ²)	ความหนาแน่น เฉลี่ยจากเครื่อง อัดไฮดรอลิกส์ (kg/m ³)	ความหนาแน่นเฉลี่ย จากเครื่องอัดแบบ เกลียว (kg/m ³)	แรงดันที่ใช้ เฉลี่ย (kg/cm ²)	แรงดันที่ใช้ เฉลี่ย (MPa)
WC: PL60: CS	80	1007.55	990.34	72.75	7.1343
CC: PL40: CS	50	996.61	972.68	65.84	6.4567
CC: PL20: CS	100	1007.68	953.80	80.81	7.9248

ตารางที่ 15 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความดันจากเครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย

ตัวอย่าง	แรงดันที่ใช้ (kg/cm ²)	ความหนาแน่น เฉลี่ยจากเครื่อง อัดไฮดรอลิกส์ (kg/m ³)	ความหนาแน่นเฉลี่ย จากเครื่องอัดแบบ เกลียว (kg/m ³)	แรงดันที่ใช้ เฉลี่ย (kg/cm ²)	แรงดันที่ใช้ เฉลี่ย (MPa)
WC: CL60: CS	80	996.1	924.44	72.30	7.0902
WC: CL40: CS	70	982.93	897.91	52.60	5.1583
CC: CL20: CS	50	914.82	882.60	41.51	4.0707
WC: SB60: CS	80	1,081.78	1,056.28	73.14	7.1726
RS: SB40: CS	120	1,226.8	1,160.65	100.08	9.8145
WC: SB20: CS	100	1,063.16	983.31	73.21	7.1794

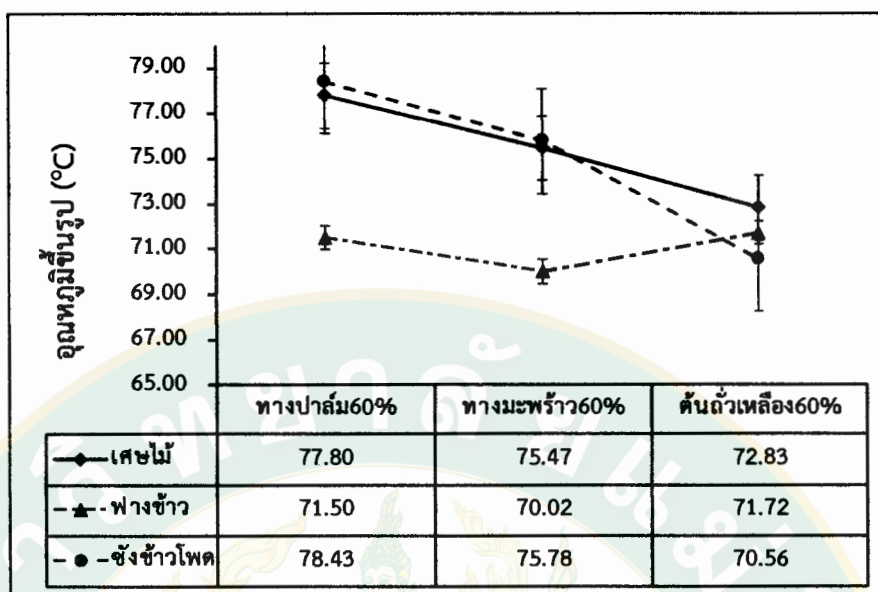
4.4 ผลกระทบของอุณหภูมิในการอัดแท่ง

จากรูปที่ 85 ตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนตัวประสานธรรมชาติ 60% มีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปอยู่ในช่วง 70.02–78.43 °C ส่วนตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้อัตราส่วนตัวประสานธรรมชาติ 40% มีอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปอยู่ในช่วง 70.02–81.37 °C ดังแสดงในภาพที่ 86 สำหรับแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้อัตราส่วนตัวประสานธรรมชาติ 20% มีอุณหภูมิในการขึ้นรูปอยู่ในช่วง 70.20–79.77 °C ดังภาพที่ 87 จากผลดังกล่าวข้างต้น จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ชีวมวลสามารถขึ้นรูปได้อยู่ระหว่าง 70–80 °C ทั้งนี้เนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสของชีวมวลกับผิวสัมผัสภายในด้านกระบอกเครื่องอัด (เกษรา และคณะ, 2561) ส่งผลให้มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ชีวมวลจะปล่อยสารยึดเกาะที่เป็นธรรมชาติเป็นตัวเชื่อมแข็ง (Okot et al., 2018), (Yumak et al., 2010) โดยปกติแล้วอุณหภูมิในการอัดแท่งจะต้องสูงประมาณ 160 °C ที่ทำให้สารลิกนินที่อยู่ในชีวมวลเริ่มละลายและไหลออกจากเส้นใยผนังเซลล์มาผสมยึดเกาะกับอนุภาคอื่น ๆ ของชีวมวล เกิดปฏิกิริยาอินเทอร์ล็อกกิ้งขณะทำการอัดแท่ง ส่งผลให้ชีวมวลอัดรวมกันออกมาเป็นแท่งได้ (Kaliyan et al., 2009) แต่อุณหภูมิที่แสดงนี้เป็นอุณหภูมิผิวของกระบอกอัดไม่ใช่อุณหภูมิบริเวณในกระบอกอัดจึงทำให้อุณหภูมิที่ได้มีค่าต่ำกว่า หากอุณหภูมิของแม่พิมพ์สูง ความเสียดทานระหว่างวัตถุดิบและผนังแม่พิมพ์จะลดลง ยกตัวอย่างเช่น การบดอัดเกิดขึ้นที่ความดันต่ำซึ่งส่งผลให้ความหนาแน่นลดลงและความแข็งแรงต่ำ ในทางกลับกันอุณหภูมิต่ำจะส่งผลให้ความดันและการใช้พลังงานสูงขึ้นและอัตราการผลิตลดลง (Chinnappan et al., 2012)

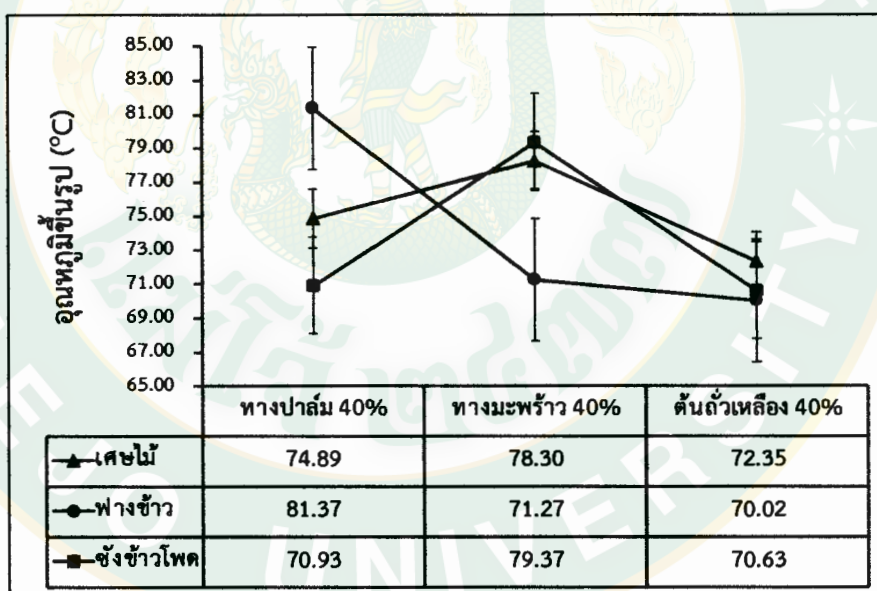


3590408597

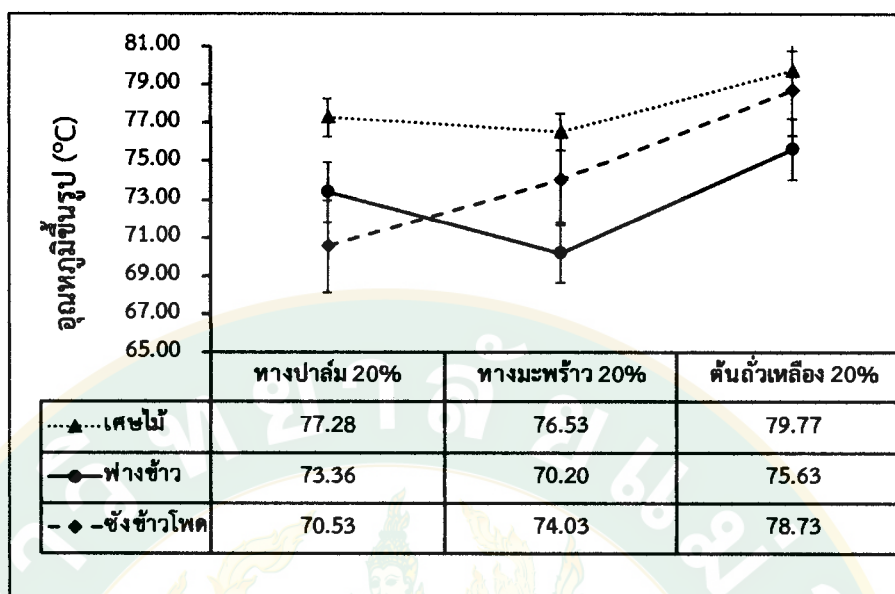
MUJ iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาพที่ 85 อุณหภูมิขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติ 60%



ภาพที่ 86 อุณหภูมิขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติ 40%



ภาพที่ 87 อุณหภูมิขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติ 20%

4.5 การวิเคราะห์โครงสร้างของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีผลจากแรงดันและอุณหภูมิ

4.5.1 การศึกษาลักษณะพื้นฐานโครงสร้างของวัตถุดิบ

การวิเคราะห์โครงสร้างของชีวมวลและตัวประสานแป้งมันสำปะหลังด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM) ภาพที่ 88 แสดงลักษณะพื้นฐานของชีวมวลหลัก ภาพที่ 89 แสดงลักษณะพื้นฐานของตัวประสานธรรมชาติ ภาพที่ 90 แสดงลักษณะพื้นฐานของแป้งมันสำปะหลัง จากการศึกษพบว่า ชีวมวลทั้ง 6 ชนิด มีโครงสร้างลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกัน เศษไม้ ที่กำลังขยาย 35 เท่า มีลักษณะลักษณะพื้นฐานทรงสี่เหลี่ยม พื้นผิวมีความขรุขระ ดังภาพที่ 88 (ก1) เมื่อเพิ่มกำลังขยาย 200X จะเห็นได้ว่าที่บริเวณผิวของเศษไม้จะมีปริมาณรูพรุนกระจายตัวอยู่บนผิวดังภาพที่ 88 (ก2) ฟางข้าว กำลังขยาย 35X มีลักษณะลักษณะพื้นฐานสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผิวเรียบ ดังภาพที่ 88 (ข1) ในขณะที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จะพบรูพรุนจำนวนมากมีการเกาะกันของอนุภาคคล้ายหยดน้ำ ดังภาพที่ 88 (ข2) ช้างข้าวโพด ที่กำลังขยาย 50X มีลักษณะพื้นฐานเป็นก้อนทรงเหลี่ยม พื้นผิวเรียบ ดังภาพที่ 88 (ค1) เมื่อเพิ่มกำลังขยาย 200 เท่า จะพบพื้นผิวที่เป็นรูพรุนจำนวนมากคล้ายฟองน้ำดังภาพที่ 88 (ค2) จากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐาน ชีวมวลที่มีรูพรุนมากจะส่งผลต่อการอัดขึ้นรูปที่ง่าย เนื่องจากเซลล์ของชีวมวลที่ประกอบด้วยช่องว่างภายในขนาดน้อยใหญ่ ทำให้เซลล์ไม่แข็งแรง เมื่อถูกเข้ากระบวนการอัดแท่งถูกแรงกดเซลล์ที่เป็นรูพรุนจึงเปราะ แตกหักง่าย ทำให้บิอัดตัวลง องค์ประกอบของผนังเซลล์จะถูกปล่อยออกมาทำปฏิกิริยากับ

อนุภาครอบ ๆ ในขณะที่ภายใต้สภาวะความร้อนและแรงบีบอัดสูง ลิกนินจะอ่อนตัวและไหลเป็นผลให้
การแพร่ภายในโมเลกุลเปิกทั่วถึงและความซับซ้อนของสายโซ่โพลีเมอร์ระหว่างเส้นใยที่ติดกันดีขึ้น



ลักษณะสัณฐานของเศษไม้ (ก1) กำลังขยาย 35X (ก2) กำลังขยาย 200X



ลักษณะสัณฐานของฟางข้าว (ข1) กำลังขยาย 35X (ข2) กำลังขยาย 1,000X



ลักษณะสัณฐานของซังข้าวโพด (A) กำลังขยาย 35X (B) กำลังขยาย 200X

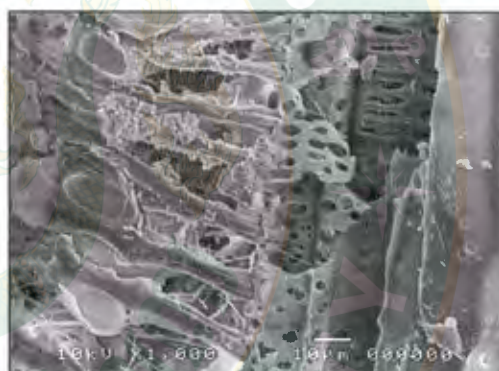
ภาพที่ 88 ลักษณะสัณฐานของชีวมวลหลักที่กำลังขยายต่าง ๆ



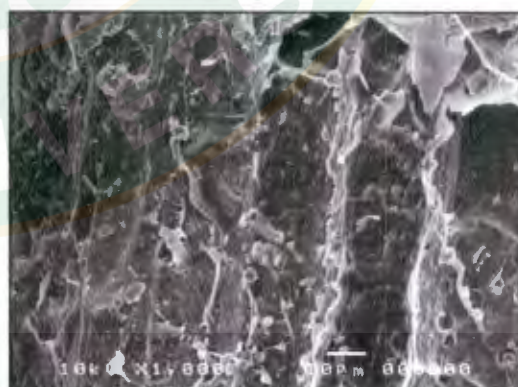
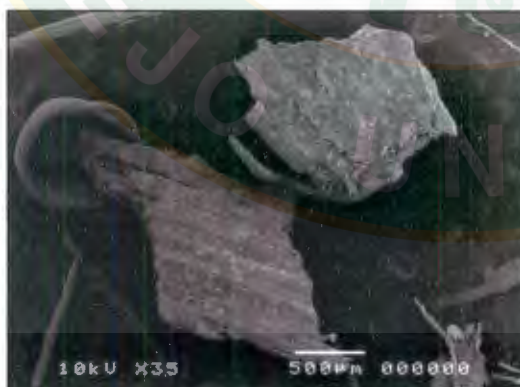
3590406597

MTU :thesis 5915301016 thesis / recv: 27052553 20:36:23 / seq: 133

ภาพที่ 89 แสดงลักษณะสัณฐานของวัสดุประสานธรรมชาติที่กำลังขยายต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางใบปาล์ม ที่กำลังขยาย 35X จะเห็นว่าเส้นใยบริเวณผิว ดังภาพที่ 89 (ก1) เมื่อเพิ่มกำลังขยาย 1,000 เท่า จะเห็นถึงโครงสร้างลักษณะการเรียงตัวขององค์ประกอบที่ดูซับซ้อน ดังภาพที่ 90 (ก2) ทางมะพร้าว มีลักษณะสัณฐาน มีเส้นใยที่ผิวคล้าย พื้นผิวคล้ายมีรูพรุน ดังภาพที่ 89 (ข1) แต่เมื่อ กำลังขยายเพิ่มขึ้นเป็น 1,000 เท่า ลักษณะสัณฐานของมะพร้าวมีไม่มีรูพรุน เป็นปึกแผ่นแข็งแรง ดังภาพที่ 89 (ก2) ที่กำลังขยาย 35X ลักษณะสัณฐานของต้นกล้วยเปลือกคล้ายกับทางมะพร้าว แต่พื้นที่ ผิวมีความขรุขระเล็กน้อย ดังภาพที่ 89 (ค1) เมื่อเพิ่มกำลังขยาย 1,000 เท่า พบว่าลักษณะโครงสร้าง สัณฐานของต้นกล้วยมีความแข็งแรง รูปแบบการเรียงตัวขดกันคล้ายเส้นบะหมี่ถึงสำเร็จรูป ดัง ภาพที่ 89 (ค2) และแป้งมันสำปะหลัง กำลังขยาย 1,000 X มีลักษณะรูปร่างเป็นเม็ดกลม ดังภาพที่ 90 เมื่อเพิ่มกำลังขยาย 2,000 เท่า มีลักษณะสัณฐานรูปร่างคล้ายดอกเห็ด มีรอยบ่มขนาดประมาณ 7-20 ไมครอน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (Rubio et al., 1999)

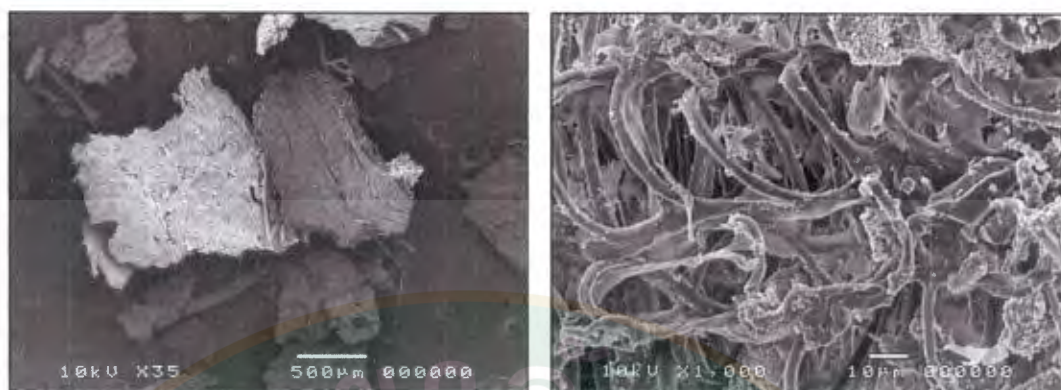


ลักษณะสัณฐานของทางใบปาล์ม (ก1) กำลังขยาย 35X (ก2) กำลังขยาย 1,00X



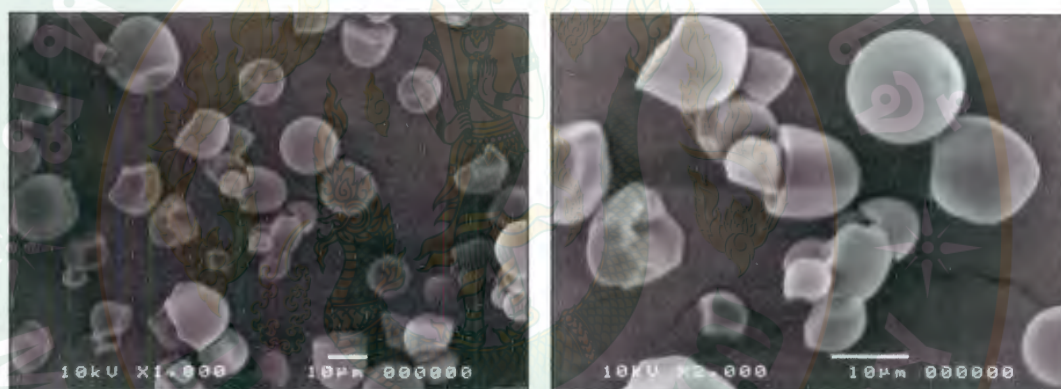
ลักษณะสัณฐานของมะพร้าว (ก1) กำลังขยาย 35X (ก2) กำลังขยาย 1,000X

ภาพที่ 89 ลักษณะสัณฐานของวัสดุประสานธรรมชาติที่กำลังขยายต่าง ๆ



ลักษณะสัณฐานของต้นกล้วย (ก1) กำลังขยาย 35X (ก2) กำลังขยาย 1,00X

ภาพที่ 89 (ต่อ) ลักษณะสัณฐานของวัสดุประสานธรรมชาติที่กำลังขยายต่าง ๆ



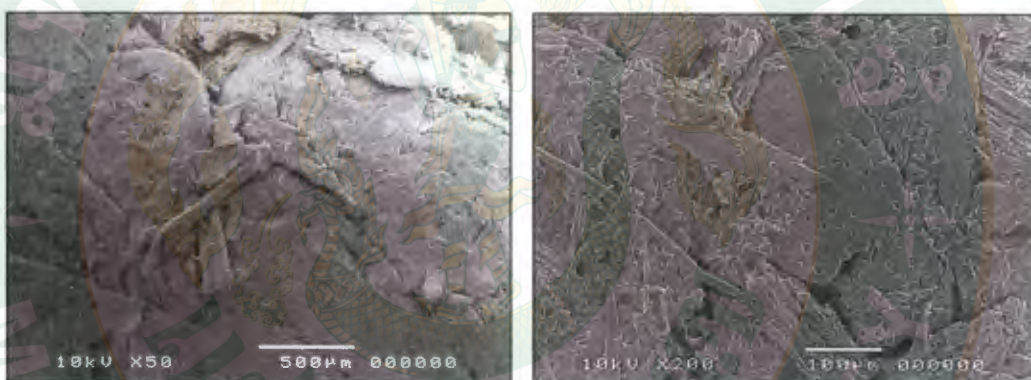
(ง1) กำลังขยาย 1,000X (ง2) กำลังขยาย 2,000X

ภาพที่ 90 ลักษณะสัณฐานของแป้งมันสำปะหลัง

4.5.2 ผลกระทบของอุณหภูมิและแรงดันต่อโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง

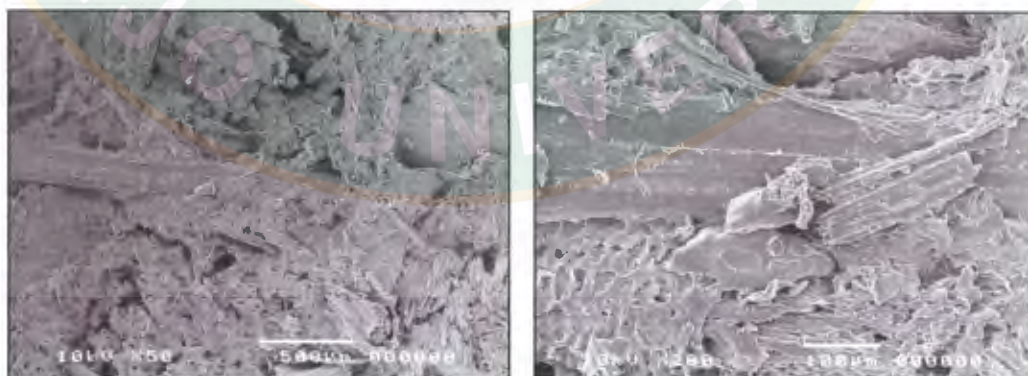
ลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างของแท่งเชื้อเพลิง ที่ใช้แรงดันอัดต่ำสุด และสูงสุดในการขึ้นรูป ที่ 100.08 และ 41.51 kg/m² ตามลำดับ พบว่าแรงดันในการอัดของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งมีผลต่อโครงสร้างการยึดเกาะกันของชีวมวล ภาพที่ 91 แสดงอัตราส่วนฟางข้าวผสมต้นกล้วย 40% กำลังขยาย 50x (A) มีผิวค่อนข้างเรียบ มีรอยแตกเล็กน้อย เมื่อเพิ่มกำลังขยาย 200X จะเห็นพื้นผิวของตัวอย่างที่ยึดเกาะกันของอนุภาคชีวมวลทั้งสองชนิดเกาะกัน ซึ่งการเกาะตัวกันของเนื้อวัสดุที่ถูกบีบอัดนั้น อาจจะมาจากแรงยึดติดของผลิตภัณฑ์จากเอมิเซลลูโลส ที่สลายตัวแปรสภาพระหว่างกระบวนการ แรงดันทำให้โครงสร้างพื้นที่ผิวลดลงทำให้อนุภาคมีความเสถียรเกาะแน่นกันมากขึ้น

(Yan et al., 2017) ส่วนแรงดันในการอัดที่ต่ำสุดของตัวอย่างชั่งข้าวโพดผสมทางมะพร้าว 20% ดังภาพที่ 92 ที่กำลังขยาย 50x (A) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีช่องว่าง เห็นโครงสร้างของทางมะพร้าวชัดเจน เนื่องจากองค์ประกอบทางของชีวมวลจะถูกทำลาย เกิดการแตกหัก ถูกบีบอัดให้มีขนาดเล็ก พันธะระหว่างอนุภาคจึงเกาะกันเป็นเนื้อเดียวกัน แรงดันจึงส่งผลให้โครงสร้างของแต่ละชนิดมีลักษณะที่แตกต่างกัน (Cavallo et al., 2017) นอกจากนี้อุณหภูมิเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่ส่งผลต่อลักษณะโครงสร้างการยึดเกาะ จากภาพที่ 93 แสดงโครงสร้างของฟางข้าวผสมทางใบปาล์ม 40% เมื่อใช้อุณหภูมิในการอัดสูงที่สุด พบว่า ที่กำลังขยาย 50X (A) จะเห็นว่าลักษณะโครงสร้างทับซ้อนกันของชีวมวล ผิวขรุขระ มีช่องว่างระหว่างระหว่างผิว แต่เมื่อเพิ่มกำลังขยาย 200 เท่า จะเห็นโครงสร้างของชีวมวลที่ยึดเกาะกัน เนื่องจากสารชีวเคมีประเภทลิกนินที่อ่อนตัวจะเป็นตัวสร้างการยึดเกาะภายในเนื้อวัสดุระหว่างการอัดแน่นชีวมวล แล้วนำไปสู่การเกาะตัวกันของเนื้อเชื้อเพลิงเกิดการสลายตัว เมื่อถูกความร้อนจึงทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (Križan et al., 2014)



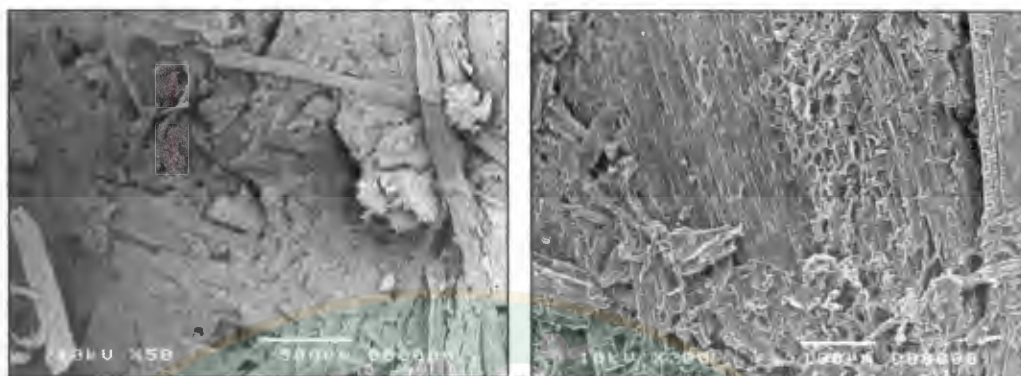
ลักษณะการยึดเกาะกันระหว่างอนุภาคชีวมวลของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่แรงดัน 100.08 kg/m²

ภาพที่ 91 ลักษณะสัณฐานโครงสร้างของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่แรงดันสูงสุด



ลักษณะการยึดเกาะกันระหว่างอนุภาคชีวมวลของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่แรงดัน 41.51 kg/m²

ภาพที่ 92 ลักษณะสัณฐานโครงสร้างของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่แรงดันต่ำสุด



ภาพที่ 93 ลักษณะสัณฐานโครงสร้างของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อุณหภูมิสูงสุด

4.6 การเลือกตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสม

จากการทดสอบผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยกระบวนการอัดแบบเย็น โดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย มีจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 54 ตัวอย่าง ทำการศึกษาอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง ชนิดของตัวประสานธรรมชาติแต่ละชนิด วิเคราะห์และประเมินผลภายใต้คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี โดยประมาณ ทำการเลือกเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วนของตัวประสานที่ผ่านเกณฑ์คุณสมบัติดังกล่าวทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

4.6.1 ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ลักษณะของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งโดยใช้วัสดุประสานธรรมชาติทั้งสามชนิดนั้น จะใช้วิธีโดยการสังเกตผิว พื้นที่หน้าตัด ความแข็งแรง คงทน ของแท่งเชื้อเพลิง (ลดาวลัย และคณะ, 2559) เมื่อทำการอัดหากสามารถคงรูปตามขนาดที่ต้องการได้ แสดงว่ามีความสามารถในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ แม้ทำการเคลื่อนย้ายก็ยังคงรูปไว้ไม่เกิดการเสียหาย เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 50.38 mm ลักษณะกายภาพแสดงตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์พบว่าชนิดชีวมวลแต่ละตัวประสานธรรมชาติในทุกอัตราส่วนเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันค่อนข้างดี BQ7-BQ9 และ BQ1 ผิวค่อนข้างเรียบดี BQ4-BQ6 ผิวมีรอยแตกร้าวเพียงเล็กน้อย และภาพที่ 94 แสดงเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่มีลักษณะของสีแตกต่างกันทั้งนี้เกิดจากองค์ประกอบเคมีภายในชีวมวลมีการเปลี่ยนแปลง โดยผ่านปฏิกิริยาเมลลาร์ดและการสลายตัวของสีโดยสารแทรก (ทศพร และคณะ, 2018)

ตารางที่ 16 ผลการสังเกตลักษณะทางกายภาพทั่วไปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตัวอย่าง	ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง
WC100%: PL60%: CS5% (BQ1)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบมันวาว แข็งแรง ผิวขอบขรุขระเล็กน้อย
CC100%: PL40%: CS5% (BQ2)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบ ขอบขรุขระเล็กน้อย
CC100%: PL20%: CS5% (BQ3)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวขรุขระเล็กน้อย
WC100%: CL60%: CS5% (BQ4)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวขรุขระ มีรอยแตกร้าว
WC100%: CL40%: CS5% (BQ5)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบ มีรอยร้าวเล็กน้อย
CC100%: CL20%: CS5% (BQ6)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบ มีรอยแตกเล็กน้อย
WC100%: SB60%: CS5% (BQ7)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบดี แข็งแรง ผิวขอบขรุขระเล็กน้อย
RS100%: SB40%: CS5% (BQ8)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบมันวาว แข็งแรง
WC100%: SB20%: CS5% (BQ9)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบมันวาว แข็งแรง ผิวขอบขรุขระเล็กน้อย

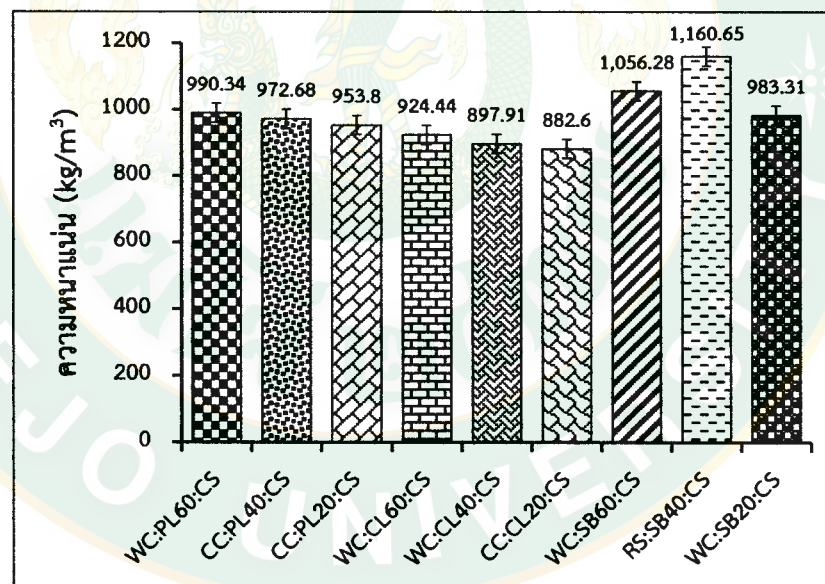


ภาพที่ 94 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่ได้

4.7 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

4.7.1 ความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ความแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นคุณสมบัติที่มีความสอดคล้องโดยตรงกับดัชนีการแตกร่วนและความต้านทานต่อแรงกดอัด กล่าวคือ เชื้อเพลิงแท่งที่มีค่าดัชนีการแตกร่วนและความต้านทานแรงกดอัดสูงจะให้ค่าความแน่นสูง จากภาพที่ 95 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้อัตราส่วนตัวประสานธรรมชาติร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบพบว่า เมื่อใช้ทางปาล์มเป็นตัวประสาน BQ1-BQ3 มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย อยู่ในช่วง 953.80–990.34 kg/m^3 ตัวประสานทางมะพร้าว BQ4-BQ6 อยู่ในช่วง 882.60–924.44 kg/m^3 และตัวประสานต้นถั่วเหลือง BQ7-BQ9 มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 983.31–1,160.65 kg/m^3 จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วนมีค่าแตกต่างกันไป ซึ่งองค์ประกอบของชีวมวลแต่ละชนิด ขนาดอนุภาค แรงดันและอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป (Okot et al., 2018) ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ส่งผลต่อค่าความหนาแน่น ซึ่งหากมีความหนาแน่นสูงก็จะทำให้ใช้พื้นที่ในการขนส่งและการเก็บรักษาน้อยกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีความหนาแน่นต่ำ (Kong et al., 2013)

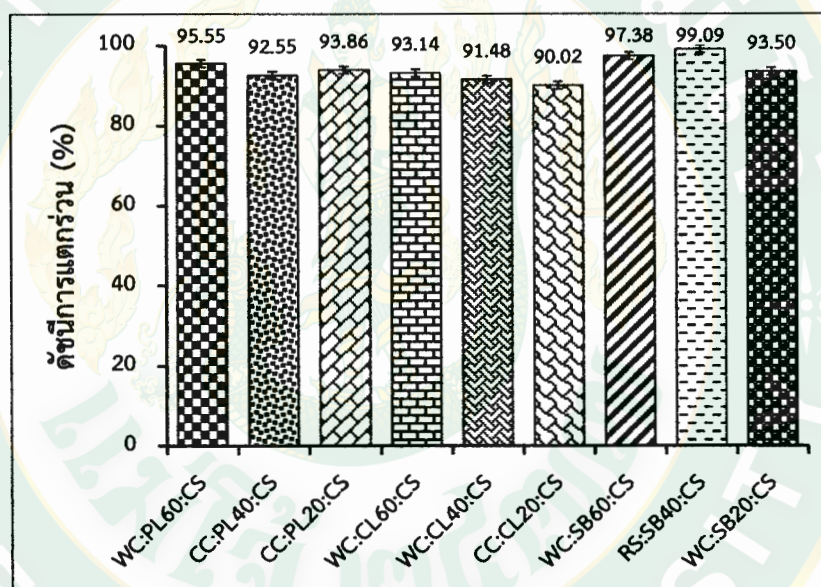


ภาพที่ 95 ความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4.7.2 ดัชนีการแตกร่วน

ดัชนีการแตกร่วนเป็นปัจจัยที่สำคัญมากสำหรับกระบวนการขนส่งและการนำไปใช้เผาไหม้ ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงนั้นค่าควรอยู่ระหว่าง 0.9–1.0 (90–100%) ตามมาตรฐานของ ASTM

(Tembe et al., 2014) ซึ่งค่าดัชนีการแตกร่วน แสดงถึงคุณสมบัติที่มีความเหมาะสมในการนำไปเป็น เชื้อเพลิงที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน ถ้ามีค่าน้อยก็จะส่งผลให้เชื้อเพลิงไม่แข็งแรง แตกง่าย ร่วนซุย และถ้ามีค่ามากก็จะส่งผลให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีความแน่น แข็งแรง (อัจฉรา และคณะ, 2554) ผลการ ทดสอบพบว่า BQ8 ให้ค่าดัชนีการแตกร่วนสูงที่สุด ที่ 99.09 % ในขณะที่ BQ6 ให้ค่าน้อยที่สุด ที่ 90.02% ดังภาพที่ 96 ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบเกิดการเสียดสีระหว่างผิวของห้องทดสอบ ทำให้ พื้นที่อนุภาคบางส่วนถูกแยกออกจากกันจากการหมุนของกลองทดลอง อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์การ สูญเสียในมวล อาจจะมีขึ้นอยู่กับการปัจจัยด้านชีวมวล ชนิดของวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานบนผนัง แม่พิมพ์รวมถึงปัจจัยในกระบวนการอัดขึ้นรูป แรงดันและอุณหภูมิการบดอัด รวมไปถึงอัตราส่วนของ ตัวประสาน (Tumuluru et al., 2010)

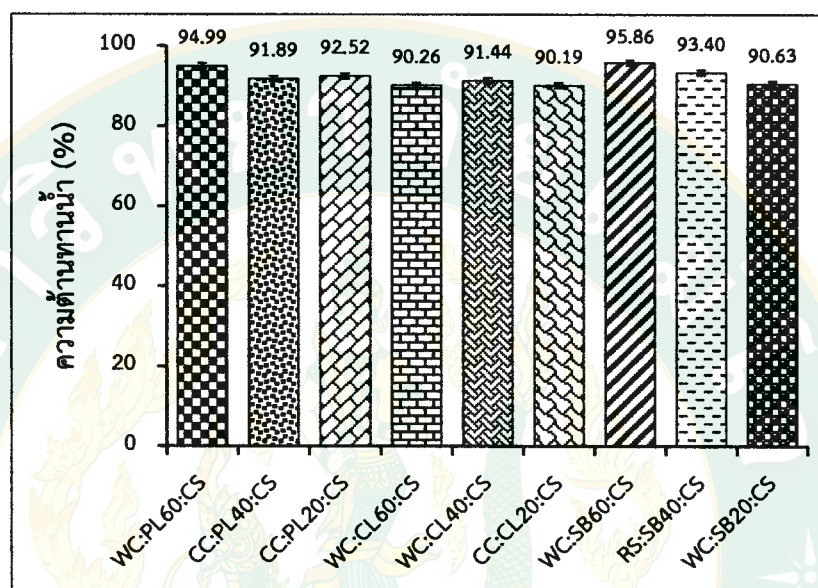


ภาพที่ 96 ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4.7.3 ความต้านทานน้ำ

ความต้านทานน้ำเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดี เนื่องจากความ ต้านทานด้านทานน้ำจะมีประโยชน์ในด้านการเก็บรักษาและคงคุณภาพของเชื้อเพลิงไม่ให้ลดต่ำลง ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากความชื้นของอากาศที่สามารถแทรกเข้าทางผิวเชื้อเพลิง ส่งผลให้ค่าความร้อน เชื้อเพลิงลดลง (Orisaleye et al., 2019) ผลการวิเคราะห์การต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดัง ภาพที่ 97 พบว่า BQ1-BQ3 มีค่าความต้านน้ำสูงที่สุดสูงสุด รองลงมาคือแท่ง B01-BQ3, BQ7-BQ9 ตามลำดับ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 91.89-95.99%, 90.19-91.44% และ 90.04-91.75% ตามลำดับ หาก

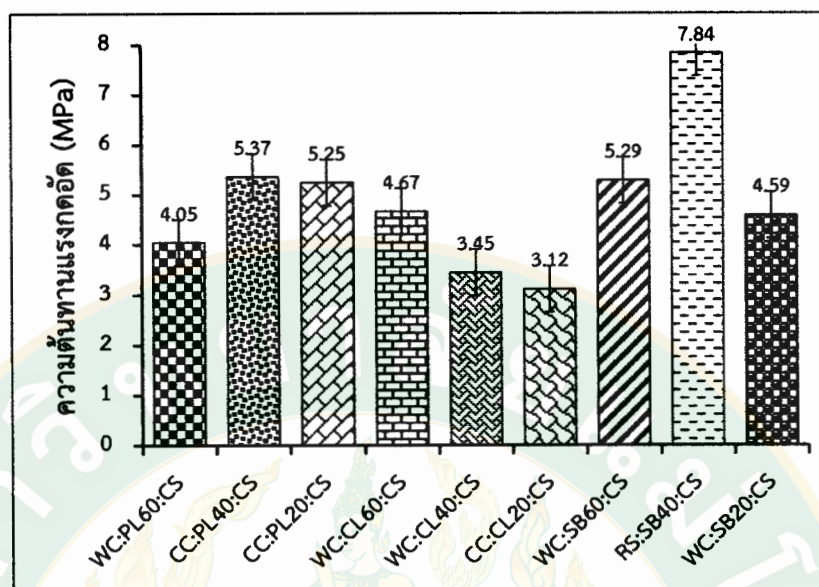
ค่าความต้านทานน้ำต่ำเชื้อเพลิงก็จะเสียหาย ไม่คงรูปเดิม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความพรุนของชีวมวลที่ใช้เป็นตัวประสาน เช่นต้นถั่วเหลืองที่มีความพรุนมากส่งผลทำให้การต้านทานน้ำต่ำ อีกทั้งเนื่องจากอัตราส่วนที่มากเกินไปทำให้ชีวมวลหลักและตัวประสานธรรมชาติยึดเกาะกันไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้อาจเกิดจากแรงที่กดให้เครื่องในกระบวนการผลิต (Davies et al., 2013)



ภาพที่ 97 ความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4.7.4 ความต้านทานแรงกดอัด

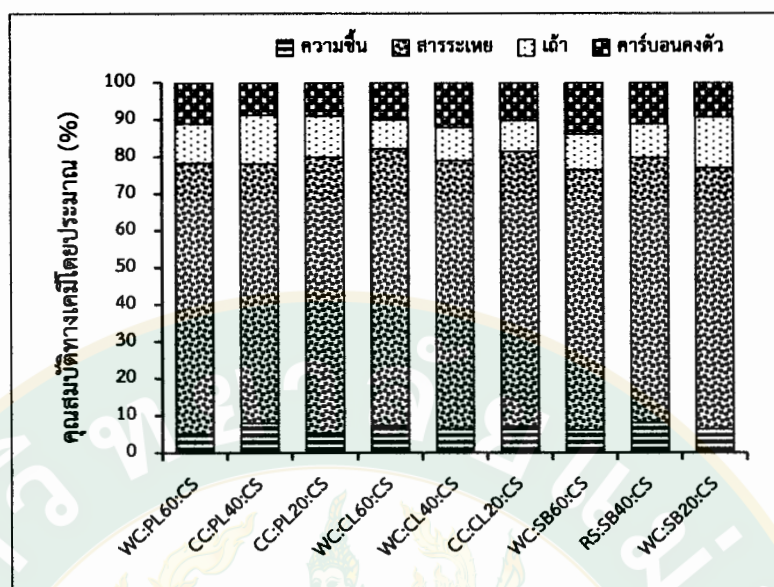
การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยการให้แรงกดไปบริเวณพื้นผิวของตัวอย่างจนมีการแตกร้าวเกิดขึ้น จนเสียรูปทรง โดยค่าความต้านทานแรงกดอัดของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลตามที่มาตรฐานของโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดเชื้อเพลิงอัดแท่งต้องมีค่ามากกว่า 0.3 MPa (Richards, 1990) ผลการทดสอบพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่ง มีความต้านทานต่อแรงกดอัด ผลการทดสอบพบว่า แท่งเชื้อเพลิง BQ1-BQ3 มีค่าความต้านทานแรงกดอัดอยู่ในช่วง 4.05-5.25 MPa เชื้อเพลิงอัดแท่ง BQ4-BQ6 ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.12-4.67 MPa และ BQ7-BQ9 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.59-7.84 MPa ตามลำดับ ดังภาพที่ 98 ทั้งนี้ผลของความต้านทานแรงกดอัดเป็นผลเนื่องจากแรงดันที่กดอัด (Brožek, 2016) นอกจากนี้อุณหภูมิในการอัด ยังส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ต่ำลง เนื่องจากการระเหยของน้ำทำให้แท่งเชื้อเพลิงมีความเปราะ (Cavallo et al., 2017) จำเป็นต้องมีความชื้นจำนวนหนึ่งเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคและแม่พิมพ์ในระหว่างการบดอัดและเพื่อเพิ่มแรงดึงดูดระหว่างอนุภาค



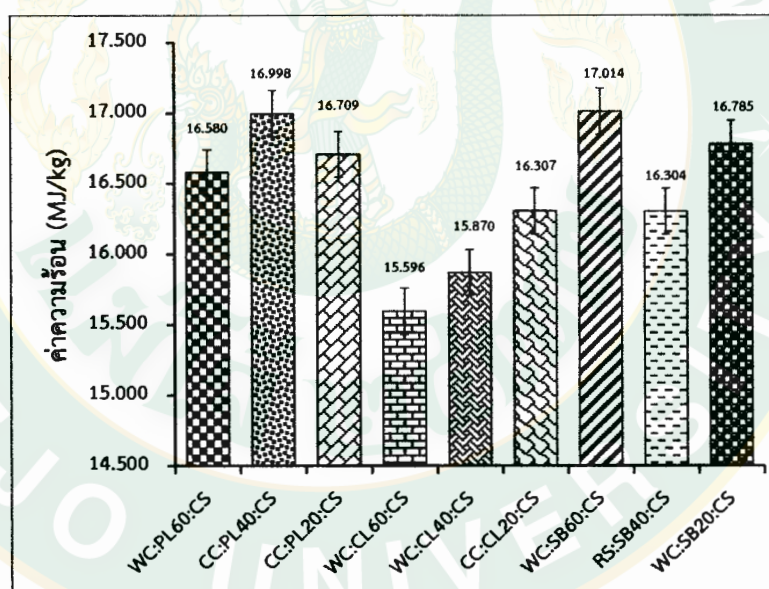
ภาพที่ 98 ความต้านทานแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4.8 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้วิธีการวิเคราะห์โดยประมาณ ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 99 ทุกอัตราส่วนผ่านมาตรฐานตาม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) (BQ1-BQ3) มีปริมาณความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงตัวและเถ้า อยู่ในช่วง 5.12%-7.95%, 70.18%-74.58%, 8.74%-11.13% และ 10.54%-13.13% ตามลำดับ (BQ4-BQ6) อยู่ในช่วง 6.47%-7.48%, 72.48%-74.67%, 10.15%-12.19% และ 7.70%-8.86% และ (BQ7-BQ9) อยู่ในช่วง 6.18%-8.13%, 70.21%-71.59%, 9.43%-13.98% และ 9.00%-13.69% ซึ่งผลคุณสมบัติทางเคมีจะส่งผลต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยนำไปทดสอบวิเคราะห์ 3 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ผลการทดสอบพบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนตัวประสาน 60% ที่จะมีค่าความร้อนสูง เมื่อเทียบกับอัตราส่วนที่เหลือ ยกเว้นตัวประสานทางมะพร้าวที่อัตราส่วน 40% ให้ค่าความร้อนมากกว่า ซึ่งค่าความร้อนเฉลี่ยของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้อยู่ในช่วง 15.59 MJ/kg – 17.01 MJ/kg ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกอัตราส่วน ดังแสดงในภาพที่ 100



ภาพที่ 99 สมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง



ภาพที่ 100 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4.9 ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้ต้นถั่วเหลือง ทางมะพร้าว และทางใบปาล์ม เป็นตัวประสานธรรมชาติ โดยนำเชื้อเพลิงอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วนที่ผ่านการประเมินคุณภาพ และคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งตามมาตรฐานของ ASTM และเกณฑ์ตามคู่มือกรมโรงงานอุตสาหกรรม คัดเลือก

เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผ่านเกณฑ์มาทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้แ่งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 20% ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ, อัตราผลตอบแทนภายใน และระยะเวลาคืนทุน รายละเอียดต่อไปนี้

4.9.1 ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย ประกอบด้วย 1.ต้นทุนค่าวัตถุดิบ (เศษไม้ ฟางข้าว ซังข้าวโพด ทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว ต้นถั่วเหลืองและแ่งมันสำปะหลัง) 2.ต้นทุนค่าไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิง (กระบวนการบดย่อยแบบหยาบ แบบละเอียด และกระบวนการอัดขึ้นรูป) 3.ต้นทุนค่าแรงงาน และ 4. ต้นทุนค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร สมมติฐานในการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 สมมติฐานในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ลำดับ	รายการ	รายละเอียด	หน่วย
1	ชั่วโมงในการใช้งาน	8	h/d
2	จำนวนวันที่ผลิต	340	d/y
3	ราคาค่าไฟฟ้า*	4.4217	Baht/kWh
4	ราคาซื้อมวลหลัก	500.00	Baht/ton
5	ราคาวัสดุประสานธรรมชาติ	500.00	Baht/ton
4	ราคาแ่งมันสำปะหลัง	19.00	Baht/kg
5	ค่าแรงงาน	300.00	Baht/day
6	ราคาขายซื้อมวลอัดแท่ง**	7.00	Baht/kg
7	มูลค่าเครื่องอัดเกลียวรูปกรวย	55,000.00	Baht
8	มูลค่าเครื่องบดย่อยหยาบ	123,000.00	Baht
9	มูลค่าเครื่องบดละเอียด	25,000.00	Baht
10	ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร	6,000	Baht/y
11	อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ***	6.275 (MLR)	%
12	อายุของโครงการ	10	y

ที่มา: * การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2561) ** กิตติกร และคณะ (2558) *** ธนาคารออมสิน (2563)



การวิเคราะห์ต้นทุนการใช้พลังงานทั้งหมดในกระบวนการการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการใช้พลังงานทั้งหมดในกระบวนการ สามารถวิเคราะห์โดยเริ่มจากการใช้พลังงานรวมทั้งหมดในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ประกอบด้วย

● **ต้นทุนวัตถุดิบ**

สำหรับต้นทุนวัตถุดิบแบ่งออกเป็น ต้นทุนค่าชีวมวลหลัก ต้นทุนวัสดุประสานธรรมชาติ และ ต้นทุนวัสดุประสานทั่วไป โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 18 ดังนี้

เงื่อนไขการประเมินต้นทุนวัตถุดิบ

ชีวมวลหลัก: เชื้อเพลิงอัดแท่งทุกอัตราส่วนใช้ชีวมวลหลัก 1,000 g ประเมินราคาแต่ละชนิดดังนี้

- เศษไม้เหลือใช้จากโรงงานผลิตและแปรรูปไม้ ประเมินราคา 500 Baht/ton
- ชังข้าวโพดจากเกษตรกร ประเมินราคา 500 Baht/ton
- ฟางข้าวจากเกษตรกร ประเมินราคา 500 baht/ton

วัสดุประสานธรรมชาติ: เชื้อเพลิงอัดแท่งทุกอัตราส่วนใช้วัสดุประสานธรรมชาติ 200 g, 400 g และ 600 g ประเมินราคาแต่ละชนิดดังนี้

- ทางใบปาล์มจากศูนย์วิจัยพลังงานทดแทน ประเมินราคา 500 Baht/ton
- ทางมะพร้าวจากเกษตรกร ประเมินราคา 500 Baht/ton
- ต้นถั่วเหลืองจากบริษัทลานนาเกษตร ประเมินราคา 500 Baht/ton

วัสดุประสานทั่วไป: เชื้อเพลิงอัดแท่งทุกอัตราส่วนใช้แป้งมันสำปะหลัง 50 g ประเมินราคาดังนี้

- แป้งมันสำปะหลังผลิตภัณฑ์ตรา ปลามังกร ราคากระสอบละ 570 Baht/30kg

ตารางที่ 18 ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน

รายละเอียด	ต้นทุน	ต้นทุนวัสดุ	ต้นทุน	ผลรวม
	ชีวมวลหลัก	ประสาน	แป้งมัน	ต้นทุน
	(Baht/kg)	ธรรมชาติ	สำปะหลัง	วัตถุดิบ
		(Baht/kg)	(baht/kg)	(baht/kg)
WC:CS20 (BQ01)	0.50	-	3.80	4.30
RS:CS20 (BQ02)	0.50	-	3.80	4.30
CC:CS20 (BQ03)	0.50	-	3.80	4.30
WC: PL60: CS5 (BQ1)	0.50	0.30	0.95	1.75
CC: PL40: CS5 (BQ2)	0.50	0.20	0.95	1.65
CC: PL20: CS5 (BQ3)	0.50	0.10	0.95	1.55

ตารางที่ 18 (ต่อ) ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน

รายละเอียด	ต้นทุน ชีวมวลหลัก (Baht/kg)	ต้นทุนวัสดุ ประสาน ธรรมชาติ (Baht/kg)	ต้นทุน แบริ่งมัน สำปะหลัง (baht/kg)	ผลรวม ต้นทุน วัตถุดิบ (baht/kg)
WC: CL60: CS5 (BQ4)	0.50	0.30	0.95	1.75
WC: CL40: CS5 (BQ5)	0.50	0.20	0.95	1.65
CC: CL20: CS5 (BQ6)	0.50	0.10	0.95	1.55
WC: SB60: CS5 (BQ7)	0.50	0.30	0.95	1.75
RS: SB40: CS5 (BQ8)	0.50	0.20	0.95	1.65
WC: SB20: CS5 (BQ9)	0.50	0.10	0.95	1.55

● ต้นทุนไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิง แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการดังต่อไปนี้

กระบวนการในขั้นตอนที่ 1 การใช้พลังงานในกระบวนการการบดย่อยแบบหยาบ โดยใช้เครื่องย่อยพืชสลดขนาดวัสดุชีวมวลให้มีขนาดที่เหมาะสมและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน รุ่น KTL-1000 ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ขนาด 10-16 hp เป็นระบบ Disc Chipper+Hammer Mill มีขนาดกำลังของเครื่อง 8.206 kW เพื่อลดขนาด ทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว และต้นถั่วเหลือง สามารถสรุปการใช้พลังงานและต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงในกระบวนการบดหยาบดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิงในขั้นตอนการบดหยาบ

รายละเอียด	ทางใบปาล์ม	ทางมะพร้าว	ต้นถั่วเหลือง
ผลผลิตที่น้อยได้จากการใช้น้ำมันดีเซล (kg/liter)	43.19	46.74	50.17
ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลต่อหน่วย (baht/ liter)	27.54	27.54	27.54
ต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (baht/kg)	0.6376	0.5892	0.5489

กระบวนการในขั้นตอนที่ 2 การใช้พลังงานในกระบวนการการบดย่อยแบบละเอียด โดยใช้เครื่องบดย่อยอนุภาคผง powder crusher machine รุ่น F-19ZSIII มีมอเตอร์ขนาด 3 hp (2.2 kW) ใช้สำหรับลดขนาดวัสดุชีวมวลให้มีขนาดเฉลี่ย 5-10 mm มีขนาดมอเตอร์ 1.1 kW เพื่อลดขนาดเศษไม้ ฟางข้าว ชังข้าวโพด ทางใบปาล์ม ทางมะพร้าวและต้นถั่วเหลือง ให้มีขนาดตามที่ต้องการ



3590408597

MU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ศึกษา การคิดค่าไฟฟ้าจะคิดตามอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 2 กิจกรรมขนาดเล็ก (อัตราปกติ) แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 22 kV เพราะว่าการผลิตใช้ไฟฟ้าต่อเดือนเกิน 400 หน่วย และเป็นไฟฟ้าขนาด 3 เฟส สามารถสรุปต้นทุนค่าไฟฟ้าในกระบวนการบดละเอียดดังตารางที่ 20 และตารางที่ 21 สรุปปริมาณการใช้และต้นทุนของน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานไฟฟ้าเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน

ตารางที่ 20 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า และต้นทุนไฟฟ้าในขั้นตอนการบดละเอียด

รายละเอียด	เศษไม้	ฟางข้าว	ขังข้าวโพด	ทางใบปาล์ม	ทางมะพร้าว	ต้นกล้วย
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/kg)	0.06	0.05	0.11	0.06	0.05	0.05
ราคาไฟฟ้าต่อหน่วย (baht/kWh)	4.4217	4.4217	4.4217	4.4217	4.4217	4.4217
ต้นทุนไฟฟ้า (baht/kg)	0.2653	0.2211	0.4864	0.2653	0.2211	0.2211

ตารางที่ 21 ปริมาณการใช้และต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า ในขั้นตอนการบดละเอียด

รายละเอียด	ปริมาณผลผลิต ที่ย่อยแบบหยาบ (kg/litter)	ต้นทุนน้ำมัน เชื้อเพลิง (Baht/kg)	ปริมาณการใช้ พลังงานไฟฟ้า (kWh/kg)	ต้นทุน ไฟฟ้า (baht/kg)
WC:CS20 (BQ01)	0.00	0.0000	0.06	0.2653
RS:CS20 (BQ02)	0.00	0.0000	0.05	0.2211
CC:CS20 (BQ03)	0.00	0.0000	0.11	0.4864
WC: PL60: CS5 (BQ1)	43.19	0.6376	0.12	0.5306
CC: PL40: CS5 (BQ2)	43.19	0.6376	0.17	0.7517
CC: PL20: CS5 (BQ3)	43.19	0.6376	0.17	0.7517
WC: CL60: CS5 (BQ4)	46.74	0.5892	0.11	0.4864
WC: CL40: CS5 (BQ5)	46.74	0.5892	0.11	0.4864
CC: CL20: CS5 (BQ6)	46.74	0.5892	0.16	0.7075
WC: SB60: CS5 (BQ7)	50.17	0.5489	0.11	0.4864
RS: SB40: CS5 (BQ8)	50.17	0.5489	0.10	0.4422
WC: SB20: CS5 (BQ9)	50.17	0.5489	0.11	0.4864

กระบวนการในขั้นตอนที่ 3 การใช้พลังงานในกระบวนการสำหรับการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยใช้เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดเกลียวรูปกรวย มีชุดส่งต้นกำลังของเครื่องใช้มอเตอร์ผลิตภัณฑ์ของ Mitsubishi รุ่น Super line ขนาด 5 hp การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 12 ตัวอย่าง มีกำลังการผลิต อัตราการใช้ไฟฟ้าดังตารางที่ 22 สรุปต้นทุนการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการขึ้นรูปได้ดังนี้

ตารางที่ 22 กำลังการผลิต อัตราการใช้พลังงาน และต้นทุนไฟฟ้าในขั้นตอนการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง

รายละเอียด	กำลังการผลิต (kg/h)	ปริมาณการใช้ พลังงานไฟฟ้า (kWh/kg)	ราคาไฟฟ้า ต่อหน่วย (baht/kWh)	ต้นทุน ไฟฟ้า (baht/kg)
WC:CS20 (BQ01)	38.4700	0.1292	4.4217	0.5713
RS:CS20 (BQ02)	20.2850	0.2015	4.4217	0.8910
CC:CS20 (BQ03)	30.1592	0.1587	4.4217	0.7017
WC: PL60: CS5 (BQ1)	7.2459	0.0336	4.4217	0.1485
CC: PL40: CS5 (BQ2)	6.5181	0.0316	4.4217	0.1399
CC: PL20: CS5 (BQ3)	6.5226	0.0451	4.4217	0.1995
WC: CL60: CS5 (BQ4)	4.1615	0.0567	4.4217	0.2509
WC: CL40: CS5 (BQ5)	4.2203	0.0497	4.4217	0.2198
CC: CL20: CS5 (BQ6)	4.1930	0.0673	4.4217	0.2976
WC: SB60: CS5 (BQ7)	6.2990	0.0509	4.4217	0.2252
RS: SB40: CS5 (BQ8)	4.0201	0.1071	4.4217	0.4736
WC: SB20: CS5 (BQ9)	4.0988	0.0904	4.4217	0.3995

จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ในกระบวนการย่อยแบบหยาบ แบบละเอียด และกระบวนการอัดขึ้นรูป ดังแสดงในตารางดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปต้นทุนค่าไฟฟ้างานที่ 23

ตารางที่ 23 สรุปต้นทุนพลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

รายละเอียด	ต้นทุนน้ำมันใน ขั้นตอน บดหยาบ (Baht/kg)	ต้นทุนไฟฟ้าใน ขั้นตอน บดละเอียด (Baht/kg)	ต้นทุนไฟฟ้าใน ขั้นตอน การอัดขึ้นรูป (Baht/kg)	ผลรวม ต้นทุน ไฟฟ้า (Baht/kg)
WC:CS20 (BQ01)	0.0000	0.2653	0.5713	0.8366
RS:CS20 (BQ02)	0.0000	0.2211	0.8910	1.1121
CC:CS20 (BQ03)	0.0000	0.4864	0.7017	1.1881
WC: PL60: CS5 (BQ1)	0.6376	0.5306	0.1485	1.3167
CC: PL40: CS5 (BQ2)	0.6376	0.7517	0.1399	1.5292
CC: PL20: CS5 (BQ3)	0.6376	0.7517	0.1995	1.5889
WC: CL60: CS5 (BQ4)	0.5892	0.4864	0.2509	1.3265
WC: CL40: CS5 (BQ5)	0.5892	0.4864	0.2198	1.2954
CC: CL20: CS5 (BQ6)	0.5892	0.7075	0.2976	1.5943
WC: SB60: CS5 (BQ7)	0.5489	0.4864	0.2252	1.2605
RS: SB40: CS5 (BQ8)	0.5489	0.4422	0.4736	1.4647
WC: SB20: CS5 (BQ9)	0.5489	0.4864	0.3995	1.4348

● ต้นทุนค่าแรงงาน

แรงงานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ อัดขึ้นรูป ตากแดดลดความชื้น ตัดชีวมวล จำนวน 1 คน ทำงานทั้งหมด 8 h/d จำนวนวันที่ผลิต 340 d/y โดย อัตราค่าจ้างวันละ 300 Baht/kg รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ต้นทุนค่าแรงในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

รายละเอียด	กำลังการผลิต (kg/h)	ชั่วโมงการทำงาน (Baht/kg)	จำนวนวันผลิต (d/y)	ค่าแรงงาน (Baht/kg)	ผลรวมต้นทุน แรงงาน (Baht/kg)
WC:CS20 (BQ0)	38.4700	8	340	300	1.0259
RS:CS20 (BQ02)	20.2850	8	340	300	0.5409

ตารางที่ 24 (ต่อ) ต้นทุนค่าแรงในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

รายละเอียด	กำลังการผลิต (kg/h)	ชั่วโมงการทำงาน (Baht/kg)	จำนวนวันผลิต (d/y)	ค่าแรงงาน (Baht/kg)	ผลรวมต้นทุน (Baht/kg)
CC:CS20 (BQ03)	30.1592	8	340	300	0.8042
WC: PL60: CS5 (BQ1)	7.2459	8	340	300	0.1932
CC: PL40: CS5 (BQ2)	6.5181	8	340	300	0.1738
CC: PL20: CS5 (BQ3)	6.5226	8	340	300	0.1739
WC: CL60: CS5 (BQ4)	4.1615	8	340	300	0.1110
WC: CL40: CS5 (BQ5)	4.2203	8	340	300	0.1125
CC: CL20: CS5 (BQ6)	4.1930	8	340	300	0.1118
WC: SB60: CS5 (BQ7)	6.2990	8	340	300	0.1680
RS: SB40: CS5 (BQ8)	4.0201	8	340	300	0.1072
WC: SB20: CS5 (BQ9)	4.0988	8	340	300	0.1093

● ต้นทุนค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร

ในการคำนวณต้นทุนค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร โดยประเมินต้นทุนตามกำลังการผลิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วนที่ได้ต่อปี ค่าใช้จ่ายเดือนละ 500 Baht คิดเป็นปีละ 6,000 Baht ใช้สำหรับการเปลี่ยนลูกปืนกระบอกอัด สายพาน การบำรุงดูแลชุดเกลียวอัด เติมน้ำมันหล่อลื่น รวมไปถึงการทำความสะอาดเครื่อง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 25 ดังนี้

ตารางที่ 25 ต้นทุนค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

รายละเอียด	กำลังการผลิต (kg/y)	ค่าบำรุงรักษา เครื่อง(Baht/y)	ผลรวมต้นทุนค่าบำรุงเครื่อง (Baht/kg)
WC:CS20 (BQ01)	38.4700	6,000	0.0573
RS:CS20 (BQ02)	20.2850	6,000	0.1087
CC:CS20 (BQ03)	30.1592	6,000	0.0731
WC: PL60: CS5 (BQ1)	7.2459	6,000	0.3044
CC: PL40: CS5 (BQ2)	6.5181	6,000	0.3384

ตารางที่ 25 (ต่อ) ต้นทุนค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

รายละเอียด	กำลังการผลิต (kg/y)	ค่าบำรุงรักษา เครื่อง(Baht/y)	ผลรวมต้นทุนค่าบำรุงเครื่อง (Baht/kg)
CC: PL20: CS5 (BQ3)	6.5226	6,000	0.3382
WC: CL60: CS5 (BQ4)	4.1615	6,000	0.5301
WC: CL40: CS5 (BQ5)	4.2203	6,000	0.5227
CC: CL20: CS5 (BQ6)	4.1930	6,000	0.5261
WC: SB60: CS5 (BQ7)	6.2990	6,000	0.3502
RS: SB40: CS5 (BQ8)	4.0201	6,000	0.5487
WC: SB20: CS5 (BQ9)	4.0988	6,000	0.5382

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อหน่วย

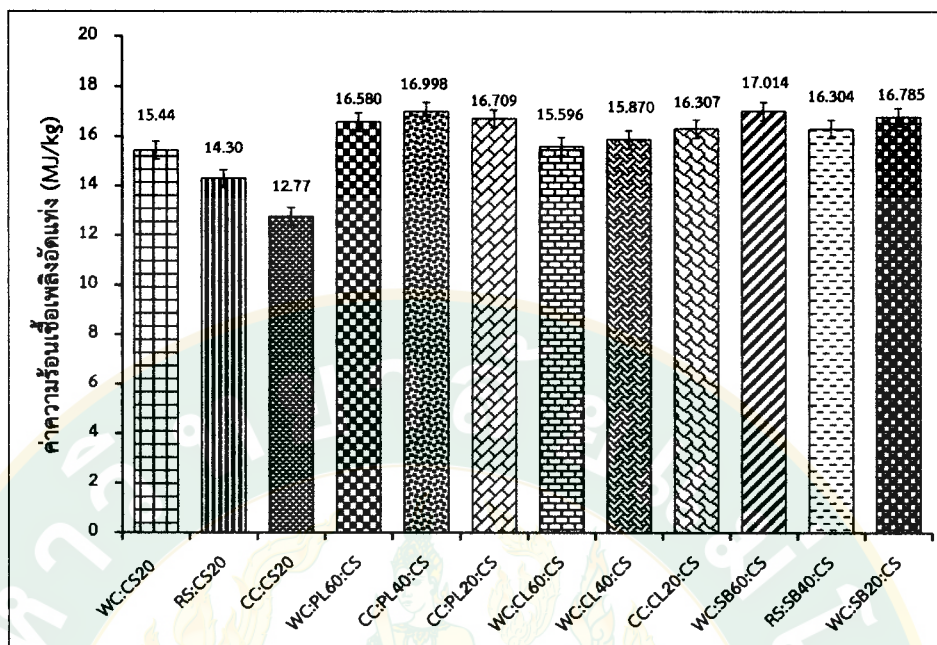
จากข้อมูลการพิจารณาวิเคราะห์เงินทุนจะประกอบไปด้วย ต้นทุนคงที่ ได้แก่ เครื่องบดย่อยเชื้อเพลิงใช้เครื่องยนต์ดีเซล ขนาด 10 hp พร้อมชุดตัดบดวัสดุเหลือทิ้ง ราคา 123,000 Baht ชุดเครื่องอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิง ใช้กำลังมอเตอร์ไฟฟ้า 5 hp ราคา 80,000 Baht รวมเป็นต้นทุนคงที่ 203,000 บาท ต้นทุนแปรผันวัตถุดิบ (เศษไม้ ฟางข้าว ชังข้าวโพด ทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว ต้นถั่วเหลือง และแยมันสำปะหลัง) ต้นทุนค่าไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิง ต้นทุนค่าแรงงาน และต้นทุนค่าบำรุงเครื่องจักร เพื่อนำมาประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ ผลการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 9 ตัวอย่าง มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วย 3.5644, 3.6914, 3.6510, 3.7175, 3.5806, 3.7822, 3.5287, 3.7706, 3.6323 Baht/kg เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อหน่วยเมื่อใช้เศษไม้ ฟางข้าว และชังข้าวโพดผสมตัวประสานแยมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวในอัตราส่วน 20% มีราคาต้นทุนการผลิต 6.2198, 6.0617, 6.3655 Baht/kg ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 26 ในขณะเดียวกันงานวิจัยของ (ภาสินี, 2563) มีต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 6.3087 baht/kg จะเห็นได้ว่าการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้อัตราส่วนตัวประสานในปริมาณที่มากจะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตต่อหน่วยที่สูงเช่นกัน แต่เมื่อนำวัสดุตัวประสานธรรมชาติ ทั้งสามชนิดได้แก่ ทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว และต้นถั่วเหลือง มาใช้เพื่อลดอัตราส่วนแยมันสำปะหลังสามารถลดต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งลงได้ 2.5023, 2.2795 และ 2.5949 Baht/kg คิดเป็น 40.23, 37.60 และ 40.76% ตามลำดับ ในด้านความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อเพิ่มตัวประสานธรรมชาติในการผลิต จากเศษไม้ ฟางข้าว และชังข้าวโพด มีค่าความร้อนเฉลี่ย 15.44, 14.30 และ 12.77 MJ/kg ตามลำดับ ดังภาพที่ 101 เมื่อเพิ่มตัวประสานธรรมชาติเข้าไปในการผลิต ทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว และต้นถั่วเหลือง



พบว่าค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 7.38, 14.01 และ 33.11% ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากค่าความร้อนของตัวประสานที่เพิ่มในกระบวนการผลิต เมื่อเปรียบเทียบกับมวลหลักทั้ง 3 ชนิด ซึ่งเศษไม้ใช้ตัวประสานธรรมชาติทางใบปาล์ม และต้นถั่วเหลืองดีที่สุดในที่ 60% ฟางข้าวใช้กับต้นถั่วเหลืองเท่านั้นที่ 40% และซังข้าวโพดใช้ทางใบปาล์ม 40% เมื่อพิจารณาในด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมแล้ว ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง WC: PL60: CS5 (BQ1), CC: PL40: CS5 (BQ2), CC: PL20: CS5 (BQ3), WC: CL40: CS5 (BQ5), WC: SB60: CS5 (BQ7) มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำและให้ค่าความร้อนสูง จึงเหมาะแก่การนำไปใช้งาน

ตารางที่ 26 ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน

รายละเอียด	ต้นทุน วัตถุดิบ (Baht/kg)	ต้นทุนไฟฟ้า น้ำมัน เชื้อเพลิง (Baht/kg)	ต้นทุน แรงงาน (Baht/kg)	ต้นทุน บำรุงรักษา เครื่อง (Baht/kg)	ต้นทุนการ ผลิตต่อ หน่วย (Baht/kg)
WC:CS20 (BQ01)	4.30	0.8366	1.0259	0.0573	6.2198
RS:CS20 (BQ02)	4.30	1.1121	0.5409	0.1087	6.0617
CC:CS20 (BQ03)	4.30	1.1881	0.8042	0.0731	6.3655
WC: PL60: CS5 (BQ1)	1.75	1.3167	0.1932	0.3044	3.5644
CC: PL40: CS5 (BQ2)	1.65	1.5292	0.1738	0.3384	3.6914
CC: PL20: CS5 (BQ3)	1.55	1.5889	0.1739	0.3382	3.6510
WC: CL60: CS5 (BQ4)	1.75	1.3265	0.1110	0.5301	3.7175
WC: CL40: CS5 (BQ5)	1.65	1.2954	0.1125	0.5227	3.5806
CC: CL20: CS5 (BQ6)	1.55	1.5943	0.1118	0.5261	3.7822
WC: SB60: CS5 (BQ7)	1.75	1.2605	0.1680	0.3502	3.5287
RS: SB40: CS5 (BQ8)	1.65	1.4647	0.1072	0.5487	3.7706
WC: SB20: CS5 (BQ9)	1.55	1.4348	0.1093	0.5382	3.6323



ภาพที่ 101 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อเปลี่ยนตัวประสานธรรมชาติ

4.9.2 ระยะเวลาในการคืนทุน

การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน ผู้วิจัยกำหนดการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งร้อยละ 90 มีเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ จะยอมรับโครงการเมื่อ PB น้อยกว่าหรือเท่ากับระยะเวลาคืนทุนเป้าหมาย ดังนั้นการวิเคราะห์ระยะเวลาในการคืนทุนภายใต้พารามิเตอร์ ต้นทุนการผลิต (Baht/y) และรายได้สุทธิ (Baht/y) โดยรายได้สุทธิตามสมการที่ 14

ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาในการคืนทุนดังแสดงในตารางที่ 26 จะเห็นว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 9 ตัวอย่างมีระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 4.04, 4.58, 4.51, 6.60, 6.22, 6.71, 4.43, 6.92, 6.49 y ตามลำดับ ในส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษไม้ ฟางข้าว ชังข้าวโพดที่ผสมแยมันสำปะหลังในอัตราส่วน 20% มีระยะเวลาคืนทุน 10.46, 10.38, 13.93 y ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าระยะเวลาของโครงการจึงไม่เหมาะแก่การลงทุน เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูงแต่รายได้จากการขายต่ำกว่า ส่งผลให้รายได้สุทธิ และระยะเวลาในการคืนทุนใช้เวลานาน ดังนั้นจึงควรลดอัตราส่วนในการใช้ตัวประสานแยมันสำปะหลัง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ระยะเวลาในการคืนทุนของเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน

รายละเอียด	ต้นทุน คงที่ (Baht)	ต้นทุนผัน แปร (Baht/y)	รายได้จาก การขาย (Baht/y)	รายได้สุทธิ (Baht/y)	ระยะเวลา คืนทุน (y)
WC:CS20 (BQ01)	203,000	650,829.15	732,468.80	81,639.65	10.46
RS:CS20 (BQ02)	203,000	334,457.46	386,226.40	51,768.94	10.38
CC:CS20 (BQ03)	203,000	522,181.00	574,231.17	52,050.17	13.93
WC: PL60: CS5 (BQ1)	203,000	70,250.34	137,961.97	67,711.63	4.04
CC: PL40: CS5 (BQ2)	203,000	65,446.88	124,105.45	58,658.57	4.58
CC: PL20: CS5 (BQ3)	203,000	64,774.05	124,190.19	59,416.14	4.51
WC: CL60: CS5 (BQ4)	203,000	42,079.54	79,234.78	37,155.24	6.60
WC: CL40: CS5 (BQ5)	203,000	41,102.15	80,354.10	39,251.95	6.22
CC: CL20: CS5 (BQ6)	203,000	43,136.19	79,834.72	36,698.53	6.71
WC: SB60: CS5 (BQ7)	203,000	60,458.16	119,933.05	59,474.89	4.43
RS: SB40: CS5 (BQ8)	203,000	41,230.58	76,542.60	35,312.02	6.92
WC: SB20: CS5 (BQ9)	203,000	40,495.25	78,040.49	37,545.24	6.49

4.9.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายใน

การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ เป็นหลักการตัดสินใจที่แสดงว่าโครงการมีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจและการเงินหรือไม่ เกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ การลงทุนโครงการให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าเมื่อ $NPV \geq 0$ และไม่คุ้มค่าเมื่อ $NPV < 0$ ผลการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งทุกอัตราส่วนมีค่ามากกว่า 0 อยู่ในช่วง 55,672.59–293,010.85 Baht ในส่วนของอัตราผลตอบแทนภายในมีเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ การลงทุนโครงการให้ผลตอบแทน ที่คุ้มค่าเมื่อ $IRR \geq$ ต้นทุนของเงินทุนของโครงการ และ ไม่คุ้มค่าเมื่อ $IRR <$ ต้นทุนของเงินทุนของโครงการ โดยงานวิจัยนี้ กำหนดให้ต้นทุนเงินลงทุนของโครงการเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารพาณิชย์ ผลการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายในของเชื้อเพลิงอัดแท่งทุกอัตราส่วนมากกว่าอัตราดอกเบี้ย มีค่าอยู่ในช่วง 11.58–31.14% แสดงว่าการลงทุนของโครงการมีความคุ้มค่า

ดังนั้นผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติ ที่อัตราส่วน WC: PL60: CS5 (BQ1), CC: PL40: CS5 (BQ2), WC: SB60: CS5 (BQ7) มีต้นทุนในการ



3590406597

MTU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ผลิตที่ต่ำ ให้ค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในสูง จึงเหมาะแก่การเลือกไปใช้งาน
รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 สรุปผลการประเมินเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

รายละเอียด	ต้นทุนการผลิต (Baht/y)	ระยะเวลาในการคืนทุน (y)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Baht)	อัตราผลตอบแทนภายใน (%)	ผลการวิเคราะห์
WC:CS20 (BQ01)	6.22	10.46	139,962.38	38.69	ไม่น่าลงทุน
RS:CS20 (BQ02)	6.06	10.38	136,674.02	22.02	ไม่น่าลงทุน
CC:CS20 (BQ03)	6.37	13.93	281,519.26	22.18	ไม่น่าลงทุน
WC: PL60: CS5 (BQ1)	3.56	4.04	293,010.85	31.14	น่าลงทุน
CC: PL40: CS5 (BQ2)	3.69	4.58	226,694.08	26.04	น่าลงทุน
CC: PL20: CS5 (BQ3)	3.65	4.51	232,243.58	26.47	น่าลงทุน
WC: CL60: CS5 (BQ4)	3.72	6.60	95,265.36	15.17	น่าลงทุน
WC: CL40: CS5 (BQ5)	3.58	6.22	84,533.94	14.22	น่าลงทุน
CC: CL20: CS5 (BQ6)	3.78	6.71	65,829.26	12.52	น่าลงทุน
WC: SB60: CS5 (BQ7)	3.53	4.43	232,673.89	26.51	น่าลงทุน
RS: SB40: CS5 (BQ8)	3.77	6.92	55,672.59	11.58	น่าลงทุน
WC: SB20: CS5 (BQ9)	3.63	6.49	72,031.72	13.09	น่าลงทุน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษไม้ ฟางข้าว และซังข้าวโพด โดยใช้ทางมะพร้าว ต้นถั่วเหลือง และทางใบปาล์ม เป็นตัวประสานร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วน 100%: 20, 40, 60%: 1, 5, 10% โดยน้ำหนัก จากการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การนำเอาชีวมวลทั้ง 3 ชนิด มาใช้เป็นตัวประสานธรรมชาติในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยวิธีการอัดแบบเย็น เมื่อใช้ทางใบปาล์มและต้นถั่วเหลืองเป็นตัวประสานธรรมชาติ ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปต่ำ เนื้อชีวมวลมีความเหนียว สามารถยึดเกาะกับชีวมวลหลักได้ทุกชนิด เมื่อวิเคราะห์คุณภาพ โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิง พบว่ามีความแข็งแรง คงทน บริเวณผิวสัมผัสเรียบเนียน พื้นที่หน้าตัดเนื้อชีวมวลยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ส่งผลต่อคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และให้แท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ทางใบปาล์มเป็นตัวประสานธรรมชาติ มีกำลังการผลิตสูงสุด ในขณะที่เมื่อใช้ทางมะพร้าวเป็นตัวประสานธรรมชาติ การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจะต้องใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปนาน เมื่อนำไปผสมกับชีวมวลหลักทั้งสามชนิด สามารถขึ้นรูปได้ แต่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของคุณสมบัติที่ดีบางอัตราส่วน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเพื่อที่จะเลือกนำไปใช้งานทั้งสามชนิดสามารถเป็นตัวประสานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ ขึ้นอยู่กับความสะดวกของการนำไปใช้ในแต่ละพื้นที่

2. การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวรูปเกลียว ซึ่งเป็นเครื่องที่มีแรงดันต่ำ ตัวแปรที่มีผลต่อการผลิต ประกอบด้วย ชนิดและขนาดของตัวประสานธรรมชาติ สัดส่วนแป้งมันสำปะหลัง ขนาดของชีวมวลหลัก แรงดันและอุณหภูมิในการขึ้นรูป

- ชนิดของตัวประสานสามารถนำมาใช้งานได้ทั้งหมด ซึ่งขนาดชีวมวลหลักและตัวประสานธรรมชาติที่นำมาใช้งานที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1–3 mm อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 5% แรงดันที่ใช้ในการกดอัด ที่ส่งผลต่อคุณภาพเชื้อเพลิงอัดแท่ง เมื่อใช้ทางใบปาล์ม มีค่าแรงดันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 65.84–80.81 kg/cm² ทางมะพร้าว มีค่าแรงดันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 41.51–72.30 kg/cm² และต้นถั่วเหลือง มีค่าแรงดันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 73.14–100.08 kg/cm² อุณหภูมิที่เหมาะสม ในการขึ้นรูปอยู่ในช่วง 70–80 °C (ที่ผิวระบอบอัด)

3. แรงดันที่ใช้ในการกดอัดจะทำให้โครงสร้างชีวมวลจะถูกทำลาย เกิดการแตกหัก ถูกบีบอัดให้พันธะระหว่างอนุภาคให้มีขนาดเล็กลง ประกอบกับอุณหภูมิที่ส่งผลให้ลิกนินของชีวมวลละลายทำให้โครงสร้างของอนุภาคระหว่างชีวมวลหลัก วัสดุประสานธรรมชาติ และแป้งมันสำปะหลังยึดเกาะเป็นแท่งเนื้อเดียวกัน

4. แท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM และเกณฑ์ตามคู่มือกรมโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ประกอบด้วย WC:PL60:CS5 (BQ1), CC:PL40:CS5 (BQ2), CC:PL20:CS5 (BQ3), WC:CL60:CS5 (BQ4), WC:CL40:CS5 (BQ5), CC:CL20:CS5 (BQ6), WC:SB60:CS5 (BQ7), RS:SB40:CS5 (BQ8) และ WC:SB20:CS5 (BQ9)

ในด้านคุณสมบัติทางกายภาพ และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

- คุณสมบัติทางกายภาพ

- ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง BQ1-BQ9 อยู่ในช่วง 882.60–1,160.65 kg/m³ ดัชนีการแตกร่วน มีค่าอยู่ในช่วง 90.02–99.09% ความต้านทานน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 90.26–95.86% และความต้านทานแรงกดอัด มีค่าอยู่ในช่วง 3.12–7.84 MPa

- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง มีค่าอยู่ในช่วง 15.596–17.014 MJ/kg ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากเศษไม้ ฟางข้าว และซังข้าวโพดผสมอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง 20% มีค่าความร้อนเฉลี่ย 15.44, 14.30 และ 12.77 MJ/kg เมื่อเพิ่มตัวประสานธรรมชาติ ทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 7.38, 14.01 และ 33.11% ตามลำดับ

5. การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย อยู่ในช่วง 3.53–3.78 Baht/kg เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เศษไม้ ฟางข้าว และซังข้าวโพดผสมแป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวที่ 20% สามารถลดต้นทุนในการผลิตต่อหน่วย 2.5023, 2.2795 และ 2.5949 Baht/kg คิดเป็น 40.23, 37.60 และ 40.76% ตามลำดับ ระยะเวลาคืนทุน อยู่ในช่วง 4.04–6.92 y มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อยู่ในช่วง 72,031.72–293,010.85 Baht และอัตราผลตอบแทนภายใน อยู่ในช่วง 11.58–31.14%

จากผลการศึกษาที่ได้กล่าวมาในข้างต้น ในการพิจารณาเลือกเชื้อเพลิงอัดแท่งตามลักษณะการนำไปใช้งานในด้านความร้อนสามารถเลือกใช้ทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ขึ้นอยู่กับศักยภาพชีวมวลแต่ละพื้นที่ ซึ่งจากการประเมินในงานวิจัยนี้พบว่า ชีวมวลประเภทเศษไม้ เหมาะที่จะใช้ตัวประสานธรรมชาติชนิดทางใบปาล์มและต้นถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 60% ชีวมวลประเภทฟางข้าวเหมาะที่จะใช้ต้นถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 40% และชีวมวลประเภทซังข้าวโพดเหมาะที่จะใช้ทางใบปาล์ม 40% โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน WC:PL60:CS5 (BQ1), CC:PL40:CS5 (BQ2), CC:PL20:CS5 (BQ3), และ WC:SB60:CS5 (BQ7) มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ มูลค่าปัจจุบันสุทธิและให้อัตราผลตอบแทนภายในสูง จึงเหมาะแก่การนำไปใช้งาน และนำไปปรับใช้กับชีวมวลประเภทอื่นได้

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากงานวิจัยนี้มีการใช้วัสดุประสานธรรมชาติเพียง 3 ชนิด และพบว่าชนิดของตัวประสานธรรมชาติมีผลต่อกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับชีวมวลประเภทอื่น ๆ ให้ครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่ เพื่อสะดวกต่อการนำไปใช้งาน
2. เครื่องอัดที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นเครื่องแรงดันต่ำทำให้การใช้ตัวประสานแป้งมันสำปะหลังในปริมาณที่สูง ส่งผลทางด้านต้นทุนการผลิต ดังนั้นจึงควรมีการนำตัวประสานธรรมชาติชนิดอื่น ๆ ตามความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่มาประยุกต์ใช้ โดยมีลักษณะทางพันธุศาสตร์ใกล้เคียงกัน ยกตัวอย่าง เช่น ต้นถั่วลิสง ทั้งนี้เพื่อเป็นการช่วยกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เพื่อลดการกำจัดที่ผิดวิธี



359040587

MU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

บรรณานุกรม

- A Singh and Singh., Y. 1982. Briquetting of paddy straw. **Agricultural Mechanization in Asia**, 13, 42-44.
- Alibaba.com Freight. ม.ป.ป. ดินเหนียวเบนโทไนท์. [Online]. Available
<https://thai.alibaba.com/product-detail/bentonite-clay-50032510230.html>
(28 March 2019).
- Arewa, E. Magnus., Daniel, C. Ini. and Kuye, A.Y. 2016. Characterisation and comparison of rice husk briquettes with cassava peels and cassava starch as binders. **Biofuels**, 7(6), 671-675.
- ASTM ASTM Standard. **D1762-84. 2007**. Standard test method for Chemical Analysis of Wood Charcoal analysis sample.
- ASTM Standard. **D3174. 1997**. Standard test method for Ash in the analysis sample.
- ASTM Standard. **D3175. 1997**. Standard test method for Volatile matter in the analysis sample.
- ASTM Standard. **D3177. 1997**. Standard test method for Heating value in the analysis sample.
- Balat, M., Balat, H. and Öz, C. 2008. Progress in bioethanol processing. **Progress in Energy and Combustion Science**, 34(5), 551-573.
- Bech, Niels, Jensen, Peter Arendt and Dam-Johansen, Kim. 2009. Determining the elemental composition of fuels by bomb calorimetry and the inverse correlation of HHV with elemental composition. **Biomass and Bioenergy**, 33(3), 534-537.
- Bhattacharya, S. C., Ram, M. Sivasakthy. and Shrestha, S.1998. State of The Art for Biocoal Technology. **Biocoal Project**.
- Bhattacharya, S.C. and Ram M.S. 1990. **Biocoal technology and economics**. Bangkok : Regional Energy Resources Information Center, Asia Institute of Technology.

- BP p.l.c. 2019. 2019. **BP Statistical Review of World Energy 2019 | 68th edition** [Online].
 Available <http://Centre for Energy Economics Research and Policy, statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf> (7 March 2018).
- Brožek, M.L. 2016. The Effect of Moisture of the Raw Material on the Properties Briquettes for Energy Use. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 64, 1453-1458.
- Cangzhou BaoLaiDa. ม.ป.ป. **ซีฟิ่งพาราฟินบริสุทธิ์ 54/56**. [Online]. Available <http://th.supper-chem.com/wax/54-56-full-refined-paraffin-wax.html> (8 March 2018).
- Cavallo, E.G. and Pampuro, N.C. 2017. Effects of Compressing Pressure on Briquettes Made from Woody Biomass **CHEMICAL ENGINEERING**, 58, 517-522.
- Chen, W.H., Peng, J. and Bi, X.T. A. 2015. A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 44(2015), 847-866.
- Chinnappan, B.K., Shikha. B.K. and Ranjit S. Dhillonhikha. (2012). Effect of Temperature of th Die In **Biomass Conversion : The Interface of Biotechnology, Chemistry and Materials Science**, 108.
- Davies, R. M. and Davies, O. A. 2013. Physical and Combustion Characteristics of Briquettes Made from Water Hyacinth and Phytoplankton Scum as Binder. **Journal of Combustion**, 2013(7).
- Demirbas, A. 2007. Effects of Moisture and Hydrogen Content on the Heating Value of Fuels. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, 29(7), 649-655.
- Demirbaş, A. 2009. Pyrolysis Mechanisms of Biomass Materials. **Energy Sources Part A-recovery Utilization and Environmental Effects**, 31, 1186-1193.
- Deniz, Vedat. 2013. Production of Water-Resistant Briquettes from a Mixture of an Imported Bituminous Coal and a Turkish Lignite with Copolymer Binder. **International Journal of Coal Preparation and Utilization**, 33.



359040587

MTU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

- Eriksson, S. and Prior, M. 1990. **FAO: The briquetting of agricultural wastes for fuel: environment and energy paper.**
- Fitzgerald, O.A. 1980. **Wood Waste Magic. Timer information. American Ingenuity and ddric.**
- Fuchs, D.N. 2014. **Processed densified biomass fuel-briquetting.** [Online]. Available <https://energypedia.info/wiki/File:Figure> (8 March 2019).
- Garrido, A., Maria, Juan, A. Conesa. and Garcia, D. Maria. 2017. Characterization and Production of Fuel Briquettes Made from Biomass and Plastic Wastes. **Energies**, 10(850), 1-12.
- General Kinematics Corporation. 2017. **What Is a Biomass Briquette?.** [Online]. Available <https://www.generalkinematics.com/blog/turning-waste-energy-biomass-briquettes/> (8 March 2018)
- George, T., Prabhu, S.R., Reeny, M. and Bopaiah, B. 1998. Evaluation of lignocellulosic biomass from coconut palm as substrate for cultivation of *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Singer. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, 14, 879-882.
- Glazer, A.N. and Nikai, H. 2007. **Microbial Biotechnology: Fundamentals of applied Microbiology.** [Online]. Available https://www.academia.edu/9033605/MICROBIAL_BIOTECHNOLOGY_Fundamentals_of_Applied_Microbiology_Second_Edition (8 March 2019).
- Han, C.J., Zhan, T.Y., Xu, J.M., Jiang, J.H. and Lu, J.X. 2015. Process Optimization for Multi-Veneer Hot-Press Drying. **Drying Technology**, 33.
- Jay Hhodiya Machine Tools. 2019. **Briquetting Plant.** [Online]. Available <http://jkbriquettes.com/> (8 March 2019).
- Jittabut, P. 2015. Physical and Thermal Properties of Briquette Fuels from Rice Straw and Sugarcane Leaves by Mixing Molasses. **Energy Procedia**, 79, 2-9.
- Kaliyan, N. and Morey, R. 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. **Biomass and Bioenergy**, 33, 337-359.
- Karchesy, J and Koch, P. (1979). **Energy production from hard woods growing on southern pine sites.**

- Kaur, A.J., Kumar, A.V., Singh, P.N.P. and Kundu, K.N.D. 2017. Production, Analysis and Optimization of Low Cost Briquettes from Biomass Residues. **Advances in Research**, 12, 1-10.
- Kers, J., Kulua, P., Aruniita A., Laurmaaa, V.T., Križanb, P.T., Šoošb, L.B. and Kask, Ü.I. 2010. Determination of physical, mechanical and burning characteristics of polymeric waste material briquettes **Journal of Engineering**, 16(4), 307-316.
- Kong, L., Xiong, Y., Tian, S., Li, Z., Liu, T. and Luo, R. 2013. Intertwining action of additional fiber in preparation of waste sawdust for biofuel pellets. **Biomass and Bioenergy**, 59, 151-157.
- Križan, P.T. 2007. Research of factors influencing the quality of wood briquets. **Acta Montanistica Slovaca**, 12.
- Križan, P.T., Svátek, M.C., Matúš, M.L. and Beniák, J.R. 2014. Impact of Pressing Temperature on the Pressing Conditions in Briquetting Machine Pressing Chamber. **Journal of Production Engineering ISSN 1821-4932**, 17, 79-82.
- Križan, P.T., Svátek, M.C., Matúš, M.L., Beniák, J.R. and Lisý, M.T. 2014. **Determination of compacting pressure and pressing temperature impact on biomass briquettes density and their mutual interactions.**
- Leach, H.W., McCowen, L.D. and Schoch, T.J. 1959. Structure of the starch granule I Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, 36, 534-544.
- Limsangouan, N.P., Prasert, W.R.P., Charunuch, C.L.L., Butsuwan, P.S. and Srichayet, P.S.M. 2018. Effect of Storage Conditions on Retrogradation, Physical and Chemical Properties Changing of Extruded Rice and Soy Snack. **Science and technology**, 26(4), 575-587.
- Malherbe, S. and Cloete, T.E. 2002. Lignocellulose biodegradation: fundamentals and applications. **Environmental Science and Biotechnology**, 1, 105-114.
- Mallika Thabuot, Thanchanok Pagketanang, Kasidet Panyacharoen, Pisit Mongkut and Wongwicha, Prasong. 2015. **Effect of Applied Pressure and Binder Proportion on the Fuel Properties of Holey Bi-o Briquettes.**



3590406597

MTU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

- MAXTON ENGINEERING. 2019. **The principle of biomass briquetting and bio briquette process**. [Online]. Available <http://briquettemachine.com/the-principle-biomass-briquetting-and-bio-briquette-process/> (9 March 2018).
- Mohagheghi, A., Evans, K., Chou, Y.C. and Zhang, M. 2002. Cofermentation of Glucose, Xylose, and Arabinose by Genomic DNA–Integrated Xylose/Arabinose Fermenting Strain of *Zymomonas mobilis* AX101. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, 98-100, 885-898.
- Mohan, Dinesh, Pittman, Charles and Steele, Philip. 2006. Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-Oil: A Critical Review. **Energy**, 20, 848-889.
- Musa, Nicholas. 2006. Fuel characteristics of some selected biomass briquettes. **Int. J. Sci. Technol. Res**, 3, 193-201.
- Mwinuka, T. E. 2015. Effects of Process Parameters on the Density and Durability of Biomass Briquettes Made from Wet Method. **international journal of engineering research and development**, 11, 2278-2800.
- Nat Thuchayapong and Intagun, Weeranut. 2015. The physical of sawdust briquette and the thermal performance of biomass briquette stove. **Research and knowledge**, 2(1), 63-64.
- Noorshamsiana, A.W. 2018. A review on extraction processes of lignocellulosic chemicals from oil palm biomass. **Journal of Oil Palm Research**, 29, 512-527.
- Núñez-Regueira, Lisardo, Rodríguez-Añón, Jose A., Proupín-Castiñeiras, Jorge, Vilanova-Diz, A. and Montero-Santoveña, N. 2001. Determination of calorific values of forest waste biomass by static bomb calorimetry. **Thermochimica Acta**, 371(1), 23-31.
- Nurek, T.M, Gendek, A.D., Roman, K.M. and Dąbrowska, M.D.L. 2019. The effect of temperature and moisture on the chosen parameters of briquettes made of shredded logging residues. **Biomass and Bioenergy**, 130, 105368.

- O'Dogherty, M. and Wheeler, J. 1984. Compraddion of straw to high densities in closed cylindrical dies. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 29(1), 61-72.
- Obi, Okey F. 2014. Evaluation of the physical properties of composite briquette of sawdust and palm kernel shell. **Biomass Conventional**, 2015(5), 271-277.
- Okot, David, Bilsborrow, Paul and Phan, Anh. 2018. Effects of operating parameters on maize COB briquette quality. **Biomass and Bioenergy**, 112.
- Oladeji, J.T. and Enweremadu, C.C. 2012. The Effects of Some Processing Parameters on Physical and Densification Characteristics of Corncob Briquettes. **International Journal of Energy Engineering**, 2(1), 22-27.
- Oladeji, J.T. and M.Sc. 2010. Fuel Characterization of Briquettes Produced from Corncob and Rice Husk Resides. **The Pacific Journal of Science and Technology**, 11(1), 101-106.
- Orisaleye, J.S., Jekayinfa, S.M., Pecenka, R. and Onifade, T. 2019. Effect of densification variables on water resistance of corn cob briquettes. **Agronomy Research**.
- Pestaño, D.B. and Wilfredo I.J. 2016. Production of Solid Fuel by Torrefaction Using Coconut Leaves as Renewable Biomass. **nternational Journal of Renewable Energy Development**, 5(3), 187-197.
- Powermax Wuxi Teneng power machinery CO., LTD. น.ป.ป. **Type of Biomass can be used in POWERMAX systems**. [Online]. Available https://www.alibaba.com/product-detail/syngas-generator-cogeneration-system-biomass-gasification_60320422289.html (12 March 2018)
- Prasad, S., Singh, Anoop and Joshi, H. C. 2007. Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues. **Resources, Conservation and Recycling**, 50(1), 1-39.
- Prins, M.J., Ptasiński, K.J. and Janssen, F.J.J.G. 2006. Torrefaction of wood part 1. Weight loss kinetics. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 77, 28-34.
- Pu, Yunqiao., DongchengZhang, Singh, Preet M. and Ragauskas, Arthur j. 2007. The new forestry biofuels sector. **Biofuels Bioproducts and Biorefining**, 2(1).

- Rajaseenivasan T., Srinivasan V., Syed Mohamed Qadir G. and K., Srithar. 2016. An investigation on the performance of sawdust briquette blending with neem powder. **Alexandria Engineering Journal**, 55, 2833-2838.
- Reddy, N. and Yang, Y. 2009. Natural cellulose fibers from soybean straw. **Bioresource Technology**, 100(14), 3593-3598.
- Reed, Thomas B. and Bryant, Becky. 1978. **Densified biomass : a new form of solid fuel** /.
- Richards, S.R. 1990. Physical testing of fuel briquettes. **Fuel Processing Technology**, 25(2), 89-100.
- Rubio, B., Izquierdo, M.T. and Segura, E. 1999. Effect of binder addition on the mechanical and physicochemical properties of low rank coal char briquettes. **Carbon**, 37(11), 1833-1841.
- Rukayya I. Muazu and Stegemann, Julia A. 2015. Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks and corn cobs. **Fuel Processing Technology**, 133, 137-145.
- Rumpf, H. and Knepper, W.A. 1962. **The Strength of Granules and Agglomerates**, 379-419.
- Safana, Aminu, A.Y., Nurhayati, A.B.L. and Sulaiman, F.Z. 2018. **Potential Application of Oil Palm Wastes Charcoal Briquettes for Coal Replacement**, 53-73.
- Sen, R.J., Wiwatpanyaporn, S.J.D. and Annachatre, A. 2016. Influence of binders on Physical properties of fuel briquettes produced from cassava rhizome waste. **International Journal of Environment and Waste Management**, 17, 158-174.
- Sengar S.H., Mohod A.G., Khandetod Y.P., Patil S.S. and Chendake A. 2012. Performance of Briquetting Machine for Briquette Fuel. **International Journal of Energy Engineering**, 2(1), 28-34.



- Stelte, W.G., Clemons, C., Holm, J., Ahrenfeldt, J.P., Henriksen, U.R. and Sanadi, A. 2011. Fuel Pellets from Wheat Straw: The Effect of Lignin Glass Transition and Surface Waxes on Pelletizing Properties. **BioEnergy Research**, 5, 1-9.
- Sun, R., Ismail, T.M., Ren, X.H. and Abd El-Salam, M.H.M. 2016. Effect of ash content on the combustion process of simulated MSW in the fixed bed. **Waste management (New York, N.Y.)**, 48.
- Sun, Y. and Cheng, J. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review **Bioresource Technology**, 83, 1-11.
- Tembe, E.M.N., Otache, P.O. and Ekhuemelo, D.V. 2014. Density, Shatter index, and Combustion properties of briquettes produced from groundnut shells, rice husks and saw dust of *Daniellia oliveri*. **Journal of Applied Biosciences**, 82, (7372).
- Thabuot, M.L.K, Pagketanang, T.N.C., Panyacharoen, K.S.D., Mongkut, P.S. and Wongwicha, P.S. 2015. Effect of Applied Pressure and Binder Proportion on the Fuel Properties of Holey Bio-Briquettes. **Energy Procedia**, 79, 890-895.
- Trama TecnoAmbiental, Solano, D.V., Vinyes P.T. and Arranz, Pol. (2016). **THE BIOMASS BRIQUETTING PROCESS**. Empowering Lebanon with Renewable Energy.
- Tumuluru, J.S., Sokhansanj, S., Hess, J., Wright, C. and Boardman, R. 2011. A Review on Biomass Torrefaction Process and Product Properties for Energy Applications. **Industrial Biotechnology**, 7, 384-401.
- Tumuluru, S.K., Wright, C.T.P., Kenney, K.V. and Hess, J. 2010. **A Technical Review on Biomass Processing: Densification, Preprocessing, Modeling and Optimization**.
- Warajanont, S.T. 2013. Effect of Particle Size and Moisture Content on Cassava Root Pellet Fuel'S Qualities Follow the Acceptance of Pellet Fuel Standard. **International Journal of Renewable and Sustainable Energy**, 2(74).



3590406597

MOTU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

- Yoswathana, N., Phuriphat, P., Treyawutthiwat, P. and Naghi Eshtiaghi, M. 2010. Bioethanol Production from Rice Straw. *Energy Research Journal*, 1(1), 26-31.
- Yumak, H.S., Ucar, T.M. and Seyidbekiroglu, N. 2010. Briquetting soda weed (*Salsola tragus*) to be used as a rural fuel source. *Biomass and Bioenergy*, 34(5), 630-636.
- Zakari, Ismaila, A.M., Sadiq, U.M. and Nasiru. 2013. Investigation on the Effects of Addition of Binder and Particle Size on the High Calorific Value of Solid Biofuel Briquettes, 3, 30-34.
- Zanella, K.R., Concentino, Vinicius, O. and Taranto, Osvaldir, P. 2017. Influence of the Type of Mixture and Concentration of Different Binders on the Mechanical Properties of " Green " Charcoal Briquettes. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 199-204.
- กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ กระทรวงพลังงาน. 2561. ปริมาณสำรองปิโตรเลียมของประเทศไทยรวมทั้งพื้นที่พัฒนาร่วมไทย - มาเลเซีย ณ สิ้นปี 2561. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://dmf.go.th/public/reserve/data/index/menu/943> (7 มีนาคม 2560).
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาห่วงโซ่อุปทานของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด.
- _____. 2558. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกพ.ศ. 2558-2579. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final.pdf (8 มีนาคม 2560).
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.). 2556. ฐานข้อมูลศักยภาพชีวมวลในประเทศไทยประจำปีการเพาะปลูก พ.ศ.2556. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/>. (11 มีนาคม 2560).
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2553. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน (พลังงานชีวมวล). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.dede.go.th/article_attach/h_biomass.pdf. (11 มีนาคม 2560)



359040597

MTU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

- 2556. ผลการประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลแต่ละชนิด. [ระบบออนไลน์].
แหล่งที่มา http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html. (2 มีนาคม 2560).
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2562. สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม - พฤศจิกายน 2562. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.dede.go.th/download/stat62/frontpage_jan_nov62.pdf. (12 มีนาคม 2560).
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2555. คู่มือและแนวทางเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://webintra.diw.go.th/iwmb/form/iwd040.pdf>. (10 มีนาคม 2560).
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีแป้ง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กลุ่มพัฒนายังยืน ต.ตลาดจินดา. 2559. พืชกรองน้ำ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://group55571.blogspot.com/>. (12 มีนาคม 2560).
- กัณณณี แสงสุข. 2559. การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษไม้ ชี้อเลื้อย และค้าย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกษรา รัตตะวัน และวีระนุช อินทะกันท์. 2561. ผลของตัวประสานทางธรรมชาติที่มีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ และต้นทุนพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- จินตมาณี ปือกสอน, จุฑามาศ แปะหลวง และอักรินทร์ อินทนิเวศน์ 2558. การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ประเภทขี้ข้าวโพด และชี้อเลื้อยจากก้อนเชื้อเห็ด. บทความวิจัยใน การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ อุตสาหกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 3 “นวัตกรรมและเทคโนโลยี เพื่อความมั่นคงพลังงาน สิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน” หน้า 10-19, ชลบุรี, ประเทศไทย.
- เจนจิรา อุดเรือน. 2561. การเพิ่มคุณภาพวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยกระบวนการทอรีแฟคชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.



3590408597

MU-thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

- ชมธิดา ชื่นนิยม. 2553. การศึกษาการเพิ่มมูลค่าซังข้าวโพดโดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ฐานเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร. 2556. เครื่องหั่นย่อยขนาดเล็ก MJU-EB3 : PRO. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.agroeng.mju.ac.th/engineer/SYSTEM/machinery/index.php/?p=431>. (15 มีนาคม 2561)
- ณัฐกิตติ์ ก้อยผ่านกิจ. 2560. การศึกษากระบวนการผลิตและการวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากถั่วแระ. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13. ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม - 2 มิถุนายน 2560. ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่.
- ณัฐนิช บุญเฉลิมรัตน์. 2560. การประยุกต์ใช้กากกาแฟและเปลือกมะขามเพื่อใช้เป็นแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลัง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ดุษฎิพร สิทธิกุล. 2557. คุณสมบัติของชีวมวลในกระบวนการทอรีแฟคชั่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเครื่องกล. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- _____. 2551. ถั่วเหลืองสาละวิน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.samunpri.com> (4 มีนาคม 2560)
- ทศพร อ่อนศรี และนคร ทิพย์วงศ์. 2018. ภาพรวมของการเพิ่มคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวล ด้วยกระบวนการอบแห้ง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 25(1), 11-33.
- ไทยชุมจิจำกัด. 2554. เครื่องอัดถ่านด้วยกรรมวิธีอัดร้อน อัดแท่งจากขี้เลื่อย และแกลบ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/machine4.php>. (8 มีนาคม 2560).
- ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย และนิกราน หอมดวง. (2559). การเพิ่มคุณภาพชีวมวลเหลือใช้ทางการเกษตร โดยกระบวนการเพิ่มความหนาแน่นและการอบแห้งสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ.

ธนาคารโลก. 2560. การใช้พลังงานต่อคน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา

https://www.google.com/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9_&met_y=eg_use_pcap_kg_oe&idim=country:THA:PHLe. (2 มีนาคม 2560).

ธนาพล ตันติสัตยกุล, กะชามาส สายดำ, สุจิตรา ภู่งสี และเงินเรืองโรจน์, ศิวพร. 2558. การศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี., 23(5).

ธนาพล ตันติสัตยกุล, สุริยา พงษ์เกษม, ปรีชญ์ปวีณ ภูญา และภาณุวัฒน์ ไถ่บ้านกวย. 2558. พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 23(3), 418-431.

ธราเทพ กมลมาตยากุล และธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. 2544. การออกแบบสร้างและประเมินผลเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงจากเถาแกลบ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ธีรศักดิ์ พัฒนพานิช. 2559. การศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านไม้เงาะโดยใช้กากน้ำตาลและแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

นคร ทิพย์วงศ์. 2553a. เทคโนโลยีการเปลี่ยนสภาพชีวมวล. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

นคร ทิพย์วงศ์. 2553b. เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: ศูนย์บริหารงานวิจัย สำนักงานมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นฤมล ภาณุภา, จิระพงษ์ คูหากาญจน์, ฐิติภรณ์ บุญแย้ม, เฉลิมพล สุขสี, เบญจวรรณ จุลจุฬา และเพ็ญ อูร์รักษ์. 2555. การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุการเกษตรและปาล์มน้ำมัน.

นิคมสหกรณ์บางสะพาน. 2554. กลุ่มอาชีพเกษตรกรอินทรีย์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา

<http://webhost.cpd.go.th/nikombsp/compost.html>. (12 มีนาคม 2560).

บุญยาพร แสนพรม, นัฐพร ไชยญาติ, เสมอขวัญ ตันติกุล, ธเนศ ไชยชนะ, กิตติกร สาสุจิตต์ และนิกราน หอมดวง 2561. สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติ. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 ณ โรงแรมโนโวเทล จังหวัดระยอง ระหว่างวันที่ 13-15 มิถุนายน 2561, 893-898.



- ประทีป ปันท้วม. 2538. การศึกษาการนำซีลี้อยที่เหลือทิ้งหลังจากการเพาะเห็ด มาใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ประลอง ดำรงค์ไทย. 2547. แท่งเชื้อเพลิงชีวเพื่อทดแทนฟืนและถ่าน. วารสาร ปีที่ 5, 7(1), 53-60.
- ปิ่น จันจุฬา. 2558. การพัฒนาและการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการปลูกปาล์มน้ำมัน และอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพื่อเป็นอาหารสัตว์: 1. ศักยภาพและการใช้ทางไบโอปาล์ม น้ำมันเป็นแหล่งอาหารเยื่อใยสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์, 2(1), 2-16.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2012. Cellulose/เซลลูโลส. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.foodnetworksolution.com/cellulose>. (2 มีนาคม 2560).
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2018. Amylose/อะไมโลส. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0184/amylose>. (2 มีนาคม 2560).
- ภาสินี ลาดลา. 2563. การดัดแปลงเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับใช้กับการอัดเชื้อเพลิงชีว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน. มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- ลดาวัลย์ วัฒนะจิระ, กลิ่นประทุม ปัญญาปิง และครรชิต เงินคำคง. 2556). การปรับปรุงคุณภาพของแท่งเชื้อเพลิงชีวจากชีวมวลลำไยด้วยวัสดุที่ช่วยเผาไหม้
- ลดาวัลย์ วัฒนะจิระ, ณรงค์ศักดิ์ ลาป็น, วิภาวดี ชัชวาลย์ และอานันท์ ธัญญเจริญ. 2559. การพัฒนาก่อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร, 39(2), 239-255.
- ลดาวัลย์ วัฒนะจิระ, ณรงค์ศักดิ์ ลาป็น, วิภาวดี ชัชวาลย์, อานันท์ ธัญญเจริญ และภาคภูมิ รักร่วม. 2559. การพัฒนาก่อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร, 39(2), 239-255.
- ศักดิ์สิทธิ์ โสธรศักดิ์. 2561. การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเฉาก๊วย. การประชุมวิชาการ “มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 14” 50 ปี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ‘ผู้มีปัญญา พึงเป็นอยู่เพื่อมหาชน’. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม, ประเทศไทย
- ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. ชีวมวลอัดแท่ง. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://biomass.sut.ac.th/biomass/?pageGallery/>. (2 มีนาคม 2560).



- ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2556. การจัดการสวนปาล์มน้ำมัน [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical>. (3 มีนาคม 2560).
- สันทัต ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2553. อะไรคือกากน้ำตาล. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://molasses-review.blogspot.com/blog-post.html>. (4 มีนาคม 2563)
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2561. ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ไตรมาสที่ 1/2562. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.nesdc.go.th/ewt_w3c/main.php?filename=qgdp_page. (16 มีนาคม 2560).
- สำนักวิจัยคั้นคว่ำพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2555). โครงการศึกษา กำหนดมาตรฐานของ Biomass Pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- หจก. เทพอัคคี. 2557. โรงงานผลิตถ่านอัดแท่ง. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://talung.gimyong.com/index.php?topic=275016.0>. (22 มีนาคม 2560).
- อัจฉรา อัครจุลชัย, ชลันดา เสมสายัณห์, นัฐพร ประภักดี, ณัฐธิดา เปี่ยมสุวรรณศิริ และนิภาวรรณ ชูชาติ. 2554. การนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง.
- อัฑฒ์ จันตบุตร์, ชนาภานต์ คล้ายหะนา และอัครินทร์ อินทนิเวศน์,. 2558. การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบไม้และฟางข้าวด้วยเครื่องอัดแท่งแบบสกรูเดี่ยว. บทความวิจัยใน การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ อุตสาหกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 3 “นวัตกรรม และเทคโนโลยี เพื่อความมั่นคงพลังงาน สิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน” หน้า 25-36, ชลบุรี, ประเทศไทย
- อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์. 2531. เทคนิคทางกลึงจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.mtec.or.th/technical-service-2/sem/>. (22 มีนาคม 2560)



3590406597

มจร. iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาคผนวก



3590406597

MTU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาคผนวก ก.
ลักษณะทางกายเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้



ภาพผนวกที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งทางปาล์มเป็นตัวประสาน
ร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง 10%



ภาพผนวกที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งทางมะพร้าวเป็นตัวประสาน
ร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง 10%



3590405697

MTU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาพผนวกที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งต้นถั่วเหลืองเป็นตัวประสาน
ร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง 10%



ภาพผนวกที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งทางไบโพลัมเป็นตัวประสาน
ร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง 5%



359040697

MU 1Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาพผนวกที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งทางมะพร้าวเป็นตัวประสาน
ร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง 5%



359040897

MTU :thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาพผนวกที่ 6 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งต้นถั่วเหลืองเป็นตัวประสาน
ร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง 5%



3580406597

MJU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาคผนวก ข.

ตารางผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เมื่อใช้อัตราส่วนตัวประสาน
ธรรมชาติ 60%, 40%, 20% และแป้งมันสำปะหลัง 10%

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นเมื่อใช้ทางใบปาล์ม และแป้งมัน10%

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ดัชนีการ แตกร่วน (%)	การต้านทานน้ำ (%)	ต้านทานแรงกด อัด (MPa)
WC: PL60%: CS10%	995.27	98.64	90.61	8.57
WC: PL40%: CS10%	984.53	98.65	94.04	6.90
WC: PL20%: CS10%	898.75	91.67	94.74	6.77
RS: PL60%: CS10%	1513.78	96.43	80.22	12.09
RS: PL40%: CS10%	1,387.98	91.37	79.27	17.06
WC: PL20%: CS10%	993.55	92.37	76.94	9.39
CC: PL60%: CS10%	1213.61	93.67	86.68	10.76
CC: PL40%: CS10%	1155.46	85.27	87.71	10.82
CC: PL20%: CS10%	1016.41	88.91	85.49	7.70

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ทางมะพร้าว และแป้งมัน10%

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ดัชนีการ แตกร่วน (%)	การต้านทานน้ำ (%)	ต้านทานแรงกด อัด (MPa)
WC: PL60%: CS10%	828.94	67.77	90.08	1.15
WC: PL40%: CS10%	841.49	76.58	93.64	2.14
WC: PL20%: CS10%	785.07	72.36	95.29	2.74
RS: PL60%: CS10%	904.87	95.08	62.72	5.84
RS: PL40%: CS10%	891.19	95.85	59.48	7.44
WC: PL20%: CS10%	799.81	87.61	64.48	4.56
CC: PL60%: CS10%	1099.81	88.48	88.33	10.18
CC: PL40%: CS10%	1114.99	93.95	88.26	6.30
CC: PL20%: CS10%	1132.00	94.93	88.66	7.75

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ต้นถั่วเหลือง และแป้งมัน10%

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ดัชนีการ แตกร่วน (%)	การต้านทานน้ำ (%)	ต้านทานแรงกด อัด (MPa)
WC: PL60%: CS10%	852.38	80.95	81.76	1.47
WC: PL40%: CS10%	803.42	89.92	85.33	1.62
WC: PL20%: CS10%	860.83	80.03	82.43	1.70
RS: PL60%: CS10%	987.96	95.19	73.02	10.01
RS: PL40%: CS10%	1,123.55	96.04	70.01	11.92
WC: PL20%: CS10%	921.00	97.21	63.58	10.23
CC: PL60%: CS10%	1106.34	95.52	86.60	8.11
CC: PL40%: CS10%	1145.22	91.47	82.70	8.36
CC: PL20%: CS10%	965.59	94.08	82.54	6.60

ข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่น) ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เมื่อมีการใช้อัตราส่วนตัวของตัวประสานธรรมชาติ 60%, 40%, 20% และแป้งมันสำปะหลัง 5%

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น เมื่อใช้ตัวประสานทางไบโพลัมและแป้งมัน 5%

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (mm)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ภายใน (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก (mm)	ค่าความ หนาแน่น (kg/m ³)
WC: PL60%: CS5%	0.116	101.60	11.60	50.30	970.63
	0.044	50.00	15.40	53.20	784.17
	0.061	62.70	14.20	52.70	835.70
WC: PL40%: CS5%	0.099	118.40	13.00	51.40	721.99
	0.044	51.30	15.30	53.50	748.37
	0.108	118.20	14.50	51.20	863.74
WC: PL20%: CS5%	0.074	75.50	13.60	50.10	936.72
	0.076	88.10	14.30	54.60	676.30
	0.055	57.50	15.50	50.10	1017.31
RS: PL60%: CS5%	0.111	118.20	15.10	49.10	1034.33
	0.052	58.50	15.50	51.20	888.02
	0.053	69.60	15.80	52.70	712.07
RS: PL40%: CS5%	0.149	128.70	15.40	49.40	1275.15
	0.061	61.10	15.50	52.20	943.77
	0.087	84.70	15.40	51.90	981.66
RS: PL20%: CS5%	0.123	135.90	15.80	49.70	1002.76
	0.087	106.90	16.20	52.80	773.55
	0.045	57.80	15.90	52.10	756.45
CC: PL60%: CS5%	0.103	113.10	13.20	49.20	894.70
	0.063	68.20	13.70	48.60	965.64
	0.113	116.60	13.80	48.90	1001.56
CC: PL40%: CS5%	0.069	82.60	13.20	47.50	904.05
	0.048	59.30	14.70	47.20	975.73
	0.05	61.40	15.00	47.50	981.62
CC: PL20%: CS5%	0.090	98.80	13.80	47.50	1021.26
	0.047	54.00	13.40	47.40	958.64
	0.081	92.90	13.80	48.20	938.13



3580406587

MU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น เมื่อใช้ตัวประสานทางมะพร้าวและแป้งมัน5%

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (cm)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ภายใน (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก (cm)	ค่าความ หนาแน่น (kg/m ³)
WC: PL60%: CS5%	0.058	62.70	15.70	53.30	833.10
	0.150	142.20	15.50	50.10	1121.89
	0.071	76.10	15.80	53.90	818.34
WC: PL40%: CS5%	0.126	141.50	15.20	50.00	936.19
	0.08	98.80	15.80	52.50	765.44
	0.041	54.80	15.80	52.90	692.09
WC: PL20%: CS5%	0.132	140.60	14.30	49.80	948.51
	0.068	77.60	15.80	52.60	823.88
	0.054	72.00	15.80	53.90	657.84
RS: PL60%: CS5%	0.052	60.80	15.80	54.20	738.49
	0.084	90.60	15.00	49.20	1009.27
	0.084	101.50	15.90	54.70	699.94
RS: PL40%: CS5%	0.126	139.70	15.50	50.30	948.26
	0.043	55.80	16.50	53.40	720.60
	0.041	57.10	17.70	54.70	667.81
RS: PL20%: CS5%	0.05	65.20	16.40	57.00	592.35
	0.130	151.60	15.00	51.00	842.46
	0.075	95.10	16.70	52.00	805.83
CC: PL60%: CS5%	0.052	61.60	15.10	56.30	633.20
	0.127	133.50	15.30	50.20	994.45
	0.074	82.20	15.20	53.00	802.21
CC: PL40%: CS5%	0.115	135.80	15.30	52.00	800.53
	0.079	86.10	15.00	49.20	998.81
	0.049	57.20	14.90	51.70	805.41
CC: PL20%: CS5%	0.052	64.50	14.90	50.40	814.51
	0.052	68.10	15.20	52.90	684.04
	0.071	98.80	17.80	54.10	694.38



3590405597

MU-1Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น เมื่อใช้ตัวประสานตันถั่วเหลืองและแป้งมัน5%

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (cm)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ภายใน (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก (cm)	ค่าความ หนาแน่น (kg/m ³)
WC: PL60%: CS5%	0.053	51.60	15.60	50.10	1036.55
	0.059	59.00	15.20	50.20	1039.38
	0.053	53.10	14.90	49.00	1092.91
WC: PL40%: CS5%	0.058	59.70	15.40	52.40	903.57
	0.049	50.20	15.20	51.10	964.30
	0.130	129.80	15.20	49.20	1103.12
WC: PL20%: CS5%	0.062	66.40	15.60	54.70	777.64
	0.057	64.10	15.00	57.30	632.77
	0.079	88.00	15.40	55.20	721.59
RS: PL60%: CS5%	0.052	58.90	16.10	52.00	872.19
	0.067	72.70	16.00	51.80	915.56
	0.154	152.10	15.50	48.60	1176.65
RS: PL40%: CS5%	0.064	64.00	14.70	51.20	955.71
	0.056	55.90	14.90	53.50	856.07
	0.132	125.70	15.30	48.90	1184.32
RS: PL20%: CS5%	0.049	52.50	15.10	54.30	773.35
	0.057	61.50	15.60	54.20	792.02
	0.114	110.90	15.20	49.20	1132.21
CC: PL60%: CS5%	0.059	53.90	13.00	47.70	1157.48
	0.070	66.70	14.10	48.80	1109.75
	0.121	105.60	12.20	47.10	1197.79
CC: PL40%: CS5%	0.059	68.60	14.70	51.60	804.24
	0.055	62.70	14.40	55.00	677.57
	0.136	147.30	15.30	49.70	993.41
CC: PL20%: CS5%	0.040	44.50	15.70	48.40	1070.32
	0.057	68.20	14.80	53.40	714.21
	0.082	93.30	15.00	50.80	873.12



3580406587

MU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (ดัชนีแตกร่วน) ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เมื่อมีการใช้อัตราส่วนตัวของตัวประสานธรรมชาติ 60%, 40%, 20% และแป้งมันสำปะหลัง 5%

ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการแตกร่วนเมื่อใช้ทางใบปาล์ม และแป้งมัน 5%

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	%การแตก	% ดัชนีการ
	ทดสอบ (kg)	ทดสอบ (kg)	ร่วน	แตกร่วน
WC: PL60%: CS5%	0.0420	0.0370	11.9048	88.0952
	0.0440	0.0420	4.5455	95.4545
	0.0450	0.0410	8.8889	91.1111
WC: PL40%: CS5%	0.0470	0.0360	23.4043	76.5957
	0.0460	0.0390	15.2174	84.7826
	0.0500	0.0380	20.8333	79.1667
WC: PL20%: CS5%	0.0520	0.0480	7.6923	92.3077
	0.0540	0.0410	24.0741	75.9259
	0.0570	0.0490	14.0351	85.9649
RS: PL60%: CS5%	0.05000	0.04700	6.00000	94.0000
	0.04600	0.04200	8.69565	91.3043
	0.05200	0.04800	7.69231	92.3076
RS: PL40%: CS5%	0.0570	0.0520	8.7719	91.2281
	0.0590	0.0510	13.5593	86.4407
	0.0550	0.0530	3.6364	96.3636
RS: PL20%: CS5%	0.0440	0.0380	13.6364	86.3636
	0.0370	0.0300	18.9189	81.0811
	0.0490	0.0450	8.1633	91.8367
CC: PL60%: CS5%	0.0480	0.0480	0.0440	91.6667
	0.0460	0.0460	0.0420	91.3043
	0.0500	0.0500	0.0480	96.0000
CC: PL40%: CS5%	0.0460	0.0420	8.6957	91.3043
	0.0430	0.0400	6.9767	93.0233
	0.0450	0.0420	6.6667	93.3333
CC: PL20%: CS5%	0.0420	0.0400	4.7619	95.2381
	0.0430	0.0400	6.9767	93.0233
	0.0450	0.0420	6.6667	93.3333



3590406597

MSU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ตารางผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการแตกร่วนเมื่อใช้ทางมะพร้าว และแป้งมัน5%

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อน ทดสอบ (kg)	น้ำหนักหลัง ทดสอบ (kg)	%การแตก ร่วน	% ดัชนีการ แตกร่วน
WC: PL60%: CS5%	0.0550	0.0460	16.3636	83.6364
	0.0580	0.0510	12.0690	87.9310
	0.0560	0.0520	7.1429	92.8571
WC: PL40%: CS5%	0.0430	0.0160	62.7907	37.2093
	0.0460	0.0300	34.7826	65.2174
	0.0500	0.0410	18.0000	82.0000
WC: PL20%: CS5%	0.0430	0.0290	32.5581	67.4419
	0.0470	0.0330	29.7872	70.2128
	0.0490	0.0350	28.5714	71.4286
RS: PL60%: CS5%	0.0410	0.0330	19.5122	80.4878
	0.0520	0.0410	21.1538	78.8462
	0.0550	0.0490	10.9091	89.0909
RS: PL40%: CS5%	0.0480	0.0330	31.2500	68.7500
	0.0350	0.0310	11.4286	88.5714
	0.0390	0.0360	7.6923	92.3077
RS: PL20%: CS5%	0.0500	0.0330	34.0000	66.0000
	0.0500	0.0390	22.0000	78.0000
	0.0520	0.0420	19.2308	80.7692
CC: PL60%: CS5%	0.0430	0.0340	20.9302	79.0698
	0.0520	0.0350	32.6923	67.3077
	0.0530	0.0370	30.1887	69.8113
CC: PL40%: CS5%	0.0450	0.0370	17.7778	82.2222
	0.0430	0.0310	27.9070	72.0930
	0.0490	0.0390	20.4082	79.5918
CC: PL20%: CS5%	0.0520	0.0430	17.3077	82.6923
	0.0520	0.0390	25.0000	75.0000
	0.0550	0.0420	23.6364	76.3636



3590406597

WU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ตารางผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการแตกร่วนเมื่อใช้ดินถั่วเหลือง และแป้งมัน5%

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อน ทดสอบ (kg)	น้ำหนักหลัง ทดสอบ (kg)	%การแตก ร่วน	% ดัชนีการ แตกร่วน
WC: PL60%: CS5%	0.0500	0.0480	4.000	96.000
	0.0530	0.0520	1.887	98.113
	0.0510	0.0500	1.961	98.039
WC: PL40%: CS5%	0.0580	0.0470	18.966	81.034
	0.0660	0.0540	18.182	81.818
	0.0670	0.0560	16.418	83.582
WC: PL20%: CS5%	0.0570	0.0370	35.088	64.912
	0.0460	0.0310	32.609	67.391
	0.0550	0.0320	41.818	58.182
RS: PL60%: CS5%	0.0520	0.0470	9.615	90.385
	0.0500	0.0450	10.000	90.000
	0.0500	0.0470	6.000	94.000
RS: PL40%: CS5%	0.0560	0.0500	10.714	89.286
	0.0560	0.0490	12.500	87.500
	0.0580	0.0490	15.517	84.483
RS: PL20%: CS5%	0.0570	0.0490	14.035	85.965
	0.0560	0.0500	10.714	89.286
	0.0550	0.0510	7.273	92.727
CC: PL60%: CS5%	0.0590	0.0510	13.559	86.441
	0.0630	0.0590	6.349	93.651
	0.0650	0.0610	6.154	93.846
CC: PL40%: CS5%	0.0600	0.0500	16.667	83.333
	0.0440	0.0340	22.727	77.273
	0.0490	0.0370	24.490	75.510
CC: PL20%: CS5%	0.0570	0.0470	17.544	82.456
	0.0680	0.0650	4.412	95.588
	0.0650	0.0620	4.615	95.385

ข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (การต้านทานน้ำ) ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง
เมื่อใช้อัตราส่วนผสมของตัวประสานธรรมชาติ 60%, 40%, 20% และแป้งมันสำปะหลัง 5%

ตารางผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์การต้านทานน้ำเมื่อใช้ทางใบปาล์ม และแป้งมัน 5%

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อน ทดสอบ (kg)	น้ำหนักหลัง ทดสอบ (kg)	น้ำที่ดูดซึม (%)	% การ ต้านทานน้ำ
WC: PL60%: CS5%	0.0470	0.0510	7.843	92.157
	0.0470	0.0510	7.843	92.157
	0.0440	0.0480	8.333	91.667
WC: PL40%: CS5%	0.0560	0.0590	5.085	94.915
	0.0490	0.0520	5.769	94.231
	0.0510	0.0540	5.556	94.444
WC: PL20%: CS5%	0.0520	0.0540	3.704	96.296
	0.0560	0.0570	1.754	98.246
	0.0490	0.0510	3.922	96.078
RS: PL60%: CS5%	0.0480	0.0620	22.581	77.419
	0.0520	0.0580	10.345	89.655
	0.0470	0.0510	7.843	92.157
RS: PL40%: CS5%	0.0540	0.0680	20.588	79.412
	0.0490	0.0610	19.672	80.328
	0.0450	0.0530	15.094	84.906
RS: PL20%: CS5%	0.0440	0.0580	24.138	75.862
	0.0330	0.0420	21.429	78.571
	0.0470	0.0560	16.071	83.929
CC: PL60%: CS5%	0.0510	0.0560	8.929	91.071
	0.0450	0.0540	16.667	83.333
	0.0480	0.0550	12.727	87.273
CC: PL40%: CS5%	0.0500	0.0540	7.407	92.593
	0.0380	0.0410	7.317	92.683
	0.0470	0.0520	9.615	90.385
CC: PL20%: CS5%	0.0430	0.0460	6.522	93.478
	0.0370	0.0420	11.905	88.095
	0.0450	0.0500	10.000	90.000



3590406597

PDF GENERATED BY : Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ตารางผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์การต้านทานน้ำเมื่อใช้ทางมะพร้าว และแป้งมัน5%

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อน ทดสอบ (kg)	น้ำหนักหลัง ทดสอบ (kg)	น้ำที่ดูดซึม (%)	% การ ต้านทานน้ำ
WC: PL60%: CS5%	0.0450	0.0500	10.000	90.000
	0.0570	0.0630	9.524	90.476
	0.0550	0.0630	12.698	87.302
WC: PL40%: CS5%	0.0410	0.0450	8.889	91.111
	0.0480	0.0520	7.692	92.308
	0.0500	0.0550	9.091	90.909
WC: PL20%: CS5%	0.0540	0.0570	5.263	94.737
	0.0320	0.0340	5.882	94.118
	0.0500	0.0540	7.407	92.593
RS: PL60%: CS5%	0.0270	0.0570	52.632	47.368
	0.0410	0.0810	49.383	50.617
	0.0420	0.0790	46.835	53.165
RS: PL40%: CS5%	0.0410	0.0620	33.871	66.129
	0.0370	0.0570	35.088	64.912
	0.0400	0.0610	34.426	65.574
RS: PL20%: CS5%	0.0590	0.1250	52.800	47.200
	0.0470	0.1130	58.407	41.593
	0.0510	0.1210	57.851	42.149
CC: PL60%: CS5%	0.0470	0.0620	24.194	75.806
	0.0490	0.0620	20.968	79.032
	0.0500	0.0640	21.875	78.125
CC: PL40%: CS5%	0.0490	0.0560	12.500	87.500
	0.0440	0.5100	91.373	8.627
	0.0480	0.0540	11.111	88.889
CC: PL20%: CS5%	0.0470	0.0560	16.071	83.929
	0.0420	0.0670	37.313	62.687
	0.0500	0.0610	18.033	81.967



3590405597

MU-1Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ตารางผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์การต้านทานน้ำเมื่อใช้ต้นถั่วเหลือง และแบ่งมัน5%

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อน ทดสอบ (kg)	น้ำหนักหลัง ทดสอบ (kg)	น้ำที่ดูดซึม (%)	% การ ต้านทานน้ำ
WC: PL60%: CS5%	0.0590	0.0680	13.2353	86.7647
	0.0470	0.0560	16.0714	83.9286
	0.0530	0.0610	13.1148	86.8852
WC: PL40%: CS5%	0.0490	0.0630	22.2222	77.7778
	0.0510	0.0640	20.3125	79.6875
	0.0520	0.0650	20.0000	80.0000
WC: PL20%: CS5%	0.0620	0.0680	8.8235	91.1765
	0.0430	0.0470	8.5106	91.4894
	0.0580	0.0650	10.7692	89.2308
RS: PL60%: CS5%	0.0670	0.0870	22.9885	77.0115
	0.0470	0.0610	22.9508	77.0492
	0.0490	0.0650	24.6154	75.3846
RS: PL40%: CS5%	0.0640	0.0920	30.4348	69.5652
	0.0420	0.0590	28.8136	71.1864
	0.0580	0.0730	20.5479	79.4521
RS: PL20%: CS5%	0.0490	0.0720	31.9444	68.0556
	0.0520	0.0780	33.3333	66.6667
	0.0550	0.0750	26.6667	73.3333
CC: PL60%: CS5%	0.0530	0.0660	19.6970	80.3030
	0.0540	0.0640	15.6250	84.3750
	0.0560	0.0680	17.6471	82.3529
CC: PL40%: CS5%	0.0550	0.0670	17.9104	82.0896
	0.0530	0.0650	18.4615	81.5385
	0.0550	0.0690	20.2899	79.7101
CC: PL20%: CS5%	0.0400	0.0460	13.0435	86.9565
	0.0600	0.0710	15.4930	84.5070
	0.0560	0.0680	17.6471	82.3529

ข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (ความต้านทานแรงกดอัด) ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่อัตราส่วนตัวของตัวประสานธรรมชาติ 60%, 40%, 20% และแป้งมันสำปะหลัง 5%

ตารางผนวกที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดอัดเมื่อใช้ทางใบปาล์ม และแป้งมัน 5%

ตัวอย่าง	ความต้านทานแรงกดอัด (MPa)		
WC: PL60%: CS5%	4.05	4.04	4.08
WC: PL40%: CS5%	2.58	2.41	2.59
WC: PL20%: CS5%	2.58	2.37	2.94
RS: PL60%: CS5%	7.23	7.14	6.97
RS: PL40%: CS5%	11.67	9.75	10.11
RS: PL20%: CS5%	3.89	3.74	3.57
CC: PL60%: CS5%	4.72	4.79	4.41
CC: PL40%: CS5%	5.37	5.67	5.95
CC: PL20%: CS5%	5.25	5.16	5.43

ตารางผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดอัดเมื่อใช้ทางมะพร้าว และแป้งมัน 5%

ตัวอย่าง	ความต้านทานแรงกดอัด (MPa)		
WC: PL60%: CS5%	3.67	3.57	3.69
WC: PL40%: CS5%	2.15	2.47	2.78
WC: PL20%: CS5%	2.98	2.86	2.95
RS: PL60%: CS5%	3.56	3.55	3.48
RS: PL40%: CS5%	3.41	3.15	3.28
RS: PL20%: CS5%	1.36	1.29	1.41
CC: PL60%: CS5%	4.07	4.03	3.99
CC: PL40%: CS5%	2.53	2.47	2.68
CC: PL20%: CS5%	1.12	1.26	1.36



3590406597

MUJ :Thesis 5915301016 thesis / rev: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ตารางผนวกที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดอัดเมื่อใช้ต้นถั่วเหลือง และแป้งมัน5%

ตัวอย่าง	ความต้านทานแรงกดอัด (MPa)		
WC: PL60%: CS5%	5.29	5.17	5.24
WC: PL40%: CS5%	3.12	3.22	3.26
WC: PL20%: CS5%	4.59	4.18	4.69
RS: PL60%: CS5%	5.69	5.24	5.37
RS: PL40%: CS5%	8.01	8.12	8.34
RS: PL20%: CS5%	6.21	6.25	6.27
CC: PL60%: CS5%	4.07	4.12	4.22
CC: PL40%: CS5%	5.30	5.33	5.29
CC: PL20%: CS5%	4.62	4.68	4.55



3590408597

MTU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนโดยเครื่อง Bomb Calorimeter.

ตารางผนวกที่ 16 ผลการทดสอบค่าความร้อนของทางใบปาล์ม

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
ทางใบปาล์ม	1.02	25.30	53.40	2620.62	4264.03
	1.02	25.40	44.87	2620.62	4129.63
	1.02	25.25	51.34	2620.62	3978.45

ตารางผนวกที่ 17 ผลการทดสอบค่าความร้อนของทางมะพร้าว

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
ทางมะพร้าว	1.07	25.50	73.50	2620.62	3742.15
	1.07	26.30	68.25	2620.62	3919.45
	1.07	25.45	72.62	2620.62	3725.74

ตารางผนวกที่ 18 ผลการทดสอบค่าความร้อนของต้นถั่วเหลือง

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
ต้นถั่วเหลือง	1.02	25.10	82.50	2620.62	4149.74
	1.02	25.30	74.25	2620.62	4039.46
	1.02	25.27	70.15	2620.62	4145.70



359040687

ตารางผนวกที่ 19 ผลการทดสอบค่าความร้อนของแป้งมันสำปะหลัง

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
แป้งมัน สำปะหลัง	1.06	24.59	56.40	2620.62	3353.14
	1.06	25.74	50.43	2620.62	3334.33
	1.06	25.63	58.00	2620.62	3415.25

ตารางผนวกที่ 20 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเศษไม้

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
เศษไม้	1.04	25.40	74.70	2620.62	3803.33
	1.04	25.61	70.85	2620.62	3915.24
	1.04	25.30	72.55	2620.62	3818.44

ตารางผนวกที่ 21 ผลการทดสอบค่าความร้อนของฟางข้าว

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
ฟางข้าว	1.03	25.10	83.00	2620.62	3585.93
	1.03	25.36	75.29	2620.62	3547.63
	1.03	25.75	80.44	2620.62	3629.55

ตารางผนวกที่ 22 ผลการทดสอบค่าความร้อนของซังข้าวโพด

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
ซังข้าวโพด	1.05	24.30	78.30	2620.62	4015.26
	1.05	25.12	70.23	2620.62	4212.78
	1.05	25.56	62.89	2620.62	4093.72



3590406587

MUT iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 9 ตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ 23 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง WC: PL60: CS (BQ1)

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
WC: PL60: CS	1.01	25.80	60.00	2620.62	3956.23
	1.01	26.75	52.19	2620.62	3765.02
	1.02	25.60	47.25	2620.62	4159.67

ตารางผนวกที่ 24 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง CC: PL40: CS (BQ2)

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
CC: PL40: CS	1.08	25.70	58.00	2620.62	4070.90
	1.08	25.42	48.26	2620.62	3979.34
	1.08	26.15	56.49	2620.62	4129.64

ตารางผนวกที่ 25 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง CC: PL20: CS (BQ3)

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
CC: PL20: CS	1.07	27.10	52.70	2620.62	4039.85
	1.07	26.78	47.29	2620.62	3928.36
	1.08	27.65	50.07	2620.62	4004.47



3590406597

MTU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ตารางผนวกที่ 26 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง WC: CL60: CS (BQ4)

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
WC: PL60: CS	1.07	25.20	52.00	2620.62	3767.50
	1.07	26.14	48.05	2620.62	3608.14
	1.07	25.35	49.33	2620.62	3799.44

ตารางผนวกที่ 27 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง WC: CL40: CS (BQ5)

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
WC: CL60: CS	1.08	25.40	66.40	2620.62	3772.28
	1.08	25.05	57.04	2620.62	3804.86
	1.08	26.14	65.28	2620.62	3794.21

ตารางผนวกที่ 28 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง CC: CL20: CS (BQ6)

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
CC: CL60: CS	1.01	25.90	41.10	2620.62	3847.33
	1.01	25.50	50.74	2620.62	3897.82
	1.01	26.14	51.00	2620.62	3939.13



3590406597

NUJ :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ตารางผนวกที่ 29 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง WC: SB60: CS (BQ7)

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
WC: SB60: CS	1.08	25.90	35.40	2620.62	3915.62
	1.08	25.71	41.29	2620.62	4097.56
	1.08	26.65	45.89	2620.62	4177.87

ตารางผนวกที่ 30 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง RS SB40: CS (BQ8)

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Cal/g)
RS: SB40: CS	1.01	26.00	50.10	2620.62	3734.05
	1.01	25.74	51.48	2620.62	3923.74
	1.01	25.15	44.74	2620.62	4024.88

ตารางผนวกที่ 31 ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง WC: SB20: CS (BQ9)

Type of Sample	Weight of Sample (g)	Ambient Temperature (°C)	Ignition Wires Length (mm)	Specific Heat of Water (Cal)	Heating Value (Kcal/g)
WC: SB20: CS	1.07	24.00	43.70	2620.62	3841.46
	1.08	25.46	41.55	2620.62	4187.27
	1.07	25.35	53.74	2620.62	3998.48

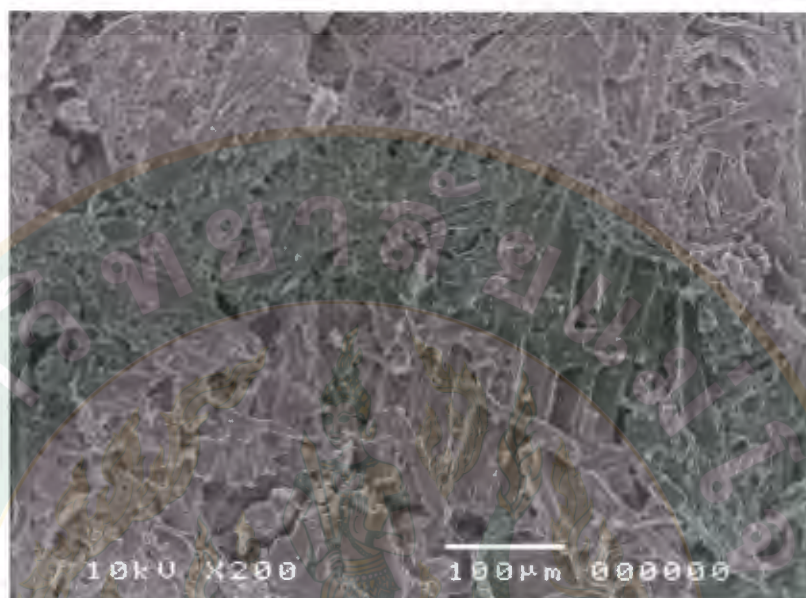
หมายเหตุ การแปลงหน่วย Cal/g เป็น MJ/kg คูณด้วย 0.004187



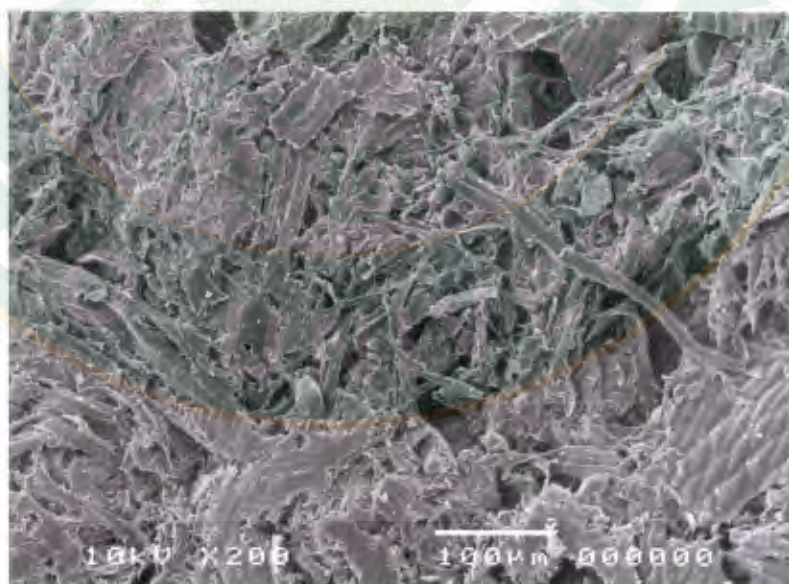
3590406597

NUJ :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

ผลการทดสอบโครงสร้างการเกาะตัวกันของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด
(SEM : Scanning electron microscope)



ภาพผนวกที่ 7 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง
จากเศษไม้ผสมทางใบปาล์ม

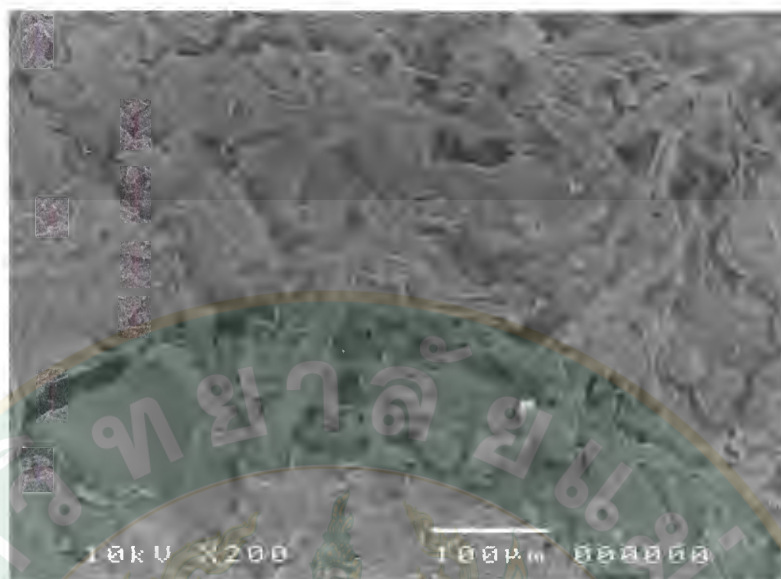


ภาพผนวกที่ 8 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง
จากเศษไม้ผสมทางมะพร้าว

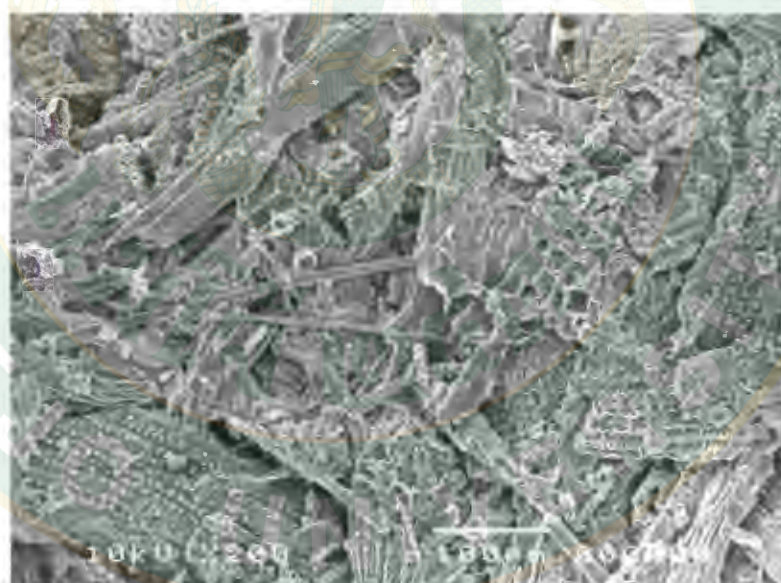


359040597

PDF :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาพผนวกที่ 9 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง
จากเศษไม้ผสมต้นถั่วเหลือง

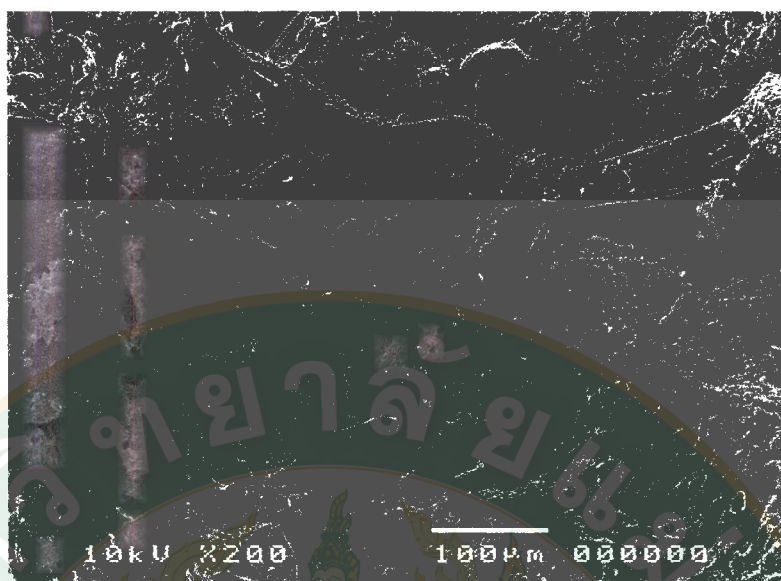


ภาพผนวกที่ 10 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง
จากฟางข้าวผสมทางใบปาล์ม

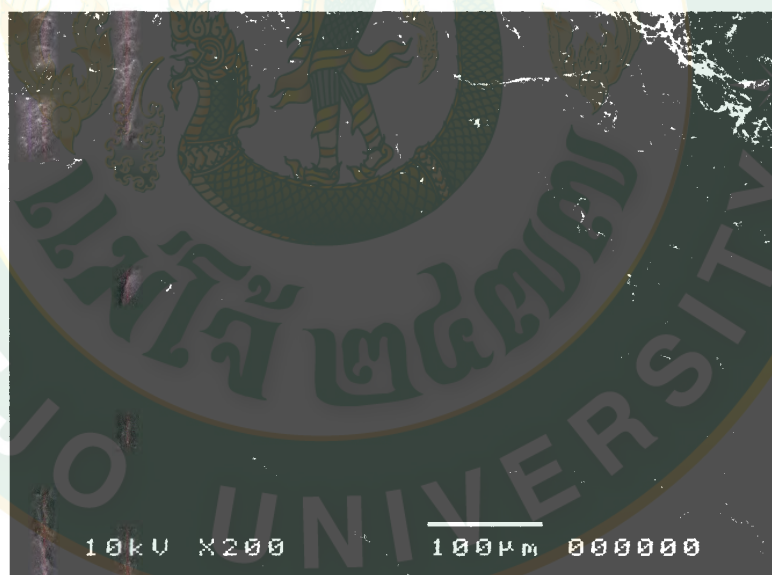


3590408597

MTU :thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาพผนวกที่ 11 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง
จากฟางข้าวผสมทางมะพร้าว

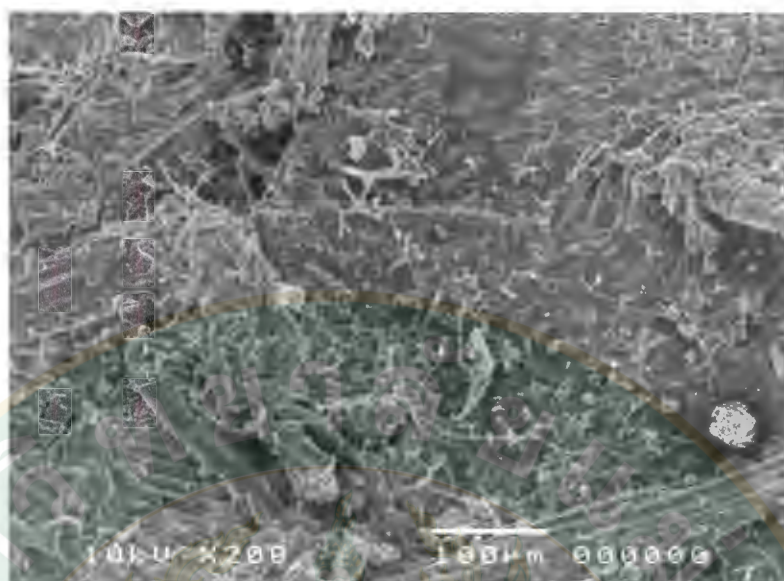


ภาพผนวกที่ 12 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง
จากฟางข้าวผสมต้นถั่วเหลือง

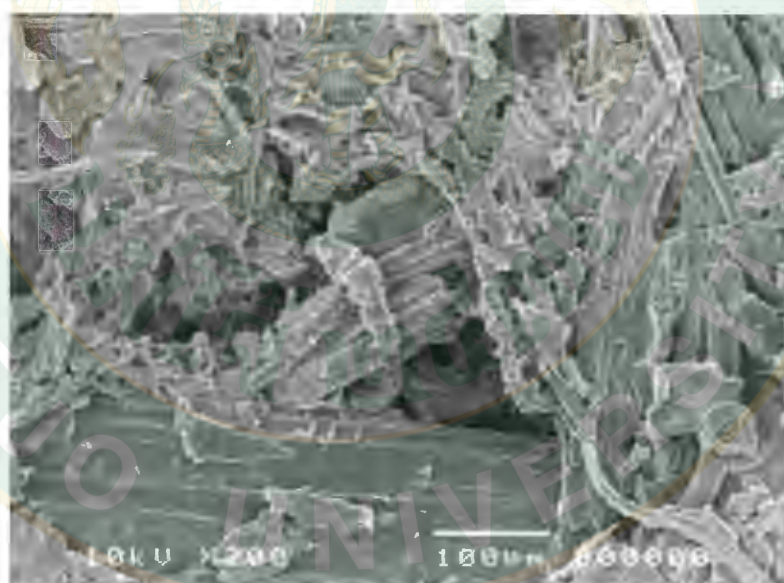


3590406597

NUJ :Thesis 59-5301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาพผนวกที่ 13 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง
จากขี้ข้าวโพดผสมทางใบปาล์ม

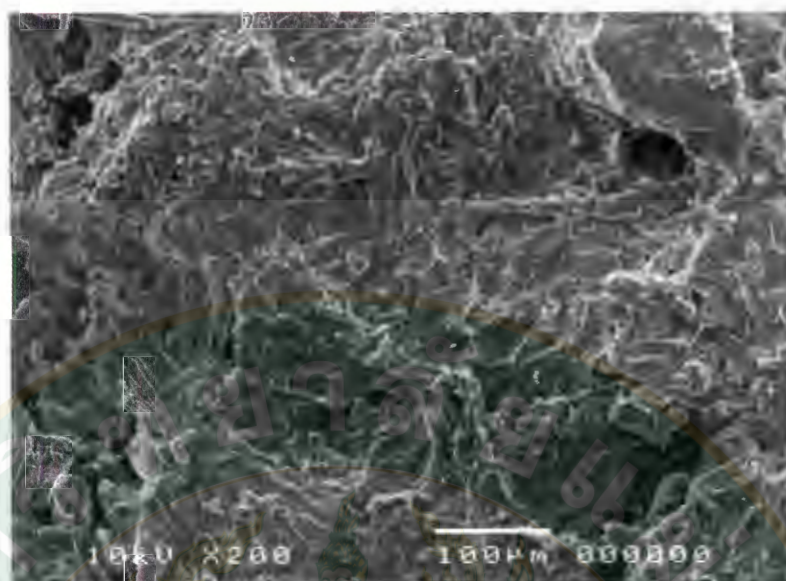


ภาพผนวกที่ 14 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง
จากขี้ข้าวโพดผสมทางมะพร้าว



3590406587

MTU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาพผนวกที่ 15 ลักษณะสัณฐานกำลังขยาย 200X ของโครงสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่ง
จากขี้ข้าวโพดผสมต้นถั่วเหลือง



3530405387

MU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาคผนวก ค.
ตัวอย่างการคำนวณ



3590408587

MU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

1.) การคำนวณคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1.1) การคำนวณความหนาแน่น

ยกตัวอย่างกรณีแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน WC100%: PL60%: CS5%

กำหนดให้ น้ำหนัก 0.07367 kg

ความสูง 0.07143 m

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.05207 m

เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.01373 m

การคำนวณค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากสมการ

$$\rho = \frac{m}{\pi r^2 h}$$

จะได้ว่า

$$\rho = \frac{0.07367}{3.14 \times (0.05207 - 0.01373)^2 \times 0.07143}$$

ดังนั้นเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความหนาแน่น

$$\rho = 863.50 \text{ kg/m}^3$$

1.2) การคำนวณดัชนีการแตกร่วน

ยกตัวอย่างกรณีแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน WC100%: PL60%: CS5%

กำหนดให้ น้ำหนักก่อนทดสอบ (SH₁) เท่ากับ 0.0437 kg

น้ำหนักหลังทดสอบ (SH₂) เท่ากับ 0.0400 kg

การคำนวณค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากสมการ

$$\text{Weight loss (\%)} = \left(\frac{SH_1 - SH_2}{SH_1} \right) \times 100$$

$$\text{Weight loss (\%)} = \left(\frac{0.0437 - 0.0400}{0.0437} \right) \times 100$$

จะได้ว่า

$$\text{Weight loss (\%)} = 8.4464$$

ดังนั้นเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าดัชนีการแตกร่วน = 100 - 8.4464

$$= 91.55 \%$$

1.3) การคำนวณความต้านทานน้ำ

ยกตัวอย่างกรณี แท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน WC100%: PL60%: CS5%

กำหนดให้ น้ำหนักก่อนทดสอบ (WR_1) เท่ากับ 0.0460 kg

น้ำหนักหลังทดสอบ (WR_2) เท่ากับ 0.0500 kg

การคำนวณค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

$$\text{จากสมการ Water gained by briquette (\%)} = \frac{WR_1 - WR_2}{WR_1} \times 100$$

จะได้ว่า

$$\text{Water gained by briquette (\%)} = \frac{0.0500 - 0.0460}{0.0500} \times 100$$

$$= 8.077$$

ดังนั้นทางใบปาล์มอัดแท่งมีค่าการต้านทานน้ำ

$$\text{ความต้านทานน้ำ} = 100 - 8.077$$

$$= 91.993 \%$$

2. การคำนวณคุณสมบัติทางด้านเคมี

2.1) การคำนวณหาค่าความชื้น

ยกตัวอย่างกรณี แท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน WC100%: PL60%: CS5%

กำหนดให้ น้ำหนักตัวอย่างก่อนการทดสอบ (MW_1) = 1.0149 g

น้ำหนักตัวอย่างหลังการทดสอบ (MW_2) = 0.9629 g

$$\text{จากสมการ MC (\%)} = \left(\frac{MW_1 - MW_2}{MW_1} \right) \times 100$$

$$\text{จะได้ว่า} = \left(\frac{1.0149 - 0.9629}{1.0149} \right) \times 100$$

$$\text{ดังนั้น} = 5.12 \%$$



3590405597

MCU_1Thesis_5915301016_thesis / rev: 27052563 20:36:23 / seq: 133

2.2) การคำนวณหาค่าสารระเหย

ยกตัวอย่างกรณี แท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน WC100%: PL60%: CS5%

กำหนดให้ น้ำหนักตัวอย่างก่อนการทดสอบ (A) = 1.0029 g

น้ำหนักตัวอย่างหลังการทดสอบ (B) = 0.2719 g

จากสมการ
$$VM = \left(\frac{A - B}{A} \right) \times 100$$

จะได้ว่า
$$= \left(\frac{1.0149 - 0.2719}{1.0149} \right) \times 100$$

ดังนั้น
$$VM = 73.21 \%$$

2.3) การคำนวณปริมาณเถ้า

ยกตัวอย่างกรณี แท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน WC100%: PL60%: CS5%

กำหนดให้ น้ำหนักตัวอย่างก่อนการทดสอบ (A) = 1.0029 g

น้ำหนักตัวอย่างหลังการทดสอบ (B) = 0.8972 g

จากสมการ
$$\text{Ash} (\%) = \left(\frac{A - B}{A} \right) \times 100$$

จะได้ว่า
$$= \left(\frac{1.0029 - 0.8972}{1.0029} \right) \times 100$$

ดังนั้น
$$\text{Ash} (\%) = 10.54 \%$$

2.4) การคำนวณหาค่าคาร์บอนคงตัว

ยกตัวอย่างกรณี แท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน WC100%: PL60%: CS5%

กำหนดให้ ปริมาณความชื้น = 5.12%

ปริมาณสารระเหย = 73.21%

ปริมาณเถ้า = 10.54%

จากสมการ
$$FC = (\% \text{Ash} + \% \text{MC} + \% \text{VC}) - 100$$

จะได้ว่า
$$= 100 - (10.54 + 5.12 + 73.21)$$

ดังนั้น
$$= 11.13\%$$



3590406597

WU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ภาคผนวก ง.
การเผยแพร่บทความวิชาการ

บทความทางวิชาการที่ 1

ชื่อผู้แต่ง: บุญยาพร แสนพรม, นิกราน หอมดวง, นัฐพร ไชยญาติ, ธเนศ ไชยชนะ
กิตติกร สาสุจิตต์ และ เสมอขวัญ ตันติกุล

ชื่อบทความ: อิทธิพลวัสดุประสานธรรมชาติที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของ
ชีวมวลอัดแท่ง

Influent of natural binder on physical properties of biomass
briquettes

ชื่อการประชุมวิชาการ: การประชุมสัมมนาวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่ง
ประเทศไทยครั้งที่ 11 (The 11th Thailand Renewable Energy for
Community Conference)

หน้าที่ตีพิมพ์: 66-71

วันที่จัดการประชุม: 28-30 พฤศจิกายน 2561

สถานที่จัดการประชุม: มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ตำบลนาฝาย อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ



3590406587

MSU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133



ขอมอบเกียรติบัตรนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

บุญยาพร แสนพรม นิกราน หอมดวง ธีรพร ไชยญาติ ธเนศ ไชยชนะ
กิตติกร สาสุจิตต์ และเสมอขวัญ ดันติกุล

บทความเรื่อง

“อิทธิพลวัสดุประสานธรรมชาติที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่ง”

ได้เข้าร่วมการนำเสนอบทความ

งานประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11

ระหว่างวันที่ 28 – 30 พฤศจิกายน 2561

ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ


รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ


ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยรินรินทร์
นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย


นายมนตรี ชาลีเครือ
นายกองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ

บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)



ภาพภาคผนวกที่ 16 บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)



3590406597

MUJ iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)



การประชุมวิชาการ
รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 11
The 11th Thailand Renewable Energy for Community Conference

56

FC30

อิทธิพลวัสดุประสานธรรมชาติที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่ง Influent of natural binder on physical properties of biomass briquettes

บุญยพร แสพนพร¹, นิกราน หอมดวง^{1*}, นัฐพร ไชยญาติ¹, อเนก ไชยชนะ¹, กิตติกร สาสุจิตต์¹ และสมอขวัญ ตันติกุล¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

ศึกษาชีวมวลในประเทศไทยมีสูง ในขณะที่การผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งมีต้นทุนที่สูงเช่นกัน จึงส่งผลให้เกิดการใช้งานอย่างแพร่หลายในชุมชน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของวัสดุประสานธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเชื่อมชีวมวลอัดแท่งและต้นทุนการผลิต โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ประกอบด้วยทางใบปาล์ม (PL) ทางมะพร้าว (CL) และต้นถั่วเหลือง (ST) เป็นตัวประสานธรรมชาติ ใช้อัตราส่วนต่อชีวมวลหลัก 60%, 40% และ 20% โดยน้ำหนักและใช้เครื่องอัดแท่งแบบเกลียว ศึกษาวิเคราะห์การขึ้นรูปชีวมวลอัดแท่ง คุณสมบัติทางกายภาพที่จำเป็นต่อการใช้งานและต้นทุนการผลิตชีวมวลอัดแท่ง ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพได้วิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ความต้านทานแรงกด ดัชนีการแตก่วน ความต้านทานน้ำ สูดหทัยวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต และพบว่าวัสดุประสานทั้งสามชนิดส่งผลให้ชีวมวลอัดแท่งที่ได้มีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานเกือบทุกอัตราส่วน โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบ BQ1 มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุด มีความหนาแน่น ดัชนีการแตก่วน ความต้านทานการอัดและความต้านทานน้ำเฉลี่ย 995.27 kg/m³, 98.64%, 8.57 MPa และ 90.61% ตามลำดับ โดยมีต้นทุนเฉลี่ย 4.207 บาท/กิโลกรัม ในขณะที่ต้นทุนการผลิตของชีวมวลอัดแท่งแบบใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 % มีต้นทุนสูงกว่าถึง 35%

คำสำคัญ: ชีวมวลอัดแท่ง วัสดุประสานธรรมชาติ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ต้นทุนการผลิต

*Corresponding author. Tel: 084-1773632. E-mail address: nigranghd@gmail.com

บทนำ

การแปลงสภาพชีวมวลเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานด้วยกระบวนการเพิ่มความหนาแน่นด้วยการอัดแบบเย็น (Cold press process) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่ง่าย ใช้พลังงานและความดันในการอัดต่ำ เทคโนโลยีที่นำมาผลิตก็มีราคาไม่สูง สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในทุกชน แต่มีปัญหาในเรื่องของตัวประสาน (Binder) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้น้ำมันซึ่งเป็นตัวประสานในอัตราส่วนที่ค่อนข้างสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งสูง ดังนั้นหากสามารถลดการใช้ตัวประสานลงให้ได้มากที่สุด ก็มีความเป็นไปได้ที่ชุมชนจะมีการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งเพิ่มสูงขึ้นและอาจส่งผลถึงภาคอุตสาหกรรม การลดการใช้ตัวประสานหรือการเปลี่ยนตัวประสานจากแป้งมันมาใช้ตัวประสานจากวัสดุธรรมชาติจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งของการลดต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ [1] งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาต่อจากการใช้วัสดุประสานธรรมชาติมาใช้งาน ผลการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูงเนื่องจากชีวมวลทั้งสามชนิดมีเส้นใยและลิกนินในปริมาณสูง [2] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจในการนำเอาชีวมวลที่มีลักษณะดังกล่าวมาทดสอบวิจัยเป็นตัวประสานการผลิตชีวมวลอัดแท่งจากไม้ ซึ่งผลที่ได้น่าจะมีส่วนช่วยในการลดต้นทุนการผลิตชีวมวลอัดแท่งลงได้และมีความเป็นไปได้ในการขยายผลสู่ชุมชนต่อไปในอนาคต

บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)



การวิจัยและพัฒนา... 67

วิธีการวิจัย

ชีวมวลหลัก วัสดุประสานธรรมชาติและการเตรียม

ชีวมวลหลัก... วัสดุประสานธรรมชาติ... การเตรียม...



ภาพที่ 1 วัสดุประสานธรรมชาติ

ภาพที่ 1 วัสดุประสานธรรมชาติ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลหลักและวัสดุประสาน

Biomass	Wood	Palm	Coconut	Soybean	Cassava
Moisture (%)	6.37	14.14	1.24	2.16	1.61
Volatile (%)	75.47	65.91	77.14	77.50	74.83
Fixed carbon (%)	16.75	18.11	21.72	19.34	18.60
Ash (%)	1.33	4.94	1.90	1.10	4.96
HHV (MJ/kg)	17.72	23.24	17.41	17.43	15.30
Cl content (kg/kg)	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00

อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

เครื่องวัดแรงดัน... เครื่องวัดอุณหภูมิ... เครื่องวัดความชื้น...

25-30 องศาเซลเซียส... 25-30 องศาเซลเซียส...

บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)



การประชุมวิชาการ
รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งอนาคตครั้งที่ 11
The 11th Thailand Renewable Energy for Community Conference

68

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

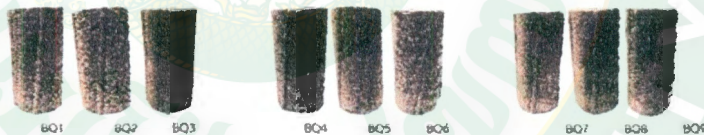
การวิเคราะห์การขึ้นรูปและลักษณะของชีวมวลอัดแท่งโดยใช้วัสดุประสานธรรมชาติทั้งสามชนิดนั้น จะใช้วิธีโดยการสังเกตผิว พื้นที่หน้าตัด ความแข็งแรง คงทน ของแท่งเชื้อเพลิง เมื่อทำการอัดหากสามารถคงรูปตามขนาดที่ต้องการได้ แสดงว่ามีความสามารถในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ แม้ทำการเคลื่อนย้ายก็ยังคงรูปไว้ไม่เกิดการเสียหายสภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากการทดลองแสดงตารางที่ 2 และภาพที่ 2 ผลการทดลองพบว่าชนิดชีวมวลอัดแท่งแต่ละตัวประสานธรรมชาติในทุกสัดส่วนเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับค้อนข้างดี BQ3-BQ5 และ BQ8 ผิวค่อนข้างเรียบดี BQ3 และ BQ5 ผิวค่อนข้างมันวาว

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเมื่อใช้วัสดุประสานธรรมชาติ

อัตราส่วน	ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง
W100% : PL60% : C10% (BQ1)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวขรุขระ มีรอยร้าวเล็กน้อย
W100% : PL40% : C10% (BQ2)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวขรุขระเล็กน้อย แข็งแรง
W100% : PL20% : C10% (BQ3)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบ แข็งแรง
W100% : CL60% : C10% (BQ4)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบ แข็งแรง มีรอยแตกเล็กน้อย
W100% : CL40% : C10% (BQ5)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบ แข็งแรง
W100% : CL20% : C10% (BQ6)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวขรุขระ มีรอยแตกเล็กน้อย
W100% : ST60% : C10% (BQ7)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบ แข็งแรงมีรอยแตกน้อย
W100% : ST40% : C10% (BQ8)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบ มีรอยแตกเล็กน้อย
W100% : ST20% : C10% (BQ9)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวขรุขระ มีรอยแตกน้อย แข็งแรง

หมายเหตุ : W: PL: C คือ เศษไม้ผสมทางไปป่าสับผสมแบ่งบ่มสำหรับหลัง W: CL: C คือ เศษไม้ผสมทางมะพร้าวผสมแบ่งบ่มสำหรับหลัง

W: ST: C คือ เศษไม้ผสมต้นกล้วยผสมแบ่งบ่มสำหรับหลัง



ภาพที่ 2 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่ผลิตได้

BQ1 - BQ3 ชีวมวลอัดแท่งใช้ทางไปป่าสับเป็นตัวประสาน 60%, 40%, 20% ตามลำดับ

BQ4 - BQ6 ชีวมวลอัดแท่งใช้ทางมะพร้าวเป็นตัวประสาน 60%, 40%, 20% ตามลำดับ

BQ7 - BQ9 ชีวมวลอัดแท่งใช้ต้นกล้วยเป็นตัวประสาน 60%, 40%, 20% ตามลำดับ

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่ง

2.1 การวิเคราะห์ความหนาแน่น

การผลิตชีวมวลอัดแท่งโดยใช้วัสดุธรรมชาติเป็นตัวประสาน เชื้อเพลิงอัดแท่ง BQ1-BQ3 มีความหนาแน่นเฉลี่ยตั้งแต่ 817.98-985.34 kg/m³ แท่งเชื้อเพลิง BQ4-BQ6 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 785.07-841.49 kg/m³ ส่วนแท่งเชื้อเพลิง BQ7-BQ9 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 803.42-860.83 kg/m³ ดังแสดงในภาพที่ 3(ก) เชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งหมดผ่าน

บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)



การประชุมวิชาการ
รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนที่ประเทศไทยครั้งที่ 11
The 11th Thailand Renewable Energy for Community Conference

69

เกณฑ์มาตรฐานตามคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่ง [7] การใช้ทางใบปาล์มเป็นตัวประสานมีความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่งเฉลี่ยสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากทางใบปาล์ม มีปริมาณลิกนินและเส้นใยสูง อีกทั้งคุณสมบัติในการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อความหนาแน่นเป็นอย่างมาก [8] ทำให้เกิดปฏิกิริยาการอัดตัวและทำหน้าที่ประสานเนื้อวัตถุดิบเข้าด้วยกัน ส่งผลให้เนื้อของชีวมวลเกาะกันได้ดี ส่วนใบปาล์มจะประกอบด้วย เส้นใยที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ในส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ จะไม่เพิ่มความหนืด ซึ่งจะช่วยให้เนื้อชีวมวลเกาะกันได้ดีและเป็นผลดีต่อการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง [9]

2.2 การวิเคราะห์ลักษณะการแตกร่วน

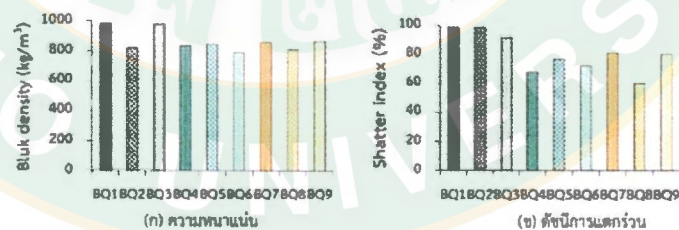
ดัชนีการแตกร่วนเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่งแสดงถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง ซึ่งจะส่งผลต่อความทนทาน การแตกร่วน ในการขนส่ง โดยคำนวณตามสูตรระหว่าง 90%-99% [10] ผลการทดสอบพบว่า แท่งเชื้อเพลิง BQ1-BQ3 เป็นแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ทางใบปาล์มเป็นตัวประสานมีดัชนีการแตกร่วนเฉลี่ย 91.67-98.65% เมื่อสัดส่วนตัวประสานเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีการแตกร่วนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่แท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ทางมะพร้าวและต้นน้ำเหลือง BQ4-BQ9 มีดัชนีการแตกร่วนต่ำกว่าเล็กน้อย ดังภาพที่ 3(ข) ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทั้งนี้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ในระหว่าง 50-100% แสดงว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน เนื่องจากค่าที่มีค่าเฉลี่ยใกล้ 1 แสดงว่ามีการจับตัวกันอย่างดี ทำให้มีการแตกร่วนน้อย [11]

2.3 การวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดอัด

ภาพที่ 5 แสดงความต้านทานแรงกดอัดของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด พบว่า BQ1 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 8.57 MPa แท่งที่มีความต้านทานแรงกดอัดน้อยที่สุดคือ BQ4 อยู่ที่ 1.15 MPa ดังแสดงในภาพที่ 4(ก) โดยแท่งอื่นๆมีความต้านทานแรงกดอัดใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากแท่งที่ใช้ทางมะพร้าวและต้นน้ำเหลืองเป็นตัวประสาน อาจจะใช้ชีวมวลในการคานาคัดค้านกว่าทำให้ชีวมวลเกิดความเปราะ ทำให้ทนแรงกดได้น้อยกว่า ซึ่งแรงกดอัดที่ได้ก่อนเชื้อเพลิงอัดแท่งจะเกิดการแตกหักจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.375 MPa [12] ซึ่งค่าความแข็งแรงของแท่งที่ยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของแท่งเชื้อเพลิงจะส่งผลให้สามารถต้านทานแรงกดอัดได้ดี

2.4 การวิเคราะห์ความต้านทานน้ำ

ความต้านทานน้ำนั้นจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับน้ำหรือมีความชื้นสูง ผลการทดสอบพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่ง BQ4-BQ6 มีความต้านทานน้ำสูงที่สุด รองลงมาคือแท่ง BQ1-BQ3, BQ7-BQ9 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย 95.29 %, 94.74% และ 85.33% ดังภาพที่ 4(ข) หากค่าความต้านทานน้ำต่ำเชื้อเพลิงก็จะมีเสถียรภาพ ไม่คงรูปเดิม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความพรุนของชีวมวลที่ใช้เป็นตัวประสาน เช่นต้นน้ำเหลืองที่มีความพรุนมากส่งผลทำให้การต้านทานน้ำต่ำ อีกทั้งเนื่องจากอัตราส่วนที่มากเกินไปทำให้ชีวมวลหลักและตัวประสานธรรมชาติยึดเกาะกันไม่ได้ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้ยังเกิดจากแรงที่กดให้เครื่องในกระบวนการผลิต



ภาพที่ 3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

28 - 30 พฤศจิกายน 2561 มหาวิทยาลัยสุโขทัยธำมาศ "รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง"

บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)



บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)



การประชุมวิชาการ
รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 11
The 11th Thailand Renewable Energy for Communities Conference

71

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาศึกษาศึกษาบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ขอขอบพระคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน โครงการวิจัยเพื่อรองรับอุตสาหกรรมวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษาประจำปีงบประมาณ 2561

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนชีวมวล จากบริษัท สานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] นิพนธ์ ต้นโพธิ์กุล และธรรพ์ บุศย์น้ำเพชร. (2559). ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา. *Veridian E-Journal (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*. 3(6) 86-100
- [2] ธนาพล ต้นดีสัตย์กุล, สุริยา พงษ์เกษม, ปรีชัชวีร์ ภูพญา และภาณุวัฒน์ ไฉ่บ้านกวย. (2558). พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากหามะพร้าว. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 23 (3), 418-431
- [3] ASTM Standard. D3173. 1997. Standard test method for moisture in the analysis sample. U.S.A.
- [4] ASTM Standard. D3175. 1997. Standard test method for volatile matter in the analysis sample. U.S.A.
- [5] ASTM Standard. D3174. 1997. Standard test method for ash in the analysis sample. U.S.A.
- [6] ASTM Standard. D3177. 1997. Standard test method for gross calorific value by the bomb calorimeter. U.S.A.
- [7] นฤภัทรา ตั้งมันคงวรกุล. (2557). การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรและครัวเรือน. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*. 6 (11), 66-77
- [8] Jaya Shankar Tumuluru, Christopher T. Wright, J. Richard Hess and Kevin L. Kenney (2011). A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application¹. *Biofuel bio products & bio refining*. 5.683-707
- [9] Rukayya I. Muazu and Julia A. Stegemann. (2015). Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks and corn cobs. *Fuel Processing Technology*. 133. 137 - 145.
- [10] อัจฉรา อัครวิกุลชัย, ชลันดา เสมสาอึ้งค์, นัฐพร ประภักดิ์, ณัฐธิดา เปี่ยมสุวรรณศิริ และ นิภาวรรณ ชูชาติ. (2554). "การนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง", ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์* ครั้งที่ 49. 162 - 168.
- [11] นิพนธ์ ต้นโพธิ์กุล และธรรพ์ บุศย์น้ำเพชร. (2559). ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา. *Veridian E-Journal (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*. 3(6) 86-100
- [12] S.R. Richard. (1990). "Physical testing of fuel briquette". *Fuel processing technology*. 25(2).89-100



3590406597

MTU :Thesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

บทความทางวิชาการที่ 2

- ชื่อผู้แต่ง: บุญยาพร แสนพรม, นัฐพร ไชยญาติ, เสมอขวัญ ตันติกุล, ธเนศ ไชยชนะ, กิตติกร สาสุจิตต์ และ นิกราน หอมดวง
- ชื่อบทความ: สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติ
Physical properties of Briquette fuel with using Natural binder.
- ชื่อการประชุมวิชาการ: การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14
(The 14th Conference on Energy Network of Thailand)
- หน้าที่ตีพิมพ์: 893-898
- วันที่จัดการประชุม: 13-15 มิถุนายน 2561
- สถานที่จัดการประชุม: โรงแรมโนโวเทล จังหวัดระยอง



3590406597

MUJ :Thesis 59:5301016 Thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133





การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14
14th Conference on Energy Network of Thailand

ขอมอบเกียรติบัตรนี้เพื่อแสดงว่า
บุญยาพร แสนพรม, นัฐพร ไชยญาติ, เสมอขวัญ ดันติกุล, ธเนศ ไชยชนะ,
กิตติกร สาสุจิตต์ และ นิกราน หอมดวง
ได้เข้าร่วมนำเสนอผลงานวิจัย “ภาคบรรยาย”

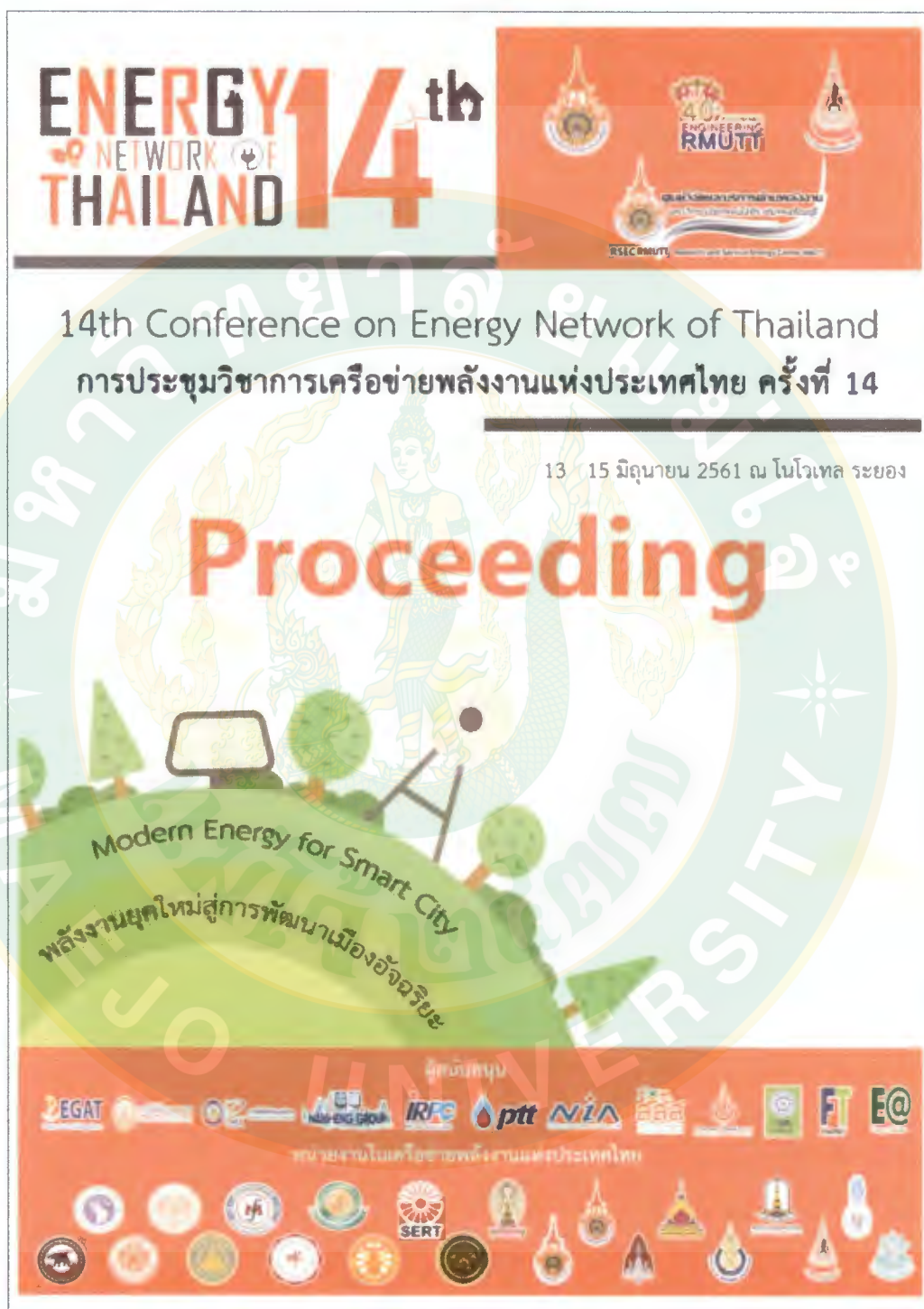
สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติ

ระหว่างวันที่ 13 - 15 มิถุนายน พ.ศ. 2561
ณ โรงแรมโนโวเทล ริมเพ จังหวัดระยอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช ไธยรัตน์
ประธานกรรมการฝ่ายวิชาการ

บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ 17 บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)



359040697

MTU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติ Physical Properties of Briquettes Fuel with Using Natural Binder.

บุญยพร แสงธรรม¹, นัฐพร ไชยวุฒิ², สมชายภูมิ คันทิวิทย์³, ธนยศ ไชยชนะ⁴, กิตติกร สาธุชิน⁵ และนิกรชน พงษ์สงว⁶

¹ วิชา ผลิตพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

* นวัตกรรม พลังงาน : E-mail : suan@pdpu.ac.th เบอร์โทรศัพท์ : 533-3194 เบอร์โทรสาร : 533-1194

บทคัดย่อ

RE-01-167

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เมื่อใช้ฟางไปป่นเป็นตัวประสานธรรมชาติ โดยมีสัดส่วนผสมกับชีวมวลหลัก 60%, 40% และ 20% ผลงานวิจัยได้ศึกษาการเปรียบเทียบเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20% และใช้เครื่องอัดแท่งแบบสกรูในการอัด การทดลองกระบวนการผลิตเริ่มจากการนำเอาชีวมวลมาบดหยาบ คัดขนาดที่ 3 มม. โดยตัวประสานธรรมชาติใช้ขนาด 1 มม. ศึกษาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย ความหนาแน่น ความต้านทานแรงกด ดัชนีการแตกหัก ความต้านทานน้ำ และต้นทุนการผลิต ผลการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติ มีสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าตัวอื่น โดยมีค่าความหนาแน่นสูงสุด 995.27 kg/m³ และมีต้นทุนการผลิตต่ำสุดอยู่ที่ 3.707 baht/kg ในขณะที่ต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้แป้งมันสำปะหลัง 20 % อยู่ที่ 6.737 baht/kg ซึ่งการใช้ตัวประสานธรรมชาติสามารถลดต้นทุนได้ถึง 45 % อีกทั้งสามารถส่งเสริมการใช้ชีวมวลอัดแท่งในระดับชุมชนและครัวเรือน สร้างมูลค่าเพิ่มแก่เศษไม้ที่เหลือใช้ และนำไปประยุกต์ใช้กับเศษวัสดุเหลือใช้ชนิดอื่นๆ ได้

คำหลัก: เชื้อเพลิงอัดแท่ง ตัวประสานธรรมชาติ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ความหนาแน่น

Abstract

The objective of this research was analyzed physical properties of briquettes fuel from agricultural wastes with using the oil palm branch as natural binder and that mixed with main biomass of 60%, 40% and 20%. The research was conducted to compare the briquettes fuel as use 20% of cassava starch and use of extruder to compress. The production process was started from the biomass of 3 mm with using 1 mm of natural binder and analysis of physical properties include of bulk density, compressive strength, shatter index, resistance to water penetration and cost production briquette fuel. The result was found that, the properties of briquettes fuel with using natural binder was high than standard all proportion and that was obtained maximum density of 995.27kg/m³, the highest production cost of 3.707 baht/kg, while the cost of production of briquettes fuel with 20% of cassava starch was about of 6.737 baht/kg. The operation of natural binders can reduce costs to 45% and that can be promoted at community and household level. Create value for the waste wood and apply to other types of agricultural wastes.

Keywords: briquettes fuel, natural binder, agricultural waste, bulk density

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ผลพลอยที่สำคัญนอกเหนือจากผลิตภัณฑ์ได้แก่ คือ เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (1) ที่มีปริมาณค่อนข้างมาก หากได้ใช้ในท้องถิ่น จึงทำให้มีการจัดการผิดวิธี โดยส่วนใหญ่ทำลายด้วยการเผาโดยเฉพาะภาคเหนือตอนบนเป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาหมอกควันที่เป็นปัญหาด้านพิษ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากร ขาดเสียอีกประการของเชื้อเพลิงชีวมวล คือ มีความชื้นสูง มีความหนาแน่นต่ำ ต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บ และมีต้นทุนในการขนส่ง การเพิ่มความหนาแน่นเชื้อเพลิงเป็นอีกวิธีหนึ่งในการเพิ่มคุณภาพชีวมวลที่ชุมชนหรือเกษตรกรสามารถเข้าถึงได้

และนำไปใช้ได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งยังมีปัญหาในเรื่องต้นทุนที่สูง ทั้งนี้เนื่องจากตัวประสานที่มีราคาถูก ตัวประสานที่นำมาใช้ส่วนใหญ่จะเป็นพวกแป้งมันสำปะหลัง อย่างไรก็ตามถ้าสามารถลดการใช้ตัวประสานหรือพัฒนาใช้ตัวประสานที่มีต้นทุนต่ำก็จะส่งผลให้มีการใช้งานเชื้อเพลิงอัดแท่งแพร่หลายขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจมุ่งเน้นการนำเอาวัสดุประสานธรรมชาติในท้องถิ่นมาเป็นตัวประสานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร



บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

2. วิธีการทดลอง

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย

2.1.1 เครื่องอัดแท่ง

งานวิจัยนี้ได้ทำการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เครื่องอัดแท่งแบบเกลียวรูปกรวย (Conical screw press) ใช้ไฟฟ้า 3 เฟส มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 hp กระบอกล้อทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm ยาว 250 mm ทำได้การผลิตของเครื่องอัดแท่งอยู่ในช่วง 100-200 kg/h อัตรากำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนอัดมีกำลัง 3.7 kW มีหลักการทำงานโดยเกลียวรูปกรวยจะดันวัสดุให้เคลื่อนไปข้างหน้า แรงอัดระหว่างเกลียวและกระบอกจะเสียดสีกันทำให้ผิวของชีวมวลเกิดความร้อนทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 70-150 °C

2.1.2 ชีวมวลและวัสดุตัวประสาน

ในการทดสอบอัดเชื้อเพลิงอัดแท่ง วัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตรที่ใช้เป็นชีวมวลหลัก ได้แก่ เศษไม้ ผ่านกระบวนการย่อยให้มีขนาด 3 mm (2) ในส่วนของตัวประสานแบ่งออกเป็น ตัวประสานทั่วไปที่ใช้ จะใช้แอมโมเนียสำหรับ และตัวประสานธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ทางใบปาล์ม ลดขนาดโดยบดพยาย 1 ครั้ง นำไปตากให้ ความชื้นลดลง จากนั้นนำไปบดละเอียด นำไปร่อนบนตะแกรงร่อนให้มีขนาด < 1 mm โดยมีการแยกเอาเศษของที่ประกอบทางเคมีอื่นๆ แสดงในตารางที่ 1

2.1.3 เครื่องฉีควัสดุ

เครื่องมือวัดในงานวิจัยประกอบด้วย เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด เป็นผลิตภัณฑ์ของ CEM รุ่น DT-8828 สามารถวัดอุณหภูมิในช่วง -50 – 1,000 °C มีความละเอียด 0.1 °C เครื่องวัดความชื้นอินฟราเรด รุ่น MD 7822 สามารถวัดความชื้นได้ตั้งแต่ 8-30% เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์ เป็นผลิตภัณฑ์ของ CST รุ่น CDR-30 พิกัดกำลัง 30 kg × 1 g อุณหภูมิใช้งานที่ 5-40 °C



รูปที่ 1 (a) เศษไม้ และ (b) ทางใบปาล์ม

ตารางที่ 1 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีชีวมวลก่อนการทดสอบ

Biomass	Wood	Cassava	Palm
Moisture	6.35	15.05	13.12
Ash	1.80	0.52	4.53
Volatile	83.95	59.83	82.52
Fix carbon	7.93	17.00	2.86
C	42.12	48.23	38.20
H	6.52	8.18	5.20
N	0.45	0.81	0.8
O	45.11	31.08	47.5
S	0.01	0.18	0.87
HHV (MJ/kg)	10.37	16.29	1.84
density (kg/m ³)	132.6	127.32	114.26

2.2 วิธีการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

2.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

เริ่มจากการเตรียมชีวมวลหลัก คือ เศษไม้ลดขนาดโดยเครื่องบดละเอียด จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm สำหรับการเตรียมตัวประสานธรรมชาติ คือ ทางใบปาล์ม นำเข้าเครื่องย่อยพืชสด จากนั้นนำไปลดความชื้นด้วยการตากให้แห้งด้วยแสงอาทิตย์แล้วนำมาลดขนาดอีกครั้งด้วยเครื่องบดละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 1 mm บดอย่างละเอียด 10 kg และเก็บไว้ในที่แห้ง

2.2.2 การอัดแท่งชีวมวล

ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง โดยเครื่องอัดแท่งแบบสกรู ทำการทดสอบโดยการใช้อัตราส่วนระหว่าง ชีวมวลหลัก (เศษไม้) 100% : ตัวประสานทั่วไป (แอมโมเนียสำหรับ) 10% : ตัวประสานธรรมชาติ (ทางใบปาล์ม) 20%, 40% และ 60% จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักเศษไม้ 1 kg แอมโมเนียสำหรับ 0.1 kg และทางใบปาล์ม 0.2, 0.4 และ 0.6 kg ตามลำดับ นำมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน โดยใช้น้ำอยู่ในช่วง 50 – 100 % ต่ออัตราส่วนชีวมวลหลัก จากนั้นนำเข้าเครื่องอัดแท่ง โดยเริ่มแรกในการเปิดเครื่อง ฝุ่นเครื่องอัดแท่งให้ร้อนและได้อุณหภูมิสูงเกิดชีวมวลที่ได้ขึ้นรูปเป็นแท่ง โดยดูลักษณะผิวและความแข็งของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเป็นเป็นแท่งของชีวมวลอยู่ในช่วง 70 – 100 °C โดยทำการทดสอบวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการใช้แอมโมเนียสำหรับ 20% ต่ออัตราส่วนชีวมวลหลักเพียงอย่างเดียว

บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์สมบัติความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทำได้โดยการคำนวณจากอัตราส่วนต่อปริมาตรของแท่งเชื้อเพลิง การวิเคราะห์ความต้านทานแรงกด ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 162 โดยการใช้เครื่องอัดและวิธีการวิเคราะห์ดัชนีการแตกร่วน โดยใช้วิธี Drop shatter test ตามมาตรฐาน ASTM D 3038 ส่วนความต้านทานน้ำ [3] วิเคราะห์โดยใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งขนาด 100 mm แท่งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วัน หลังจากการขึ้นน้ำหนักตัวอย่างก่อนและหลังทดสอบ เพื่อคำนวณร้อยละการดูดน้ำของแท่งตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่ง [4] สมการการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพแสดงดังต่อไปนี้

ความหนาแน่น (Bulk Density) คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\rho = \frac{m}{\pi r^2 h} \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง, kg/m^3

m คือ มวลของเชื้อเพลิงอัดแท่ง, kg

r คือ รัศมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง, m

h คือ ความยาวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง, m

ความต้านทานแรงกดอัด (Compressive strength) คำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

เมื่อ σ คือ ความต้านทานแรงกดอัด, kg/cm^2

F คือ ขนาดแรงกดอัด (kg)

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ใช้รับแรงกดอัด, cm^2

ดัชนีการแตกร่วน (Shatter index test) [5]

คำนวณได้จากสมการที่ 3

$$\text{Weight loss (\%)} = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ B_1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนการทดสอบ

B_2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังการทดสอบ

ความต้านทานน้ำ (Water resistance) สามารถ

คำนวณได้จากสมการที่ 4 และ 5 [3]

$$\text{Water gained by briquette (\%)} = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Water resistance (\%)} = 100 - \text{Water gained} \quad (5)$$

เมื่อ B_1 คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนแช่น้ำ

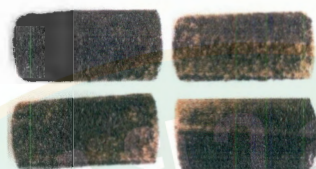
B_2 คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังแช่น้ำ

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่ง

3.1 การวิเคราะห์กายภาพทั่วไป

แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตโดยใช้ตัวประสานเป่ามันสำปะหลัง 10% ตัวประสานธรรมชาติอัตราส่วน 60%, 40% และ 20% พบว่าอัตราส่วน 60% มีความร่วน และรอยร้าวบริเวณผิวภายนอกเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2 เมื่อสัมผัสผิวจะมีเศษชีวมวลออกมา แต่ที่อัตราส่วน 20% และ 40% ผิวค่อนข้างเรียบ เมื่อทดสอบตัดดูพื้นที่หน้าตัดของแท่งเชื้อเพลิงทั้งสามอัตราส่วนพบว่าไม่มีรูพรุนหรือช่องว่างระหว่างชีวมวล ชีวมวลและตัวประสานธรรมชาติรวมกันเป็นเนื้อเดียวกัน มีการเกาะตัวกันแน่น มีความแข็งแรง เกาะยึดกันเป็นแท่งได้ดี ทั้งนี้ลักษณะของผิวและความแข็งแรงของแท่งเชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับอัตราส่วน หากใช้ตัวประสานธรรมชาติ 60% อาจจะมีอัตราส่วนที่มากเกินไปเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของทางใบปาล์มมีความเป็นเส้นใยมาก เมื่อมารวมและผสมกับชีวมวลหลักที่เป็นเศษไม้จึงไม่ค่อยเรียบ อีกทั้งแรงที่อัดให้แท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งและอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ผิวของแท่งเชื้อเพลิงที่ออกมาแตก สำหรับแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้เป่ามันสำปะหลังเป็นตัวประสาน 20% มีลักษณะผิวที่เรียบ แท่งเชื้อเพลิงแน่น แข็งแรง มีความมันวาว ทั้งนี้เนื่องจากเป็นมันสำปะหลังมีสมบัติทำให้ผิวของเชื้อเพลิงยึดเกาะกันได้ดี [6]

บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)



รูปที่ 2 ลักษณะกายภาพของแท่งเรซินที่อัตราส่วนต่าง ๆ

(a) W+C10%+P60% (b) W+C10%+P40%
(c) W+C10%+P20% (d) W+C20%

3.2 การวิเคราะห์ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของเรซินที่อัตราส่วนที่มีคุณภาพตามมาตรฐานส่วนนี้วิจัยค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (มาตรฐานคู่มือกรมโรงงานอุตสาหกรรม) [7] และ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ด้านอัดแท่ง มผช. ๒๓๘/๒๕๔๗ [8] จะต้องมีความหนาแน่นสูงสุด รองลงมาคือ 40% และ 20% โดยมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 995.27, 984.53 และ 898.75 kg/m³ ตามลำดับ เนื่องจากทางใบปาล์ม มีปริมาณลิกนินและเส้นใยสูง เมื่อทำการอัดขึ้นรูปอุณหภูมิจะสูงขึ้น ทำให้ลิกนินเกิดการอ่อนตัวและทำหน้าที่เสมือนตัวประสานส่งผลให้เนื้อของชีวมวลเกาะกันได้ดี ส่วนไฟเบอร์จะประกอบด้วย เส้นใยที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ในส่วนที่สามารถละลายน้ำได้จะไปเพิ่มความหนืด ซึ่งจะช่วยให้น้ำเชื่อมวอดเกาะกันได้ดีและเป็นผลดีต่อการอัดขึ้นรูปเรซินชีวมวลอัดแท่ง [9]



รูปที่ 3 ความหนาแน่นของเรซินที่อัตราส่วนต่าง ๆ

3.3 การวิเคราะห์ความต้านทานแรงกด

การวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดของเรซินที่อัตราส่วนที่สามอัตราส่วน พบว่าเรซินที่อัตราส่วนที่อัตราส่วน 60% มีความต้านทานแรงกดสูงที่สุดอยู่ที่ 8.57 MPa ดังรูปที่ 4 เนื่องจากปริมาณอัตราส่วนระหว่างชีวมวลหลักและตัวประสานธรรมชาติทำให้เรซินมีความแข็งแรง สามารถทนแรงกดได้มาก ส่วนอัตราส่วนที่ 40% และ 20% มีความต้านทานแรงกดที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.90 และ 6.77 MPa ส่วนเรซินที่อัตราส่วนที่ใช้ตัวประสานแบ่งเป็นสี่ส่วนที่มีค่าความต้านทานที่ต่ำกว่าการใช้ตัวประสานธรรมชาติ อยู่ที่ 18.25 MPa ทั้งนี้ความแข็งแรงของแท่งที่อัดเหนียวระหว่างอนุภาคของเรซินจะส่งผลให้สามารถต้านทานแรงกดได้ดี [10]

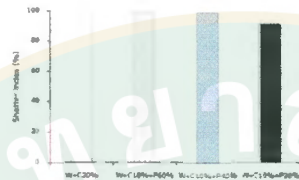


รูปที่ 4 ความต้านทานแรงกดของเรซินที่อัตราส่วนต่าง ๆ

3.4 การวิเคราะห์ดัชนีการแตกร่วน

ดัชนีการแตกร่วนแสดงถึงสมบัติที่มีความเหมาะสมในการนำไปเป็นเรซินที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน ซึ่งถ้ามีการแตกร่วนน้อยก็จะส่งผลให้เรซินไม่แข็งแรง แตกง่าย ร่วนซุยและถ้ามีค่าดัชนีการแตกร่วนมากก็จะส่งผลให้ก้อนเรซินอัดแน่น มีความแข็งแรงมาก [11] ผลการทดสอบพบว่า เรซินที่อัตราส่วนที่ใช้ตัวประสานธรรมชาติที่อัตราส่วน 60%, 40% และ 20% มีสมบัติการแตกร่วนที่ดี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 98.64%, 98.65% และ 91.67% ตามลำดับ ทั้งนี้เกิดจากการยึดเกาะกันของลิกนินและเส้นใยของทางใบปาล์มที่ช่วยให้แท่งชีวมวลมีความแข็งแรง ในขณะที่เรซินที่อัตราส่วนที่ใช้ตัวประสานแบ่งเป็นส่วนสี่ส่วนที่มีค่าดัชนีการแตกร่วน 99.33% ซึ่งมีค่ามากกว่าเล็กน้อย ถือว่าเรซินที่อัตราส่วนที่ใช้นั้นมีความเหมาะสมกับคู่มือกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยค่ามาตรฐานอยู่ระหว่าง 90 - 99 % ดังรูปที่ 5

บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)



รูปที่ 5 ดัชนีการแตกตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

3.5 การวิเคราะห์ความต้านทานน้ำ

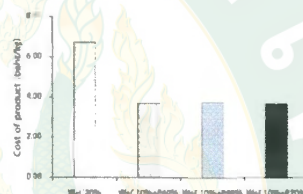
จากการทดสอบความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าการใช้ตัวประสานธรรมชาติที่อัตราส่วน 20% มีความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่งสูงสุด รองลงมาคืออัตราส่วน 40% และ 60% ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย 94.74%, 94.04% และ 90.61% ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนของตัวประสานธรรมชาติ 60% ที่มีมวลรวมต่ำกว่า ความพรุนของชีวมวลส่งผลทำให้การต้านทานน้ำต่ำ อีกทั้งเนื่องจากอัตราส่วนที่มากเกินไปทำให้ชีวมวลหลักและตัวประสานธรรมชาติยึดเกาะกันไม่ได้ไม่เท่าที่ควร นอกจากนี้อาจเกิดจากแรงที่กดให้เครื่องในขณะที่กำลังอัดแท่งชีวมวล ในขณะที่เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานมีการต้านทานน้ำสูง เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงนั้นมีลักษณะผิวที่เรียบ ไม่มีรอยแตก มวลของชีวมวลหลักยึดเกาะกันโดยแป้งมันที่โครงสร้างทางเคมีที่ทำให้มีความเหนียว ยึดระหว่างผิวของชีวมวลได้อย่างดีก็ตามเชื้อเพลิงที่ทำการทดสอบโดยใช้ตัวประสานทั้งสองรูปแบบมีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตจะทำการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้เศษไม้เป็นชีวมวล ใช้ตัวประสานแป้งมันสำปะหลัง 10% ใช้ตัวประสานธรรมชาติ 60%, 40% และ 20% พบว่ามีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 3.707, 3.698 และ 3.680 baht/kg ตามลำดับ และเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้เศษไม้เป็นชีวมวลหลักใช้ตัวประสานทั่วไป 20% พบว่ามีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 6.737 baht/kg ซึ่งเราจะเห็นว่าต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้ตัวประสานแป้งมันสำปะหลังค่อนข้างสูง แต่เมื่อใช้แป้งมันลดลง 50% จากเดิมและใช้ตัวประสานธรรมชาติช่วยในการจับรูปก็จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5. สรุปผลการศึกษา

ลักษณะกายภาพทั่วไปของเชื้อเพลิงชีวมวลเมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติบางอัตราส่วนมีผิวขรุขระ และมีรอยแตกเพียงเล็กน้อย แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีความแข็งแรง ไม่เปราะแตกหักง่าย

การใช้ตัวประสานธรรมชาติมีสมบัติทางกายภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกอัตราส่วนแต่ต่ำกว่าการใช้ตัวประสานทั่วไป 20 % เล็กน้อย

การใช้ตัวประสานธรรมชาติสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ถึง 3 บาท นำไปสู่เสริมการใช้ชีวมวลอัดแท่งในระดับชุมชนและครัวเรือน อีกทั้งสามารถสร้างมูลค่าให้แก่เศษไม้ที่เหลือใช้ และนำไปประยุกต์ใช้กับเศษวัสดุเหลือทิ้งชนิดอื่นๆ ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาทักษะบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนทุนวิจัย จากกองทุน เพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและ แผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน โครงการวิจัยเพื่อขอรับ ทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษาประจำปี งบประมาณ 2561

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนวัสดุสำหรับการ พัฒนาผลิตภัณฑ์นวัตกรรม จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โครงการพัฒนาหน่วยวิจัยระดับ บัณฑิตศึกษาเพื่อการสร้างนวัตกรรมด้านการเกษตร

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2556). สถิติ การเกษตรของประเทศไทย ปี 2556 แหล่งที่มา : <http://www.oae.go.th> เข้าดูเมื่อวันที่ 5/04/2561
- [2] Oyelaran, O.A., B.O., Bolaji, M.A. Waheed and M.F. Adekunle.(2014). Effects of binding ratios on some densification characteristics of groundnut shell briquettes, *Energy & Environment*, vol.5(2), pp. 167 – 172.
- [3] ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์ และภูมิพัฒน์ ภาชนะ (2558). การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถั่วเน่าเปี้ยว, การ ประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและ นานาชาติ, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา จังหวัด กรุงเทพฯ
- [4] Sengar S. H., Mohod A. G., Khandetod Y. P., Patil S. S., and Chendake A. D. (2012). Performance of briquetting machine for briquette fuel, *International Journal of Energy Engineering*, vol.2(1), pp. 28 – 34.
- [5] Rajaseenivasan T., Srinivasan V., Syed Mohamed Qadir G. and K., Srihar. (2016). An investigation on the performance of sawdust briquette blending with neem powder, *Alexandria Journal of Engineering*, vol.55(3), September 2016, pp. 2833 – 2838.
- [6]. Okey Francis Obi. (2014). Evaluation of the physical properties of composite briquette of sawdust and palm kernel shell, *Biomass Convention and Biorefinery*, vol5(3), September 2015, pp. 271 – 277.

[7] สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2555). โครงการศึกษา กำหนดมาตรฐานของ Biomass Pellet เพื่อพัฒนาเป็น เชื้อเพลิงชีวมวล

[8] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง มผช.๒๓๘๘/ ๒๕๕๗.

[9] Rukayya I. Muazu and Julia A. Stegemann (2015) Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks and corn cobs, *Fuel Processing Technology*, vol.133, May 2015, pp. 137 – 145.

[10] Lei Guo, Decheng Wang, Lope G. Tabil and Guanghui Wang. (2016) Compression and relaxation properties of selected biomass for briquetting, *Biosystems Engineering*, vol.148, August 2016, pp. 101 – 110.

[11] อังฉรา อัครวิจิตรชัย, ชลันดา เสนาลัยณ์, บัณฑิต ประภักดิ์, ณัฐธิดา เปี่ยมสุวรรณศิริ และ นิการรณ์ ชูชาติ (2554). การนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาใช้ ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งการประชุมทางวิชาการ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ครั้งที่ 49, หน้า 162 168.

บทความทางวิชาการที่ 3

- ชื่อผู้แต่ง: Boonyaporn Saenprom, Nigran Homdoun, Tanate Chaichana, Nattaporn Chaiyat and Rameshprabu Ramaraj
- ชื่อบทความ: Briquette physical properties with using oil palm leaves and soybean plant as natural binders.
- ชื่อการประชุมวิชาการ: The 26th Tri-U International Joint Seminar and Symposium
- หน้าที่ตีพิมพ์: 405-408
- วันที่จัดการประชุม: 20-24 October 2019
- สถานที่จัดการประชุม: Jiangsu University, China



359040597
MOT : Thesis 59:5301016 Thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133





Certificate of Participation **Boonyaporn Saenprom**

Has taken part in

The 26th Tri-U International Joint Seminar & Symposium

THEMES: Population, Food, Energy, Environment and The Belt & Road Initiative

Oct. 20-25, 2019

Organized and hosted by Jiangsu University, China

Professor Yan Xiaohong
Chair of the 26th Organizing Committee
President of Jiangsu University

บทความวิชาการที่ 3 (ต่อ)

The 26th Tri-U International Joint Seminar and Symposium
Jiangsu University, China, October 20 -- October 24, 2019

Briquette physical properties with using oil palm leaves and soybean plant as natural binder

Boonyaporn Saenpro, Nigran Homdoun*, Tanate Chaichana, Nattaporn Chaiyut,
Rameshprabu Ramaraj

School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, 50290, Thailand
*e-mail: nigranhd@gmail.com

Abstract The production of briquette fuel is one method to manage agricultural waste for Thailand. While the problem of this method will cause high-cost fuel, the major cause has occurred high price. Thereby, the objective of this research has studied the effect of natural binder on briquette physical properties using oil palm fronds (PF) and soybean plant (SB). The agricultural waste was used wood chips (WC), rice straw (RS) and corn cobs (CC) that varied natural binder in a range of 20%-60% by weight, while the cassava starch was fixed of 10%. The extruder machine was used screw type and 3 kW electrical motor. The physical properties of biomass briquette were analyzed bulk density, compressive strength, shatter index, resistance to water and production cost. The result was found that the partial physical properties of briquette fuels were qualified in the standard of Thailand community briquette fuel with using natural binder high than 60%. The oil palm fronds were obtained high interlocking properties than soybean. The overview experiment of three biomass briquette fuel was saved cost production more than 57%.

Key words: Natural binder, Physical properties, Oil palm fronds, Soybean plants

1. Introduction

Currently, global energy demand is likely to increase due to the high level of the population worldwide and the advancement of technology [1,2]. Most energy dependence on fossil fuels [3,4]. Thailand is an Asian country that has limited fossil energy. Earlier, that has imported fuel from overseas more than 80%, which affects the economy of the country. In 2015 Thailand government has developed alternative energy development plan AEDP2015 and has determined that the use of renewable energy will increase by 30%, the biomass energy is one of all energy [5]. Thailand is an agricultural country and more the potential of agricultural waste, such as rice husk, bagasse, rice straw, oil palm leaves or etc [6,7]. Because the material has low energy density, applications need to increase density which the production of briquette fuel is the right technology at present.

Compression low pressure is a commonly used method in the conversion of biomass by the process of increasing biomass density which can be used as energy that is a simple forming, low energy consumption, low compression pressure, inexpensive technology and that can be applied in a Thailand community, however, the common issue for this technology is the binder. General binder made from cassava starch that is high cost production. The reducing ratio of cassava starch in the briquette is interested and should study. The attempt use of natural binder materials is another way to reduce the cassava starch, previously, it found that the briquette fuel is qualified according to Thailand standard criteria and reduce costs production [8].

Therefore, this research was focused on study was conducted to produce briquette fuel from agricultural waste and using the oil palm leaves and soybean tree as a natural binder. The result of research to reduce the cost of producing briquette biomass and that can extension to community with is sustainable development in the further.

2. Materials and Methods

2.1 Agricultural waste and preparation

In this research was separated agricultural waste 2 types such as main biomass and natural binder biomass. The main biomass was consisted of wood chips, rice straw and corn cobs which the physical and chemical properties was previous reported work [9,10]. natural binder biomass was consisted of

oil palm fronds and soybean plants are shown in Fig 1. The main biomass was selected from north Thailand farms while the oil palm fronds and soybean plants were derived from palm oil tree pruning within Maejo University and agricultural waste industrial. The all biomass was started from crushed of 1-3 mm of sizing, after that the biomass will be dried in the dryer set and separated by a sieve to be less than 1 mm before compressing.

2.2 Biomass briquette machine and instrument

The briquette machine was used screw press are shown in Fig 2, the component of that machine separated 2 parts include electric motor and screw press units. The motor power was of 3 kW or 5 HP and 3 phase, 1750 rpm of machine speed and use 3 V-belt were power transmission. The screw press was tapered spiral and the tip was a cylindrical shape to create a hole in the center of briquette fuel. The diameter and length of extruder cylinder was of 5 cm and 25 cm respectively.

The instrument of experiment was used infrared thermometer, electronic weighing scales and digital Multi meters. The infrared thermometer was of AFROPAK model A11-4.2R can be measuring between -35 ~ 630 °C and accuracy ± 3 °C. The Electronic weighing scales was operated of DIGI model DS-6 7.1, rated power of 3.0 kg, the digital Multi-meters was used UT200 Model: UT200B, AC Current (A): 20-600 A and accuracy ± (1.5% + 5).

2.3 Experimental procedure

In the experiment, the main biomass was mixed with natural binder of 60%, 40%, 20% by weight and fixed cassava starch at 10% by weight. After that, remove the mixed finish biomass input in the extruder, observe and consider the biomass briquette from the extruder cylinder, cut biomass briquette and carried out the drying in a solar dryer about 5 days. During work, recording of temperature at inside and outside of extruder cylinder after that use the multi-meter measured energy consumption and biomass briquette production rate. The all experiment was tested 3 times, when the biomass briquette was obtained moisture less than 15%, the all samples were tested and analyzed for biomass briquette properties under American Society for Testing and Material (ASTM). The all equation for analysis can be calculated the following (1) - (5).

บทความวิชาการที่ 3 (ต่อ)



Fig. 1 oil palm fronds and soybean plant

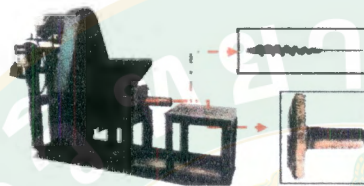


Fig. 2 Biomass briquette machine

The bulk density was the mass of bulk biomass briquette that occupies a unit volume of a biomass briquette that calculated by using equation 1.

$$\rho_b = \frac{m_b}{\pi h (r_o^2 - r_i^2)} \quad (1)$$

When ρ is the bulk density of briquettes (kg/m^3), m is mass of briquettes biomass (kg), r_o , r_i is external and internal radius (m) and h is height or long of briquettes biomass (m). The Compressive strength, shatter index and water resistance was calculated by equation 2-6 which as below [5]

$$CS = F \pi (r_o^2 - r_i^2) \quad (2)$$

$$W_{sh} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (3)$$

$$SI(\%) = 100 - W_{sh}(\%) \quad (4)$$

$$W_{wa} = \frac{W_{w1} - W_{w2}}{W_{w1}} \times 100 \quad (5)$$

$$WS(\%) = 100 - W_{wa}(\%) \quad (6)$$

when CS is compressive strength (MPa), F is the weight of hydraulic jack (N), W_{sh} is percentage of the weight loss on shattering process (%), W_1 and W_2 is weight of briquette before and after shattering process (kg), SI is shatter index (%), W_{wa} is percentage of the weight of water absorb in briquette biomass (%), W_{w1} and W_{w2} is weight of water absorb in briquette biomass before and after water resistance process and WS is water resistance of briquette biomass (%).

3 Result and Discussion

3.1 Physical properties of biomass briquette

Table 1. shows the physical properties of all biomass briquette with varied ratio of main biomass and natural binder. The wood chip mixed oil palm fronds and soybean plant shown in BF1-BF6 while rice straw was indicated in BF7-BF12 and BF13-BF18 of corn cob. It was found that, the increasing of

natural binder was resulted to increased adhesion which can be observed from external biomass briquette surface, the shiny and smooth surface was indicated of ability to interlocking of all the biomass [11]. The use of oil palm fronds was obtained physical properties high than the soybean plant natural binder.

3.2 Bulk density

Fig.3 shows the average bulk density of briquette biomass with varied the natural binder between 20-60%. The density of all briquette biomass was obtained high than 600 kg/m^3 which means that higher than the standard of Thailand and the overseas, normally, the bulk density of briquette between $600-700 \text{ kg/m}^3$ [12]. The use of high natural binder was led to increase the bulk density. The wood chip, rice straw and corn cob briquette was obtained bulk density of $803 - 985 \text{ kg/m}^3$, $960-1,513 \text{ kg/m}^3$ and $965-1213 \text{ kg/m}^3$ respectively. For comparing the biomass types, the rice straw was high bulk density than corn cob and wood chip. High bulk density of rice straw was occurred high porosity of rice straw, the natural binder can be inserted into the structure of that better than wood chip and corn cob [13].

3.3 Compressive strength

Compressive strength, defined as the maximum crushing load a briquette biomass could withstand before cracking or breaking [14]. It can be estimated from the maximum force applied to area of the face of briquette biomass or pellet fuel [15].

Table 1: Physical properties of biomass briquette

Sample	Ratio of Main biomass: Natural binder					
	60%		40%		20%	
	PF	SB	PF	SB	PI	SB
WC	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6
RS	BF7	BF8	BF9	BF10	BF11	BF12
CC	BF13	BF14	BF15	BF16	BF17	BF18

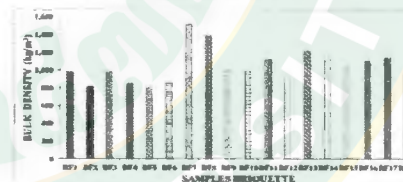


Fig. 3 Average bulk density of briquette biomass

Fig. 4 shows compressive strength of briquette biomass. It was found that, the rice straw at BF7 and BF8 was achieved maximum compressive strength. Observation, the rice straw briquette was high compressive strength than both biomasses. Due to the physical of biomass, the maximum of compressive strength of is BF7 and BF8 was of 15.06 MPa and 12.09 MPa

บทความวิชาการที่ 3 (ต่อ)

respectively

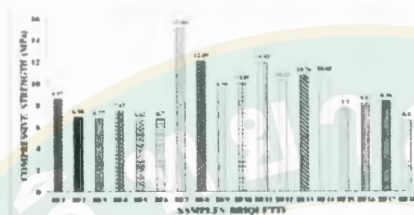


Fig. 4 Compressive strength of briquette biomass

3.4 Shatter index

The shatter index is the durability of the briquettes biomass. This research was determined in accordance with the Shattered index described by Suparin et al. [16]. Fig.5 shows the effect of natural binder and types biomass on the shatter index of briquettes biomass. The increasing of the natural binder was effected on high shatter index. Generally, the standard shatter index was accepted of more than 90%, the use of rice straw on oil palm frond and soybean was high shatter index while some wood chip and corn cob on soybean were lower than 90%. The overall shatter index of three briquette biomass was obtained in a range of 72-99%, with wood chip, rice straw and corn cob were achieved between 71.9-98.6%, 91.3-97.2% and 86.2-95.5%, respectively.

3.5 Water resistance

Fig.6 shows the water-resistance of briquettes biomass. Increasing the natural binder was resulted in to increase the water resistance. The use of wood chip and corn cob was obtained water resistance high than rice straw, the porosity of the material was the main factor in water absorption, while relaxed density was one factor that can cause moisture to enter the surface of the briquette biomass [17]. However, the general standard of water resistance was indistinct and that problematic for a summary of water resistance. The overall water-resistance of three briquette biomass was achieved in a range of 63-95%.

3.6 Briquettes biomass cost production

Fig.6 shows the cost production of three briquettes biomass consist of wood chip, rice straw and corn cob. The briquettes biomass that shows the cost production was caused by select the main biomass on the natural binder ratio. It was found that the cost production of wood chips, rice straw and corn cob on 60% of the natural binder was 3.71 Baht/kg, 3.80 Baht/kg and 3.81 Baht/kg. However, comparing the 20% of cassava starch and general briquettes biomass, the cost production of three biomasses between 6.7-6.9 Baht/kg and 7.0 Baht/kg, which that more than 57% [17,18]. Therefore, the use of natural binders can be reducing briquettes cost production, which should support dissemination to the community.

5. Conclusions

The natural binder in this work can be used instead of cassava starch as well, in which the oil palm frond was had better properties than soybeans plant. The use of rice straw, corn cob and the wood chip on 60 % of the natural binder was achieved beyond and similar Thailand standard briquette which rice straw has outstanding properties in terms of bulk density, compressive strength and shatter index while the water

resistance is weak with comparing both biomass. The use of natural binders can be reducing cost production in a range of 50-57% and that should support dissemination to the community.

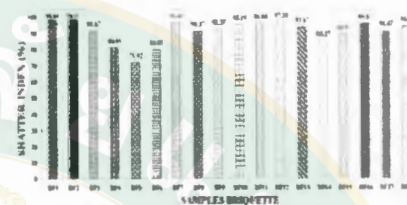


Fig. 5 Shatter index of briquette biomass

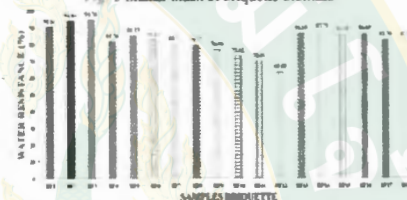


Fig. 6 Water resistance of briquette biomass

6. Acknowledgments

Authors would like to thanks for providing the research grant from School of Renewable Energy Maejo University "Project and development of the renewable energy potential graduates ASEAN". Scholarship of project Starts up from graduate school Maejo University, Fiscal 2018, EPPO: Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, Thailand, National Research Council of Thailand (NRCT) under the Thailand-China Cooperation Program, Fiscal 2016-2019 and LANNA AGRO INDUSTRY CO., LTD. (LACO) for support of biomass.

References

- [1] Bautista, K., Unaprom, Y., and Ramaraj, R. (2019). Bioethanol production from corn stalk juice using *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5020 Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 41(13), 1615-1621.
- [2] Casabar, J. T., Unaprom, Y. and Ramaraj, R. (2019). Fermentation of pineapple fruit peel wastes for bioethanol production. Biomass Conversion and Biorefinery, 9(4), 761-765.
- [3] Mariano, A. P. B., Unaprom, Y., and Ramaraj, R. Biotransformation of coconut (*Cocos nucifera*) pulp residue for bioethanol production using thermal-alkaline pretreatment process. Proceeding of the 1st Thailand Biorefinery Conference "The Future of Biorefinery for Thailand 4.0", Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 1-6.
- [4] Ramaraj, R., and Unaprom, Y. (2019a). Optimization of pretreatment condition for ethanol production from *Cyperus difformis* by response surface methodology. 3 Biotech, 9(6), 218.
- [5] Papong, S., Yuvariyama, C., Lohsomboon, P., and Malakul, P. (2004). Overview of Biomass Utilization in

บทความวิชาการที่ 3 (ต่อ)

- Thailand. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/228794464>. On review of Biomass Utilization in Thailand.
6. Ramaraj R., and Unpaprom Y. (2019b). Enzymatic hydrolysis of small-flowered nutsedge (*Cyperus difformis*) with alkaline pretreatment for bioethanol production. *Maeco International Journal of Science and Technology*, 13(7), 116-120.
 7. Vu, P. T., Unpaprom Y., and Ramaraj R. (2018). Impact and significance of alkaline oxidant pretreatment on the enzymatic digestibility of *Sphenoclea zeyheri* for bioethanol production. *Bioresour. Technology*, 247, 125-130.
 8. Nalladurai Kalayan, R. Vance Morcy (2010). Natural sun-dry and solid bridge rope binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. *Bioresour. Technology*, 101(5), 1092-1090.
 9. Indrak S., Homdoung S., Dussadee N., Tharavut C., and Ramaraj R. (2017). Effect of torrefaction time on agricultural waste, chemical properties. *Proceedings of the 24th Tri-University International Joint Seminar and Symposium 2017*. Mie University, Japan, 23-24 October 2017.
 10. Rattanaaphabon, P., Homdoung, S., Tharavut, C., Dussadee, N., Tharavut, C., and Ramaraj, R. (2018). An analysis: Energy of waste corn production with using torrefaction process. *Proceedings of the 25th Tri-University International Joint Seminar and Symposium 2018*. Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Thailand 4-5 November 8.
 11. Luyale, S., Polhare, J., and Mahalik, DM. (2019). Physical and thermal properties of briquettes by piston press and screw press. *International Journal of Agricultural Engineering*, 3(2), 223-227.
 12. Birwatkar, V. R., Khandekar, Y. P., Mohod, A. G., and Dhande, K. G. (2014). Physical and thermal properties of biomass briquetted fuel. *Indian Journal of Scientific Research and Technology*, 1(4), 55-62.
 13. Garcia-Muñoz, A., and Perez-Jimenez, J. A. (2018). Biomass Pelletization Standards. Available from: https://books.google.co.th/books?id=Mn6tAAQ0B3U&dq=Swedish+standard+S8+107120&source=ghs_navlinks.
 14. Chou, C. S., Lu, S. H., and Lu, W. C. (2009). Preparation and characterization of solid biomass fuel made from rice straw and rice bran. *Fuel Processing Technology*, 90(7-8), 980-987.
 15. Kers, J., Kulu, P., Annun, A., Laumaa, A., Krizim, P., Soos, L., & Kask, A. (2010). Determination of physical, mechanical and burning characteristics of polymeric waste material briquettes. *Estonian Journal of Engineering*, 16(4), 307-316.
 16. Kubik, P., and Kazimirova, A. (2015). Mechanical properties of pellets in compression. *Research in Agricultural Engineering*, 61(81), 551.
 17. Chaiklangmuang, S., Supa, S., & Kaewpet, P. (2008). Development of fuel briquettes from biomass-ignite. *Chiang Mai Journal of Science*, 35(1), 43-50.
 18. Tippasawong, K. Y., Santitceerakul, S., Ramingwong, S., and Tippasawong, N. (2019). Cost analysis of community scale smokeless charcoal briquette production from agricultural and forest residues. *10th International Conference on Energy and Power, ICEP 2018*, 13-15 December Sydney.



Ms. Boonyaporn Saenprom
Graduate student in Master of Engineering, Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University.



Asst. Prof. Dr. Nigam Homdoung
School of Renewable Energy, Maejo University
Professional in: Biomass engineering, gas engine and combustion engineering.



Asst. Prof. Dr. Nataporn Charvat
School of Renewable Energy, Maejo University
Professional in: Energy and environmental engineering, electricity and thermal engineering.



Asst. Prof. Dr. Jantae Charchana
School of Renewable Energy, Maejo University
Professional in: Physics and Energy Engineering.



Dr. Rameshprabu Ramaraj
School of Renewable Energy, Maejo University.
Professional in: scientific and engineering field including biology, sustainable resource, engineering, environment and ecological.

บทความวิชาการที่ 3 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ 18 โปสเตอร์นำเสนอบทความทางวิชาการที่ 3 (ต่อ)

NJU iThesis 5915301016 thesis /
 recv: 27052563 20:36:23 /
 seq: 133

[illegible]

ภาพผนวกที่ 19 โปสเตอร์นิทรรศการแสดงผลงาน งานเกษตรแม่โจ้ 85 ปี

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวบุญยาพร แสนพรม
เกิดเมื่อ	12 พฤศจิกายน 2535
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2558 ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ.2553 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น และตอนปลาย แผนกวิทย์-คณิต โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2547 ระดับประถมศึกษา โรงเรียนอนุบาลเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2558 พนักงานประกันและควบคุมคุณภาพ บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด พ.ศ.2562 นักวิจัย ภายใต้โครงการ "การพัฒนาหลักสูตรบัณฑิตพันธุ์ ใหม่เพื่อรองรับการอุตสาหกรรมอนาคต (New S-Curve) ผลงานตีพิมพ์ บุญยาพร แสนพรม, นิกราน หอมดวง, นัฐพร ไชยญาติ,ธเนศ ไชยชนะ, กิตติกร สาสุจิตต์ และเสมอขวัญ ตันติกุล. 2651. อิทธิพล วัสดุประสานธรรมชาติที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของ ชีวมวลอัดแท่ง. น. 66-71. ใน การประชุมสัมมนาวิชาการรูป แบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11. 28-30 พฤศจิกายน 2561. ชัยภูมิ: มหาวิทยาลัยราชภัฏ ชัยภูมิ.



3590408587

MU iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

บุญยาพร แสนพรม, นัฐพร ไชยญาติ, เสมอขวัญ ตันติกุล,

ธเนศ ไชยชนะ, กิตติกร สาสุจิตต์ และนิกราน หอมดวง.

2561. สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้ตัว

ประสานธรรมชาติ. น.893-898. ใน การประชุมวิชาการเครือข่าย

ข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14. ระยอง: โรงแรมโน

โวเทล จังหวัดระยอง.

Boonyaporn Saenprom, Nigran Homdoun, Tanate Chaichana,

Nattaporn Chaiyat and Rameshprabu Ramaraj.

2019. Briquette physical properties with using oil

palm leaves and soybean plant as natural binders. In

Proceedings of the The 26th Tri-U International Joint

Seminar and Symposium. China: Jiangsu University.



3590405597

MUJ iThesis 5915301016 thesis / recv: 27052563 20:36:23 / seq: 133

