



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรมสำหรับการผลิต
เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

โดย ดร.สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล และคณะ

25 พฤศจิกายน 2558

สัญญาเลขที่ RDG5750049

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรมสำหรับการผลิต
เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|---|--|
| 1 ดร.สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล
Dr. Somsak Ithisoponakul | ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| 2 ดร.ฉันทิพย์ สกุลخمฤทัย
Dr. Chantip Sakulkhaemaruehai | ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| 3 ดร.มนทิพย์ ล้อสุริยนต์
Dr. Montip Lawsuriyonta | ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |

ชุดโครงการ การวิจัยด้านวิสาหกิจชุมชน และวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs)
สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

แบบสรุปผู้บริหาร

[Executive Summary]

ความเป็นมา

พืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด และถั่วเหลือง และจากข้อมูลการพยากรณ์ผลผลิตจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้พยากรณ์ผลผลิตข้าว ในปี 2555/56 จะมีปริมาณ 28,443,163 ตัน ข้าวโพดจะมีผลผลิต 4,878,530 ตัน และถั่วเหลือง 76,499 ตัน ซึ่งการเก็บเกี่ยวผลผลิตของพืชเศรษฐกิจกลุ่มนี้จะมีเศษเหลือใช้ในอัตราส่วน 1-1.5 ตันต่อผลผลิตที่ได้ นั่นหมายความว่าชีวมวลเหล่านี้มีปริมาณที่มากเพียงพอต่อการนำมาผลิตใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับการผลิตพลังงานทดแทน ในกระบวนการผลิตพลังงานด้วยชีวมวลที่ได้กล่าวถึง สามารถทำได้โดยการเผาโดยตรงและพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าวมีค่าความร้อนสูงถึง 10.24 MJ/kg ในขณะที่ซึ่งข้าวโพดให้ค่าความร้อนสูงถึง 18.04 MJ/kg และเปลือกถั่วเหลืองมีค่าความร้อนสูงถึง 19.44 MJ/kg รวมทั้งธุรกิจขนาดย่อมเกี่ยวกับโรงเลื่อยไม้ตามท้องถิ่นชนบทที่มีการตัดแต่งไม้เพื่อจำหน่ายให้กับโรงงานเฟอร์นิเจอร์ ผู้จำหน่ายไม้แบบสำหรับงานก่อสร้าง หรือผู้ผลิตพาเลทไม้สำหรับสร้างบรรจุภัณฑ์เพื่อการส่งออก ทำให้มีชี้เลื่อยเหลือใช้เป็นจำนวนมากอีกเช่นกัน โดยพบว่า ชี้เลื่อยไม้มีค่าพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ 10.88 MJ/kg และจากการสำรวจพื้นที่เกษตรกรรมขององค์การบริหารส่วนตำบลน้ำเลา อำเภอธวัชบุรี จังหวัดแพร่ พบว่ามีเกษตรกรได้ทำการเพาะปลูกข้าว ข้าวโพด และถั่วเหลือง รวมทั้งกลุ่มชาวบ้านได้ประกอบอาชีพผลิตไม้แปรรูปดัดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้มีเศษพืชชีวมวลเหลือใช้เป็นจำนวนมาก

จากข้อมูลต่างๆ ของชีวมวลที่ได้กล่าวถึง จะพบว่าการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการเปลี่ยนแหล่งมวลชีวภาพให้เป็นพลังงานทดแทนตามที่มนุษย์ต้องการ มีการพัฒนาค้นคว้า ศึกษาในรูปแบบต่างๆ เพิ่มเติมอย่างต่อเนื่องและไม่มีวันจบสิ้น รวมถึงสถานการณ์และแนวโน้มการใช้งานชีวมวลสำหรับผลิตพลังงาน หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนพลังงานจากฟอสซิลในประเทศไทยแสดงแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทีมวิจัยจึงได้มีความสนใจในการศึกษาวิจัยศักยภาพการใช้ชีวมวล เนื่องด้วยชีวมวลแต่ละชนิดที่กล่าวถึงจะมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน ลักษณะของเส้นใยและส่วนผสมที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ค่าพลังงานที่เก็บสะสมในชีวมวลแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจึงมีความจำเป็นที่จะต้องการศึกษาในรายละเอียดของชีวมวลที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อประเมินศักยภาพทางด้านต่างๆ รวมถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลแหล่งผลิตและความเพียงพอสำหรับการผลิตในเชิงพาณิชย์ ด้วยเหตุนี้ทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดทำการวิจัยเพื่อศึกษาศักยภาพการนำเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว, ซึ่งข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง และชี้เลื่อย โดยทำการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ศึกษาอิทธิพลของขนาดผงอนุภาคที่เหมาะสมสำหรับการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิง ความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด ความสามารถคงทนต่อแรงอัด ปริมาณความชื้น การติดไฟ และค่าพลังงานความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากเม็ดเชื้อเพลิง

แต่ละชนิด รวมทั้งปริมาณเชื้อไฟฟ้าที่เหลือจากกระบวนการเผาไหม้ เพื่อทำการคัดเลือกชีวมวลที่มีศักยภาพที่ดีที่สุด สำหรับเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลของกลุ่มชุมชนต้นแบบในการผลิตและนำเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลไปใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับอบแห้งใบยาสูบและอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งชุมชนต้นแบบที่จะรองรับงานวิจัยนี้ได้แก่ องค์การบริหารส่วนตำบลน้ำเลา อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่

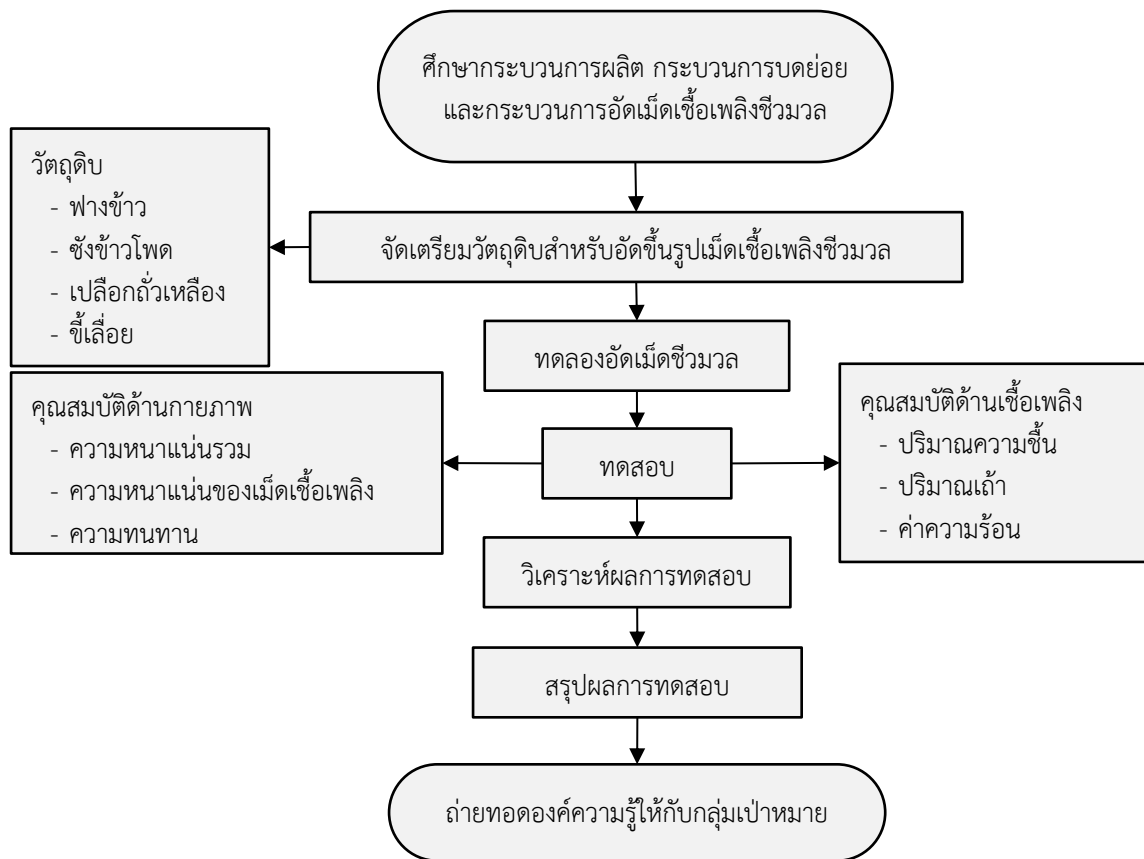
เมื่อสามารถผลิตเม็ดเชื้อเพลิงที่ได้คุณภาพ ประกอบกับมีแหล่งวัตถุดิบที่เพียงพอ ประชากรในชุมชนสามารถรวมกลุ่มตั้งวิสาหกิจชุมชน หรือกลุ่มธุรกิจขนาดย่อม (SME) ทำการผลิตเพื่อส่งเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลไปสู่อุตสาหกรรม หรือโรงงานผลิตไฟฟ้าชีวมวล นอกเหนือจากการผลิตใช้ในชุมชน ทำให้ได้พลังงานทดแทนที่เป็นการใช้พลังงานสะอาด ไม่เป็นอันตรายกับสิ่งแวดล้อม ลดการใช้พลังงานจากฟอสซิล ด้วยการใช้เศษพืชเหลือใช้ที่มีศักยภาพสูง และเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการปลูกหมุนเวียนตลอดทั้งปี ส่งเสริมการนำเศษวัสดุเหลือใช้จากงานเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ไปพร้อมกัน รวมทั้งส่งเสริมให้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างคุ้มค่าและเป็นไปอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์

1. ศึกษากระบวนการขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว, ชังข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง และขี้เลื่อย เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนด้วยกระบวนการเผาไหม้โดยตรง
2. เพื่อวัดสมบัติทางด้านกายภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว, ชังข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง และขี้เลื่อย เช่น ความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิง และความทนทาน
3. เพื่อวัดสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง เช่น ปริมาณความร้อน และให้ความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว, ชังข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง และขี้เลื่อย
4. เพื่อวัดตรวจสอบปริมาณเชื้อไฟฟ้าที่เหลือจากกระบวนการเผาไหม้ของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว, ชังข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง และขี้เลื่อย ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยสภาวะการอัดที่เหมาะสม
5. เพื่อทำการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีศักยภาพสูงและมีความเหมาะสมสำหรับผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งเป็นเศษที่เหลือใช้จากงานเกษตรกรรมของชุมชนต้นแบบ องค์การบริหารส่วนตำบลน้ำเลา อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่

วิธีดำเนินการวิจัย

โดยเริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงาน จากนั้นดำเนินการเก็บตัวอย่างชีวมวลได้แก่ ฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และขี้เลื่อย ที่ได้จากการลงพื้นที่ในชุมชนเป้าหมาย โดยการนำวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด มาผ่านขั้นตอนการบดย่อย และแยกขนาดตามตัวแปรที่กำหนด เพื่อนำไปทดลองอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง ซึ่งแสดงรายละเอียดและขั้นตอนดังนี้



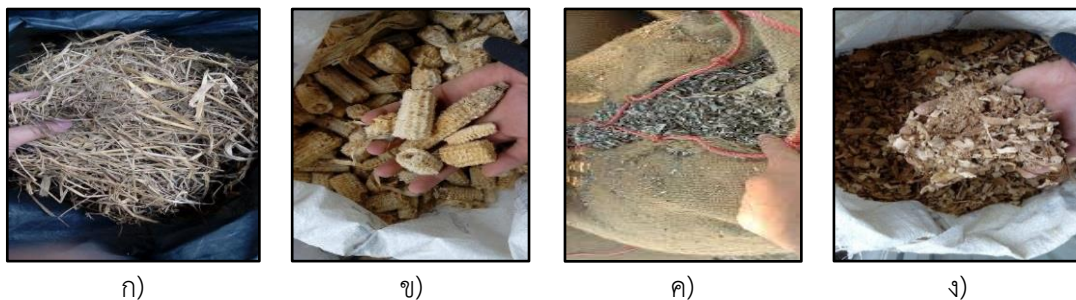
รูปที่ 1 แผนภาพแสดงวิธีการดำเนินงาน

1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการทดสอบ

1.1 การบดย่อยและการแยกขนาดชีวมวล

การบดย่อยชีวมวลเป็นการลดขนาดของชีวมวลให้มีขนาดเล็กลง โดยเครื่องจักรกลที่ไม่ทำให้คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป โดยขนาดอนุภาคของวัสดุที่ได้จากการบดควรมีความสม่ำเสมอของขนาดหรือรูปร่าง เมื่อนำไปแยกขนาดจะได้ขนาดตามที่ต้องการ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1.1.1 นำชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง ฟางข้าว และชี้เลื่อยที่เตรียมไว้ ดังรูปที่ 2 มาบดย่อยให้ละเอียดด้วยเครื่องบดย่อย ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 วัตถุดิบ ฟางข้าว ก), ชังข้าวโพด ข), เปลือกถั่วเหลือง ค), และชี้เลื่อย ง)



รูปที่ 3 การบดย่อยชีวมวล

1.1.2 นำชีวมวลทั้ง 4 ชนิด ที่บดย่อยเรียบร้อยแล้ว มาคัดแยกขนาดโดยใช้เครื่องเขย่า และใช้ตะแกรงขนาด 40, 60, 80 Mesh เรียงซ้อนกันตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การแยกขนาดอนุภาค

1.2 การอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

นำวัตถุดิบที่ขนาดอนุภาค 40, 60, 80 Mesh และที่ผ่านการบดย่อยด้วยตะแกรง 3 มิลลิเมตร มาทำการอัดขึ้นรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ดังรูปที่ 5 กำหนดให้เม็ดเชื้อเพลิงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ความยาว 20-40 มิลลิเมตร ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 6



ก) ป้อนวัตถุดิบ



ข) ลูกกลิ้งหมุนอัดวัตถุดิบ

รูปที่ 5 แสดงการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

	3 mm	40 Mesh	60 Mesh	80 Mesh
ฟางข้าว				
ซังข้าวโพด				
เปลือกถั่วเหลือง				
ซีลี้อย				

รูปที่ 6 แสดงเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลหลังการอัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาคต่างๆ

ผลการค้นพบตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

1. การทดสอบอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

จากการทดสอบการอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล พบว่าไม่สามารถอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงภายใต้ตัวแปรที่กำหนดได้ทุกตัวแปร โดยฟางข้าว สามารถนำมาอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้ที่ขนาดอนุภาค 60 และ 80 Mesh เท่านั้น ซังข้าวโพด สามารถนำมาอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้ที่ขนาดอนุภาค 80 Mesh เปลือกถั่วเหลืองและซีลี้อย สามารถนำมาอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้ทั้ง 4 ขนาดอนุภาค สาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถอัดเม็ดเชื้อเพลิง ได้นั้น เกิดจากปริมาณลิกนินในฟางข้าว และซังข้าวโพดน้อย นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอัดเม็ด เช่น ความชื้นในวัตถุดิบ ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการอัด อัตราการป้อน และแรงในการอัดขึ้นรูป

1.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นเม็ด (Density Pellet) -พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว เปลือกถั่วเหลือง และซีลี้อย มีค่าความหนาแน่นเม็ดตามมาตรฐาน DIN 51731 (Density Pellet: $\geq 1,000 \text{ kg/m}^3$) กำหนด โดยเม็ดฟางข้าวมีค่าความหนาแน่นเม็ดอยู่ระหว่าง $1,221 - 1,252 \text{ kg/m}^3$ เม็ดเปลือกถั่วเหลืองมีค่าความหนาแน่นเม็ดอยู่ระหว่าง $1,200 - 1,301 \text{ kg/m}^3$ และเม็ดซีลี้อยมีค่าความหนาแน่นเม็ดอยู่ระหว่าง $1,098 - 1,233 \text{ kg/m}^3$ ในส่วนของเม็ดซังข้าวโพดความหนาแน่นเม็ด 996 kg/m^3 ต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดเล็กน้อย

1.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นรวม (Bulk Density) –พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว เปลือกถั่วเหลือง และซีเลื่อย มีค่าความหนาแน่นรวมตามมาตรฐาน DIN EN 14961-2 (Bulk density: $\geq 600 \text{ kg/m}^3$) กำหนด โดยเม็ดฟางข้าวมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ระหว่าง 618 - 628 kg/m^3 เม็ดเปลือกถั่วเหลืองมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ระหว่าง 601 - 626 kg/m^3 และเม็ดซีเลื่อยมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ระหว่าง 608 - 630 kg/m^3 เม็ดซังข้าวโพดมีค่าความหนาแน่นรวม 508 kg/m^3 ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดไว้ ผลการทดสอบความหนาแน่นรวมมีความสอดคล้องกับความหนาแน่นเม็ด กล่าวคือความหนาแน่นเม็ดสูงส่งผลให้ความหนาแน่นรวมสูงขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ดีความหนาแน่นรวมไม่ได้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นเม็ดเพียงอย่างเดียว ความยาวของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีผลต่อความหนาแน่นเม็ดด้วยเช่นกัน หากความยาวโดยเฉลี่ยมีค่าสูงก็จะส่งผลให้ความหนาแน่นรวมลดลง ดังนั้นในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลควรมีการควบคุมความยาวของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลไม่ให้สูงกว่ามาตรฐานกำหนด (3.15 – 40 มิลลิเมตร)

1.3 ผลการทดสอบความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (Durability) – พบว่าค่าความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าอยู่ระหว่าง 92 - 98 เปอร์เซ็นต์ และผลการทดลองส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน DIN EN 14961-2 (Durability: $96.5 \geq 97.5$ เปอร์เซ็นต์) มีเพียงเม็ดเปลือกถั่วเหลืองที่ขนาดอนุภาค 40 และ 60 Mesh และเม็ดซีเลื่อยที่ขนาดอนุภาค 40, และ 60 Mesh มีค่าตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งค่าความทนทานที่ต่างกันนั้น มีผลมาจากสัดส่วนปริมาณของลิกนินในวัตถุดิบ ที่กลายเป็นตัวผสานเมื่อได้รับความร้อนระหว่างกระบวนการอัดเม็ด ทำให้ชีวมวลจับตัวกันเป็นเม็ดเชื้อเพลิงที่แข็งแรง นอกจากนี้ยังเกิดจากปัจจัยอีกหลายอย่างที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอัดเม็ด เช่น ความชื้นในวัตถุดิบ ความร้อน อัตราการป้อน และแรงที่ใช้ในการอัด

1.4 คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง – เป็นการทดสอบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและค่าความร้อนจากผลการทดสอบพบว่า ขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อองค์ประกอบและค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากที่ขนาดอนุภาคต่างกัน ผลการทดสอบปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนไม่ต่างกันมาก เมื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกัน และพิจารณาตามมาตรฐานข้อกำหนดระดับคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล European Standard DIN EN 14961-2 พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากซังข้าวโพดและซีเลื่อยมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงที่ดี โดยเม็ดซีเลื่อยมีค่าความร้อนสูงถึง 17.75 MJ/kg และปริมาณเถ้า 1.1 เปอร์เซ็นต์ เม็ดซังข้าวโพดมีค่าความร้อน 16.75 MJ/kg และปริมาณเถ้า 2.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานกำหนด (ค่าความร้อน 16-19 MJ/kg ปริมาณเถ้า 0.7- 3 เปอร์เซ็นต์) ในส่วนของเม็ดเปลือกถั่วเหลืองมีค่าความร้อน 16.65 MJ/kg ตามมาตรฐานกำหนด แต่มีปริมาณเถ้า 7.7 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ และเม็ดฟางข้าวมีค่าความร้อน 15.28 MJ/kg ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และมีปริมาณเถ้า 13.8 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้

จากผลการทดสอบสมบัติด้านกายภาพและด้านเชื้อเพลิง พบว่าเม็ดซังข้าวโพดและซีเลื่อยมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีที่สุดเมื่อเทียบกับเม็ดเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงและ

ปริมาณซีไธต่ำ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน European Standard EN 14961-2 กำหนด แต่จากการทดสอบสมบัติด้านกายภาพ พบว่าเม็ดซีไธขาวโพลมีความหนาแน่น และความทนทานต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด แต่อย่างไรก็ดีความหนาแน่น และความทนทานอาจไม่ใช่ปัญหาในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเพราะสามารถปรับปรุงสมบัติด้านกายภาพได้ โดยการเพิ่มแรงในการอัดหรือมีการเพิ่มวัสดุที่เป็นตัวประสาน แต่กระนั้นการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว และเปลือกถั่วเหลือง ยังเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นการกำจัดวัสดุเศษพืชเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีประโยชน์และมีประสิทธิภาพสามารถเพิ่มมูลค่าและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดในชุมชน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเผาไหม้ของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจาก เปลือกถั่วเหลือง ซีไธขาวโพล และซีไธขาวในเตาชีวมวล มีการให้ความร้อนต่างกันมากน้อยเพียงใด และความหนาแน่นมีผลอย่างไรต่อการเผาไหม้ในเตา
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเกี่ยวกับขนาดอนุภาค กับการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเครื่องอัดชีวมวลขนาดใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม
3. หากต้องการให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด จำเป็นต้องมีการพัฒนาสัดส่วนชีวมวลขึ้น หรือมีการผสมกันระหว่างชีวมวล เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน

การนำไปใช้ประโยชน์

1. ได้ถ่ายทอดองค์ความรู้ และกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ให้กับกลุ่มเกษตรกร องค์กรการบริหารส่วนตำบลน้ำเลา อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่ ให้มีความเข้าใจและเห็นถึงศักยภาพของเศษชีวมวล เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีคุณภาพ และได้เล็งเห็นถึงช่องทางการเพิ่มรายได้
2. เผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8, 4-6 พฤศจิกายน 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาศักยภาพการใช้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และขี้เลื่อย ที่เหลือจากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ สำหรับการผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลของกลุ่มชุมชนต้นแบบ องค์การบริหารส่วนตำบลน้ำเลา อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่ โดยทำการทดลองอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ทั้ง 4 ชนิด ที่ขนาดอนุภาค 4 ขนาด คือ อนุภาคขนาดที่ผ่านการบดย่อยด้วยตะแกรงขนาด 3 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคที่ผ่านการคัดแยก 40, 60 และ 80 Mesh กำหนดขนาดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ความยาวไม่เกิน 40 มิลลิเมตร และกำหนดให้ปริมาณความชื้นก่อนการอัดขึ้นรูป 8 - 15 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพและสมบัติด้านเชื้อเพลิง เพื่อคัดเลือกชีวมวล ที่มีศักยภาพสูงและมีความเหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลตามมาตรฐานของข้อกำหนดระดับคุณภาพ เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล European Standard DIN EN 14961-2

ผลการทดสอบพบว่า ขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อค่าองค์ประกอบและค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล และเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากชังข้าวโพดและขี้เลื่อยมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีที่สุด เมื่อเทียบกับเม็ดเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงและปริมาณขี้เถ้าต่ำ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน European Standard EN 14961-2 (ค่าความร้อน 16-19 MJ/kg ปริมาณเถ้า 0.7 - 3 เปอร์เซ็นต์) กำหนด โดยเม็ดขี้เลื่อยมีค่าความร้อนสูงถึง 17.75 MJ/kg และปริมาณเถ้า 1.1 เปอร์เซ็นต์ เม็ดชังข้าวโพดมีค่าความร้อน 16.75 MJ/kg และปริมาณเถ้า 2.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานกำหนด ในส่วนของเม็ดเปลือกถั่วเหลืองมีค่าความร้อน 16.65 MJ/kg ตามมาตรฐานกำหนด แต่มีปริมาณเถ้า 7.7 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ และเม็ดฟางข้าวมีค่าความร้อน 15.28 MJ/kg ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และมีปริมาณเถ้า 13.8 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ แต่จากการทดสอบคุณสมบัติด้านกายภาพ พบว่าเม็ดชังข้าวโพดมีความหนาแน่นและความทนทานต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด แต่อย่างไรก็ดีคุณสมบัติทางกายภาพนี้อาจไม่ใช่ปัญหาในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเพราะสามารถปรับปรุงสมบัติด้านกายภาพได้ โดยการเพิ่มแรงในการอัดหรือมีการเพิ่มวัสดุที่เป็นตัวประสาน

อย่างไรก็ดีการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว และเปลือกถั่วเหลือง ยังเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นการกำจัดวัสดุเศษพืชเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีประโยชน์และมีประสิทธิภาพสามารถเพิ่มมูลค่าและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดในชุมชน

คำสำคัญ : ค่าความร้อน, ปริมาณเถ้า, ความหนาแน่น, ความทนทาน

Abstract

The purpose of this analysis is to study the effect of using agricultural waste such as rice straw, corn cob, soybean hull and sawdust for the production of biomass fuel pellets in prototype community under Subdistrict Administrative Organization Num Lao in Long Gwang district, Prae province. The analysis use 4 size of particle sizes that have been grounded by 3 ml sieve. Particle sizes after classification are 40, 60, and 80 mesh with diameter determined at 8 ml and not more than 40 ml in length. Moisture content is kept at 8-15% before pellet compression. The analysis then test physical and fuel property in order to select the best quality biomass with high capability suitable for production of biomass fuel pallet according to quality standard determined by European Standard DIN EN 14961-2.

The result of this analysis reveals that particle sizes do not not effect property value as well as heat content of the pellet. Pellet produced from corn cob and sawdust have the best fuel properties among the 4 types of raw materials. Both have high heat content and less ash content according to the standard (heat content of 16-19 MJ/kg with ash content at of 0.7-3 %). Sawdust heat content is at 17.75 MJ/kg with 1.1 % ash content. Corn cob heat content is at 16.75 MJ/kg with 2.4 % ash content. Soyben hull heat content is a t16.65 MJ/kg with 7.7% ash content—which is higher than standard. Rice straw heat content is at 15.28 MJ/kg and that is less than standard with heat content higher than standard at 13.8 %. The analysis of corn cob's physical property reveals that it has less than standard bulk density. This physical property is not a problem in producing biomass fuel pellet because it can be improved by increasing compression force and add other synchronizable materials.

However, production of biomass fuel pellet from rice straw and soybean hull are still an interesting choice. It is the most beneficial and optimal way of ridding agricultural waste while reducing environmental impact within the community.

Keyword: Heat Content, Ash Content, Bulk Density, Durability

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2557 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดลอง และให้เครื่องมือสำหรับเก็บผลการทดลอง

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสดำเนินการวิจัยนี้ นอกจากนั้นขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม	4
2.1 ทบทวนวรรณกรรม	4
2.2 นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้อง	8
2.3 ชีวมวล	8
2.4 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	13
2.5 กระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล	16
2.6 สมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	22
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	22
3.2 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการทดสอบ	23
3.3 การทดสอบสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล	24
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	28
4.1 ผลการทดสอบ	28
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุป	37
5.2 ข้อเสนอแนะ	38
บรรณานุกรม	39
ภาคผนวก ก การเตรียมวัสดุเพื่อผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล	41
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	44
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบสถิติ	60
ภาคผนวก ง ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ และกิจกรรมที่วางแผนไว้	76
ภาคผนวก จ การเผยแพร่ผลงานงานวิจัย	78

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เชื้อเพลิงชีวมวลที่จัดแบ่งตามแหล่งกำเนิดของชีวมวล	9
2.2	เชื้อเพลิงชีวมวลที่จัดแบ่งประเภทตามการได้มาของชีวมวล	10
2.3	สัดส่วนของลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลสในต้นไม้บางชนิด	12
2.4	ศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทยที่สำรวจและประเมินปี พ.ศ. 2552	13
3.1	ตารางบันทึกผลการทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิง (Pellet Density)	25
3.2	ตารางบันทึกผลการทดสอบความหนาแน่นรวม (Bluk Density)	26
3.3	ตารางบันทึกผลการทดสอบความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (Pellet Durability)	27
4.1	มาตรฐานข้อกำหนดระดับคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล European Standard EN 14961-2	28
4.2	ผลการทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (ค่าเฉลี่ย)	30
4.3	ผลการทดสอบความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (ค่าเฉลี่ย)	31
4.4	ผลการทดสอบความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (ค่าเฉลี่ย)	32
4.5	องค์ประกอบของเชื้อเพลิงและค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด	34

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ลักษณะของชีวมวลที่เหลือใช้	2
2.1	ซังข้าวโพด	14
2.2	เปลือกถั่วเหลือง	15
2.3	ฟางข้าว	15
2.4	ขี้เลื่อย	16
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนต่ำและค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงแข็ง	20
3.1	แผนภาพแสดงวิธีการดำเนินงาน	22
3.2	วัตถุดิบ ฟางข้าว ก), ซังข้าวโพด ข), เปลือกถั่วเหลือง ค), และขี้เลื่อย ง)	23
3.3	การบดย่อยชีวมวล	23
3.4	การแยกขนาดอนุภาค	23
3.5	แสดงการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล	24
3.6	แสดงเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล	24
3.7	กล่องสี่เหลี่ยมสำหรับทดสอบความทนทาน	27
4.1	แสดงเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลหลังการอัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาคต่างๆ	29
4.2	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด ที่อัดขึ้นรูปที่ขนาดอนุภาคแต่ละขนาด	30
4.3	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลทดสอบความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด ที่อัดขึ้นรูปที่ขนาดอนุภาคแต่ละขนาด	31
4.4	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลทดสอบความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด ที่อัดขึ้นรูปที่ขนาดอนุภาคแต่ละขนาด	33
4.5	แสดงค่าองค์ประกอบของเม็ดเชื้อเพลิงและค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล จากฟางข้าว ก), ซังข้าวโพด ข), เปลือกถั่วเหลือง ค), ขี้เลื่อย ง)	35
4.6	ค่าองค์ประกอบของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (Proximate Analysis) และค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดอนุภาค 80 Mesh ทั้ง 4 ชนิด	36

บทที่ 1

บทนำ

พลังงานจากชีวมวลมีความน่าสนใจและได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ทำให้มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก จึงส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงจากชีวมวลมีราคาไม่สูงมากนัก นอกจากนี้การใช้เชื้อเพลิงจากชีวมวลยังสามารถช่วยรักษาสภาพแวดล้อมได้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

พืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด และถั่วเหลือง และจากข้อมูลการพยากรณ์ผลผลิตจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้พยากรณ์ผลผลิตข้าวในปี 2555/56 จะมีปริมาณ 28,443,163 ตัน ข้าวโพดจะมีผลผลิต 4,878,530 ตัน และถั่วเหลือง 76,499 ตัน [1] ซึ่งการเก็บเกี่ยวผลผลิตของพืชเศรษฐกิจกลุ่มนี้จะมีเศษเหลือใช้ในอัตราส่วน 1-1.5 ตันต่อผลผลิตที่ได้ นั่นหมายความว่าชีวมวลเหล่านี้มีปริมาณที่มากเพียงพอต่อการนำมาผลิตใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับการผลิตพลังงานทดแทน ในกระบวนการผลิตพลังงานด้วยชีวมวลที่ได้กล่าวถึง สามารถทำได้โดยการเผาโดยตรงและพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าวมีค่าความร้อนสูงถึง 10.24 MJ/kg ในขณะที่ซังข้าวโพดให้ค่าความร้อนสูงถึง 18.04 MJ/kg และเปลือกถั่วเหลืองมีค่าความร้อนสูงถึง 19.44 MJ/kg [2] รวมทั้งธุรกิจขนาดย่อมเกี่ยวกับโรงเลื่อยไม้ตามท้องถิ่นชนบทที่มีการตัดแต่งไม้เพื่อจำหน่ายให้กับโรงงานเฟอร์นิเจอร์ ผู้จำหน่ายไม้แบบสำหรับงานก่อสร้าง หรือผู้ผลิตพาเลทไม้สำหรับสร้างบรรจุภัณฑ์เพื่อการส่งออก ทำให้มีขี้เลื่อยเหลือใช้เป็นจำนวนมากอีกเช่นกัน โดยพบว่า ขี้เลื่อยไม้มีค่าพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ 10.88 MJ/kg และจากการสำรวจพื้นที่เกษตรกรรมขององค์การบริหารส่วนตำบลน้ำเลา อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่ พบว่ามีเกษตรกรได้ทำการเพาะปลูกข้าว ข้าวโพด และถั่วเหลือง รวมทั้งกลุ่มชาวบ้านได้ประกอบอาชีพผลิตไม้แปรรูปดัดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้มีเศษพืชชีวมวลเหลือใช้เป็นจำนวนมาก รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะของชีวมวลเหลือใช้จากงานเกษตรกรรมและจากโรงเลื่อยขนาดเล็ก

จากข้อมูลต่างๆ ของชีวมวลที่ได้กล่าวถึง จะพบว่าการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการเปลี่ยนแหล่งมวลชีวภาพให้เป็นพลังงานทดแทนตามที่มนุษย์ต้องการ มีการพัฒนาค้นคว้า ศึกษาในรูปแบบต่างๆ เพิ่มเติมอย่างต่อเนื่องและไม่มีวันจบสิ้น รวมถึงสถานการณ์และแนวโน้มการใช้งานชีวมวลสำหรับผลิตพลังงาน หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนพลังงานจากฟอสซิลในประเทศไทยแสดงแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทีมวิจัยจึงได้มีความสนใจในการศึกษาวิจัยศักยภาพการใช้ชีวมวล เนื่องด้วยชีวมวลแต่ละชนิดที่กล่าวถึงจะมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน ลักษณะของเส้นใยและส่วนผสมที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ค่าพลังงานที่เก็บสะสมในชีวมวลแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจึงมีความจำเป็นที่จะต้องการศึกษาในรายละเอียดของชีวมวลที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อประเมินศักยภาพทางด้านต่างๆ รวมถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลแหล่งผลิตและความเพียงพอสำหรับการผลิตในเชิงพาณิชย์ ด้วยเหตุนี้ทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดทำการวิจัยเพื่อศึกษาศักยภาพการนำเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว, ซังข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง และขี้เลื่อย โดยทำการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ศึกษาอิทธิพลของขนาดผงอนุภาคที่เหมาะสมสำหรับการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิง ความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด ความสามารถทนต่อแรงอัด

ปริมาณความชื้น การติดไฟ และค่าพลังงานความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากเม็ดเชื้อเพลิงแต่ละชนิด รวมทั้งปริมาณขี้เถ้าที่เหลือจากกระบวนการเผาไหม้ เพื่อทำการคัดเลือกชีวมวลที่มีศักยภาพที่ดีที่สุด สำหรับเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลของกลุ่มชุมชนต้นแบบในการผลิตและนำเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลไปใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับอบแห้งใบยาสูบและอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งชุมชนต้นแบบที่จะรองรับงานวิจัยนี้ได้แก่ องค์การบริหารส่วนตำบลน้ำเลา อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่

เมื่อสามารถผลิตเม็ดเชื้อเพลิงที่ได้คุณภาพ ประกอบกับมีแหล่งวัตถุดิบที่เพียงพอ ประชากรในชุมชนสามารถรวมกลุ่มตั้งวิสาหกิจชุมชน หรือกลุ่มธุรกิจขนาดย่อม (SME) ทำการผลิตเพื่อส่งเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลไปสู่อุตสาหกรรม หรือโรงงานผลิตไฟฟ้าชีวมวล นอกเหนือจากการผลิตใช้ในชุมชน ทำให้ได้พลังงานทดแทนที่เป็นการใช้พลังงานสะอาด ไม่เป็นอันตรายกับสิ่งแวดล้อม ลดการใช้พลังงานจากฟอสซิล ด้วยการใช้เศษพืชเหลือใช้ที่มีศักยภาพสูง และเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการปลูกหมุนเวียนตลอดทั้งปี ส่งเสริมการนำเศษวัสดุเหลือใช้จากงานเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ไปพร้อมกัน รวมทั้งส่งเสริมให้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างคุ้มค่าและเป็นไปอย่างยั่งยืน



a) ฟางข้าว



b) ขี้ข้าวโพด



c) เปลือกถั่วเหลือง



d) ขี้เลื่อยไม้

รูปที่ 1.1 ลักษณะของชีวมวลที่เหลือใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษากระบวนการขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว, ขี้ข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง และขี้เลื่อย เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนด้วยกระบวนการเผาไหม้โดยตรง

1.2.2 เพื่อวัดสมบัติทางด้านกายภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว, ชังข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง และซีเลื่อย เช่น ความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิง และความทนทาน

1.2.3 เพื่อวัดสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง เช่น ปริมาณความชื้น และให้ความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว, ชังข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง และซีเลื่อย

1.2.4 เพื่อวัดตรวจสอบปริมาณซีเลื่อยที่เหลือจากกระบวนการเผาไหม้ของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว, ชังข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง และซีเลื่อย ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยสภาวะการอัดที่เหมาะสม

1.2.5 เพื่อทำการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีศักยภาพสูงและมีความเหมาะสมสำหรับผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งเป็นเศษที่เหลือใช้จากงานเกษตรกรรมของชุมชนต้นแบบ องค์การบริหารส่วนตำบลน้ำเลา อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ทราบถึงศักยภาพของเม็ดเชื้อฟางข้าว, ชังข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง และซีเลื่อย โดยใช้ผงอนุภาคของชีวมวลแต่ละชนิดที่มีขนาด 40, 60 และ 80 Mesh และอัดให้เป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร และยาว 20-40 มิลลิเมตร

1.3.2 ทราบถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญต่อการขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากเม็ดเชื้อฟางข้าว, ชังข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง และซีเลื่อย

1.3.3 ได้เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีความหนาแน่นรวม ความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิง ความสามารถในการรักษารูปร่างของเม็ดชีวมวล ปริมาณความชื้น ความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว, ชังข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง และซีเลื่อย ปริมาณซีเลื่อยที่เหลือจากกระบวนการเผาไหม้ของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยสภาวะการอัดที่เหมาะสม

1.3.4 ได้ถ่ายทอดองค์ความรู้ และกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ให้กับกลุ่มเกษตรกร ได้มีความเข้าใจและเห็นถึงศักยภาพของเศษชีวมวล เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีคุณภาพ และได้เล็งเห็นถึงช่องทางการเพิ่มรายได้ บริหารจัดเก็บเศษพืชเหลือใช้อย่างเป็นระบบและเตรียมพร้อมสำหรับการจำหน่ายให้กับโรงงานผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

1.3.5 เผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับชาติ/นานาชาติ หรือตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ/นานาชาติ

บทที่ 2

ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาศักยภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง ฟางข้าว และ ชี้เลื่อย เพื่อให้สามารถบรรลุตามวัตถุประสงค์จึงจำเป็นต้องอาศัยหลักทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการบริหารดำเนินโครงการ

2.1 ทบทวนวรรณกรรม

2.1.1 Deniel Ciolkosz [3] ได้เขียนอธิบายกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ประกอบด้วยขั้นตอนของการบดชีวมวล จากนั้นอัดขึ้นรูปชีวมวลผ่านแม่พิมพ์ที่เรียกว่า ดายน์ ทำการอัดชีวมวลให้หลอมละลายประสานกันเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล กระบวนการนี้เรียกว่า การอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion) ชีวมวลธรรมชาติบางประเภท เช่น ไม้ จะสามารถนำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูงได้ นอกจากนี้เม็ดชีวมวลบางชนิดสามารถผลิตด้วยการผสมตัวประสานลงเพื่อช่วยให้ชีวมวลเกาะรวมตัวเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล กระบวนการอัดเม็ดเป็นเพียงขั้นตอนย่อยหนึ่งของการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งกระบวนการทั้งหมดในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงประกอบด้วย การบดวัตถุดิบ การควบคุมความชื้น การอัดขึ้นรูป การระบายความร้อนเม็ดชีวมวลที่ผ่านการอัด และขั้นตอนการบรรจุเพื่อส่งให้ลูกค้า ในขณะที่ขั้นตอนของการบดต้องทำการบดชีวมวลให้มีขนาดต่ำกว่า 3 มิลลิเมตร ความชื้นของวัตถุดิบเป็นตัวแปรหลักที่จะควบคุมคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิง กรณีวัตถุดิบเป็นไม้ต้องควบคุมความชื้นไม่ให้สูงกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ สำหรับวัสดุชนิดอื่นต้องทำการทดลองหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม สำหรับการอัดขึ้นรูป ความชื้นสามารถจัดออกได้ด้วยการอบแห้งด้วยการเป่าลมร้อนผ่านวัตถุดิบ สำหรับการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิง กรณีที่วัตถุดิบมีความแห้งเกินไปสามารถเพิ่มความชื้นโดยการ พ่นน้ำหรืออบด้วยไอน้ำ สำหรับกระบวนการอัดชีวมวลจะถูกอัดด้วยแรงดันสูงและความร้อน ผ่านดายน์ที่ประกอบไปด้วยรูขนาดเล็ก ถ้ามีกระบวนการอัดที่เหมาะสมแล้วชีวมวลจะหลอมละลายเกาะกันเป็นเม็ดชีวมวล ใบมีดจะหมุนตัดเพื่อให้ได้ขนาดของเม็ดชีวมวลตามความยาวที่ต้องการ ชี้เลื่อยเป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเพราะลิกนินที่มีอยู่ตามธรรมชาติจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานคล้ายกับกาว ส่งผลให้ชีวมวลเกาะยึดตัวเป็นเม็ดได้ดี สำหรับเศษหญ้าจะเกาะตัวกันยากกว่าชี้เลื่อยไม้ ทำให้เม็ดชีวมวลที่ได้มีความหนาแน่นต่ำกว่าและมีแนวโน้มเกิดการแตกหักของเม็ดเชื้อเพลิงได้ง่าย ดังนั้นการใช้วัสดุประสานหรือผสมด้วยชีวมวลที่มีส่วนผสมของลิกนินสูงจะแก้ไขปัญหาการอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้ ในขั้นตอนของการอัดเม็ดจะมีความร้อนสูงประมาณ 150 องศาเซลเซียส ในกระบวนการผลิตและเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจะมีลักษณะอ่อนตัวซึ่งต้องทำการระบายความร้อนและอบแห้งเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลหลังจากผ่านกระบวนการอัดมาแล้ว ซึ่งทำได้ด้วยการเป่าลมเพื่อระบายความร้อนและทำแห้งให้กับเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งจะต้องมีความชื้นตกค้างไม่น้อยกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นเม็ดเชื้อเพลิง ชีวมวลจะถูกนำไปบรรจุลงในถุงให้มีขนาด 18 กิโลกรัม เพื่อสะดวกต่อการเติมลงในเตาเผาไหม้ของระบบผลิตพลังงานรูปแบบต่างๆ โดยถุงของบรรจุภัณฑ์ควรจะมีลักษณะใส และติดฉลากคำอธิบายชนิดของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น ชนิดของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ระดับเกรด และค่าพลังงานความร้อน เป็นต้น

2.1.2 Sudhagar Mani, Lope G. Tabil and Shahab Sokhansanj [4] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจาก ฟางข้าวสาลี ฟางข้าวบาร์เลย์ ใบและซังข้าวโพด และหญ้าสวิตช์ โดยชีวมวลเหล่านี้ถูกอัดด้วยแรงอัดที่แตกต่างกัน และขนาดของผงบดที่ใช้ในการขึ้นรูป 3.2, 1.6 และ

0.8 มิลลิเมตร ระดับความชื้นถูกควบคุมที่ 12 และ 15 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทดสอบหาสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสม เม็ดชีวมวลที่อัดได้ถูกวัดขนาดและคำนวณค่าความหนาแน่น พบว่าเศษใบและซังข้าวโพดมีค่าความหนาแน่นสูงสุดในขณะที่อัดด้วยแรงอัดในระดับต่ำ โดยที่แรงอัด ขนาดผงอนุภาค และปริมาณความชื้น เป็นตัวแปรที่สำคัญต่อความหนาแน่นของการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าวบาร์เลย์ ใบและซังข้าวโพด และหญ้าสวิตช์ ในขณะที่ขนาดผงอนุภาคของฟางข้าวสาลีไม่มีผลต่อความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ข้อมูลต่างจากการทดลองถูกวิเคราะห์ถึงโมดูลัสของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ฟางข้าวบาร์เลย์มีค่าโมดูลัสสูงสุด มีความแข็งแรงมากกว่าเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นๆ ค่าโมดูลัสของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของแรงอัด

2.1.3 ในปี 2010 Clara Serrano [5] ทำการศึกษางานวิจัยถึงผลของความชื้น ขนาดอนุภาค และการผสมผสานที่ส่งผลต่อคุณภาพกลุ่มตัวอย่างของเม็ดฟางข้าวบาร์เลย์ โดยเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทาง การเกษตรจากเศษวัสดุเหลือใช้ของฟางข้าวบาร์เลย์ได้มีการผลิตอัดเม็ด ในกึ่งอุตสาหกรรมได้นำร่อง เกณฑ์อุณหภูมิของเตาในการอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลและมีการควบคุมความชื้นของฟางข้าวบาร์เลย์ ในเตาขึ้นไว้อย่างถูกต้อง ความทนทานเชิงกลของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ความหนาแน่น ความยาว และความชื้น สามารถประเมินได้จาก ฟางข้าวและเม็ดเชื้อเพลิง ในส่วนผสมของวัตถุดิบข้าวบาร์เลย์มีการเปลี่ยนแปลงต่อขั้นตอนการบดอัด ปริมาณความชื้นที่ดีที่สุดสำหรับความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าวบาร์เลย์ได้มีการตรวจสอบว่าอยู่ระหว่าง 19-23 เปอร์เซ็นต์ ค่าความทนทานอยู่ที่ 95.5 เปอร์เซ็นต์ การรวมกันของอนุภาคที่ได้มีการปรับปรุงด้วยน้ำและการเติมสนลงไปในขณะที่บด หยาบไม่ได้แสดงผลกระทบเชิงลบในการบดอัดฟางข้าวบาร์เลย์แต่อย่างใด ในระหว่าง 9-190 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสุดท้ายของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลขึ้นอยู่กับความชื้นของฟางข้าวตั้งต้นที่เข้าสู่เตาขึ้น ส่วนใหญ่จะระเหยออกจากเตาขึ้นและหลังจากที่ทิ้งไว้ข้ามคืนให้แห้งตามธรรมชาติ ความชื้นสุดท้ายของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจะอยู่ระหว่าง 6-8 เปอร์เซ็นต์ และเป็นที่ยอมรับทางการค้า สำหรับค่าความชื้นของฟางข้าวอยู่ระหว่าง 9-110 เปอร์เซ็นต์ จะได้ความชื้นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลอยู่ที่ 6-7 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นจากขั้นต้น 15 เปอร์เซ็นต์ จะได้ความชื้นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลอยู่ที่ 7-8 เปอร์เซ็นต์

2.1.4 ในปี 2013 Jaya Shankar Tumuluru [6] ทำการศึกษาวิจัยถึงผลของตัวแปรของ กระบวนการกับความหนาแน่น และความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากซังข้าวโพดที่มีความชื้น สูง ข้อมูลที่ได้ในการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าเป็นไปได้ที่จะบดวัตถุดิบซังข้าวโพดที่มีความชื้นสูง ให้มีขนาด 4.8 มิลลิเมตร ซังข้าวโพดที่บดจะถูกเก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศและทำการวัดสมบัติด้าน เชื้อเพลิง จากนั้นทำการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร และเมื่ออัดสำเร็จ เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเหล่านี้จะถูกนำไปทดสอบทางกายภาพทันที เพื่อป้องกันการสูญเสีย ความชื้น ซึ่งการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงให้มีความคงทนโดยการจัดการของกระบวนการตัวแปร เช่น การให้ความร้อนและใช้รอบความเร็วในการหมุนซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของซังข้าวโพดที่แตกต่างกัน ได้แก่ ค่าความชื้น 28-38 เปอร์เซ็นต์ (ปอนด์) ดาয়েนความเร็วการหมุน (40-60 Hz) และอุณหภูมิที่ให้ความร้อน 30-110 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบพบว่า วัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำกว่า 28 เปอร์เซ็นต์ (ปอนด์) และอุณหภูมิความร้อนสูงกว่า 110 องศาเซลเซียส โดยจะมีการลดปริมาณความชื้นขั้นสุดท้ายของเม็ด ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ (ปอนด์)

2.1.5 ในปี 2011 Bastain Lehmann [7] ทำการศึกษาผลของการเติม miscanthus และ กระบวนการเตรียมที่แตกต่างกัน (ผลกระทบและการบดอัด) ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล

ของเม็ดไม้ *M. x giganteus* ซึ่งได้แก่ ความชื้น ความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิง ความหนาแน่นรวม ความทนทาน ความต้านทานการบีบอัด ผลการทดสอบพบว่า ผลกระทบต่อความหนาแน่นและความแข็งแรงของเม็ดเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นที่ลดลงของวัตถุดิบในการบด และการเติม *miscanthus* เพื่อเพิ่มสารยึดเกาะ โดยคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของเม็ดเชื้อเพลิงจะเปลี่ยนแปลงตามกระบวนการบด และจากขั้นตอนการบดไปสู่การอัดเม็ดที่มีคุณภาพสูงโดยมีสัดส่วนความชื้นของ *miscanthus* 20 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ต้องเพิ่มสารยึดเกาะ เม็ดเหล่านี้จะมีคุณภาพสูงสามารถนำมาเข้าสู่กระบวนการบดอย่างละเอียดเพื่อนำไปสู่วัสดุที่มีเส้นใยสูง วัสดุเส้นใยนี้สามารถทำการบดให้ละเอียดมากขึ้น ด้วยการกดที่แรงเดียวกันและยังมีศักยภาพสูงสำหรับการสร้างพันธะประสานเพื่อเสริมสร้างโครงสร้างเม็ดเชื้อเพลิง

2.1.6 ในปี 2014 Johan Sjostrom [8] ได้ศึกษาการตรวจสอบคุณสมบัติทางความร้อนของไม้อัดเม็ด ในสัดส่วนของอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม มีการวิเคราะห์ความร้อน และวัดค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดเป็น 8 มิลลิเมตร ความหนาแน่นถูกกำหนดโดยการชั่งน้ำหนักวัสดุในกล่องลูกบาศก์ที่มีปริมาตร 8,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เป็น 33, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ (RH) ผลการทดสอบพบว่า การนำความร้อนและความร้อนจำเพาะของไม้อัดเม็ด สามารถวัดได้โดยตรงโดยวิธี TPS และการวัดค่าการนำไฟฟ้าโดยตรงในเม็ดโดยคาดคะเนของกลุ่มที่เป็นไปได้ แต่มีความไม่แน่นอนมาก และไม่สามารถตรวจสอบความร้อนจำเพาะได้ แม้จะต้องใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่และจำนวนครั้งในการวัดมาก ที่อุณหภูมิแตกต่างกันระหว่าง 22 องศาเซลเซียส และ 120 องศาเซลเซียส และความชื้นระหว่าง 2.9 เปอร์เซ็นต์ และ 11.7 เปอร์เซ็นต์ การนำไฟฟ้าและความร้อนจำเพาะสำหรับวัสดุที่มีรูพรุน น้ำเริ่มระเหยที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส การนำความร้อนจะแตกต่างกันไป เนื่องจากการขยายตัวของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

2.1.7 ในปี 2014 L.J.R. Nunes [9] ทำการศึกษาศักยภาพชีวมวลที่มีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเม็ดชีวมวล คือ ปริมาณความร้อน ปริมาณคาร์บอน ค่าความร้อน ความหนาแน่น ซึ่งมีความสำคัญมากโดยการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูง (HHV) ผลการทดสอบพบว่า ของเสียทางการเกษตร (ไม้, ไม้จากไร่ถั่ว, แกลบ, ชี้อ้อย) มีค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกันระหว่าง 12-18 MJ/kg ในขณะที่ไม้อัดเม็ดมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย 20 MJ/kg ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงที่มาจากไม้ ในการวิเคราะห์กระบวนการเผาไหม้โดยใช้เครื่อง fixed bed และ fluidized bed ในการตรวจสอบการเผาไหม้ซึ่งส่วนใหญ่เชื้อเพลิงชีวมวลมีองค์ประกอบจากคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน หลังจากชีวมวลมีการเผาไหม้ อุณหภูมิเปลวไฟจะอยู่ที่ 2,000 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับค่าความร้อน ปริมาณความชื้น และปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผา ในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จะประกอบด้วย ออกซิเจน 21 เปอร์เซ็นต์ และไนโตรเจน 79 เปอร์เซ็นต์

2.1.8 ในปี 1999 ทองทิพย์ พูลเกษม [10] ทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาเปลือกทุเรียนที่เหลือทิ้งมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยวิธีการอัดแท่งแบบร้อนและเย็น เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงและการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัด จากการศึกษาพบว่า เมื่อนำเปลือกทุเรียนที่มีความชื้นร้อยละ 75-80 มาสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยเครื่องสับแล้วตากแดดจนมีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 45 ไปอัดแท่งแบบเย็นโดยไม่ใช้ตัวประสานและใช้ตัวประสานและนำไปตากแดดให้แห้ง เปลือกทุเรียนอัดแท่งดังกล่าวจะให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกัน โดยให้ค่าความร้อน 3,671, 3,699 และ 3,625 kcal/kg น้ำหนักแห้ง สำหรับการอัดแท่งแบบที่ไม่ใช้ตัวประสาน, แบบที่ใช้แป้ง

เปียกและแบบที่ใช้โมลาส เป็นตัวประสาน ตามลำดับ สำหรับการอัดแท่งแบบร้อน ซึ่งจะนำเปลือกทุเรียนที่มีความชื้นร้อยละ 45 ไปตากแดด ให้เหลือความชื้นร้อยละ 10 เสียก่อน แล้วจึงนำมาอัดร้อนพบว่า เปลือกทุเรียนที่อัดแท่งด้วย วิธีนี้ จะให้ความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าการอัดแบบเย็น โดยมีค่าความร้อน 3,841.5 kcal/kg (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งใกล้เคียงกันกับค่าความร้อนที่ได้จากฟืนไม้ยูคาลิปตัส อย่างไรก็ตามการอัดด้วยวิธีอัดร้อนนี้ จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.45 kW-Hr/kg (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งสูงกว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดเย็น (0.080 kW-Hr/kg (น้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ในการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของเปลือกทุเรียนอัดแท่ง ทั้งแบบอัดร้อนและแบบอัดเย็น พบว่าเปลือกทุเรียนอัดแท่งจะมีประสิทธิภาพในการใช้งานของความร้อนสูงกว่าฟืนไม้ยูคาลิปตัส ร้อยละ 6

2.1.9 ในปี 2555 สังเวย เสวกวิหารี [11] ทำการศึกษาวิจัย เรื่องศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเปลือกมังคุดที่เป็นของเหลือทิ้งจากภาคครัวเรือนมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เชื้อเพลิงนี้ใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งแทนการใช้ฟืนและถ่านไม้จากป่าธรรมชาติ โดยมีกาวแปงเปียกเป็นตัวประสาน ผ่านกระบวนการอัดแท่งด้วยเครื่องอัดมือพบว่าเปลือกมังคุดสามารถนำมาเผาได้ถ่านเปลือกมังคุด มีสีดำ น้ำหนักเบา นำมาบดให้ละเอียดจนเป็นผงถ่าน ผสมผงถ่านเปลือกมังคุดกับกาวแปงเปียก คลุกเคล้าให้เข้ากัน นำมาอัดให้เป็นแท่งเชื้อเพลิง ได้แท่งเชื้อเพลิงคงรูปไม่แตกหัก เมื่อนำไปตากแดดจนแห้ง ผลการทดสอบศักยภาพด้านพลังงาน พบว่ามีค่าความร้อนเท่ากับ 5,920 Cal/kg มีอัตราการเผาไหม้ 11.80 g/min. ปริมาณคาร์บอนเสถียรร้อยละ 61.7 ปริมาณเถ้าร้อยละ 7 สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด สามารถใช้งานหุงต้มได้ดี ไม่มีการแตกปะทุ ติดไฟได้ดี ให้มีเขม่า ไม่มีควัน และไม่มีการปนเปื้อนขณะใช้งาน แท่งเชื้อเพลิงนี้จึงเหมาะสำหรับการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในครัวเรือน ชุมชน หรือผลิตเพื่อการค้า และในอุตสาหกรรม ด้วยอรรถประโยชน์เหล่านี้ เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุดมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้แทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟืนและถ่านไม้จากป่าธรรมชาติ ซึ่งเป็นการช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่งด้วย

2.1.10 ในปี 2555 กิตติลดา วรฉันท และชัชวาล อัยยาริทธิ [12] ทำการศึกษาวิจัย เรื่องศักยภาพในการใช้น้ำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล โดยศึกษาศักยภาพและศึกษาความเป็นไปได้ในการนำส่วนผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียจากถังตกตะกอนชั้นต้นของโรงงานผลิตกระดาษซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือเยื่อกระดาษกับเศษวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ คือเปลือกยูคาลิปตัสและเศษฟ่อนไม้ มาผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass pellet) โดยทำการทดลองอัดเม็ด (Pelletization) ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพและด้านเชื้อเพลิงของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล จากผลการศึกษา พบว่าส่วนผสมที่สามารถอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงได้ดีที่สุดคือ กากตะกอนเพียงอย่างเดียว รองลงมาคือส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับเปลือกยูคาลิปตัสสับและเศษฟ่อนไม้ ที่อัตราส่วน 4:1:1 3:1:1 2:1:1 1:2:2 1:2:1 1:1:1 และส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับเศษฟ่อนไม้ ที่อัตราส่วน 5:1 4:1 1:3 1:2 และเมื่อพิจารณาภาพรวมทั้งในด้านความสามารถในการอัดเม็ด คุณสมบัติทางด้านกายภาพและด้านเชื้อเพลิง พบว่าอัตราส่วนเม็ดเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของกากตะกอน เปลือกยูคาลิปตัสและเศษฟ่อนไม้ ที่อัตราส่วน 1:2:1 ถือว่าดีที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่นๆในการศึกษาครั้งนี้

2.1.11 ในปี 2556 วรกร อธิรทอง, นิรมล ด้วงฟู และภิญญ ชุมมณี [13] ทำการศึกษาวิจัย เรื่องการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากฟางข้าว และใบอ้อย โดยศึกษาชีวมวลเหลือทิ้งจาก

เกษตรกรรม ได้แก่ ฟางข้าวและใบอ้อย ซึ่งสามารถใช้เป็นพลังงานทางเลือกได้ การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากฟางข้าวและใบอ้อยนั้น จำเป็นต้องหาตัวแปรที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิตก่อน งานวิจัยนี้ จึงศึกษาอิทธิพลของการเติมน้ำและน้ำมันพืช ต่อคุณสมบัติ ความหนาแน่น ความทนทานทางกล และค่าความร้อน ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากฟางข้าวและใบอ้อย ผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดทั้งสองชนิดแปรผกผันกับปริมาณน้ำมันพืชที่เติมเข้าไปในกระบวนการผลิต ปริมาณการเติมน้ำมันพืช 0.83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากฟางข้าวมีความหนาแน่น 493 Kg/m^3 ความทนทานทางกล 99.30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากใบอ้อยมีความหนาแน่น 579 Kg/m^3 ความทนทานทางกล 99.47 เปอร์เซ็นต์ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากฟางข้าวมีค่า 13.97 และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากใบอ้อย 15.93 MJ/kg

2.2 นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ความหนาแน่น [14]

ความหนาแน่น (Density) คือ การวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร วัตถุที่มีความหนาแน่นมาก มวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้น วัตถุที่มีความหนาแน่นสูงจะมีปริมาตรน้อยกว่าวัตถุความหนาแน่นต่ำที่มีมวลเท่ากัน หน่วยเอสไอของความหนาแน่น คือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

2.2.2 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้น (Moisture Content) คือ ปริมาณน้ำที่คงเหลืออยู่หลังจากที่ตากแห้ง ชีวมวล ความชื้นของชีวมวลมีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง หากชีวมวลมีความชื้นมากจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ ทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำลง

2.2.3 เถ้า

เถ้า (Ash) คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาปภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วย ซิลิกาแคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ หรือเป็นส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้นั่นเอง ดังนั้นหากชีวมวลมีเถ้าปริมาณมากจะเป็นปัญหาในการเผาไหม้และเพิ่มความยุ่งยากในการกำจัดเถ้าที่เกิดขึ้น

2.2.4 ค่าความร้อน

ค่าความร้อน (Calorific Value or Heating Value) คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อชีวมวลถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ หรือเรียกว่า ความร้อนของการเผาไหม้ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำ มีหน่วยเป็น กิโลจูล (kJ) หรือ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (kcal/kg)

2.3 ชีวมวล [15]

ชีวมวล (Biomass) หมายถึง อินทรีย์สารที่ได้มาจากพืชหรือสัตว์ โดยรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตร มูลสัตว์ และขยะชุมชน เป็นต้น แต่ไม่ได้มีความหมายรวมถึงอินทรีย์สารที่เกิดจากการทับถมกันเป็นเวลานานหลายร้อยล้านปี และมีการเปลี่ยนรูปไปโดยกระบวนการทางธรณีวิทยาเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติ เป็นต้น ชีวมวลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานอาจเรียกเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass fuel) และสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้เนื่องจากโมเลกุลของอินทรีย์สารที่เป็นองค์ประกอบของชีวมวลเกิดการแตกตัว และเปลี่ยนรูปโดยอาศัยกระบวนการต่างๆในการเปลี่ยนรูปชีวมวลเป็นพลังงานชีวมวลที่นำมาใช้ผลิตพลังงานมีหลากหลายรูปแบบทั้งที่เป็นชีวมวลที่ได้จากพืชและชีวมวลที่ได้จากสัตว์

2.3.1 ประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาใช้ในการผลิตพลังงานสามารถจำแนกประเภทได้หลายวิธี ทั้งนี้ ขึ้นกับวิธีที่ใช้ในการพิจารณาจัดแบ่ง การจัดประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถจัดแบ่งโดยพิจารณาตามเกณฑ์ต่างๆเป็น 3 วิธี ได้แก่ จัดแบ่งตามแหล่งกำเนิดของชีวมวล จัดแบ่งตามการได้มาของชีวมวล และจัดแบ่งตามองค์ประกอบหลักที่อยู่ในชีวมวล การจัดประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวลที่จำแนกตามการจัดแบ่งทั้ง 3 วิธี มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวลที่จัดแบ่งตามแหล่งกำเนิดของชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวลที่จัดแบ่งตามแหล่งกำเนิด สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือเชื้อเพลิงชีวมวลที่มาจากพืชและเชื้อเพลิงชีวมวลที่มาจากสัตว์

● เชื้อเพลิงชีวมวลที่มาจากพืช

เชื้อเพลิงชีวมวลที่มาจากพืชสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ 2 กลุ่ม คือ ชีวมวลที่อยู่ในกลุ่มไม้ (Woody biomass) ได้แก่ ไม้ชนิดต่างๆรวมทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง ไม้ที่มีรอบอายุในการตัดสั้น ปลูกลงเพื่อการผลิตพลังงาน และเศษไม้ที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมไม้ เป็นต้น และชีวมวลที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มไม้ (Non woody biomass) ได้แก่ พืชน้ำมัน วัชพืชบก และวัชพืชน้ำ วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ได้แก่ แกลบ ชังข้าวโพด กะลามะพร้าว และของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ ชานอ้อย และน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น

● เชื้อเพลิงชีวมวลที่มาจากสัตว์

เชื้อเพลิงชีวมวลที่มาจากสัตว์ หมายถึง ของเสียที่ได้จากสัตว์ ได้แก่ มูลสัตว์ต่างๆ เช่น มูลวัว มูลควาย มูลเป็ด มูลไก่ มูลหมู และมูลช้าง เป็นต้น เชื้อเพลิงชีวมวลที่จัดแบ่งตามจุดกำเนิดชีวมวลทั้งที่มาจากพืชและสัตว์ ดังรายละเอียดข้างต้นสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เชื้อเพลิงชีวมวลที่จัดแบ่งตามแหล่งกำเนิดของชีวมวล [15]

แหล่งกำเนิดของชีวมวล	ประเภทของชีวมวล
เชื้อเพลิงชีวมวลที่มาจากพืช	ชีวมวลที่อยู่ในกลุ่มไม้ - ไม้เนื้ออ่อน - ไม้เนื้อแข็ง - ไม้ที่มีรอบอายุในการตัดสั้น - ของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมไม้
	ชีวมวลที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มไม้ - พืชน้ำมัน - วัชพืชบก/น้ำ
	วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร - วัสดุเหลือทิ้งจากการทำเกษตรกรรม - วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร
เชื้อเพลิงชีวมวลที่มาจากสัตว์	ของเสียที่ได้จากสัตว์ - มูลสัตว์

2) ประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวลที่จัดแบ่งตามการได้มาของชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวลที่จัดแบ่งตามการได้มาของชีวมวลสามารถจัดแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากชีวมวลเดิมโดยไม่มีการเปลี่ยนรูปซึ่งอาจเรียกได้เป็น เชื้อเพลิงชีวมวล ปฐมภูมิ (Primary biomass) และเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีการเปลี่ยนรูปไปจากชีวมวลเดิมซึ่งอาจเรียกได้เป็น เชื้อเพลิงชีวมวลทุติยภูมิ (Secondary biomass)

เชื้อเพลิงชีวมวลปฐมภูมิ ได้แก่ ชีวมวลที่กำเนิดบนบกและชีวมวลที่กำเนิดในน้ำ ชีวมวลที่กำเนิดบนบก ได้แก่ ไม้ชนิดต่างๆ พืชที่ปลูกเพื่อผลิตพลังงาน พืชที่ปลูกและใช้การเก็บเกี่ยวตามฤดูกาล หญ้าและวัชพืชต่างๆ และชีวมวลที่กำเนิดในน้ำ ได้แก่ สาหร่าย พืชน้ำ และวัชพืชน้ำ

เชื้อเพลิงชีวมวลทุติยภูมิ ได้แก่ ขยะชุมชน ของเสียและของเหลือทิ้งจากการเกษตร ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ขยะ และของเหลือทิ้งจากกระบวนการต่างๆ

เชื้อเพลิงชีวมวลที่จัดแบ่งประเภทตามการได้มาของชีวมวลสรุปได้ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เชื้อเพลิงชีวมวลที่จัดแบ่งประเภทตามการได้มาของชีวมวล [15]

ชีวมวล	แหล่งเชื้อเพลิงชีวมวล	เชื้อเพลิงชีวมวล
ชีวมวลปฐมภูมิ	ชีวมวลที่กำเนิดบนบก	- ไม้ชนิดต่างๆ - พืชที่ปลูกเพื่อผลิตพลังงาน - พืชที่ปลูกและใช้การเก็บเกี่ยว - หญ้าและวัชพืชต่างๆ
	ชีวมวลที่กำเนิดในน้ำ	- สาหร่าย - พืชน้ำ - วัชพืชน้ำ
ชีวมวลทุติยภูมิ	ขยะชุมชน	- ขยะชุมชนที่เป็นของแข็ง - น้ำเสีย - แก๊สจากการฝังกลบขยะ - มูลสัตว์
	ของเสียและของเหลือทิ้งทางการเกษตร	- วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
	เศษวัสดุจากป่าไม้	- เปลือกไม้ - ใบไม้ - ขี้เลื่อย
	ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	- ไขมัน

3) ประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวลที่จัดแบ่งตามองค์ประกอบหลักของชีวมวล

จากการจัดประเภทของชีวมวลตามจุดกำเนิดและตามการได้มาของชีวมวล ถ้าพิจารณาตามองค์ประกอบหลักของเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งได้แก่ เซลลูโลส ลิกนิน และคาร์โบไฮเดรต ร่วมกับการพิจารณาจัดแบ่งด้วยวิธีการตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น อาจพิจารณาจัดแบ่งเชื้อเพลิงชีวมวลตามองค์ประกอบหลักของ ชีวมวลได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ เชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นพืชที่มีลิกนิน และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก เชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นพืชที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก และ เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีการเปลี่ยนรูปไปจากชีวมวลดั้งเดิม ในระหว่างการผลิตหรือใช้ชีวมวล ซึ่งอาจเรียกได้เป็นกลุ่มของขยะ หรือของเหลือทิ้งจากชีวมวล

- เชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นพืชที่มี ลิกนิน และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ดังตารางที่ 2.3 หรืออาจเรียกชีวมวลประเภทนี้ว่า ชีวมวลที่มีลิกนินและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก (Ligno-cellulosic biomass) ลิกนินและเซลลูโลส คือ ส่วนของเส้นใยพืช (Fiber) ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ง่ายด้วยระบบการย่อยอาหารของมนุษย์เช่นเดียวกับการย่อยคาร์โบไฮเดรตหรือแป้ง ระบบการย่อยอาหารของมนุษย์สามารถย่อยข้าว ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตได้แต่ไม่สามารถย่อย แกลบ (Rice husk) หรือ ฟางข้าว (Rice straw) ได้ เนื่องจากแกลบหรือฟางข้าวมีลิกนินและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นพืชที่มีลิกนินและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักจึงไม่อยู่ในวัฏจักรอาหารของมนุษย์ พืชในกลุ่มนี้จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงาน พืชที่มีลิกนินและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ พืชที่มีลำต้นอ่อน (Herbaceous) และพืชที่มีลำต้นแข็งแรงหรือเรียกว่า ไม้ยืนต้น (Non-herbaceous) พืชที่มีลำต้นอ่อนเป็นพืชที่มีการเพาะปลูกตามฤดูกาล ซึ่งเมื่อหลังฤดูกาลเก็บเกี่ยว ใบและลำต้นของพืชเหล่านี้จะตาย พืชประเภทนี้ ได้แก่ ต้นข้าว ตันอ้อย และต้นมันสำปะหลัง เป็นต้นพืชที่มีลำต้นแข็งแรงหรือเรียกว่า ไม้ยืนต้น เป็นพืชที่ไม่ได้มีการเพาะปลูกตามฤดูกาล พืชประเภทนี้ได้แก่ ไม้ชนิดต่างๆ ซึ่งรวมถึงไม้ยืนต้น ไม้พุ่ม และไม้สน เป็นต้น
- เชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นพืชที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก พืชในกลุ่มนี้ได้แก่ พืชอาหาร ผัก และผลไม้ ส่วนลำต้นของพืชประเภทนี้มีส่วนประกอบเป็น ลิกนินและเซลลูโลส แต่ผลจะมีองค์ประกอบเป็นคาร์โบไฮเดรต แป้ง และน้ำตาล ซึ่งพืชบางชนิดอาจมีไขมันเป็นองค์ประกอบด้วย พืชประเภทนี้ได้แก่ อ้อย เมล็ดข้าวโพด เมล็ดข้าวฟ่าง ผลมะพร้าว และเมล็ดดอกทานตะวัน เป็นต้น เนื่องจากพืชที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักสามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่าพืชที่มีลิกนินและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นจึงนิยมนำพืชที่มีคาร์โบไฮเดรต แป้ง และน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงพลังงานในรูปของเชื้อเพลิงเหลว โดยผ่านกระบวนการหมักเพื่อผลิตแอลกอฮอล์

ตารางที่ 2.3 สัดส่วนของลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลสในต้นไม้บางชนิด [15]

พืช	เซลลูโลส (เปอร์เซ็นต์)	เฮมิเซลลูโลส (เปอร์เซ็นต์)	ลิกนิน (เปอร์เซ็นต์)
ไม้ผลัดใบ	18-25	40-44	15-35
ต้นสน	25-35	40-44	20-32
ต้นไทร	25	50	19
ไม้เนื้อแข็ง	40-55	24-40	18-25
ไม้เนื้ออ่อน	45-50	25-35	25-35
เปลือกถั่ว	25-30	25-30	30-40
ซังข้าวโพด	45	35	15
หญ้า	25-40	35-50	10-30
กระต๊าก	85-99	0	0-15
ฟางข้าว	30	50	15
ขยะประเภทต่างๆ	60	20	20
ใบไม้	15-20	80-85	0
ใยแมงมุมฝ้าย	80-95	5-20	0
กระดาษหนังสือพิมพ์	40-55	25-40	18-30
ของเสียทางเคมีจากการผลิตกระดาษ	60-70	10-20	5-10
ของเสียจากสุกร	6	28	NA
มูลวัว ควาย	1.6-4.7	1.4-3.3	2.7-5.7
หญ้าคอสทอล เบอมีวดา	25	35.7	6.4
หญ้าสวิช	45	31.4	12

2.3.2 ศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่ประชากรมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลผลิตทางการเกษตรนอกจากจะนำไปใช้เป็นอาหาร หรือวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ แล้ว ยังคงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่นับเป็นผลพลอยได้ที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานมีหลายประเภท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของเกษตรกรรมแต่ละประเภท เช่น วัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากการทำนาปลูกข้าว ได้แก่ ฟางข้าวและแกลบ วัสดุเหลือทิ้งจากการทำไร่อ้อย และอุตสาหกรรมน้ำตาล ได้แก่ ชานอ้อย ยอดอ้อย และใบอ้อย วัสดุเหลือทิ้งทางการทำอุตสาหกรรมจากมะพร้าว ได้แก่ กะลามะพร้าว ใบมะพร้าว และเปลือกมะพร้าว เป็นต้น ดังนั้นประเทศไทยจึงมีศักยภาพสูงในการทำชีวมวลมาผลิตพลังงาน

การประเมินศักยภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากผลผลิตทางการเกษตรแต่ละประเภทสามารถประเมินได้เมื่อทราบปริมาณผลผลิตทางการเกษตรที่ผลิตได้ทั้งหมดในรอบปี และสัดส่วนของวัสดุเหลือทิ้งของชีวมวลแต่ละประเภท

ศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทยที่สำรวจและประเมินโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานในปี พ.ศ. 2552 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทยที่สำรวจและประเมินปี พ.ศ. 2552 [15]

ชนิด	ผลผลิต (ตัน)	ชีวมวล	ปริมาณชีวมวล เหลือใช้ (ตัน)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ศักยภาพ พลังงาน (TJ)
อ้อย	66,816,446	ชานอ้อย	4,190,794.31	14.40	60,347.44
		ยอดและใบ	13,439,727.21	17.39	233,716.86
ข้าว	31,508,364	แกลบ	3,510,598.90	14.27	50,096.25
		ฟางข้าว	25,646,547.96	10.24	262,620.65
ถั่วเหลือง	190,480	ต้น/เปลือก/ใบ	170,383.17	19.44	3,312.35
ข้าวโพด	4,616,119	ซัง	584,539.15	18.04	10,545.09
		ลำต้น	2,758,777.36	18.04	49,768.34
ปาล์มน้ำมัน	8,162,379	ทะลายเปล่า	1,024,868.34	17.86	18,304.15
		ใย	162,970.06	17.62	2,871.53
		กะลา	38,959.04	18.46	719.18
		ก้าน	2,203,740	9.83	21,824.24
มันสำปะหลัง	30,088,025	ลำต้น	2,439,236.19	18.42	44,930.73
		เหง้า	1,834,466.88	18.42	33,790.88
มะพร้าว	1,380,980	ก้าน	628,990.82	15.40	9,686.46
		กาบ	464,250.95	16.23	7,534.79
		กะลา	128,936.58	17.93	2,311.83
ไม้ยางพารา	3,090,280	กิ่ง/ก้าน	312,118.28	14.98	4,675.53
รวม	145,853,073		59,539,905.20		504,339.40

จากตารางที่ 2.4 สามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดต่างๆที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตพลังงานในประเทศไทย ประกอบด้วย ชีวมวลที่อยู่ในกลุ่มไม้ และชีวมวลที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มไม้ โดยชีวมวลที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มไม้ ได้แก่ ชีวมวลที่ได้มาจากของเหลือทิ้งจากการเกษตร และอุตสาหกรรม การเกษตร

2.4 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นวัสดุที่เหลือจากการแปรรูปพืชผลทางการเกษตรทั้งทางด้าน

อุตสาหกรรมไม้ และอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งจะมีบางส่วนของพืชที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ จึงเลือกวัสดุดังต่อไปนี้มาใช้ในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

2.4.1 ชังข้าวโพด [16]

ชังข้าวโพดเป็นเศษเหลือทิ้งจากการเอาเมล็ดข้าวโพดออกแล้ว มีประโยชน์หลายอย่าง เช่น นำไปเป็นวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์ เป็นเชื้อเพลิงใช้ทำปุ๋ยหมัก เป็นต้น บางพื้นที่เกษตรกรมักปล่อยทิ้งไว้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังรูป 2.1 ซึ่งการปล่อยชังข้าวโพดทิ้งให้ย่อยสลายไปเองโดยจุลินทรีย์จะใช้เวลาานาน และเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับคืนสู่บรรยากาศ การเผาจึงเป็นวิธีกำจัดชังข้าวโพดอย่างไม่มีทางเลือก เพราะการเผาชังข้าวโพดเป็นวิธีการกำจัดที่เร็วแต่เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ชั้นบรรยากาศ ต่อมาจึงมีการทำเป็นถ่านอัดแท่งจากชังข้าวโพด เนื่องจากชังข้าวโพดมีค่าความร้อนสูงเมื่อเทียบกับชีวมวลอื่นๆ แต่ก็อยู่ในวงจำกัด



รูปที่ 2.1 ชังข้าวโพด

2.4.2 เปลือกถั่วเหลือง [17]

เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเมล็ดถั่วเหลือง ซึ่งได้มีการแยกเอาส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองออกจากเมล็ดถั่วเหลืองดังรูปที่ 2.2 ในแต่ละปีจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่เหลือจากการผลิตเป็นจำนวนมาก และในการผลิตถั่วเหลือง 100 กิโลกรัม จะเหลือเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองประมาณ 8 กิโลกรัม ซึ่งกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเมล็ดถั่วเหลืองในต่างประเทศ ได้มีการแยกเอาเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองออกจากกากถั่วเหลืองเพื่อให้โปรตีนในกากถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นจาก 49.9 เปอร์เซ็นต์ เป็น 56.7 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ราคาของกากถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน เนื่องจากมีโปรตีนสูงขึ้น อีกทั้งสัตว์กระเพาะเดียวสามารถใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลืองได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากสัตว์กระเพาะเดียวไม่สามารถย่อยองค์ประกอบของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่มีส่วนของเยื่อใยสูง

ในปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานสกัดน้ำมันถั่วเหลืองจำนวน 11 ราย มีกำลังการผลิตเมล็ดถั่วเหลืองรวมปีละ 2.972 ล้านตัน (สกัดน้ำมันถั่วเหลือง 0.373 ล้านตันและผลิตถั่วเหลืองนึ่ง 0.599 ล้านตัน) ดังนั้นจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองจากกระบวนการผลิตปริมาณ 237,760,000 กิโลกรัม/ปี



รูปที่ 2.2 เปลือกถั่วเหลือง

2.4.3 ฟางข้าว [18]

ฟางข้าว คือ ผลผลิตที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวข้าว จากสถิติผลผลิตการเกษตรประเมินได้ว่าฟางข้าวที่เกิดขึ้นแต่ละปีมีถึง 10 ล้านตัน มีค่าความร้อนเทียบเท่าน้ำมันเตา 3,900 ล้านลิตร ฟางข้าวมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น นำมาเพาะเห็ด เป็นอาหารสัตว์ และป้อนฟางนกที่ จ.ชัยนาท อย่างไรก็ตาม ปริมาณที่นำมาใช้ประโยชน์คาดว่าจะไม่ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือถูกปล่อยทิ้งไว้ในท้องนาเพื่อให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ แต่ในกรณีที่ต้องการปลูกข้าวนาปลังทันที ฟางข้าวจะย่อยสลายไม่ทัน ชาวนาจึงนิยมเผาฟางข้าวเพื่อที่จะทำการเผาเตรียมดินได้ง่ายขึ้น ซึ่งทางหน่วยงานราชการได้ทำการแนะนำให้ใช้สารเร่งการย่อยสลายฟางข้าวเพื่อเป็นปุ๋ยหรือการใช้รถไถที่ใหญ่ขึ้นแทน แต่ยังไม่ประสบผลสำเร็จนัก เนื่องจากเป็นภาระต่อชาวนา ทำให้ต้นทุนการปลูกข้าวสูงขึ้น การนำฟางข้าวมาเป็นเชื้อเพลิงจึงเป็นทางออกหนึ่งที่ทำให้ชาวนามีรายได้เพิ่มขึ้น และเป็นการลดปัญหาที่เกิดจากการเผา

ปัจจุบันการรวบรวมและขนส่งฟางข้าวไม่ใช่เป็นเรื่องยากเพราะมีเครื่องมือเครื่องจักรทั้งแบบเคลื่อนที่และแบบอยู่กับที่ ที่สามารถอัดฟางข้าวเป็นก้อนสี่เหลี่ยมหนักประมาณ 17-20 กิโลกรัม



รูปที่ 2.3 ฟางข้าว

2.4.4 ชี้เลื่อย [18]

ชี้เลื่อยเป็นผลพลอยได้จากการเลื่อยไม้ชนิดต่างๆ ทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง สามารถ

หาซื้อได้ง่าย ราคาถูก ในพื้นที่ทั่วไปที่มีโรงเลื่อยไม้หรือโรงงานทำไม้แปรรูปเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ขี้เลื่อยอาจนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น นำไปผลิตเป็นไม้อัดแปรรูป ใช้เป็นตัวขนวนกันความร้อนในโรงงานทำน้ำแข็งก้อน ใช้ในการเพาะเลี้ยงเห็ดฟางหรือใช้ทำปุ๋ย



รูปที่ 2.4 ขี้เลื่อย

2.5 กระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

การผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นจะมีกระบวนการผลิตหลักๆ 3 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการบดย่อยชีวมวล การอบไล่ความชื้น และการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

2.5.1 การบดย่อยชีวมวล [19]

การบดย่อย หมายถึง การลดขนาดโดยการทำให้ชีวมวลที่ต้องการมีขนาดเล็กลง ซึ่งรวมไปถึงการตัด การบด และการสี การลดขนาดโดยเครื่องจักรกลจะไม่ทำให้คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุที่ต้องการเปลี่ยนแปลงไป ส่วนความสม่ำเสมอและรูปร่างของวัสดุหลังจากการลดขนาดจะไม่คำนึงถึงมากนัก การลดขนาด คือการที่อนุภาคของของแข็ง ถูกตัด หรือถูกทำให้แตกเป็นอนุภาคที่เล็กลง โดยเกิดจากการใช้แรงการบดอัดหรือใช้แรงกระแทก โดยสมบัติทางเคมีของสารไม่มีการเปลี่ยนแปลงไป ทั้งในแต่ละอนุภาคหรือแต่ละหน่วยที่ได้จากการบดควรมีความสม่ำเสมอของขนาดหรือรูปร่าง การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความละเอียด ขนาดแบ่ง หรืออนุภาคเล็กๆ เรียกว่าการบดละเอียด (Comminution)

2.5.2 การอบไล่ความชื้น [20]

การอบแห้ง เริ่มด้วยการอุ่นเชื้อเพลิงให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก ทำให้น้ำที่อยู่นอกเซลล์ของเชื้อเพลิงมีพลังงานพอสำหรับผลักดันออกมาที่ผิวของเชื้อเพลิง ที่ผิวน้ำจะกลายเป็นไอ เมื่อน้ำนอกเซลล์หมด ความร้อนจะผลักดันให้น้ำที่อยู่ภายในออกมาที่ผิวและระเหยออกไป ซึ่งจะยากกว่าขั้นตอนแรก อัตราการระเหยในขั้นตอนนี้จึงลดลงซึ่งเป็นช่วงที่ใกล้จะแห้ง อุณหภูมิผิวน้ำขณะนี้ยังใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก

ในช่วงที่น้ำที่นอกเซลล์แห้งแต่น้ำภายในเซลล์ยังไม่ออกมา ผิวจะแห้งและมีอุณหภูมิสูงจนเกิดเพลิงไหม้ได้ แม้ภายในยังมีน้ำอยู่ แต่ช่วงที่น้ำภายในออกมาที่ผิวแล้วอุณหภูมิที่ผิวจะไม่สูงขึ้น

เมื่อเชื้อเพลิงแห่งความร้อนก็จะทำให้อุณหภูมิเชื้อเพลิงและสิ่งแวดล้อมสูงขึ้น เพราะไม่มีน้ำมาเปลี่ยนเป็นความร้อนแฝง

2.5.3 การอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล [21]

การอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นกระบวนการในการเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้เป็นเม็ดๆ โดยใช้เครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล โดยวิธีการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงสามารถทำได้ 2 วิธี

1) การอัดร้อนที่ความดันสูง

กระบวนการอัดร้อนที่ความดันสูงเป็นที่นิยมใช้แพร่หลายและเป็นเทคนิคที่ใช้ได้กับวัสดุหลายชนิด ปัจจัยสำคัญในกระบวนการบีบอัดชีวมวล คือ ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบที่ใช้ ความชื้นมีส่วนช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ถ้าปริมาณความชื้นต่ำเกินไป กระบวนการบีบอัด จะทำได้ยาก เนื่องจากไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสม ถ้าหากมีปริมาณความชื้นที่มากเกินไปจะทำให้เกิดไอน้ำขึ้นระหว่างกระบวนการ และส่งผลให้เกิดการปะทุระเบิดดันออกมาได้ ปริมาณความชื้นสูงสุดที่ให้มีได้จะขึ้นอยู่กับกระบวนการซึ่งมีค่าระหว่าง 10-20 เปอร์เซ็นต์ ถ้าจะให้ดีควรอยู่ระหว่าง 8-12 เปอร์เซ็นต์ เครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถใช้ได้กับวัตถุดิบที่มีขนาดและปริมาณความชื้นระหว่างช่วงค่าหนึ่งเท่านั้น ขนาดและปริมาณความชื้นของวัสดุชีวมวลที่ได้ตามธรรมชาติปกติจะมีค่าสูงเกินไปสำหรับกระบวนการ ดังนั้นการทำให้แห้งและการลดขนาดของวัสดุจึงเป็นขั้นตอนสำคัญในการเตรียมวัสดุก่อนเริ่มกระบวนการ

ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มความหนาแน่น มีปัจจัยหลากหลายที่ต้องพิจารณาในการเพิ่มความหนาแน่นของชีวมวล เช่น คุณสมบัติและส่วนประกอบของชีวมวลที่ใช้ สภาพในการเตรียมชีวมวล สภาพในกระบวนการอัด และชนิดของเครื่องมือที่ใช้ ปัจจัยที่สำคัญคือ

- ผลของปริมาณความชื้น ปริมาณความชื้นในวัตถุดิบชีวมวลเป็นปัจจัยในการเพิ่มความหนาแน่น เนื่องด้วยความชื้นช่วยในการถ่ายเทความร้อน หากมีปริมาณความชื้นต่ำเกินไปก็จะทำให้การเพิ่มความหนาแน่นทำได้ยาก เพราะการถ่ายเทความร้อนไม่ดี นอกจากนี้ความชื้นมีส่วนช่วยในการสร้างพันธะระหว่างเนื้อชีวมวลขณะอัด แต่หากมีความชื้นสูงเกินไป จะทำให้เกิดไอน้ำและการระเบิดขึ้นได้ระหว่างการอัดแน่น ความชื้นสูงสุดที่ให้มีได้ไม่ควรเกิน 10-20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงความชื้นที่เหมาะสมในการทำงานควรอยู่ที่ประมาณ 8-12 เปอร์เซ็นต์
- ผลของขนาดชีวมวล ปกติแล้วขนาดชีวมวลยิ่งเล็กลงก็จะยิ่งง่ายต่อการอัดเม็ดและเพิ่มความหนาแน่นให้มากขึ้นได้ง่าย ขนาดชีวมวลที่เล็กจะมีพื้นที่สัมผัสสำหรับการสร้างพันธะเกาะยึดได้มาก และทำให้กระบวนการอัดทำได้เร็ว

2) การบีบอัดแบบไม่ใช้ตัวประสาน

การอัดเม็ดเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิและความดันต่ำโดยไม่ใช้ตัวประสานจะทำกับชีวมวลที่สลายตัวแล้ว (Decayed biomass) เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่กองทิ้งไว้ข้ามปี กองกากอ้อย กองเปลือกเมล็ดต่างๆ เป็นต้น ชีวมวลสดสามารถอัดเม็ดได้โดยวิธีนี้ หากผ่านกระบวนการหมักย่อยมาก่อนระดับหนึ่ง

- การอัดเปียก ประกอบไปด้วยขั้นตอน คือ อัดผ่านช่องลดขนาดให้ได้เม็ดเชื้อเพลิงอัดแน่นและมีความชื้นสูง แล้วเข้าสู่การทำให้แห้ง ให้อุณหภูมิชีวมวลเกิดการย่อยสลายโครงสร้างและส่วนประกอบของวัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ฉะนั้นในการบีบอัดและขึ้นรูปเชื้อเพลิงประเภทนี้จะทำให้สะดวกและใช้พลังงานต่ำ เชื้อเพลิง

จากกระบวนการนี้จะจุดติดไฟง่ายและเผาไหม้ได้ดี พลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในกระบวนการจะใช้ในขั้นตอนการทำแห้ง

- การอัดแห้ง สำหรับกระบวนการนี้ ชีวมวลที่ย่อยสลายแล้วจะถูกรีดน้ำและทำให้แห้งก่อน แล้วจึงนำกากที่แห้งแล้วเหล่านี้ไปบีบอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด

2.6 สมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล [14]

เชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดมีสมบัติและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน การนำชีวมวลชนิดใดมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานจะต้องมีสมบัติที่เหมาะสมกับกระบวนการ และลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตพลังงาน สมบัติของพลังงานที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนรูปชีวมวลเป็นพลังงาน จะมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบและสมบัติต่างๆของชีวมวลเป็นสำคัญ ดังนั้นการจะนำเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดใดไปใช้งานจำเป็นต้องทราบสมบัติของชีวมวลในด้านต่างๆที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั้งสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) และสมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

2.6.1 สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล

สมบัติและลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาประกอบในการนำชีวมวลชนิดนั้นมาใช้ในการผลิตพลังงาน โดยเฉพาะการเปลี่ยนรูปชีวมวลโดยใช้กระบวนการทางเคมีความร้อน สมบัติและลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น และขนาดของชีวมวล เป็นต้น สมบัติทางกายภาพเป็นสมบัติเบื้องต้นที่จะต้องนำมาพิจารณาประกอบในการคัดเลือกชีวมวลชนิดนั้นไปใช้งาน เนื่องจากสมบัติและลักษณะทางกายภาพของชีวมวลจะมีผลต่อขั้นตอนและกระบวนการในการนำชีวมวลนั้นไปใช้งาน เช่น การขนส่งชีวมวล การเตรียมชีวมวล และการนำชีวมวลไปใช้งาน เช่น กรณีที่เชื้อเพลิงชีวมวลมีความหนาแน่นต่ำ จะทำให้สิ้นเปลืองในการขนส่ง ซึ่งอาจจะต้องมีการเตรียมชีวมวลก่อนที่จะขนส่งเพื่อนำไปใช้งาน โดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด สำหรับชีวมวลที่มีความชื้นสูงจะไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ดังนั้นต้องนำชีวมวลนั้นมาผ่านกระบวนการลดความชื้นก่อนที่จะนำไปใช้งาน เป็นต้น

1) ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวล [15]

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นสมบัติที่ส่งผลโดยตรงต่อปฏิกิริยาการเกิดแก๊สเชื้อเพลิงในด้านต่างๆ เช่น อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตา เชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นสูงจะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่าเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า จากรายงานผลการวิจัยการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงภายในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้น โดยใช้ชีวมวลต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ขึ้นไม้ยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว และซังข้าวโพด พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตา (Start time) ขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยชีวมวลที่มีค่าความหนาแน่นสูงจะใช้ระยะเวลาในการจุดเตานานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวลหรือเชื้อเพลิงแข็ง พิจารณาได้เป็น 3 ลักษณะ คือ ความหนาแน่นที่แท้จริง (True density) ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) และความหนาแน่นรวม (Bulk density)

ความหนาแน่นที่แท้จริง คือ ความหนาแน่นที่คิดจากมวลทั้งก้อนของชีวมวลเทียบกับปริมาตรของชีวมวล สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของมวลต่อปริมาตรของชีวมวลทั้งก้อน ความหนาแน่นที่แท้จริงสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ที่แสดงในสมการที่ 2.1

$$\text{ความหนาแน่นที่แท้จริง} = \frac{\text{มวลทั้งก้อนของชีวมวล}}{\text{ปริมาณทั้งก้อน}} \quad (2.1)$$

ความหนาแน่นปรากฏ คือ ความหนาแน่นที่คิดจากมวลของเนื้อชีวมวลเทียบกับ ปริมาตรทั้งหมดของชีวมวลรวมทั้งปริมาตรของรูพรุนด้วย สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของมวล ต่อปริมาตรภายนอกของเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งรวมทั้งปริมาตรรูพรุน ความหนาแน่นปรากฏสามารถหา ได้จากความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$\text{ความหนาแน่นปรากฏ} = \frac{\text{มวลทั้งก้อนของชีวมวล}}{\text{ปริมาตรของชีวมวลที่ปรากฏ} + \text{ปริมาตรของรูพรุน}} \quad (2.2)$$

ความหนาแน่นรวม คือ ความหนาแน่นที่คิดจากมวลของเนื้อชีวมวลต่อปริมาตรของ ภาชนะที่บรรจุชีวมวลนั้น ค่าความหนาแน่นรวมของชีวมวลมีความสัมพันธ์และส่งผลต่อปฏิกิริยาการ ผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และคุณภาพของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ เนื่องจากความหนาแน่นรวมจะมี ความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เชื้อเพลิงใช้ในการทำปฏิกิริยาภายในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งถ้าเผา เชื้อเพลิงภายในเตานานมากเกินไปจะทำให้เกิดเถ้าหลอม และถ้าระยะเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ภายในเตา สั้นเกินไปจะทำให้คาร์บอนที่ไม่เผาไหม้เกิดขึ้นมาก ความหนาแน่นรวมสามารถคำนวณได้จาก ความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 2.3

$$\text{Bulk density (g / cm}^3\text{)} = \frac{(\text{weigh of box and sample}) - (\text{weigh of box})}{(\text{volume of box})} \quad (2.3)$$

ค่าความหนาแน่นรวมมีค่าขึ้นกับประเภทของชีวมวล สำหรับชีวมวลที่มีลักษณะเป็น เมล็ด หรือเป็นเส้น เช่น แกลบหรือฟางข้าว จะมีค่าความหนาแน่นรวมต่ำโดยมีค่าประมาณ 150-200 Kg/m³ ชีวมวลที่เป็นชิ้น เช่น ไม้สับ ความหนาแน่นรวมจะมีค่าประมาณ 600-900 Kg/m³

2) ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล [14]

ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลส่งผลต่อปฏิกิริยาการเกิดแก๊สของเชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก ชีวมวลที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงควรมีค่าความชื้นไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นในเชื้อเพลิงอาจพิจารณาจากชีวมวลตามที่ได้จากแหล่ง (As received) หรือชีวมวลที่ได้ผ่าน กระบวนการเตรียมเชื้อเพลิงเพื่อลดความชื้นมาแล้ว ความชื้นที่อยู่ในเชื้อเพลิงมี 3 ลักษณะ คือ ความชื้นที่อยู่ภายในเชื้อชีวมวล (Inherent moisture) ความชื้นที่อยู่ชั้นผิวของชีวมวล (Surface moisture) และความชื้นที่เกิดจากการแตกตัวของอินทรีย์สาร (Decomposition moisture)

ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล พิจารณาจากปริมาณน้ำที่อยู่ในเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับ น้ำหนักของน้ำที่อยู่ในชีวมวลต่อน้ำหนักของชีวมวลทั้งก้อน การหาค่าความชื้นของชีวมวลสามารถ หาได้ 2 วิธี ได้แก่ การหาค่าความชื้นของชีวมวลโดยเปรียบเทียบกับชีวมวลเปียก เรียกว่า การหา ความชื้นตามมาตรฐานเปียก (Wet basis) และ การหาค่าความชื้นของชีวมวลโดยเปรียบเทียบกับชีว มวลแห้ง เรียกว่า การหาค่าความชื้นตามมาตรฐานแห้ง (Dry basis)

2.6.2 สมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเป็นกระบวนการทางเคมีความร้อน ดังนั้นสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก สมบัติทางความร้อนของชีวมวลได้แก่ ค่าสภาพนำความร้อน (Thermal conductivity) ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific heat) และค่าความร้อนจากการทำปฏิกิริยา (Heat of formation)

1) ค่าสภาพความร้อน

การนำความร้อนที่เคลื่อนที่ผ่านเชื้อเพลิงชีวมวลมีอิทธิพลอย่างมากต่อปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเชื้อเพลิง เนื่องจากความร้อนจะส่งผ่านระหว่างเส้นใยที่อยู่ภายในชีวมวล การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีหรือไม่จะขึ้นกับค่าสภาพนำความร้อนของชีวมวล ซึ่งค่าสภาพนำความร้อนของชีวมวลจะมีค่าขึ้นกับค่าความหนาแน่นและค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล

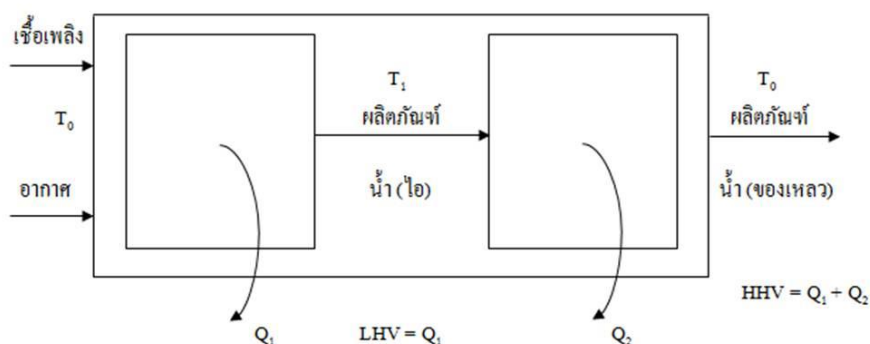
ค่าความร้อนของชีวมวล สามารถหาได้โดยการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า บอมบ์แคลอริมิเตอร์ และโดยวิธีการคำนวณโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยละเอียด การวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปใช้วิธีอ้างอิงตามข้อกำหนดตามมาตรฐานการทดสอบและวัสดุของอเมริกันสมาคมสำหรับถ่านหินที่ใช้มาตรฐาน ASTM D 5865

การหาค่าความร้อนของชีวมวลหรือเชื้อเพลิงแข็งมี 2 วิธี คือวิเคราะห์โดยหาค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง (Higher Heating Value; HHV) และวิเคราะห์โดยหาค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (Lower Heating Value; LHV)

ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวลหรืออาจเรียกว่า ค่าความร้อนสุทธิ (Net Calorific Value; NCV) เป็นการหาค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลที่อุณหภูมิเริ่มต้น 25 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ทั้งหมดรวมทั้งน้ำมีสถานะเป็นไอ

ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงชีวมวลหรืออาจเรียกว่าค่าความร้อนรวม (Gross Calorific Value; GCV) เป็นการหาค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลที่อุณหภูมิเริ่มต้น 25 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ถูกทำให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในกรณีนี้ไอน้ำจากการเผาไหม้จะควบแน่นกลับมาเป็นของเหลว ทำให้คายความร้อนออกมา ซึ่งจะทำให้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งความร้อนที่เพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของไอน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนต่ำและค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงชีวมวลแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนต่ำและค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงแข็ง [14]

2) เถ้า คือ สารอนินทรีย์ที่ยังคงเหลืออยู่หลังจากที่คาร์บอนในชีวมวลถูกเผาไหม้หมดแล้ว สารอนินทรีย์ที่อยู่ในเถ้าได้แก่ ซิลิกา อลูมิเนียม เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม เป็นต้น การวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าสำหรับเชื้อเพลิงไม้ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐานการทดสอบและวัสดุของอเมริกันสมาคม D-1102 (ASTM D-1102) การวิเคราะห์เถ้าทำโดยใช้เชื้อเพลิงไม้ตัวอย่าง 2 กรัม ที่มีขนาดเล็กกว่า 475 ไมครอน อบแห้งตามวิธีมาตรฐาน และนำมาวางบนเบ้าหลอมที่ไม่ต้องปิดฝา และใส่ไว้ในเตาเผาอุณหภูมิสูง โดยใช้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อคาร์บอนในชีวมวลถูกเผาไหม้หมดแล้ว ทิ้งไว้ให้เย็น และนำมาชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ได้จะเป็นน้ำหนักของเถ้าที่อยู่ในเชื้อเพลิง

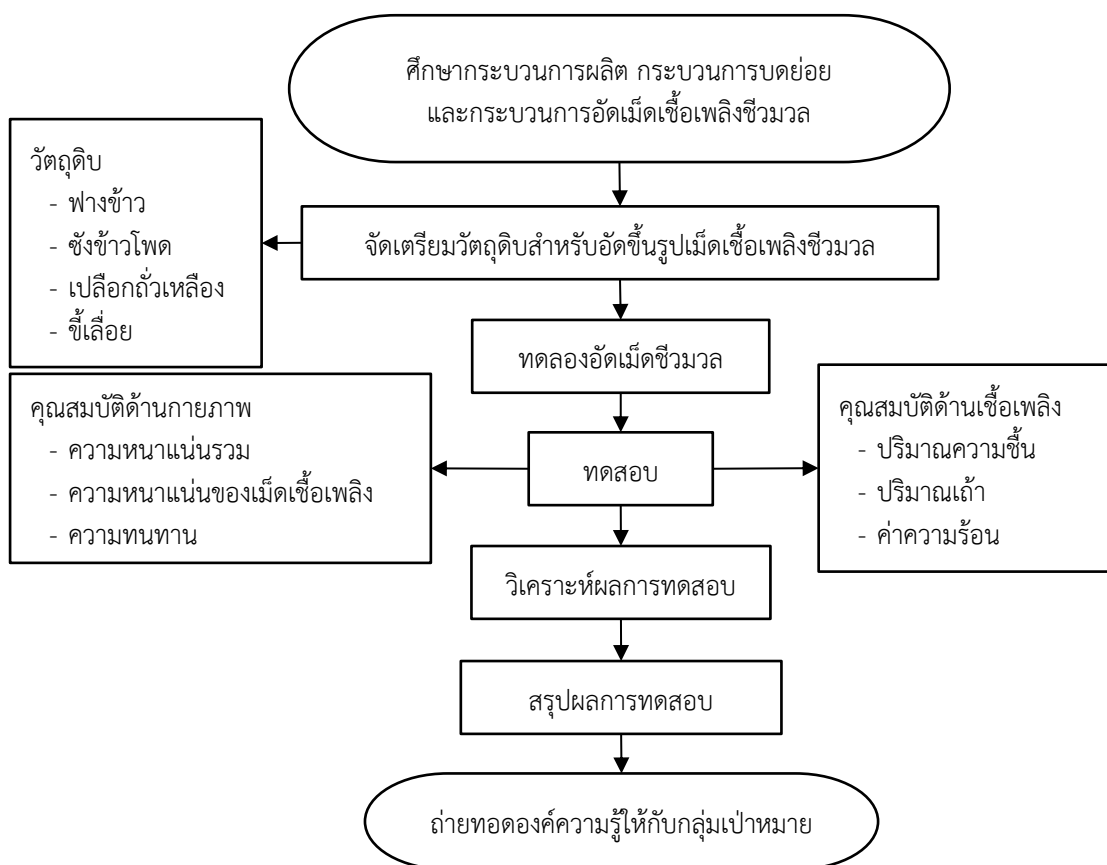
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาเกี่ยวกับการนำเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และซีลี้อย มาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากวัสดุเหล่านี้หาได้ง่ายและเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และอุตสาหกรรมที่มีปริมาณมาก เพื่อนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์และสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ วิธีการนั้นเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลจากการทดสอบสมบัติด้านกายภาพและคุณภาพด้านเชื้อเพลิงกับมาตรฐานข้อกำหนดระดับคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล European Standard EN 14961-2 ว่าวัสดุชนิดใดมีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

โดยเริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงาน จากนั้นดำเนินการเก็บตัวอย่างชีวมวลได้แก่ ฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และซีลี้อย ที่ได้จากการลงพื้นที่ในชุมชนเป้าหมาย โดยการนำวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด มาผ่านขั้นตอนการบดย่อย และแยกขนาดตามตัวแปรที่กำหนด เพื่อนำไปทดลองอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง ซึ่งแสดงรายละเอียดและขั้นตอนดังรูปที่ 3.1



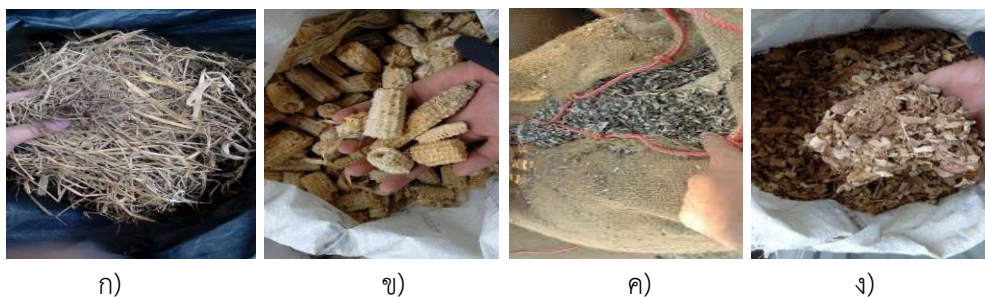
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงวิธีการดำเนินงาน

3.2 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการทดสอบ

3.2.1 การบดย่อยและการแยกขนาดชีวมวล

การบดย่อยชีวมวลเป็นการลดขนาดของชีวมวลให้มีขนาดเล็กลง โดยเครื่องจักรกลที่ไม่ทำให้คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป โดยขนาดอนุภาคของวัสดุที่ได้จากการบดควรมีความสม่ำเสมอของขนาดหรือรูปร่าง เมื่อนำไปแยกขนาดจะได้ขนาดตามที่ต้องการ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) นำซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง ฟางข้าว และขี้เลื่อยที่เตรียมไว้ ดังรูปที่ 3.2 มาบดย่อยให้ละเอียดด้วยเครื่องบดย่อย ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 วัตถุดิบ ฟางข้าว ก), ซังข้าวโพด ข), เปลือกถั่วเหลือง ค), และขี้เลื่อย ง)



รูปที่ 3.3 การบดย่อยชีวมวล

2) นำชีวมวลทั้ง 4 ชนิด ที่บดย่อยเรียบร้อยแล้ว มาคัดแยกขนาดโดยใช้เครื่องเขย่า และใช้ตะแกรงขนาด 40, 60, 80 Mesh เรียงซ้อนกันตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การแยกขนาดอนุภาค

3.2.2 นำวัตถุดิบที่ขนาดอนุภาค 40, 60, 80 Mesh และที่ผ่านการบดย่อยด้วยตะแกรง 3 มิลลิเมตร มาทำการอัดขึ้นรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ดังรูปที่ 3.5 กำหนดให้เม็ดเชื้อเพลิงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ความยาว 20-40 มิลลิเมตร ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.6



ก) ป้อนวัตถุดิบ

ข) ลูกกลิ้งหมุนอัดวัตถุดิบ

รูปที่ 3.5 แสดงการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล



รูปที่ 3.6 แสดงเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

3.3 การทดสอบสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

การทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพและด้านเชื้อเพลิงของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นไปตามจุดประสงค์ของโครงการ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 การทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (Pellet Density)

การทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคของแต่ละตัวแปร โดยมีการทดสอบดังนี้

1) เครื่องมือ

- เครื่องหาค่าความหนาแน่น (Density Determination Kit)
- ปีกเกอร์
- น้ำ

2) วิธีการทดสอบ

ใช้เครื่องหาความหนาแน่นแบบชั่งวัตถุรวมกับน้ำ นำตัวอย่างมาทำการเคลือบด้วย Petroleum Jelly เพื่อไม่ให้น้ำซึมเข้าไปในตัวอย่าง นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักในอากาศ (A) และชั่งในน้ำ (B)

3) คำนวณหาปริมาตรของวัตถุได้จากสมการที่ 3.1 และนำผลการทดสอบไปบันทึกดังตารางที่ 3.1

$$Q = \frac{A}{A - B} \times d \quad (3.1)$$

- เมื่อ A คือ น้ำหนักในอากาศ (g)
 B คือ น้ำหนักในสารละลาย (g)
 d คือ ความหนาแน่นของน้ำ (g/cm^3)
 Q คือ ความหนาแน่น (g/cm^3)

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิง (Pellet Density)

ชนิดของวัตถุดิบ	ขนาดอนุภาค	ความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิง (kg/m^3)			เฉลี่ย (kg/m^3)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ฟางข้าว	3 mm	x	x	x	x
	40 Mesh	x	x	x	x
	60 Mesh	x	x	x	x
	80 Mesh	x	x	x	x
ซังข้าวโพด	3 mm	x	x	x	x
	40 Mesh	x	x	x	x
	60 Mesh	x	x	x	x
	80 Mesh	x	x	x	x
เปลือกถั่วเหลือง	3 mm	x	x	x	x
	40 Mesh	x	x	x	x
	60 Mesh	x	x	x	x
	80 Mesh	x	x	x	x
ขี้เลื่อย	3 mm	x	x	x	x
	40 Mesh	x	x	x	x
	60 Mesh	x	x	x	x
	80 Mesh	x	x	x	x

3.3.2 การทดสอบความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

การทดสอบความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล โดยใช้มาตรฐาน ASTM E 873-82 ในการทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) เครื่องมือ

- ภาชนะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 78 มิลลิเมตร สูง 60 มิลลิเมตร
- เครื่องชั่งน้ำหนัก

2) วิธีการทดสอบ

- ชั่งน้ำหนักและบันทึกผลของภาชนะ จากนั้นใส่เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลลงในภาชนะโดยเทจากความสูง 150 มิลลิเมตร จากขอบภาชนะ
- ทำการเคาะ 5 ครั้งจากความสูง 150 มิลลิเมตร เพิ่มเม็ดเชื้อเพลิงลงไป ถ้าเกินจากขอบภาชนะให้เอาออก

- ชั่งน้ำหนักรวมของภาชนะและเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลและบันทึกผล
- 3) คำนวณค่าความหนาแน่นรวมจากสมการที่ 3.2 และบันทึกผลลงในตารางที่ 3.2

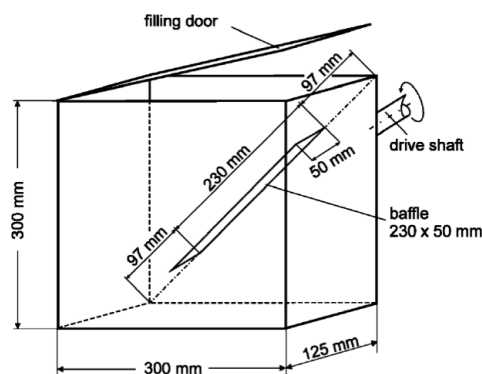
$$\text{Bulk density (g/cm}^3\text{)} = \frac{(\text{weigh of box and sample}) - (\text{weigh of box})}{(\text{volume of box})} \quad (3.2)$$

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

ชนิดของวัตถุดิบ	ขนาดอนุภาค	ความหนาแน่นรวม (kg/ m ³)			เฉลี่ย (kg/ m ³)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ฟางข้าว	3 mm	x	x	x	x
	40 Mesh	x	x	x	x
	60 Mesh	x	x	x	x
	80 Mesh	x	x	x	x
ซังข้าวโพด	3 mm	x	x	x	x
	40 Mesh	x	x	x	x
	60 Mesh	x	x	x	x
	80 Mesh	x	x	x	x
เปลือกถั่วเหลือง	3 mm	x	x	x	x
	40 Mesh	x	x	x	x
	60 Mesh	x	x	x	x
	80 Mesh	x	x	x	x
ขี้เลื่อย	3 mm	x	x	x	x
	40 Mesh	x	x	x	x
	60 Mesh	x	x	x	x
	80 Mesh	x	x	x	x

3.3.3 ความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (Pellet Durability)

ความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล คือ การทดสอบเปอร์เซ็นต์การแตกหัก ซึ่งมีผลกระทบต่อการเก็บรักษา การขนส่ง รวมไปถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของวัสดุ การทดสอบโดยการใส่เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจำนวน 500 กรัม ลงในกล่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาด (300 X 300 X 125) มิลลิเมตร ด้านในมีใบกวนขนาด 230 มิลลิเมตร กว้าง 50 มิลลิเมตร มีแกนหมุนด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 3.7 หมุนที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ตามมาตรฐานทดสอบ DIN EN 15210-1 ต่อจากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3.15 มิลลิเมตร และนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักหลังการร่อน ค่าที่ได้บันทึกผลลงในตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.7 กล่องสี่เหลี่ยมสำหรับทดสอบความทนทาน

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (Pellet Durability)

ชนิดของวัตถุดิบ	ขนาดอนุภาค	ความทนทาน (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ฟางข้าว	3 mm	x	x	x	x
	40 Mesh	x	x	x	x
	60 Mesh	x	x	x	x
	80 Mesh	x	x	x	x
ซังข้าวโพด	3 mm	x	x	x	x
	40 Mesh	x	x	x	x
	60 Mesh	x	x	x	x
	80 Mesh	x	x	x	x
เปลือกถั่วเหลือง	3 mm	x	x	x	x
	40 Mesh	x	x	x	x
	60 Mesh	x	x	x	x
	80 Mesh	x	x	x	x
ขี้เลื่อย	3 mm	x	x	x	x
	40 Mesh	x	x	x	x
	60 Mesh	x	x	x	x
	80 Mesh	x	x	x	x

3.3.4 คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง

โดยการทดสอบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและค่าความร้อน ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 7582 และ ASTM D 5865 ที่ได้รองผลการทดลองจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

การศึกษาศักยภาพการใช้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจาก ฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และขี้เลื่อย โดยทำการศึกษานาอนุภาคที่มีผลต่อการอัดขึ้นรูป ศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อคัดเลือกชีวมวลที่มีศักยภาพสูง และเหมาะสมกับการนำมาผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งมีผลการดำเนินงานดังนี้

4.1 ผลการทดสอบ

การทดสอบเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว เปลือกถั่วเหลือง ชังข้าวโพด และขี้เลื่อย โดยนำมาอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงด้วยอนุภาค 4 ขนาด คือ อนุภาคขนาดที่ผ่านการบดย่อยด้วยตะแกรงขนาด 3 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคที่ผ่านการคัดแยก 40, 60 และ 80 Mesh จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิง ความหนาแน่นรวม ความทนทาน และองค์ประกอบเชื้อเพลิง ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งผลการทดสอบหาค่าความร้อนเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ทราบว่า เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด มีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใดที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล และรวมทั้งมีค่าองค์ประกอบอื่นๆ ที่ใช้ร่วมในการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสม นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ใช้มาตรฐานข้อกำหนดระดับคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล European Standard EN 14961-2 ดังตารางที่ 4.1 มาเป็นเกณฑ์ในการวัดความเหมาะสมของชีวมวล

ตารางที่ 4.1 มาตรฐานข้อกำหนดระดับคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล European Standard EN 14961-2

Property class	Unit	A1	A2	B
Moisture	%	$M_{10} \leq 10$	$M_{10} \leq 10$	$M_{10} \leq 10$
Ash	%	$A_{0.7} \leq 0,7$	$A_{1.5} \leq 1,5$	$A_{3.5} \leq 3,5$
Durability	%	$DU_{97.5} \geq 97,5$	$DU_{97.5} \geq 97,5$	$DU_{96.5} \geq 96,5$
Heating value	MJ/kg	$Q_{16.5} \geq 19$	$Q_{16.5} \geq 19$	$Q_{16.0} \geq 19$
Bulk density	kg/m ³	$BD_{600} \geq 600$	$BD_{600} \geq 600$	$BD_{600} \geq 600$

จากการทดสอบอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลตามตัวแปรที่กำหนด พบว่าไม่สามารถอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงภายใต้ตัวแปรที่กำหนดได้ทุกตัวแปร ดังรูปที่ 4.1 แสดงเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลหลังการทดสอบพบว่าที่ขนาดอนุภาคที่ผ่านการบดย่อยด้วยตะแกรง 3 มิลลิเมตร ไม่สามารถอัดขึ้นรูปฟางข้าว และชังข้าวโพดได้สมบูรณ์ ขนาดอนุภาคที่ 40 Mesh ไม่สามารถอัดขึ้นรูปฟางข้าว และชังข้าวโพด ได้สมบูรณ์ และขนาดอนุภาคที่ 60 Mesh ไม่สามารถอัดขึ้นรูปชังข้าวโพดได้ เนื่องจากเม็ดเชื้อเพลิงที่ได้ไม่มีความแข็งแรงแตกหักง่าย ในส่วนของขนาดอนุภาค 80 Mesh สามารถอัดขึ้นรูปวัตถุดิบได้ทุกชนิด

สาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถอัดเม็ดเชื้อเพลิงได้นั้น เกิดจากหลายปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ ขนาดอนุภาค เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะใช้แรงในการอัดเม็ดต่ำกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ แต่อย่างไรก็ดี เปลือกถั่วเหลือง และซีลี้อย สามารถนำมาอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงได้ทุกขนาดอนุภาค เนื่องจากสัดส่วนของลิกนิน มีปริมาณมากกว่าฟางข้าว และซังข้าวโพด ในกระบวนการอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล จะเกิดแรงเสียดทานระหว่าง วัตถุติด, ดายนัด และลูกกลิ้งอัด ทำให้เกิดความร้อนสูง ซึ่งความร้อนนี้จะทำให้ลิกนินที่มีอยู่ในชีวมวล เกิดการอ่อนตัวและกลายเป็นตัวประสาน ทำให้ชีวมวลจับตัวกันเป็นเม็ดเชื้อเพลิงที่แข็งแรง [22,23] โดยปริมาณลิกนินในฟางข้าว และซังข้าวโพด มีปริมาณเพียง 15 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เปลือกถั่วเหลืองมีปริมาณ 30 - 40 เปอร์เซ็นต์ และซีลี้อยมีปริมาณ 18 - 35 เปอร์เซ็นต์[15,24] นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอัดเม็ด เช่น ความชื้นในวัตถุดิบ ความร้อน อัตราการป้อน

	3 mm	40 Mesh	60 Mesh	80 Mesh
ฟางข้าว				
ซังข้าวโพด				
เปลือกถั่วเหลือง				
ซีลี้อย				

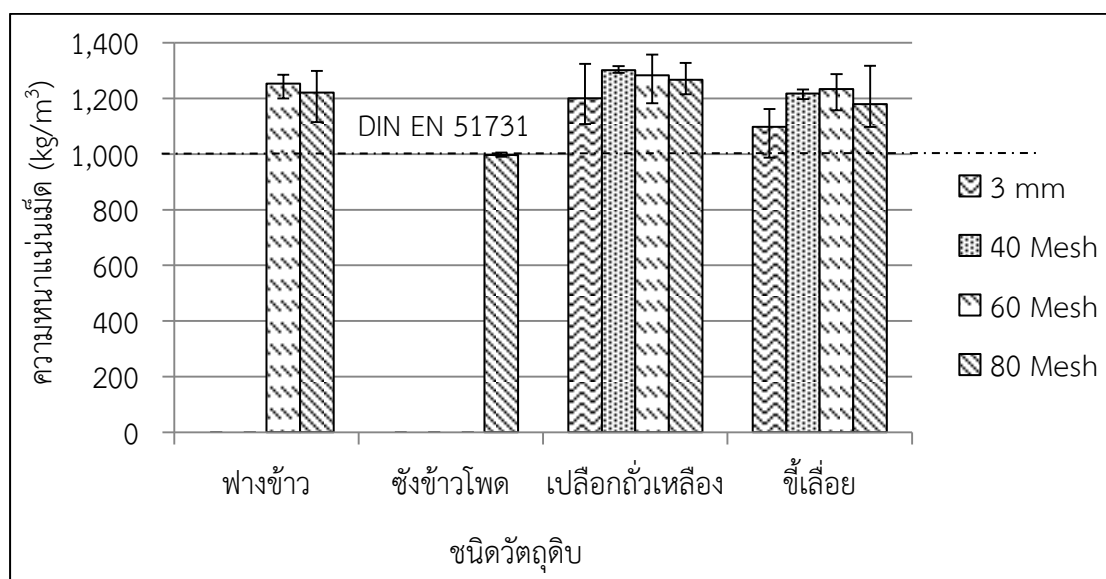
รูปที่ 4.1 แสดงเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลหลังการอัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาคต่างๆ

4.1.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (Pellet Density)

การทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงจากวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด และขนาดอนุภาคทั้ง 4 ขนาด ซึ่งค่าความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้ทำการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (ค่าเฉลี่ย)

วัตถุดิบ	ความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (kg/m^3)			
	3 mm	40 Mesh	60 Mesh	80 Mesh
ฟางข้าว	-	-	1,252	1,221
ซังข้าวโพด	-	-	-	996
เปลือกถั่วเหลือง	1,200	1,301	1,282	1,267
ซีเลื่อย	1,098	1,217	1,233	1,180



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด ที่อัดขึ้นรูปที่ขนาดอนุภาคแต่ละขนาด

จากรูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นเม็ดของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล พบว่าค่าความหนาแน่นเม็ดแต่ละขนาดอนุภาคมีค่าต่างกันเล็กน้อย แต่จากการทดสอบทางสถิติ ด้วยวิธี One-Way ANOVA โดยใช้โปรแกรม Minitab ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าความหนาแน่นเม็ดแต่ละขนาดอนุภาคมีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อความหนาแน่นเม็ด เมื่อนำค่าความหนาแน่นเม็ดของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด มาเปรียบเทียบกัน พบว่าค่าความหนาแน่นเม็ดมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อนำผลการทดลองของเม็ดเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ขนาดอนุภาค 80 Mesh มาทำการสอบทางสถิติ ด้วยวิธี One-Way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดมีค่าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกถั่วเหลืองมีค่าความหนาแน่นสูงสุด 1,301 kg/m^3 ที่ขนาดอนุภาค 40 Mesh รองลงมาคือเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าวมีค่าความหนาแน่น 1,252 kg/m^3 ที่ขนาดอนุภาค 60 Mesh เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากซีเลื่อยมีค่าความหนาแน่น 1,233 kg/m^3 ที่ขนาดอนุภาค 60 Mesh และเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากซังข้าวโพดมีค่าความหนาแน่นน้อยสุด 996

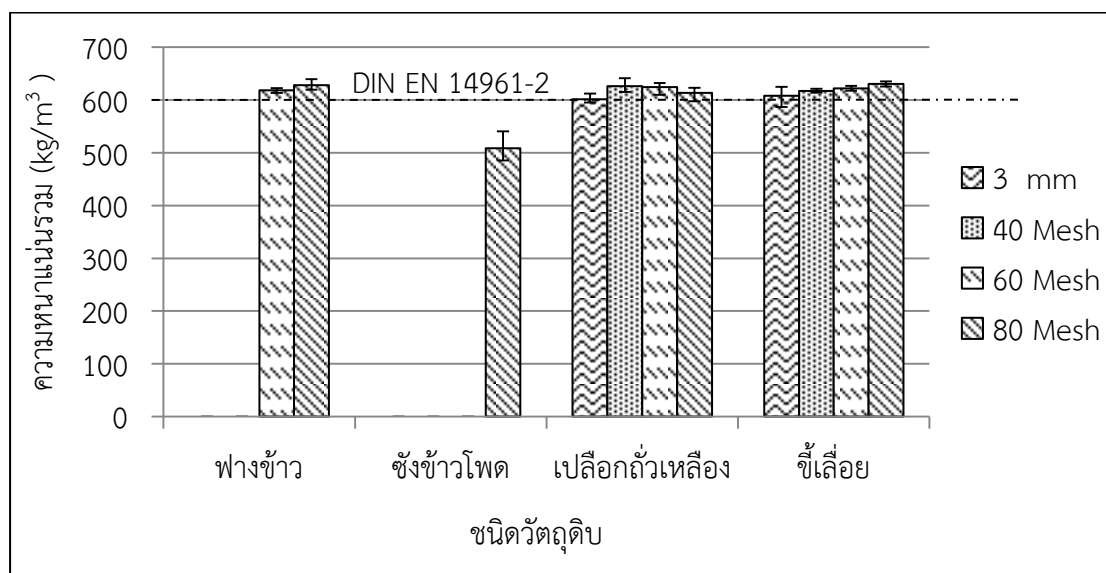
kg/m³ ที่ขนาดอนุภาค 80 Mesh ตามลำดับ ซึ่งความหนาแน่นที่ต่างกันอาจมีอิทธิพลจากชนิดของวัสดุที่มีส่วนประกอบทางโครงสร้างที่ต่างกัน และอัตราการป้อนวัตถุดิบขณะทำการทดสอบอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากการทดสอบใช้คนในการป้อนวัตถุดิบทำให้อัตราการป้อนไม่คงที่ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด กับมาตรฐาน DIN EN 51731 ที่กำหนดมาตรฐานคุณภาพเม็ดเชื้อเพลิงในโซลยูโรป ซึ่งกำหนดความหนาแน่นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลควรมีค่ามากกว่า 1,000 kg/m³ พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากชังข้าวโพดมีความหนาแน่นต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดเล็กน้อย ในส่วนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว เปลือกถั่วเหลือง และซีเลื่อยมีความหนาแน่นตามมาตรฐานกำหนด

4.1.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

การทดสอบความหนาแน่นรวมเป็นการทดสอบเพื่อใช้ในการออกแบบขนาดของบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมเพื่อสะดวกและประหยัดในการขนส่ง โดยการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 873-82 ซึ่งค่าความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (ค่าเฉลี่ย)

วัตถุดิบ	ความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (kg/m ³)			
	3 mm	40 Mesh	60 Mesh	80 Mesh
ฟางข้าว	-	-	618	628
ชังข้าวโพด	-	-	-	508
เปลือกถั่วเหลือง	601	626	624	613
ซีเลื่อย	608	617	622	630



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลทดสอบความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิดที่อัดขึ้นรูปที่ขนาดอนุภาคแต่ละขนาด

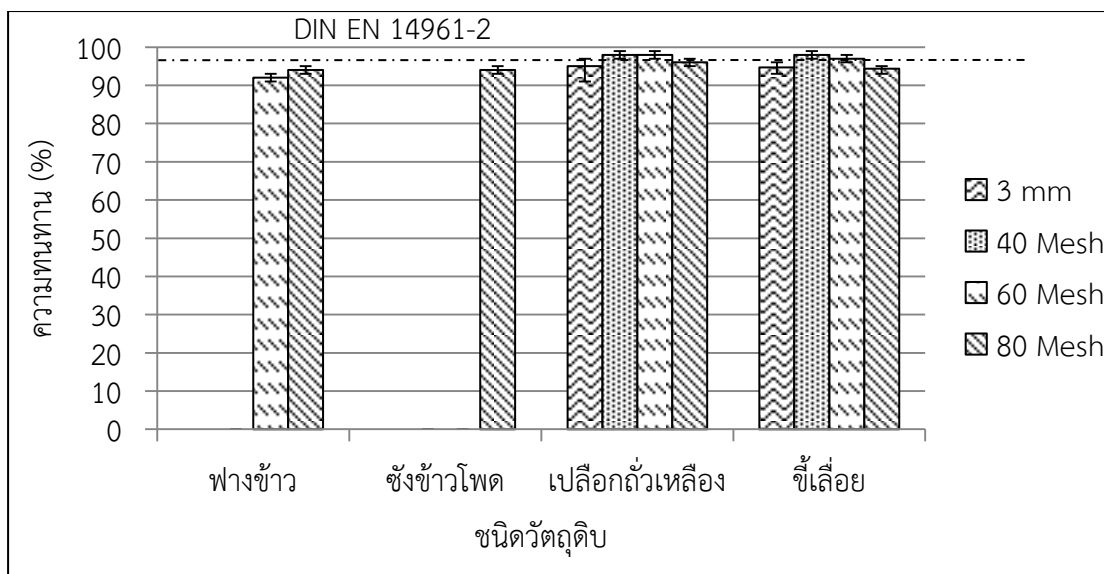
จากรูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล พบว่าค่าความหนาแน่นรวมแต่ละขนาดอนุภาคมีค่าต่างกันเล็กน้อยเช่นเดียวกับค่าความหนาแน่นเม็ด และเมื่อทำการทดสอบทางสถิติ ด้วยวิธี One-Way ANOVA โดยใช้โปรแกรม Minitab ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละขนาดอนุภาคมีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อความหนาแน่นรวม จากผลการทดลองเมื่อนำค่าความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด มาเปรียบเทียบกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อนำผลการทดลองค่าความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดที่ขนาดอนุภาค 80 Mesh มาทำการทดสอบทางสถิติ ด้วยวิธี One-Way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าความหนาแน่นรวมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากขี้เลื่อยมีค่าความหนาแน่นรวมสูงสุด 630 kg/m^3 รองลงมาคือเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 628 kg/m^3 เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 626 kg/m^3 และเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากซังข้าวโพดมีค่าน้อยสุดเท่ากับ 508 kg/m^3 ซึ่งความหนาแน่นที่ต่างกันมีอิทธิพลจากชนิดของวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบทางโครงสร้างที่ต่างกัน ความหนาแน่นเม็ดที่ต่างกัน และขนาดความยาวของเม็ดเชื้อเพลิง และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นรวมกับมาตรฐาน DIN EN 14961-2 ที่กำหนดมาตรฐานคุณภาพเม็ดเชื้อเพลิงในโซนิยุโรป ซึ่งกำหนดความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลควรมีค่ามากกว่า 600 kg/m^3 พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากซังข้าวโพด มีค่าความหนาแน่นรวมต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด ในส่วนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว เปลือกถั่วเหลือง และขี้เลื่อยมีค่าความหนาแน่นรวมตามมาตรฐานกำหนด

4.1.3 ผลการทดสอบความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (Durability)

การทดสอบความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นการทดสอบเพื่อทดสอบเปอร์เซ็นต์การแตกหักของวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด และขนาดอนุภาคทั้ง 4 ขนาด จากค่าความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (ค่าเฉลี่ย)

วัตถุดิบ	ความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (เปอร์เซ็นต์)			
	3 mm	40 Mesh	60 Mesh	80 Mesh
ฟางข้าว	-	-	92	94
ซังข้าวโพด	-	-	-	94
เปลือกถั่วเหลือง	95	98	98	96
ขี้เลื่อย	95	98	97	94



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลทดสอบความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด ที่อัดขึ้นรูปที่ขนาดอนุภาคแต่ละขนาด

จากรูปที่ 4.4 แสดงถึงค่าความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว ช้างข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และขี้เลื่อย อัดขึ้นรูปที่ขนาดอนุภาคแต่ละขนาด พบว่าค่าความทนทานมีค่าอยู่ระหว่าง 92 - 98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการทดลองส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน DIN EN 14961-2 ที่กำหนดมาตรฐานคุณภาพเม็ดเชื้อเพลิงในโซนิยุโรป ซึ่งกำหนดความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลควรมีค่าอยู่ระหว่าง 96.5 - 97.5 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงจากเปลือกถั่วเหลืองที่ขนาดอนุภาค 40, 60 และ 80 Mesh และเม็ดเชื้อเพลิงจากขี้เลื่อยที่ขนาดอนุภาค 40, และ 60 Mesh มีค่าตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งค่าความทนทานที่ต่างกันนั้น มีอิทธิพลจากชนิดของวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบทางโครงสร้างที่ต่างกัน เช่น ปริมาณลิกนิน ที่กลายเป็นตัวผสานเมื่อได้รับความร้อนระหว่างกระบวนการอัดเม็ด ทำให้ชีวมวลจับตัวกันเป็นเม็ดเชื้อเพลิงที่แข็งแรง[22,23] นอกจากนี้ยังเกิดจากปัจจัยอีกหลายอย่างที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอัดเม็ด เช่น ความชื้นในวัตถุดิบ ความร้อน อัตราการป้อน และแรงที่ใช้ในการอัด

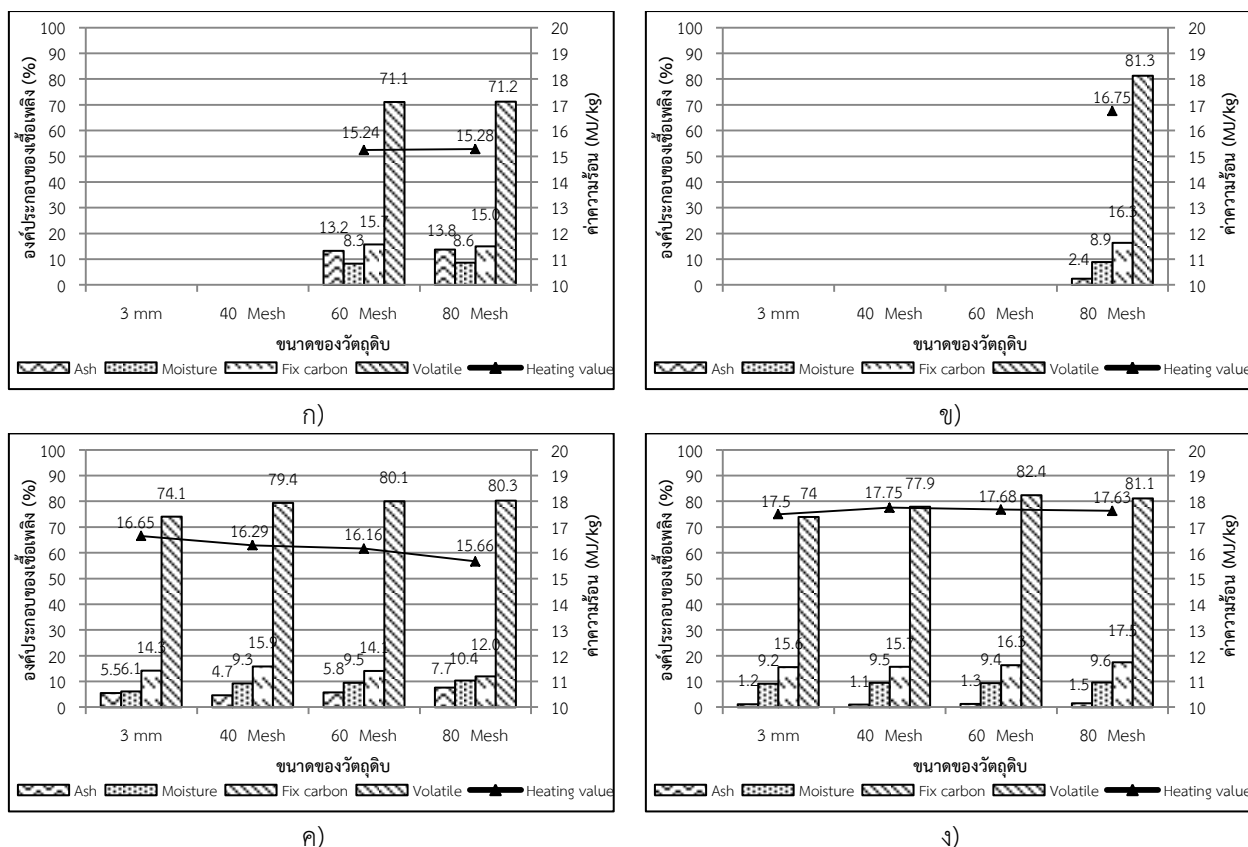
4.1.4 คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง

เป็นการทดสอบองค์ประกอบเชื้อเพลิงและค่าความร้อน เป็นส่วนสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด โดยการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 7582 และ ASTM D 5865 ที่ได้รับรองผลการทดลองจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน ซึ่งผลที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาชีวมวลที่มีศักยภาพสำหรับผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมากที่สุด และอยู่ในมาตรฐานข้อกำหนดระดับคุณภาพของเม็ด

เชื้อเพลิงชีวมวล European Standard DIN EN 14961-2 โดยองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและค่าความร้อนแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงและค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด

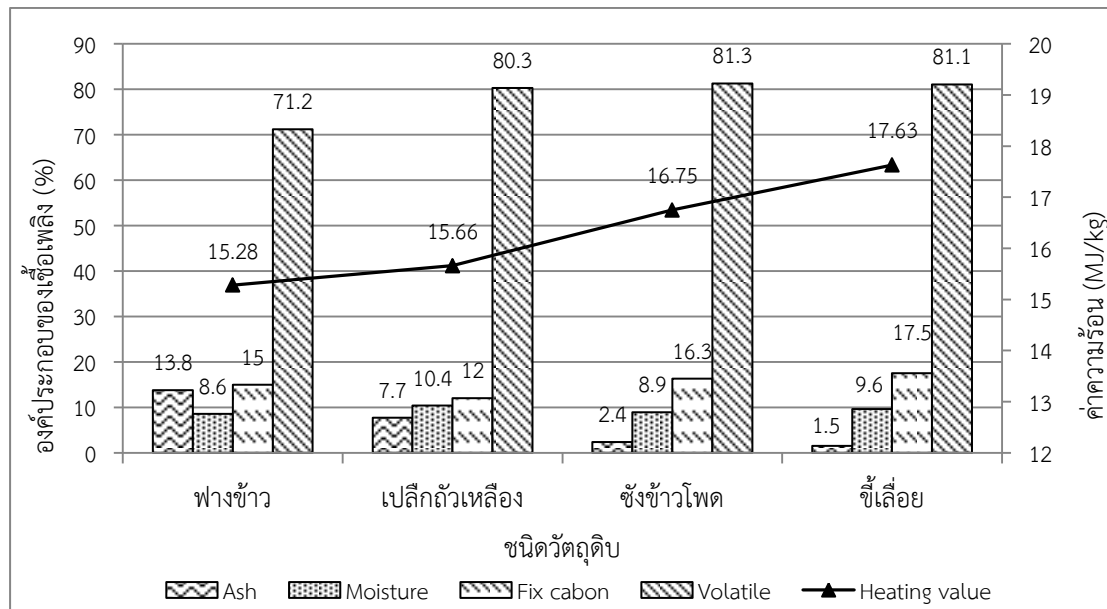
วัตถุดิบ	ขนาดอนุภาค	องค์ประกอบของเชื้อเพลิงและค่าความร้อน				
		Ash (%)	Moisture (%)	Fix carbon (%)	Volatile (%)	Heating value (%)
ฟางข้าว	3 mm	-	-	-	-	-
	40 Mesh	-	-	-	-	-
	60 Mesh	13.2	8.3	15.7	71.1	15.24
	80 Mesh	13.8	8.6	15.0	71.2	15.28
ซังข้าวโพด	3 mm	-	-	-	-	-
	40 Mesh	-	-	-	-	-
	60 Mesh	-	-	-	-	-
	80 Mesh	2.4	8.9	16.3	81.3	16.75
เปลือกถั่วเหลือง	3 mm	5.5	6.1	14.3	74.1	16.65
	40 Mesh	4.7	9.3	15.9	79.4	16.29
	60 Mesh	5.8	9.5	14.1	80.1	16.16
	80 Mesh	7.7	10.4	12.0	80.3	15.66
ขี้เลื่อย	3 mm	1.2	9.2	15.6	74.0	17.50
	40 Mesh	1.1	9.5	15.7	77.9	17.75
	60 Mesh	1.3	9.4	16.3	82.4	17.68
	80 Mesh	1.5	9.6	17.5	81.1	17.63



รูปที่ 4.5 แสดงค่าองค์ประกอบของเม็ดเชื้อเพลิงและค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล จากฟางข้าว ก), ช้างข้าวโพด ข), เปลือกถั่วเหลือง ค), ชี้อ้อย ง)

จากผลการทดสอบดังรูปที่ 4.5 พบว่า ขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อค่าองค์ประกอบและค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากที่ขนาดอนุภาคต่างกัน ผลการทดสอบปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนไม่ต่างกันมาก และในการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้ ผู้วิจัยจะพิจารณา ค่าความร้อน และปริมาณเถ้าเป็นปัจจัยหลัก ในส่วนของปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมในขั้นตอนการผลิตได้ และองค์ประกอบที่ไม่ได้กล่าวถึงนั้นเป็นเพียงตัวชี้วัดที่ทำให้ชีวมวลมีค่าความร้อนน้อยลงเพียงใด จากรูปที่ 4.5 ค) พบว่าผลการทดสอบเม็ดเปลือกถั่วเหลืองที่อัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาคที่ผ่านการบดย่อยด้วยตะแกรง 3 มิลลิเมตร และผ่านการคัดแยกที่ 40, 60, 80 Mesh มีปริมาณความชื้นอยู่ที่ 6.1, 9.3, 9.5, และ 10.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณเถ้าอยู่ที่ 5.5, 4.7, 5.8, และ 7.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าความร้อน 16.65 MJ/kg, 16.29 MJ/kg, 16.16 MJ/kg, และ 15.66 MJ/kg ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าความร้อนมีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะที่ขนาด 80 Mesh มีค่าความร้อนต่ำที่สุด และปริมาณเถ้าสูงสุด ซึ่งเกิดจากปริมาณความชื้นในเม็ดเชื้อเพลิงที่มีปริมาณสูงกว่าขนาดอนุภาคอื่น โดยปริมาณความชื้นมากจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ และเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำลง ปริมาณเถ้าสูงขึ้น ดังนั้นเพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด ผู้วิจัยจึงนำผลการ

ทดลององค์ประกอบของเชื้อเพลิงและค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิดที่อัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาค 80 Mesh มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานข้อกำหนดระดับคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล European Standard EN 14961-2



รูปที่ 4.6 ค่าองค์ประกอบของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (Proximate Analysis) และค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดอนุภาค 80 Mesh ทั้ง 4 ชนิด

จากรูปที่ 4.6 เมื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับและพิจารณาตามมาตรฐานข้อกำหนดระดับคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล European Standard DIN EN 14961-2 พบว่าเม็ดชังข้าวโพด และขี้เลื่อย มีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงที่ดี โดยเม็ดชังข้าวโพดมีค่าความร้อน 16.75 MJ/kg และปริมาณเถ้า 2.4 เปอร์เซ็นต์ เม็ดขี้เลื่อยมีค่าความร้อนสูงถึง 17.63 MJ/kg และปริมาณเถ้า 1.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานกำหนด (ค่าความร้อน 16-19 MJ/kg ปริมาณเถ้า 0.7- 3 เปอร์เซ็นต์) ในส่วนของเม็ดเปลือกถั่วเหลืองมีค่าความร้อน 15.66 MJ/kg ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ปริมาณเถ้า 7.7 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ และเม็ดฟางข้าวมีค่าความร้อน 15.28 MJ/kg ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และมีปริมาณเถ้า 13.8 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาศักยภาพการใช้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ได้ทดสอบสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทางด้านกายภาพและด้านเชื้อเพลิง ที่กล่าวมาในบทที่ 4 มาทำการสรุปผลที่ได้และข้อเสนอแนะต่างๆเพื่อนำไปพัฒนาและปรับปรุงในโอกาสต่อไป

5.1 สรุป

จากการทดสอบการอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และซีเลื่อย ที่อนุภาค 4 ขนาด คือ อนุภาคขนาดที่ผ่านการบดย่อยด้วยตะแกรงขนาด 3 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคที่ผ่านการคัดแยก 40, 60 และ 80 Mesh พบว่าไม่สามารถอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงภายใต้ตัวแปรที่กำหนดได้ทุกตัวแปร โดยฟางข้าว สามารถนำมาอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้ที่ขนาดอนุภาค 60 และ 80 Mesh เท่านั้น ชังข้าวโพด สามารถนำมาอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้ที่ขนาดอนุภาค 80 Mesh เปลือกถั่วเหลืองและซีเลื่อย สามารถนำมาอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้ทั้ง 4 ขนาดอนุภาค สาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถอัดเม็ดเชื้อเพลิงได้นั้น เกิดจากปริมาณลิกนินในฟางข้าว และชังข้าวโพดน้อย นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอัดเม็ด เช่น ความชื้นในวัตถุดิบ ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการอัด อัตราการป้อน

5.1.1 ความหนาแน่นเม็ด (Density Pellet) จากการทดลองพบว่าเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว เปลือกถั่วเหลือง และซีเลื่อย มีค่าความหนาแน่นเม็ดตามมาตรฐาน DIN 51731 (Density Pellet: $\geq 1,000 \text{ kg/m}^3$) กำหนด โดยเม็ดฟางข้าวมีค่าความหนาแน่นเม็ดอยู่ระหว่าง $1,221 - 1,252 \text{ kg/m}^3$ เม็ดเปลือกถั่วเหลืองมีค่าความหนาแน่นเม็ดอยู่ระหว่าง $1,200 - 1,301 \text{ kg/m}^3$ และเม็ดซีเลื่อยมีค่าความหนาแน่นเม็ดอยู่ระหว่าง $1,098 - 1,233 \text{ kg/m}^3$ ในส่วนของเม็ดชังข้าวโพดความหนาแน่นเม็ด 996 kg/m^3 ต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดเล็กน้อย

5.1.2 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) จากการทดลองพบว่าเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว เปลือกถั่วเหลือง และซีเลื่อย มีค่าความหนาแน่นรวมตามมาตรฐาน DIN EN 14961-2 (Bulk density: $\geq 600 \text{ kg/m}^3$) กำหนด โดยเม็ดฟางข้าวมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ระหว่าง $618 - 628 \text{ kg/m}^3$ เม็ดเปลือกถั่วเหลืองมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ระหว่าง $601 - 626 \text{ kg/m}^3$ และเม็ดซีเลื่อยมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ระหว่าง $608 - 630 \text{ kg/m}^3$ เม็ดชังข้าวโพดมีค่าความหนาแน่นรวม 508 kg/m^3 ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดไว้ ผลการทดสอบความหนาแน่นรวมมีความสอดคล้องกับความหนาแน่นเม็ด กล่าวคือความหนาแน่นเม็ดสูงส่งผลให้ความหนาแน่นรวมสูงขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ดีความหนาแน่นรวมไม่ได้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นเม็ดเพียงอย่างเดียว ความยาวของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีผลต่อความหนาแน่นเม็ดด้วยเช่นกัน หากความยาวโดยเฉลี่ยมีค่าสูงก็จะส่งผลให้ความหนาแน่นรวมลดลง ดังนั้นในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลควรมีการควบคุมความยาวของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลไม่ให้สูงกว่ามาตรฐานกำหนด ($3.15 - 40$ มิลลิเมตร)

5.1.3 ความทนทาน (Durability) พบว่าค่าความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าอยู่ระหว่าง $92 - 98$ เปอร์เซ็นต์ และผลการทดลองส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน DIN EN 14961-2 (Durability: $96.5 \geq 97.5$ เปอร์เซ็นต์) มีเพียงเม็ดเปลือกถั่วเหลืองที่ขนาดอนุภาค 40 และ 60 Mesh และเม็ดซีเลื่อยที่ขนาดอนุภาค 40, และ 60 Mesh มีค่าตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งค่าความทนทานที่

ต่างกันนั้น มีผลมาจากสัดส่วนปริมาณของลิกนินในวัตถุดิบ ที่กลายเป็นตัวผสมเมื่อได้รับความร้อนระหว่างกระบวนการอัดเม็ด ทำให้ชีวมวลจับตัวกันเป็นเม็ดเชื้อเพลิงที่แข็งแรง[22,23] นอกจากนี้ยังเกิดจากปัจจัยอีกหลายอย่างที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอัดเม็ด เช่น ความชื้นในวัตถุดิบ ความร้อน อัตราการป้อน และแรงที่ใช้ในการอัด

5.1.4 คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง เป็นการทดสอบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและค่าความร้อนจากผลการทดสอบพบว่า ขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อค่าองค์ประกอบและค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากที่ขนาดอนุภาคต่างกัน ผลการทดสอบปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนไม่ต่างกันมาก เมื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกัน และพิจารณาตามมาตรฐานข้อกำหนดระดับคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล European Standard DIN EN 14961-2 พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากซังข้าวโพดและขี้เลื่อยมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงที่ดี โดยเม็ดขี้เลื่อยมีค่าความร้อนสูงถึง 17.75 MJ/kg และปริมาณเถ้า 1.1 เปอร์เซ็นต์ เม็ดซังข้าวโพดมีค่าความร้อน 16.75 MJ/kg และปริมาณเถ้า 2.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานกำหนด (ค่าความร้อน 16-19 MJ/kg ปริมาณเถ้า 0.7- 3 เปอร์เซ็นต์) ในส่วนของเม็ดเปลือกถั่วเหลืองมีค่าความร้อน 16.65 MJ/kg ตามมาตรฐานกำหนด แต่มีปริมาณเถ้า 7.7 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ และเม็ดฟางข้าวมีค่าความร้อน 15.28 MJ/kg ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และมีปริมาณเถ้า 13.8 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้

จากผลการทดสอบสมบัติด้านกายภาพและด้านเชื้อเพลิง พบว่าเม็ดซังข้าวโพดและขี้เลื่อยมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีที่สุดเมื่อเทียบกับเม็ดเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงและปริมาณเถ้าต่ำ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน European Standard EN 14961-2 กำหนด แต่จากการทดสอบสมบัติด้านกายภาพ พบว่าเม็ดซังข้าวโพดมีความหนาแน่น และความทนทานต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด แต่อย่างไรก็ดีความหนาแน่น และความทนทานอาจไม่ใช่ปัญหาในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเพราะสามารถปรับปรุงสมบัติด้านกายภาพได้ โดยการเพิ่มแรงในการอัดหรือมีการเพิ่มวัสดุที่เป็นตัวผสม แต่กระนั้นการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว และเปลือกถั่วเหลือง ยังเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นการกำจัดวัสดุเศษพืชเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีประโยชน์และมีประสิทธิภาพสามารถเพิ่มมูลค่าและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดในชุมชน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเผาไหม้ของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจาก เปลือกถั่วเหลือง ซังข้าวโพด และขี้เลื่อยในเตาชีวมวล มีการให้ความร้อนต่างกันอย่างน้อยเพียงใด และความหนาแน่นมีผลอย่างไรต่อการเผาไหม้ในเตา

5.2.2 ควรมีการศึกษาเพิ่มเกี่ยวกับขนาดอนุภาค กับการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเครื่องอัดชีวมวลขนาดใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

5.2.3 หากต้องการให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด จำเป็นต้องมีการพัฒนาสัดส่วนชีวมวลขึ้น หรือมีการผสมกันระหว่างชีวมวล เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2558. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2558 [ออนไลน์] สืบค้นจาก http://www.oae.go.th/download/document_tendency/journalofecon2558.pdf
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, “ชีวมวล”, [ออนไลน์] สืบค้นจาก www.eppo.go.th/engy/Load/ET08.pdf, สืบค้นเมื่อ 9 กันยายน 2556
- [3] Deniel Ciolkosz, “Manufacturing Fuel Pellets from Biomass”, Renewable and alternative energy fact sheet, College of Agricultural Science, Agriculture Research and Cooperative Extension, Department of Agriculture and Biological Engineering, Penn state, USA, 2009, pp 1-4
- [4] Sudhagar Mani, Lope G. Tabil and Shahab Sokhansanj, “Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses”, Biomass and Bioenergy, 30 (2006), pp 648–654.
- [5] Clara Serrano. 2010. **Effect of moisture content, particle size and pine addition on Quality parameters of barley straw pellets.** [Online] Available : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382010003942>.
- [6] Jaya Shankar Tumuluru. 2013. **Effect of process variables on the density and durability of the pellets made from high moisture corn stover.**
- [7] Bastain Lehmann. 2011. **Effect of miscanthus addition and different grinding processes on the quality of wood pellets.**
- [8] Johan Sjostrom. 2014. **Direct measurements of thermal properties of wood pellets: Elevated temperatures, fine fractions and moisture content.** .
- [9] L.J.R. Nunes. 2014. **Mixed biomass pellets for thermal energy production: A review of combustion models.**
- [10] ทองทิพย์ พูลเกษม. 1999. “การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน,” **วิทยานิพนธ์.** ปริญญาโทบริหารศึกษามหาวิทยาลัยมหิดล.
- [11] สังเวย เสวกวิหारी. 2555. “ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมันคุด,” **รายงานการวิจัย.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [12] กิตติลดา วรพันธ์ และชัชวาล อัยยาริทธิ. 2555. **ศักยภาพในการนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล.** [ออนไลน์] สืบค้นจาก <http://envi02.en.kku.ac.th/articles/paper15312.pdf>.
- [13] วรกร อธิรณทอง, นิรมล ดั่งพู่ และภิญโญ ชุมมณี. 2556. **การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากฟางข้าวและใบอ้อย.** [ออนไลน์] สืบค้นจาก : <http://www.phtnet.org/download/phtic-seminar/1330.pdf>.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [14] นฤภัทร ตั้งมันคงวรกุล. 2014. การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรม การเกษตรและครัวเรือน. [ออนไลน์] สืบค้นจาก : <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/SWUJournal/article/view/4488>.
- [15] วรณช แจงสว่าง. เทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ บริษัท แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตเซอร์วิส จำกัด.
- [16] นัย บำรุงเวช. 2555. ชังข้าวโพด พลังงานทดแทนจากพืช ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า ของโรงงาน ไฟฟ้าชีวมวล. [ออนไลน์] สืบค้นจาก : <http://info.matichon.co.th/techno/techno.php?srctag=05074011155&srcday&search=no>.
- [17] ณัฐนิตย ปวนปาน. 2550. การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดบดในอาหาร โคมนม. วิทยานิพนธ์. ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [18] ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล. ชีวมวล. กรุงเทพฯ : บริษัท คิว พรีนซ์ แมเนจเม้นส์ จำกัด.
- [19] บุญฤทธิ์ ศิริสม และเอกชัย ครองยุทธ. การศึกษาผลของความเร็วรอบและขนาดตะแกรง ของ เครื่องลดขนาดแบบ Hammer Mill ที่มีผลต่อการลดขนาดชังข้าวโพด. [ออนไลน์] สืบค้นจาก : http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc_upload/2010102713360.pdf.
- [20] ประเมธ ประเสริฐยิ่ง. (2557). การอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล. เทคนิค ไฟฟ้า เครื่องกล อุตสาหกรรม, 30 (358), 64-65.
- [21] นคร ทิพย์วงศ์. 2553. เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคม ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 34-43.
- [22] Tirinthong, V., Duangfoo, N., and Chummanee , P. (2013). Production of Biomass Fuel Pellets from Rice Straw and Sugarcane Leaves. Agricultural Sci 44 : 3 (Suppl.). pp. 518-52
- [23] Lehmann, B., Schroder H.W., Wollenberg, R. and Repke, J.U. (2012). Effect of miscanthus addition and different grinding processes on the quality of wood pellets. Biomass and Bioenergy 44 pp. 150-159
- [24] สุขใจ ชูจันทร์. 2554. การผลิตกรดอินทรีย์จากวัสดุเหลือใช้มวลชีวภาพ. กรุงเทพฯ.: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.4-6.

ภาคผนวก ก

การเตรียมวัสดุเพื่อผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล



รูปที่ ก.1 ทำการบดย่อยชีวมวล



รูปที่ ก.2 ทำการแยกขนาดอนุภาคของชีวมวล โดยใช้เครื่องเขย่า และใช้ตะแกรงขนาด 40, 60 และ 80 Mesh



รูปที่ ก.3 ตัวอย่างชีวมวลจากหังข้าวโพด ขนาด 40, 60 และ 80 Mesh



รูปที่ ก.4 แสดงการป้อนวัตถุดิบลงในถังป้อน



รูปที่ ก.5 แสดงเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นเม็ด (Pellet Density)

ชนิด	ขนาด อนุภาค	ความหนาแน่นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (kg/m ³)			เฉลี่ย (kg/m ³)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ฟางข้าว	3 mm	-	-	-	0
	40 Mesh	-	-	-	0
	60 Mesh	1,254	1,168	1,241	1,221
	80 Mesh	1,036	1,170	1,220	1,142
ซังข้าวโพด	3 mm	-	-	-	0
	40 Mesh	-	-	-	0
	60 Mesh	-	-	-	0
	80 Mesh	991	993	1,005	996
เปลือกถั่วเหลือง	3 mm	1,108	1,324	1,168	1,200
	40 Mesh	1,296	1316	1292	1301
	60 Mesh	1306	1358	1183	1282
	80 Mesh	1215	1257	1328	1267
ขี้เลื่อย	3 mm	1162	1145	987	1098
	40 Mesh	1198	1222	1232	1217
	60 Mesh	1254	1287	1157	1233
	80 Mesh	1317	1097	1125	1180

*อุณหภูมิของน้ำ 27.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

ชนิด	ขนาดอนุภาค	ความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (kg/m ³)			เฉลี่ย (kg/m ³)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ฟางข้าว	3 mm	-	-	-	0
	40 Mesh	-	-	-	0
	60 Mesh	613	622	620	618
	80 Mesh	620	640	623	628
ซังข้าวโพด	3 mm	-	-	-	0
	40 Mesh	-	-	-	0
	60 Mesh	-	-	-	0
	80 Mesh	500	540	485	508
เปลือกถั่วเหลือง	3 mm	597	595	612	601
	40 Mesh	615	641	622	626
	60 Mesh	630	632	610	624
	80 Mesh	620	623	597	613
ขี้เลื่อย	3 mm	611	587	625	608
	40 Mesh	616	621	614	617
	60 Mesh	620	618	627	622
	80 Mesh	625	631	635	630

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบความทนทาน (Pellet Durability)

ชนิด	ขนาด อนุภาค	ความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ฟางข้าว	3 mm	-	-	-	0
	40 Mesh	-	-	-	0
	60 Mesh	93	92	91	92
	80 Mesh	94	93	95	94
ซังข้าวโพด	3 mm	-	-	-	0
	40 Mesh	-	-	-	0
	60 Mesh	-	-	-	0
	80 Mesh	94	93	95	94
เปลือกถั่วเหลือง	3 mm	91	97	97	95
	40 Mesh	98	97	99	98
	60 Mesh	97	98	99	98
	80 Mesh	95	96	97	96
ขี้เลื่อย	3 mm	96	93	95	95
	40 Mesh	99	97	98	98
	60 Mesh	98	96	97	97
	80 Mesh	95	95	93	94



คำขอรับบริการที่ ศทพ. 110/58

ที่ ศทพ.พ. 317-03/58

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม

สำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (RDG 5750049)

การทดสอบ / วิเคราะห์ ฟางข้าว ขนาด 60 Mesh

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุณหภูมิ - °C ความชื้นสัมพัทธ์ - %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	9.9	-
สารระเหย, %	66.7	70.7
ถ่านคงตัว, %	13.6	14.9
เถ้า, %	12.7	11.9
ค่าความร้อน, กิโลแคลอรี/กก.	3,830	4,000

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

1. ดร.ธนศ อภิธรรม
2. ท้าวพงษ์ พงษ์เพชร

ผู้รับรอง



(ดร.ธนศ อภิธรรม)

รักษาการในตำแหน่ง

ผู้ตรวจสอบ

ดร.ธนศ
(ดร.บริสุทธิ์ จันทร์วงศ์ไพศาล)

ผู้อำนวยการ ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

วันที่ 27 มีนาคม 2558

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๓๕ หมู่ ๓ ตำบลในธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐
โทร. (๐๒) ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๙
E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-ETD-21



คำขอรับบริการที่ ศพท. 110/58

ที่ ศพท.พ. 318-03/58

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม

สำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (RDG 5750049)

การทดสอบ / วิเคราะห์ ฟางข้าว ขนาด 80 Mesh

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุณหภูมิ - °C ความชื้นสัมพัทธ์ - %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	9.8	-
สารระเหย, %	67.7	71.2
ถ่านคงตัว, %	13.8	15.0
เถ้า, %	12.9	11.6
ค่าความร้อน, กิโลแคลอรี/กก.	3,890	4,010

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

1. ดร. ธเนศ อภิธรรม
2. ท้าวพงษ์ พงษ์เพชร

ผู้รับรอง



(ดร. ธเนศ อภิธรรม)

รักษาการในตำแหน่ง

ผู้ตรวจสอบ

ดร. ธเนศ
(ดร.บริสุทธิ์ จันทร์วงศ์ไพศาล)

ผู้อำนวยการ ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

วันที่ 27 มีนาคม 2558

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๓๕ หมู่ ๓ ตำบลในธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐
โทร. (๐๒) ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๙
E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-ETD-21



คำขอใบรับรองที่ ผทพ. 110/58

ที่ ผทพ.พ. 310-03/58

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม

สำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (RDG 5750049)

การทดสอบ / วิเคราะห์ ชั่งข้าวโพด ขนาด 80 Mesh

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุณหภูมิ - °C ความชื้นสัมพัทธ์ - %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	8.8	-
สารระเหย, %	74.0	81.3
ถ่านคงตัว, %	14.9	16.3
เถ้า, %	2.2	2.1
ค่าความร้อน, กิโลแคลอรี/กก.	4,040	4,530

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

1. ดร.ธนศ อภิธรรม
2. ท้าวพงษ์ พงษ์เพชร

ผู้รับรอง



(ดร.ธนศ อภิธรรม)

รักษาการในตำแหน่ง

ผู้ตรวจสอบ

ดร.ธนศ

(ดร.บริสุทธิ์ จันทร์วงศ์ไพศาล)

ผู้อำนวยการ ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

วันที่ 27 มีนาคม 2558

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
 ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๓๕ หมู่ ๓ ตำบลในธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐
 โทร. (๐๒) ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๙
 E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-ETD-21



คำขอรับบริการที่ ฝทพ. 110/58

ที่ ฝทพ.พ. 304-03/58

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม

สำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (RDG 5750049)

การทดสอบ / วิเคราะห์ เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม เปลือกถั่วเหลืองขนาด 3 มิลลิเมตร

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุณหภูมิ - °C ความชื้นสัมพัทธ์ - %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	6.1	-
สารระเหย, %	74.1	78.9
ถ่านคงตัว, %	14.3	15.3
เถ้า, %	5.5	5.8
ค่าความร้อน, กิโลแคลอรี/กก.	3,980	4,250

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

1. 
2. ท้าวพงษ์ พงษ์พงษ์

ผู้รับรอง



(ดร.ชนันต์ อุตศิริธรรม)

รักษาการผู้อำนวยการ

ผู้ตรวจสอบ

นพ. จิน
(ดร.บริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล)

ผู้อำนวยการ ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

วันที่ 27 มีนาคม 2558

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๓๕ หมู่ ๓ เขตอินทนนท์ ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐
โทร. (๒๖) ๐ ๒๕๔๗ ๕๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๔๗ ๕๐๐๕
E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-ETD-21



คำขอบริการที่ ศพพ. 110/58

ที่ ศพพ.พ. 312-03/58

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม

สำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (RDG 5750049)

การทดสอบ / วิเคราะห์ เปลือกถั่วเหลือง ขนาด 40 Mesh

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุณหภูมิ - °C ความชื้นสัมพัทธ์ - %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	9.7	-
สารระเหย, %	73.2	79.0
ถ่านคงตัว, %	13.5	14.1
เถ้า, %	6.9	7.4
ค่าความร้อน, กิโลแคลอรี/กก.	3,970	4,250

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

1. ดร.ธนศ อภิธรรม
2. ท้าวพงษ์ พงษ์เพชร

ผู้รับรอง



(ดร.ธนศ อภิธรรม)

รักษาการในตำแหน่ง

ผู้ตรวจสอบ

ดร.ธนศ
(ดร.บริสุทธิ์ จันทร์วงศ์ไพศาล)

ผู้อำนวยการ ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

วันที่ 27 มีนาคม 2558

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๓๕ หมู่ ๓ ถนนพหลโยธิน ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐
โทร. (๐๒) ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๙
E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-ETD-21



คำขอบริการที่ ศพพ. 110/58

ที่ ศพพ.พ. 313-03/58

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม

สำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (RDG 5750049)

การทดสอบ / วิเคราะห์ เปลือกถั่วเหลือง ขนาด 60 Mesh

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุณหภูมิ - °C ความชื้นสัมพัทธ์ - %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	9.7	-
สารระเหย, %	73.4	78.0
ถ่านคงตัว, %	11.5	12.2
เถ้า, %	6.1	6.8
ค่าความร้อน, กิโลแคลอรี/กก.	3,890	4,260

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

1. ดร. ธเนศ อภิธรรม
2. ท้าวพงษ์ พงษ์เพชร

ผู้รับรอง



(ดร.ธเนศ อภิธรรม)

รักษาการในตำแหน่ง

ผู้ตรวจสอบ

ดร. ธเนศ
(ดร.บริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล)

ผู้อำนวยการ ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

วันที่ 27 มีนาคม 2558

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๓๕ หมู่ ๓ ถนนพหลโยธิน ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐
โทร. (๐๒) ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๙
E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-ETD-21



คำขอรับบริการที่ ศทพ. 110/58

ที่ ศทพ.พ. 314-03/58

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม

สำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (RDG 5750049)

การทดสอบ / วิเคราะห์ เปลือกถั่วเหลือง ขนาด 80 Mesh

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุณหภูมิ - °C ความชื้นสัมพัทธ์ - %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	9.6	-
สารระเหย, %	72.0	80.3
ถ่านคงตัว, %	10.7	12.0
เถ้า, %	5.5	5.8
ค่าความร้อน, กิโลแคลอรี/กก.	4,300	4,280

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

1. ดร.ธนศ อภิธรรม
2. ท้าวพงษ์ พงษ์เพชร

ผู้รับรอง



(ดร.ธนศ อภิธรรม)

รักษาการในตำแหน่ง

ผู้ตรวจสอบ

ดร.ธนศ
(ดร.บริสุทธิ์ จันทร์วงศ์ไพศาล)

ผู้อำนวยการ ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

วันที่ 27 มีนาคม 2558

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๓๕ หมู่ ๓ ตำบลในธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐
โทร. (๐๒) ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๙
E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-ETD-21



คำขอบริการที่ ผทพ. 128/58

ที่ ผทพ.นป. 412-04/58

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม

สำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (RDG 5750049)

การทดสอบ / วิเคราะห์ เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม

ซีเมนต์ขนาด 3 มิลลิเมตร

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and 5865

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุณหภูมิ - °C ความชื้นสัมพัทธ์ - %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพนำหนักแห้ง
ความชื้น, %	9.2	-
สารระเหย, %	74.0	81.5
ถ่านคงตัว, %	15.6	17.2
เถ้า, %	1.2	1.3
ค่าความร้อน, กิโลแคลอรี/กก.	4,220	4,650

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

- 1.
2. _____

ผู้รับรอง



(ดร.ธนศักดิ์ อัครธรรม)
รักษาการในตำแหน่ง

ผู้ตรวจสอบ

(ดร.บริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล)

ผู้อำนวยการ ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

วันที่ 6 พฤษภาคม 2558

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น

ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๓๕ หมู่ ๓ เขตในธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐
โทร: (๒๖) ๐ ๒๕๓๙ ๙๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๓๙ ๙๐๐๙
E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-ETD-21



คำขอบริการที่ ผทพ. 128/58

ที่ ผทพ.พ. 412-04/58

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม
สำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (RDG 5750049)

การทดสอบ / วิเคราะห์ เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม

ขี้เถียนขนาด 40 Mesh

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and 5865

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุณหภูมิ - °C ความชื้นสัมพัทธ์ - %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	9.5	-
สารระเหย, %	77.9	81.5
ถ่านคงตัว, %	15.7	17.2
เถ้า, %	1.1	1.3
ค่าความร้อน, กิโลแคลอรี/กก.	4,280	4,650

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

1.

2. _____

ผู้รับรอง



(ดร.ชนันท์ อุตสาหกรรม)

รักษากรณีในตำแหน่ง

ผู้ตรวจสอบ

(ดร.บริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล)

ผู้อำนวยการ ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

วันที่ 6 พฤษภาคม 2558

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น

ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๓๕ หมู่ ๓ เขตในธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐
โทร: (๖๖) ๐ ๒๕๓๙ ๙๐๐๐ โทรสาร: ๐ ๒๕๓๙ ๙๐๐๙
E-mail: tistr@tistr.or.th Website: www.tistr.or.th

FM-ETD-21



คำขอบริการที่ ศพพ. 110/58

ที่ ศพพ.พ. 305-03/58

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม

สำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (RDG 5750049)

การทดสอบ / วิเคราะห์ ขี้เลื่อย ขนาด 60 Mesh

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุณหภูมิ - °C ความชื้นสัมพัทธ์ - %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	8.8	-
สารระเหย, %	75.6	81.4
ถ่านคงตัว, %	15.3	16.3
เถ้า, %	1.2	1.3
ค่าความร้อน, กิโลแคลอรี/กก.	4,470	4,660

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

1. ดร.ธนศ อภิธรรม
2. ท้าวพงษ์ พงษ์เพชร

ผู้รับรอง



(ดร.ธนศ อภิธรรม)

รักษาการในตำแหน่ง

ผู้ตรวจสอบ

ดร.ธน
(ดร.บริสุทธิ์ จันทร์วงศ์ไพศาล)

ผู้อำนวยการ ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

วันที่ 27 มีนาคม 2558

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๓๕ หมู่ ๓ ถนนพหลโยธิน ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐
โทร. (๐๒) ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๙
E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-ETD-21



คำขอปรึการที่ ผทพ. 110/58

ที่ ผทพ.พ. 306-03/58

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรม

สำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (RDG 5750049)

การทดสอบ / วิเคราะห์ ซึ่เลื่อย ขนาด 80 Mesh

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุณหภูมิ - °C ความชื้นสัมพัทธ์ - %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	8.6	-
สารระเหย, %	76.9	81.1
ถ่านคงตัว, %	15.1	16.6
เถ้า, %	1.1	1.2
ค่าความร้อน, กิโลแคลอรี/กก.	4,510	4,700

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

1. 15-02
2. ท้าวพงษ์ พงษ์เจริญ

ผู้รับรอง



(ดร.ธเนศ ยุกตธรรม)

วว.
รักษาราชการในตำแหน่ง

ผู้ตรวจสอบ

น.ว. ช.ว.
(ดร.บริสุทธิ์ จันทร์วงศ์ไพศาล)

ผู้อำนวยการ ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

วันที่ 27 มีนาคม 2558

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๓๕ หมู่ ๓ เขตในธานี คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐
โทร. (๐๒) ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๔๙ ๙๐๐๙
E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-ETD-21

ตารางที่ ค.4 Specifications of wood pellets for non-industrial use (prEN 14961-2 status July 2009)

Property class	Unit	A1	A2	B
Origin and source ^a		1.1.3 Stemwood 1.2.1 Chemically untreated wood residues	1.1.1 Whole trees without roots 1.1.3 Stemwood 1.1.4 Logging residues 1.1.6 Bark 1.2.1 Chemically untreated wood residues	1.1. Forest, plantation and other virgin wood 1.2. By-products and residues from wood processing industry 1.3 Used wood
Diameter, D and Length L	mm	$D06\ 6 \pm 1;^a$ $3,15 \leq L \leq 40^b$ $D08\ 8 \pm 1;^a$ $3,15 \leq L \leq 40^b$	$D06\ 6 \pm 1;^a$ $3,15 \leq L \leq 40$ $D08\ 8 \pm 1;^a$ $3,15 \leq L \leq 40^b$	$D06\ 6 \pm 1;^a$ $3,15 \leq L \leq 40^b$ $D08\ 8 \pm 1;^a$ $3,15 \leq L \leq 40^b$
Moisture, M	as received, w-%	$M10 \leq 10$	$M10 \leq 10$	$M10 \leq 10$
Ash, A	w-% dry	$A0.5 \leq 0,5;^a$ $A0.7 \leq 0,7;^a$	$A1.0 \leq 1,0$	$A3.0 \leq 3,0$
Mechanical durability, DU	as received, w-%	$DU97.5 \geq 97,5$	$DU97.5 \geq 97,5$	$DU97.5 \geq 97,5$
Fines at factory gate in bulk transport (at the time of loading) and in large sacks (at time of packing), F	w-%	$F1.0 \leq 1,0$	$F1.0 \leq 1,0$	$F1.0 \leq 1,0$
Fines in small bags at factory gate (at the time of packing), F		$F0.5 \leq 0,5$	$F0.5 \leq 0,5$	$F0.5 \leq 0,5$
Fines in small bags, up to 20 kg, when delivered to end-user, F		$F1.0 \leq 1,0$	$F1.0 \leq 1,0$	$F1.0 \leq 1,0$
Additives ^c	w-%	Type and amount to be stated	Type and amount to be stated	Type and amount to be stated
Net calorific value, Q	as received, MJ/kg or kWh/kg	$Q16.5 \geq 16,5$ or $Q4.6 \geq 4,6$	$Q16.5 \geq 16,5$ or $Q4.6 \geq 4,6$	$Q16.0 \geq 16,0$ or $Q4.4 \geq 4,4$
Bulk density, BD	kg/m ³	$BD600 \geq 600$	$BD600 \geq 600$	$BD600 \geq 600$
Nitrogen, N	w-% dry	$N0.3 \leq 0,3$	$N0.5 \leq 0,5$	$N1.0 \leq 1,0$
Sulphur, S	w-% dry	$S0.05 \leq 0,05$	$S0.05 \leq 0,05$	$S0.05 \leq 0,05$
Chlorine, Cl	w-% dry	$Cl0.02 \leq 0,02$	$Cl0.03 \leq 0,03$	$Cl0.03 \leq 0,03$
Arsenic, As	mg/kg dry	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Cadmium, Cd	mg/kg dry	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$
Chromium, Cr	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Copper, Cu	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Lead, Pb	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Mercury, Hg	mg/kg dry	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$
Nickel, Ni	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zinc, Zn	mg/kg dry	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Ash melting behaviour, DT ^d	°C	$DT1200 \geq 1200$	$DT1100 \geq 1100$	$DT1100 \geq 1100$

ภาคผนวก ค
ผลการทดสอบสถิติ

1. การทดสอบความหนาแน่นเม็ด

โดยนำผลการทดสอบความหนาแน่นเม็ดดังตารางที่ ข.1 มาทำการทดสอบทางสถิติว่ามีค่าไม่ต่างกันที่ขนาดอนุภาคที่ต่างกันหรือไม่

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_a \\ H_1 : \mu_i \neq \mu_j \end{aligned}$$

สมมติฐาน

1.1 ความหนาแน่นเม็ดของฟางข้าว

One-way ANOVA: Pellet density versus Particle Size

Source	DF	SS	MS	F	P
Particle Size	1	9362	9362	1.67	0.266
Error	4	22402	5601		
Total	5	31764			

S = 74.84 R-Sq = 29.47% R-Sq(adj) = 11.84%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
60	3	1221.0	46.4	(-----*-----)
80	3	1142.0	95.1	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
1040 1120 1200 1280

Pooled StDev = 74.8

Grouping Information Using Tukey Method

Particle Size	N	Mean	Grouping
60	3	1221.00	A
80	3	1142.00	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Particle Size

Individual confidence level = 95.00%

Particle Size = 60 subtracted from:

Particle Size	Lower	Center	Upper	
80	-248.65	-79.00	90.65	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
-240 -120 0 120

Individual Value Plot of Pellet density vs Particle Size

Boxplot of Pellet density

Residual Plots for Pellet density of rice straw

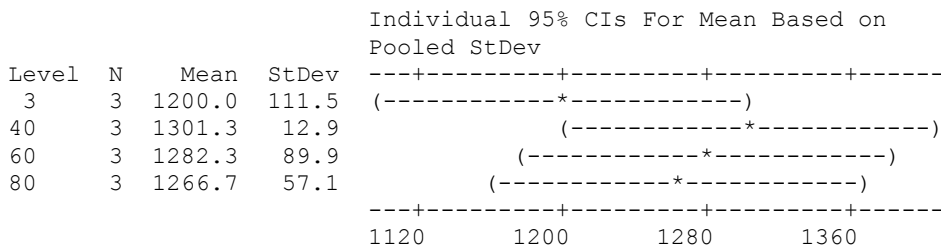
จากผลการทดสอบพบว่า ค่า P-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ($0.266 > 0.05$) :ซึ่งหมายความว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 กล่าวคือความหนาแน่นเม็ดของเม็ดฟางข้าวที่อัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาคต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05

1.2 ความหนาแน่นเม็ดของเปลือกถั่วเหลือง

One-way ANOVA: Pellet density versus Particle Size

Source	DF	SS	MS	F	P
Particle Size	3	17475	5825	0.97	0.452
Error	8	47872	5984		
Total	11	65347			

S = 77.36 R-Sq = 26.74% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 77.4

Grouping Information Using Tukey Method

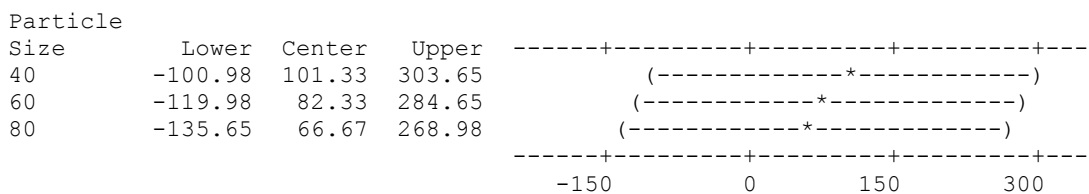
Particle Size	N	Mean	Grouping
40	3	1301.33	A
60	3	1282.33	A
80	3	1266.67	A
3	3	1200.00	A

Means that do not share a letter are significantly different.

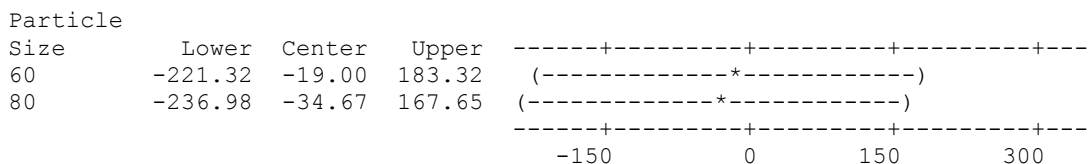
Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Particle Size

Individual confidence level = 98.74%

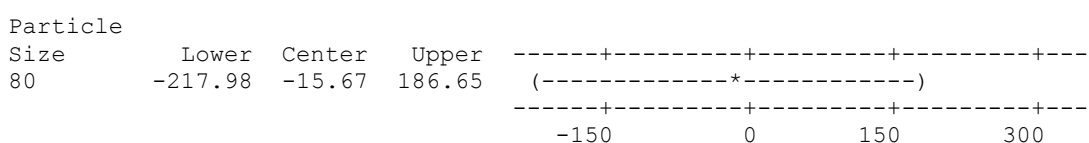
Particle Size = 3 subtracted from:



Particle Size = 40 subtracted from:



Particle Size = 60 subtracted from:



Individual Value Plot of Pellet density vs Particle Size
Boxplot of Pellet density
Residual Plots for Pellet density of soybean hull

จากผลการทดสอบพบว่า ค่า P-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ($0.452 > 0.05$) :ซึ่งหมายความว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 กล่าวคือความหนาแน่นเม็ดของเม็ดเปลือกถั่วเหลืองที่อัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาคต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05

1.3 ความหนาแน่นเม็ดของซีเลื่อย

One-way ANOVA: Pellet density versus Particle Size

Source	DF	SS	MS	F	P
Particle Size	3	32631	10877	1.53	0.281
Error	8	57052	7132		
Total	11	89683			

S = 84.45 R-Sq = 36.38% R-Sq(adj) = 12.53%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
3	3	1098.0	96.5	(-----*-----)
40	3	1217.3	17.5	(-----*-----)
60	3	1232.7	67.6	(-----*-----)
80	3	1179.7	119.8	(-----*-----)

1000 1100 1200 1300

Pooled StDev = 84.4

Grouping Information Using Tukey Method

Particle Size	N	Mean	Grouping
60	3	1232.67	A
40	3	1217.33	A
80	3	1179.67	A
3	3	1098.00	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
 All Pairwise Comparisons among Levels of Particle Size

Individual confidence level = 98.74%

Particle Size = 3 subtracted from:

Particle Size	Lower	Center	Upper	-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----
40	-101.53	119.33	340.20	(-----*-----)
60	-86.20	134.67	355.53	(-----*-----)
80	-139.20	81.67	302.53	(-----*-----)

-160 0 160 320

Particle Size = 40 subtracted from:

Particle Size	Lower	Center	Upper	-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----
60	-205.53	15.33	236.20	(-----*-----)
80	-258.53	-37.67	183.20	(-----*-----)

-160 0 160 320

Particle Size = 60 subtracted from:

Particle Size	Lower	Center	Upper	
80	-273.87	-53.00	167.87	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				-160 0 160 320

Individual Value Plot of Pellet density vs Particle Size

Boxplot of Pellet density

Residual Plots for Pellet density of sawdust

จากผลการทดสอบพบว่า ค่า P-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ($0.281 > 0.05$) :ซึ่งหมายความว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 กล่าวคือความหนาแน่นเม็ดของเม็ดขี้เลื่อยที่อัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาคต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05

1.4 ความหนาแน่นเม็ดของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด ที่อัดขึ้นรูปที่ขนาดอนุภาค 80 Mesh

One-way ANOVA: Pellet density versus Particle Size

Source	DF	SS	MS	F	P
Particle Size	3	114330	38110	5.71	0.022
Error	8	53426	6678		
Total	11	167756			

S = 81.72 R-Sq = 68.15% R-Sq(adj) = 56.21%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
ขี้เลื่อย	3	1179.7	119.8	(-----*-----)
ขังข้าวโพด	3	996.3	7.6	(-----*-----)
เปลือกถั่วเหลือง	3	1266.7	57.1	(-----*-----)
ฟางข้าว	3	1142.0	95.1	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				900 1050 1200 1350

Pooled StDev = 81.7

Grouping Information Using Tukey Method

Particle Size	N	Mean	Grouping
เปลือกถั่วเหลือง	3	1266.67	A
ขี้เลื่อย	3	1179.67	A B
ฟางข้าว	3	1142.00	A B
ขังข้าวโพด	3	996.33	B

Means that do not share a letter are significantly different.

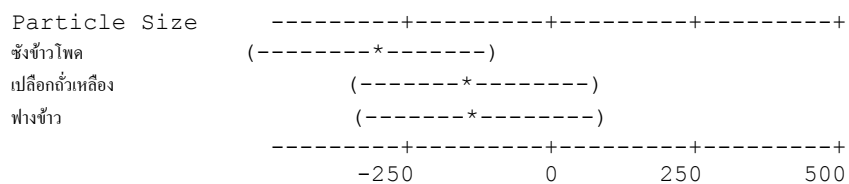
Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals

All Pairwise Comparisons among Levels of Particle Size

Individual confidence level = 98.74%

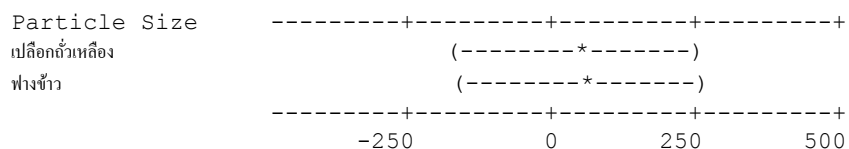
Particle Size = ขี้เลื่อย subtracted from:

Particle Size	Lower	Center	Upper
ขังข้าวโพด	-397.07	-183.33	30.40
เปลือกถั่วเหลือง	-126.73	87.00	300.73
ฟางข้าว	-251.40	-37.67	176.07



Particle Size = Zhongxiao Po subtracted from:

Particle Size	Lower	Center	Upper
เปลือกถั่วเหลือง	56.60	270.33	484.07
ฟางข้าว	-68.07	145.67	359.40



Particle Size = Pellet density subtracted from:

Particle Size	Lower	Center	Upper
ฟางข้าว	-338.40	-124.67	89.07

Individual Value Plot of Pellet density vs Particle Size

Boxplot of Pellet density

Residual Plots for Pellet density

จากผลการทดสอบพบว่า ค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ($0.022 < 0.05$) :ซึ่งหมายความว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 กล่าวคือความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05

2. การทดสอบความหนาแน่นรวม

โดยนำผลการทดสอบความหนาแน่นรวมดังตารางที่ ข.2 มาทำการทดสอบทางสถิติว่ามีค่าไม่ต่างกันที่ขนาดอนุภาคที่ต่างกันหรือไม่

$$\begin{aligned} \text{สมมติฐาน} \quad H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_a \\ H_1 : \mu_i \neq \mu_j \end{aligned}$$

2.1 ความหนาแน่นรวมของเม็ดฟางข้าว

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	130.7	130.7	1.88	0.242
Error	4	277.3	69.3		
Total	5	408.0			

S = 8.327 R-Sq = 32.03% R-Sq(adj) = 15.03%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev	
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----	
60	3	618.33	4.73	(-----*-----)	
80	3	627.67	10.79	(-----*-----)	
				-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----	
				610 620 630 640	

Pooled StDev = 8.33

Grouping Information Using Tukey Method

C1	N	Mean	Grouping
80	3	627.667	A
60	3	618.333	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of C1

Individual confidence level = 95.00%

C1 = 60 subtracted from:

C1	Lower	Center	Upper	-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----
80	-9.543	9.333	28.210	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----
				-12 0 12 24

Individual Value Plot of C2 vs C1

Boxplot of C2

Residual Plots for C2

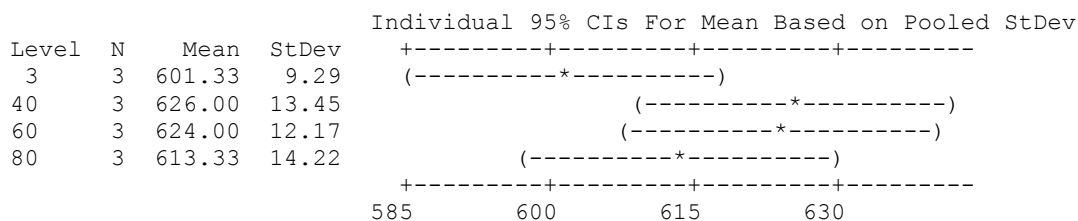
จากผลการทดสอบพบว่า ค่า P-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ($0.242 > 0.05$) :ซึ่งหมายความว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 กล่าวคือความหนาแน่นรวมของเม็ดฟางข้าวที่อัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาคต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05

2.2 ความหนาแน่นรวมของเม็ดเปลือกถั่วเหลือง

One-way ANOVA: Durability versus Particle Size

Source	DF	SS	MS	F	P
Particle Size	3	1158	386	2.50	0.133
Error	8	1235	154		
Total	11	2394			

S = 12.43 R-Sq = 48.39% R-Sq(adj) = 29.04%



Pooled StDev = 12.43

Grouping Information Using Tukey Method

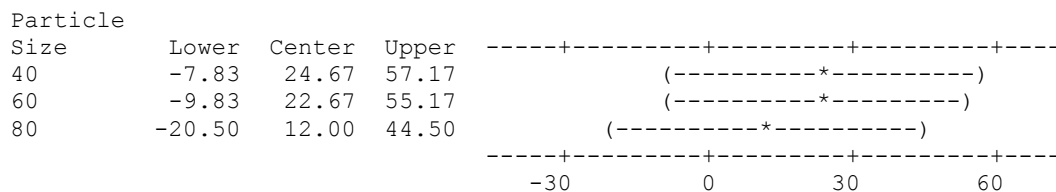
Particle Size	N	Mean	Grouping
40	3	626.00	A
60	3	624.00	A
80	3	613.33	A
3	3	601.33	A

Means that do not share a letter are significantly different.

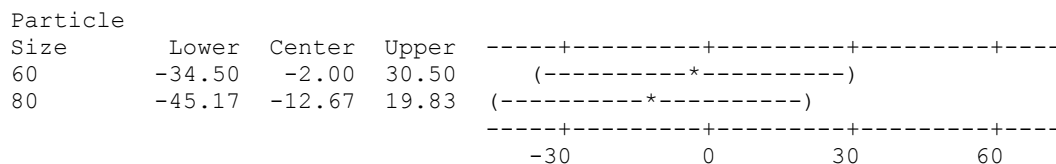
Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Particle Size

Individual confidence level = 98.74%

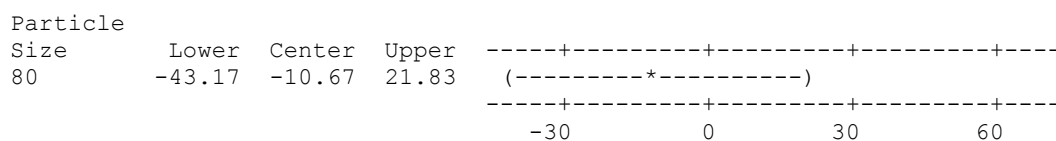
Particle Size = 3 subtracted from:



Particle Size = 40 subtracted from:



Particle Size = 60 subtracted from:



Individual Value Plot of Durability vs Particle Size

Boxplot of Durability

Residual Plots for Durability

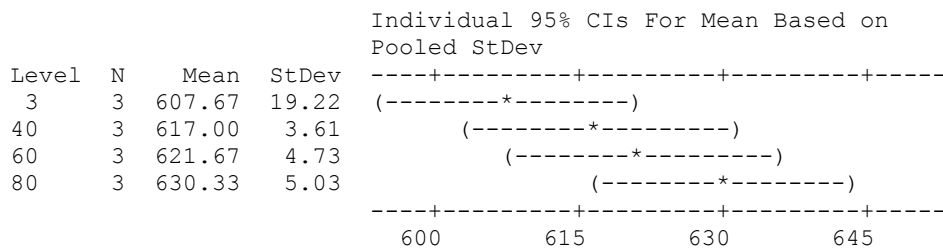
จากผลการทดสอบพบว่า ค่า P-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ($0.133 > 0.05$) :ซึ่งหมายความว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 กล่าวคือความหนาแน่นรวมของเม็ดเปลือกกล้วยเหลืองที่อัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาคต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05

2.3 ความหนาแน่นรวมของเม็ดซีลี้อย

One-way ANOVA: Durability versus Particle Size

Source	DF	SS	MS	F	P
Particle Size	3	804	268	2.49	0.134
Error	8	860	108		
Total	11	1664			

S = 10.37 R-Sq = 48.31% R-Sq(adj) = 28.92%



Pooled StDev = 10.37

Grouping Information Using Tukey Method

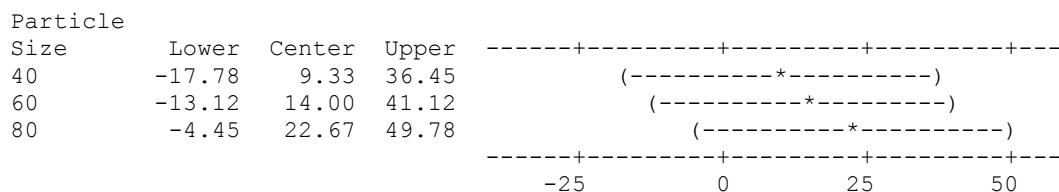
Particle Size	N	Mean	Grouping
80	3	630.33	A
60	3	621.67	A
40	3	617.00	A
3	3	607.67	A

Means that do not share a letter are significantly different.

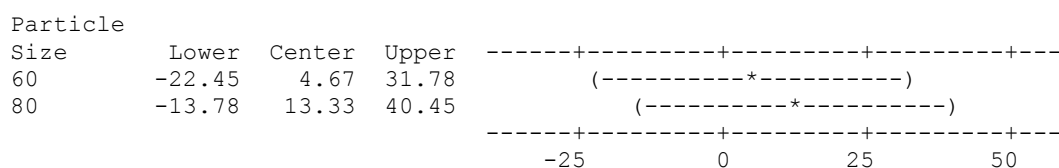
Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Particle Size

Individual confidence level = 98.74%

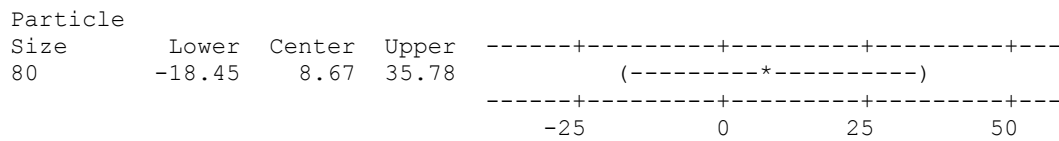
Particle Size = 3 subtracted from:



Particle Size = 40 subtracted from:



Particle Size = 60 subtracted from:



Individual Value Plot of Durability vs Particle Size

Boxplot of Durability

Residual Plots for Durability

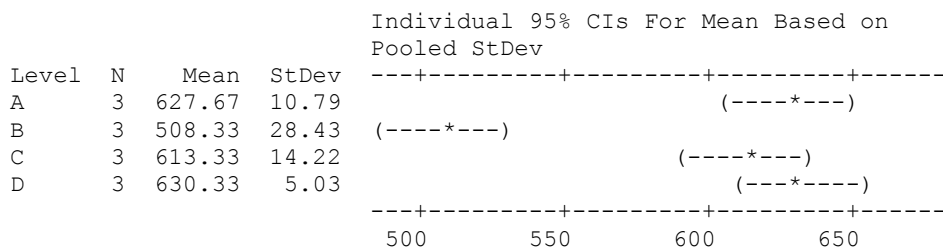
จากผลการทดสอบพบว่า ค่า P-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ($0.134 > 0.05$) :ซึ่งหมายความว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 กล่าวคือความหนาแน่นรวมของเม็ดซีเมนต์ที่อัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาคต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05

2.4 ความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด ที่อัดขึ้นรูปที่ขนาดอนุภาค 80 Mesh

One-way ANOVA: Durability versus Material type

Source	DF	SS	MS	F	P
Material type	3	30488	10163	35.28	0.000
Error	8	2305	288		
Total	11	32793			

S = 16.97 R-Sq = 92.97% R-Sq(adj) = 90.34%



Pooled StDev = 16.97

Grouping Information Using Tukey Method

Material type	N	Mean	Grouping
D	3	630.33	A
A	3	627.67	A
C	3	613.33	A
B	3	508.33	B

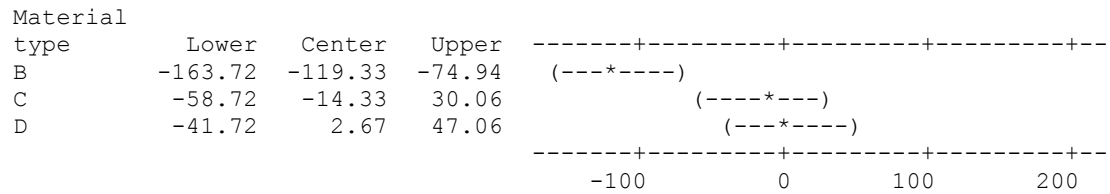
Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals

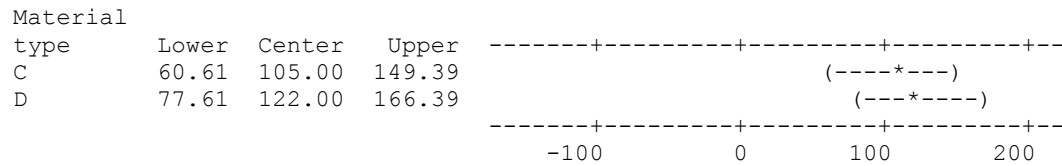
All Pairwise Comparisons among Levels of Material type

Individual confidence level = 98.74%

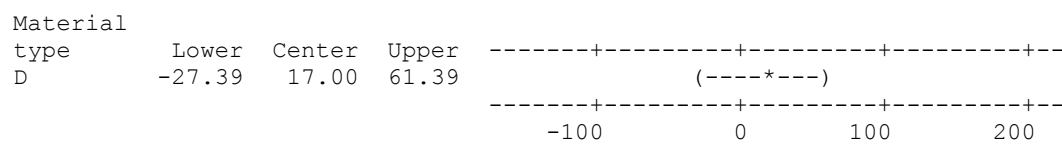
Material type = A subtracted from:



Material type = B subtracted from:



Material type = C subtracted from:



Individual Value Plot of Durability vs Material type

Boxplot of Durability

Residual Plots for Durability

จากการทดสอบพบว่า ค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ($0.000 < 0.05$) :ซึ่งหมายความว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 กล่าวคือความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05

3. การทดสอบความทนทาน

โดยนำผลการทดสอบความทนทานดังตารางที่ ข.3 มาทำการทดสอบทางสถิติว่ามีค่าไม่ต่างกันที่ขนาดอนุภาคที่ต่างกันหรือไม่

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_a \\ H_1 : \mu_i \neq \mu_j \end{aligned}$$

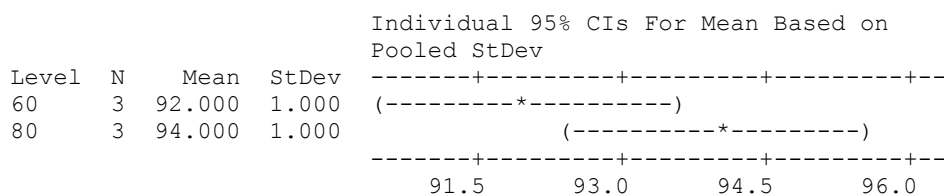
สมมติฐาน

3.1 ความทนทานของเม็ดฟางข้าว

One-way ANOVA: Durability versus Particle Size

Source	DF	SS	MS	F	P
Particle Size	1	6.00	6.00	6.00	0.070
Error	4	4.00	1.00		
Total	5	10.00			

S = 1 R-Sq = 60.00% R-Sq(adj) = 50.00%



Pooled StDev = 1.000

Grouping Information Using Tukey Method

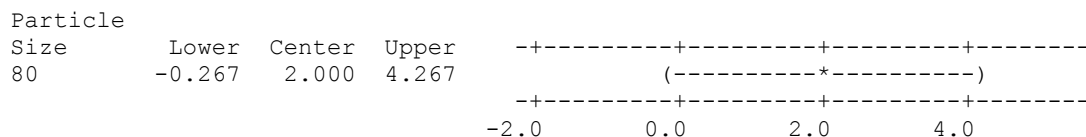
Particle Size	N	Mean	Grouping
80	3	94.000	A
60	3	92.000	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Particle Size

Individual confidence level = 95.00%

Particle Size = 60 subtracted from:



Individual Value Plot of Durability vs Particle Size

Boxplot of Durability

Residual Plots for Durability

จากผลการทดสอบพบว่า ค่า P-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ($0.070 > 0.05$) :ซึ่งหมายความว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 กล่าวคือความทนทานของเม็ดฟางข้าวที่อัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาคต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05

Boxplot of Durability

Residual Plots for Durability

จากผลการทดสอบพบว่า ค่า P-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ($0.225 > 0.05$) :ซึ่งหมายความว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 กล่าวคือความทนทานของเม็ดเปลือกถั่วเหลืองที่อัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาคต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05

3.3 ความทนทานของเม็ดขี้เลื่อย

One-way ANOVA: Durability versus Particle Size

Source	DF	SS	MS	F	P
Particle Size	3	28.67	9.56	6.75	0.014
Error	8	11.33	1.42		
Total	11	40.00			

S = 1.190 R-Sq = 71.67% R-Sq(adj) = 61.04%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----			
3	3	94.667	1.528	(-----*-----)			
40	3	98.000	1.000	(-----*-----)			
60	3	97.000	1.000	(-----*-----)			
80	3	94.333	1.155	(-----*-----)			
				-----+-----+-----+-----+-----			
				94.0	96.0	98.0	100.0

Pooled StDev = 1.190

Grouping Information Using Tukey Method

Particle Size	N	Mean	Grouping
40	3	98.000	A
60	3	97.000	A B
3	3	94.667	B
80	3	94.333	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Particle Size

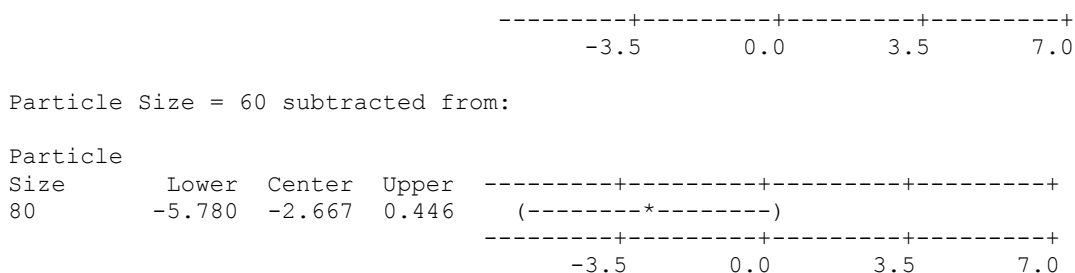
Individual confidence level = 98.74%

Particle Size = 3 subtracted from:

Particle Size	Lower	Center	Upper	-----+-----+-----+-----+-----
40	0.220	3.333	6.446	(-----*-----)
60	-0.780	2.333	5.446	(-----*-----)
80	-3.446	-0.333	2.780	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				-3.5 0.0 3.5 7.0

Particle Size = 40 subtracted from:

Particle Size	Lower	Center	Upper	-----+-----+-----+-----+-----
60	-4.113	-1.000	2.113	(-----*-----)
80	-6.780	-3.667	-0.554	(-----*-----)



Individual Value Plot of Durability vs Particle Size

Boxplot of Durability

Residual Plots for Durability

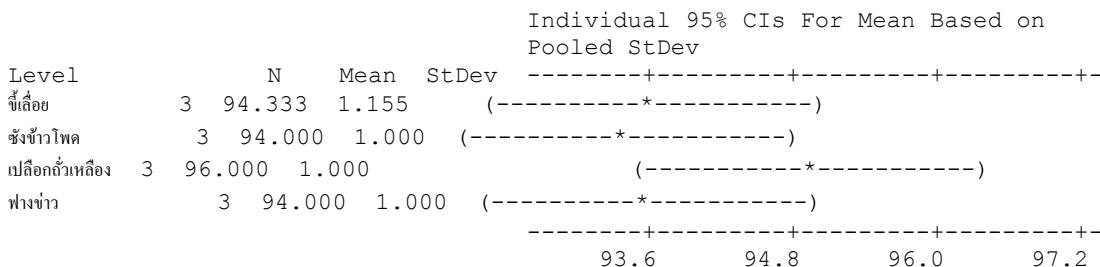
จากผลการทดสอบพบว่า ค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ($0.014 > 0.05$) :ซึ่งหมายความว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 กล่าวคือความทนทานของเม็ดซีเมนต์ที่อัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาคต่างๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05

3.4 ความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด ที่อัดขึ้นรูปที่ขนาดอนุภาค 80 Mesh

One-way ANOVA: Durability versus Material type

Source	DF	SS	MS	F	P
Material type	3	8.25	2.75	2.54	0.130
Error	8	8.67	1.08		
Total	11	16.92			

S = 1.041 R-Sq = 48.77% R-Sq(adj) = 29.56%



Pooled StDev = 1.041

Grouping Information Using Tukey Method

Material type	N	Mean	Grouping
เปลือกถั่วเหลือง	3	96.000	A
ซีเมนต์	3	94.333	A
ฟางข้าว	3	94.000	A
ช้างขาวโพด	3	94.000	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Material type

Individual confidence level = 98.74%

Material type = ซีเมนต์ subtracted from:

Material type	Lower	Center	Upper
ซังข้าวโพด	-3.056	-0.333	2.389
เปลือกถั่วเหลือง	-1.056	1.667	4.389
ฟางข้าว	-3.056	-0.333	2.389

Material type	-----+-----+-----+-----+
ซังข้าวโพด	(-----*-----)
เปลือกถั่วเหลือง	(-----*-----)
ฟางข้าว	(-----*-----)
	-----+-----+-----+-----+
	-2.5 0.0 2.5 5.0

Material type = ซังข้าวโพด subtracted from:

Material type	Lower	Center	Upper
เปลือกถั่วเหลือง	-0.722	2.000	4.722
ฟางข้าว	-2.722	0.000	2.722

Material type	-----+-----+-----+-----+
เปลือกถั่วเหลือง	(-----*-----)
ฟางข้าว	(-----*-----)
	-----+-----+-----+-----+
	-2.5 0.0 2.5 5.0

Material type = เปลือกถั่วเหลือง subtracted from:

Material type	Lower	Center	Upper	-----+-----+-----+-----+
ฟางข้าว	-4.722	-2.000	0.722	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+
				-2.5 0.0 2.5 5.0

Individual Value Plot of Durability vs Material type

Boxplot of Durability

Residual Plots for Durability

จากผลการทดสอบพบว่า ค่า P-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ($0.130 > 0.05$) :ซึ่งหมายความว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 กล่าวคือความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05

ภาคผนวก ง

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ และกิจกรรมที่วางแผนไว้

ตารางที่ ง.1 เปรียบเทียบวัตถุประสงค์ และกิจกรรมที่วางแผนไว้

ระยะ เวลา	กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ	ผลสำเร็จ (%)	ผลที่ได้
เดือน 1-2	- เก็บข้อมูลฟางข้าว, ช้างข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง และขี้เลื่อย ตามแหล่งพื้นที่เกษตรกรรมเป้าหมาย ศึกษาส่วนผสมทางเคมีของชีวมวล ศึกษากระบวนการบดย่อยและคัดขนาดของผงอนุภาคตามมาตรฐาน	100 (%)	- ได้ข้อมูลอ้างอิงเกี่ยวกับฟางข้าว, ช้างข้าวโพด, เปลือกถั่วเหลือง, ขี้เลื่อย และกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย
เดือน 3-6	- ออกแบบกระบวนการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิง ชีวมวล และเขียนแบบดาเยนอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล - จัดเตรียมวัสดุ และดำเนินการสร้างดาเยนอัดเม็ดเชื้อเพลิงที่อัดเม็ด - ทดลองอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล และออกแบบการทดลองเม็ดเชื้อเพลิงที่อัดได้	100 (%)	- ได้ชุดดาเยนอัดสำหรับอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร - ได้เม็ดเชื้อเพลิงจากฟางข้าว ช้างข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และขี้เลื่อย ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ความยาว 20-40 มิลลิเมตร
เดือน 7-12	- ดำเนินการทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพ เชิงกล และสมบัติทาง ด้านความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิง ชีวมวล - วิเคราะห์ผลการทดสอบ และสรุปผลการทดลอง - เผยแพร่ผลงานวิจัย โดยการจัดสัมมนาให้กับกลุ่มเป้าหมาย และดำเนินการจัดทำบทความวิชาการเพื่อเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการ/วารสารทาง วิชาการ	100 (%)	- ได้ผลการทดสอบคุณสมบัติต่างของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล จากฟางข้าว ช้างข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และขี้เลื่อย - ได้บทสรุปจากการวิเคราะห์ผลการทดลอง - เผยแพร่ผลงานงานวิจัย ในการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบผลงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8

ภาคผนวก จ
การเผยแพร่ผลงานงานวิจัย



การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8

4-6 พฤศจิกายน 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

TRE C 8

บ้านสินทรัพย์
โครงการ 3
ตำบลกาตอง 4 (ตลาดดาวสวน)

SOB
OH BANK
ธนาคารออมสิน

ptt
Group

IRPC
IRPC Public Company Limited

Thunya
Power Co., Ltd.
RMUTT
IRO



9. คณะกรรมการฝ่ายประเมินผล

9.1 ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิชาติ	สนธิสมบัติ	ประธานกรรมการ
9.2 นายพัฒนพงศ์	สุนันทพจน์	กรรมการ
9.3 นายวินัย	จันทร์เพ็ญ	กรรมการและเลขานุการ
9.4 นางสาวอัญชลี	สีมอ	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

10. คณะกรรมการฝ่ายการเงินและบัญชี

10.1 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราชญ์	อัศวรากล	ประธานกรรมการ
10.2 นางสาวเมธีรัฐญา	เจตน์คุณวัฒน์	กรรมการ
10.3 นางสาวกานต์ศรีฐา	โพธิ์ศรี	กรรมการ
10.4 นางสาวนงนุช	เทียมวรรณ	กรรมการ
10.5 นางรัศมีภัส	อัศวรากล	กรรมการ
10.6 นางสาวฐิตาภัสร์	สิทธิอัมพลวุฒิ	กรรมการและเลขานุการ

11. คณะกรรมการพิจารณาบทความ

11.1 ศ.ดร.ทงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
11.2 ศ.ดร.ผดุงศักดิ์	รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
11.3 ศ.ดร.สัมพันธ์	ฤทธิเดช	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
11.4 รศ.ดร.สิงห์ทอง	พัฒนเศรษฐานนท์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
11.5 รศ.ดร.ภรณ์ชนม์	ภูมิภักดิพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.6 ผศ.ดร.เกษตร	หัสโรค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.7 ผศ.ดร.จักรี	ศรีนันทน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.8 ผศ.ดร.เจนศักดิ์	เอกบุรณวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.9 ผศ.ดร.นัฐพร	ไชยญาติ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
11.10 ผศ.ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.11 ผศ.ดร.บุญฤทธิ์	ประสาธแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.12 ผศ.ดร.พัฒนาผล	มีนา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
11.13 ผศ.ดร. ยุทธนา	ทองท้วม	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
11.14 ผศ.ดร.วิรัชชัย	โรยรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.15 ผศ.ดร.วารุณี	อริยวิริยะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.16 ผศ.ดร.สรพงษ์	ภาสุปรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.17 ผศ.ดร.โสรัตน์	มงคลมะไฟ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.18 ผศ.ดร.อำนาจ	เรืองวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.19 ดร.ชาญวิทย์	บุญช่วย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.20 ดร.ธนิต	เรืองรุ่งชัยกุล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
11.21 ดร.ประจวบ	อินระวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
11.22 ดร.ประสพโชค	ให้ทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.23 ดร.พิสิษฐ์	มณีโชติ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
11.24 ดร.มนต์ชัย	พินิจิตรสมุทร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
11.25 ดร.มนตรี	สมตุลยกนก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.26 ดร.รัฐศักดิ์	พรหมมาศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.27 ดร.วิภา	ยงประยูร	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
11.28 ดร.วิเชียร	อุปแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



11.29 ดร.วรจิตต์	เศรษฐพรธรรค์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
11.30 ดร.ศักดิ์ชาย	เพ็ชรตรา	มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
11.31 ดร.ศุภกิจ	วรศิลป์ชัย	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
11.32 ดร.สันติ	ไทยยืนวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.33 ดร.สำเนียง	องสุพันธุ์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
11.34 ดร.สุปิน	หินจันทร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
11.35 ดร.สหัสยา	ทองสาร	มหาวิทยาลัยนเรศวร
11.36 ดร.หทัยทิพย์	นิลสนธิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
11.37 ดร.อนันต์	พงศ์ธรรพพานิช	มหาวิทยาลัยนเรศวร
11.38 ดร.อนุสรณ์	แสงประจักษ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
11.39 ดร.อำพล	อาภาธนากร	สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน)
11.40 ผศ.บุญญูติ	นิยมवास	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
11.41 อาจารย์วรารคม	วงศ์ชัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
11.42 อาจารย์อติศร	ถมยา	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
11.43 อาจารย์พุดพิงค์	เกิดพิพัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

12.คณะกรรมการพิจารณาวัฒนธรรมด้านพลังงานสู่ชุมชน

12.1 คุณโกศล	แสงทอง	ประธานกลุ่มรวมใจตามรอยพ่อ จ.เพชรบุรี
12.2 คุณตรุณพร	กมลพิส	นักวิชาการอิสระ
12.3 คุณพุทธพร	ประवालพฤษ	นักวิชาการอิสระ
12.4 คุณพิสาร	หมื่นไกร	นักวิชาการอิสระ
12.5 คุณวิสูตร	ยังพลจันทร์	นักวิชาการอิสระ
12.6 คุณสุภรณ์	ฤทธิชัย	นักวิชาการอิสระ
12.7 นายวสัน	ดอนชัย	นายก อบต.ท่ามะนาว จ.ลพบุรี

สารบัญ

CF 001	การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลเกษตรกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงผสมดีเซล/ไบโอดีเซล/น้ำ ในรูปอิมัลชัน ศุภกฤษณ์ งามเมือง และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	56-61
CF 002	การศึกษากาการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกโดยเตาแก๊สซิฟิเคอร์แบบไหลลงขนาดเล็ก อธิภัทร ทวีศรี และ สุรัชย์ สนิทใจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	62-65
CF 003	การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ร่วมกับหญ้าข้าวหนวด เพชรรัตน์ ใจบุญ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร	66-68
CF 004	ศักยภาพขยะมูลฝอยเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เจนจิรา เปี่ยมดี และ ชวัญชนก อุสาคี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	69-71
CF 005	การศึกษากาใช้ของใช้ให้จุ่มน้ำส้วมหลังร่วมกับเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง ต่อการเกิดตะกอนเกาะผิวท่อและเก็บท่อในหม้อไอน้ำ พินิจ จิระคกุล, วีรชัย อาจหาญ และ พรธชา ลิบลับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	72-75
CF 007	การสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระเจี๊ยบแดงด้วยการสกัดเย็นเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบผลิตไบโอดีเซล วินัย จันทะเพ็ง และ กฤตภาส หอมระรื่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	76-78
CF 008	การศึกษากาที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเขือเทศ สุนันท์ นวลเพ็ง ^{1,2} , เกศินี สาทรราช ¹ , บุษบากร ดวงบุปผา ¹ , ปรียา แก้วนารี ^{1,2} และ ฤทธิฐาน สุชีวกุล ³ ^{1,2} มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ³ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	79-82
CF 009	การศึกษากาใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรมสำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล สมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล, ฉันททิพ สกุลชมฤทัย และ มณฑิพย์ ล้อสุริยนต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	83-86
CF 010	การออกแบบระบบอบแห้งเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรมเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล มนตรี น่วมจิตร ¹ , อนุชา วัฒนาภา ² และพิสิษฐ์ ศรีน้อย ³ ¹ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ² มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ³ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตกาฬสินธุ์	87-90
CF 011	การออกแบบและสร้างเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยระบบดาเยนซ์อัด ศิริชัย ต่อสกุล ¹ , จงกล สุภารัตน์ ¹ และ นทีชัย ผัสดี ² ¹ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ² มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา	91-94



การศึกษาศักยภาพการใช้เศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรมสำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

The study of application potential of agriculture waste for production biomass fuel pellets

ดร.สมศักดิ์ อธิโสภณกุล^{1*} ดร.ฉันทิพ สุกุลเชมฤทัย² ดร.มนทิพย์ ลือสุริยนต์²

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

¹*Email : somsak.i@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาศักยภาพการใช้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งได้แก่ ฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และซีลี้อย นามผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล โดยแบ่งขนาดอนุภาค 4 ขนาด คือ อนุภาคที่ผ่านการบดย่อยด้วยตะแกรง 3 mm และขนาด 40, 60, 80 Mesh โดยทดลองอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm ความยาว 20-40 mm กำหนดให้ค่าความชื้นก่อนการอัดขึ้นรูปอยู่ระหว่าง 8% - 15% จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทดสอบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและค่าความร้อน ซึ่งผลการทดสอบ พบว่าเม็ดชังข้าวโพดและซีลี้อยมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีที่สุดเมื่อเทียบกับเม็ดเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงและปริมาณซีลี้อยต่ำซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน European Standard DIN EN 14961-2 โดยเม็ดซีลี้อย มีค่าความร้อนสูงถึง 17.68 MJ/kg ปริมาณเถ้า 1.2% และเม็ดชังข้าวโพดมีค่าความร้อนสูงถึง 16.75 MJ/kg ปริมาณเถ้า 2.4% ซึ่งจากผลการทดสอบสมบัติด้านกายภาพและด้านเชื้อเพลิง ฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และซีลี้อย สามารถนำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้ แต่อาจมีสมบัติด้านกายภาพและด้านเชื้อเพลิงต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้เป็นอีกแนวทางหนึ่งของการกำจัดวัสดุเศษพืชเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีประโยชน์และมีประสิทธิภาพ สามารถเพิ่มมูลค่าและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นชุมชน

คำสำคัญ: เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล, ความหนาแน่น, ความทนทาน, ค่าความร้อน และ ปริมาณเถ้า

Abstract

This analysis aims to study the potential of using agricultural waste such as rice straw, corn cob, soybean hulls and sawdust to produce biomass fuel pellets. The particle sizes were separated into 4. First, with 3 mm sieve and then follow by 40, 60, and 80 Mesh. Compression use pellet with 8 mm diameter and 20-40 mm in length with 8%-15% moisture content before compression. Test of physical property and

component of fuel and heat value. The test reveals that corn cob and sawdust have the best fuel property among the 4 raw materials due to high heat value and less ash content according to European Standard DIN EN 14961-2. Sawdust has heat value of 17.68 MJ/kg and ash content of 1.2 %. Corn cob has heat content of 16.75 MJ/kg with ash content of 2.4%. The test of physical and fuel property of rice straw, corn cob, soybean hull, and sawdust reveals that the raw materials can be used for the production of biomass fuel pellets even with slightly less than standard physical and fuel property. This reveals that production of biomass fuel pellet is another alternative in turning agricultural waste into energy. It is an effective and a beneficial way to increase value of the waste and reduce environmental impact within community.

Keywords: pellets, biomass, density, durability, heating value and ash content.

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้เชื้อเพลิงชีวมวลจากพืชเป็นสิ่งที่ต้องการของโลกเป็นอย่างมาก เนื่องจากเชื้อเพลิงจากธรรมชาติได้ดินมีราคาสูงชันอย่างมาก และเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่น ๆ มีต้นทุนที่สูงยากต่อการลงทุนเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจึงเข้ามาเป็นบทบาทสำคัญในการผลิตความร้อนตามบ้านเรือนในประเทศเขตหนาว ใช้ในการผลิตไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าหรือโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีข้อดีคือให้ความร้อนสูงกว่าชีวมวลอย่างอื่น ขนส่งได้สะดวกเนื่องจากมีความหนาแน่นมาก มีเถ้าน้อย รวมทั้งส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก [1] ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีวัตถุดิบหลายชนิดที่สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานชีวมวลโดยทั่วไปสามารถหาได้จากพืชและสัตว์ ตัวอย่างเช่น ไม้ ฟืน แกลบ ต้นอ้อย ชังข้าวโพด ต้นข้าวโพด และมูลสัตว์ต่างๆ รวมไปถึงของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตรและขยะ เช่น ขยะในชุมชน ซีลี้อย เป็นต้น การนำขยะเหล่านี้มาทำการแปรรูปเพื่อ



ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนทั้งในครัวเรือนและอุตสาหกรรมโดยกระบวนการแปรรูปชีวมวลหรือของเหลือใช้ [2] และเนื่องจากพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด และถั่วเหลือง และจากข้อมูลการพยากรณ์ผลผลิตจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้พยากรณ์ผลผลิตข้าวในปี 2555/56 จะมีปริมาณ 28,443,163 ตัน ข้าวโพดจะมีผลผลิต 4,878,530 ตัน และถั่วเหลือง 76,499 ตัน [3] ซึ่งการเก็บเกี่ยวผลผลิตของพืชเศรษฐกิจกลุ่มนี้จะมีเศษเหลือใช้ในอัตราส่วน 1-1.5 ตัน ต่อผลผลิตที่ได้ นั่นหมายถึงว่าชีวมวลเหล่านี้มีปริมาณที่มากเพียงพอต่อการนำมาผลิตใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับการผลิตพลังงานทดแทน ในกระบวนการผลิตพลังงานด้วยชีวมวลที่ได้กล่าวถึง สามารถทำได้โดยการเผาโดยตรงและพบว่าเชื้อเพลิง ชีวมวลจากฟางข้าวมีความร้อนสูงถึง 10.24 MJ/kg ในขณะที่ซึ่งข้าวโพดให้ค่าความร้อนสูงถึง 18.04 MJ/kg และเปลือกถั่วเหลืองมีค่าความร้อนสูงถึง 19.44 MJ/kg [4] ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการศึกษาศักยภาพการใช้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรนำมาผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อเพิ่มมูลค่าและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น

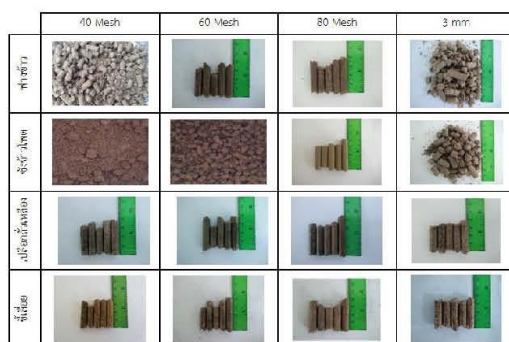
2. การออกแบบและการดำเนินงาน

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัสดุที่ใช้ในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ซึ่งข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง ฟางข้าว และซีเลื่อย ที่ได้จากการลงพื้นที่เก็บตัวอย่างจาก ค่ายบ่อน้ำเลา อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มาทดสอบบดด้วยตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปคัดแยกขนาดด้วยเครื่องแยกเพื่อให้ได้ ขนาดอนุภาคที่ 40, 60 และ 80 Mesh

2.2 การอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

นำวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด ที่ผ่านการบดด้วยตะแกรง 3 มิลลิเมตร และที่ขนาดอนุภาค 40, 60, 80 Mesh มาทำการอัดขึ้นรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ดังรูปที่ 1 โดยกำหนดค่าความชื้นของวัตถุดิบไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ [5]



รูปที่ 2 แสดงเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลหลังการอัดขึ้นรูปด้วยขนาดอนุภาคต่างๆ

3. การทดสอบคุณสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิง

3.1 การทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (Pellet Density)

โดยใช้เครื่องหาความหนาแน่นแบบชั่งวัดลุ่มกับน้ำ นำตัวอย่างมาทำการเคลือบด้วย Petroleum Jelly เพื่อไม่ให้น้ำซึมเข้าไปในตัวอย่าง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักในอากาศ (A) และชั่งในน้ำ (B) จากนั้นคำนวณหาความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ดังสมการที่ 1

$$Q = \frac{A}{A-B} \times d \quad (1)$$

เมื่อ	A	คือ น้ำหนักในอากาศ (g)
	B	คือ น้ำหนักในสารละลาย (g)
	D	คือ ความหนาแน่นของน้ำ (g/cm ³)
	Q	คือ ความหนาแน่น (g/cm ³)

3.2 ทดสอบความหนาแน่นรวม (Bulk density)

โดยนำภาชนะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 78 mm สูง 60 mm ที่มีน้ำหนักไม่เกิน 100 g มาชั่งน้ำหนักและบันทึกผลของภาชนะ จากนั้นใส่เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลลงในภาชนะโดยเทจากความสูง 150 mm จากขอบภาชนะ ทำการเคาะ 5 ครั้งจากความสูง 150 mm เพิ่มเม็ดเชื้อเพลิงลงไป ถ้าเกินจากขอบภาชนะให้เอาก่อน ซึ่งน้ำหนักรวมของภาชนะและเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล จากนั้นคำนวณค่าความหนาแน่นรวม ดังสมการที่ 2

$$\text{Bulk density (kg/m}^3\text{)} = \frac{(\text{weigh of box and sample}) - (\text{weigh of box})}{(\text{volume of box})} \quad (2)$$

3.3 ทดสอบความทนทานเม็ดเชื้อเพลิง (Pellet Durability)

การทดสอบเปอร์เซ็นต์การแตกหัก โดยการนำเม็ดเชื้อเพลิง 500 กรัม ลงในกล่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาด (300 x 300 x 125) มิลลิเมตร ด้านในมีใบกวนขนาด ทดสอบหมุนที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ตามมาตรฐานทดสอบ DIN EN 15210-1 จากนั้นนำมาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 3.15 มิลลิเมตร และนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักหลังการร่อน

3.4 การทดสอบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและค่าความร้อน

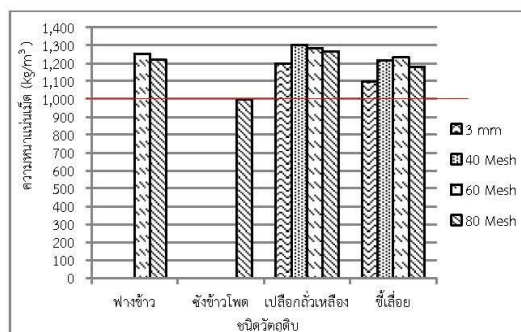
โดยการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 7582 และ ASTM D 5865 ได้รับรองผลการทดลองจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

จากการทดสอบอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลตามตัวแปรที่กำหนด มวลพบว่าไม่สามารถอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงภายใต้ตัวแปรที่กำหนดได้ทุกตัว

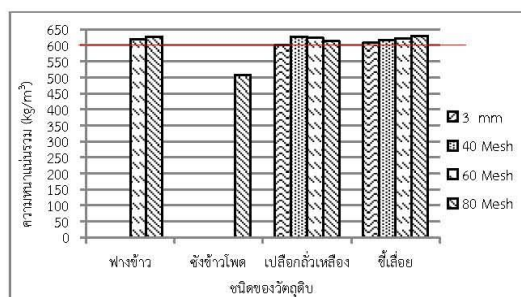


แปรรูปรูปที่ 1 ขนาดผงบดที่ผ่านการบดด้วยตะแกรงขนาด 3 mm ไม่สามารถอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงจากฟางข้าว และซังข้าวโพดได้ ที่ขนาดผงบด 40 Mesh ไม่สามารถอัดขึ้นรูป ฟางข้าว และซังข้าวโพดได้สมบูรณ์ และที่ขนาดผงบด 60 Mesh ไม่สามารถอัดขึ้นรูปซังข้าวโพดได้ เนื่องจากเม็ดเชื้อเพลิงที่ได้ไม่มีความแข็งแรงหักแตกง่าย ที่ขนาดผงบด 80 Mesh สามารถอัดขึ้นรูปวัตถุดิบได้ทุกชนิด และพบว่าความยาวของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีความยาวอยู่ระหว่าง 20 – 40 มิลลิเมตร



รูปที่ 2 กราฟแสดงผลการทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลของขนาดผงบดต่างๆจากชีวมวลทั้ง 4 ชนิด

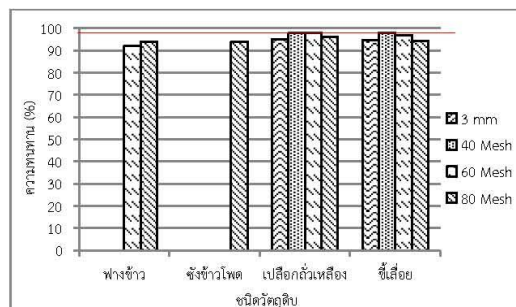
ผลการทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 2 พบว่าค่าความหนาแน่นแต่ละขนาดผงบดมีค่าต่างกันเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด กับมาตรฐาน DIN 51731 ที่กำหนดมาตรฐานคุณภาพเม็ดเชื้อเพลิงในโซนยุโรป ซึ่งกำหนดความหนาแน่นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลควรมีค่ามากกว่า 1,000 kg/m³ [6] พบว่าเม็ดซังข้าวโพดความหนาแน่นต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดเล็กน้อย (996 kg/m³) ในส่วนของเม็ดฟางข้าว เม็ดเปลือกถั่วเหลือง และเม็ดชีเสี้ยงมีความหนาแน่นเม็ดตามมาตรฐานกำหนด



รูปที่ 3 กราฟแสดงผลการทดสอบความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลของขนาดผงบดต่างๆ จากชีวมวลทั้ง 4 ชนิด

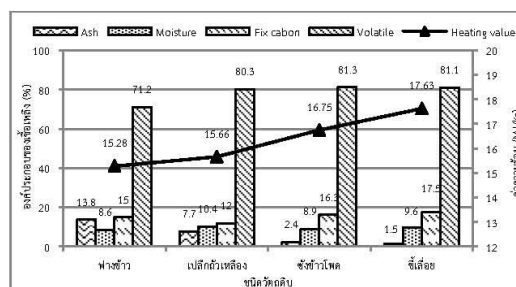
ในส่วนการทดสอบความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 3 พบว่าค่าความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงมีค่าต่างกันเล็กน้อย เช่นเดียวกับความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล และเมื่อเปรียบเทียบ

ค่าความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 4 ชนิด กับมาตรฐาน DIN EN 14961-2 ซึ่งกำหนดความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลควรมีค่ามากกว่า 600 kg/m³ [7] พบว่าเม็ดซังข้าวโพดมีความหนาแน่นรวมต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด ในส่วนของเม็ดฟางข้าว เม็ดเปลือกถั่วเหลือง และเม็ดชีเสี้ยงมีความหนาแน่นรวมตามมาตรฐานกำหนด



รูปที่ 4 กราฟแสดงผลการทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลของขนาดอนุภาคต่างๆ จากชีวมวลทั้ง 4 ชนิด

ผลการทดสอบความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลแสดงดังรูปที่ 4 พบว่าค่าความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลค่าอยู่ระหว่าง 92% - 98% เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน DIN EN 14961-2 ซึ่งกำหนดความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลควรมีค่ามากกว่า 97.5% [7] พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงส่วนใหญ่มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดเล็กน้อย แต่เม็ดเปลือกถั่วเหลือง ที่ขนาดอนุภาค 40, 60 Mesh และเม็ดชีเสี้ยงที่ขนาด 40 Mesh มีค่าความหนาแน่นตามมาตรฐานกำหนด (98%)



รูปที่ 5 แสดงค่าองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว, เปลือกถั่วเหลือง, ซังข้าวโพด, ชีเสี้ยง

จากการทดลองอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลในข้างต้น เมื่อนำเม็ดเชื้อเพลิงที่อัดขึ้นรูปที่ขนาดผงบด 80 Mesh มาทำการทดสอบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและค่าความร้อนดังรูปที่ 5 เพื่อเปรียบเทียบและพิจารณาตามมาตรฐานข้อกำหนดระดับคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลในโซนยุโรป DIN EN 14961-2 พบว่าเม็ดซังข้าวโพด และชีเสี้ยงมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงที่ดี โดยเม็ดชีเสี้ยงมีค่าความร้อนสูงถึง 17.63 MJ/kg ปริมาณความชื้น 9.6% และปริมาณเถ้า 1.5% เม็ดซังข้าวโพดมีค่า



ความร้อน 16.75 MJ/kg ปริมาณความชื้น 8.9% และปริมาณเถ้า 2.4% ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานกำหนด (Heating value: 16-19 MJ/kg, Moisture: $\leq 10\%$, Ash: 0.7%- 3%)[7] ในส่วนของเม็ดเปลือกถั่วเหลืองมีค่าความร้อน 15.66 MJ/kg ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ปริมาณเถ้า 7.7% สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ และเม็ดฟางข้าวมีค่าความร้อน 15.28 MJ/kg ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และมีปริมาณเถ้า 13.8% สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบสมบัติด้านกายภาพและด้านเชื้อเพลิง พบว่าเม็ดซึ่งข้าวโพดและซีลี้อยู่มีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีที่สุดเมื่อเทียบกับเม็ดเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงและปริมาณเถ้าต่ำซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน European Standard EN 14961-2 กำหนด แต่จากการทดสอบสมบัติด้านกายภาพ พบว่าเม็ดซึ่งข้าวโพดมีความหนาแน่นและความหนาแน่นต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด แต่อย่างไรก็ตามความหนาแน่นและความหนาแน่นอาจไม่ใช่ปัญหาในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเพราะสามารถปรับปรุงสมบัติด้านกายภาพได้ โดยการเพิ่มแรงในการอัดหรือเพิ่มขนาดเครื่องต้นกำลังของเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล และการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว เปลือกถั่วเหลือง ซึ่งข้าวโพด และซีลี้อยู่ เป็นอีกหนึ่งแนวทางในการกำจัดวัสดุเศษพืชเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีประโยชน์และมีประสิทธิภาพ สามารถเพิ่มมูลค่าและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในชุมชน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก. 2558. “เม็ดเชื้อเพลิงจากไม้ : พลังงานทดแทนมูลค่ามหาศาล?” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [2] นฤภัทร ตั้งมันคงวรกุล. 2557. “การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร และครัวเรือน” วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- [3] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2558. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2558 [ออนไลน์] สืบค้นจาก http://www.oae.go.th/download/document_tendency/journalofecon2558.pdf (22 สิงหาคม 2558)
- [4] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, “ชีวมวล” [ออนไลน์] สืบค้นจาก www.eppo.go.th/eng/Load/ET08.pdf, (20 สิงหาคม 2558)

- [5] Duncan, A., Pollard, A. and Fellouah, H. (2013). Torrefied, spherical biomass pellets through the use of experimental design. Applied Energy 101. pp. 237–243
- [6] DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.). 1996. Din 51731: testing of solid fuels e compressed untreated wood e requirements and testing (German version);.
- [6] DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.). 2010. Din 14961-14962: solid biofuels - fuel specifications and classes - part 2: wood pellets for non-industrial use (draft, German version);.



ดร. สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล
อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลธัญบุรี