

ผลของชนิดของหัวตี และความเร็วในการตีย่อยของเครื่องตีย่อย ที่มีต่อสมรรถนะการลดขนาดใบอ้อย

Effects of The Type of Sub-Head and Blade Crushing Speeds of a Hammer Mill on The Performance Size Reduction of Sugarcane Leaves

สิงห์รัญ ชารี (Singrun Charee)* ดร.สมโภชน์ สุดาจันทร์ (Dr.Somposh Sudajan)^{1**}
ดร.ชัยยันต์ จันทร์ศิริ (Dr.Chayan Junsiri)** ดร.กิตติพงษ์ ลาลูน (Dr.Kittpong Laloon)***
ศักดิ์ดา จาปานา (Sakda chumpana)**** กันตพงษ์ แซ่โล (Kantapong Khaeso)*****

(Received: June 30, 2020; Revised: September 2, 2020; Accepted: October 1, 2020)

บทคัดย่อ

การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดของหัวตี และความเร็วในการตีย่อยของเครื่องตีย่อยที่มีต่อสมรรถนะการลดขนาดใบอ้อย โดยใช้ใบอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่มีความชื้น 10.36 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ศึกษาชนิดของหัวตีย่อย 2 ระดับ คือ หัวตีแบบ A และ หัวตีแบบ B และความเร็วในการตีย่อย 4 ระดับ คือ 800, 900, 1,000 และ 1,100 รอบต่อนาที ผลการศึกษาพบว่า ชนิดหัวตีย่อย และความเร็วในการตีย่อย มีผลต่อความสามารถในการตีย่อย กำลังที่ใช้ในการตีย่อย พลังงานจำเพาะ และค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อย โดยหัวตีย่อยแบบ B มีความเหมาะสมในการลดขนาดใบอ้อยมากกว่า หัวตีย่อยแบบ A ที่ความเร็วในการตีย่อย 1,100 รอบต่อนาที หัวตีย่อยแบบ B มีค่าเปอร์เซ็นต์การตีย่อย 76.30 เปอร์เซ็นต์ ค่าความสามารถในการตีย่อย 22.89 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ค่ากำลังที่ใช้ในการตีย่อย 1,136.69 วัตต์ ค่าพลังงานจำเพาะ 49.64 วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม และค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อย 0.633 มิลลิเมตร

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effects of the type of sub-head and speed of blades of a hammer mill on the performance size reduction of sugarcane leaves. The Khon Kaen 3 various sugarcane leaves with an average moisture content of 10.36 % (wet basis) were used in this study. The experiments were conducted using 2 different the type of sub-head of type A and type B and at the blade crushing speeds of 800, 900, 1,000 and 1,100 rpm. The results revealed that type of sub-head and blade crushing speeds significantly affected working capacity, power consumption, specific energy and geometric mean particle length of the sugarcane leaves. The type B sub-head is more suitable for reducing sugarcane leaves than type A. At the blade crushing speeds of 1,100 rpm and the type B sub-head, the percent crush was 76.30 %, the working capacity was 22.89 kg/hr, the power consumption was 1,136.69 watts, the specific energy was 49.64 W-hr/kg and geometric mean particle length was 0.633 mm.

คำสำคัญ: ใบอ้อย เครื่องตีย่อย การลดขนาด

Keywords: Sugarcane leaves, Hammer mill, Size reduction

¹Corresponding author: Somsud@kku.ac.th

*นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

****นักวิจัย ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ

*****นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

อ้อยเป็นพืชตระกูลหญ้า Gramineae มีการเพาะปลูกประมาณ 200 ประเทศ ในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน ผลิตน้ำตาลทั่วโลกอยู่ที่ 178.93 ล้านเมตริกตัน ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตรายใหญ่อันดับสี่ รองจาก บราซิล จีน อินเดีย และส่งออกน้ำตาลเป็นอันดับสองรองจากประเทศบราซิล [1] มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 12.10 ล้านไร่ ผลผลิต 10.82 ล้านตันต่อไร่ ผลผลิตรวม 130.97 ล้านตัน ซึ่งเป็นอ้อยสดที่เข้าหีบประมาณ 50.94 ล้านตัน และอ้อยไฟไหม้ 80.03 ล้านตัน [2] ใบอ้อยมีปริมาณหนึ่งในสามของอ้อยทั้งหมด [3] หลังการเก็บเกี่ยวอ้อยจะมีชีวมวลใบและยอดอ้อยที่เหลือทิ้งไว้ในไร่อ้อยประมาณ 18 ล้านตันต่อปี [4] ชีวมวลเหล่านี้สามารถนำกลับมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากรัฐบาลมีมาตรการและนโยบายที่สนับสนุนให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่ได้จากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น อ้อย ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง ปาล์ม มะพร้าว ถั่วเหลือง เป็นต้น รวมทั้งสิ้น 30,171.57 ktoe โดยใบและยอดอ้อยมีมากที่สุด 10,271.61 ktoe รองลงมาคือ กากอ้อย 7,113.38 ktoe [5] มีค่าพลังงานอยู่ในช่วง 12.0 ถึง 18.3 MJ/kg [6] ลักษณะเด่นของชีวมวลจากการเกษตรนั้นมีปริมาณมาก แต่มีความหนาแน่นต่ำทำให้เป็นอุปสรรคสำคัญต่อการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบชีวมวลในกระบวนการต่างๆ ทำให้เพิ่มต้นทุนในการขนส่ง กระบวนการลดขนาดที่เหมาะสมจึงเป็นขั้นตอนแรกที่จะช่วยปัญหาการเตรียมวัสดุชีวมวล อย่างไรก็ตามการลดขนาดชีวมวลต้องใช้พลังงานสูง และหากไม่มีการใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานของชีวมวลแต่ละชนิดแล้ว กระบวนการเปลี่ยนขนาดอนุภาคชีวมวลจะไม่เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพต่ำ [7]

เครื่องตีอ้อย (Hammer mill) เป็นอุปกรณ์ลดขนาดที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีอัตราการทำงานสูงและสามารถใช้ตีอ้อยวัสดุได้หลากหลายชนิด ใช้หลักการรับแรงกระแทกเพื่อสลายอนุภาคขนาดใหญ่ให้เป็นอนุภาคขนาดเล็ก ในขณะที่ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคเริ่มต้น ปริมาณความชื้นของวัสดุ อัตราการป้อน และตัวแปรอื่นๆ ของเครื่องจักร เช่นความเร็วรอบ และขนาดหน้าจอ [8-9] ชนิดของหัวตี กับใบตีอ้อยเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลกระทบเช่นกันแต่มีการกล่าวถึงน้อยมาก จากการศึกษาของ Vigneault [10] ได้สังเกตว่าการใช้ชนิดของหัวตีอ้อยที่มีใบตีหน้าขนาด 3.2 มิลลิเมตร มาใช้แทนใบตีที่มีความหนาขนาด 6.4 มิลลิเมตร ช่วยให้ประหยัดพลังงานโดยรวม 13.6 เปอร์เซ็นต์และความสามารถในการตีอ้อยเพิ่มขึ้น 11.1 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยทางเรขาคณิต และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิตของการตีอ้อยข้าวโพด และจากการศึกษาของ Tavakoli [11] ได้วัดความต้องการพลังงานในการตีอ้อยฟางข้าวสาลีลดลง เมื่อเปลี่ยนชุดหัวตีอ้อยจากแบบ 4 แฉก เป็นแบบ 8 แฉก แต่ความต้องการพลังงานในการตีอ้อยฟางข้าวสาลีเพิ่มขึ้นตามความเร็วในการตีอ้อย ในขณะที่ Mani [12] ได้ทดสอบกับเครื่องตีอ้อยขนาดรูตะแกรง 3.2 มิลลิเมตร หญ้าสวิชกราส (switch grass) กับซังข้าวโพด พบว่า ความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วพร้อมกับขนาดอนุภาคที่ลดลง ส่วน Yang [13] ทำการกระจายขนาดอนุภาคของหญ้าอัลฟ่า (Alfalfa) ด้วยสมการการแจกแจงแบบล็อกปกติ มีค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคเท่ากับ 0.238 มิลลิเมตร จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า ชนิดของหัวตีอ้อย และความเร็วในการตีอ้อยดูเหมือนจะมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความต้องการพลังงาน และขนาดอนุภาคของวัสดุ

ดังนั้นการศึกษาดังกล่าวจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดของหัวตี และความเร็วในการตีอ้อยของเครื่องตีอ้อยที่มีต่อความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์การตีอ้อย กำลังที่ใช้ในการตีอ้อย พลังงานจำเพาะในการตีอ้อย และค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อย เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมเกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการลดขนาดชีวมวลใบอ้อยสำหรับใช้เป็นวัสดุผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด และเป็นแนวทางในการพัฒนาใช้งานร่วมกับเครื่องสับเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องในการทำงาน

วัตถุประสงค์การวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องตีย่อยในการลดขนาดใบอ้อย สำหรับการเตรียมวัสดุเพื่อนำไปแปรรูปใช้งานด้านต่างๆ โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของหัวตี และความเร็วในการตีย่อยที่มีผลต่อสมรรถนะที่มีต่อสมรรถนะการลดขนาดใบอ้อยสำหรับใช้เป็นวัสดุผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด และเลือกชุดที่เหมาะสมในการทำงาน

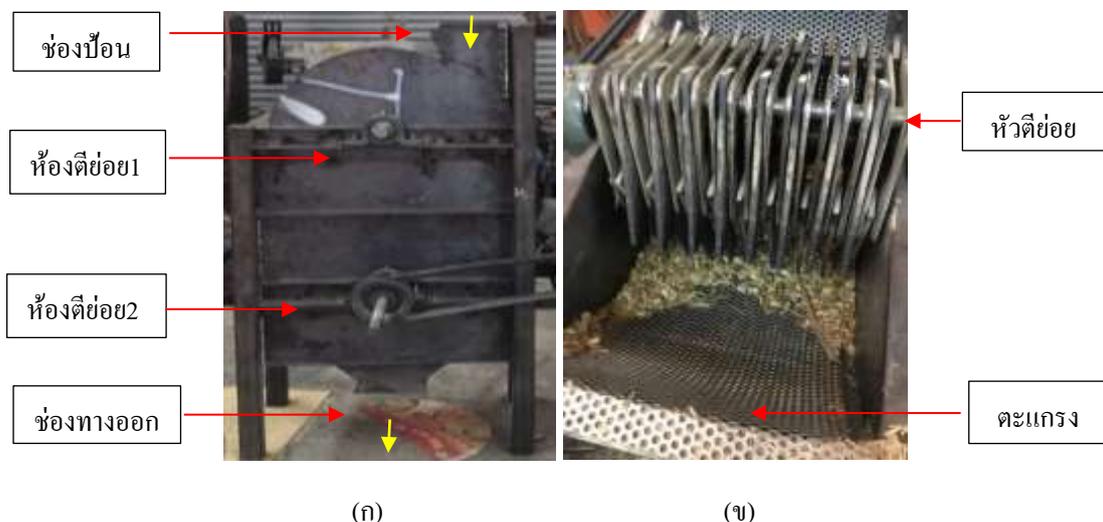
วิธีการวิจัย

สถานที่ทำการศึกษาคณะห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มีขั้นตอนและรายละเอียดของวิธีการศึกษาดังนี้

1. การเตรียมวัสดุ

การศึกษานี้ใช้ใบอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ในการทดสอบ ซึ่งเป็นพันธุ์อ้อยที่เกษตรกรนิยมปลูกมากในเขตจังหวัดขอนแก่น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ($16^{\circ} 25' 50'' N / 102^{\circ} 37' 0'' E$) ของประเทศไทย การเก็บเกี่ยวเกี่ยวอ้อยจะอยู่ในช่วงเดือนธันวาคมไปจนถึงพฤษภาคมของทุกปี การเก็บเกี่ยวใช้แรงงานคนอายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน ในการเก็บเกี่ยวเกษตรกรจะตัดใบสด และส่วนยอดทิ้ง ลำต้นจะถูกมัดรวมกัน มัดละ 15-20 ลำ แล้วขนส่งเข้าโรงงานน้ำตาล ใบสด และส่วนยอดที่เหลือทิ้งไว้ในแปลงจะถูกนำมาใช้ในการทดสอบครั้งนี้ โดยจะเก็บรวบรวมแล้วมาตากแดดเพื่อลดความชื้น ผลการลดปริมาณความชื้นของใบอ้อย มีความชื้นเฉลี่ย 10.36 % w.b. การตรวจสอบค่าความชื้นเฉลี่ยของใบอ้อยนั้นวัสดุจะถูกชั่งน้ำหนักและอบแห้งตัวอย่าง 30 กรัมในเตาอบที่ $105^{\circ} C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและชั่งน้ำหนักอีกครั้ง [14]

นำใบอ้อยที่เก็บรวบรวมได้จากไร่อ้อยถูกนำไปสับลดขนาดด้วยเครื่องสับพีชอนกประสงค์ จำนวนใบมีดสับ 4 ใบมีด ความเร็วในการสับ 1,000 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างใบอ้อยหลังการสับไปคัดแยก หางขนาดอนุภาคของใบอ้อยหลังสับตามมาตรฐาน ASAE S424.1 DEC01 [15] สำหรับวิธีการหาขนาดของวัสดุพีชที่ถูกสับ โดยการสุ่มตัวอย่างใบอ้อยหลังจากการสับตัวอย่างละ 100 กรัม วางลงในเครื่องตะแกรงร่อน (Ro-Tap) ขนาดตะแกรงที่ใช้ในการทดลองได้แก่ หมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 (ขนาดช่องตะแกรง 19, 12.7, 6.3, 3.96 และ 1.17 มม. ตามลำดับ) ใช้เวลาในการเขย่า 10 นาที ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อยหลังสับ



ภาพที่ 1 เครื่องตีย่อยใบอ้อย (ก) ส่วนภายนอกเครื่อง (ข) ส่วนภายในห้องตีย่อย

2. ชุดทดสอบ

สำหรับเครื่องย่อยแบบ Hammer Mill เป็นเครื่องที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในการลดขนาดใบอ้อย การทดสอบครั้งนี้จะดำเนินการทดสอบเฉพาะในส่วนของห้องตีย่อย 1 เท่านั้น โดยห้องตีย่อย 2 จะทำการถอดหัวตีย่อยและตะแกรงออก เพื่อให้วัสดุไหลผ่านสู่ช่องทางออก ดังแสดงในภาพที่ 1 (ก) ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

2.1 ห้องตีย่อย จะประกอบไปด้วย หัวตีย่อย และตะแกรง ดังแสดงในภาพที่ 1 (ข) ทำหน้าที่ให้วัสดุหมุนเหวี่ยงวนในห้องตีย่อยไปกระทบห้องค้ำบนและด้านล่างทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร กว้าง 25 เซนติเมตร โดยใบอ้อยที่ผ่านช่องป้อนจะถูกตีย่อยในห้องตีย่อยและผ่านตะแกรง

2.2 หัวตีย่อย ทำหน้าที่ สร้างแรงดัน และแรงกระแทกระหว่างวัสดุ หรือวัสดุกับหัวตีย่อย จำนวนใบตีที่มีจำนวนมากจะเพิ่มพื้นที่ให้วัสดุกระทบกับหัวตีได้มากขึ้น ระยะห่างระหว่างใบตีกับตะแกรงอยู่ระหว่าง 1-2 เซนติเมตร ชนิดของหัวตีย่อยที่ใช้ทดสอบ ได้แก่ ชนิดหัวตีแบบ A ประกอบไปด้วย เผลาใบตีจำนวน 4 แถว แผ่นเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 14 เซนติเมตร หนา 4 มิลลิเมตร วางสลับกับใบตี 18 แผ่น มีใบตีจำนวน 34 ใบตี (ภาพที่ 2) และ ชนิดหัวตีแบบ B ประกอบไปด้วย เผลาใบตีจำนวน 4 แถว ใช้แหวนรองน็อต หนา 3 มิลลิเมตร วางสลับกับใบตี มีใบตีจำนวน 132 ใบตี (ภาพที่ 3) และปลายเผลาของหัวตีย่อยทั้ง 2 แบบ ด้านที่ติดกับพุลเลย์ (pulley) ดันกำลังยาวกว่าอีกด้าน 350 มิลลิเมตร สำหรับติดสเตรนเกจ (Strain gauge) และ อุปกรณ์ส่งถ่ายสัญญาณไฟฟ้า (Slip ring)



ภาพที่ 2 ชนิดหัวตีแบบ A



ภาพที่ 3 ชนิดหัวตีแบบ B

2.3 ตะแกรง ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดขนาดวัสดุ ในการย่อยวัตถุดิบชีวมวลนิยมใช้ตะแกรงแบบชนิดแยกย่อยเนื่องจากง่ายต่อการจัดการเปลี่ยนตะแกรง และได้ขนาดอนุภาคย่อยที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี ขนาดของรูตะแกรง มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการย่อย อัตราการผลิต และขนาดอนุภาคที่ได้จากการย่อย ในการทดสอบครั้งนี้เลือกตะแกรงขนาดของรูเปิด 3 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดตะแกรงที่นิยมใช้ในการย่อยวัตถุดิบชีวมวล เพื่อเตรียมสำหรับใช้เป็นวัสดุในการนำไปแปรรูปอัดเม็ดเชื้อเพลิง

2.4 การถ่ายทอดกำลัง ทำหน้าที่ รับถ่ายกำลังจากต้นกำลังมอเตอร์ ขับเคลื่อนผ่านมูเลย์ และสายพานส่งกำลัง ปรับความเร็วรอบของใบตีด้วยชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ให้สามารถควบคุมเพลาใบตีมีความเร็วตามที่กำหนดของการศึกษา

3. เครื่องมือวัด

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย สเตรนเกจที่ติดตั้งบนเพลาหัวตีย่อยสำหรับวัดแรงบิด สเตรนเกจจะถูกเชื่อมต่อกับสลีปริง ได้รับสัญญาณจากสเตรนเกจส่งผ่านไปยังสลีปริงผ่านเครื่องส่งสัญญาณแบบไดนามิก (Spiders-8; Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Germany) ขยายสัญญาณส่งไปยังคอมพิวเตอร์

ซอฟต์แวร์ Catman (เวอร์ชัน 4; Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Germany) ใช้เพื่อควบคุมวิเคราะห์บันทึก และความเร็วเพลทหัวตี้อยู่ถูกวัดและควบคุมโดยชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (MS300 -5 HP-3 ph-460V) ในระหว่างการทดสอบแต่ละครั้งจะมีการบันทึกสัญญาณแรงบิด และความเร็วในการหมุนทุกวินาทีโดยใช้ระบบเก็บข้อมูล [16] ก่อนที่จะทำการทดสอบแต่ละตัวอย่างทดสอบ จะทำงานโดยไม่มีปริมาณงานเป็นเวลา 20 วินาที จากนั้นวัดพลังงานที่ใช้ทั้งหมด เพื่อนำไปประมวลผลหาพลังงานที่ในการตี้อยู่ [17]

4. ปัจจัยของการศึกษา

4.1 ปัจจัยที่ศึกษา

4.1.1 ชนิดของหัวตี้อยู่ 2 ระดับ คือ ชนิดหัวตี้อยู่แบบ A และ ชนิดหัวตี้อยู่แบบ B

4.1.2 ความเร็วรอบในการตี้อยู่ 4 ระดับ คือ 800, 900, 1,000 และ 1,100 รอบต่อนาที (20.94, 23.56, 26.18 และ 28.80 เมตรต่อวินาที)

4.2 ปัจจัยควบคุม

4.2.1 เวลาที่ใช้ในการตี้อยู่ 6 ระดับ 1, 2, 3, 4, 5, และ 6 นาที

4.2.2 ขนาดของรูปเปิดตะแกรงเบอร์ 3 มิลลิเมตร

4.2.3 ความชื้นใบอ้อยที่ใช้ในการทดสอบ 10.36 % w.b.

5. วิธีการทดสอบ

5.1 ปรับแต่งเครื่องสำหรับใช้ทดสอบโดยเริ่มติดตั้งชนิดหัวตี้อยู่แบบ A พร้อมติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์และตรวจวัดความเร็วของใบตี้อยู่ให้เป็นไปตามปัจจัยของการศึกษา 800, 900, 1,000 และ 1,100 รอบต่อนาทีตามลำดับ

5.2 เตรียมวัสดุใบอ้อยที่ผ่านการสับลดขนาดตามที่กล่าวมาข้างต้นซึ่งมีค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อย $x_{gs} = 9.073$ มิลลิเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิตของอนุภาค $s_{gws} = 1.827$ มิลลิเมตร โดยเตรียมวัสดุใบอ้อยสำหรับทดสอบ ทั้งหมด 48 กิโลกรัม ในการทดสอบใช้ตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม

5.3 นำวัสดุใบอ้อยที่เตรียมไว้ป้อนลงในช่องป้อนของเครื่องตี้อยู่ ใช้คนป้อนจำนวน 1 คน ควบคุมการป้อนสม่ำเสมอเข้าสู่ห้องตี้อยู่เพื่อให้เกิดความต่อเนื่อง (อัตราการป้อนเฉลี่ย 130 กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

5.4 การทดสอบแต่ละครั้งจะมีการบันทึกสัญญาณแรงบิด และความเร็วในการหมุนทุกวินาทีโดยใช้ระบบเก็บข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ด้วยซอฟต์แวร์แคทแมน (Catman) และทำการสุ่มตัวอย่างใบอ้อยที่ผ่านการตี้อยู่ ในแต่ละช่วงเวลาที่ตี้อยู่ 1, 2, 3, 4, 5, และ 6 นาที ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกเวลาในการทำงาน เพื่อคำนวณหาความสามารถในการทำงาน และเปอร์เซ็นต์การตี้อยู่

5.5 จากนั้นทำเปลี่ยนชนิดหัวตี้อยู่แบบ A ออกแล้วติดตั้งชนิดหัวตี้อยู่แบบ B เข้าไปแทนที่ แล้วปรับตั้งความเร็วของใบตี้อยู่ให้เป็นไปตามปัจจัยของการศึกษา 800, 900, 1,000 และ 1,100 รอบต่อนาที ตามลำดับ ทำการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบ ตามขั้นตอนที่ 5.2 ถึง 5.4

5.6 นำตัวอย่างใบอ้อยหลังตี้อยู่ที่ได้จากการการทดสอบในแต่ละตัวอย่าง มาคัดแยกหาขนาดอนุภาคของใบอ้อยหลังการตี้อยู่ตามมาตรฐาน ASAE Standard S319.3 FEB03 [18] สำหรับวิธีการหาขนาดของวัสดุที่มีขนาดเล็กละเอียดจากการถูกบดหรือตี้อยู่ สุ่มตัวอย่างใบอ้อยหลังจากการสับตัวอย่างละ 100 กรัม อนุภาคของใบอ้อยหลังตี้อยู่จะถูกวางลงในเครื่องตะแกรงร่อน (Ro-Tap) เบอร์ตะแกรงที่ใช้ในการทดลองคือตะแกรงเบอร์ 4, 8, 16, 30, 50, 100 และ 200 (ขนาดช่องตะแกรง 4.76, 2.38, 1.19, 0.59, 0.30, 0.15 และ 0.07 มม. ตามลำดับ) ใช้เวลาในการเขย่าเป็น 10 นาที ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ในแต่ละตัวอย่างที่ทดสอบ

5.7 หลังจากที่เขย่าเสร็จแล้วน้ำหนักใบอ้อยหลังสับที่สะสมไว้ในตะแกรงแต่ละชั้นจะถูกชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาวิเคราะห์หาผลลัพธ์ของการกระจายขนาดอนุภาคของชีวมวล โดยใช้การแจกแจงแบบ log-normal เพื่อหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิตการกระจายตัวของความยาวของอนุภาค x_{gs} ตามมาตรฐาน ASAE Standard S424.1 [19-20]

6. ค่าชี้ผลการศึกษา

6.1 เปอร์เซ็นต์การตี้อย คือ ปริมาณน้ำหนักใบอ้อยที่ถูกตี้อยในแต่ละช่วงเวลาจนถึงสิ้นสุดการตี้อยในห้องตี้อย

6.2 ความสามารถในการตี้อย คือ การนำเอาปริมาณใบอ้อยทั้งหมดที่ถูกตี้อยหารด้วยเวลาที่ใช้ในการตี้อย โดยทำการเก็บตัวอย่างใบอ้อยหลังตี้อยขณะทำการย่อย สุ่มเก็บในช่วงที่ใบอ้อยถูกย่อยสม่ำเสมอ ดังสมการที่ 1

$$C_p = \frac{W_t}{T} \quad (1)$$

เมื่อ C_p = ความสามารถในการตี้อย (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
 W_t = ปริมาณน้ำหนักของใบอ้อยที่ย่อยได้ทั้งหมด (กิโลกรัม)
 T = เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ชั่วโมง)

6.3 กำลังที่ใช้ในการสับ คือ ความต้องการกำลังงานที่ใช้ในการตี้อยใบอ้อย ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$P = \frac{2\pi \times T \times N}{60} \quad (2)$$

เมื่อ P = กำลัง (วัตต์)
 T = แรงบิด (นิวตัน-เมตร)
 N = ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)

6.4 พลังงานจำเพาะในการตี้อย คือ พลังงานที่ใช้ในการทำงานต่อหน่วยกิโลกรัม ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$E = \frac{3,600 \times P}{C} \quad (3)$$

เมื่อ E = พลังงานจำเพาะ (วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม)
 P = กำลัง, กิโลวัตต์ (วัตต์)
 C = ความสามารถในการทำงาน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

6.5 ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อย สามารถหาได้ดังสมการที่ 4 และสมการที่ 5

$$x_{gs} = \log^{-1} \left[\frac{\sum (m_i \log x_{si})}{\sum m_i} \right] \quad (4)$$

เมื่อ x_{gs} = ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคชีวมวล (มิลลิเมตร)
 m_i = มวลของวัสดุบน i -th sieve, g
 x_{si} = ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของความยาวของอนุภาคบน i -th sieve ที่พิจารณาจาก

สมการที่ 5

$$x_{si} = \sqrt{x_i x_{i-1}} \quad (5)$$

เมื่อ x_i = เส้นทแยงมุมของตะแกรง i -th (มิลลิเมตร)
 $x_{(i-1)}$ = เส้นทแยงมุมของรูตะแกรงซึ่งอยู่เหนือตะแกรง i -th (มิลลิเมตร)

7. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในการศึกษาผลของชนิดของหัวดี และความเร็วในการตีของเครื่องตีข่อยที่มีต่อสมรรถนะการลดขนาดใบอ้อย โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยซอฟต์แวร์โปรแกรม IBM. SPSS. Statistics version 26 [21] แผนการทดลองแบบ 2x4 Factorial in CRD เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักและตัวแปรตาม

ผลการวิจัย

ผลการศึกษา และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติตารางที่ 1 และ 2 พบว่า ชนิดหัวดีข่อย (A) และความเร็วรอบในการตีข่อย (B) มีผลต่อความสามารถในการตีข่อย กำลังที่ใช้ในการตีข่อย พลังงานจำเพาะในการตีข่อย และค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดหัวดีข่อย และความเร็วรอบในการตีข่อยมีผลต่อความสามารถในการตีข่อย กำลังที่ใช้ในการตีข่อย และค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อย แต่ไม่มีผลต่อพลังงานจำเพาะในการตีข่อย ซึ่งรายละเอียดผลการศึกษา มีดังนี้

เปอร์เซ็นต์การตีข่อย

ผลการศึกษา ค่าเปอร์เซ็นต์การตีข่อยของชนิดของหัวดีข่อย และความเร็วรอบในการตีข่อยที่เวลาที่ใช้ในการตีข่อย 1, 2, 3, 4, 5, และ 6 นาที แสดงในภาพที่ 5 พบว่า เวลาที่ใช้ในการตีข่อยเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การตีข่อยมีแนวโน้มลดลง ทุกระดับความเร็วรอบที่ใช้ในการทดสอบ เวลาที่ใช้ในการตีข่อย 1 นาที มีค่าเปอร์เซ็นต์การตีข่อยสูงสุด จากนั้นค่าเปอร์เซ็นต์การตีข่อยจะลดลงตามเวลาที่ใช้ในการตีข่อยจาก 2 3 4 5 และ 6 นาที ตามลำดับ หัวดีข่อยแบบ A จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การตีข่อยน้อยกว่าหัวดีข่อยแบบ B ทุกระดับความเร็วรอบในการตีข่อยที่ใช้ในการทดสอบ เนื่องจากใบอ้อยที่มีขนาดอนุภาคเล็ก และน้ำหนักเบาจะมีความฟุ้งสูง หัวดีข่อยแบบ A ที่มีช่องว่างระหว่างแผ่นกั้นกับใบดีห่างกันมากจะเกิดการลอยตัวของใบอ้อยหมุนตามแรงเหวี่ยงของใบดีเข้าไปในช่องว่าง ทำให้โอกาสที่ใบอ้อยจะถูกกระแทกแล้วลอดผ่านรูตะแกรงเป็นไปได้ยากขึ้น ซึ่งต่างจากหัวดีข่อยแบบ B ที่ไม่มีช่องว่างระหว่างใบดีทำให้เป็นการเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสระหว่างใบดีกับชิ้นใบอ้อยได้มากขึ้น ใบดีจึงสามารถกระแทกกับใบอ้อยได้มากขึ้น ยิ่งเพิ่มความเร็วในการตีข่อยสูงขึ้น ชิ้นใบอ้อยจึงเกิดการกระแทกแล้วแตกลักษณะเป็นอนุภาคขนาดเล็ก (ขนาดอนุภาค < 3 mm) เพิ่มจำนวนมากขึ้นตามลำดับ หัวดีข่อยแบบ B ที่ความเร็วรอบ 1,100 รอบต่อนาที มีค่าเปอร์เซ็นต์การตีข่อยสูงสุด เท่ากับ 76.30 % ในขณะที่หัวดีข่อยแบบ A มีค่าเปอร์เซ็นต์การตีข่อย เท่ากับ 46.15 %

ความสามารถในการตีข่อย

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างผลกระทบของชนิดหัวดีข่อย และ ความเร็วรอบในการตีข่อยในระดับต่าง ๆ มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสามารถในการตีข่อยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า เมื่อความเร็วในการตีข่อยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความสามารถในการตีข่อยเพิ่มขึ้น ความเร็วในการตีข่อยเพิ่มขึ้นจาก 800 ถึง 1,100 รอบต่อนาที ทำให้ค่าเฉลี่ยความสามารถในการตีข่อยของหัวดีข่อยแบบ A และหัวดีข่อยแบบ B เพิ่มขึ้นถึง 1.51 และ 1.69 เท่า ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยความสามารถในการตีข่อยแตกต่างกันจาก 9.15, 10.19, 12.32 และ 13.84 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ 13.52, 14.78, 19.58 และ 22.89 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยความสามารถในการตีข่อยในแต่ละความเร็วรอบแตกต่างกันจาก 9.15 ถึง 13.52, 10.19 ถึง 14.78, 12.32 ถึง 19.58 และ 13.84 ถึง 22.89 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความเร็วในการตีข่อย 800, 900, 1,000 และ 1,100 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยที่

ความเร็วในการตัดย่อย 1,100 รอบต่อนาที มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการตัดย่อยสูงสุดของหัวตัดย่อยแบบ A และหัวตัดย่อยแบบ B แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญประมาณ 1.65 เท่า

จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วในการตัดย่อยเพิ่มขึ้นจาก 800 ถึง 1,100 รอบต่อนาที ความสามารถในการตัดย่อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกระดับหัวตัดย่อยที่ใช้ในการทดสอบ หัวตัดย่อยแบบ B มีความสามารถในการตัดย่อยสูงกว่าหัวตัดย่อยแบบ A ทุกระดับความเร็วในการตัดย่อยที่ใช้ในการทดสอบ มีความสามารถในการตัดย่อยสูงสุดเท่ากับ 22.89 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากจำนวนใบตีดที่มีจำนวนมากกว่าซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสระหว่างใบตีดกับชิ้นใบอ้อยได้มากขึ้น ทำให้ใบตีดสามารถระแทกกับวัสดุได้มากขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วในการกระแทกที่สูงขึ้น ชิ้นใบอ้อยจึงเกิดการแตกหักกลายเป็นอนุภาคขนาดเล็กแล้วลอดผ่านรูตะแกรงขนาด 3 มิลลิเมตร มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น

กำลังที่ใช้ในการตัดย่อย

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างผลกระทบของชนิดหัวตัดย่อยแบบ A และหัวตัดย่อยแบบ B มีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังที่ใช้ในการตัดย่อยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยที่กำลังที่ใช้ในการตัดย่อยของหัวตัดย่อยแบบ A และหัวตัดย่อยแบบ B ใบตีดเพิ่มขึ้นจาก 744.63 เป็น 920.37 วัตต์ เพิ่มขึ้น 23.60 % ส่วนการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างผลกระทบของความเร็วในการตัดย่อย 800, 900, 1,000 และ 1,100 รอบต่อนาที มีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังที่ใช้ในการตัดย่อยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีค่าเฉลี่ยกำลังที่ใช้ในการตัดย่อยเพิ่มขึ้นจาก 605.17, 768.21, 903.03 และ 1,053 วัตต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยกำลังที่ใช้ในการตัดย่อยสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกัน 57.44 %

จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วในการตัดย่อยเพิ่มขึ้นจาก 800 ถึง 1,100 รอบต่อนาที กำลังที่ใช้ในการตัดย่อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกระดับหัวตัดย่อยที่ใช้ในการทดสอบ หัวตัดย่อยแบบ B มีกำลังที่ใช้ในการตัดย่อยสูงกว่าหัวตัดย่อยแบบ A ทุกระดับความเร็วในการตัดย่อยที่ใช้ในการทดสอบ โดยที่ความเร็วในการตัดย่อย 1,100 รอบต่อนาที ชนิดหัวตัดย่อยแบบ B มีค่าเฉลี่ยกำลังที่ใช้ในการตัดย่อยสูงสุดเท่ากับ 1,136.69 วัตต์ และชนิดหัวตัดย่อยแบบ A มีค่าเฉลี่ยกำลังที่ใช้ในการตัดย่อยสูงสุดเท่ากับ 907.49 วัตต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับการรายงานของ Womac [22] ที่ทำการทดสอบตัดย่อย หญ้าสวิตช์กราส (Switch grass) เนื่องจากจำนวนใบตีดของชนิดหัวตัดย่อยแบบ A ที่มีน้อยกว่าเมื่อหมุนจะเกิดแรงต้านทานกับวัสดุน้อยกว่าชนิดหัวตัดย่อยแบบ B ที่มีจำนวนใบตีดที่มีจำนวนมากทำให้เกิดแรงบิดที่เพลาน้อยกว่า และเมื่อเพิ่มความเร็วในการตัดย่อยมากขึ้นแรงต้านก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แรงบิดที่เพลาก็เพิ่มตามเช่นกัน

พลังงานจำเพาะในการตัดย่อย

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างผลกระทบของชนิดของหัวตัดย่อยแบบ A และหัวตัดย่อยแบบ B ของความเร็วในการตัดย่อยที่ระดับ 800 รอบต่อนาที มีผลต่อค่าเฉลี่ยพลังงานจำเพาะในการตัดย่อยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่ความเร็วในการตัดย่อยที่ระดับ 900, 1,000 และ 1,100 รอบต่อนาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างผลกระทบของความเร็วรอบในการตัดย่อย จาก 800 ถึง 1,100 รอบต่อนาที ของหัวตัดย่อยแบบ A มีผลต่อค่าเฉลี่ยพลังงานจำเพาะในการตัดย่อยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และความเร็วรอบในการตัดย่อยจาก 900 ถึง 1,100 รอบต่อนาที ของหัวตัดย่อยแบบ B มีผลต่อค่าเฉลี่ยพลังงานจำเพาะในการตัดย่อยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าหัวตัดย่อยแบบ A เมื่อความเร็วในการตัดย่อยเพิ่มขึ้นจาก 800 ถึง 900 รอบต่อนาที ค่าพลังงานจำเพาะในการตัดย่อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากนั้นความเร็วในการตัดย่อยเพิ่มขึ้นจาก 900 ถึง 1,100 รอบต่อนาที ค่าพลังงานจำเพาะในการตัดย่อยมีแนวโน้มค่อยลดลง ส่วนหัวตัดย่อยแบบ B เมื่อความเร็วรอบในการตัดย่อยเพิ่มขึ้นจาก 800 ถึง 900 รอบต่อนาที ค่าพลังงานจำเพาะในการตัดย่อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากนั้นความเร็วในการตัดย่อยเพิ่มขึ้นจาก

900 ถึง 1,100 รอบต่อนาที ค่าพลังงานจำเพาะในการตัดมีแนวโน้มค่อยลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่ความเร็วในการตัด 1,100 รอบต่อนาที ชนิดหัวตัดย่อยแบบ A มีค่าพลังงานจำเพาะในการตัดสูงสุดเท่ากับ 70.10 วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม และชนิดหัวตัดย่อยแบบ B ค่าพลังงานจำเพาะในการตัดต่ำสุดเท่ากับ 49.64 วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สอดคล้องกับการรายงานของ Womac [22] ที่ทำการทดสอบตัดย่อยหญ้าสวิทช์กราส (Switch grass)

ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาค

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างผลกระทบของชนิดหัวตัดย่อย และ ความเร็วรอบในการตัดย่อยในระดับต่าง ๆ มีผลต่อค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า เมื่อความเร็วในการตัดย่อยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อยลดลง ความเร็วในการตัดย่อยเพิ่มขึ้นจาก 800 ถึง 1,100 รอบต่อนาที ทำให้ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อยของหัวตัดย่อยแบบ A และหัวตัดย่อยแบบ B ลดลงประมาณ 1 เท่า โดยค่าเฉลี่ยขนาดเฉลี่ยของอนุภาคใบอ้อยแตกต่างกันลดลงจาก 0.813, 0.798, 0.776, 0.753 มิลลิเมตร และ 0.667, 0.656, 0.646, 0.633 มิลลิเมตร ตามลำดับ สอดคล้องกับการรายงานของ Saensukjaroenphon [23] ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของข้าวโพดลดลงจาก 0.618, 0.457 และ 0.352 มิลลิเมตร เมื่อเพิ่มความเร็วเชิงเส้นจาก 52.07, 78.11 และ 104.14 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วในการตัดย่อยเพิ่มขึ้นจาก 800 ถึง 1,100 รอบต่อนาที ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อยมีแนวโน้มลดลงในทุกระดับหัวตัดย่อยที่ใช้ในการทดสอบ หัวตัดย่อยแบบ B ใบตัดมีค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อยเล็กกว่าหัวตัดย่อยแบบ A ทุกระดับความเร็วรอบในการตัดย่อยที่ใช้ในการทดสอบ ที่ความเร็วรอบในการตัดย่อย 1,100 รอบต่อนาที หัวตัดย่อยแบบ B มีค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อยเล็กที่สุดเท่ากับ 0.633 มิลลิเมตร เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด สอดคล้องกับการรายงานของ Mani [24] ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคสำหรับใช้เป็นวัสดุอัดเม็ด (pellets) ต้องมีขนาดน้อยกว่า 0.640 มิลลิเมตร

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของชนิดของหัวตัด และความเร็วในการตัดย่อยของเครื่องตัดย่อยที่มีต่อสมรรถนะการลดขนาดใบอ้อย สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ชนิดหัวตัดย่อย และความเร็วรอบในการตัดย่อย มีผลต่อความสามารถในการตัดย่อย กำลังที่ใช้ในการตัดย่อย พลังงานจำเพาะในการตัดย่อย ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
2. ค่าเปอร์เซ็นต์การตัดย่อยมีแนวโน้มลดลง ตามเวลาที่ใช้ในการตัดย่อยที่เพิ่มขึ้น หัวตัดย่อยแบบ A และ หัวตัดย่อยแบบ B ที่ความเร็วรอบ 1,100 รอบต่อนาที มีค่าเปอร์เซ็นต์การตัดย่อยสูงสุด เท่ากับ 46.15 และ 76.30 % ตามลำดับ
3. ความเร็วในการตัดย่อยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความสามารถในการตัดย่อย กำลังที่ใช้ในการตัดย่อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่พลังงานจำเพาะในการตัดย่อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากนั้นค่อยๆลดลง ที่ความเร็วในการตัดย่อย 1,100 รอบต่อนาที หัวตัดย่อยแบบ A และหัวตัดย่อยแบบ B มีความสามารถในการตัดย่อย 13.84 และ 22.89 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ค่ากำลังที่ใช้ในการตัดย่อย 970.49 และ 1,136.69 วัตต์ ค่าพลังงานจำเพาะในการตัดย่อย 70.10 และ 49.64 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม ตามลำดับ
4. ความเร็วในการตัดย่อยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคมีแนวโน้มลดลง หัวตัดย่อยแบบ A และหัวตัดย่อยแบบ B ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อยอยู่ในช่วงระหว่าง 8.813-0.753 และ 0.667-0.633 มิลลิเมตร

5. หัวตี้อยแบบ B จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การตี้อย ความสามารถในการตี้อย ค่าพลังงานจำเพาะในการตี้อย และค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาคใบอ้อยมีขนาดเล็กที่เหมาะสมมากกว่าชนิดหัวตี้อยแบบ A แต่อย่างไรก็ตามการตี้อยใบอ้อยต้องคำนึงถึงขนาดอนุภาคเริ่มต้น ความต่อเนื่องในการทำงานเมื่อใช้งานร่วมกับเครื่องสับ และการนำวัสดุไปใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400 ให้การสนับสนุนในเรื่องของสถานที่ และอุปกรณ์ที่ใช้ทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2018. Country fact sheet on food and agriculture policy trends. Available at <http://www.fao.org>. Internet. Accessed 19 September 2020.
2. OCSB (Office of the cane and sugar board). 2019. Annual Report 2019. Available at <http://www.ocsb.go.th>. Internet. Accessed 19 September 2020.
3. Paul HV, Krishnamurthi M. Sugarcane Trash Collection At the Small Farms in Southern India. Proc Int Soc Sugarcane Technol. 2007; 26: 114–120.
4. Jenjariyakosoln S, Sajjakulnukit B, Garivait S. Energy and Greenhouse Gas Emissions Reduction Potential of Sugarcane Field Residues Power Generation in Thailand. International Journal of Environmental Science and Development. 2013; 4(2): 182-186
5. DEDE (Department of Alternative Energy Development and Efficiency). 2018. Thailand Alternative Energy Situation 2018. Available at <http://www.dede.go.th>. Internet. Accessed 19 September 2020.
6. Smithers J, Smithers J. Review of sugarcane trash recovery systems for energy cogeneration in South Africa Review of sugarcane trash recovery systems for energy cogeneration in South Africa. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019; 1–11.
7. Mayer-Laigle C, Blanc N, Rajaonarivony RK, Rouau X. Comminution of Dry Lignocellulosic Biomass, a Review: Part I. From Fundamental Mechanisms to Milling Behaviour. Bioengineering (Basel) 2018; 5: 41.
8. Bitra VSP, Womac AR, Chevanan N, Miu PI, Cannayen I, Sokhansanj S, Smith DR. Direct mechanical energy measures of hammer mill comminution of switchgrass wheat straw and corn stover and analysis of their particle size distributions. Powder Tech. 2009; 193(1): 32-45
9. Mani S, Tabil LG, Sokhansanj S. Mechanical properties of corn stover grind. Trans. 2004a; ASAE 47(6): 1983-1990.
10. Vigneault C, Rothwell TM, Bourgeois G. Hammer mill grinding rate and energy requirements for thin and conventional hammers, Can. Agric. Eng. 1992; 34: 203–206.



11. Tavakoli H, Mohtasebi SS, Jafari A, Mahdavinejad D. Power requirement for particle size reduction of wheat straw as a function of straw threshing unit parameters. *Aust J Crop Sci.* 2009; 3(4): 231-236.
12. Mani S, Tabil LG, Sokhansanj S. Grinding performance and physical properties of wheat and barley straws corn stover and switchgrass. *Biomass and Bioenergy.* 2004b; 27(4): 339-352.
13. Yang W, Sokhansanj S, Crerer WJ, Rohani S. Size and shape related characteristics of alfalfa grind, *Can. Agric.* 1996; 38: 201–205.
14. ASAE Standards, 52nd Ed 2006. S358.2: 1:1 measurement - forages. St. Joseph, MI: ASABE. Bright, R.E. and R.W. Kleis. 1964. Mass shear strength of haylage. *Transactions of the ASAE*, 7(2), 100–101.
15. ASAE. 2003a. Method of determining and expressing particle size of chops forage materials by screening ASAE S424.1. In ASAE Standard 2003, pp. 606–608. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
16. Sudajan S, Salokhe V M, Triratanasirichai K. Effect of Type of Drum, Drum Speed and Feed Rate on Sunflower Threshing. *Biosystems Engineering.* 2002; 83(4): 413–21.
17. Chen Y, Gratton JL, Liu J. Power requirements of hemp cutting and conditioning. *Biosyst Eng.* 2004; 87(4): 417-424. doi :10.1016/j.biosystemseng.2003.12.012
18. ASAE. 2003b. Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving ASAE S319.2. In ASAE Standard 2003, pp. 603–606. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
19. Wilcox RA, Deyoe CW, Pfof HB. 1970. A Method for Determining and Expressing the Size of Feed Particles by Sieving. *Poultry Science.* 1987; 49(1): 9–13.
20. Lisowski A, Kostrubiec M, Dabrowska-Salwin M, Swietochowski A. The Characteristics of Shredded Straw and Hay Biomass: Part 2 The Finest Particles. *Waste and Biomass Valorization.* 2018; 9(1): 115-121
21. IBM Corp. Released. 2019. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 26.0. Armonk, NY: IBM Corp.
22. Womac AR, Igathinathane C, Bitra P, et al. Biomass pre-processing size reduction with instrumented mills. *ASABE Annu Int Meet Tech Pap.* 2007;11 BOOK(June). doi:10.13031/2013.23306
23. Saensukjaroenphon M, Evans CE, Sheldon KH, Jones CK, Paulk CB, Stark CR. The Effect of Hammermill Screen Hole Diameter and Hammer Tip Speed on Particle Size and Flowability of Ground Corn. *Kansas Agric Exp Stn Res Reports.* 2017; 3(7). doi:10.4148/2378-5977.7505
24. Mani S, Tabil L G, Sokhansanj S. An overview of compaction of biomass grinds. *Powder Handling and Processing.* 2003; 15(2):160-168.

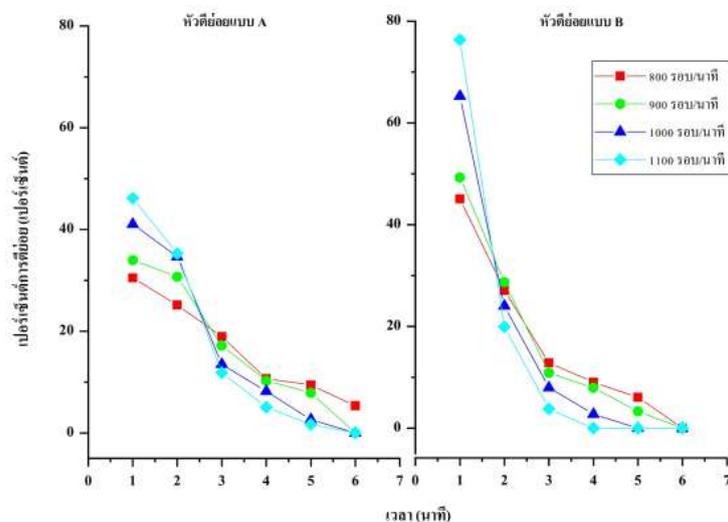
ตารางที่ 1 ผลการศึกษาชนิดของหัวดี และความเร็วในการตัดที่ย่อยที่มีต่อสมรรถนะการลดขนาดใบอ้อย

ชนิดหัวดีย่อย	ความเร็วในการตัดที่ย่อย (รอบ/นาที)	ความสามารถในการตัดย่อยเฉลี่ย (กก./ชม.)	กำลังที่ใช้ในการตัดที่ย่อยเฉลี่ย (วัตต์)	พลังงานจำเพาะในการตัดที่ย่อยเฉลี่ย (วัตต์-ชม./กก.)	ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาค (มม.)
หัวดีย่อยแบบ A	800	9.15	508.16	55.56	0.813
	900	10.19	684.35	67.16	0.798
	1000	12.32	815.52	66.12	0.776
	1100	13.84	970.49	70.1	0.753
หัวดีย่อยแบบ B	800	13.52	702.18	51.98	0.667
	900	14.78	852.07	57.52	0.656
	1000	19.58	990.54	50.6	0.646
	1100	22.89	1136.69	49.64	0.633

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลของชนิดของหัวดี และความเร็วในการตัดที่ย่อยที่มีต่อสมรรถนะการลดขนาดใบอ้อย

แหล่งความแปรปรวน	ความสามารถในการตัดที่ย่อย		กำลังที่ใช้ในการตัดที่ย่อย		พลังงานจำเพาะในการตัดที่ย่อย		ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาค	
	df	F	df	F	df	F	df	F
	ชนิดหัวดีย่อย (A)	1	1872.52**	1	41.82**	1	55.03**	1
ความเร็วในการตัดที่ย่อย (B)	3	486.65**	3	49.50**	3	4.73*	3	223.57**
AB	3	59.06**	3	0.06 ^{ns}	3	4.85*	3	18.33**
Error	16		16		16		24	
Total	24		24		24		32	

หมายเหตุ: **มีผลแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์, * มีผลแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์, ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

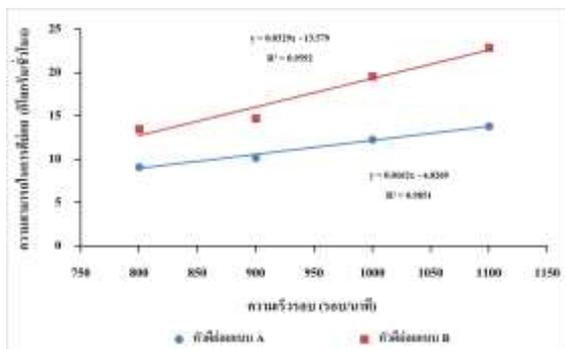


ภาพที่ 5 ผลของเปอร์เซ็นต์การตัดที่ย่อยระหว่างชนิดหัวดีย่อย และความเร็วในการตัดที่ย่อยที่เวลาที่ใช้ในการตัดที่ย่อย

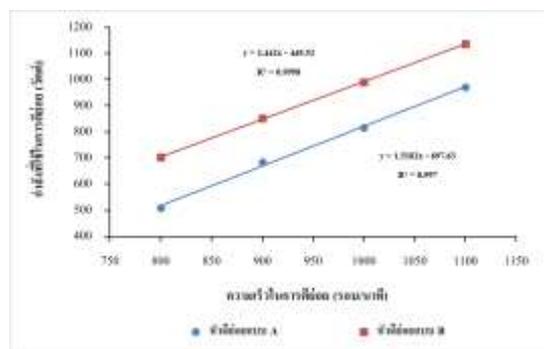
ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลของชนิดของหัวดี และความเร็วในการตัดย่อยที่มีต่อสมรรถนะการลดขนาดใบอ้อย

ชนิดหัวดีย่อย	ความสามารถในการทำงาน, $LSD_{0.05} = 0.62$ กก./ชม.				พลังงานจำเพาะ, $LSD_{0.05} = 7.03$ วัตต์-ชม./กก.			
	ความเร็วในการตัดย่อย (รอบ/นาที)				ความเร็วในการตัดย่อย (รอบ/นาที)			
	800	900	1000	1100	800	900	1000	1100
หัวดีย่อยแบบ A	9.15 ^{bD}	10.19 ^{bC}	12.32 ^{bB}	13.84 ^{bA}	55.56 ^{bA}	67.16 ^{bA}	66.12 ^{bA}	70.10 ^{bA}
หัวดีย่อยแบบ B	13.52 ^{bD}	14.78 ^{bC}	19.58 ^{bB}	22.89 ^{bA}	51.98 ^{bA}	57.52 ^{bB}	50.60 ^{bB}	49.64 ^{bB}
ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาค, $LSD_{0.05} = 0.006$ มิลลิเมตร								
หัวดีย่อยแบบ A	0.813 ^{aA}	0.798 ^{aB}	0.776 ^{aC}	0.753 ^{aD}				
หัวดีย่อยแบบ B	0.667 ^{bA}	0.656 ^{bB}	0.646 ^{bC}	0.633 ^{bD}				
กำลังที่ใช้ในการตัดย่อย, $LSD_{0.05} = 57.61$ วัตต์								
ชนิดหัวดีย่อย	หัวดีย่อยแบบ A		744.63b					
	หัวดีย่อยแบบ B		920.37a					
กำลังที่ใช้ในการตัดย่อย, $LSD_{0.05} = 81.47$ วัตต์								
ความเร็วในการตัดย่อย (รอบ/นาที)	800		605.17d					
	900		768.21c					
	1000		903.03b					
	1100		1,053.59a					

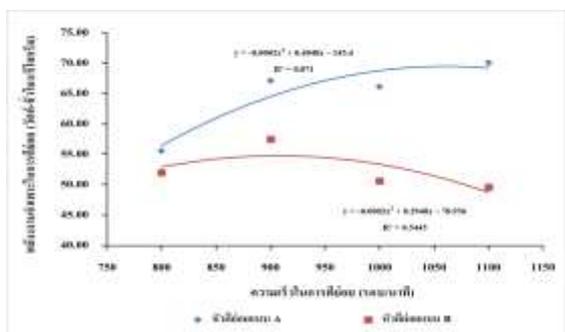
หมายเหตุ: ตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในแนวสทมภ์ของแต่ละค่าชี้ผลหมายถึงไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้วิธี LSD ที่ความเชื่อมั่น 95%
 ตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแนวอนของแต่ละค่าชี้ผลหมายถึงไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้วิธี LSD ที่ความเชื่อมั่น 95%



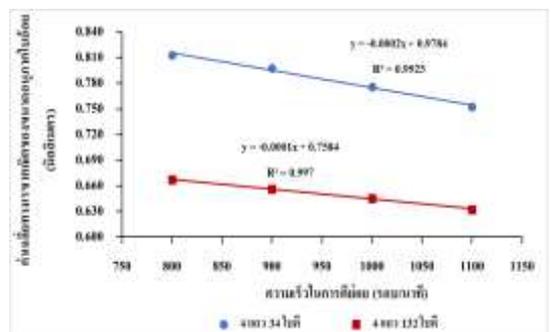
(ก) ความสามารถในการตัดย่อย



(ข) กำลังที่ใช้ในการตัดย่อย



(ค) พลังงานจำเพาะในการตัดย่อย



(ง) ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของขนาดอนุภาค

ภาพที่ 6 (ก) (ข) (ค) และ (ง) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตัดย่อยกับชนิดหัวดีย่อยที่มีต่อสมรรถนะการลดขนาดใบอ้อย