

อิทธิพลของจำนวนใบมีดและความเร็วเชิงเส้นของใบมีดสับที่มีผลต่อสมรรถนะ ของชุดสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลังสำหรับผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด

Influence of Blade Number and Blade Cutting Velocity on the Performance of Cassava Stems Chopping Unit for Producing Pellet Fuel

ชนินทร์ อุปถัมภ์ (Chanin Oupathum)^{1*} ดร.สมโภชน์ สุดาจันทร์ (Dr.Somposh Sudajan)**

ดร.ชัยยันต์ จันทร์ศิริ (Dr.Chayan Junsiri)** ดร.กิตติพงษ์ ลาloon (Dr.Kittpong Laloon)***

สิงห์รัญ ชารี (Singrun Charee)****

บทคัดย่อ

การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของ จำนวนใบมีด และความเร็วเชิงเส้นของใบมีดสับ ที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลัง เพื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด ลำต้นมันสำปะหลังพันธุ์ เกษตรศาสตร์ 50 มีความชื้น 9.85 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกถูกนำมาทดสอบ โดยควบคุมอัตราการป้อน 130 กิโลกรัม/ชั่วโมง ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ จำนวนใบมีด 3 ระดับ คือ 2 3 และ 4 ใบมีด และความเร็วเชิงเส้น 5 ระดับ คือ 4.12 5.03 5.95 6.80 และ 7.78 เมตร/วินาที ผลการศึกษา พบว่า จำนวนใบมีดสับ 2 ใบมีด และความเร็วเชิงเส้นของการสับ 5.03 เมตร/วินาที มีความสามารถในการทำงาน 115.30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ค่าพลังงานไฟฟ้า 1.28 กิโลวัตต์ ค่าพลังงานจำเพาะ 11.06 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม และมีการกระจายขนาดของลำต้นมันสำปะหลัง 1-10 มิลลิเมตร รวมเท่ากับ 69.6 เปอร์เซ็นต์

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of blades number set and linear velocity on the performance of a chopping unit for producing pelleted fuel. The Kasetsart 50 various cassava stem with an average moisture content of 9.85 % (wet basis), the feed rate was controlled by 130 kg/hr. Three number of blades sets; 2, 3 and 4 blades and five levels of the cutting blade velocity of 4.12, 5.03, 5.95, 6.80 and 7.78 m/s were studied The result showed that the chopping unit with 2 blades number and cutting blade linear velocity of 5.03 m/s had capable of working 115.30 kg/hr, power consumption 1.28 kW, specific energy 11.06 W-hr/kg and 69.6 % distribution of the cassava sized 1-10 mm., respectively

คำสำคัญ: จำนวนใบมีด ความเร็วเชิงเส้นการสับ ลำต้นมันสำปะหลัง

Keywords: Blades number, Blade cutting velocity, Cassava stems

¹Corresponding author: chanin9398@gmail.com

*นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***อาจารย์ สาขาวิชาเครื่องจักรกลเกษตร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา

บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับต้นๆของโลกมีพื้นที่ปลูกทั้งหมด 146.7 ล้านไร่ คิดเป็นผลผลิตประมาณ 278 ล้านตัน [1] ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 8.91 ล้านไร่ ในปี 2559 มูลค่าการส่งออกจากผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังกว่า 31,126 ล้านบาท [2] หลังการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังแล้วจะมีเหง้าและลำต้นมันสำปะหลังที่ถูกทิ้งไว้ในไร่ประมาณ 4.26 ล้านตัน [3] ซึ่งตามปกติจะถูกกองทิ้งไว้ในไร่ก่อนจะถูกเผาเพื่อเตรียมแปลงปลูกใหม่อีกครั้งทำให้สูญเสียเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์ อย่างไรก็ตามการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงก็ยังประสบปัญหาทางด้านการเก็บรวบรวม การขนส่ง เนื่องจากเป็นชีวมวลประเภทกระจายตัว และมีความหนาแน่นต่ำ มีขนาดรูปร่างที่ไม่แน่นอน ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนการขนส่ง [4-5] ซึ่งการนำมาผลิตเป็นชีวมวลอัดเม็ดจึงถือเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด เพราะสามารถแก้ปัญหาข้างต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ มันสำปะหลังมีความสำคัญและมีศักยภาพในการผลิตทั้งอาหารและพลังงานชีวมวลได้ [6-7] ซึ่งสารประกอบที่ได้จากลำต้นมันสำปะหลัง คือ จี๊เจ้า สารระเหย อยู่ในช่วงเกณฑ์ที่สามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิงได้ [8] สำหรับกระบวนการผลิตชีวมวลอัดเม็ดมีขั้นตอนของ การสับ การย่อย และการอัดเม็ดขึ้นรูป [9] ซึ่งขั้นตอนของการสับลดขนาดเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากขนาดของชีวมวลจะต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปอัดเม็ด นอกเหนือจากขนาดแล้วความสามารถในการลดขนาดก็ถือเป็นค่าชี้วัดที่สำคัญเพราะจะช่วยให้เกษตรกรลดต้นทุนทั้งในแง่ของเวลาและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานอีกด้วย ดังนั้นในขั้นตอนของการลดขนาดจึงเป็นขั้นที่สำคัญในการเลือกใช้เครื่องจักรที่ถูกต้องเพื่อลดพลังงานและค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล [10] ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลการพัฒนาเครื่องลดขนาดท่อนมันสำปะหลังสำหรับนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดยังมีน้อยมาก จากการศึกษาหลักการสับชนิดแบบจานสับ (Disc chipper) ซึ่งเป็นที่ได้รับความนิยม เพราะสามารถสับไม้ที่เนื้อแข็งมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 350 ถึง 370 มิลลิเมตร [11] และสำหรับการสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลังมุมไบมิดที่ทำการศึกษามี 30 ถึง 45 องศา ที่ความเร็วเชิงเส้น 2.5 เมตรต่อวินาที ใช้พลังงานจำเพาะในการสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลังน้อยที่สุด [12] สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดแบบมีดบด(knife mill) ค้อนบด(hammer mill) และ จานบด(disc mill) ได้แก่ ความเร็วในการทำงาน อัตราการป้อน ขนาดรูตะแกรงและชนิดของชีวมวล [13] ซึ่งในขั้นตอนของการอัดเม็ดยังมีขนาดอนุภาควัสดุที่นำมาอัดเม็ดต้องเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยไม่ควรเกิน 3 มิลลิเมตร และความชื้นช่วง (10-35 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก) [14-16] และในการศึกษาในครั้งนี้ใช้ชุดสับลดขนาดแบบจานสับสำหรับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลัง เนื่องจากในปัจจุบันเครื่องสับชนิดแบบจานสับได้รับความนิยมมากที่สุดที่ใช้ในขั้นตอนของการลดขนาด [17] เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาปรับปรุงหรือนำไปออกแบบและสร้างเครื่องจักรที่ใช้ในการสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลังหรือเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องได้อย่างเหมาะสมที่สุด

วัตถุประสงค์การวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมของชุดสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลังสำหรับนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนไบมิดและความเร็วเชิงเส้นของการสับที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของชุดสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลัง

วิธีการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของจำนวนไบมิดและความเร็วเชิงเส้นของไบมิดสับที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลังสำหรับนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด สถานที่ทำการศึกษาคือ

ห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งมีขั้นตอนและรายละเอียดของวิธีการศึกษาดังนี้

1. การเตรียมวัสดุ

เก็บรวบรวมลำต้นมันสำปะหลังที่เหลือทิ้งจากรั้วภายหลังจากการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น พันธุ์ลำต้นมันสำปะหลังที่ใช้ เกษตรศาสตร์ 50 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูง ลำต้นมันสำปะหลังมีความชื้นเฉลี่ย 9.85 % (มาตรฐานเปียก) ลำต้นมีขนาดความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 135.23 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยตำแหน่งของ โคน กลาง ปลาย เท่ากับ 29.42 25.53 และ 22.78 มิลลิเมตร ตามลำดับ น้ำหนักต่อลำเฉลี่ย 240.66 กรัม จากนั้นนำมาเตรียมตัวอย่าง โดยชั่งน้ำหนักลำต้นมันสำปะหลังให้ได้น้ำหนัก 2 กิโลกรัม แล้วมีครวบกั้นปรับแต่งลำต้นมันสำปะหลังให้มีขนาดเท่า ๆ กัน เป็นกลุ่ม ๆ จำนวน 45 ตัวอย่าง เพื่อให้เพียงพอต่อการทดสอบ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การเตรียมลำต้นมันสำปะหลังเพื่อการทดสอบ

2. ชุดทดสอบสับลดขนาด

สำหรับชุดสับลดขนาดที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ เป็นชุดสับแบบชนิดจานสับ ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งมีส่วประกอบดังนี้

2.1) ช่องป้อน จากการศึกษามุมเสียดทานสถิตของลำต้นมันสำปะหลัง พบว่า มุมเสียดทานสถิตอยู่ในช่วง 25-30 องศา ดังนั้นในการออกแบบช่องป้อนของชุดสับลดขนาดจึงออกแบบให้มีมุม 45 องศา เพื่อให้ลำต้นมันสำปะหลังสามารถไหลเข้าห้องสับได้ตามแรงโน้มถ่วงอย่างเป็นอิสระ

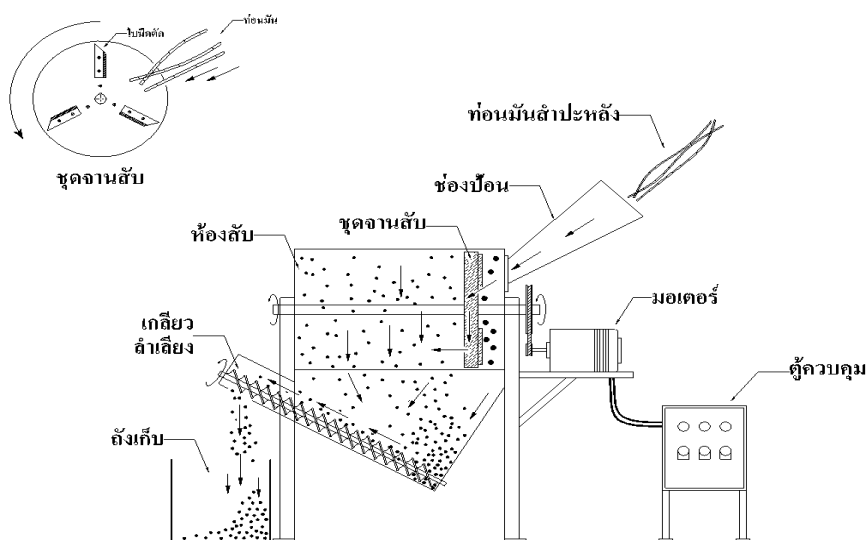
2.2) ห้องสับ ประกอบด้วย 1.ชุดจานสับ ซึ่งจานสับมีหน้าที่ยึดใบมีดสับและสามารถปรับเปลี่ยนใบมีดสับได้ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ขนาดของจานมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 320 มิลลิเมตร หนา 25 มิลลิเมตร 2.ใบมีดสับ ทำหน้าที่สับวัสดุ มีขนาดยาว 120 มิลลิเมตร กว้าง 25 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร มุมใบมีด 20 องศา ซึ่งใบมีดสับที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ใช้จำนวนใบมีด 23 และ 4 ใบมีด 3.เพลาชับ ทำหน้าที่รับส่งกำลังจากสายพานที่ส่งมาจากมอเตอร์ต้นกำลังเพื่อทำการขับเคลื่อนจานสับ มีขนาด ยาว 700 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางเพลาลูก 25 มิลลิเมตร 4.ชุดเกลียวลำเลียง ทำหน้าที่รับวัสดุที่ผ่านการสับจากชุดจานสับพร้อมทั้งลำเลียงวัสดุออกไปยังถังรับวัสดุ เกลียวลำเลียงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ระยะพิชต์ 70 มิลลิเมตร ความยาวของเกลียวลำเลียง 1 เซนติเมตร มุมของการลำเลียง 30 องศา โดยมีช่องออกวัสดุสูงจากพื้นดิน 130 เซนติเมตร

2.3) ชุดถ่ายทอดกำลัง ทำหน้าที่ รับถ่ายกำลังจากต้นกำลังไปยังชุดจานสับและชุดเกลียวลำเลียงซึ่งประกอบไปด้วย มูเลย์ และสายพานส่งกำลัง

2.4) ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ทำหน้าที่ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ให้สามารถควบคุมเพลาน้ำมันมีความเร็วที่กำหนดของศึกษา

2.5) ชุดต้นกำลัง ชุดต้นกำลังเป็นมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังส่งผ่านกำลังด้วยสายพานไปยังชุดเพลาน้ำมัน และชุดเกียร์ลำเลียง

2.6) โครงสร้างของชุดทดสอบ เป็นส่วนที่รองรับอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งต้องสามารถรับน้ำหนักได้ดี ซึ่งส่วนใหญ่เลือกใช้เหล็กขนาดฉากหนา 5 มิลลิเมตร และเหล็กแผ่น 3 มิลลิเมตร มีความสูงของเครื่อง 1500 มิลลิเมตร ยาว 800 มิลลิเมตร และกว้าง 522 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2 แบบชุดสับลดขนาดลำต้นน้ำมันลำปะหลัง

3. ปัจจัยของการศึกษา

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษาจึงได้กำหนดปัจจัยของการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 ปัจจัยที่ศึกษาด้านเครื่องจักร

3.1.1 จำนวนใบมีดสับ 3 ระดับ ได้แก่ 2 3 และ 4 ใบมีด

3.1.2 ความเร็วเชิงเส้นของจานใบมีดสับ 5 ระดับ ได้แก่ 4.12 5.03 5.95 6.80 และ 7.78 เมตร/วินาที

3.2 ปัจจัยควบคุม

3.2.1 ความชื้นของลำต้นน้ำมันลำปะหลังที่ใช้ทดสอบ มีค่าความชื้นที่ 9.85 % (มาตรฐานเปียก) หาความชื้นโดยการอบลดความชื้นตามวิธีมาตรฐาน [18]

3.2.2 อัตราการป้อน 130 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

3.2.3 มุมใบมีดที่ใช้ในการสับ 20 องศา ซึ่งจากการศึกษาปัจจัยของมุมใบมีดในการสับลำต้นน้ำมันลำปะหลังพบว่าที่มุมใบมีด 20 องศา ใช้พลังงานในการสับน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมุมใบมีดที่เพิ่มขึ้น [19]

4. วิธีการทดสอบ

การศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อการสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลังโดยการทดสอบปัจจัยด้าน จำนวนใบมีด 3 ระดับ คือ 2 3 และ 4 ใบมีด และความเร็วเชิงเส้นใบมีด 4.12 5.03 5.95 6.80 และ 7.78 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีรายละเอียดของการทดสอบดังนี้

4.1 ปรับแต่งชุดทดสอบโดยเริ่มติดตั้งใบมีดสับ 2 ใบมีด พร้อมติดตั้งชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์และตรวจวัดความเร็วของใบมีดสับให้เป็นไปตามปัจจัยของการศึกษา

4.2 นำลำต้นมันสำปะหลังที่เตรียมไว้ป้อนลงในช่องป้อนของชุดทดสอบ ครั้งละ 2 กิโลกรัม โดยใช้คน 1 คนควบคุมในการป้อนเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องใช้เวลาในการป้อน 55 วินาที (อัตราการป้อน 130 กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

4.3 สุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุที่ผ่านการสับโดยใช้ภาชนะรองรับวัสดุที่ช่องออกของเครื่องแล้วจับเวลาจำนวน 3 ชั่วโมงและชั่งน้ำหนักที่สุ่มเพื่อนำไปคำนวณหาความสามารถในการสับ พร้อมบันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในสับเพื่อนำไปคำนวณหาค่าพลังงานจำเพาะ

4.4 นำตัวอย่างที่สุ่มได้ไปคัดขนาดด้วยวิธี sieve analysis โดยทำการเทวัสดุลงชั้นบนสุดของตะแกรงด้วยน้ำหนัก 100 กรัม เขย่าเป็นเวลา 5 นาที ชั่งน้ำหนักหาเปอร์เซ็นต์ที่ตกค้างบนตะแกรงแต่ละชั้น เพื่อหาช่วงการกระจายขนาดลำต้นมันสำปะหลัง กระทำการทดสอบ 3 ชั่วโมง [20] ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องคัดแยกขนาดอนุภาค (sieve analysis)

4. การทดสอบจำนวนใบมีด 3 และ 4 ที่ความเร็วเชิงเส้นใบมีด 5.03 5.95 6.80 และ 7.78 เมตรต่อวินาที ดำเนินการเช่นเดียวกันกับวิธีการทดสอบที่ 2 ใบมีด

5. ค่าชี้ผลการศึกษา

5.1 ความสามารถในการทำงาน คือ ปริมาณวัสดุที่ออกจากเครื่องสับได้ต่อเวลาที่ใช้สับ วัสดุดังกล่าวหมายถึง ขนาดชิ้นของลำต้นมันสำปะหลังที่ผ่านชุดสับ คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\begin{aligned} C_p &= W_t/T & (1) \\ \text{เมื่อ } C_p &= \text{ความสามารถในการสับ (kg/hr)} \\ W_t &= \text{ปริมาณน้ำหนักของชิ้นลำต้นมันสำปะหลังที่สับได้ทั้งหมด (kg)} \\ T &= \text{เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ชั่วโมง)} \end{aligned}$$

5.2 พลังงานจำเพาะ คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสับต่อความสามารถในการสับ มีหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ได้จากสมการที่ 2

$$\begin{aligned} E &= P/C_p & (2) \\ \text{เมื่อ } E &= \text{พลังงานจำเพาะ (W-hr/kg)} \\ P &= \text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (W)} \\ C_p &= \text{ความสามารถในการสับ (kg/hr)} \end{aligned}$$

5.3 การกระจายของขนาดชิ้นล้าคั่นมันสำปะหลัง (%) บนชั้นแต่ละชั้นซึ่งมีขนาดรูตะแกรง ดังนี้ (<1) (1-4) (4-6) (6-8) (8-10) และ (>10) มิลลิเมตร ตามลำดับ

6. การวิเคราะห์ผล

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลังสำหรับนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติแบบแผนการทดลองแบบ 3x5 Factorial in CRD เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักและตัวแปรตาม

ผลการวิจัย

ผลของการศึกษา การนำลำต้นมันสำปะหลังมาเป็นตัวอย่างทดสอบสำหรับทำการศึกษาค้นคว้าปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของการสับลดขนาดของชุดสับที่ถูกสร้างขึ้น ซึ่งจากผลของการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติตารางที่ 1 และ 2 พบว่าจำนวนใบมีดและความเร็วเชิงเส้นของการสับ มีผลต่อ ความสามารถในการทำงาน พลังงานที่ใช้ พลังงานจำเพาะ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ซึ่งมีรายละเอียดของการศึกษาดังนี้

1. ความสามารถในการทำงาน

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนใบมีดและความเร็วเชิงเส้นของการสับที่ระดับต่าง ๆ มีผลต่อความสามารถในการทำงานดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า จำนวนใบมีดและความเร็วเชิงเส้นในการสับมีผลทำให้ความสามารถในการทำงานของชุดสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลังมีค่าแตกต่างทางสถิติ ยกเว้นเมื่อสับด้วยจำนวนใบมีดสับ 2 ใบมีด ด้วยความเร็วเชิงเส้นใบมีดสับ 5.03 และ 5.95 เมตรต่อวินาที และจำนวนใบมีดสับ 3 ใบมีด ด้วยความเร็วเชิงเส้นใบมีดสับ 4.12 และ 5.03 เมตรต่อวินาที ไม่มีความแตกต่าง เมื่อความเร็วเชิงเส้นใบมีดสับเพิ่มขึ้นจาก 4.12 ถึง 5.03 เมตร/วินาที จากภาพที่ 4ก แสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการสับเพิ่มขึ้นทุก ๆ ระดับจำนวนใบมีด ซึ่งมีค่าความสามารถสูงสุดคือ 115.30 กิโลกรัม/ชั่วโมง ที่จำนวนใบมีดสับ 2 ใบมีด และเมื่อความเร็วในการสับเพิ่มขึ้นจาก 5.03 ถึง 7.78 เมตร/วินาที ความสามารถในการทำงานมีค่าลดลงทุก ๆ ระดับจำนวนใบมีด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างจำนวนใบมีดค่าความสามารถมีค่าลดลงเมื่อจำนวนใบมีดเพิ่มขึ้น จาก 2 ถึง 4 ใบ สาเหตุเนื่องจากจำนวนใบมีดเพิ่มขึ้นและความเร็วของการสับสูงขึ้นทำให้จังหวะของการสับลดน้อยลงทำให้เกิดการสับแต่เป็นเพียงการเสียดสีระหว่างแผ่นใบมีดกับลำต้นมันสำปะหลังซึ่งจะส่งผลถึงการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่เกิดการสับจึงทำให้ความสามารถในการทำงานลดน้อยลงไป

2. กำลังไฟฟ้าที่ใช้

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนใบมีดและความเร็วเชิงเส้นในการสับที่ระดับต่าง ๆ มีต่อค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้แสดงในตารางที่ 3 พบว่า จำนวนใบมีดและความเร็วเชิงเส้นในการสับมีผลทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานของชุดสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลังมีค่าแตกต่างทางสถิติ ยกเว้นเมื่อสับด้วยจำนวนใบมีด 2 และ 3 ใบมีด ความเร็วเชิงเส้นของใบมีดสับ 5.03 ถึง 5.98 เมตร/วินาที ไม่มีค่าความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งที่จำนวน 3 ใบมีด ความเร็วเชิงเส้นของการสับที่ 5.03 เมตร/วินาที กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสับเท่ากับ 1.27 กิโลวัตต์ ซึ่งน้อยกว่าทุกระดับความเร็วและทุกจำนวนใบมีด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นใบมีดกับจำนวนใบมีดสับที่มีผลต่อการใช้กำลังไฟฟ้า พบว่า เมื่อสับด้วยความเร็วเชิงเส้นจาก 4.12 ถึง 6.80 เมตรต่อวินาที ที่จำนวนใบมีดสับ 2 และ 3 ใบมีด ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งจากผลของการทดสอบเมื่อเพิ่มระดับความเร็วในการสับและเพิ่มจำนวนใบมีดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสับลดขนาดมีค่าเพิ่ม [12] ขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่าความสามารถ เนื่องจากจำนวนใบมีดเพิ่มขึ้นและระดับความเร็วที่เพิ่มขึ้นทำให้จังหวะของการสับมีค่าลดลง หรือเพิ่มจำนวนความถี่ของการสับทำให้เกิดเป็นการเสียดสีระหว่างแผ่นใบมีดกับลำต้นแทน

3. พลังงานจำเพาะ

ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานจำเพาะที่เป็นผลมาจากการศึกษาจำนวนใบมีดและความเร็วเชิงเส้นใบมีดที่ระดับต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า จำนวนใบมีดสับและความเร็วเชิงเส้นใบมีดมีผลทำให้ค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการสับของชุดสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลังมีค่าแตกต่างทางสถิติ ยกเว้นเมื่อสับด้วยจำนวนใบมีดสับ 2 ใบมีด ด้วยความเร็วเชิงเส้นใบมีดสับ 5.03 และ 5.95 เมตรต่อวินาที และจำนวนใบมีดสับ 3 ใบมีด ที่ความเร็วเชิงเส้นของการสับที่ 4.12 ถึง 5.03 เมตร/วินาที ให้ค่าพลังงานจำเพาะไม่แตกต่างกัน ซึ่งที่จำนวน 2 ใบมีด ความเร็วเชิงเส้นของการสับที่ 5.03 เมตร/วินาที มีค่าพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดเท่ากับ 11.06 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม ดังแสดงในภาพที่ 4ข และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเร็วเชิงเส้นใบมีดกับจำนวนใบมีดสับที่มีผลต่อการค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ พบว่า เมื่อสับด้วยความเร็วเชิงเส้นใบมีด 5.03 เมตรต่อวินาที ที่จำนวนใบมีดสับ 2 และ 3 ใบมีด ค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ไม่แตกต่างกัน ซึ่งจากผลการทดสอบ เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 5.03 ถึง 7.78 เมตรต่อวินาที ค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้น ที่ทุก ๆ ระดับของจำนวนใบมีด [12]

4. การกระจายตัวของขนาดชิ้นมันสำปะหลัง

จากการศึกษาจำนวนใบมีดและความเร็วเชิงเส้นของการสับลดขนาดที่ระดับต่าง ๆ มีผลต่อการกระจายตัวของขนาดชิ้นลำต้นมันสำปะหลัง ดังแสดงในตารางที่ 4 และภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อจำนวนใบมีดเพิ่มขึ้นและความเร็วเชิงเส้นใบมีดสับเพิ่มขึ้นชิ้นมันที่ผ่านการสับมีขนาดเล็กลง แต่เมื่อพิจารณาความสามารถในการทำงาน พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการสับ พบว่า เมื่อสับด้วยจำนวนใบมีด 2 และ 3 ใบมีด ที่ความเร็วของการสับ 5.03 เมตร/วินาที มีความเหมาะสมของทุกค่าชี้วัด อีกทั้งขนาดของชิ้นลำต้นมีความสม่ำเสมอ ซึ่งจำนวนใบมีดสับที่ 2, 3 ใบมีด มีการกระจายตัวของขนาดชิ้นลำต้นน้อยกว่า 4 มิลลิเมตร มีขนาด 1.78, 3.24 เปอร์เซนต์ ซึ่งสามารถนำไปอัดเม็ดได้ [15] ขนาดชิ้นช่วง 4-10 มิลลิเมตร มีขนาด 67.82, 75.75 เปอร์เซนต์ ขนาดดังกล่าวนำไปย่อยให้ได้ขนาดเหมาะสมเพื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด และขนาดมากกว่า 10 มิลลิเมตร มีขนาด 30.41, 22.26 เปอร์เซนต์ ขนาดที่มากกว่า 10 มิลลิเมตร นี้ควรนำไปศึกษาต่อหรือแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงประเภทอื่น ๆ ที่มีความเหมาะสมต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาของจำนวนใบมีดและความเร็วเชิงเส้นในการสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลังสำหรับนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิง เมื่อพิจารณาจาก ค่าความสามารถในการทำงาน กำลังไฟฟ้าที่ใช้ พลังงานจำเพาะ และการกระจายของขนาดชิ้นลำต้นมันสำปะหลัง สามารถสรุปได้ว่า เมื่อจำนวนใบมีดเพิ่มขึ้น ความเร็วเชิงเส้นในการสับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการสับมีค่าลดลง พลังงานจำเพาะที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้น และมีขนาดชิ้นลำต้นมันสำปะหลังเล็กลง

จากการศึกษาที่จำนวนใบมีด 2 และ 3 ใบมีด และที่ความเร็วเชิงเส้นของการสับ 5.03 เมตร/วินาที มีความเหมาะสมในการทำงานของชุดสับลดขนาดมากกว่าจำนวนใบมีดสับ 4 ใบมีด ซึ่งได้ความสามารถในการทำงานอยู่ในช่วง 110.44 - 115.30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ช่วง 1.27-1.28 กิโลวัตต์ ค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้อ้อยในช่วง 11.06 – 11.52 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม และขนาดของชิ้นลำต้นมีความสม่ำเสมอ และมีขนาดเล็กกว่า 10 มิลลิเมตร มีการกระจายตัวของขนาดชิ้นลำต้นมันสำปะหลังรวม 69.6 - 78.99 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดสอบเมื่อสับด้วยจำนวนใบมีด 2 ใบมีด ชุดทดสอบสับไม่เกิดแรงการสั่นสะเทือนของตัวชุดทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนใบมีดสับ 3 ใบมีด เนื่องจากการการวางตำแหน่งของใบมีดมีผลต่อความสมดุลของตัวชุดทดสอบ ซึ่งแรงสั่นสะเทือนนี้อาจส่งผลต่อโครงสร้างและอายุการใช้งานของเครื่องจักรให้เกิดความชำรุดเสียหายได้ ดังนั้น ในการศึกษาในครั้งนี้จึงเลือกจำนวนใบมีดสับ 2 ใบมีดมีความเหมาะสมในการสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลังสำหรับผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ดูล่วงตามวัตถุประสงค์ เนื่องจากได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวมหาวิทยาลัยขอนแก่น, ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และภาควิชาวิศวกรรมเกษตรคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

1. FAO [Internet]. [Cited 2018 August 13]. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. 2018.
2. AOAE [Internet]. [Cited 2017 January 23]. Available from: <https://www.doe.go.th/doae/2016>.
3. DEDE [Internet]. [Cited 2017 January 23]. Available from: <http://www.dede.go.th>. 2016.
4. Khidhathong P, Wangjiraniran W, Suriyawong A. A Study on Spatial Potential of Biomass for Electricity Generation. *Journal of Energy Research* 2014; 11(1): 63-76.Thai.
5. Kaewwinud N, Khokhajaikiat P, Boonma A. Effect of biomass characteristics on durability of Cassava stalk residues pellets. *Research in Agricultural Engineering* 2018; (1): 15–19.
6. Veiga J, José T, Feltranb C, Bizzoa W. Characterization and productivity of cassava waste and its use as an energy source. *Renewable Energy* 2016; (93): 691-699.
7. Wanbin Z, Torbjor N, Lestander. Cassava stems: a new resource to increase food and fuel. *GCB Bioenergy* 2015; (7): 72–83.
8. Jone D, Harper D, Taylor A. 2007. Wood Pellets – An introduction to their production and use [Internet]. 2007 [Cited 2020 February 1] Available from: <https://extension.tennessee.edu/publications/Documents/W214.pdf>.

9. Ladan J, Sokhansanj S, Mani S. Cost and Performance of Woody Biomass Size Reduction for Energy Production. The Canadian Society for Bioengineering 2006.
10. Hakkila P. Utilization of Residual Forest Biomass. Berlin: Springer-Verlag; 1989.
11. Visvanathan R, Sreenayanan V, Swaminathan K. Effect of knife and velocity on the energy required to cut required to cut cassava tubers. Journal of Agriculture Engineering Research 1996; (64): 99-102.
12. Womac AR, Igathinathane C, Bitra P, Yang T, Sokhansanj. Biomass Pre-Processing Size Reduction with Instrumented Mill. The Proceeding of 2007 ASABE Annual International Meeting. Minesota: ASABE. 2007
13. Whittaker C, Shield I. Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2017; (71): 1-11.
14. Jaya ST, Christopher T, Wright KL, Kenny J. A Review on Biomass Densification Technologies for Energy Application. Idaho National Laboratory: Department of Energy National Laboratory; 2010 Aug. Report No. : INL/EXT-10-18420.
15. Tumuluru JS. High moisture corn Stover pelleting in a flat die pellet mill fitted with with a 6 mm die: physical properties and specific energy consumption. Energy science and engineering 2015; 3(4): 327-341.
16. Tumuluru JS, Wright CT, Kenny KL, Hess JR. A Review on Biomass Densification Technologies for Energy Application. Idaho: Department Energy Systems and Technologies Division Idaho Falls; 2010
17. Abdallah R, Auchet S, Me'ausoone PJ. Experimental study about the effects of disc chipper settings on the distribution of wood chip size. Biomass and Bioenergy 2011; (35): 843-852.
18. ASAE. Moisture measurement –ungrounded grains and seeds. MI: American Society of Agricultural Engineers; 1994.
19. Oupathum C, Charee S, Sudajan S, Thivavarnvongs T. Effects of Moisture Content and Knife Bevel Angle on Shearing Properties of Cassava Stems. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. IOP 2019; 301.
20. ASAE. Method of Determining and Expressing Particle Size of Chopped Forage Materials by Screening. MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers; 1988.

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาจำนวนมีดและความเร็วเชิงเส้นของการสับที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลัง

จำนวนใบมีด	ความเร็วเชิงเส้น (เมตร/วินาที)	ความสามารถ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	พลังงาน (กิโลวัตต์)	พลังงานจำเพาะ (วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม)
2	4.12	81.66	1.35	16.55
	5.03	115.30	1.28	11.06
	5.95	111.68	1.28	11.51
	6.80	91.55	1.34	14.74
	7.78	73.15	1.45	19.83
3	4.12	106.23	1.35	12.73
	5.03	110.45	1.27	11.52
	5.95	81.54	1.28	15.71
	6.80	67.24	1.34	19.98
	7.78	58.20	1.46	25.04
4	4.12	67.72	1.42	20.98
	5.03	72.01	1.44	19.94
	5.95	63.75	1.45	22.67
	6.80	45.89	1.37	29.86
	7.78	36.40	1.34	36.94

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยผลของการศึกษา ได้มาจากค่าเฉลี่ยของการสุ่มตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการทำงาน กำลังไฟฟ้า และพลังงานจำเพาะที่ใช้ ของการศึกษาจำนวนใบมีดและความเร็วเชิงเส้นของการสับที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลัง

Source of Variation	df	F -Value		
		Working Capacity	Power requirements	Specific energy consumptions
Blade	2	857.437**	149.121**	929.475**
velocity	4	388.708**	94.164**	419.541**
Blade * velocity	8	57.235**	98.172**	38.102**
Error	30			
Total	45			

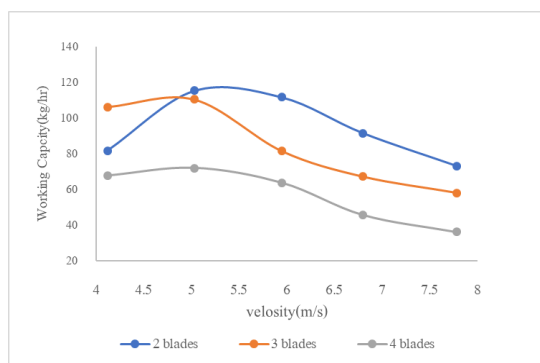
หมายเหตุ: ** มีผลแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลของจำนวนใบมีดในแต่ละระดับความเร็วเชิงเส้นของการสับที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของชุดสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลัง

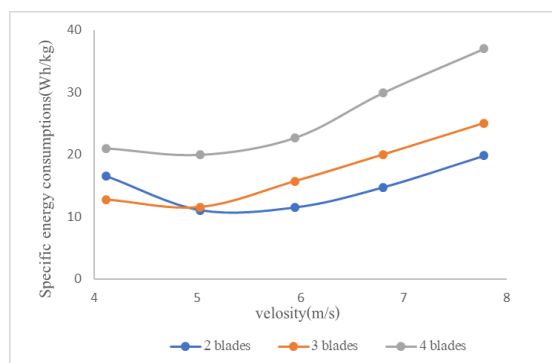
Linear velocity of blade	Number of blades					
	Working Capacity (kg/h), □□□□□□=4.29 kg/h			Power requirements, kW, □□□□□□=0.02 kw		
	2	3	4	2	3	4
4.12	81.66bB	106.23dC	67.72cdA	1.35bA	1.35bA	1.42cB
5.03	115.30dC	110.45dB	72.01dA	1.28aA	1.27aA	1.44cdB
5.95	111.68dC	81.54cB	63.75cA	1.28aA	1.28aA	1.45dB
6.80	91.55cC	67.24bB	45.89bA	1.34bA	1.34bA	1.37bB
7.78	73.15aB	58.20aC	36.40aA	1.45cB	1.46cB	1.34aA

Specific energy consumptions, □□□□□□=1.27 Wh/kg			
4.12	16.55cB	12.73aA	20.98aC
5.03	11.06aA	11.52aA	19.94aB
5.95	11.51aA	15.71bB	22.67bC
6.80	14.74bA	19.98cB	29.86cC
7.78	19.83dA	25.04dB	36.94dC

หมายเหตุ: ตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในแนวสทมภ์ของแต่ละค่าชี้ผลหมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี LSD ที่ความเชื่อมั่น 95%
ตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแนวนอนของแต่ละค่าชี้ผลหมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี LSD ที่ความเชื่อมั่น 95%



(ก)

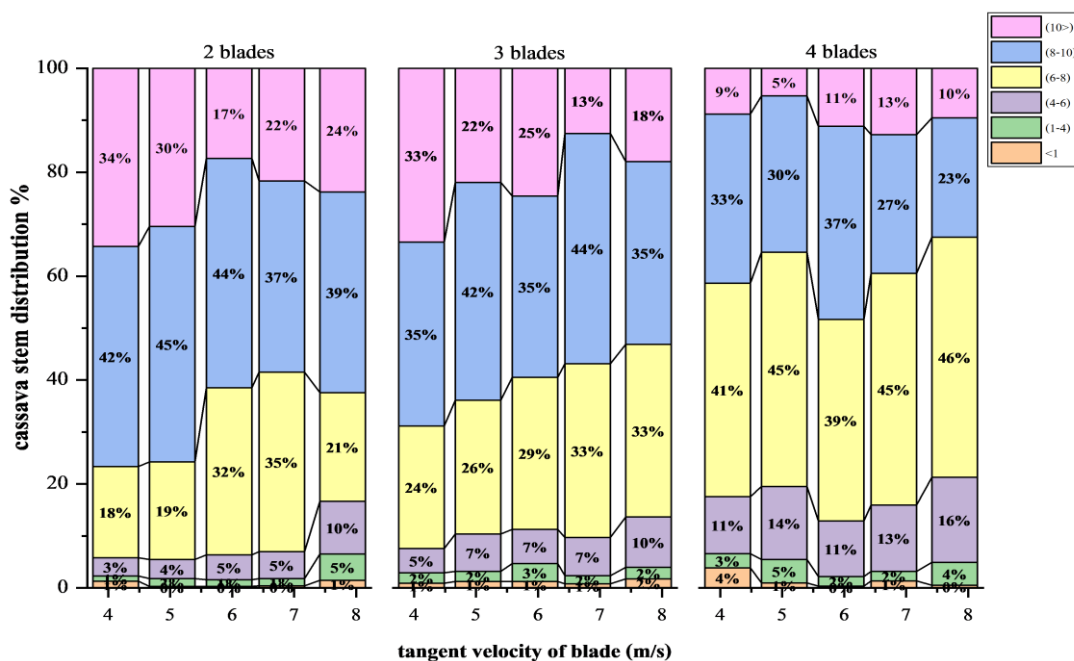


(ข)

ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นใบมีดสับกับความสามารถในการสับ (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นใบมีดสับกับพลังงานจำเพาะที่ใช้ (ข)

ตารางที่ 4 ผลของจำนวนใบมีดในแต่ความเร็วเชิงเส้นของการสับที่มีผลต่อการกระจายของขนาดชิ้นลำต้นมันสำปะหลัง
หลังสับ

Number of blades	Linear velocity of blade (m/s)	Cassava stems size distributions (%)					
		<1 mm.	(1-4 mm.)	(4-6 mm.)	(6-8 mm.)	(8-10 mm.)	(>10 mm.)
2	4.12	1.28	1.01	3.49	17.58	42.34	34.30
	5.03	0.26	1.52	3.68	18.78	45.36	30.41
	5.95	0.30	1.28	4.82	32.27	44.26	17.42
	6.80	0.42	1.37	5.21	34.52	36.83	21.66
	7.78	1.43	5.11	10.12	20.91	38.61	23.82
3	4.12	0.87	2.06	4.68	23.72	35.59	33.62
	5.03	1.25	1.99	7.27	26.05	42.43	22.26
	5.95	1.24	3.44	6.56	29.30	34.86	24.59
	6.80	0.80	1.51	7.33	33.25	44.06	12.49
	7.78	1.73	2.23	9.71	33.19	35.20	17.94
4	4.12	3.96	2.79	11.25	42.14	33.38	9.06
	5.03	0.95	4.52	14.03	45.10	30.10	5.29
	5.95	linear velocity of blade(m/s)			59	38.80	37.18
	6.80	1.34	1.87	12.75	44.58	26.70	12.77
	7.78	0.48	4.43	16.39	46.23	22.95	9.54



ภาพที่ 5 จำนวนใบมีดและระดับความเร็วเชิงเส้นของใบมีดที่มีผลต่อการกระจายตัวของขนาดลำต้นมันสำปะหลังหลังสับ
ลดขนาด



ภาพที่ 6 ลักษณะของชิ้นลำต้นมันสำปะหลังที่ผ่านการสับลดขนาด