การออกแบบและพัฒนาเครื่องสับวัสดุพืชเกษตรและเปลือกผลไม้
Design and Development of an Agricultural Material and Fruit Peel Shredder Machine

สมศักดิ์ คำมา[1/*] จารุวรรณ สิงห์ม่วง[2/] พินัย ทองสวัสดิ์วงศ์[3/]
Somsak Kamma[1/] Charuwan Singmuang[2/] Pinai Thongsawatwong[3/]

Received 13 Sep 2019/Revised 26 Nov 2019/Accepted 29 Jan 2020

ABSTRACT

This research aimed to design and develop a small shredder machine for shredding vegetables waste and fruit peels. The procedures were studying basic physical properties of materials, designing, constructing and testing the performance of the shredder machine. The shredder machine weighed 45 kg. It consisted of a steel structure, a feeding hopper, cutting blade set (23 curved blades 160 mm long, 2.0 mm thick), fly wheel, power transmission sets, material rails and 1/3 hp electric motor. Seven types of plants including lemongrass stub, lemongrass leaf, pandan leaf, Thai morning glory, Beijing grass, passion fruit peel and pomelo peel were tested at cutting blade speeds of 500, 600, 700, 800 and 900 rpm. The test results showed that the machine can cut materials at all speeds tested. The amounts of cutting were directly correlated with the cutting speeds. At the cutting speed of 700–800 rpm the machine could cut 71–148 kg/hr of tested materials using electrical power of 0.0009–0.0033 kWh/kg. At these speeds the cutting machines worked smoothly without vibration, so the cutting speed 700 rpm was selected for operating the machine. The machine could cut 6 types of test plants except pomelo peel. The average cutting capacity was 112.3 kg/h with average electrical power consumption of 0.0013 kWh/kg. Economic analysis revealed that the machine cost was 23,000 baht and it was further found that the cost per cutting unit (baht/kg) at small cutting amount was high but would become lower when the amount of cutting increased. For example, when the cutting amount increased to 60,000–100,000 kg/year (150.5–212.0 days), the cutting costs were between 0.73–0.75 baht/kg.

Keywords : shredder machine, agricultural material, fruit peel

[1/] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ จ. ฉะเชิงเทรา 24000

[1/] Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University, Chachoengsao 24000

[2/] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ จ.ฉะเชิงเทรา 24000

[2/] Faculty of Science and Technology, RajabhatRajanagarindra University, Chachoengsao 24000

[3/] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จ.ปทุมธานี 12120

[3] Faculty of Engineering, Thammasat University, Pathumthani 12120

* Corresponding Author: kamma1960@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องสับขนาดเล็ก สำหรับสับพืชผักเหลือใช้จากครัวเรือนและเปลือกผลไม้ มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้ ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของวัสดุ การออกแบบ การสร้าง และการทดสอบสมรรถนะของเครื่องตัดเครื่องตัดที่พัฒนามีน้ำหนัก 45 กก. มีส่วนประกอบคือโครงสร้างเหล็ก ถังป้อน ชุดใบมีดตัดแบบใบมีดโค้ง ยาว 160 มม. หนา 2.0 มม. จำนวน 23 ใบ ล้อช่วยแรงชุดส่งกำลัง รางรับวัสดุ และมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/3 แรงม้า ทดสอบการตัดพืช 7 ชนิด ได้แก่ ต้นตะไคร้ ใบตะไคร้ ใบเตย ผักบุ้งไทย หญ้าปักกิ่ง เปลือกเสาวรส และเปลือกส้มโอ ที่ความเร็วรอบใบมีดตัด 500, 600, 700, 800 และ 900 รอบ/นาที ผลการทดสอบพบว่า เครื่องสามารถตัดวัสดุได้ทุกความเร็วรอบ โดยปริมาณการตัดได้จะมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับความเร็วรอบใบมีดตัด ความเร็วรอบตัด 700–800 รอบ/นาที สามารถตัดได้ขนาดเล็กจำนวน 71–148 กก./ชม. ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0009–0.0033 กิโลวัตต์-ชม./กก. และเครื่องตัดสามารถทำงานได้ราบเรียบไม่สั่นสะเทือน ดังนั้นจึงกำหนดความเร็วในการตัด 700 รอบ/นาที เป็นความเร็วในการทำงานของเครื่อง ผลการทดสอบพบว่า เครื่องสามารถตัดพืชทดสอบ 6 ชนิด ยกเว้นเปลือกส้มโอ ความสามารถในการตัดได้เฉลี่ย 112.3 กก./ชม. และใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0013 กิโลวัตต์-ชม./กก. สำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เมื่อต้นทุนการสร้างเครื่องเท่ากับ 23,000 บาท พบว่า ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการตัด (บาท/กก.)ในช่วงแรกจะสูง แต่เมื่อตัดพืชได้ปริมาณเพิ่มขึ้น ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการตัดจะลดลง โดยเมื่อมีปริมาณการตัดเพิ่มเป็น 60,000–100,000 กก./ปี (150.5–212.0 วัน) ค่าใช้จ่ายในการตัดเท่ากับ 0.73–0.75 บาท/กก.

คำสำคัญ: เครื่องสับ, วัสดุพืชเกษตร, เปลือกผลไม้

บทนำ

วัสดุพืชที่ใช้บริโภคแยกออกได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนที่ใช้ทำเป็นอาหารบริโภคโดยตรงและส่วนที่ไม่สามารถทำเป็นอาหารได้จำเป็นต้องทิ้งเป็นขยะ ทำให้เกิดขยะเปียกในครัวเรือนและชุมชน และเป็นแหล่งแพร่เชื้อโรค เกิดมลภาวะทางดิน น้ำ และอากาศได้ และเป็นขยะที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นถ้าผู้บริโภคมีการจัดการและนำวัสดุพืชอาหารเหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์ด้านเกษตรและอุตสาหกรรม โดยการแปรรูปหรือลดขนาด เช่น การตัดการหั่น การปอกเปลือก การบด ฯลฯ เพื่อให้มีขนาดที่เหมาะสมนำไปใช้ประโยชน์ง่าย เช่น การแปรรูป การบรรจุถังง่าย การอบแห้ง รวมถึงการย่อยสลายที่ใช้ระยะเวลาน้อยลง หลังจากลดขนาดแล้วเกษตรกรสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ เช่น เป็นอาหารสัตว์ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ การผสมคลุกเคล้ากับดินโดยใช้เศษวัสดุหลายชนิดผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม และการทำปุ๋ยหมัก วัสดุที่ใช้เพื่อให้ย่อยสลายได้ง่ายและใช้เวลาย่อยน้อยจำเป็นต้องหั่นให้มีขนาดชิ้นเล็กไม่เกิน 1 นิ้ว (อำนาจ, 2553) นอกจากนี้ปัจจุบันแนวโน้มการใช้สมุนไพรไทยซึ่งเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นเพื่อทดแทนยาสังเคราะห์จากการแพทย์แผนปัจจุบันมีแนวโน้มสูงขึ้น จึงเกิดการรวมกลุ่มเพื่อผลิตพืชสมุนไพรแบบเกษตรอินทรีย์ ได้แก่ ตะไคร้ ผักบุ้ง ชะพลู ฟ้าทะลายโจร หญ้าหนวดแมว หญ้ารีแพร หญ้าปักกิ่ง ใบเตย ชุมเห็ดเทศ อัคคีทวาร ฯลฯ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบป้อนให้กับโรงพยาบาลเจ้าพระยาอภัยภูเบศร ได้แก่ กลุ่มสมุนไพรเกษตรอินทรีย์ บ้านดงบัง ต.ดงขี้เหล็ก อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี แต่การผลิตพืชเพื่อส่งต่อให้โรงพยาบาลเจ้าพระยาอภัยภูเบศรต้องตัดให้มีขนาดความยาวเฉลี่ย 1.0 ซม. ซึ่งปัจจุบันใช้มีดหั่นย่อยด้วยมือ ทำให้การผลิตไม่ทันต่อความต้องการ นอกจากนี้ พืชสมุนไพรมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ค่อนข้างหลากหลายมากกว่าเศษวัสดุพืชอื่น ๆ เช่น มียางจากต้นหญ้าปักกิ่งเมื่อสัมผัสมือจะคันรูปทรงลำต้นโค้งงอใบไม่แน่นอน ทำให้การหั่นย่อยด้วยมือเกิดอันตรายได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องตัดวัสดุเกษตรให้มีขนาดเล็กเพื่อใช้ประโยชน์ด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม เช่น Kumar and Kumar (2015) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องหั่นย่อยวัสดุเกษตรที่เป็นของเสียเพื่อตัดก้านใบและพื้นที่ใบ โครงสร้างเครื่องทำจากเหล็กกล้า ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส มีชุดเฟือง ลูกปืน ชุดตัดทำจากเหล็กทังสเตนคาร์ไบด์ และมีเพลา 2 เพลา ส่งกำลังด้วยสายพานผ่านเพลาชุดเฟืองขับใบมีด ซึ่งใบมีดมีทั้งหมด 8 ใบ เมื่อใบมีดหมุนจะตัดลำต้นและใบในห้องตัดและไหลออกด้านล่าง เขาได้ทดลองตัดกับเปลือกมะพร้าว เครื่องสามารถหั่นย่อย ฉีกเปลือกมะพร้าวให้ขาดละเอียดได้ ข้อดีเครื่องมีราคาถูกกว่าท้องตลาด และมีความปลอดภัยในประเทศไทย นิรัติศักดิ์และคณะ. (2559) ได้วิจัยอิทธิพลของจำนวนใบมีดและความเร็วรอบใบมีดสับที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดสับใบอ้อย ชุดทดสอบสับใบอ้อยประกอบด้วยช่องป้อนวัสดุ ชุดหัวสับ ชุดลำเลียง ชุดถ่ายทอดกำลังและโครงสับ จำนวนใบมีดที่ใช้สับมี จำนวน 2, 3 และ 4 ใบมีด ความเร็วรอบใบมีดที่ใช้สับ 500, 600, 700 และ 800 รอบ/นาที ใช้ใบอ้อยขอนแก่น 3 มีความชื้นเท่ากับ 7.48% (มาตรฐานเปียก) อัตราการป้อนเท่ากับ 260 กก./ชม. ผลการทดสอบ พบว่า ความเร็วรอบใบมีด 500 ถึง 800 รอบ/นาที มีความเหมาะสมในการสับใบอ้อยและมีความสามารถสับได้สูงสุดเท่ากับ 232.29กก./ชม. เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ตัดได้เหมาะสมสูงสุดเท่ากับ 88.87% ใช้ใบมีด 3 ใบ ความเร็วรอบ 800 รอบ/นาที ตัดได้ความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 2.07 ซม. และถ้าเพิ่มใบมีดขึ้นแล้วขนาดที่ตัดได้มีแนวโน้มลดลง และสมศักดิ์ (2561) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องสับย่อยเศษพืชผักในครัวเรือน โดยใช้หลักการวิศวกรรม ทฤษฎีแรงเค้นเฉือนและทดสอบสมรรถนะการตัดวัสดุให้ได้ขนาดเล็ก กลางและใหญ่ โดยออกแบบการทดสอบแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต (CCD) พบว่าเครื่องสับเศษพืชที่ความเร็วรอบตัดของเครื่องที่เหมาะสม คือ 763 รอบ/นาที ตัดวัสดุได้ขนาดเล็กช่วง 46.2–120.0 กก./ชม. ตัดตะไคร้ได้ปริมาณต่ำสุด 46.2 กก./ชม. และตัดผักบุ้งจีนได้ปริมาณสูงสุด 120 กก./ชม. ใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตัด 0.001–0.003 กิโลวัตต์–ชม./กก. เครื่องมีประสิทธิภาพในการตัดเศษวัสดุในระดับดีมากกว่า ร้อยละ 50 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดเศษวัสดุพืชอาหารและเปลือกผลไม้ให้ได้ขนาดเล็ก สำหรับใช้ในวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็ก

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพวัสดุพืชเกษตร

วัสดุพืชเกษตรที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ต้นตะไคร้ ใบตะไคร้ ใบเตย ผักบุ้งไทย หญ้าปักกิ่ง เปลือกส้มโอ และเปลือกเสาวรส โดยการวัดขนาด ความชื้น (มาตรฐานเปียก) และความหนาแน่น

การหาความชื้นของพืชตามมาตรฐานเปียก (สมชาติ, 2540)โดยใช้เครื่องอบยี่ห้อ Fisher Scientic อุณหภูมิ 105°ซ. ใช้เวลา 48 ชม. และคำนวณโดยใช้ สมการ (1) และหาค่าความหนาแน่นของวัสดุพืชหาปริมาตรด้วยวิธีการแทนที่น้ำและคำนวณดังสมการ (2)

$$\text{ความชื้นมาตรฐานเปียก (\%)} = \frac{\text{มวลของวัสดุก่อนอบแห้ง (กก.)}}{\text{มวลของวัสดุแห้ง (กก.)}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)} = \frac{\text{มวลของวัสดุ (กก.)}}{\text{ปริมาตร (ลบ.ม.)}} \quad (2)$$

2. การออกแบบเครื่องตัด

การออกแบบเครื่องและชุดตัดเพื่อตัดวัสดุให้ขาดแยกออกจากกันด้วยคมมีดที่หมุนโดยใช้กำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่เหมาะสม ส่งกำลังด้วยสายพานวีผ่านพูลเลย์ (Pulley) ร่องวีของชุดเพลาขับใบมีด (Blade Shaft) เมื่อเพลาหมุนทำให้ใบมีดตัด (Cutting blade) หมุนผ่านแท่นรองตัด (Cutting board) สับวัสดุที่ป้อน (Material Input) ซึ่งจำนวนใบมีดและความเร็วรอบใบมีดสับมีผลต่อสมรรถนะของชุดสับและสอดคล้องกับต้นกำลังหลัก โดยที่เพลาใบมีดสับจะเพิ่มล้อช่วยแรง (fly wheel)

เพื่อเพิ่มโมเมนตัมให้กับใบมีดขณะหมุนตัด กลไกการตัดแสดงใน Figure1

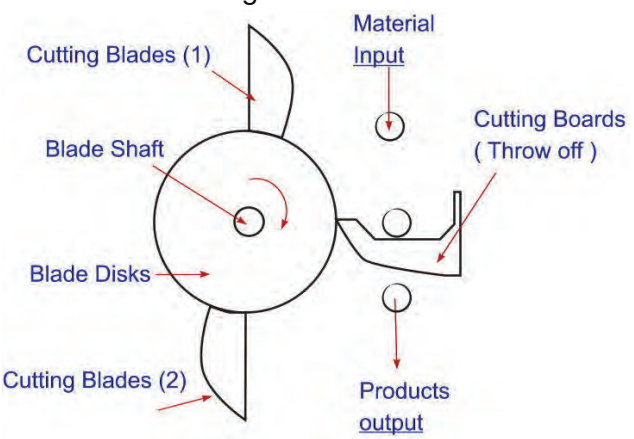

Figure 1 Mechanics of cutting

ตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบมี ดังนี้

1) กำลังที่เหมาะสมเพื่อขับชุดใบมีดตัด จากความสัมพันธ์กฎข้อที่ 2 ของนิวตัน จะได้แรง (F) แรงบิด (T) ความเร็วเชิงมุม (ω) ความเร็วเชิงเส้น (v) และต้นกำลังคำนวณได้จากสมการ (3-4)

$$\text{ต้นกำลัง} = \left(\frac{2 \times \pi \times N \times r}{60}\right)^2 \times m \quad (3)$$

$$\text{ความเร็วเชิงเส้น } v = \omega r \quad (4)$$

2) ใบมีดตัด (Cutting blade) เป็นใบมีดรูปโค้งคมเดียวตัดกิ่งไม้

3) แท่นรองตัด (Cutting board) ใช้เหล็กรูปโค้งวางเรียงแนวยาวขนานกับใบมีด

4) ล้อช่วยแรงมีน้ำหนัก 10 กก. เพื่อเพิ่มโมเมนตัมให้กับใบมีดและทำให้เครื่องตัดได้ราบเรียบ

3. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตัดวัสดุพืชเกษตร

3.1 ความสามารถในการตัด

ทดสอบการตัด ต้นตะไคร้ ใบตะไคร้ ใบเตย ผักบุ้งไทย หญ้าปักกิ่ง เปลือกเสาวรส และเปลือกส้มโอ สำหรับแต่ละพืช ทดสอบการตัดที่ความเร็วรอบตัด 5 ระดับ คือ 500, 600, 700, 800 และ 900 รอบ/นาที (ความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบมีดเท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 เมตร/วินาที ตามลำดับ) แต่ละการทดสอบใช้วัสดุ 1 กก. ทดสอบ 3 ซ้ำ จากนั้น คัดแยกพืชที่ตัดได้แบ่งเป็น 4 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ($0.0 \leq L \leq 1.0$ ซม.) ขนาดกลาง ($1.0 < L \leq 2.0$ ซม.) ขนาดใหญ่ ($2.0 < L \leq 3.0$ ซม.) และขนาดใหญ่สุด ($3.0 < L \leq 5.0$ ซม.) การคำนวณความสามารถในการตัดแสดงในสมการ ที่ 5

$$\text{ความสามารถในการตัด (กก./ชม.)} = \frac{\text{น้ำหนักของวัสดุใช้ตัด (กก.)}}{\text{เวลาที่ใช้ตัดวัสดุ (ชม.)}} \quad (5)$$

3.2 วัดค่าพลังงานที่ใช้ในการตัด

แต่ละการทดลองใช้มัลติมิเตอร์ Digital Multimeter C.A 8220 วัดค่าพลังงานไฟฟ้า

4. การวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการใช้งานสำหรับเครื่องตัดเพื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนซื้อเครื่องตัดมาใช้งาน โดยการแสดงค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมของพืชที่ตัดได้ตามวิธีการของ วินิต (2530) การวิเคราะห์มีข้อกำหนด ดังนี้

1) ค่าใช้จ่ายคงที่ ประกอบด้วยค่าเสื่อมราคา และดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสในการลงทุน โดยใช้วิธีเส้นตรงในการคิดค่าเสื่อมราคา

$$\text{ค่าเสื่อมราคาต่อปี} = \frac{\text{ราคาแรกซื้อ-ราคาเมื่อหมดอายุหรือราคาขาย}}{\text{อายุการใช้งาน (ปี)}} \quad (6)$$

ดอกเบี้ยการลงทุน ในการคำนวณค่าใช้จ่ายกำหนดให้ดอกเบี้ยในการลงทุนมีค่าคงที่ตลอดอายุการใช้งานของเครื่องจักรกลเกษตร เมื่อใช้วิธีเส้นตรงในการคำนวณค่าเสื่อมราคา เงินลงทุนเฉลี่ยในแต่ละปีเท่ากับครึ่งหนึ่งของผลรวมระหว่างราคาแรกซื้อและราคาเมื่อหมดอายุการใช้งาน

ดอกเบี้ยในการลงทุนแต่ละปีสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\text{ดอกเบี้ยในการลงทุนแต่ละปี} = 1/2\text{x}(\text{ราคาแรกซื้อ} + \text{ราคาเมื่อหมดอายุ}) \times \text{อัตราดอกเบี้ย} \quad (7)$$

2) ค่าใช้จ่ายแปรผันประกอบด้วยค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา ค่าจ้างแรงงาน ค่าพลังงานไฟฟ้าไม่คิดค่าโรงเรือน และค่าใช้จ่ายทางอ้อมอื่น ๆ เช่น อุปกรณ์ในการขนส่งหรือติดต่อสื่อสาร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติกายภาพของวัสดุที่ใช้ทดสอบ

คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุพืชเกษตรที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ ต้นตะไคร้ ใบตะไคร้ ใบเตย ผักบุ้งไทย หญ้าปักกิ่ง เปลือกเสาวรส และเปลือกส้มโอ แสดงใน Table 1

Table 1 Physical properties of tested agricultural materials

Type of agricultural materials	Moisture content (wb) %	Density (g/cc)
Lemongrass stem	94.6	1.1
Lemongrass leaf	94.9	1.7
Pandan leaf	98.1	1.1
Angel grass	94.4	0.9
Water morning glory	91.7	1.2
Passion fruit peel	95.2	1.1
Pomelo peel	89.9	0.9

Average of 3 replications

2. เครื่องตัดที่พัฒนา

ผลการออกแบบและพัฒนา (Figure 2) ได้เครื่องตัด มีขนาด กว้าง 33 ซม. ยาว 26.5 ซม. สูง 47 ซม. มีส่วนประกอบสำคัญ (Figure 3) ดังนี้

1) ถังป้อน (feeding hopper) ทำด้วยเหล็ก ขนาดบรรจุ 1.28 x 10^{-6} ลบ.ม. อยู่ด้านบน

2) ห้องตัด (cutting chamber) ประกอบด้วย ใบตัด (cutting blade) แบบรูปโค้งคมเดี่ยวที่ใช้ตัดกิ่งไม้ซึ่งมีจำหน่ายทั่วไปยาว 160 มม. หนา 2 มม. จำนวน 23 ใบ ระยะห่างระหว่างใบมีด 8 มม. ติดตั้งบนเพลาหมุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. (Figure 3) และแผงรับใบมีด (cutting board) (Figure 4) ติดตั้งที่โครงเครื่อง ในการทำงานใบตัดจะหมุนตัดวัสดุบนแผงรับใบมีด ทำให้วัสดุถูกตัดเป็นชิ้นย่อย

3) รางรับวัสดุ (discharge tray) ที่ถูกตัดอยู่ด้านล่าง ทำหน้าที่รองรับวัสดุที่ถูกตัดจากห้องตัด

4) ถ่ายทอดกำลังโดยใช้พูลเลย์และสายพานวี (pulley and V-belt) ร่อง A

5) ล้อช่วยแรง (fly wheel) 10 กก. เพื่อเพิ่มโมเมนตัมให้กับใบตัดขณะหมุนตัด

6) ต้นกำลัง มอเตอร์ไฟฟ้า (electric motor) ขนาด 1/3 แรงม้า 220 โวลท์ 50 Hz

3. ประสิทธิภาพเครื่องตัดวัสดุพืชเกษตร

การทดสอบสมรรถนะการตัดที่ความเร็วรอบตัด 5 ระดับ คือ 500, 600, 700, 800 และ 900 รอบ/นาที ตัดพืช 6 ชนิด แบ่งขนาดที่ตัดได้เป็น 4 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ และขนาดใหญ่สุด ผลการทดสอบ พบว่า วัสดุขนาดเล็ก $0.0 < L \leq 1.0$ ซม. เครื่องตัดสามารถตัดได้มีขนาดเฉลี่ย 0.89 ± 0.08 ซม. ขนาดกลาง $1.0 < L \leq 2.0$ ซม. เครื่องตัดสามารถตัดได้มีขนาดเฉลี่ย 1.60 ± 0.27 ซม.

3.1 เปอร์เซ็นต์การตัดได้ขนาดเล็ก ($0.0 < L \leq 1.0$ มม.) สำหรับการตัด ต้นตะไคร้ ใบตะไคร้ ใบเตย ผักบุ้ง และหญ้าปักกิ่ง พบว่า ต้นตะไคร้ เครื่องตัดได้ปริมาณมากสุด 94.1% ที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ขณะที่ผักบุ้ง ตะไคร้ ใบเตย และหญ้าปักกิ่ง เครื่องตัดได้ปริมาณมากสุด 93.1%, 75.5%, 71.1% และ 31.1% ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 900 รอบ/นาที (Table 2)

Figure 2 The prototype

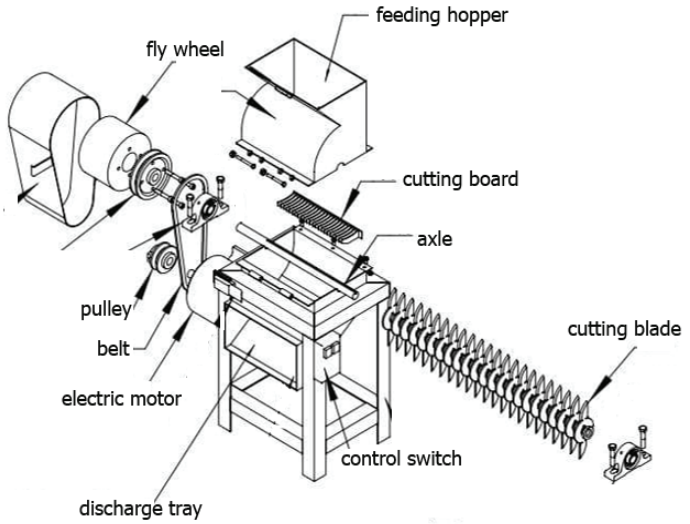

Figure 3 Machine components

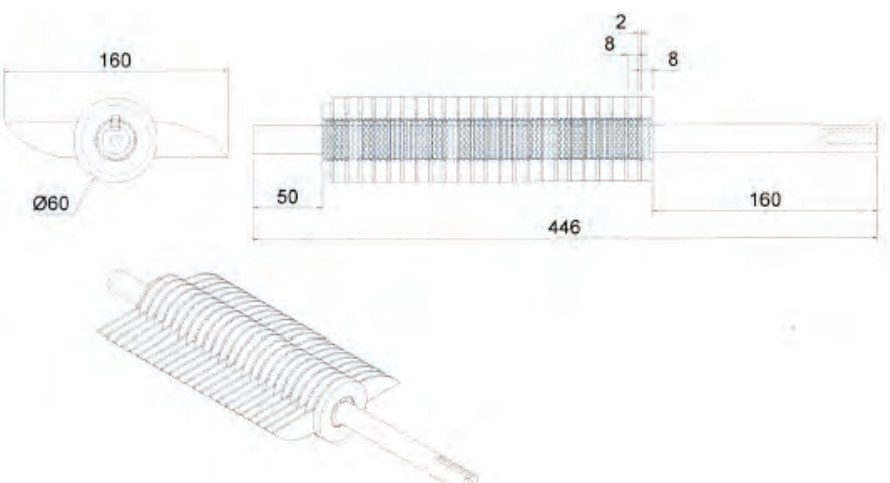

Figure 4 Cutting blades Unit: mm.

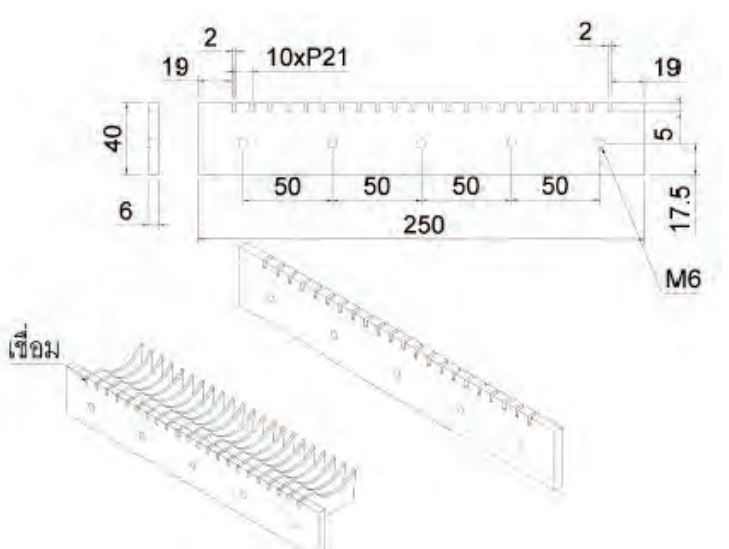

Figure 5 Cutting board Unit: mm.

สำหรับการตัดเปลือกเสาวรสและเปลือกส้มโอ พบว่า เปลือกเสาวรสตัดได้ขนาดเล็กปริมาณมากที่สุด 100.0% ที่ความเร็วรอบ 800 รอบ/นาที ขณะที่เปลือกส้มโอตัดได้ขนาดเล็กปริมาณมากที่สุด 90.4% ที่ความเร็วรอบ 800 รอบ/นาที (Table 2) แต่ในการตัดเปลือกเสาวรสที่ความเร็วตัด 500, 600 และ 700 รอบ/นาที เครื่องตัดได้ขนาดเล็กมีปริมาณ 87.8% - 96.9% ส่วนการตัดเปลือกส้มโอที่ความเร็วตัด 800-900 รอบ/นาที สามารถตัดได้ 90.4-89.9% แต่ที่ความเร็วรอบตัดอื่น ๆ มีเปอร์เซ็นต์การตัดได้น้อย

Table 2 Percentage of size distribution of chopped materials at different cutting blade speed

Cutting speed (rpm)	Size of chopped material	% of cutting on each type of material*						
		Lemon Grass stem	Lemon grass leaf	Pandan leaf	Water morning glory	Angel grass	Passion fruit peel	Pomelo peel
500	Small	94. 1	67. 5	0.0	90.3	29.9	87.8	28.4
	Medium	5. 9	30. 0	93.3	7.7	47.8	12.2	14.9
	Large	0.0	2. 5	6.7	0.0	22.4	0.0	29.7
	Extra-Large	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0
600	Small	85. 0	62.0	5.6	86.6	15.4	88.0	0.0
	Medium	15. 0	38.0	94.5	13.4	55.4	12.1	20.3
	Large	0.0	0.0	0.0	0.0	29.2	0.0	54.6
	Extra-Large	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0
700	Small*	81. 5	74. 6	6.7	86.4	17.9	96.9	0.0
	Medium**	18. 5	16. 9	93.3	13.6	59.7	3.1	11.7
	Large	0.0	8. 5	0.0	0.0	22.4	0.0	65.1
	Extra-Large	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.3
800	Small	74. 5	58. 0	10.0	92.8	25.7	100.0	90.4
	Medium	25. 5	30. 4	90.0	7.2	57.7	0.0	9.6
	Large	0.0	11. 4	0.0	0.0	15.4	0.0	0.0
	Extra-Large	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
900	Small	74. 5	75. 5	71.1	93.1	31.3	90.3	89.9
	Medium	23. 6	24. 4	28.9	6.9	56.3	9.7	10.1
	Large	1. 8	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0
	Extra-Large	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Remark : Small = 0.0 < L 1.0 cm, Medium = 1.0 < L 2.0 cm, Large = 2.0 < L 3.0 cm, Extra-large = 3.0< L 5.0 cm
*Average of three replications

สำหรับค่าปริมาณที่ตัดได้เฉลี่ยเครื่องตัดพืช 6 ชนิด ความเร็วรอบใบมีดตัดของเครื่องแตกต่างกัน 5 ระดับ พบว่า ความเร็ว 500, 600, 700, 800 และ 900 รอบ/นาที ตัดได้เฉลี่ย 56.36%, 50.92%, 53.42%, 50.92% และ 69.1% ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบสูงกว่า 800 รอบ/นาที เครื่องสั่นและมีเศษวัสดุที่ตัดได้กระเด็นย้อนกลับช่องป้อน และมีขนาดละเอียด

3.2 เปอร์เซ็นต์การตัดได้ขนาดเล็กกับกลางสูงสุด (1.0 < L ≤ 2.0 ซม.) ผลการทดสอบพบว่า การตัดต้นตะไคร้ ใบตะไคร้ ใบเตย ผักบุ้ง และหญ้าปักกิ่ง เครื่องสามารถตัดได้ ดังนี้

- ต้นตะไคร้ตัดได้ขนาดเล็กและกลางปริมาณมากสุด 100% ที่ความเร็วรอบ 500-800 รอบ/นาที
- ใบตะไคร้ตัดได้ขนาดเล็กและกลางปริมาณมากสุด 100% ที่ความเร็วรอบ 600 และ 900 รอบ/นาที
- ใบเตยตัดได้ขนาดเล็กและกลางปริมาณมากสุด 100% ที่ความเร็วรอบ 600 และ 900 รอบ/นาที
- ผักบุ้งตัดได้ขนาดเล็กและกลางปริมาณมากสุด 100% ที่ความเร็วรอบ 600-900 รอบ/นาที

- หญ้าปักกิ่งตัดได้ขนาดเล็กและกลางปริมาณมากสุด 87.6% ที่ความเร็วรอบ 900 รอบ/นาที

สำหรับการตัดเปลือกเสาวรสและส้มโอ พบว่า ในการตัดเปลือกเสาวรส เครื่องตัดได้ 100% ทุกความเร็วรอบ ส่วนการตัดเปลือกส้มโอเครื่องตัดได้ 100% ที่ความเร็วรอบ 800 และ 900 รอบ/นาที ขณะที่ความเร็วรอบ 500-700 รอบ/นาที เครื่องตัดได้ 11.7-43.3% (Table 2)

สำหรับค่าปริมาณที่ตัดได้เฉลี่ย เครื่องตัดพืช 5 ชนิด ความเร็วรอบใบมีดตัดแตกต่างกัน 5 ระดับ พบว่า ที่ความเร็วรอบ 500, 600, 700, 800 และ 900 รอบ/นาที ตัดได้เฉลี่ย 93.30%, 94.18%, 93.82%, 94.36% และ 93.82% ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบสูงกว่า 800 รอบ/นาที เครื่องสั่นและมีเศษวัสดุที่ตัดได้กระเด็นย้อนกลับช่องป้อนและมีขนาดละเอียด

ความสามารถในการตัดพืช ตะไคร้ ใบเตย ผักบุ้ง และหญ้าปักกิ่ง พบว่า ลำต้นตะไคร้เครื่องตัดได้สูงสุด 125 กก./ชม. ใบตะไคร้เครื่องตัดได้สูงสุด 83 กก./ชม. ที่ความเร็วรอบ 900 รอบ/นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 0.0020 กิโลวัตต์-ชม./กก. ใบเตยตัดได้สูงสุด 149 กก./ชม. ที่ความเร็วรอบ 900 รอบ/นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 0.0012 กิโลวัตต์-ชม./กก. และหญ้าปักกิ่งเครื่องตัดได้สูงสุด 149 กก./ชม. ที่ความเร็วรอบ 900 รอบ/นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 0.0009 กิโลวัตต์-ชม./กก. (Table 3)

Table 3 Working capacity and electric energy consumption for different material cutting

Cutting speed (rpm)	Working capacity(kg/h)					Electric energy(kW-h/kg)				
	Lemongrass		Pandan	Water morning glory	Angel grass	Lemongrass		Pandan	Water morning glory	Angel grass
	stems	Leaf				stems	leaf			
500	50.0	42.0	100.0	112.0	75.0	0.0031	0.0022	0.0025	0.0010	0.0012
600	91.0	53.0	111.0	115.0	97.0	0.0014	0.0021	0.0009	0.0011	0.0011
700	111.0	71.0	125.0	137.0	139.0	0.0013	0.0021	0.0009	0.0011	0.0009
800	111.0	77.0	91.0	148.0	121.0	0.0014	0.0017	0.0009	0.0011	0.0009
900	125.0	83.0	125.0	149.0	149.0	0.0013	0.0020	0.0009	0.0012	0.0009

ความสามารถในการตัดเปลือกเสาวรสและเปลือกส้มโอ พบว่า เปลือกเสาวรส เครื่องสามารถตัดได้สูงสุด 116.0 กก./ชม. ที่ความเร็วรอบ 900 รอบ/นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 0.0017 กิโลวัตต์-ชม./กก. ขณะที่การตัดเปลือกส้มโอเครื่องสามารถตัดได้สูงสุด 106.0 กก./ชม. ที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที ใช้กระแสไฟฟ้า 0.0023 กิโลวัตต์-กิโลวัตต์-ชม./กก. (Table 4)

Table 4 Working capacity and electric energy consumption for peel cutting

Cutting speed (rpm)	Working capacity (kg/h)		Electric energy (kW-h/kg)	
	Passion fruit peel	Pomelo peel	Passion fruit peel	Pomelo peel
500	96.0	24.0	0.0015	0.0059
600	83.0	37.0	0.0018	0.0040
700	91.0	46.0	0.0017	0.0033
800	107.0	106.0	0.0021	0.0023
900	116.0	95.0	0.0017	0.0027

ผลการทดสอบความสามารถในการตัดที่ความเร็วรอบใบมีดตัด 5 ระดับ ตัดวัสดุ 6 ชนิด 7 ตัวอย่าง ตัวชี้วัดความยาว 4 ขนาด พบว่าเครื่องมีประสิทธิภาพการตัดได้ทุกความเร็วรอบ แต่ความเร็วตัดที่เหมาะสมตัดวัสดุได้ขนาดเล็กและกลาง คือ ความเร็ว 700-800 รอบ/นาที

ตัดได้ปริมาณ 71-148 กก./ชม. และใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0009-0.0033 กิโลวัตต์-ชม./กก. เครื่องทำงานเรียบตัดได้สม่ำเสมอไม่สั่นสะเทือน ส่วนความเร็วรอบใบมีดตัดมากกว่า 800-900 รอบ/นาที ตัดได้ปริมาณ 83-149 กก./ชม. และใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0027 กิโลวัตต์-ชม./กก. เครื่องจะสั่น เศษชิ้นวัสดุที่ตัดได้กระเด็นย้อนกลับออกด้านป้อน และชิ้นวัสดุที่ตัดได้แตกละเอียด แต่ตัดได้ปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับความเร็วรอบใบมีดตัดอื่น ๆ การสั่นของเครื่องมีผลกระทบต่อชิ้นส่วนของเครื่องทำให้มีอายุการใช้งานสั้น

ดังนั้น ในการสร้างเครื่องตัดจึงเลือกใช้ความเร็วใบมีดตัด 700 รอบ/นาที เป็นเครื่องตัดที่สามารถตัดได้ทั้งวัสดุต้น ใบพืช และเปลือกเสาวรส ให้มีขนาดเล็กและขนาดกลางเฉลี่ยปริมาณสูงสุด 112.3 กก./ชม. โดยตัดได้ขนาดเล็กเฉลี่ย 0.89±0.08 ซม. และขนาดกลางเฉลี่ย 1.60±0.27 ซม. ยกเว้นการตัดเปลือกส้มโอซึ่งจะต้องมีการศึกษาวิจัยต่อไป

4. ค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่อง

4.1 ต้นทุนคงที่ (Fixed cost)

การคิดค่าใช้จ่าย ใช้ความสามารถในการทำงานของเครื่อง ที่ความเร็วรอบ 700 รอบ/นาที เครื่อง-ตัดพืช 6 ตัวอย่าง ได้เฉลี่ยเท่ากับ 112.3 กก./ชม. ทำงานวันละ 6 ชม. คิดที่ประสิทธิภาพการทำงาน 70% สามารถตัดได้เท่ากับ 112.3 x 6 x 0.70 = 471.7 กก./วัน ยกเว้นเปลือกส้มโอ ค่าจ้างแรงงาน 300 บาท/วัน ทำงานวันละ 6 ชม. และราคาเครื่อง เท่ากับ 23,000 บาท อายุการใช้งานของเครื่อง 5 ปี และราคาซากเครื่อง เมื่อครบ 5 ปี เท่ากับ 1,000 บาท

ดังนั้น ค่าเสื่อมราคา = (23,000-1000)/5 = 4,400 บาท/ปี

ค่าดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสเงินลงทุน (interest on investment)

ดอกเบี้ยในการลงทุนแต่ละปี = 1/2 x (ราคาแรกซื้อ + ราคาเมื่อหมดอายุ) x อัตราดอกเบี้ย ในการคำนวณเลือกใช้อัตราดอกเบี้ย (เงินกู้) ของธนาคารไทยพาณิชย์ 7.37% และแทนค่าในสมการที่ (8)

$$\text{ค่าดอกเบี้ย} = \left(\frac{23{,}000+1{,}000}{60}\right) \times \left(\frac{7.34}{100}\right) \qquad (8)$$

= 884.40 บาท/ปี

ดังนั้น ต้นทุนคงที่ต่อปี = 4,400+884.40 = 5,284.40 บาท

4.2 ต้นทุนแปรผัน (Variable cost)

ประกอบด้วยค่าบำรุงรักษาค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ตัด และค่าแรงงาน มีรายละเอียด ดังนี้

(1) ค่าบำรุงรักษา (repair and maintenance) คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 20 บาท/วัน

- ค่าบำรุงรักษา = 20/471.7
  = 0.042 บาท/กก.

(2) ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ตัดเลือกความเร็วรอบ 700 รอบ/นาที เครื่องตัดพืชได้เฉลี่ย 112.3 กก./ชม. พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยเท่ากับ 0.0013 กิโลวัตต์ – ชม./กก. ยกเว้นเปลือกส้มโอ ค่าไฟฟ้าคิดอัตรา 2.73 บาท/หน่วย

- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตัด = 0.0013 x 2.73
  = 0.004 บาท/กก.

(3) ค่าแรงงาน ใช้คนป้อนวัสดุ 1 คน ทำงาน 6 ชม./วัน ค่าแรงงาน 300 บาท

- ค่าแรงงาน = 300/471.7
  = 0.64 บาท/กก.

สมการค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องตัด C บาท/กก. เมื่อมีปริมาณการตัด T กก./ปี

C = 5,284.4/T + (0.042 + 0.004 + 0.64)
= 5,284.4/T + 0.689 บาท/กก.

จากสมการสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการตัดของเครื่องต่อปีและค่าใช้จ่ายในการตัด (บาท/กก.) แสดงใน (Figure 6)

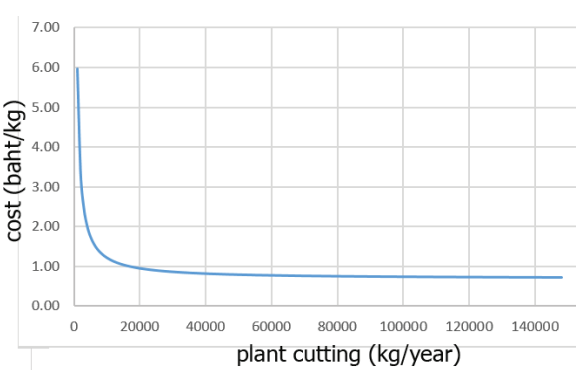

Figure 6 Relationship between plant cutting and cost

จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในการตัด (บาท/กก.) จะสูงในช่วงที่มีปริมาณตัดต่อปีน้อย และลดลงเมื่อมีปริมาณการตัดต่อปีมากขึ้น โดยเมื่อมีปริมาณการตัด 20,000 กก./ปี (70.4วัน) ค่าใช้จ่ายในการตัดเท่ากับ 0.95บาท/กก. และเมื่อมีปริมาณการตัดเพิ่มเป็น 60,000-100,000 กก./ปี (150.5-212.0 วัน) ค่าใช้จ่ายในการตัดจะลดลงเหลือ 0.73-0.75 บาท/กก.

สรุปผลการทดลอง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องหั่นย่อยวัสดุเกษตร เพื่อใช้เป็นเครื่องทุ่นแรงสำหรับหั่นย่อยวัสดุอาหารเหลือใช้ในครัวเรือนและเปลือกผลไม้ให้มีขนาดเล็กมีขั้นตอนออกแบบ ดังนี้ คือศึกษาคุณสมบัติกายภาพของพืชเบื้องต้น ออกแบบสร้างและทดสอบสมรรถนะการตัด เครื่องมีน้ำหนัก 45 กก. ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/3 แรงม้า 220 โวล์ท 50 Hz เป็นต้นกำลัง ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องสับย่อยวัสดุเกษตรทั่ว ๆ ไป ผลการทดสอบ พบว่า เครื่องสามารถตัดได้ทุกความเร็วรอบ แต่ความเร็วรอบใบมีดที่ตัดวัสดุได้ขนาดเล็กและกลาง คือ ความเร็ว 700-800 รอบ/นาที ตัดได้ปริมาณ 71-148 กก./ชม. ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0009-0.0033 กิโลวัตต์-ชม/กก. เครื่องทำงานเรียบไม่สั่นสะเทือน แต่ในกรณีการตัดใบเตย พบว่า ช่วงความเร็วรอบตัดที่สูงกว่า 900 รอบ/นาที แนวโน้มการตัดได้ขนาดเล็กจะสูง แต่ที่ความเร็วรอบตัดตั้งแต่ 500-800 รอบ/นาที เครื่องตัดได้ขนาดเล็กและกลางมากกว่า 83-107 กก./ชม. ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0015-0.0021 กิโลวัตต์-ชม./กก. ขณะที่ความสามารถในการตัดเปลือกส้มโอได้ปริมาณมาก ที่ความเร็วรอบใบมีดตัดมากกว่า 800 รอบ/นาที จึงไม่เหมาะสมกับเครื่องนี้ เนื่องจาก เครื่องสั่นและเสียงดัง ดังนั้น เครื่องสับย่อยวัสดุเกษตรเศษอาหารเหลือใช้และเปลือกเสาวรสควรใช้ความเร็วรอบใบมีดตัด 700 รอบ/ต่อนาที เมื่อวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์การใช้งานของเครื่อง ซึ่งมีต้นทุนการสร้างเท่ากับ 23,000 บาท พบว่า ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการตัด (บาท/กก.) ในช่วงแรกจะสูง แต่เมื่อตัดพืชใช้เวลาเพิ่มขึ้นและได้ปริมาณพืชเพิ่มขึ้น ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการตัดจะเริ่มลดลง

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย กลุ่มชุมชนปากน้ำ ต.ปากน้ำ อ.บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา และกลุ่มแปรรูปพืชสมุนไพรเกษตรอินทรีย์บ้านดงบัง อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี ที่ให้คำแนะนำด้านปัญหาอุปสรรคและความจำเป็นเครื่องตัดหั่นย่อยพืชสมุนไพรแทนการใช้มือเพื่อหั่นย่อยพืชสมุนไพรส่งให้ โรงพยาบาลอภัยภูเบศร และบริษัท ธนัทรับเบอร์ จำกัด อ.เมือง จ.สมุทรปราการ ที่ให้คำแนะนำในการออกแบบและพัฒนาสร้างเครื่องตัดย่อยให้สามารถใช้งานจริงได้

เอกสารอ้างอิง

นิรัติศักดิ์ คงทน, สมโภชน์ สุดาจันทร์, กิตติพงษ์ ลาลุน, สมนึก ชูศิลป์, ณัฐพล โสกุดเลาะ และจักรพันธ์ ด้วงคำจันทร์. 2559. ผลของจำนวนใบมีดและความเร็วรอบใบมีดสับที่มีต่อสมรรถนะของชุดสับใบอ้อย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 2559; 47. พิเศษ 3: S409 – 12.

วินิต ชินสุวรรณ. 2530. เครื่องจักรกลเกษตรและการจัดการเบื้องต้น. ภาควิชวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. จังหวัดขอนแก่น. 220 หน้า

สมชาติ โสภณรณฤทธ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ. 338 หน้า.

สมศักดิ์ คำมา. 2561. การออกแบบและสร้างเครื่องสับย่อยเศษพืชผักในครัวเรือน. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, มกราคม–มิถุนายน 2561. หน้า 82 – 95.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2553. ปุ๋ยกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.156 หน้า.

Sverker P. (1987) *Mechanics of Cutting Plant Material*. Agricultural Engineering Department. The Pennsylvania State University. USA. 288 p.

Kumar S. and H. Kumar.(2015). Design and Development of Agricultural Waste Shredder Machine. IJISET-International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 2 (10):164–172.

Olaekan H, S. Abdulkareen, O. Qluwadare and A. Teslim. 2015. Development of a Polythene Chipping Machine for cycling Purposes. International Journal of Scientific & Engineering Research. Volume 6 (7):556–561