

การออกแบบและสร้างเครื่องสับย่อยเศษพืชผักในครัวเรือน Design and Construction of a Household Shredder

สมศักดิ์ คำมา^{1*}

Somsak kamma^{1*}

^{1*}มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ตำบลหัวไทร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา 24120

โทร (038) 568191, 081-3989457 E-mail: kamma1960@gmail.com

^{1*} Rajabhat Rajanagarindra University, Hua Sai, Bang Khla District, Chachoengsao Province 24120

Tel. +66 38 568191, +66 81 3989457 E-mail: kamma1960@gmail.com

บทคัดย่อ

เศษวัสดุเกษตรกรรมมีขนาดไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ด้านเกษตรกรรม และเชื้อเพลิงทดแทนจำเป็นต้องสับย่อยให้มีขนาดเล็กด้วยเครื่องซึ่งเครื่องตัดวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบันมีขนาดใหญ่ไม่เหมาะสมกับการใช้ตัดวัสดุเกษตรกรรมที่เหลือใช้ในครัวเรือน ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงออกแบบและสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อสับย่อยเศษพืชผักในครัวเรือน โดยใช้หลักการวิศวกรรมทฤษฎีแรงเค้นเฉือนและทดสอบสมรรถนะการตัดวัสดุของเครื่องที่ตัดวัสดุได้ คือ ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ หลังจากนั้นจึงออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าความเร็วรอบตัดใบมีดที่เหมาะสม เท่ากับ 417 500 700 900 และ 983 รอบต่อนาที และความชื้นของเศษวัสดุที่มีต่อร้อยละของวัสดุที่ตัดได้ขนาดเล็ก ผลการทดสอบ พบว่าความเร็วรอบตัดที่เหมาะสมของเครื่อง คือ 763 รอบต่อนาที สามารถตัดวัสดุได้ขนาดเล็ก ช่วง 46.2 - 120.0 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 65.0 $\pm$ 3.5 ตัดตะไคร้ได้ปริมาณต่ำสุด 46.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และตัดผักบุ้งจีนได้ปริมาณสูงสุด 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เครื่องสามารถสับย่อยวัสดุให้มีขนาดเล็กตามวัตถุประสงค์การออกแบบ และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตัด 0.001 - 0.003 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ต้นทุนการสร้างเครื่องตัดเท่ากับ 18,500 บาท และต้นทุนดำเนินการเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 11,788 บาท และต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเท่ากับ 0.35 บาท จากการสร้างออกแบบสิ่งประดิษฐ์ดังกล่าวมีขนาดเล็ก ต้นทุนต่ำ และมีประสิทธิภาพในการตัดเศษวัสดุในระดับดีมากกว่าร้อยละ 50

คำสำคัญ : ออกแบบ, เครื่องสับ, เศษพืชผักในครัวเรือน

Abstract

Agricultural residue and by-products are often the wrong size to be reused in agriculture or as alternative fuel sources, and therefore need to be shredded into smaller pieces. However, cutting machines are generally too large and are unsuitable for household usage. Hence, this invention is aimed at the design and the construction of a the prototype shredding machine for household food waste. The procedure began from applying the theory of shear stress and carried out the performance tests focusing on the size of the products as small, medium and large. Subsequently, the experiments were performed to determine the optimum speed of the blade at 417, 500, 700, 900, or 983 rpm. Also, the moisture content in material affecting the cut was small in size. It was

found that the optimum speed was 763 rpm which had a capacity to shred material at 46.2 – 120 kg/hour of the small size corresponding to $65\% \pm 3.5$. The cutting of lemongrass and Chinese morning glory was a minimum of 46.2 kg/hour and a maximum of 120.0 kg/hour respectively. The machine can shred into small sizes accomplishing the objective and with an energy consumption is 0.001– 0.003 kW-h/kg. The total cost is 18,500 baht. The average annual operating costs are 11,788 baht corresponding to 0.35 baht per cost of unit of production. Therefore, this invention has a low cost and a good capability according to more than 50%.

Keywords : Design, Cutting Machine, Household vegetative residues.

1. บทนำ

ปัจจุบันปริมาณเศษวัสดุเกษตรกรรมที่เหลือจากการบริโภคมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งหากขาดการจัดการที่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดมลภาวะที่สามารถเป็นแหล่งแพร่เชื้อโรคแนวทางหนึ่งในการจัดการปัญหาดังกล่าว คือ การนำเศษวัสดุเกษตรกรรมกลับมาใช้ประโยชน์ได้แก่ทำปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืช อาหารสัตว์และวัสดุพลังงานทดแทน แต่พบว่าขนาดของเศษวัสดุมีขนาดใหญ่ไม่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ดังกล่าว จึงต้องทำการลดขนาดให้เล็กลงโดยการหั่นหรือบดเพื่อลดปริมาณการจับเก็บ ระยะเวลาการย่อยสลายลดลง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย เช่น การผสมคลุกเคล้าเพื่อเป็นอาหารสัตว์ การทำน้ำหมักชีวภาพ เป็นต้น

การลดขนาดหรือหั่นย่อยโดยใช้มีด มีข้อจำกัดในด้านความปลอดภัย ไม่สามารถหั่นย่อยให้มีขนาดเล็ก และปริมาณมากได้ จึงต้องมีการสร้างเครื่องทุ่นแรงสำหรับหั่นย่อยเศษพืชผัก แทนการใช้มือ จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการออกแบบเครื่องจักรกลเกษตรต้นแบบสำหรับใช้ลดขนาดวัสดุเกษตรและอุตสาหกรรมมีผู้ศึกษา ดังนี้ (Tunhaw, M., et al, 2011) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องหั่นย่อยต้นถั่วลิสงใช้เครื่องยนต์ 6 แรงม้า เป็นต้น กำลังใช้ใบมีดสำหรับหั่นย่อยจำนวน 2 ใบ ยาว 30 เซนติเมตร ความเร็วรอบของใบมีดหั่นที่เหมาะสม 900 รอบต่อนาที มีอัตราการทำงาน 515 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความเร็วการป้อน 3 เมตรต่อนาที ขนาดชิ้นที่หั่นย่อยได้ 6.2 - 7.6 เซนติเมตร อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1 ลิตรต่อชั่วโมง (Sutiwatana, P., & Wongkaew, D., 2009) ได้วิจัยและพัฒนาเครื่องหั่นผักตบชวาจากเครื่องต้นแบบใช้สำหรับผลิตปุ๋ยหมักชีวภาพ และถ่ายทอดความรู้โดยใช้หั่นผักตบชวาแบบสดและแบบไม่สด มีสมรรถนะการตัดได้สูงสุดแบบสดที่ความเร็วรอบ 1,600 รอบต่อนาที ตัดได้ 476 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 3.53 ลิตรต่อชั่วโมง และแบบไม่สดที่ความเร็วรอบ 1,900 รอบต่อนาที ตัดได้ 587 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 3.27 ลิตรต่อชั่วโมง (Nakarin Bangkok, 2555) ได้สร้างเครื่องหั่นย่อยอเนกประสงค์ขนาดกว้าง 1.10 เมตร ยาว 0.90 เมตร สูง 1 เมตร ใช้เครื่องยนต์เบนซิน 6.5 แรงม้า เป็นต้นกำลัง เพื่อนำไปทำอาหารสัตว์และปุ๋ยชีวภาพโดยหั่นย่อยทั้งซากพืชสดและซากพืชแห้ง เช่น กระถิน ช้างข้าวโพด ผักตบชวา ผักสด เถาวัลย์ หญ้าแห้ง ฯลฯ สามารถหั่นย่อยได้ 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ขนาดความยาววัสดุที่หั่นย่อยประมาณ 0.5-1.0 เซนติเมตร (Kumar, S. & Kumar, H., 2015) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องหั่นย่อยวัสดุเกษตรที่เป็นของเสียเพื่อตัดก้านใบและพื้นที่

ใบเครื่องต้นแบบมีส่วนประกอบ คือ โครงเหล็กทำจากเหล็กกล้า มอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส ชุดเฟืองขับ ลูกปืนและชุดตัดซึ่งทำจากเหล็กทั้งสะเตนคาร์ไบด์และเพลลา 2 เพลลา ส่งกำลังด้วยสายพานผ่านเพลลา ชุดเฟืองขับใบมีด ใบมีดมีทั้งหมด 8 ใบ เมื่อใบมีดหมุนจะตัดลำต้นและใบในท้องตัดและไหลออกด้านล่างและงานวิจัยอื่น ๆ ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นเครื่องตัดวัสดุชนิดต่าง ๆ มีขนาดใหญ่ ไม่เหมาะสมกับการใช้ตัดวัสดุในครัวเรือน

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของสิ่งประดิษฐ์นี้ เพื่อออกแบบ สร้างและทดสอบสมรรถนะการตัด โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับทำนายร้อยละของขนาดวัสดุขนาดเล็กที่ตัดได้จากการประยุกต์ออกแบบการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต (Central Composite Design: CCD) เพื่อหาความสัมพันธ์ของ 2 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบของเพลลาตัด และความชื้นของเศษวัสดุเกษตรกรรม โดยมี 5 ระดับ ปัจจัยของแต่ละตัวแปร จำนวน 13 สถานะการทดลอง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง สร้างสมการทำนาย เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของสมการทำนาย และรูปแบบการทดลองโดยใช้หลักการทางสถิติ นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างพื้นผิวตอบสนองเพื่อวิเคราะห์ค่าความเร็วรอบ และความชื้นของวัสดุเกษตรกรรมที่เหมาะสม จากนั้นทำการทดลองเพื่อยืนยันว่าสถานะที่เหมาะสมจากการสร้างพื้นผิวตอบสนองมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องตัดเศษพืชผักในครัวเรือนและทดสอบความสามารถในการตัดวัสดุโดยการออกแบบการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต (Central Composite Design: CCD)

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์

1) วัสดุเศษพืชผักที่เหลือจากการทำอาหารจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ก้านโหระพา ผักบุ้งจีน ผักบุ้งไทย ใบเตย และ ตะไคร้

2) เครื่องอบแห้งหาค่าความชื้น ยี่ห้อ Termak

3) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Digital Multimeter C.A 8220)

4) เครื่องวัดความเร็วรอบ (Techometer, DT- 6236B, CEM)

5) เครื่องชั่งดิจิตอล (HX-S1 - 30 kg/1g)

6) เวอร์เนียร์คาลิเปอร์

7) นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ Casio

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

1) ศึกษาคุณสมบัติกายภาพของวัสดุเกษตรกรรม จากการวิจัยคัดเลือกวัสดุเกษตรกรรม ได้แก่ ใบเตย ตะไคร้ ผักบุ้งจีน ผักบุ้งไทย ก้านโหระพา ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างพืชผักเหลือใช้ในครัวเรือน

การหาคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้น คือ ด้านความยาวใช้การวัด ความหนาแน่นโดยการชั่งน้ำหนักวัสดุและแทนที่น้ำในถ้วยบิกเกอร์และความชื้นโดยการอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพ ก้านโหระพา ผักบุ้งจีน ผักบุ้งไทย ใบเตย และตะไคร้

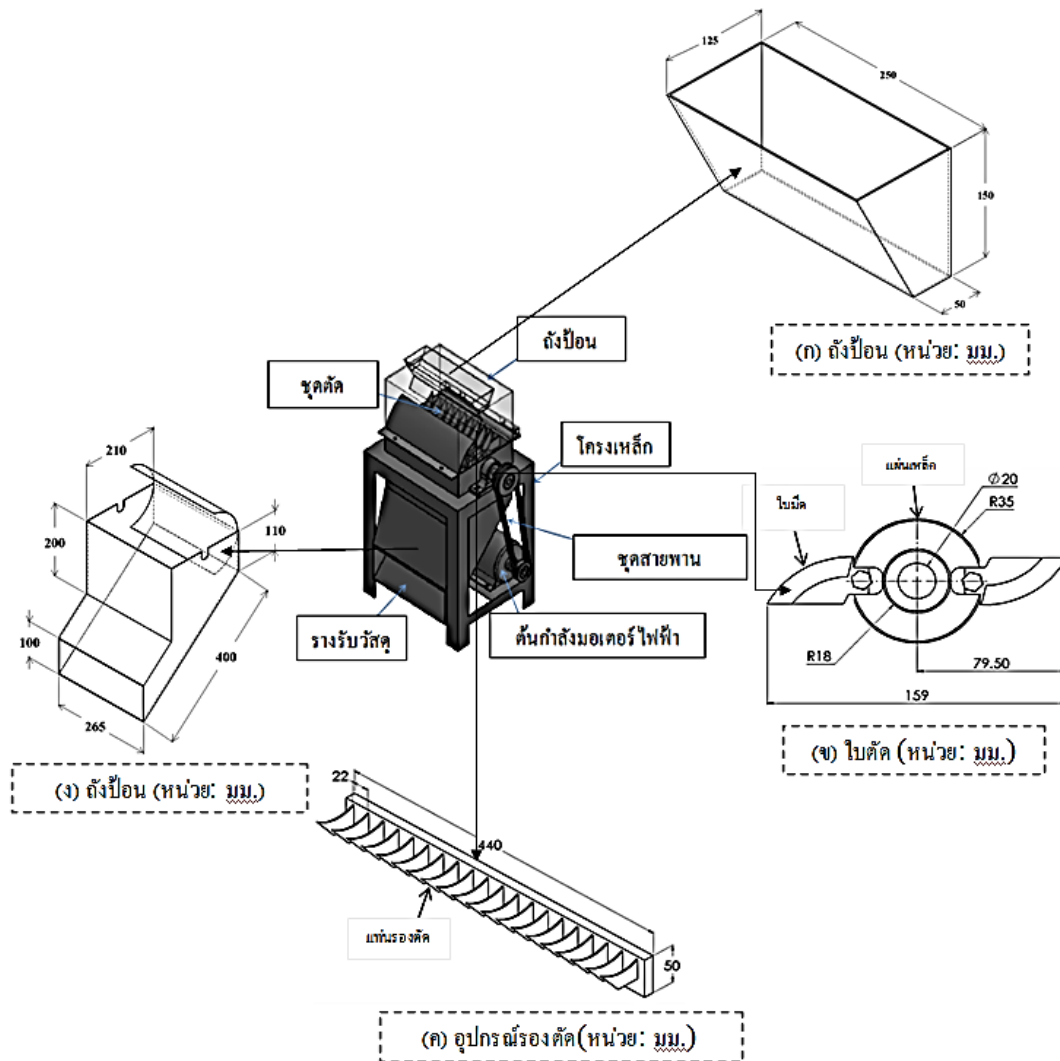
วัสดุ	ความยาว (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลิตร)	ความชื้นมาตรฐาน เปียก (%)
ก้านโหระพา	27.7	857.1	84.5
ผักบุ้งจีน	20.0	806.4	95.0
ผักบุ้งไทย	20.0	833.3	93.2
ใบเตย	30.0	625.0	88.9
ตะไคร้	37.0	1,000.0	82.7

ความชื้นของวัสดุ (มาตรฐานเปียก) คืออัตราส่วนน้ำในวัสดุกับน้ำหนักวัสดุทั้งหมด มีหน่วยเป็น % (Soponronnarit, S., 1997) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ความชื้น, } w_b = \left(\frac{W_w - W_d}{W_w} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ W_w คือ น้ำหนักของวัสดุทั้งหมด, กรัม, W_d คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง, กรัม

2) การออกแบบและสร้าง จากการศึกษางานวิจัยเครื่องสับย่อยที่เกี่ยวข้อง พบว่าเครื่องมีขนาดใหญ่และไม่เหมาะสมใช้ในครัวเรือนจึงได้ออกแบบเครื่องให้มีขนาดเล็ก ใช้งานง่าย โดยได้ออกแบบตามหลักการวิศวกรรมใช้ทฤษฎีแรงเค้นเฉือนสำหรับตัดวัสดุให้ขาดแยกออกจากกันด้วยคมมีดเคลื่อนที่ในแนวรัศมี ซึ่งความเร็วรอบตัดที่เหมาะสมทำให้ตัดได้ขนาดเล็กที่สุดและได้ออกแบบอุปกรณ์ที่สำคัญประกอบด้วย โครงสร้างเครื่องและชิ้นส่วนประกอบดังภาพที่ 2 มีรายละเอียดเฉพาะของชิ้นส่วนแสดงดังในตารางที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างและชิ้นส่วนประกอบเครื่องตัด

ต้นกำลังใช้มอเตอร์เท่ากับ 1/3 แรงม้า คำนวณได้จากสมการที่ 2 (Persson, S., 1987)

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

เมื่อ $m = 4.40$ กิโลกรัม, $r = 0.05$ เมตร และ $N = 1,440$ รอบต่อนาที
 กำลัง = 250 วัตต์ = 0.250 กิโลวัตต์ ดังนั้นจึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 0.250 กิโลวัตต์หรือ 1/3 แรงม้า

ต้นกำลังใช้มอเตอร์เท่ากับ 1/3 แรงม้า คำนวณได้จากสมการที่ 2 (Presson, S.,1987)

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

เมื่อ $m = 4.40$ กิโลกรัม, $r = 0.05$ เมตร และ, $N = 1,440$ รอบต่อนาที
กำลังเท่ากับ 250 วัตต์เท่ากับ 0.25 กิโลวัตต์ ดังนั้นเลือกมอเตอร์ขนาด 1/3 แรงม้า

ตารางที่ 2 คุณลักษณะและชิ้นส่วนเฉพาะของอุปกรณ์เครื่องสับย่อย

อุปกรณ์	รายละเอียดเฉพาะ	จำนวน (ชิ้น)
โครงเหล็ก	ขนาด 300 × 535 × 920 มิลลิเมตร ใช้เหล็กฉากขนาด 1.5 × 1.5 นิ้วหนา 2 มิลลิเมตร	1
มอเตอร์ไฟฟ้า	4 pole 220 volt 50 Hz ขนาด 1/3 hp 1,440 รอบต่อนาที	1
พูลเลย์	ขนาด 2 นิ้ว และ 4 นิ้ว ร่องวี	2
สายพานวี	ชนิด A ยาว 26 นิ้ว	1
เพลาลูก	เพลาลูกกลมเหล็กกล้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ยาว 410 มิลลิเมตร	1
ใบมีด	เหล็กกล้ามาตรฐาน JIS G4051- S45C/(AISI 1045) ยาว 59.50 มิลลิเมตรใบมีดรูปโค้งคมเดียว	20
จานกลมยึดใบมีด	เหล็กมาตรฐาน S454 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร	10
ลูกปืนตักดา	แบบ y จำนวน 2 ตัว เบอร์ UC 204 D1	2
แท่นรองตัด	เหล็กกล้า ยาว 530 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร มีรูปโค้ง	20
ถังป้อน	เหล็กเหนียว หนา 1 มิลลิเมตรขนาดด้านบน กว้าง × ยาว เท่ากับ 125×250 มิลลิเมตร ด้านล่าง กว้าง×ยาว เท่ากับ 50 × 250 มิลลิเมตร และสูงเท่ากับ 150 มิลลิเมตร	1
รางระบายวัสดุออก	เหล็กเหนียว หนา 1 มิลลิเมตร ขนาดกว้าง×ยาว เท่ากับ 100 × 265 มิลลิเมตร และลึกเท่ากับ 400 มิลลิเมตร	1

ส่งกำลังด้วยสายพานตัววี ชนิด A ยาวเท่ากับ 26 นิ้ว ร่วมกับพูลเลย์ร่องวี ขนาด 2 นิ้ว การหาความยาวของสายพานคำนวณได้จากสมการที่ 3 (Jaroenkitpoolpol, S., n.d.) หน่วยเป็นมิลลิเมตร

$$\text{ความยาวสายพาน, } L = 2c + 1.57(d_2 - d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4c} \quad (3)$$

เมื่อ $c = 290$ มิลลิเมตร, $d_2 = 101$ มิลลิเมตร และ $d_1 = 50$ มิลลิเมตร
 ดังนั้นความยาวสายพานเท่ากับ 662 มิลลิเมตร หรือ เท่ากับ 26 นิ้ว

การตัดใช้แรงเฉือนจากการหมุนเหวี่ยงใบมีดแรงเค้นเฉือนตัดเฉลี่ยประมาณ 0.108 กิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร คำนวณค่าความเข้มของแรงเฉือนตัดต่อใบมีด (Persson, S., 1987) ดังสมการที่ 4

$$\text{แรงเค้นเฉือน, } SSSF = \frac{FOCMX}{(LWC * LTC)} \quad (4)$$

เมื่อ $FOCMX = \frac{2\pi N r m}{60}$, $m = 4.4$ กิโลกรัม, $N = 763$ รอบต่อนาที, $r = 0.06$ เมตร

$FOCMX = 21.1$ นิวตัน, $LWC = 60.0$ มิลลิเมตร และ $LTC = 0.05$ มิลลิเมตร ดังนั้นความเข้มแรงเฉือนเฉลี่ยที่ใบมีดตัดเท่ากับ 7.0 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

ความเร็วของใบมีดตัด คำนวณได้จากสมการที่ 5 (Persson, S., 1987)

$$\text{ความเร็วใบมีดตัด, } V_c = \omega \times r \quad (5)$$

เมื่อ $d = 160.0$ มิลลิเมตร, $N = 763$ รอบต่อนาที ดังนั้นความเร็วตัดที่ปลายใบมีดเท่ากับ 383 เมตรต่อนาที

3.3 การทดสอบการทำงานและสมรรถนะการตัดของเครื่อง เนื่องจากขนาดวัสดุในการทดสอบที่ตัดได้แบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็กมีความยาว $1.0 \leq L \leq 2.3$ เซนติเมตร ขนาดกลางความยาว $2.3 > L \leq 3.6$ เซนติเมตร และขนาดใหญ่ความยาว $3.6 < L \leq 4.8$ เซนติเมตร การตัดที่มีสมรรถนะดีของเครื่องจะตัดได้มีขนาดวัสดุเล็กเป็นส่วนมาก ดังนั้นจึงมีการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1) ออกแบบแผนการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต ได้ออกแบบแผนการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต โดยกำหนดค่า code value ของแต่ละปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยถูกแบ่งออกเป็นห้าระดับ เพื่อใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมตามวิธีการของ RSM เพื่อให้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ค่าทางสถิติ ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ความเร็วรอบและความชื้นของวัสดุ ซึ่งแต่ละปัจจัยมีห้าระดับคือ $-\alpha$, -1 , 0 , $+1$, $+\alpha$ แสดงค่าในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า code value สำหรับตัวแปรของแผนการทดลอง

ปัจจัย	Coded Value				
	$-\alpha$	-1	0	1	$+\alpha$
ความชื้นของวัสดุ	82.7	84.5	88.9	93.2	95.0
ความเร็วรอบ	417	500	700	900	983

2) ทดสอบการทำงานและสมรรถนะการตัดของเครื่องได้ใช้วิธีการทดลองเพื่อหาความเร็วรอบของใบมีดที่สามารถตัดวัสดุได้เปอร์เซ็นต์ขนาดเล็กมาก การทดสอบจะใช้มือป้อนวัสดุอย่างต่อเนื่อง จับเวลา และวัดค่ากำลังไฟฟ้าด้วยเครื่องมือ Digital Multimeter C.A 8220 ใช้วัสดุทดลอง 5 ชนิดแต่ละชนิดใช้ความเร็วรอบตัด 5 ระดับแต่ละระดับทดสอบ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 1 กิโลกรัม ผลการตัดได้แต่ละซ้ำจะสุ่มตัวอย่างวัสดุที่ถูกตัดได้จำนวน 15 กรัม และคัดแยกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ความสามารถในการตัด (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) และพลังงานไฟฟ้าของเครื่องที่ใช้ตัด (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม)

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบจากการออกแบบ Design of experiment (DOE) แสดงผลในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับปัจจัยในการศึกษาวิเคราะห์ตัวแปรอิสระ

Std order	Run order	ความเร็วรอบ	ความชื้น	ร้อยละ
13	1	700	88.9	55.8
4	2	983	88.9	41.3
6	3	900	93.2	27.3
11	4	700	88.9	55.8
9	5	700	88.9	55.8
5	6	417	88.9	20.0
12	7	700	88.9	55.8
2	8	900	84.5	37.5
8	9	700	95.0	60.5
1	10	500	84.5	38.5
3	11	500	93.2	52.6
7	12	700	82.7	65
10	13	700	88.9	55.8
Optimal condition		763	82.7	65±3.5

4.2 การวิเคราะห์รูปแบบสมการทำนายขนาดของวัสดุ การวิเคราะห์รูปแบบสมการทำนายขนาดของวัสดุด้วยแผนการทดลองแบบ CCD โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจคือ ค่า R^2 และ adjust R^2 ดังแสดงในตารางที่ 5

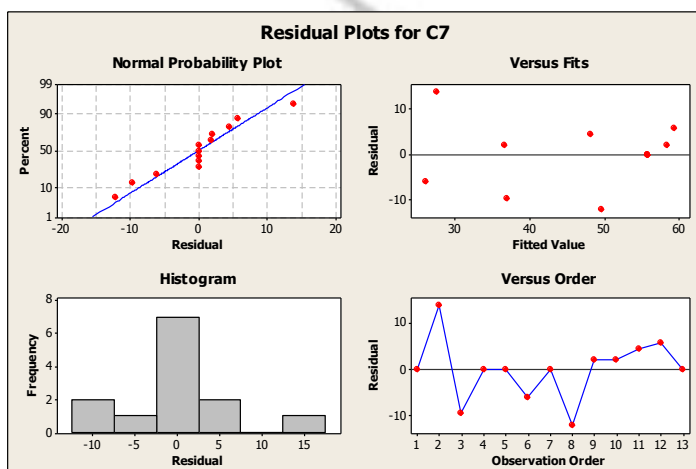
ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ จากผลแผนการทดลองแบบ CCD

Equation	Coefficient of determination	
	R^2	Adj- R^2
Linear model	0.12	0.00 %
Linear + interaction model	69.57	54.35
Linear + square model	674.00	0.00 %
Full quadratic model	76.19	59.00

ดังนั้น สมการทำนายจากรูปแบบ Full quadratic model ที่ได้ คือ $Y = 92.4649 + 1.1305$ ความเร็วรอบ - 9.6801 ความชื้น - 0.0004 (ความเร็วรอบ*ความเร็วรอบ) + 0.0816 (ความชื้น*ความชื้น) - (ความเร็วรอบ*ความชื้น)

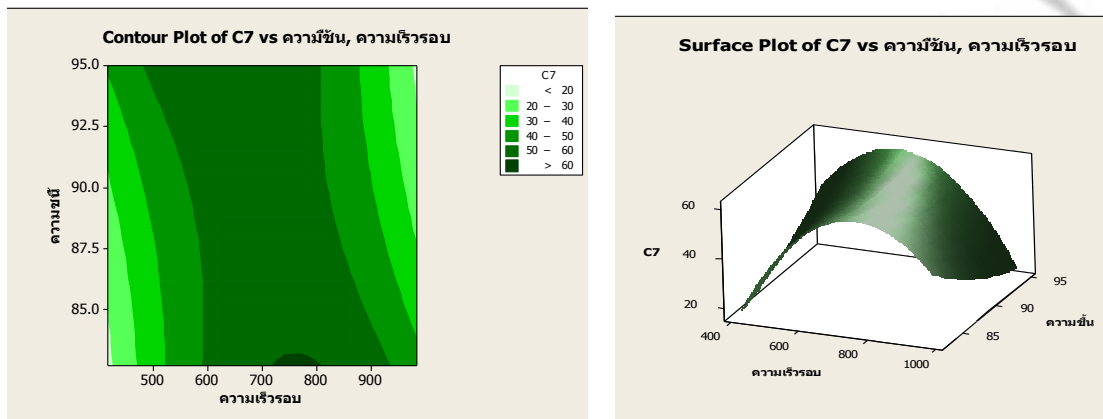
4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากสมการทำนายการทดลอง จากการทดสอบตัวแปรอิสระทั้งหมดแบบ ANOVA ของสมการทำนายที่ได้ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่ามีอิทธิพลตัวแปรอิสระ คือ ค่าความชื้น ความเร็วรอบมีผลต่อร้อยละของวัสดุที่ตัดได้ขนาดเล็ก เพราะค่า P Value มีค่าเท่ากับ 0.018 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05

4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง โดยใช้แผนภูมิควบคุมคุณภาพ จากการวิเคราะห์ขนาดที่ตัดได้ของวัสดุ เกษตรกรรมจากอิทธิพลของความเร็วนรอบและความชื้นมีการกระจายตัวแบบปกติของ Normal Probability Plot ค่าเฉลี่ยอยู่ตรงกลาง การกระจายตัวของข้อมูลมีความสม่ำเสมอ และมีความเป็นอิสระต่อกัน ดังแสดงในภาพที่ 3



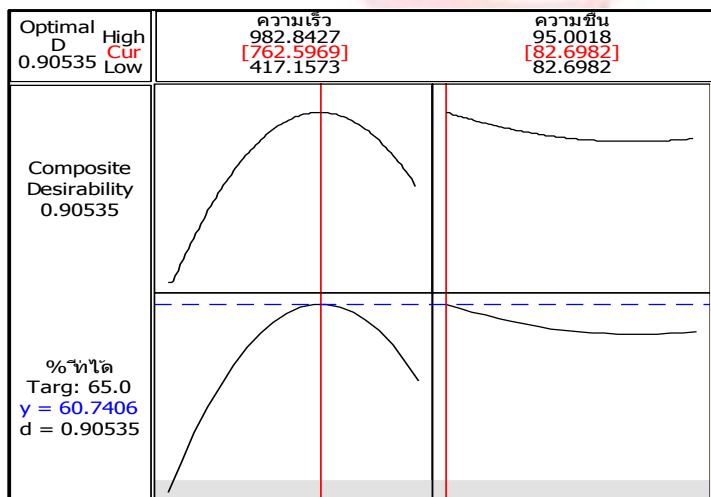
ภาพที่ 3 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

4.5 ผลทดสอบการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยโดยใช้ Response Surface Methodology (RSM) อิทธิพลของปัจจัย คือ ความเร็วรอบ และความชื้นที่มีผลต่อขนาดวัสดุที่ตัดได้ เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละขนาดวัสดุขนาดเล็กที่ตัดได้เพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 พื้นผิวตอบสนองของความชื้นและความเร็วรอบตัดที่มีต่อร้อยละวัสดุเศษกรรมขนาดเล็ก

4.6 ผลการวิเคราะห์หาค่าระดับที่เหมาะสมที่สุด พิจารณาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับร้อยละของวัสดุเศษกรรมขนาดเล็กที่ตัดได้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของวัสดุเศษกรรมขนาดเล็กที่ตัดได้ร้อยละ 65 (ค่าเป้าหมาย) ดังแสดงในภาพที่ 5 คือ ค่าความเร็วรอบ เท่ากับ 763 และความชื้นร้อยละ 82.7



ภาพที่ 5 การวิเคราะห์หาค่าระดับที่เหมาะสมที่สุด

4.7 การวิเคราะห์ การยืนยันผลการทดลอง จากการทดลองการทดสอบสมรรถนะในการตัด เพื่อให้ได้ร้อยละของขนาดวัสดุเศษกรรมขนาดเล็กมากที่สุดตามเป้าหมายจึงได้ทำการทดสอบตามสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจำนวน 10 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4

4.8 ความสามารถในการตัดวัสดุและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการตัด จากการทดลองพบว่า เครื่องที่ออกแบบและสร้างมีความสามารถในการตัดวัสดุเกษตรกรรม หน่วยกิโลกรัมต่อชั่วโมง และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ หน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ผลของวัสดุและพลังงานไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความสามารถในการตัดและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

ความเร็ว รอบ (rpm)	ความสามารถในการตัด (kg/hr)					พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตัด (kW-hr/kg)				
	โพระพา	ผักบุ้งจีน	ผักบุ้ง ไทย	ใบเตย	ตะไคร้	โพระพา	ผักบุ้งจีน	ผักบุ้ง ไทย	ใบเตย	ตะไคร้
417	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	50.0	40.0	46.2	33.3	0	0.002	0.002	0.002	0.003	0
763	50.0	120.0	50.0	50.0	46.2	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003
900	42.9	120.0	54.5	33.3	50.0	0.003	0.001	0.003	0.004	0.003
983	45.2	120.0	50.0	32.4	66.7	0.003	0.001	0.003	0.005	0.003

หมายเหตุ : 0 ไม่สามารถตัดวัสดุได้

4.9 การวิเคราะห์ต้นทุนในการสร้างเครื่องในเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พิจารณาค่าใช้จ่ายในการสร้างและการทำงานของเครื่องโดยคำนวณได้จากต้นทุนคงที่ (fixed cost) และต้นทุนแปรผัน (variable cost) มีรายละเอียดดังนี้

1) ต้นทุนคงที่ (fixed cost) ประกอบด้วย

1.1) สมการค่าเสื่อมราคาต่อปี (Phibuly Yaemphuan, 2005) แบบ straight - line method คำนวณได้จากสมการที่ 6

$$\text{ค่าเสื่อมราคา, } DP = (P - S) / L \quad (6)$$

ต้นทุนทรัพย์สิน (P) = 18,500 บาท อายุการใช้งานของเครื่อง (L) 5 ปี และราคาซากเครื่อง (S) เมื่อครบ 5 ปี เท่ากับ 500 บาท

ดังนั้น ค่าเสื่อมราคา = $(18,500 - 500) / 5 = 3,600$ บาทต่อปี

1.2) ค่าดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (interest on investment)

สมการค่าดอกเบี้ย (Phibuly Yaemphuan, 2005)

$$= \left(\frac{P + S}{2} \right) \times \left(\frac{i}{100} \right) \quad (7)$$

ในการคำนวณ เลือกใช้อัตราดอกเบี้ยของธนาคารพาณิชย์อัตราดอกเบี้ย (i) ร้อยละ 7.37 และแทนค่าในสมการที่ 7

$$\begin{aligned}\text{ค่าดอกเบี้ย} &= \left(\frac{18,500 + 500}{2} \right) \times \left(\frac{7.37}{100} \right) \\ &= 700 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

ดังนั้น ต้นทุนคงที่ต่อปี (fixed coast) = 3,600+700 = 4,300 บาท

2) ต้นทุนแปรผัน (variable coast) ประกอบด้วยค่าบำรุงรักษาและค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ตัดไม้คิดค่าแรงงาน เนื่องจากสร้างเครื่องเพื่อทดแทนการหันด้วยมือและแก้ปัญหาการสับย่อยปริมาณมาก ดังนี้

2.1) ค่าบำรุงรักษา (repair and maintenance) คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 20 บาท ต่อวัน ทำงาน 30 วัน ค่าบำรุงรักษา เท่ากับ $20 \times 30 = 600$ บาทต่อเดือน

2.2) ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ตัดเลือกความเร็วรอบ 763 รอบต่อนาที เครื่องตัดตะไคร้ได้ 46.2 กิโลกรัม/ชั่วโมง ใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.003 กิโลวัตต์ - ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตัด = $0.003 \times 46.2 = 0.14$ หน่วย (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม) ค่าไฟฟ้าเท่ากับ $0.14 \times 2.74 = 0.39$ บาท (ค่าไฟฟ้าคิดอัตรา 2.74 บาท/หน่วย) และค่ากระแสไฟฟ้า 30 วัน วันละ 2 ชั่วโมง ค่าไฟฟ้ารวมทั้ง หดต่อเดือนเท่ากับ $0.39 \times 30 \times 2 = 24$ บาท ดังนั้นค่าต้นทุนแปรผันทั้งหมดต่อเดือนเท่ากับ $600 + 24 = 624$ บาท สามารถตัดวัสดุได้ทั้งหมดต่อเดือนเท่ากับ 2,772 กิโลกรัมหรือประมาณ 2.8 ตัน ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อปีทั้งหมดเท่ากับ $624 \times 12 = 7,488$ บาทต่อปี

2.3) ต้นทุนดำเนินงานรวมทั้งหมดต่อปี คือ

ต้นทุนคงที่กับต้นทุนแปรผันเท่ากับ $4,300 + 7,488 = 11,788$ บาท

2.4) ต้นทุนต่อหน่วยการผลิต เป็นการวิเคราะห์เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกกระบวนการผลิต เครื่องทำงานวันละ 2 ชั่วโมง ทำงาน 1 ปี 365 วัน หรือ 730 ชั่วโมง เครื่องตัดตะไคร้ได้ 46.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเท่ากับ $11,788 / (730 \times 46.2) = 0.35$ บาท/กิโลกรัม ดังนั้นต้นทุนการผลิตต่อหน่วยกิโลกรัม เท่ากับ 0.35 บาท

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผล ในการออกแบบและสร้างเครื่องสับย่อยเศษพืชผักในครัวเรือน ตัวเครื่องประกอบด้วย โครงเหล็กมีขนาดเท่ากับ $300 \times 535 \times 920$ มิลลิเมตร ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/3 แรงม้า ใบมีดตัดทำจากเหล็ก JIS G4051- S45C/AISI 1045 ยาว 54 มิลลิเมตร แบบคมเดียว จำนวน 20 ใบ เครื่องมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องสับย่อยวัสดุเกษตรที่ใช้ในปัจจุบัน และใช้ชิ้นส่วนวัสดุ อุปกรณ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป จากการทดสอบโดยใช้ design of experiment (DOE) เลือกแบบการทดลองแบบ CCD และหาค่าความเหมาะสมของการทำงานของเครื่องโดยใช้ RSM ตัววัสดุ 5 ชนิด (ความชื้น 5 ระดับ) พบว่าความเร็วรอบตัดที่ตัดได้ขนาดเล็กที่เหมาะสมคือ 763 รอบต่อนาที และค่าความชื้นร้อยละ 82.7 สามารถตัดวัสดุได้ขนาดเล็กความยาว $1.0 \leq L \leq 2.3$ เซนติเมตร ได้ร้อยละ 65 ± 3.5 และผลทดสอบเครื่องตัดวัสดุได้มีขนาดเล็กเท่ากับ 46.2-120.0 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยตัดตะไคร้ได้ต่ำสุดเท่ากับ 46.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และตัดผักบุ้งจีนได้สูงสุด 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตัดทั้งหมดคือช่วง 0.001 - 0.003 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ต่อกิโลกรัม และต้นทุนการสร้างเครื่องเท่ากับ 18,500 บาท ต้นทุนดำเนินการเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 11,788 บาท และต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเท่ากับ 0.35 บาทต่อกิโลกรัม

5.2 อภิปรายผล จากการทดสอบร้อยละการตัดได้วัสดุขนาดเล็กของเครื่องยังพบว่า มีร้อยละการตัดได้ต่ำจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนา โดยเฉพาะรูปร่างและจำนวนใบมีดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดได้ให้มีขนาดเล็กมากขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้เครื่องต้นแบบสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับการสับย่อยพืชเพื่อใช้ทำอาหารบริโภคหรือสมุนไพร ควรเลือกใช้วัสดุที่เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานด้านอาหารและติดตั้งระบบควบคุมการทำงานอัตโนมัติและระบบการตัดเพื่อให้มีความปลอดภัยมากขึ้นและติดตั้งล้อช่วยแรงขนาด 5-10 กิโลกรัมเพื่อเพิ่มกำลังตัดให้สามารถตัดวัสดุได้หลายชนิด

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์การทำวิจัย ศูนย์วิจัยข้าวปราจีนบุรี จ.ปราจีนบุรี ได้อนุเคราะห์การอบแห้งวัสดุ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.จรรุวรรณ สิงห์ม่วง สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ และรองศาสตราจารย์พินัย ทองสวัสดิ์วงศ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่ให้คำแนะนำในการทำวิจัยและทดลอง

8. เอกสารอ้างอิง

- Jaroenkitpoolpol, S. (n.d.). **Machine design**. Bangkok: Physicscenter PrintingHouse.
(in Thai)
- Kumar, S., & Kumar, H., (2015). Design and development of agricultural waste shredder machine. **IJSET– International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology**. 2(10), pp. 164–167.
- Nakarin Bangkok Co. LTD. (2012). Multipurpose shredder NO.QC004. Retrieved January 14, 2017 from <http://www.nakarinbangkok.com> (in Thai)
- Persson, S., (1987). **Mechanics of cutting plant material**. United States of America: American Society of Agricultural Engineering.
- Soponronnarit, S., (1997). **Drying Grains and Some Types of Foods**, 7th ed. Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Thonburi. (in Thai)
- Suttiwatana, P. & Wongkaew, D., (2009). Research and development of water Hyacinth-cutting machine from prototype with community participatation. **Research Journal**, 2(1), 1–8. (in Thai)

- Tunhaw, M. Tinimgoon, K., & Sirimala, R., (2011). Design and Development of a peanut chopper. **KhonKaen Agr. Journal**, 39(3), 60–65. (in Thai)
- Yaemphuan, P., (2005). **Engineering Economy**. Bangkok: SE-Ed. Public Co. Ltd. (in Thai)



Industrial Technology
วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง