



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุข้าวโพด

Production of Densified Biomass from Maize Residues

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2559

จำนวน 287,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นายธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย

ผู้ร่วมโครงการ นายนำพร ปัญญาใหญ่

นางสาวทิพาพร คำแดง

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

21/กันยายน /2560

สารบัญ

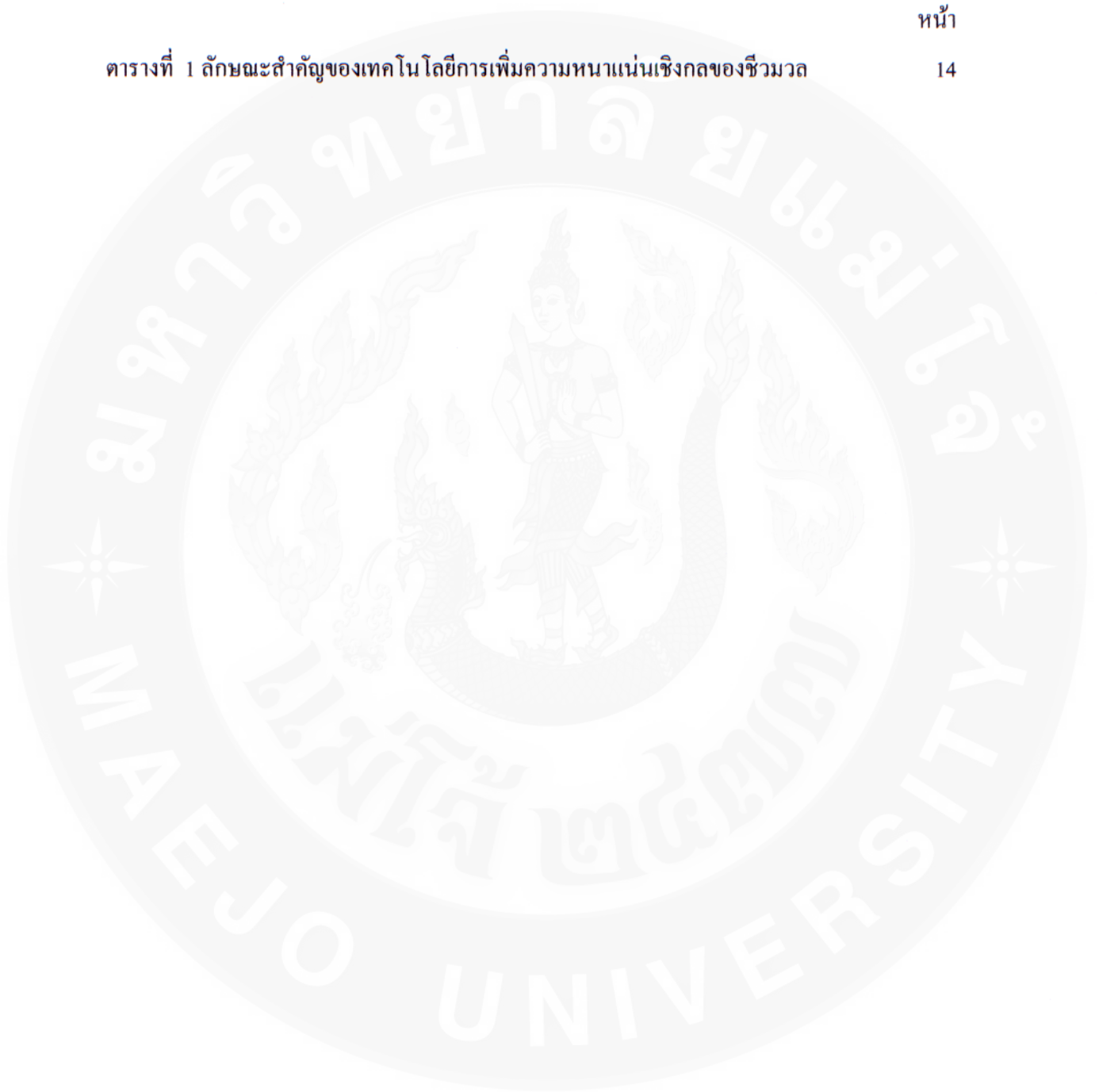
	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	18
ผลการวิจัย	21
วิจารณ์ผลการวิจัย	31
สรุปผลการวิจัย	33
เอกสารอ้างอิง	34

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ลักษณะสำคัญของเทคโนโลยีการเพิ่มความหนาแน่นเชิงกลของชีวมวล

14



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 เครื่องถดขนาด	18
ภาพที่ 2 เครื่องถัดขนาด	18
ภาพที่ 3 เครื่องอัดชีวมวล	19
ภาพที่ 4 เครื่องทดสอบความทนทาน	19
ภาพที่ 5 ตู้อบลมร้อน	20
ภาพที่ 6 เปรียบเทียบชั่งข้าวโพดก่อนและหลังอัด	21
ภาพที่ 7 การทดสอบการอัด	22
ภาพที่ 8 ชีวมวลอัดแท่งจากเศษวัสดุข้าวโพด	22
ภาพที่ 9 ความชื้นก่อนอัดและหลังอัดของวัสดุขังข้าวโพดหลังอัด	24
ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของขังข้าวโพดผสมผงถ่านอัดแท่งเมื่อปล่อยทิ้งไว้ 5 วัน	25
ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของขังข้าวโพดผสมไม้ยางพาราอัดแท่งเมื่อปล่อยทิ้งไว้ 5 วัน	25
ภาพที่ 13 การขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางวัสดุจากขังข้าวโพด	26
ภาพที่ 14 ค่าการขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางวัสดุจากขังข้าวโพดผสมผงถ่าน	27
ภาพที่ 15 การขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุจากขังข้าวโพดผสมไม้ยางพารา	27
ภาพที่ 16 การขยายตัวของความยาวของแท่งชีวมวลวัสดุจากขังข้าวโพด	28
ภาพที่ 17 การขยายตัวของความยาวของแท่งชีวมวลวัสดุจากขังข้าวโพดผสมผงถ่าน	29
ภาพที่ 18 การขยายตัวของความยาวของแท่งชีวมวลวัสดุจากขังข้าวโพดผสมไม้ยางพารา	29

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุข้าวโพด

Production of Densified Biomass from Maize Residues

นายธนสิทธิ์ วงศ์ศิริอำนวย นำนพร ปัญญโญใหญ่ และทิพาพร คำแดง

Thanasit Wongsiriamnuay, Numpon Panyoyai and Tipapon Khamdaeng

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชังข้าวโพด โดยชีวมวลจะถูกอัดโดยใช้เครื่องอัดแบบสกรูและให้ความร้อนที่แม่พิมพ์ขณะทำการอัด โดยศึกษาผลของอุณหภูมิแม่พิมพ์และชนิดของส่วนผสมต่อสมบัติของชีวมวลอัดแท่งเช่นความชื้นการขยายตัวและความทนทาน ผลที่ได้พบว่า ความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลงเมื่อเทียบกับวัสดุที่ยังไม่ได้อัด แต่เมื่อปล่อยให้แห้งที่สภาวะบรรยากาศจะมีความชื้นเพิ่มขึ้นและกลับมามีความชื้นเท่ากับความชื้นก่อนที่จะทำการอัด ชีวมวลอัดแท่งมีขยายตัวในช่วง 2-4% อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่เหมาะสมสำหรับอัดแท่งชีวมวลจากชังข้าวโพดและชังข้าวโพดผสมอยู่ที่ประมาณ 300 °C เพื่อให้ความทนทานของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าสูงกว่า 80%

คำสำคัญ: พลังงานทางเลือก พลังงานทดแทน ชีวมวลอัดแท่ง เศษวัสดุข้าวโพด

Abstract

This research aims to study the potential for producing fuel briquettes from corn cobs. The biomass is compressed using a screw compressor and heated at the mold during compression. By studying the effect of mold temperature and mixing types on the properties of the briquette such as moisture, expansion and durability. The results showed that moisture of the briquette decreases compared to the unpressed material. But when has at atmospheric conditions, the briquette's moisture is increased and is equal to the pre-compressed moisture. Biomass Briquettes are expanding the range of 2-4%. The mold temperature should be approximately 300 °C to ensure durability of briquette more than 80%

Key words: Alternative energy, Renewable energy, Densified biomass, Maize residues

คำนำ

งานวิจัยเรื่อง การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุข้าวโพดได้จัดทำขึ้นเพื่อประเมินศักยภาพการนำเศษวัสดุข้าวโพดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง การวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์เพื่อเป็นแนวทางในการนำเศษวัสดุทางการเกษตรไปใช้ประโยชน์ งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณทีมงานวิจัย ที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยจนเสร็จสิ้น ทีมวิจัยคาดหวังว่าผลงานวิจัยนี้จะมีคุณค่าและประโยชน์ในการนำเศษวัสดุในการเกษตรไปใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงาน เพื่อช่วยลดการเผาทิ้งในที่โล่งได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาศักยภาพของขังข้าวโพดเพื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง
2. เพื่อศึกษาปัจจัยและสัดส่วนที่มีผลต่อการอัดแท่งเชื้อเพลิงจากขังข้าวโพด
3. เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มาตรฐาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางการนำขังข้าวโพดมาใช้เป็นพลังงาน โดยทราบวิธีการที่เหมาะสมในผลิตชีวมวลอัดแท่งจากขังข้าวโพด
2. ทราบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของชีวมวลอัดแท่ง
3. ช่วยลดการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรจากขังข้าวโพด เนื่องจากการนำเศษวัสดุที่เผาทั้งนำมาใช้เป็นพลังงาน จะทำให้ช่วยลดมลภาวะทางอากาศ เช่น ฝุ่น คาร์บอนจากการเผาไหม้ได้อีกทั้งยังเป็นการสร้างมูลค่าให้เศษวัสดุทางการเกษตรได้อีกด้วย
4. เสริมสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรและเป็นการส่งเสริมเกษตรกรอินทรีย์ที่ช่วยลดการเผาและนำวัสดุเกษตรไปใช้ให้เกิดประโยชน์
5. เป็นการลดต้นทุนแก่เกษตรกรในการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์
6. การเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการหรือวารสารวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติ

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีและสมมุติฐาน

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์และสามารถนำพลังงานที่กักเก็บไว้เหล่านั้นมาใช้ผลิตพลังงานได้สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงาน ได้แก่เศษไม้ ขยะวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นต้นการผลิตพลังงานจากชีวมวลอาจทำได้โดยการนำมาเผาเพื่อนำความร้อนไปผลิตกระแสไฟฟ้าแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิลซึ่งเป็นพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดด้วยชีวมวลในประเทศไทยเช่นแกลบขาน้อยเศษไม้กากปาล์มกากมันชั่งข้าวโพดเป็นต้น

ข้าวโพดที่มีปลูกในประเทศไทย แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และข้าวโพดฝักสด ในส่วนของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ของประเทศ เนื่องจากใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ ซึ่งมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และตามพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกข้าวโพด มักพบชั่งข้าวโพดกองอยู่ทั่วไป ชั่งข้าวโพดเศษเหลือจากการกะเทาะเอาเมล็ดข้าวโพดออกแล้ว แทบไม่มีประโยชน์อะไร ใช้ทำปุ๋ยหมักก็ย่อยสลายยาก บางพื้นที่เกษตรกรจึงปล่อยทิ้งกองเป็นภูเขา การเผาจึงเป็นวิธีกำจัดชั่งข้าวโพดอย่างไม่มีทางเลือก ต่อมาจึงมีการทำเป็นถ่านอัดแท่งจากชั่งข้าวโพด แต่ก็มืออยู่ในวงจำกัดการปล่อยทิ้งชั่งข้าวโพดให้ย่อยสลายไปเองโดยจุลินทรีย์ ใช้เวลานาน และเกิดก๊าซมีเทนกลับคืนสู่บรรยากาศ ส่วนการเผาชั่งข้าวโพดเป็นวิธีการกำจัดที่เร็ว แต่เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ชั้นบรรยากาศ การได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซมีเทน จากการเผาชั่งข้าวโพด ขึ้นอยู่กับสภาพและกระบวนการที่เกี่ยวข้อง กระทั่งเกิดโรงไฟฟ้าชีวมวลนำชั่งข้าวโพดไปใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้า ชั่งข้าวโพดจึงเกิดประโยชน์ และมีมูลค่าแทนการเผาทิ้งไปอย่างเปล่าประโยชน์

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ก. ราก

เมื่อนำเมล็ดข้าวโพดไปเพาะพบว่ารากจะงอกออกมาก่อนส่วนอื่น ๆ จากจุดกำเนิดของเมล็ดหรือที่เรียกว่า คัพพะ (Embryo) และต่อไปหน่อหรือลำต้นจะงอกขึ้นมาในด้านตรงกันข้ามกับ

รากและในระหว่างนี้จะมีรากที่สอง ที่สาม ตามออกมา ตามลำดับ รากดังกล่าวนี้เป็นรากชั่วคราว หรือรากขั้นต้น (Primary or seminal root) หลังจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เจริญได้ 1 สัปดาห์ ถึง 10 วัน รากถาวร (Adventitious root or permanent root) งอกขึ้นรอบข้อ ในระดับใต้ผิวดินประมาณ 3 – 5 cm รากอากาศ (Aerial or brace roots) จัดรวมอยู่ในพวกรากถาวรนี้ รากถาวรดังกล่าว เมื่อโตเต็มที่ จะเจริญแผ่ออกไปโดยรอบประมาณ 100 cm. และหยั่งลึกลงไปในแนวดิ่งยาวมาก อาจยาวถึง 300 cm. ในระยะแรก ๆ การเจริญเติบโตแผ่สาขาของรากถาวรเป็นไปอย่างรวดเร็ว มีการทดลองพบว่า ภายใน 28 วัน รากจะงอกออกไปได้ 60 cm แต่เมื่อข้าวโพดเริ่มออกดอกและติดฝัก รากจะลดการขยายตัวและเจริญเติบโตตามลำดับ และหยุดเมื่อฝักเริ่มแก่ การแทงรากไปไกลมาน้อยเพียงใด ขึ้นกับชนิดของดิน ความชุ่มชื้นภายในดินและระดับน้ำใต้ดิน รากของข้าวโพดมีระบบที่เรียกว่า ระบบรากฝอย (Fibrous root system) ซึ่งแบ่งออกเป็นหลายชนิด เช่น รากขั้นต้น (Primary root) ราก ยึดเหนี่ยว (Brace root) รากด้านข้าง (Lateral root) และรากฝอย (Root hair) แต่ไม่มีรากแก้ว (Tap root) รากขั้นต้นที่งอกออกมาครั้งแรกจะมีจำนวน 20-30 ราก ส่วนรากยึดเหนี่ยวนั้นมีจำนวนไม่ จำกัด และอาจแยกออกเป็นรากยึดเหนี่ยวย่อย ๆ อีกเป็นจำนวนมากก็ได้ อาจจะมีจำนวนถึงร้อยและ ยาว 30-60 cm ส่วนรากฝอยมีขนาดเล็กมาก และมีอายุสั้น

ข. ลำต้น

ข้าวโพดมีลำต้นแข็ง ใสน้ำหนักกลางเหมือนฟืนอื่น ความสูงของลำต้นมีตั้งแต่ 60 cm จนถึง 6 m แล้วแต่ชนิดของพันธุ์ ข้อของข้าวโพดนอกจากเป็นข้อต่อของปล้องแล้วยังเป็นที่เกิดของ ราก ลำต้นใหม่และฝักอีกด้วย ปล้องที่โคนต้นจะสั้น และหนา และยาวขึ้นไปทางด้านปลาย ปล้อง เหนือพื้นดินมีตั้งแต่ 8-20 ปล้อง เมื่อผ่าลำต้นดูตามขวางจะเห็นเปลือกอยู่เป็นวงรอบนอก ประกอบ ไปด้วยเซลล์ที่กั้นน้ำได้ ส่วนด้านในเป็นเซลล์ท่อน้ำและท่ออาหาร และพบว่าความหนาของเปลือก ต้นข้าวโพดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนต้นล้ม ภายในเปลือกเป็นเซลล์สีขาวของไส้ (Pith) และมีท่อน้ำ ท่ออาหาร (Vascular bundles) กระจายอยู่ทั่วไป การแตกกอของต้นข้าวโพด ข้าวโพด แตกกอน้อยหรือไม่แตกกอเลย ขึ้นกับพันธุ์และความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยปกติข้าวโพดหัวแข็ง (Flint) หรือข้าวโพดหวานมักแตกกอได้ง่ายกว่าข้าวโพดหัวนุบ (Dent) ต้นที่แตกกอมาใหม่นั้น อาจจะมีจำนวน 3-4 ต้นก็ได้ จะมีลักษณะไม่แตกต่างจากต้นแม่เลย และทุกต้นอาจให้ฝักที่สมบูรณ์ ได้ด้วย

ค. ใบ

ประกอบด้วย ตัวใบ กาบใบ และหูใบ (Ligule) ลักษณะของใบข้าวโพดก็มีความแตกต่างกันไปมากมายแล้วแต่พันธุ์ จำนวนใบมีตั้งแต่ 8-48 ใบ

ง. ช่

ข้าวโพดมีดอกตัวผู้ และดอกตัวเมียอยู่แยกกัน แต่อยู่ในต้นเดียวกัน (Monoecious) ดอกตัวผู้รวมกันอยู่เป็นช่อ เรียกว่าช่อดอกตัวผู้ (Tassel) และอยู่ตอนบนสุดของต้น เกษตรกรมักจะเรียก “ดอกหัว” ดอกตัวผู้ดอกหนึ่งจะมีอับเกสร (Anther) 3 อับ แต่ละอับยาวประมาณ 6 mm และมีละอองเกสร (Pollen grain) ประมาณอับละ 2,500 เกสร ช่อดอกตัวผู้ของข้าวโพดธรรมดา 1 ต้น อาจผลิตละอองเกสรได้ถึง 25,000,000 เกสร หรือเฉลี่ยแล้วมีละอองเกสรมากกว่า 25,000 เกสร ที่จะไปผสมเมล็ดบนฝักซึ่งมีเมล็ดประมาณ 800 – 1,000 เมล็ด การสลัดละอองเกสรเกิดขึ้นก่อนการออกไหม 1-3 วัน บนข้าวโพดต้นเดียวกัน การบานของดอกตัวผู้จะบานติดต่อกันหลายวัน ส่วนดอกตัวเมียนั้น อยู่รวมกันเป็นช่อหรือฝักที่ข้อกลาง ๆ ลำต้น ดอกตัวเมียแต่ละดอกประกอบด้วยรังไข่ (Ovary) และเส้นไหม (Silk หรือ Style) ซึ่งมีความยาวประมาณ 5-15 cm และยื่นปลายไหล่ออกไปรวมกันเป็นกระจุกอยู่ตรงปลายช่อดอก ซึ่งมีเปลือกหุ้มอยู่ และพร้อมที่จะผสมพันธุ์ทันทีที่งอกพ้นเปลือกเส้นไหมมีลักษณะเป็นยางเหนียว ๆ สำหรับคอยรับละอองเกสรที่ปลิวมาสัมผัสเพื่อเข้าผสมกับไข่ และจับละอองเกสรได้ตลอดความยาวของเส้นไหม เมื่อรังไข่ได้รับการผสมจากละอองเกสร รังไข่ก็จะเติบโตเป็นเมล็ดช่อดอกตัวเมียที่รับการผสมแล้วนี้ เรียกว่าฝัก (Ear) ข้าวโพดต้นหนึ่งอาจมีมากกว่า 1 ฝักขึ้นไป และฝักหนึ่งอาจมีมากถึง 1,000 เมล็ด หรือมากกว่านั้น แกนกลางของฝักเรียกว่า ช่ (Cob)

ชนิดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

โดยทั่วไปข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่นิยมปลูกมี 2 พันธุ์ ได้แก่

ก. พันธุ์ผสมเปิด

พันธุ์ผสมเปิดที่นิยมปลูกมี 2 พันธุ์ ได้แก่ นครสวรรค์ 72 และสุวรรณ 3851

ข. พันธุ์ลูกผสม

พันธุ์ลูกผสมเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด มีลักษณะทางการเกษตรสม่ำเสมอ ได้แก่ ขนาดฝัก ความสูงฝัก ความสูงต้น อายุถึงวันออกไหม และ

เก็บเกี่ยว ให้ผลผลิตและคุณภาพสูงกว่าพันธุ์ผสมเปิด จึงเป็นที่ต้องการของตลาด แต่ไม่สามารถเก็บเมล็ดไว้ทำพันธุ์ได้ พันธุ์ลูกผสมที่นิยม ได้แก่ ซีพีดีเค 888 ไพโอเนียร์ 3013 แปซิฟิก 983 และคาร์กิล 919 เป็นต้น โดยพันธุ์ลูกผสมที่นำมาทำชีวมวลอัดเม็ด คือ ซีพีดีเค 888 ซึ่งมีความสูงต้นเฉลี่ย 210 cm. ความสูงฝักเฉลี่ย 120 cm. อายุออกไหม 58 วันอายุเก็บเกี่ยว 110-120 วัน ผลผลิต 1,000 กก./ไร่ และเปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ดเฉลี่ย 81% ซึ่งเป็นพันธุ์ที่หาได้ทั่วไป และเป็นปลูกจำนวนมากใน จังหวัดเชียงใหม่

การลดขนาด

การลดขนาดของวัสดุ คือการให้แรงกระทำกับวัสดุเพื่อทำให้วัสดุนั้นแตกออกมีขนาดเล็กลง โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมี อาทิ กลิ่น รส สี ปริมาณน้ำมันหอมระเหย ของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น การลดขนาดจึงเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับกลุ่มก้อนหรือเม็ดวัตถุนั้นด้วย

การลดขนาดอาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การลดขนาดของแข็ง และการลดขนาดของเหลว สามารถแบ่งวิธีการลดขนาดตามขนาดของวัสดุภายหลังการลดขนาดออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

การสับ (Chopping) การตัด (Cutting) การหั่น (Slicing) และการตัดเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋า (Dicing) หลักการเหล่านี้ทำให้สามารถจัดแบ่งวัสดุได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกันคือ ขนาดใหญ่ถึงกลาง ขนาดกลางถึงเล็กและขนาดเล็กถึงเล็กมาก

การบดหรือ โม่ ให้เป็นผงหรือเหนียวข้น (Milling to powders or pastes) เช่น ผลิตภัณฑ์บดเครื่องเทศแต่งกลิ่น แป้งสำเร็จรูป น้ำผึ้ง น้ำตาลผง สตาร์ท (Starch) อาหารชั้นหนืด ฯลฯ

การคัณขนาด

การหาขนาดวัสดุด้วยวิธีตะแกรงร่อนขนาดเฉลี่ยของวัสดุซึ่งค้างอยู่บนตะแกรง กำหนดจากสมการพื้นฐานของค่าเฉลี่ยเรขาคณิตต้องเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดของตะแกรงสองชั้นซึ่งอยู่ติดกัน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\bar{d}_1 = (d_u \times d_o)^{0.5} \quad (1)$$

หรือ
$$\text{Log } \bar{d}_i = \left(\frac{\log d_w + \log d_o}{2} \right) \quad (2)$$

$\bar{d}_i$ = เส้นผ่านศูนย์กลางของชั้นวัสดุบนตะแกรงชั้นที่ i

เมื่อ

d_u = เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดที่ซึ่งชั้นวัสดุไหลผ่าน (ตะแกรงชั้นบน ซึ่งอยู่ติดกับชั้นที่ i)

d_o = เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดที่ซึ่งชั้นวัสดุไม่สามารถไหลผ่าน (ตะแกรงชั้นที่ i)

จากนิยามของค่าเฉลี่ยเรขาคณิตหรือมัธยมาเรขาคณิต (Geometric mean) ซึ่งหมายถึง ค่ากลางของข้อมูลที่เกิดจากการถอครากที่ N ของผลคูณของข้อมูล N ค่า จึงนำความรู้เรื่องนี้มาประยุกต์ใช้ในการบอกขนาดวัสดุที่มีรูปร่างไม่เป็นเรขาคณิตกลม เช่น วัสดุที่มีทั้งสามด้านไม่เท่ากัน ก็บอกโดยใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric mean diameter; GMD) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sqrt[3]{abc}$ โดยวัดความยาวมากที่สุดของแต่ละด้าน สมการพื้นฐานข้างต้นถูก Derived เพื่อหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิตของชั้นวัสดุใดๆ (d_{gw}) บนพื้นฐานน้ำหนักของวัสดุที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้น ได้ดังนี้

$$d_{gw} = \log^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (W_i \log \bar{d}_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \right] \quad (3)$$

การพิจารณาหรือสรุปถึงลักษณะของข้อมูลโดยใช้ค่ากลางหรือค่าเฉลี่ยเพียงอย่างเดียวอาจทำให้ไม่ทราบถึงลักษณะของข้อมูลได้ชัดเจน เนื่องจากข้อมูลที่มีค่าเท่ากัน แต่ลักษณะของข้อมูลแตกต่างกันนั้นคือมีการกระจายไม่เหมือนกัน จากนิยามของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation; S.D) คือ รากที่สองของความแปรปรวนของประชากร ดังนี้

$$\sigma^2 = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (4)$$

เมื่อ

σ^2 = ความแปรปรวนของกลุ่มประชากร

X_i = ข้อมูลตัวที่ i

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของประชากร

N = ขนาดของประชากร

จึงสามารถประยุกต์ใช้ในการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต (Geometric standard deviation) สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของชั้นวัสดุ ดังนี้

$$S_{\log} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n W_i (\log \bar{d}_i - \log d_{gw})^2}{\sum_{i=1}^n W_i} \right]^{1/2} = \frac{S_{\ln}}{2.3} \quad (5)$$

$$S_{gw} \approx \frac{1}{2} d_{gw} [\log^{-1} S_{\log} - (\log^{-1} S_{\log})^{-1}] \quad (6)$$

W_i = น้ำหนักวัสดุที่ค้างอยู่บนตะแกรงชั้นที่ i

$$A_{st} = \frac{\beta_s \sum W_i}{\beta_v \rho} \exp(0.5 \sigma_{\ln}^2 - \ln \mu_{gw}) \quad (7)$$

A_{st} = พื้นที่ผิวรวมโดยประมาณของชั้นวัสดุ, (cm²)

β_s = แฟกเตอร์รูปร่างสำหรับการคำนวณพื้นที่ผิวของวัสดุ หากชั้นวัสดุเป็นรูปลูกบาศก์ ค่า $\beta_s = 6$ และหากเป็นรูปทรงกลม ค่า $\beta_s = \pi$

β_v = แฟกเตอร์รูปร่างสำหรับการคำนวณปริมาตรของวัสดุ หากชิ้นวัสดุเป็นรูปลูกบาศก์ ค่า $\beta_v = 1$ และหากเป็นรูปทรงกลม ค่า $\beta_v = \pi/6$

ρ = ความหนาแน่นมวลของชิ้นวัสดุ (g/cm^3) โดยมีวิธีการหาเป็นเช่นเดียวกันกับการทำบทปฏิบัติการเรื่องสมบัติทางกายภาพของวัสดุ ปริมาณมวล สำหรับข้าวโพด $\rho = 0.686 \text{ g/cm}^3$

$\sigma_{\ln}$ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเรขาคณิตของประชากร (Population) โดยมีค่าประมาณการได้เท่ากับ $S_{\ln}$ โดยที่ $S_{\ln} = 2.3 \times S_{\log}$ (ดูสมการที่ 4)

μ_{gw} = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิตของชิ้นวัสดุของประชากรทั้งหมด โดยมีค่าเท่ากับ d_{gw} แต่หน่วยของ d_{gw} เป็น mm ดังนั้นจะต้องแปลงหน่วยเป็น cm ก่อนแทนค่าในสมการที่ 6

จำนวนชิ้นวัสดุทั้งหมดในวัสดุตัวอย่าง คำนวณได้จาก

$$N_i = \frac{\sum w_i}{\beta_v \rho} \exp(4.5 \sigma_{\ln}^2 - 3 \ln \mu_{gw}) \quad (8)$$

N_i = จำนวนของชิ้นวัสดุในตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์, ชิ้น

1. ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรง (d_p) สำหรับถาดรอง (Pan) มีค่าเท่ากับ $d_u \div \sqrt{2}$ หรือ $d_u \div (2)^{1/4}$ สำหรับอนุกรมตะแกรง US และ ASTM ตามลำดับ เมื่อ d_u คือขนาดของรูตะแกรงชั้นที่อยู่บน Pan

2. ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรง (d_p) สำหรับตะแกรงที่อยู่เหนือตะแกรงขนาดใหญ่ที่สุดในชุดตะแกรงทดสอบ มีค่าเท่ากับ $\sqrt{2}$ หรือ $(2)^{1/4}$ เท่าของรูตะแกรงชั้นบนสุดที่กำลังทดสอบสำหรับอนุกรมตะแกรง US และ ASTM ตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่น ตะแกรงชั้นบนสุดเป็นตะแกรง US หมายเลข 4 ซึ่งมีขนาดช่องเปิดเท่ากับ 4.76 mm ดังนั้นขนาดช่องเปิดของตะแกรงชั้นถัดไปจึงควรมีค่าเท่ากับ $4.76 \text{ mm} \times \sqrt{2}$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 6.73 mm เป็นต้น

ความชื้น

ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ปริมาณความชื้นเป็นค่าชี้คุณภาพที่สำคัญที่สุดที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของพืชเมล็ดใน 3 ด้านคือ ทางการตลาด ในการเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษา พืชเมล็ดที่ถูกเก็บเกี่ยวมาจากพื้นที่ที่มีความชื้นสูงหลายระดับขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยวและสภาพอากาศ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องลดความชื้นของพืชเมล็ดเพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้อย่างปลอดภัย

ความชื้น คือ น้ำหนักของน้ำในพืชเมล็ดนั้น การแสดงความชื้นสามารถทำได้ทั้งในฐานเปียกและแห้ง ดังสมการต่อไปนี้

ก. ปริมาณความชื้นฐานเปียก (Wet basis)

$$m = \frac{W_m}{(W_m + W_d)} \times 100 \quad (9)$$

m = ปริมาณความชื้น, % w.b

W_m = มวลของน้ำ, kg

W_d = มวลของวัสดุแห้ง (Dry matter), kg

ข. ปริมาณความชื้นฐานแห้ง (Dry basis)

$$m = \frac{W_m}{W_d} \times 100 \quad (10)$$

m = ปริมาณความชื้นฐานแห้ง, % d.b

เมื่อปริมาณความชื้นฐานเปียกและแห้งมีความสัมพันธ์กันตามสมการต่อไปนี้

$$M_{wb} = \frac{m_{db}}{(100 + m_{db})} \times 100 \quad (11)$$

$$m_{db} = \frac{m_{wb}}{(100 - m_{wb})} \times 100 \quad (12)$$

m_{wb} = ปริมาณความชื้นฐานเปียก

m_{db} = ปริมาณความชื้นฐานแห้งความหนาแน่น

เมื่อความหนาแน่นเป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรยิ่งวัตถุมีความหนาแน่นมากขึ้น มวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือวัตถุที่มีความหนาแน่นสูง (เช่น เหล็ก) จะมีปริมาตรน้อยกว่าวัตถุความหนาแน่นต่ำ (เช่น น้ำ) ที่มีมวลเท่ากัน หน่วยเอสไอ คือ kg/m^3

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (13)$$

ρ = ความหนาแน่นของวัตถุ, kg/m^3

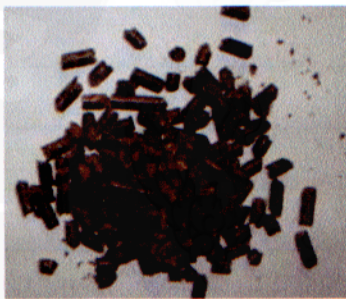
M = มวลรวมของวัตถุ, kg

V = ปริมาตรรวมของวัตถุ, m^3

การเตรียมวัสดุเกษตรด้วยการเพิ่มความหนาแน่นแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการหลัก ได้แก่ การเพิ่มความหนาแน่นเชิงกล (Mechanical densification) และการเพิ่มความหนาแน่นพลังงานโดยกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis densification) ในงานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาไปที่การอัดแท่งที่เป็นกระบวนการเชิงกล ซึ่งจะเหมาะกับเกษตรกรที่มีกระบวนการที่ไม่ยุ่งยากในการนำชีวมวลมาใช้และเพื่อเพิ่มความหนาแน่นเชิงมวลและความหนาแน่นเชิงพลังงานไปได้พร้อมกัน

การเพิ่มความหนาแน่นเชิงกล (Mechanical densification) การเพิ่มความหนาแน่นชนิดนี้จะใช้เครื่องมือในการกดอัดวัสดุเกษตรเพื่อให้ได้ชีวมวลที่มีขนาดเล็ก ง่ายต่อการจัดเก็บและการขนส่ง เทคโนโลยีในการเพิ่มความหนาแน่นเชิงกลที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ มัดเป็นก้อน (Bale) อัดเป็นก้อนเล็ก (Pellet) อัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยม (Cube) อัดเป็นก้อนกลม (Briquette) และอัดเป็นก้อนกลมแบน (Puck)

ตารางที่ 1 ลักษณะสำคัญของเทคโนโลยีการเพิ่มความหนาแน่นเชิงกลของชีวมวล

เทคโนโลยีการเพิ่มความหนาแน่นเชิงกล	ลักษณะสำคัญ
มัดเป็นก้อน (Bale) 	- ผลิตจากอุปกรณ์จักรกลทางการเกษตรชื่อว่า Baler โดย Baler จะทำการตัดวัสดุให้เป็นชิ้นเล็กและทำการอัดให้เป็นก้อน - ลักษณะชีวมวลที่ได้จะมีรูปร่างเป็นทั้งก้อนกลม และสี่เหลี่ยม ขึ้นอยู่กับ Baler ที่ใช้ - ขนาดของชีวมวลที่ได้ จะอยู่ระหว่าง 1.2 m x 1.5 m - 1.5 m x 1.5 m
อัดเป็นก้อนเล็ก (Pellet) 	- ผลิตจากกระบวนการ Extrusion process ที่ใช้แรงในการอัดสูงโดยวัสดุการเกษตรที่ผ่านการบดให้มีขนาดเล็กจะถูกถูกอัดผ่านหน้าแปลน (Die) ที่มีช่องวงกลม หรือสี่เหลี่ยมและตัดให้มีความยาวตามต้องการ - ขนาดของชีวมวลตามมาตรฐาน จะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 mm และความยาวน้อยกว่า 38 mm - เนื่องจากชีวมวลชนิดนี้มีขนาดเล็ก ทำให้ง่ายต่อการแตกหักระหว่างการขนส่ง
อัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยม (Cube) 	- กระบวนการคล้ายคลึงกับการผลิตชีวมวลที่มีลักษณะเป็นก้อนเล็ก (Pellet) แต่แรงที่ใช้ในการอัดจะมีค่าน้อยกว่า รวมถึงวัสดุเกษตรจะผ่านการตัดหยาบ - ขนาดของก้อนสี่เหลี่ยมที่ได้มีความกว้างระหว่าง 13 - 38 mm และความยาว 25 - 102 mm
อัดเป็นก้อนกลม (Briquette)	กระบวนการคล้ายคลึงกับการผลิตชีวมวลที่มีลักษณะเป็น

	ก้อนเล็ก (Pellet) กล่าวคือ ใช้ถูกสูบในการอัดวัสดุเกษตรผ่านหน้าแปลน (Die) ที่มีช่องวงกลมแต่จะมีการให้ความร้อนหน้าแปลน (Die) ในระหว่างกระบวนการ • ขนาดของชีวมวลที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 25 mm ขึ้นไป • เนื่องจากในระหว่างกระบวนการ Extrusion การมีการลดความชื้นเกิดขึ้น ชีวมวลที่ได้จึงสามารถเก็บไว้ได้นาน รวมทั้งมีความหนาแน่นของพลังงาน สูงกว่าชีวมวลที่ผ่านกระบวนการแบบอื่น
อัดเป็นก้อนกลมแบน (Puck) 	• มีกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับ Briquette กล่าวคือ ผ่านหน้าแปลน (die) ที่ให้ความร้อน • ขนาดของชีวมวลที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 mm • เนื่องจากลักษณะของ Puck มีลักษณะกลมแบน คล้าย Hockey puck จึงเปราะบางในการรับความชื้นจากสิ่งแวดล้อม • ความหนาแน่นของ Puck เท่ากับ ความหนาแน่นของ Pellet แต่ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าการผลิตแบบ Pellet

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

อภिरักษ์ สวัสดิ์กิจ (2551) ได้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมขี้ข้าวโพดและกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน โดยมีสัดส่วนการผสมอยู่ที่ 30 : 70, 40 : 60 และ 50 : 50 ตามลำดับ สัดส่วนการผสมแป้งมันค่อน้ำหนักวัดดูดิบ เท่ากับ 1 : 10 จากการศึกษาพบว่าค่าความหนาแน่นและความต้านทานแรงกด จะแปรผันตามสัดส่วนการผสมของผงขี้ข้าวโพดและผงกะลามะพร้าว แต่แตกต่างกันไม่มาก การทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิงพบว่าโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6,000 – 6,900 kcal/kg ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชน ความชื้นอยู่ระหว่าง 5.7 – 5.8% โดยน้ำหนัก อัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเฉลี่ย 2.5 kg/min ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 800 – 830 kg/m³ ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงจะอยู่ในช่วง 1.0 – 1.2 MPa ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ในเชิงพาณิชย์จุดคุ้มทุนของการผลิตถ่านเชื้อเพลิงประมาณ 9,500 kg จากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในครัวเรือนหรือผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

Nalladurai Kaliyanand R. Vance Morey (2009) ประสิทธิภาพของกระบวนการอัดแน่นในการสร้างพันธะแข็งแรงและทนทานในผลิตภัณฑ์เช่นชีวมวลอัดเม็ดหรืออัดก้อนจะถูกกำหนดโดยการทดสอบความแข็งแรง (เช่นความทนทานต่อแรงกระแทกและการทนทานต่อน้ำ) ความทนทาน (เช่นความต้านทานต่อการขาด) ของผลิตภัณฑ์อัดการทดสอบเหล่านี้สามารถบ่งบอกถึงแรงหรือความเครียดสูงสุดที่ผลิตภัณฑ์อัด ผลกระทบขององค์ประกอบของอาหารเช่น แป้งโปรตีน เส้นใย ไขมัน ลิกนินและสารอื่นๆ ขนาดอนุภาคและการกระจาย อุณหภูมิเครื่องเพื่อช่วยในการอุ่นผลิตภัณฑ์ที่ช่วยให้ยึดประสานกันได้ดี กับความแข็งแรงและความทนทานของผลิตภัณฑ์ที่อัด ผลิตภัณฑ์ที่อัดที่แข็งแรงและทนทานจากวัตถุดิบชีวมวลใหม่จะเป็นแนวทางการพัฒนามาตรฐานในเกณฑ์ระดับการยอมรับของความแข็งแรงและความทนทานของผลิตภัณฑ์ที่อัดจะถูกนำเสนอ

ชมริดา ชื่นนิคม (2553) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษขี้ข้าวโพดมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเศษขี้ข้าวโพดพบว่า มีปริมาณความชื้น 8.12%, ปริมาณสารระเหยได้ 71.03%, ปริมาณเถ้า 3.19%, ปริมาณคาร์บอนคงตัว 17.66%, และค่าความร้อน 4054.56 cal/g ซึ่งมีคุณสมบัตินำไปเป็นเชื้อเพลิงได้ จากนั้นนำมาผสมกับตัวประสาน 3 ชนิด ได้แก่ 1.แป้งมันสำปะหลัง, 2.กากน้ำตาล, 3.กากของเสียจากโรงงานกระดาษ ในสัดส่วนร้อยละ

ละ 10, 20, 30, 40 และ 50 แล้วจึงนำไปอัดแท่ง นำเชื้อเพลิงที่อัดแท่งมาทดสอบคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และการเผาไหม้ ได้แก่ ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่น ค่าความทนแรงอัด ค่าดัชนีการแตก ร่วน ค่าความต้านทานน้ำ เวลาในการจุดติดไฟ ความคงตัวของเถ้า และระยะเวลาในการเผาไหม้

R. Vance Morey (2010) ชังข้าวโพดเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตพลังงานความร้อน เชื้อเพลิง และสารเคมีด้วยกระบวนการทำให้หนาแน่นโดยการอัดเม็ด ในกระบวนการทำชัง ข้าวโพดอัดเม็ดด้วย ชุดอัดแบบกระบอกและลูกสูบ โดยใช้แรงดันสูงสุดที่ 150 MPa ขนาดอนุภาคที่ นำมาอัดมีขนาด 0.85 และ 2.81 mm มีปริมาณความชื้น 10 และ 20% อุณหภูมิ 85°C โดยที่ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีขนาด 19 mm และได้ศึกษาความหนาแน่นด้วยกระบวนการ measured using ASABE tumbling can method

เกรียงไกร วงศาโรจน์ (2554) ศึกษาคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ในรูปของ ค่า ความร้อน และความต้านทานแรงกด วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทดลองคือ ชังข้าวโพดไปผสมกับวัสดุ เหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ อันได้แก่ แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง สารเหนียวที่ใช้เป็นตัว ประสาน ทำมาจากแป้งเปียกและโมลาส ก่อนทำการผสมตัวประสานลงไป วัตถุดิบจะถูกบดด้วย เครื่องบดจนมีขนาดเล็กกว่า 3 mm. เพื่อให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพ วัตถุดิบจะถูกนำมาผสมกับ ตัวประสานในสัดส่วนต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงจะแปรผันตรง กับปริมาณสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นชังข้าวโพด และที่อัตราส่วนผสมเดียวกันแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียก เป็นตัวประสานจะให้ค่าความร้อนสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานเล็กน้อย ค่าความ ต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะมีค่าต่ำกว่า แท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โม ลาสเป็นตัวประสาน แต่อย่างไรก็ตามค่าความร้อนและค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ ผลิตโดยใช้ตัวประสานทั้งสองชนิดก็ยังคงมีค่าสูงพอที่จะใช้ผลิตแท่งเชื้อเพลิง โดยค่าความร้อนของ แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าอยู่ประมาณ 11.54 - 15.36 MJ/kg และมีค่าความต้านทานแรงกดอยู่ที่ 0.46 -2.46 MPa

อุปกรณ์และวิธีการ

ในงานวิจัยนี้มีวิธีดำเนินงาน ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การเตรียมวัสดุเกษตรและการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น

การลดขนาด

การเตรียมวัสดุเกษตรเพื่อที่จะนำมาใช้อัดแท่ง จำเป็นต้องลดขนาดให้มีขนาดให้ใกล้เคียงกัน โดยใช้เครื่องย่อยเพื่อลดขนาดโดยใช้ตะแกรงของเครื่องคัดขนาดเป็นตัวกำหนดขนาดวัสดุให้มีขนาดเล็กกว่ารูตะแกรงจึงนำมาใช้อัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง เครื่องย่อยลดขนาดกิ่งไม้ที่นำมาใช้ลดขนาดซังข้าวโพดโดยใช้ตะแกรงที่กำหนดขนาดของรูตะแกรง



ภาพที่ 1 เครื่องลดขนาด

การคัดขนาด

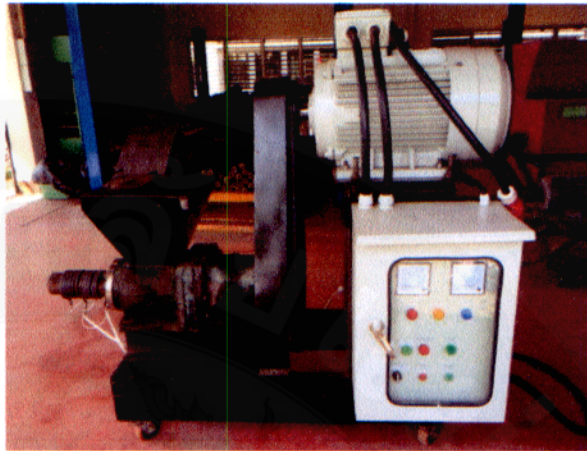
ซังข้าวโพดที่ถูกลดขนาดผ่านเครื่องย่อย จะนำมาคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงที่มีขนาดแตกต่างกัน 4 ขนาดด้วยเครื่องคัดขนาด



ภาพที่ 2 เครื่องคัดขนาด

การเพิ่มความหนาแน่น

เมื่อคัดขนาดแล้วจะนำซังข้าวโพดที่ผ่านการคัดขนาดมาทดสอบอัดแท่งชีวมวล ด้วยเครื่องอัดแบบสกรู โดยใช้มอเตอร์ขนาด 25 hp กำลังไฟฟ้า 380 V ความเร็ว 1000 rpm โดยมี การให้ความร้อนที่แม่พิมพ์ร่วมขณะอัดด้วย ขดลวดความร้อน และใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็น ตัววัด และควบคุมอุณหภูมิไว้ตามที่กำหนด



ภาพที่ 3 เครื่องอัดชีวมวล

การหาความหนาแน่น

ทำการวัดค่า เส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่น หลังการอัด โดยแบ่งช่วงเวลาการวัดค่าทางกายภาพของวัสดุที่อัด

การทดสอบความทนทาน

ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบความทนทาน

โดยนำชีวมวลอัดใส่ในเครื่องทดสอบและหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ที่ 50 rpm จากนั้นนำชีวมวลอัดที่ได้มาคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงและนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณหา ค่าความทนทาน

โดยใช้สมการในการคำนวณ คือ



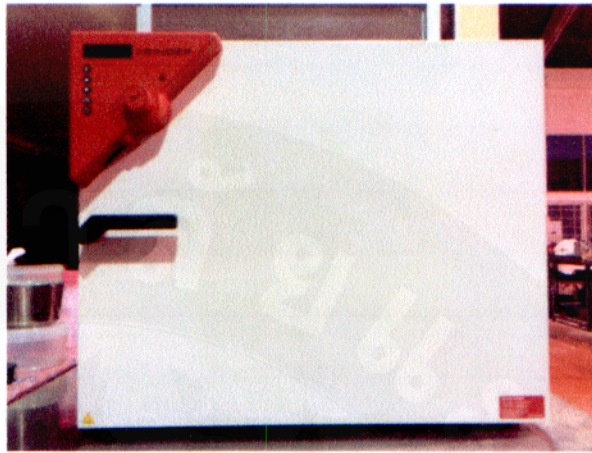
ภาพที่ 4 เครื่องทดสอบความทนทาน

การหาความชื้นของวัสดุ

การทดสอบหาความชื้นของซังข้าวโพด

จะนำไปหาความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน

ตามมาตรฐาน ASAE S358.3



ภาพที่ 5 ตู้อบลมร้อน

ผลการวิจัย

เริ่มต้นนำซังข้าวโพดมาย่อยด้วยเครื่องย่อยเพื่อลดขนาดดังภาพที่ 6 ก่อนนำไปอัด จากนั้นนำมาคัดขนาดด้วยเครื่องคัดขนาด จะได้ขนาดที่ต้องการ จากนั้นนำไปทดสอบอัด จากนั้นนำไปทดสอบอัดแท่งโดยใช้เครื่องอัดแบบสกรูโดยใช้เศษวัสดุซังข้าวโพด 100% และซังข้าวโพดผสมเศษไม้จากยางพารา และผสมกับเศษถ่าน ที่อุณหภูมิ 300 330 และ 360°C ดำเนินการโดยใช้เครื่องอัดสกรูแบบอัดร้อน ดังภาพที่ 7 และชีวมวลอัดแท่งที่ได้ ดังภาพที่ 7 และ 8 มีผลการทดสอบดังนี้



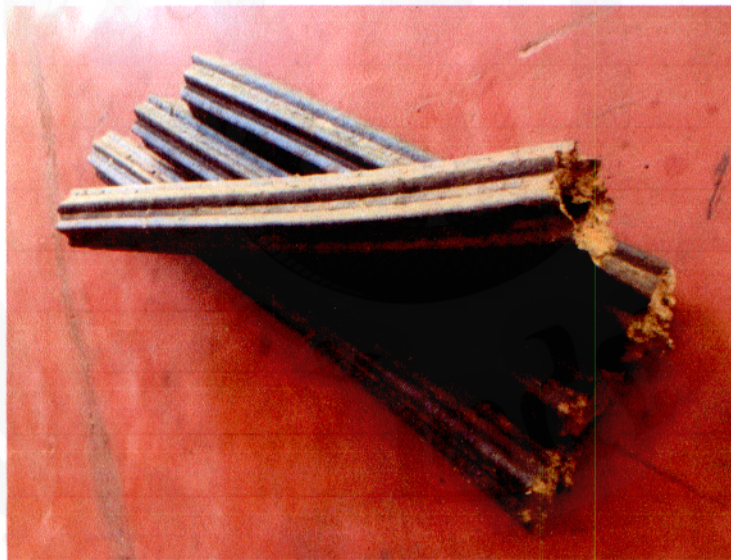
ซังข้าวโพดก่อนลดขนาด

ซังข้าวโพดที่ลดขนาดแล้วเตรียมนำไปอัดแท่ง

ภาพที่ 6 เปรียบเทียบซังข้าวโพดก่อนและหลังอัด



ภาพที่ 7 การทดสอบการอัด



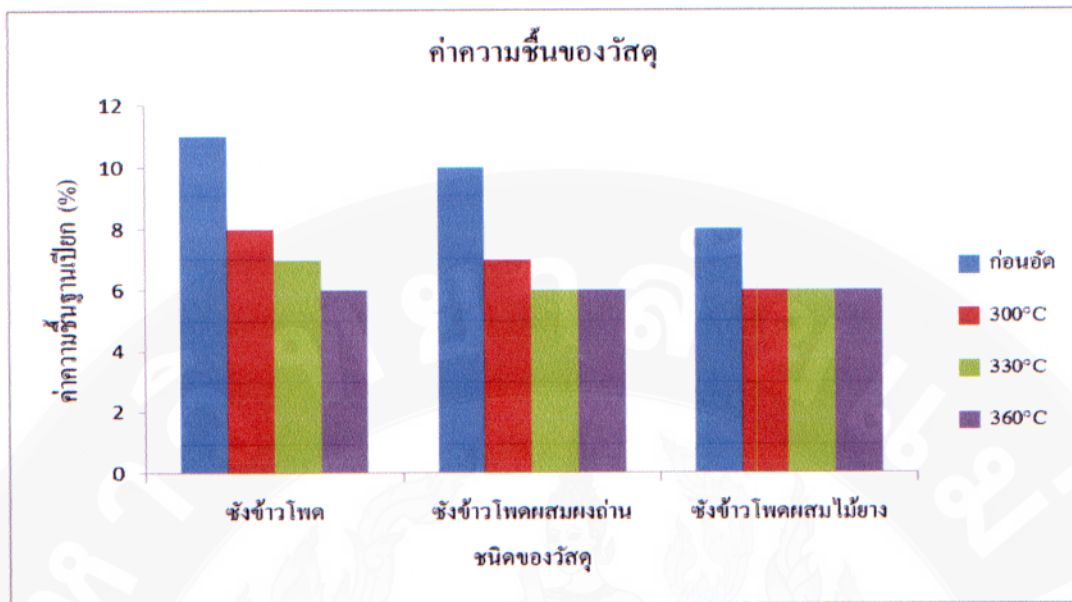
ภาพที่ 8 ชิ้นมวลอัดแท่งจากเศษวัสดุข้าวโพด

1. ผลการทดสอบหาค่าความชื้น

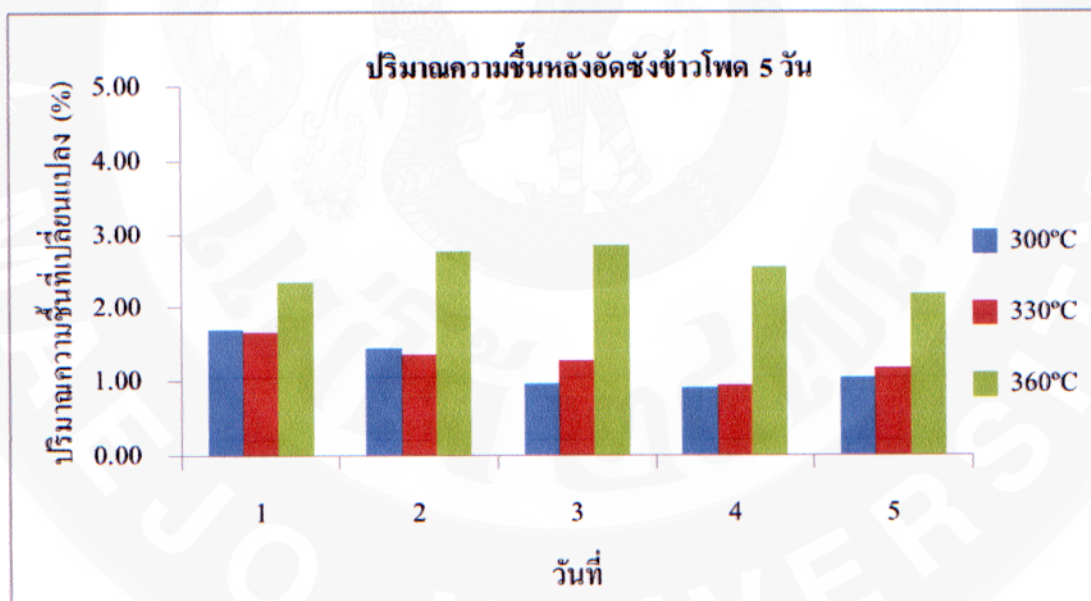
ในการทดสอบผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเกษตร ได้นำซังข้าวโพดก่อนผ่านกระบวนการอัด มาทดสอบหาค่าความชื้น ซึ่งวัสดุเกษตรที่ใช้ในการทดสอบนั้นจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ ซังข้าวโพด ซังข้าวโพดผสมผงถ่าน ซังข้าวโพดผสมไม้ยาง กระบวนการหาค่าความชื้นนี้ได้ใช้ตู้อบลมร้อน โดยการทดสอบหาค่าความชื้นใช้ระยะเวลาอบ 1 วัน จากค่าความชื้นของตัวอย่างวัสดุแต่ละชนิด สามารถคำนวณหาค่าความชื้นของวัสดุซังข้าวโพดก่อนอัดได้เท่ากับ 11% ซังข้าวโพดผสมผงถ่าน 10% ซังข้าวโพดผสมไม้ยาง 8%

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าความชื้นเทียบระหว่างก่อนอัดและหลังอัด พบว่าความชื้นของซังข้าวโพดก่อนอัดมีค่า 11% ของค่าความชื้นฐานเปียก เมื่อทำการอัดแท่งชีวมวลจากซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 300°C ค่าความชื้นหลังอัดมีค่า 8% ของความชื้นฐานเปียก ที่อุณหภูมิ 330 และ 360°C ค่าความชื้นหลังอัดมีค่า 7% ของความชื้นฐานเปียก จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอัดมีผลทำให้ความชื้นของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป เมื่อให้อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นของวัสดุลดน้อยลง ส่วนซังข้าวโพดผสมผงถ่านและผสมไม้ยาง จะพบว่าหลังอัดจะมีค่าความชื้นลดลง แต่อุณหภูมิที่ใช้ที่เพิ่มขึ้น ค่าความชื้นไม่แตกต่างกัน ส่งผลให้อุณหภูมิที่ใช้อัดไม่มีผลต่อค่าความชื้นหลังอัด

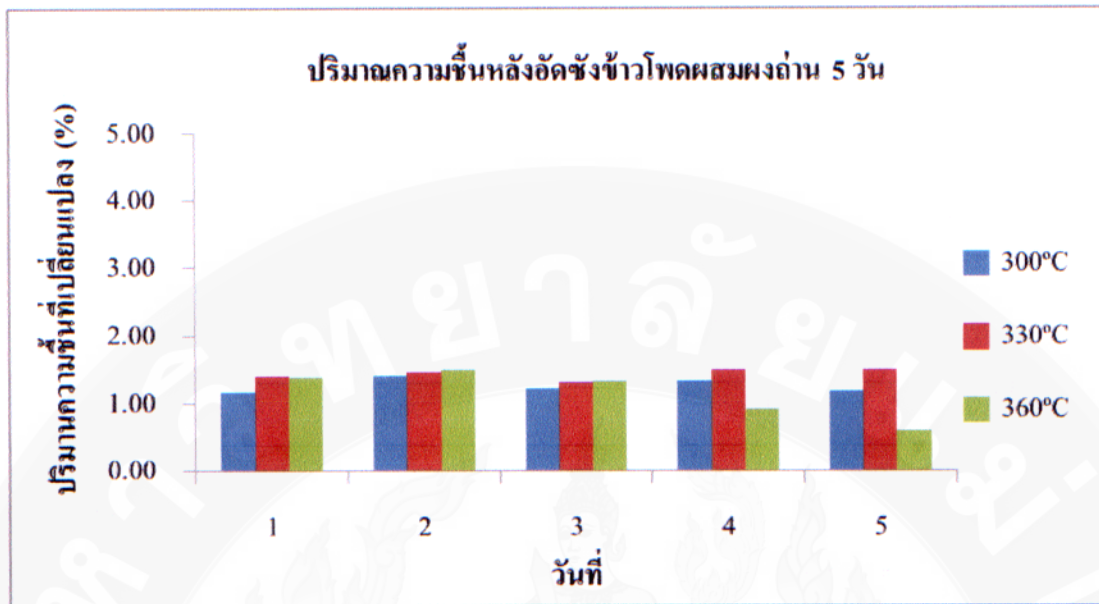
เมื่อปล่อยชีวมวลอัดแท่งทั้ง 3 ชนิดทิ้งไว้ที่สภาวะบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน พบว่าซังข้าวโพดอัดแท่งมีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในช่วง 1-3% โดยที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น ที่อุณหภูมิ 360°C จะมีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นแตกต่างกับอุณหภูมิ 300-330 °C ประมาณ 1-2% ดังภาพที่ 10 หากผสมซังข้าวโพดกับถ่านจะพบว่าความชื้นเปลี่ยนแปลงในช่วง 1-1.6% โดยมีการเพิ่มขึ้นของความชื้นน้อยกว่าซังข้าวโพดเพียงอย่างเดียว ดังภาพที่ 11 ส่วนซังข้าวโพดที่ผสมไม้ยาง ดังภาพที่ 12 ความชื้นจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามวันประมาณ 1-4%



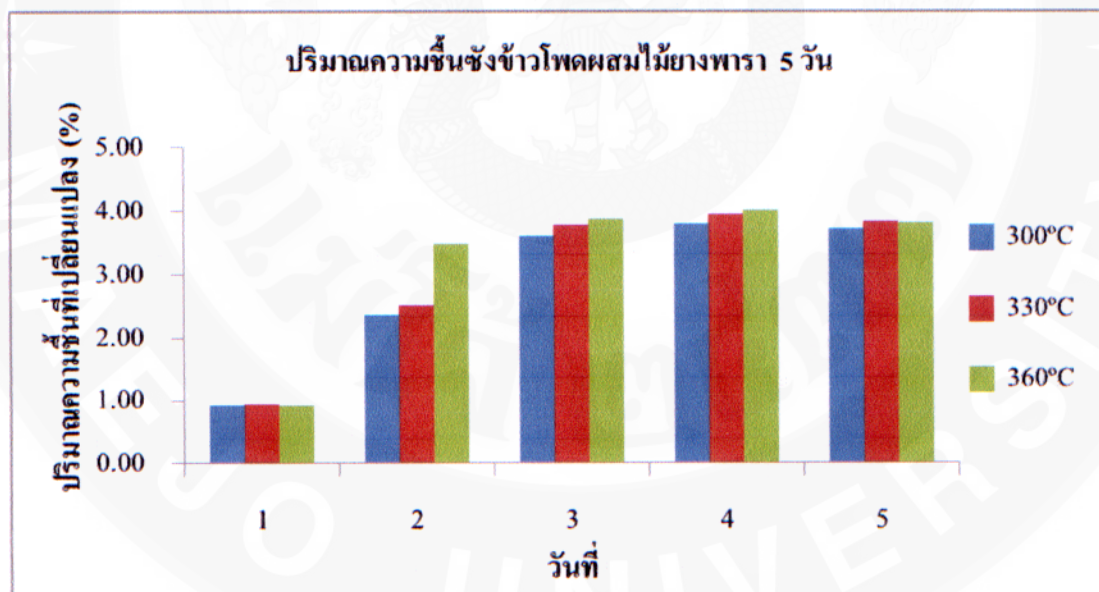
ภาพที่ 9 ความชื้นก่อนอัดและหลังอัดของวัสดุซังข้าวโพดหลังอัด



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของซังข้าวโพดเมื่อปล่อยทิ้งไว้ 5 วัน



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของซังข้าวโพดผสมผงถ่านอัดแท่งเมื่อปล่อยทิ้งไว้ 5 วัน



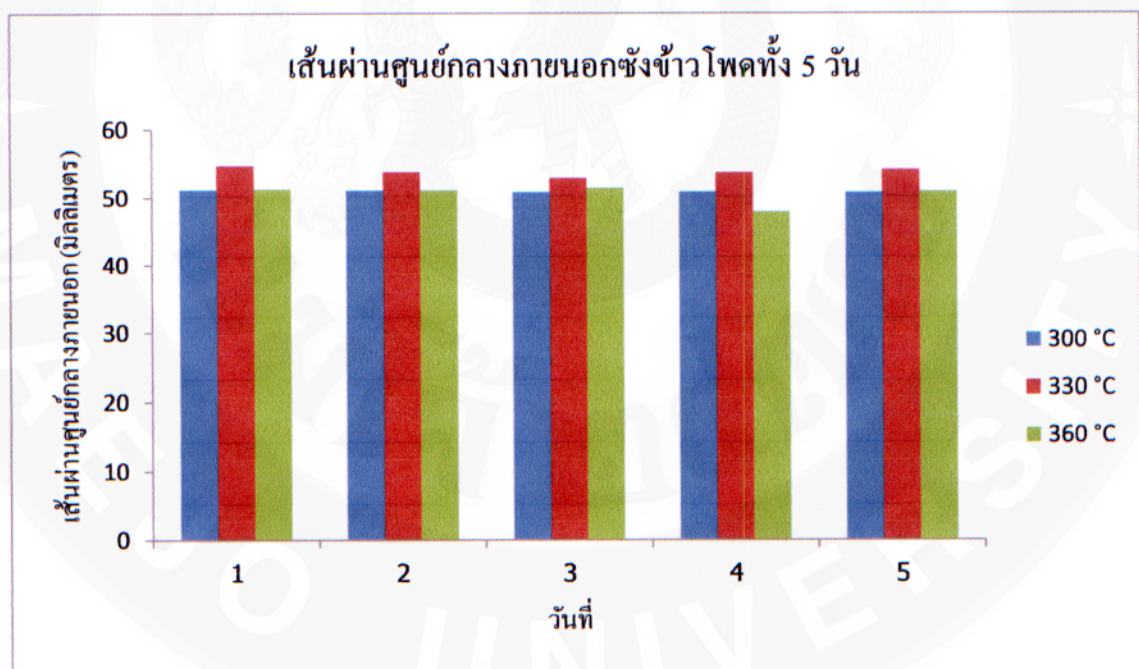
ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของซังข้าวโพดผสมไม้ยางพาราอัดแท่งเมื่อปล่อยทิ้งไว้ 5 วัน

2. ผลการทดสอบหาการขยายตัว

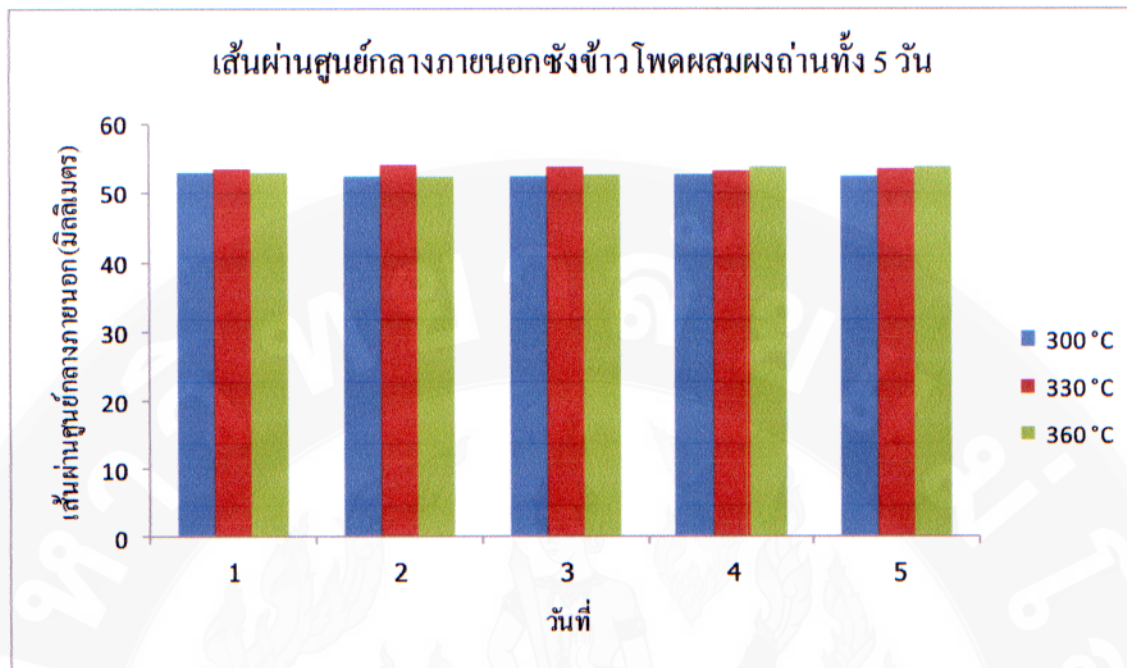
2.1 การขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลาง

ผลการทดสอบหาการขยายตัวของแท่งชีวมวลผ่านกระบวนการอัดด้วยสกรูแบบร้อน อุณหภูมิที่ใช้อัดในช่วง 300-360 °C เมื่อได้ชีวมวลอัดแท่งออกมาแล้วและนำมาปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 5 วันหลังการอัด ดังภาพที่ 13-15 พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของชีวมวลอัดแท่งจากซังข้าวโพด ซังข้าวโพดผสมพวง่านและซังข้าวโพดผสมไม้ยางพารา มีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน หากเปรียบเทียบกับวันที่ 1 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 0.9-7.6% , 1.2-2.3% และ 0.7-2.6 % ตามลำดับ

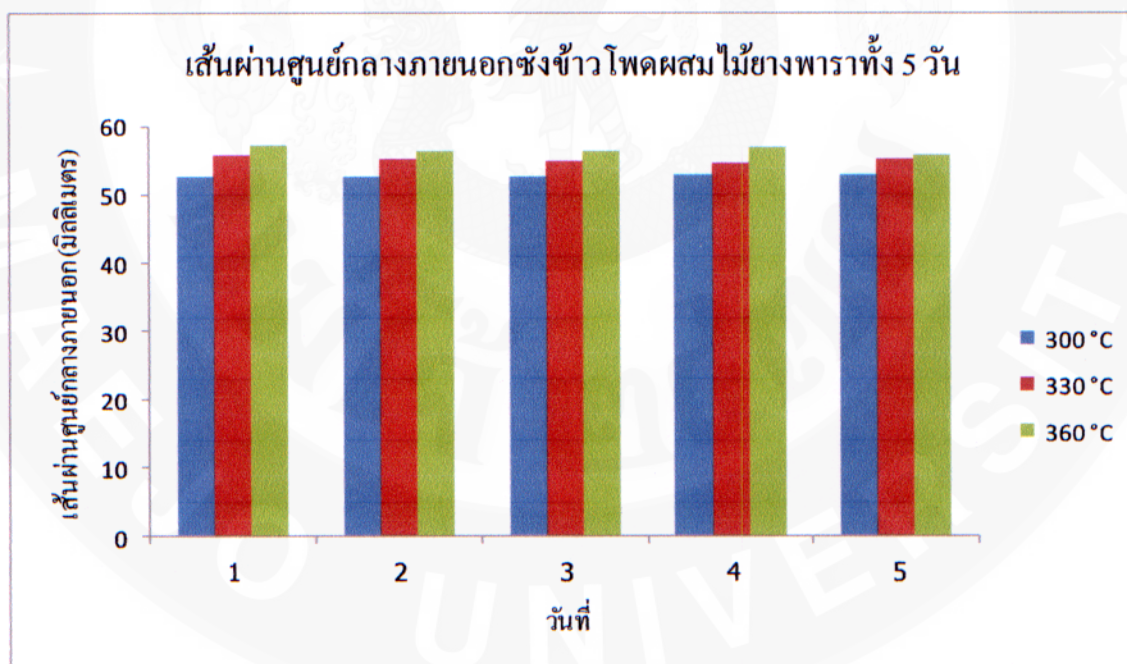
จะเห็นได้ว่าการผสมเศษวัสดุเช่น พวง่าน และไม้ยางพารา เข้ากับซังข้าวโพดแล้วอัดแท่งชีวมวล แล้วส่งผลให้ชีวมวลอัดแท่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของการขยายตัวในด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง โดยเฉพาะที่ ที่อุณหภูมิ 360°C ลดจาก 7.6% เหลือเพียง 2.3-2.6%



ภาพที่ 13 การขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางวัสดุจากซังข้าวโพด



ภาพที่ 14 ค่าการขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางวัสดุจากขั้วโพดผสมผงถ่าน

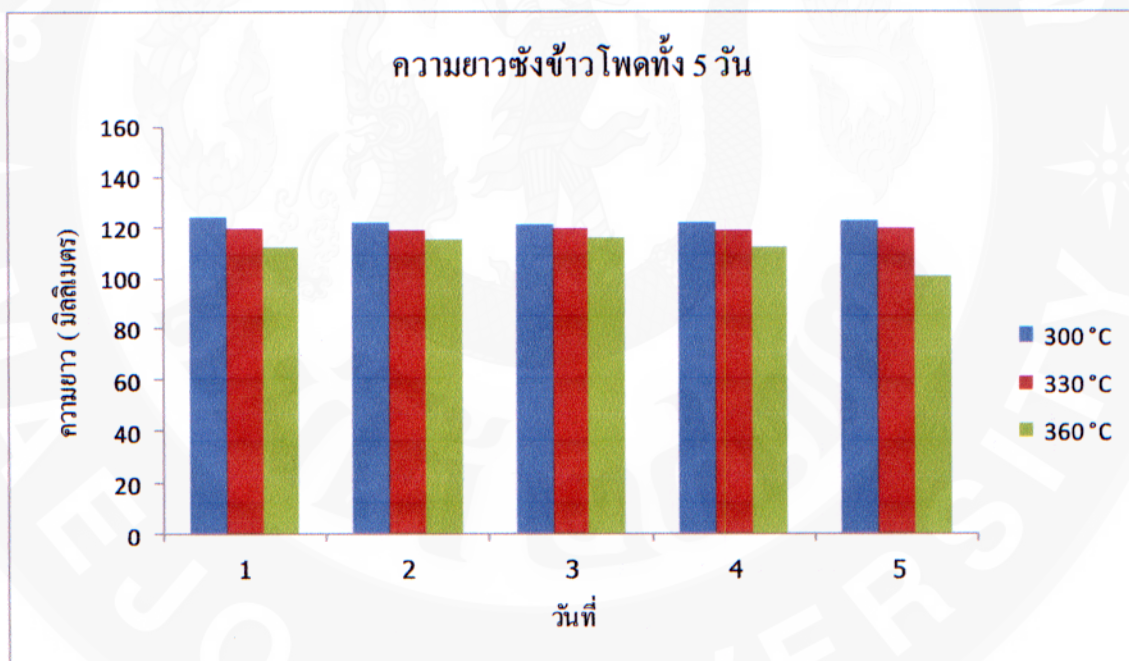


ภาพที่ 15 การขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุจากขั้วโพดผสมไม้ยางพารา

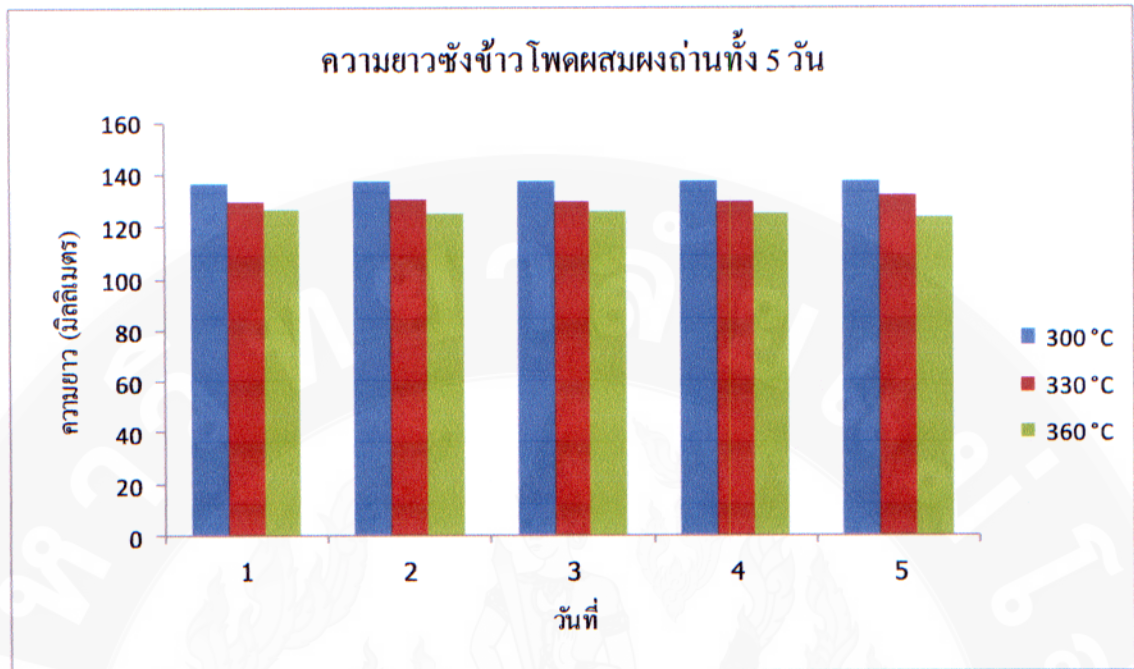
2.2 การขยายตัวของความยาว

ผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวของแท่งชีวมวลผ่านกระบวนการอัดสกรูแบบร้อน อุณหภูมิที่ใช้อัดในช่วง 300-360 °C เมื่ออัดแท่งจากเครื่องอัดแล้วนำมาปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 5 วัน หลังการอัด ดังภาพที่ 16-18 พบว่าความยาวของแท่งชีวมวลจากซังข้าวโพด ซังข้าวโพดผสมผงด่าน และซังข้าวโพดผสมไม้ยางพารา มีการเปลี่ยนแปลงของความยาวเมื่อเทียบกับวันที่ 1 เมื่อคิดเป็น เปอร์เซ็นต์มีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 0.2-4.9% , 0.6-2% และ 0.5-1.1 % ตามลำดับ

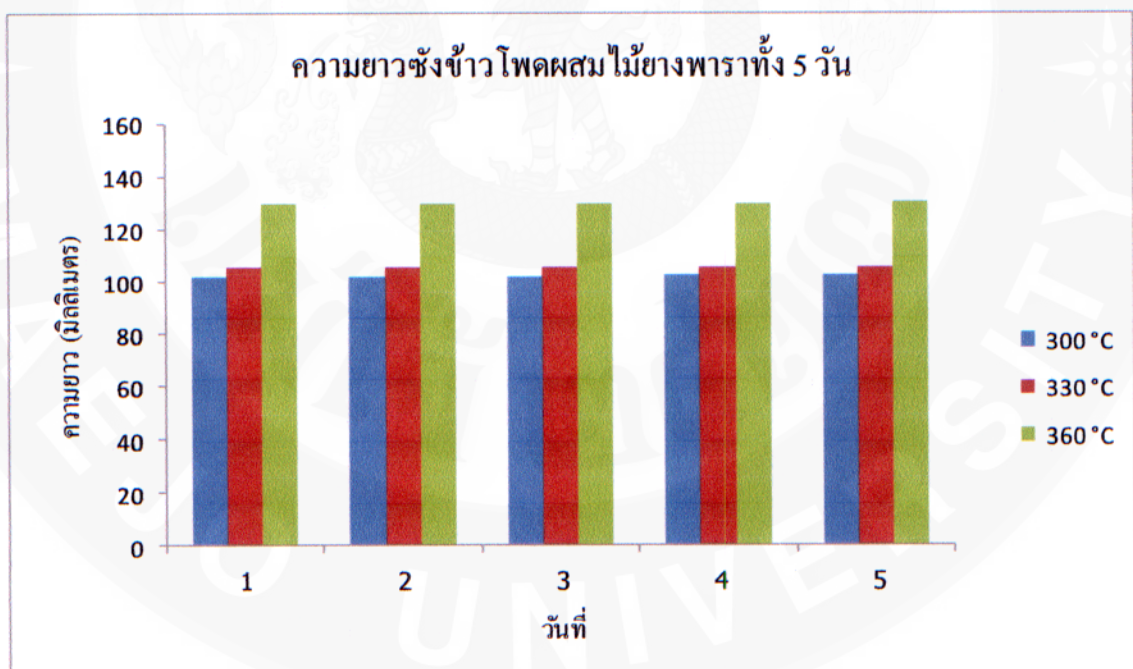
จะเห็นได้ว่าการผสมเศษวัสดุเช่น ผงถ่าน และไม้ยางพารา เข้ากับซังข้าวโพดแล้วอัดแท่งชีวมวล แล้วส่งผลให้ชีวมวลอัดแท่งมีแนวโน้มลดการเปลี่ยนแปลงของการขยายตัวในด้านความยาวลดลง โดยเฉพาะที่ ที่อุณหภูมิ 360°C ลดจาก 4.9% เหลือเพียง 0.6-2.1%



ภาพที่ 16 การขยายตัวของความยาวของแท่งชีวมวลวัสดุจากซังข้าวโพด



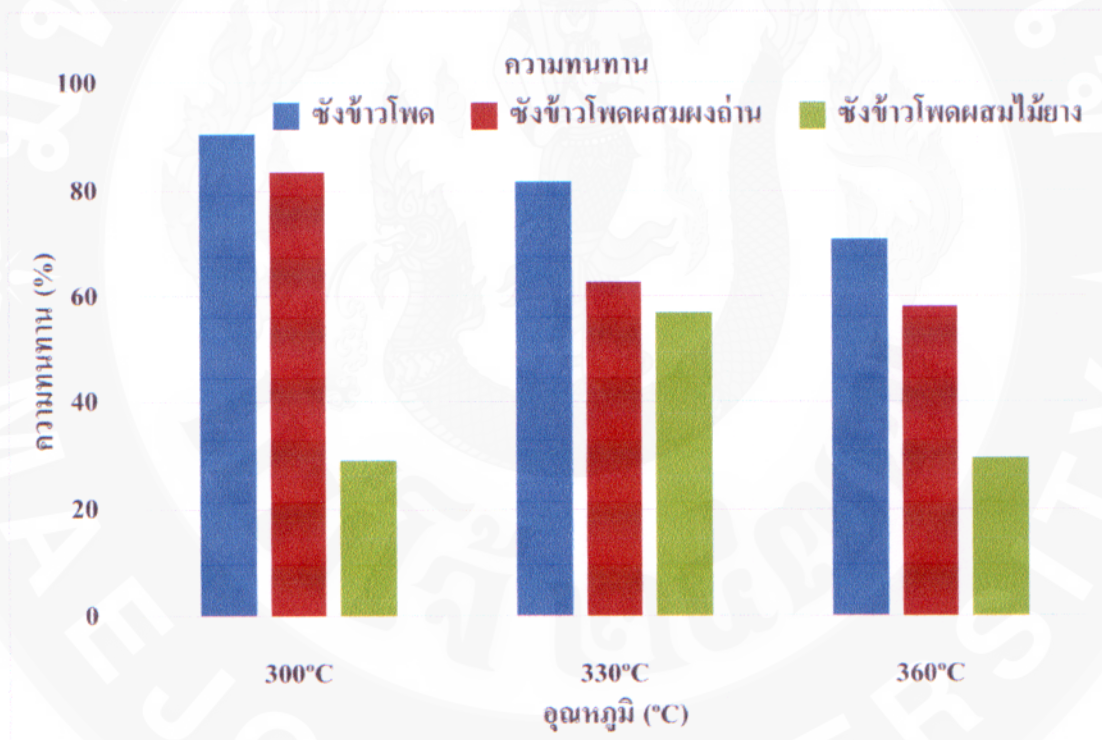
ภาพที่ 17 การขยายตัวของความยาวของแท่งชีวมวลวัสดุจากซังข้าวโพดผสมผงถ่าน



ภาพที่ 18 การขยายตัวของความยาวของแท่งชีวมวลวัสดุจากซังข้าวโพดผสมไม้ยางพารา

3. ผลการทดสอบค่าความทนทาน

การทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องทดสอบค่าความทนทาน แบบหมุน ในการทดสอบ ใช้ชีวมวลอัดแท่งทดสอบใส่ในเครื่องครั้งละ 2 กิโลกรัม ใช้เวลาในการทดสอบครั้งละ 5 นาที จากนั้นนำแท่งชีวมวลมาผ่านตะแกรง นำแท่งชีวมวลที่อยู่บนตะแกรงและใต้ตะแกรงมาชั่งและบันทึกค่าน้ำหนักชีวมวลอัดแท่ง ผลที่ได้จากการทดสอบ พบว่าที่อุณหภูมิประมาณ 300°C ชั่งข้าวโพด ชั่งข้าวโพดผสมผงถ่าน มีค่าความทนทานสูงสุดเฉลี่ย 91% และ 84% ตามลำดับ ส่วนชั่งข้าวโพดผสมไม้ยางมีค่าสูงสุด 57% โดยพบว่าความทนทานมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์เพิ่มสูงขึ้นจาก 300 ถึง 360 °C โดยที่ชั่งข้าวโพด ชั่งข้าวโพดผสมถ่านและชั่งข้าวโพดผสมไม้ยางพารา มีค่าความทนทานประมาณ 71-91%, 58-84% และ 29-57% ตามลำดับ



ภาพที่ 19 ความทนทานของชีวมวลอัดแท่ง

วิจารณ์ผลการวิจัย

การอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในหลายด้าน จากตัววัสดุที่นำมาอัด เช่น ขนาดของเศษวัสดุ ความชื้น ส่วนประกอบ ส่วนผสม ส่วนปัจจัยจากกระบวนการ เช่น อุณหภูมิ เวลา แรงที่ใช้อัด ความร้อนที่ได้รับ ความต่อเนื่องของกระบวนการอัด ต่างก็มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการอัด หากบางเงื่อนไขที่เหมาะสมจะส่งผลให้ชีวมวลอัดไม่อยู่ตัว และแตกออก ทำให้ไม่สามารถอัดให้ขึ้นรูปเป็นแท่งได้

ในงานวิจัยนี้ชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่งแล้ว ได้นำมาทดสอบหาการเปลี่ยนแปลงของความชื้น การขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาว รวมถึงการทดสอบการแตกหักด้วยวิธีการทดสอบหาค่าความทนทาน โดยที่ชั่งข้าวโพดก่อนอัดแท่งมีความหนาแน่น 200 kg/m^3 เมื่ออัดแท่งแล้วมีความหนาแน่นประมาณ 400 kg/m^3 เพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า

ชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่งแล้วจะมีความชื้นน้อยกว่าก่อนอัดแท่ง เนื่องจากขณะที่ทำการอัดแท่งจะมีการให้ความร้อนระหว่างกระบวนการทำให้มีน้ำระเหยไปบางส่วน จึงส่งผลให้หลังผ่านกระบวนการอัดแท่งแล้ว จะมีความชื้นลดลง ชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่งแล้วหากเก็บไว้สภาวะบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน พบว่าชีวมวลอัดแท่งจะมีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับความชื้นก่อนอัด โดยพบว่าชั่งข้าวโพด ชั่งข้าวโพดผสมถั่วและชั่งข้าวโพดที่ผสมไม้อย่างพาราจะมีความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ประมาณ 2-4% โดยพบว่าหากใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ในการอัดที่สูงขึ้น ทำให้ความชื้นของแท่งมีแนวโน้มลดลงสำหรับชั่งข้าวโพด หากนำข้าวโพดผสมกับถั่วและไม้อย่างพารา พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นค่าความชื้นไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าอุณหภูมิไม่ได้ส่งผลต่อความชื้นหลังอัด

ชีวมวลอัดแท่งจากชั่งข้าวโพดที่ผสมกับผงถั่ว และไม้อย่างพารา จะมีการขยายตัวน้อยกว่าชั่งข้าวโพดอัดแท่งเพียงอย่างเดียวประมาณ 2-5% โดยอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นการขยายตัวน้อยกว่าที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า แต่ชั่งข้าวโพดที่ผสมไม้อย่างพารา จะตรงกันข้าม

ชีวมวลอัดแท่งจากชั่งข้าวโพดมีค่าความทนทานอยู่ในช่วง 71-91% ส่วนชีวมวลอัดแท่งจากชั่งข้าวโพดผสมกับถั่วและไม้อย่างพารา จะมีค่าความทนทานน้อยกว่าชั่งข้าวโพด และมีค่าอยู่ในช่วง 58-

84% และ 29-57% ชั่งข้าวโพดมีลักษณะเป็นตัวผานทำให้ชีวมวลอัดแท่งคงรูปโดยอาศัยความร้อน ส่งผลให้ชีวมวลมีความทนทานสูง (Kaliyan & Morey, 2009) โดยที่ความทนทานของชีวมวลอัดแท่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิในการอัดที่เพิ่มสูงขึ้น



สรุปผลการวิจัย

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุทางการเกษตร โดยใช้เครื่องอัดสกรูแบบอัดร้อน ปัจจัยทางด้านวัสดุและกระบวนการอัด มีผลต่อเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น ความหนาแน่น การขึ้นรูป ความคงตัว การทนทาน เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวล

1. ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งซังข้าวโพด ความชื้นและขนาดของวัสดุที่เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการอัด โดยที่ซังข้าวโพดมีศักยภาพที่จะนำมาเป็นผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง
2. ชีวมวลอัดแท่งจากซังข้าวโพดและซังข้าวโพดผสมผงถ่านและไม้อย่างพาราจะมีความชื้นลดลงหลังการอัด และจะมีความชื้นเพิ่มขึ้นหลังอัดใกล้เคียงกับความชื้นก่อนอัด
3. การขยายตัวของชีวมวลอัดแท่งอยู่ในช่วง 2-4% ส่วนอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การขยายตัวลดลงสำหรับซังข้าวโพด หากซังข้าวโพดที่ผสมไม้อย่างจะตรงกันข้ามโดยที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นกลับทำให้การขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น
4. ชีวมวลอัดแท่งจากวัสดุผสมระหว่างซังข้าวโพด กับผงถ่านและไม้อย่างพารา พบว่าชีวมวลอัดแท่งที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสมีความทนทานสูงที่สุด ส่วนที่อุณหภูมิ 360 °C มีค่าความทนทานน้อยที่สุด
5. อุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากซังวัสดุข้าวโพด โดยใช้เครื่องอัดสกรูแบบอัดร้อนจะอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 300°C จะเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความทนทานเป็นไปตามมาตรฐานโดยมากกว่า 80%

เอกสารอ้างอิง

- เกรียงไกร วงศาโรจน์. 2554. วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 38 ฉบับที่ 1. ศึกษาคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิง
ที่ผลิตได้ในรูปของค่าความร้อนและความต้านทานแรงกด. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 65-72
- ชมธิดา ชื่นนิมย 2553. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษชังข้าวโพดมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง.
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ. 2551. การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมชังข้าวโพดและ
กะลามะพร้าว. มหาวิทยาลัยศรีปทุม. 1-5
- Kaliyan, N., & Morey, R. V. (2009). Factors affecting strength and durability of densified
biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 337-359.
- Mani, S., Tabil, L. G., & Sokhansanj, S. (2006). Effects of compressive force, particle size and
moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. *Biomass and
Bioenergy*, 30(7), 648-654.
- Kaliyan, N., & Morey, R. V. (2010). Densification characteristics of corn cobs. *Fuel Processing
Technology*, 91(5), 559-565. doi:10.1016/j.fuproc.2010.01.001

ลายเซ็นผู้วิจัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย)

...../...../.....

คำรับรองโดยผู้บังคับบัญชาหน่วยงานต้นสังกัด

(ลงชื่อ).....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อูมาพร อุประ)

ตำแหน่ง คณบดีคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่/...../.....