รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร

Research and Development on Crushing Machines for Vegetables and Herbs

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายศักดิ์ชัย อาษาวัง

Mr. Sakchai Arsawang

ปี พ.ศ. 2561

รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร

Research and Development on Crushing Machines for Vegetables and Herbs

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายศักดิ์ชัย อาษาวัง

Mr. Sakchai Arsawang

ปี พ.ศ. 2561

คำปรารภ

รายงานโครงการวิจัยเรื่อง วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพรเล่มนี้ เป็นรายงานผลงานวิจัย ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตั้งแต่ เดือนตุลาคม 2559 ถึง เดือนกันยายน 2561 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร จำนวน 2 เครื่องได้แก่ เครื่องแยกเมล็ดและไส้ของพริกแห้งออกจากเปลือก และเครื่องแยกเมล็ดมะเขือเทศสดออกจากเนื้อ เพื่อการเตรียมเมล็ดหรือไส้พริก และเปลือกหรือเนื้อมะเขือเทศไปเป็นวัตถุดิบสำหรับนำไปสกัดสารสำคัญด้วยตัวทำละลาย โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤต ซึ่งจะทำให้ได้เครื่องจักรสำหรับบดย่อยที่สามารถตีแยกเมล็ดออกจากเปลือกหรือเนื้อ ที่มีประสิทธิภาพ ราคาไม่แพง ช่วยในการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร ป้องกันปัญหาการล้นตลาดของผลิตผลสด ช่วยยกระดับราคาผลิตผลไม่ให้ตกต่ำ ทั้งยังช่วยเพิ่มความสามารถและลดต้นทุนการผลิตและลดการใช้แรงงาน และเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตผลทางการเกษตร ส่งเสริมให้มีการผลิตสารสำคัญจากพืชผักและสมุนไพรที่ได้มาตรฐานเพื่อความปลอดภัยและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สามารถขยายตลาดการค้าออกไปสู่ต่างประเทศ ซึ่งจะช่วยเพิ่มพูนรายได้ให้แก่ประเทศ

เนื้อหาทั้งหมดในรายงานเล่มนี้มีจำนวน 1 บท โดยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อได้แก่ 1. การวิจัยและพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก และ 2. การวิจัยและพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดมะเขือเทศสดออกจากเปลือก คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานเล่มนี้จะมีประโยชน์แก่นักวิจัย นักวิชาการเกษตร ตลอดจนเกษตรกร และผู้สนใจโดยทั่วไป ที่จะได้ศึกษาและนำเทคโนโลยีไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	5
ผู้วิจัย.....	6
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	7
บทนำ.....	8
บทคัดย่อ.....	11
การวิจัยและพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก.....	22
การวิจัยและพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก...	40
บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	50
บรรณานุกรม.....	**51**
ภาคผนวก ก.....	52
ภาคผนวก ข.....	59

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัย

ศักดิ์ชัย อาษาวัง	เวียง อากรชี	วุฒิพล จันทร์สระคู
Sakchai Arsawang	Weang Arekornchee	Wuttiphol Chansrakoo
อนุชิต ฉ่ำสิงห์	ประยูร เอ็นมาก	
Anuchit Chumsing	Prayoon Enmarg	

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Sc_t = น้ำหนักเมล็ดพริกรวม (กรัม)

Pc_t = น้ำหนักเปลือกพริกรวม (กรัม)

Sc_1 = น้ำหนักเมล็ดพริกที่หลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Sc_2 = น้ำหนักเมล็ดพริกที่หลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเปลือก (กรัม)

Sc_3 = น้ำหนักเมล็ดพริกติดเปลือก ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Sc_4 = น้ำหนักเมล็ดพริกติดเปลือก ในช่องรับเปลือก (กรัม)

Pc_1 = น้ำหนักเปลือกพริก ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Pc_2 = น้ำหนักเปลือกพริก ในช่องรับเปลือก (กรัม)

St_t = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศรวม (กรัม)

Pt_t = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศรวม (กรัม)

St_1 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศที่หลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

St_2 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศที่หลุดจากเปลือกแล้ว แต่ค้างในตระแกรง (กรัม)

St_3 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศหลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเปลือก (กรัม)

St_4 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศติดเปลือก ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

St_5 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศติดเปลือก ค้างในตระแกรง (กรัม)

St_6 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศติดเปลือก ในช่องรับเปลือก (กรัม)

Pt_1 = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศ ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Pt_2 = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศ ค้างในตระแกรง (กรัม)

Pt_3 = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศ ในช่องรับเปลือก (กรัม)

Cc = concave clearance ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่าง

Sc_i = inlet side concave clearance ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้างทางเข้า

Sc_o = outlet side concave clearance ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้างทางออก

บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกให้ความสนใจเกี่ยวกับสมุนไพรอย่างมาก ทำให้ตลาดมีการเติบโตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง โดยมีมูลค่าถึงปีละ 2 ล้านล้านบาท ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสมุนไพรที่ได้รับการดัดแปลงหรือแปรรูปแล้ว สำหรับสมุนไพรในประเทศไทยมีกระแสนิยมที่เติบโตอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ปี 2550 2551 และ 2552 มีการนำเข้าเพิ่มขึ้นทุกปี คิดเป็นมูลค่า 314 375 และ 377 ล้านบาท และมีมูลค่าการส่งออก 228 261 และ 333 ล้านบาท ตามลำดับ (น.ส.พ. กสิกร, 2553) ส่วนผลิตผลจากพืชผักก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน ผักนั้นเป็นผลิตผลจากพืชที่ได้จากส่วนต่างๆ เช่น ใบ ดอก หรือผล ผักมีใยอาหารสูง มีวิตามินและแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ผักยังเป็นวัตถุดิบสำคัญในการแปรรูปเพื่อการถนอมอาหารมากมาย เช่น บรรจุกระป๋อง (canning) ทำแห้ง (dehydration) แช่เยือกแข็ง (freezing) ดองสามรส (pickling) ดองเกลือ (salting) และทอดกรอบ (deep frying) เป็นต้น มะเขือเทศและพริกจัดเป็นพืชผักเศรษฐกิจสำคัญที่สร้างรายได้แก่ชุมชนท้องถิ่นรวมทั้งภาคอุตสาหกรรมส่งออก ซึ่งประเทศไทยเป็นแหล่งปลูกและผลิตพริกสูงสุดแห่งหนึ่งในภูมิภาคอาเซียน มีพื้นที่ปลูกไม่น้อยกว่า 474,717 ไร่ต่อปี โดยใช้บริโภคเป็นพริกสดภายในประเทศถึง 87 % หรือประมาณ 530,000 ตัน ในปี 2553 ประเทศไทยมีมูลค่าการค้าพริกโดยรวม 3,324.6 ล้านบาท ทั้งนี้มาจากรายได้จากการส่งออกถึง 2,597.9 ล้านบาท และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยส่วนใหญ่เกิดจากการส่งออกซอสพริกเป็นหลัก รองลงมาคือ พริกแห้ง พริกป่น และกลุ่มสุดท้ายคือ พริกสดหรือแช่แข็ง ซึ่งมีมูลค่า 93.1 ล้านบาท (ตะวันฉาย, 2557) ส่วนการส่งออกมะเขือเทศสดหรือแช่แข็งในปี 2556 มีมูลค่า 11.4 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557)

ประโยชน์ที่สำคัญของพืชผักอีกอย่างหนึ่งคือสารสำคัญ ซึ่งปัจจุบันสารสำคัญที่สกัดจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมีความต้องการเป็นอย่างมากทั้งในภาคอุตสาหกรรมยาและอุตสาหกรรมอาหาร เช่น สารแคโรทีนอยด์ และวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มแดง สารโพรแอนโธไซยานิดินส์จากเมล็ดองุ่น สารแคปไซซินอยด์จากพริก และสารไลโคปีนในน้ำมันเมล็ดมะเขือเทศเป็นต้น สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2557) ระบุว่านอกจากใช้พริกประกอบอาหารแล้วยังนำสารเผ็ดของพริกที่ทำให้เกิดรสเผ็ดร้อนหรือแคปไซซินอยด์ (capsaicinoids) ที่อยู่ในไส้ของผลพริกไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยามากขึ้นซึ่งเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มเช่น ผลิตภัณฑ์ในรูปแคปซูลที่ใช้ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในกระเพาะอาหาร และผลิตภัณฑ์ในรูปโลชั่นและครีมที่ใช้เป็นยาทาภายนอกบรรเทาปวดเมื่อย ปวดตามข้ออักเสบ และยาฉีดพ่นเพื่อรักษาโรคไซนัส ตลอดจนเป็นผลิตภัณฑ์ป้องกันสัตว์กัดแทะสายไฟ และไฟเบอร์ออปติกส์ต่าง ๆ ที่ฝังใต้ดินเป็นต้น ซึ่งปัจจุบันสารเหล่านี้ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

การสกัดสารสำคัญจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาตินั้นมีอยู่หลายวิธี โดยแต่ละวิธีใช้เครื่องสกัดที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่สกัดและความต้องการของคุณภาพของสารสำคัญ เช่น การสกัดโดยใช้เครื่องหีบหรือเครื่องบีบ การสกัดโดยการกลั่นจากไอน้ำ (Distillation) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) ซึ่งการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤตมาเป็นตัวทำละลายเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สำคัญ โดยจะสกัดสารสำคัญจากพืชผัก เช่นจากเมล็ดและไส้ของพริก และเมล็ดมะเขือเทศ ส่วนเปลือกหรือเนื้อที่แยกออกมาสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้ เช่นเปลือกพริกสามารถ

นำไปผสมกับพริกป่นเพื่อเพิ่มปริมาณหรือปรับความเผ็ดตามต้องการ ส่วนเนื้อมะเขือเทศนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตซอสในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้ แต่เนื่องจากเครื่องจักรที่จะใช้ในการบดย่อยและแยกเมล็ดออกจากเปลือกหรือเนื้อ แม้มีการผลิตบ้างแล้วในต่างประเทศ แต่ยังไม่มีการใช้งานแพร่หลาย อาจเนื่องจากมีราคาแพง หรืออาจยังไม่เหมาะสมกับการใช้งาน

จากปัญหาต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม จึงได้วิจัยและพัฒนาเครื่องตีแยกเมล็ดพริก และเครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก เพื่อเตรียมสำหรับการนำไปสกัดแยกสารสำคัญให้มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมกับการใช้งานและมีราคาถูก จะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มศักยภาพในการผลิต เป็นการส่งเสริมการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากผลิตผลการเกษตรที่มีจำนวนมากในประเทศ และลดการนำเข้าเครื่องจักรและวัตถุดิบจากต่างประเทศได้

การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร

Research and Development on Crushing Machines for Vegetables and Herbs

ศักดิ์ชัย อาษาวัง
Sakchai Arsawang
เวียง อากรชี
Weang Arekornchee
วุฒิพล จันทร์สระคู
Wuttiphol Chansrakoo
อนุชิต ฉ่ำสิงห์
Anuchit Chumsing
ประยูร เอ็นมาก
Prayoon Enmarg

คำสำคัญ : พริก มะเขือเทศ สกัด แยก บด ผง ผัก สมุนไพร

Keywords: Chili, Tomato, extract, Separate, Crush, Powder, Vegetable, Herbs

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก ได้ต้นแบบเครื่องจักรที่ใช้มอเตอร์ 1 เฟส ขนาด 3 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ระบบไฟฟ้า 220 v 50 / 60 Hz เป็นต้นกำลัง ชุดตีแยกเมล็ดเป็นใบตีแยกที่ทำจากเหล็กแบน เจาะรูร้อยบนเพลา 4 เพลา ๆ ละ 3 ใบและใบอุ้มลมเพลาละ 1 ใบ ทั้งสี่เพลายึดกับเพลาหลักด้วยเหล็กแบนตัดเป็นวงกลมวางเป็นช่วงจำนวน 3 แผ่น มีตะแกรงรูกลมล้อมรอบชุดใบตีแยกในแนวตั้ง และมีเหล็กแผ่นด้านนอกกั้นเป็นช่องรับเมล็ดที่ถูกตีลอดตะแกรงออกมา ด้านล่างของตะแกรงเป็นช่องรับเปลือก ผลทดสอบพริก 3 พันธุ์ พบว่า เครื่องต้นแบบทำงานได้ดีที่ ความเร็วใบตีแยกเมล็ด 41.1 เมตร / วินาที อัตราการป้อน 164 กิโลกรัม / ชั่วโมง และขนาดรูตะแกรง 11.2 มิลลิเมตร โดยมีเมล็ดที่หลุดจากเปลือกแล้วอยู่ในช่องเก็บเมล็ด มีค่า 96.8 (%) 94.6 (%) และ 97.6 (%) สำหรับพริกพันธุ์จินดาแดง พันธุ์อินเดียใหญ่ และพันธุ์เฮียะโต๋ ตามลำดับ งานวิจัยและพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก เพื่อการเตรียมเปลือกและเนื้อไปสกัดสารไลโคปีนโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤตเป็นตัวทำละลาย โดยเครื่องต้นแบบ ประกอบด้วย ถังป้อน ลูกตีแยกเมล็ดแบบทรงกระบอกที่มีใบตีแยกทำจากเหล็กแบนจำนวน 4 แถว มีตะแกรงรูกลมล้อมรอบด้านล่างของลูกตี เพื่อแยกให้เมล็ดตกลงไปที่ช่องรับเมล็ด ส่วนเปลือกและเนื้อถูกลำเลียงไปที่ช่องรับเปลือก ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 3 แรงม้า ทดสอบ 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วเชิงเส้นปลายใบตี 5 ระดับ (12.8 17.7 22.5 25.6 และ 27.1 เมตร/วินาที) ระยะห่างแนวดิ่งปลายใบตีกับตะแกรงล่าง 3 ระดับ (10 20 และ 30 มิลลิเมตร) และเส้นผ่าศูนย์กลางรูตะแกรง 2 ระดับ (5 และ 8 มิลลิเมตร) ทดสอบมะเขือเทศ 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ท้อ พันธุ์สีดา และพันธุ์อีเป๋อ ผลการทดสอบพบว่าที่ความเร็วเชิงเส้นปลายใบตี 22.5 เมตร/วินาที รูตะแกรง 8 มิลลิเมตร และระยะห่างแนวดิ่งใบตีกับตะแกรงล่าง 10 และ 20 มิลลิเมตร ทำให้เมล็ดแยกออกจากเปลือกและเนื้อได้ดี ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 82.1 % ถึง 93.1%

Abstract

The purpose of this research was to research and develop of Tomato Seed Separator. The mixed of tomato crust and tissue was prepared for Lycopene extraction by means of carbon dioxide at the critical point as a solvent. The prototype consists of a feed hopper, a separated cylinder with 4 rows of flat steel peg tooth and a round hole sieve; installed below to separate the seed into the seed picker while the mixed of crust and tissue was transported to a crust and tissue receptacle. The 3-phase-3 horse powers motor was used. The 5-peg tooth tip speed (12.8, 17.7, 22.5, 25.6 and 27.1 m/s), 3 bottom concave clearances (10, 20 and 30 mm) and 2 sieve hole diameters (5 and 8 mm) were tested on three tomato varieties; Sida, Thor and Eper. The results indicated that the tip speed of 22.5 m/s, 8 mm sieve hole diameter and the distance between the blade and the bottom sieve of 10 and 20 mm allowed the practical tested with the value of the seeds separated were ranged from 82.1% to 93.1%.

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันทั่วโลกให้ความสนใจเกี่ยวกับสมุนไพรอย่างมาก ทำให้ตลาดมีการเติบโตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง โดยมีมูลค่าถึงปีละ 2 ล้านล้านบาท ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสมุนไพรที่ได้รับการดัดแปลงหรือแปรรูปแล้ว สำหรับสมุนไพรในประเทศไทยมีกระแสนิยมที่เติบโตอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ปี 2550 2551 และ 2552 มีการนำเข้าเพิ่มขึ้นทุกปี คิดเป็นมูลค่า 314 375 และ 377 ล้านบาท และมีมูลค่าการส่งออก 228 261 และ 333 ล้านบาท ตามลำดับ (น.ส.พ. กสิกร, 2553) ส่วนผลิตผลจากพืชผักก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน ซึ่งผักนั้นเป็นผลิตผลจากพืชที่ได้จากส่วนต่างๆ เช่น ใบ ดอก หรือผล ผักมีใยอาหารสูง มีวิตามินและแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ผักยังเป็นวัตถุดิบสำคัญในการแปรรูปเพื่อการถนอมอาหารมากมาย เช่น บรรจุกระป๋อง (canning) ทำแห้ง (dehydration) แช่เยือกแข็ง (freezing) ดองสามรส (pickling) ดองเกลือ (salting) และทอดกรอบ (deep frying) เป็นต้น มะเขือเทศและพริกจัดเป็นพืชผักเศรษฐกิจสำคัญที่สร้างรายได้แก่ชุมชนท้องถิ่นรวมทั้งภาคอุตสาหกรรมส่งออก ซึ่งประเทศไทยเป็นแหล่งปลูกและผลิตพริกสูงสุดแห่งหนึ่งในภูมิภาคอาเซียน มีพื้นที่ปลูกไม่น้อยกว่า 474,717 ไร่ต่อปี โดยใช้บริโภคเป็นพริกสดภายในประเทศถึง 87 % หรือประมาณ 530,000 ตัน ในปี 2553 ประเทศไทยมีมูลค่าการค้าพริกโดยรวม 3,324.6 ล้านบาท ทั้งนี้มาจากรายได้จากการส่งออกถึง 2,597.9 ล้านบาท และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยส่วนใหญ่เกิดจากการส่งออกซอสพริกเป็นหลัก รองลงมาคือ พริกแห้ง พริกป่น และกลุ่มสุดท้ายคือ พริกสดหรือแช่แข็ง ซึ่งมีมูลค่า 93.1 ล้านบาท (ตะวันฉาย, 2557) ส่วนการส่งออกมะเขือเทศสดหรือแช่แข็งในปี 2556 มีมูลค่า 11.4 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557)

ประโยชน์ที่สำคัญของพืชผักอีกอย่างหนึ่งคือสารสำคัญ ซึ่งปัจจุบันสารสำคัญที่สกัดจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมีความต้องการเป็นอย่างมากทั้งในภาคอุตสาหกรรมยาและอุตสาหกรรมอาหาร เช่น สารแคโรทีนอยด์ และวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มแดง สารโพรแอนโธไซยานิดินส์จากเมล็ดองุ่น สารแคปไซซินอยด์จากพริก และสารไลโคปีนในน้ำมันเมล็ดมะเขือเทศเป็นต้น สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2557) ระบุว่านอกจากใช้พริกประกอบอาหารแล้วยังนำสารเผ็ดของพริกที่ทำให้เกิดรสเผ็ดร้อนหรือแคปไซซินอยด์ (capsaicinoids) ที่อยู่ในไส้ของผลพริกไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยามากขึ้นซึ่งเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มเช่น ผลิตภัณฑ์ในรูปแคปซูลที่ใช้ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในกระเพาะอาหาร และผลิตภัณฑ์ในรูปโลชั่นและครีมที่ใช้เป็นยาทาภายนอกบรรเทาปวดเมื่อย ปวดตามข้ออักเสบ และยาฉีดพ่นเพื่อรักษาโรคไซนัส ตลอดจนเป็นผลิตภัณฑ์ป้องกันสัตว์กัดแทะสายไฟ และไฟเบอร์ออปติกส์ต่างๆ ที่ฝังใต้ดินเป็นต้น ซึ่งปัจจุบันสารเหล่านี้ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ การสกัดสารสำคัญจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาตินั้นมีอยู่หลายวิธี โดยแต่ละวิธีใช้เครื่องสกัดที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่สกัดและความต้องการของคุณภาพของสารสำคัญ เช่น การสกัดโดยใช้เครื่องหีบหรือเครื่องบีบ การสกัดโดยการกลั่นจากไอน้ำ (Distillation) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) ซึ่งการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤตมาเป็นตัวทำละลายเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สำคัญ โดยจะสกัดสารสำคัญจากพืชผัก เช่นจากเมล็ดและไส้ของพริก และเมล็ดมะเขือเทศ ส่วนเปลือกหรือเนื้อที่แยกออกมาสามารถนำไปแปรรูปเป็น

ผลิตภัณฑ์อื่นได้ เช่นเปลือกพริกสามารถนำไปผสมกับพริกป่นเพื่อเพิ่มปริมาณหรือปรับความเผ็ดตามต้องการ ส่วนเนื้อมะเขือเทศนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตซอสในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้ แต่เนื่องจากเครื่องจักรที่จะใช้ในการบดย่อยและแยกเมล็ดออกจากเปลือกหรือเนื้อ แม้มีการผลิตบ้างแล้วในต่างประเทศ แต่ยังไม่มีการใช้งานแพร่หลาย อาจเนื่องจากมีราคาแพง หรืออาจยังไม่เหมาะสมกับการใช้งาน

จากปัญหาต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม จึงได้วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรตีแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก และเครื่องจักรตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก เพื่อเตรียมสำหรับการนำไปสกัดแยกสารสำคัญให้มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมกับการใช้งานและมีราคาถูก จะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มศักยภาพในการผลิต เป็นการส่งเสริมการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากผลิตผลการเกษตรที่มีจำนวนมากในประเทศ และลดการนำเข้าเครื่องจักรและวัตถุดิบจากต่างประเทศได้

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร จำนวน 2 เครื่อง ได้แก่ เครื่องจักรที่สามารถแยกเมล็ดและไส้ของพริกแห้งออกจากเปลือก และเครื่องจักรที่สามารถแยกเมล็ดมะเขือเทศสดออกจากเนื้อ เพื่อการเตรียมเมล็ดหรือไส้ไปเป็นวัตถุดิบสำหรับนำไปสกัดสารสำคัญด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤต

ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร มีเป้าหมายในการวิจัยและพัฒนาต้นแบบเครื่องจักรสองเครื่องได้แก่ ต้นแบบเครื่องจักรที่สามารถแยกเมล็ดและไส้พริกออกจากเปลือก (ปีงบประมาณ 2559 ถึง 2560) และต้นแบบเครื่องจักรที่สามารถแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเนื้อ (ปีงบประมาณ 2561) เพื่อใช้เมล็ดและไส้พริก และเมล็ดมะเขือเทศเป็นวัตถุดิบสำหรับการนำไปสกัดสารสำคัญด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤต ซึ่งพริกที่ใช้จะเป็นพริกแห้ง อย่างน้อย 3 พันธุ์ และมะเขือเทศสด อย่างน้อย 3 พันธุ์

การทบทวนวรรณกรรม

การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร ที่สามารถแยกเมล็ดออกจากเปลือกหรือเนื้อ จะประยุกต์ใช้หลักการทำงานของเครื่องจักรหลายระบบ โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง มีหลักการทำงานดังนี้

เครื่องบดย่อยพริกและแยกเมล็ดออกจากเปลือกจะประกอบด้วยชุดบดย่อยในแนวนอนที่ล้อมรอบด้วยตะแกรงรูกลม และชุดแยกเมล็ดออกจากเปลือกที่ติดตั้งในแนวตั้ง โดยชุดบดย่อยจะแบ่งเป็นสองช่วง ช่วงแรกจะใช้หลักการทำงานของเครื่องบดแบบใบค้อน หรือชุดใบตีหมุน (hammer mill) เพื่อตีผลพริกให้แตกหรือลดขนาดและตีให้เมล็ดแยกจากเปลือกในขั้นแรก ช่วงถัดไปจะใช้หลักการทำงานของเครื่องนวดแบบไหลตามแกน (Axial Flow Thresher) เพื่อปั่นหรือนวดเมล็ดแยกออกจากเปลือกให้ดีขึ้นและลำเลียงเข้าสู่ชุดแยกเมล็ดออกจากเปลือกที่ติดตั้งถัดไป ซึ่งจะมีชุดใบค้อนหรือใบตีและใบอุ้มลมที่ประกอบเป็นชั้นๆกับเพลาแนวตั้งและมีตะแกรงรูกลมล้อมรอบ เมล็ดจะถูกใบค้อนตีให้ลอดผ่านตะแกรง และร่วงลงสู่อุปกรณ์กักเก็บเมล็ดที่อยู่ด้านนอก ส่วนเปลือกซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ารูตะแกรงไม่สามารถลอดผ่านไปได้จะตกลงสู่อุปกรณ์กักเก็บเปลือกที่อยู่ด้านล่างต่อไป

เครื่องบดย่อยมะเขือเทศที่สามารถแยกเมล็ดออกจากเปลือก จะประกอบด้วยชุดบดย่อยที่วางในแนวนอนและถูกล้อมรอบครึ่งล่างของชุดบดย่อยด้วยตะแกรงโค้งที่มีรูกลม โดยส่วนบดย่อยช่วงแรกใช้หลักการทำงานของเครื่องบดแบบใบค้อน (hammer mill) เพื่อตีปั่นและฉีกให้มะเขือเทศเป็นชิ้นเล็กลง ชุดบดย่อยในช่วงถัดไปจะใช้หลักการทำงานของเครื่องนวดแบบไหลตามแกน (axial Flow Thresher) ซึ่งจะตีปั่นให้เมล็ดแยกออกจากเนื้อและหลุดลอดรูตะแกรงลงสู่อุปกรณ์รองรับเมล็ด ส่วนเนื้อจะค้างอยู่ในตะแกรงและถูกขับออกอีกด้านหนึ่งลงสู่อุปกรณ์รองรับเนื้อหรือเปลือกต่อไป

เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการบดย่อย มีหลักการทำงานดังนี้

เครื่องลดขนาดวัสดุ

การลดขนาดโดยวิธีทางกลเป็นการทำให้วัสดุที่เป็นของแข็งมีอนุภาคลดลงโดยคุณสมบัติทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมซีเมนต์ เหมืองแร่ ปุ๋ย เซรามิค และอาหาร การลดขนาดในอุตสาหกรรมอาหารนั้นมีวัตถุประสงค์โดยทั่วไปคือ ช่วยให้ได้ขนาดของอาหารตามวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่น การบดเครื่องเทศ การบดน้ำตาลเป็นต้น ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุซึ่งเป็นประโยชน์ในการดำเนินการต่อไป เช่น การอบแห้งเนื่องจากทำให้อบแห้งวัสดุได้เร็วขึ้น ช่วยให้สามารถสกัดแยกส่วนหรือสารที่ต้องการได้ดีขึ้นในกระบวนการสกัดสาระสำคัญ ช่วยเพิ่มความสะดวกในการขนถ่าย ช่วยให้อาหารถูกย่อยได้ง่ายขึ้น วิธีการลดขนาดอาจจำแนกตามลักษณะผลิตผลภายหลังการลดขนาดได้ดังนี้

วิธีการตัด การสับ และการหั่นเป็นชิ้นบาง เช่นการหั่นผลไม้เพื่อบรรจุกระป๋อง การตัดผักผลไม้เป็นลูกเต๋า การสับเนื้อสัตว์เป็นต้น

วิธีการบดจนเป็นแป้งหรือเพท (Paste) เช่นการบดเครื่องเทศ การบดแป้งเป็นต้น

วิธีการอิมัลซิฟิเคชั่นและโฮโมจิไนเซชั่น เป็นการลดขนาดที่ไม่เข้ากันของของเหลว เช่นเม็ดไขมันในน้ำ การทำไอศกรีม ครีม และเนยเป็นต้น

หลักการทำงานของเครื่องลดขนาดวัสดุอาจจำแนกตามลักษณะของแรงกระทำได้เป็น 4 แบบ คือการบีบอัด การกระแทก การขัดสี และการตัด ซึ่งอาจใช้หลักการเดียวหรือหลายหลักการร่วมกันในเวลาเดียวกันก็ได้ จากหลักการทำงานทั้งสี่แบบมีการออกแบบกลไกการทำงานหลากหลายแบบ จึงอาจจำแนกประเภทของเครื่องลดขนาดวัสดุตามลักษณะกลไกการทำงานได้ดังนี้

เครื่องบดวัสดุแบบลูกกลิ้ง (Roller mill): โดยลูกกลิ้งอาจมีผิวเรียบ หรือเป็นร่อง จำนวนสองตัวขึ้นไปหมุนทิศทางตรงข้ามกันและออกแรงกดหรือบีบจนวัสดุแตก การปรับความเร็วของลูกกลิ้งที่ต่างกันทำให้เกิดแรงเฉือนร่วมด้วน ขนาดของผลผลิตขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (ภาพที่ 1)

เครื่องบดวัสดุแบบชุดใบตีหมุน (Hammer Mill): ซี่บดหรือซี่ตีหมุนตีวัสดุในห้องบดที่มีผนังบางส่วนหรือทั้งหมดเป็นตะแกรง วัสดุถูกลดขนาดโดยแรงจากการฟาดตีและการขัดสีจนมีขนาดเล็กพอที่จะลอดหรือร่วงผ่านรูตะแกรงออกนอกห้องบด ซี่อาจมีทั้งแบบยึดแน่น และแบบเหวี่ยงตัวได้เพื่อลดการเสียหายจากการที่วัสดุที่มีความแข็งปนเข้าไปในห้องบด ขนาดของผลิตผลขึ้นอยู่กับขนาดรูตะแกรง (ภาพที่ 2)

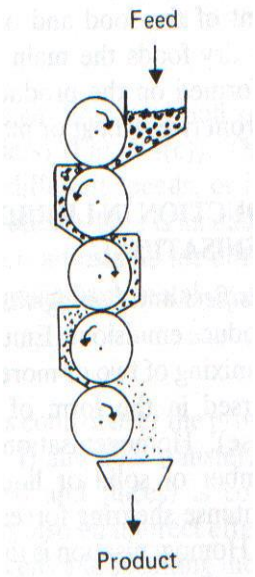
เครื่องบดวัสดุแบบจาน (Disc Mill): โดยทั่วไปจานบดสองจานที่ติดตั้งห่างกันเล็กน้อยและหมุนด้วยความเร็วต่างกัน หรืออาจมีเพียงหนึ่งจานแต่อาศัยผนังห้องบดแทนอีกจานหนึ่ง วัสดุที่อยู่ระหว่างจานบดทั้งสองจะถูกลดขนาดโดยการเฉือนและการขัดสีระหว่างวัสดุกับผิวของจานจนมีขนาดเล็กพอที่จะร่วงผ่านรูตะแกรง ซึ่งติดตั้งอยู่รอบแผ่นจานบด ขนาดของผลิตผลจะขึ้นกับระยะห่างระหว่างจานบดและขนาดของรูตะแกรง (ภาพที่ 3)

เครื่องบดวัสดุแบบซี่ (Pin Mill): โดยทั่วไปประกอบด้วยจานบดสองจานหรือหนึ่งจานเช่นกัน แต่มีเล็ก ๆ บนผิวหน้าของจานบด ซึ่งอาจเป็นซี่กลม ซี่เหลี่ยม และซี่มีคมคล้ายใบมีด วัสดุที่อยู่ระหว่างจานบดจะถูกบดโดยแรงกระแทกของซี่ จนมีขนาดเล็กพอที่จะลอดผ่านรูตะแกรงได้ ขนาดของผลผลิตขึ้นกับขนาดของรูตะแกรง (ภาพที่ 4)

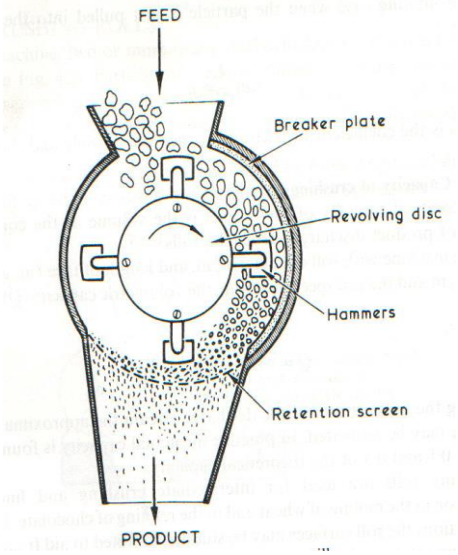
เครื่องบดแบบเกลียวอัด (Cutting Mill): โดยทั่วไปประกอบด้วยเกลียวลำเลียง ใบมีดตัดและแผ่นหน้าแว่นหรือตะแกรงบด วัสดุจะถูกดันโดยเกลียวลำเลียงให้ไปที่ช่องทางออกที่มีใบมีดหมุนตัดให้วัสดุมีขนาดเล็กลงจนลอดผ่านรูตะแกรงได้ ขนาดของผลิตผลขึ้นอยู่กับขนาดของรูตะแกรง มักใช้บดวัสดุที่อ่อนนุ่มมีความชื้นสูง เช่นเนื้อ ผัก เป็นต้น (ภาพที่ 5)

เครื่องบดวัสดุแบบบอลมิลล์ (Ball Mill): โดยทั่วไปประกอบด้วยถังทรงกระบอกที่หมุนเคลื่อนที่รอบแกนในแนวนอน ภายในถังมีโลหะกลมเส้นผ่าศูนย์กลางราว 25-150 มม. เคลื่อนที่ตามการหมุนของถังแล้วตกลงมากระแทกวัสดุที่กลิ้งอยู่ด้านล่าง วัสดุถูกลดขนาดด้วยแรงเฉือนและแรงกระแทก (ภาพที่ 6)

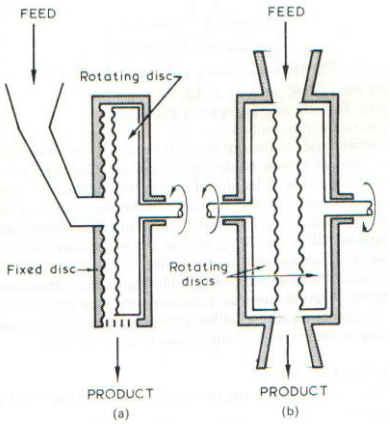
เครื่องบดวัสดุแบบร็อดมิลล์ (Rod Mill): โดยทั่วไปมีกลไกคล้ายเครื่องบดวัสดุแบบบอลมิลล์ แต่ใช้แท่งโลหะแทนโลหะกลม โดยแท่งโลหะนี้กระจายตลอดความยาวเครื่อง ทำให้แก้ปัญหาข้อจำกัดที่เกิดกับโลหะกลมได้ คือในกรณีโลหะกลมวัสดุที่อยู่ระหว่างช่องว่างของโลหะกลมจะไม่ถูกบด



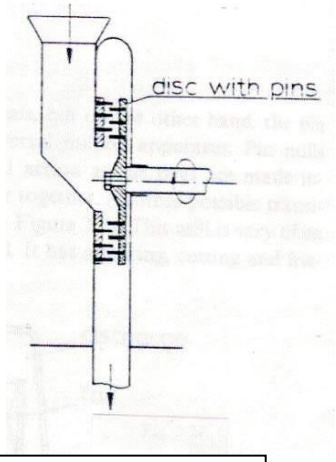
ภาพที่ 1 Roller mill



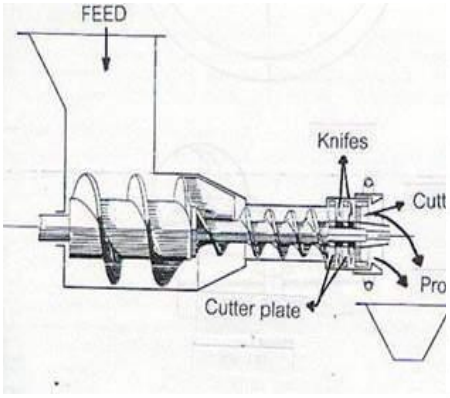
ภาพที่ 2 Hammer mill



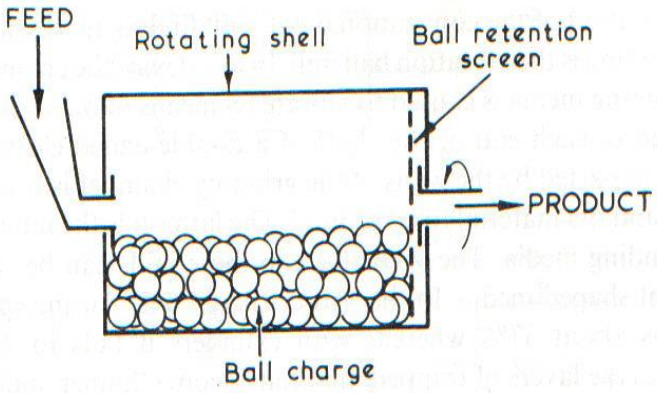
ภาพที่ 3 Disc mill



ภาพที่ 4 Pin mill

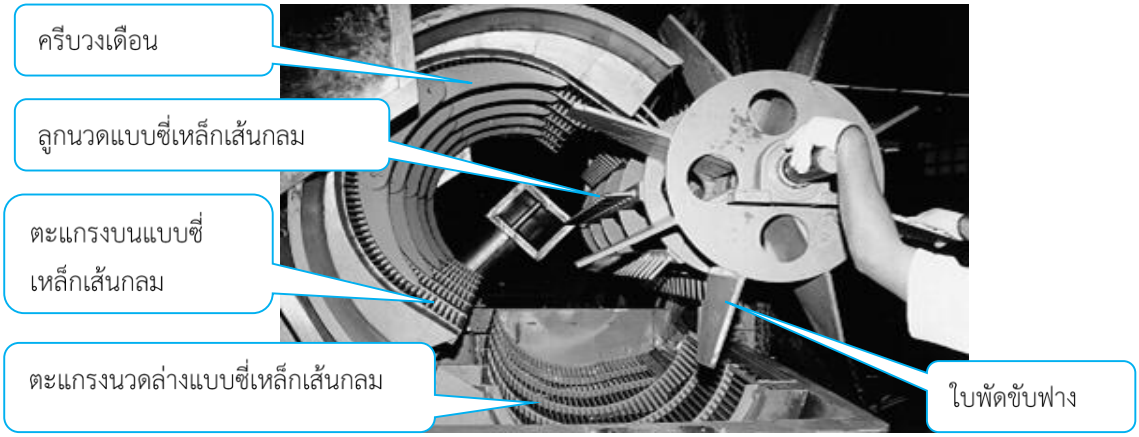


ภาพที่ 5 Cutting mill

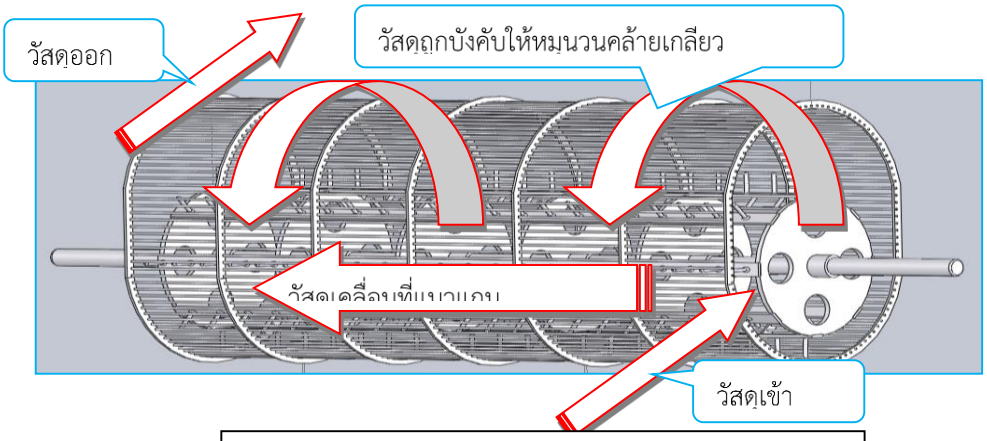


ภาพที่ 6 Ball mill

ชุดนวดข้าวแบบไหลตามแกน ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน (ภาพที่ 7) คือ ลูกนวดแบบซี่เหล็กเส้นกลม ตะแกรงบนและตะแกรงนวดล่างแบบซี่ตะแกรงเหล็กเส้นกลม ครีบวงเดือน และใบพัดขับฟาง โดยลูกนวดมีหน้าที่พาต้นข้าวที่อยู่ในห้องนวดเคลื่อนที่ไปบนตะแกรงนวด เพื่อให้ต้นข้าวถูกฟาดตีจนเมล็ดหลุดออกจากรวง ส่วนครีบวงเดือนที่ติดอยู่ตะแกรงส่วนบนเป็นอุปกรณ์ในการบังคับทิศทางให้ต้นข้าวเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนของลูกนวด และฟางข้าวที่เหลือจะถูกส่งออกจากตัวเครื่องเกี่ยวนวดด้วยใบพัดขับฟาง ซึ่งรูปแบบการนวดแบบไหลตามแกนมีการเคลื่อนที่ของวัสดุในห้องนวดดังแสดงใน ภาพที่ 8



ภาพที่ 7 ชุดนวดแบบไหลตามแกน



ภาพที่ 8 การเคลื่อนที่ของวัสดุในชุดนวดแบบไหลตามแกน

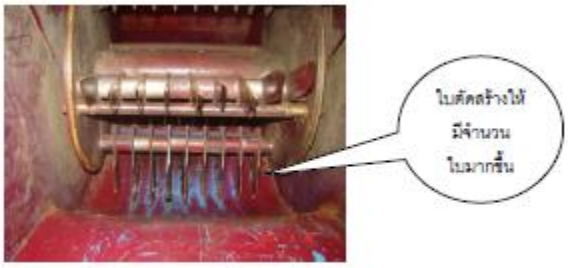
ผักและสมุนไพรมีความเกี่ยวข้องกัน ซึ่งพิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2557) กล่าวไว้ว่า ผักคือผลิตผลจากพืชที่ใช้เป็นอาหาร ได้จากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ใบ ดอก ผล การจำแนกพืชผักนั้น อาจจำแนกตามส่วนของการใช้ประโยชน์ ตามอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต และผักพื้นบ้านของไทย การจำแนกตามส่วนของการใช้ประโยชน์ได้แก่ ราก เช่น ผักกาด หัวแครอท หัวผักกาดแดง เทอร์นิพ พาร์สนิพ การใช้ประโยชน์จากลำต้น เช่น หน่อไม้ฝรั่ง หน่อไม้ กะหล่ำปม มันฝรั่ง เผือก กลอย มันมือเสือ ผักบุ้งจีน ผักกะเฉด การใช้ประโยชน์จากใบ เช่น คะน้า กะหล่ำปลี กุยช่าย ผักกาดขาวปลี ผักกวางตุ้ง ผักกาดเขียวปลี ผักหวาน ตำลึง ผักกาดหอม หอมหัวใหญ่ กระเทียม กระเทียมต้น หอมแดง กุยช่าย ชะอม ผักบุ้งจีน ต้นหอม ผักชี การใช้ประโยชน์จากดอก

เช่น บรอกโคลี กะหล่ำดอก ดอกโสน ดอกแค ขี้เหล็ก ดอกฮวน การใช้ประโยชน์จากผล เช่น ถั่วลันเตา ถั่วฝักยาว ถั่วแขก ถั่วเหลืองฝักสด ข้าวโพดฝักอ่อน ข้าวโพดหวาน กระเจี๊ยบเขียว แตงกวา แตงเทศ มะระ มะระขี้นก ฟักเขียว ฟักทอง พริก พริกหวาน มะเขือเทศ มะเขือเปราะ มะเขือพวง มะเขือม่วง มะเขือยาว การจำแนกพืชผักตามอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต ได้แก่ ผักที่ชอบอากาศเย็นซึ่งเป็นกลุ่มผักที่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศประมาณ 16-18 องศาเซลเซียส พืชผักในกลุ่มนี้จึงเหมาะที่จะปลูกในฤดูหนาว หรือพื้นที่สูงที่มีอากาศเย็นกว่าพื้นที่ราบ ทุกๆ ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล 100 เมตร อุณหภูมิจะลดลง 1 องศาเซลเซียส พืชผักกลุ่มนี้ ได้แก่ บรอกโคลี กะหล่ำดอก กะหล่ำดาว กะหล่ำปลี กะหล่ำปม ผักกาดเขียวปลี ผักกาดหอม แครอท หน่อไม้ฝรั่ง คะน้า กระเทียม คื่นฉ่าย ผักกาดหัว หอมหัวใหญ่ ผักโขม ถั่วลันเตา เทอร์นิพ อองดิฟ พาร์สเล่ย์ พาร์สนิพ ชาด เซเลอรี่ เฟนเนล และมันฝรั่ง เป็นต้น ผักที่ต้องการอากาศอบอุ่น เป็นกลุ่มผักที่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 18-30 องศาเซลเซียส พืชผักในกลุ่มนี้ ได้แก่ แตงกวา แตงไทย มะเขือเทศ มะเขือยาว พริก พริกหวาน ฟักทอง มะระ บวบ น้ำเต้า ฟักเขียว ถั่วเขียว ข้าวโพดฝักอ่อน ผักพื้นบ้านของไทย ได้แก่ ผักหวาน ผักแพว สะเดา ดอกฮวน ส่วนสมุนไพร คือ ผลไม้ ผัก พืชเครื่องเทศ สัตว์ ที่มีสรรพคุณทางยาในการรักษาโรคที่พบได้ตามธรรมชาติ โดยสามารถใช้ส่วนต่าง ๆ เช่น ราก ผล ใบ ลำต้น ดอก เปลือกหรืออื่น ๆ ไปรับประทานได้หรือแปรรูปเป็นยาได้ ส่วนสมุนไพรนั้นตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถานพ.ศ. 2525 หมายถึง พืชที่ใช้ทำเป็นเครื่องยา แต่ในทางการค้า สมุนไพรมักจะถูกดัดแปลงในรูปแบบต่างๆ เช่น ถูกหั่นให้เป็นชิ้นเล็กลง บดเป็นผงละเอียด หรืออัดเป็นแท่ง แต่ปัจจุบันมีผู้พยายามศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนายาสมุนไพรให้สามารถนำมาใช้ในรูปแบบที่สะดวกยิ่งขึ้น เช่น นำมาบดเป็นผงบรรจุแคปซูล ตอกเป็นยาเม็ด เตรียมเป็นครีมหรือยาขี้ผึ้งเพื่อใช้ทาภายนอก เป็นต้น ในการศึกษาวิจัยเพื่อนำสมุนไพรมาใช้เป็นยาแผนปัจจุบันนั้นได้มีการวิจัยอย่างกว้างขวาง โดยพยายามสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรเพื่อให้ได้สารที่บริสุทธิ์ ศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมี ฟิสิกส์ของสารเพื่อให้ทราบว่าเป็นสารชนิดใด ตรวจสอบฤทธิ์ด้านเภสัชวิทยาในสัตว์ทดลองเพื่อดูให้ได้ผลดีในการรักษาโรคหรือไม่เพียงใด ศึกษาความเป็นพิษและผลข้างเคียง เมื่อพบว่าสารชนิดใดให้ผลในการรักษาที่ดี โดยไม่มีพิษหรือมีพิษข้างเคียงน้อยจึงนำสารนั้นมาเตรียมเป็นยารูปแบบที่เหมาะสมเพื่อทดลองใช้ต่อไป ส่วนการแปรรูปสมุนไพรนั้น เพ็ญนภา (2545) ได้กล่าวไว้ว่า หมายถึง ส่วนของพืชสมุนไพรที่นำมาผสม ปรุง หรือแปรสภาพอื่นๆ เช่น บดละเอียด สกัด จนไม่เห็นรูปแบบเดิมตามธรรมชาติ เพื่อใช้ประโยชน์หลายอย่างได้แก่ 1). เพื่อเป็นอาหาร ส่วนใหญ่มักแปรรูปเป็นเครื่องดื่มสมุนไพร เครื่องดื่มที่เป็นผงสำเร็จรูปสมุนไพร หรือที่มักเรียกกันติดปากว่า “ชาสมุนไพร” หรือ “ชาชงสมุนไพร” แต่ในทางกฎหมายคำว่า “ชา” จะหมายถึง ใบชา เท่านั้น เช่น ใบชาจีน ใบชาฝรั่ง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปสมุนไพรเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในรูปของแคปซูล ซึ่งกฎหมายจัดให้เป็น “อาหารที่มีวัตถุประสงค์” ที่ต้องขออนุญาตผลิต กรณีที่เป็นโรงงานและขออนุญาตใช้ฉลากอาหาร เช่น กระเทียมแคปซูล สารสกัดจากผลส้มแขก เป็นต้น ส่วนอาหารแปรรูปจากสมุนไพรอื่นๆ เช่น แยมจากกระเจี๊ยบแดง ขิงดองบด น้ำพริกข่า ถือว่าเป็นอาหารสำเร็จรูปที่พร้อมบริโภคได้ทันที 2). เพื่อเป็นยา ซึ่งยาสมุนไพร หมายถึง พืชที่นำมาใช้เป็นยา ที่ยังไม่ได้ผสม ปรุง หรือแปรรูป เช่น สมุนไพรอบแห้ง หรือสมุนไพรบดยาที่ยังคงเห็นสภาพเดิมได้ ยาจากสมุนไพรสูตร (ตัวยา) เดี่ยว หมายถึง ยาที่ผลิตมาจากสมุนไพรเพียง 1 ชนิด ที่นำมาแปรรูปทำเป็นยาในรูปแบบต่างๆ เช่น ยาเม็ด ยาลูกกลอน ยาผง ยาชง ยาแคปซูล ยาน้ำมัน ยาขี้ผึ้ง ยาครีม เป็นต้น และยาจาก

สมุนไพรสูตรตำรับหมายถึง ยาที่ผลิตจากมาสมุนไพรมากกว่า 1 ชนิดนำมาผสมรวมกันและแปรรูปทำเป็นยาในรูปแบบต่างๆ เช่น ยาเม็ด ยาลูกกลอน ยาผง ยาชง ยาแคปซูล ยาน้ำมัน ยาขี้ผึ้ง ยาครีม เป็นต้น 3). ผลิตภัณฑ์สมุนไพรเพื่อสุขภาพอื่นๆ เช่น แชมพูผสมสมุนไพร สบู่เหลวผสมสมุนไพร ฯลฯ โดยนำสมุนไพรมาแปรรูปและใช้เป็นส่วนผสมกับส่วนประกอบทางเคมีหรืออื่นๆ

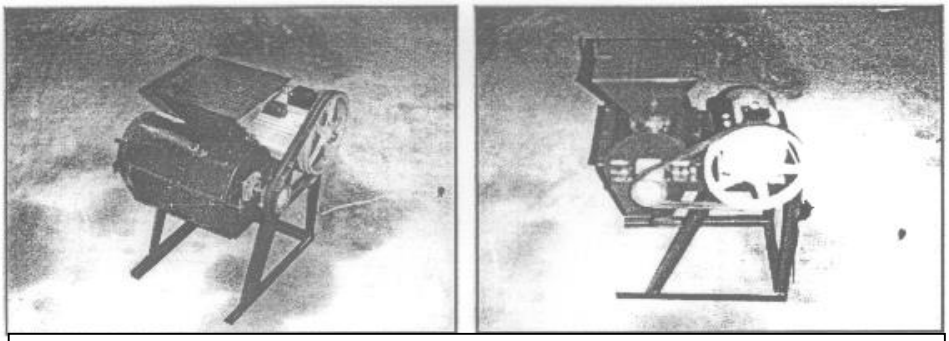
การวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับเครื่องบดย่อยลดขนาดนั้น พอพันธ์. (2551) ได้พัฒนาเครื่องหั่นผักตบชวาจากเครื่องต้นแบบซึ่งมีชุดเพลาใบมีดหมุนตัดอยู่ภายในชุดโครง ภาพที่ 9-10 โดยทดสอบกับผักตบชวาสด พบว่าความเร็วรอบที่เหมาะอยู่ที่ 1,900 รอบต่อนาที อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 1.9 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ประสิทธิภาพการหั่น 93.58 % มีความสามารถในการทำงาน 476 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อทดสอบกับผักตบชวาที่ไม่สดพบว่า ความเร็วรอบที่เหมาะอยู่ที่ 1,750 รอบต่อนาที อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.5 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ประสิทธิภาพการหั่น 94.09 % และมีความสามารถในการทำงาน 586 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และแนะนำว่าหากตากแดดเพื่อลดความชื้นผักตบชวาทำให้เครื่องหั่นมีความสามารถในการทำงานที่ดีขึ้น จากงานวิจัยนี้พบว่า แม้จะใช้หลักการบดย่อยแบบใช้ใบมีดหมุนตัด แต่ยังไม่ได้ออกแบบเพื่อให้แยกเมล็ดออกจากเปลือกหรือเนื้อเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตต่อไปได้

ภาพที่ 9 เครื่องหั่นผักตบชวาที่พัฒนา



ภาพที่ 10 แสดงใบมีดหั่นผักตบชวา

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบดย่อยโดยใช้หลักการของใบตีย่อยแบบใบมีดหมุนอีกเรื่องหนึ่งได้แก่ งานวิจัยของ มณฑล. (2544) ซึ่งได้ทดสอบการบดของเครื่องบดจำนวน 4 แบบ ได้แก่ แบบล้อบดในถังปิด แบบเกลียวอัด แบบชุดใบตีหมุน แบบซี่ และการบดโดยแรงงานคน พบว่าพริกที่บดได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิต 1,208 1,135 1,398 957 และอยู่ในช่วง 766 – 979 ไมโครเมตร ตามลำดับ หลังจากนั้นได้พัฒนาเครื่องบดพริกเพื่อให้มีสมรรถนะในการทำงานที่ดีขึ้น โดยเลือกออกแบบเป็นเครื่องบดพริกขนาดเล็ก ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 2 แรงม้า 1 เฟส เป็นต้นกำลัง และใช้หลักการของเครื่องบดแบบ Hammer Mill โดยใช้ซี่บดใบมีดเพื่อเพิ่มแรงตัดเฉือนและเพิ่มอัตราการทำงาน ออกแบบถังป้อนและห้องบดให้สามารถลดการฟุ้งกระจายระหว่างการบด ซึ่งเครื่องบดที่พัฒนาขึ้นดังภาพที่ 11 มีอัตราการทำงานมากกว่าเครื่องบดพริกแบบ Mincer และ Burr Mill ที่ผู้แปรรูปพริกป่นนิยมใช้ประมาณ 2-4 เท่า แต่ก็ยังพบว่ายังไม่ได้ทำการวิจัยเพื่อให้สามารถแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก เป็นเพียงแต่ตีป่นให้ได้พริกที่มีความละเอียดของพริกป่นที่เป็นที่ต้องการเท่านั้น



ภาพที่ 11 เครื่องบดพริกที่พัฒนาขึ้น ของ มณฑล. (2544)

งานวิจัยอีกเรื่องหนึ่งซึ่งสามารถบดย่อยวัสดุและบดจนเป็นผงละเอียดได้แก่ งานวิจัยของ เวียง และคณะ (2549) ซึ่งได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องบดแห้งทุเรียนต้นแบบ พร้อมอุปกรณ์การป้อนเพื่อควบคุมอัตราการบดละเอียดให้สามารถทำการบดได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง ดังภาพที่ 12 โดยเครื่องบดต้นแบบประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ ชุดบดหยาบ ที่ออกแบบสร้างเป็นเครื่องบดแบบแฮมเมอมิลล์ใบมีดยึดติดกับเพลาตีผ่านตะแกรงรูกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรู 3 มิลลิเมตร รอบการหมุนใบมีด 500 รอบต่อนาที ต้นกำลัง 2 แรงม้า บดทุเรียนที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร จากนั้นส่งเข้าอุปกรณ์การป้อนแบบเกลียวลำเลียงเข้าเครื่องบดละเอียด โดยเครื่องบดละเอียดต้นแบบที่ออกแบบพัฒนาเป็นเครื่องบดแบบ Pin mill มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 240 มิลลิเมตร มีซี่ฟันบนจานบดหมุน (Rotor) 3 วงรอบ ซี่ฟันบดยึดอยู่กับที่ (Stator) 2 วงรอบ ลักษณะซี่ฟันบดได้ออกแบบเป็น 2 ลักษณะ คือแบบเป็นแท่งสี่เหลี่ยม และแบบเป็นแท่งกลม ทั้ง 2 แบบ มีการทำงานในส่วนจานบด หมุนด้วยความเร็ว 2,900 รอบต่อนาที มอเตอร์ต้นกำลัง 3 แรงม้า ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบดใกล้เคียงกัน เครื่องบดแห้งทุเรียนต้นแบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีอัตราการบดที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 80 กิโลกรัมต่อชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เน้นการละเอียดและนำผงไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้แก่ งานวิจัยของ เวียง และคณะ (2551) ซึ่งได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือแปรรูปเพื่อผลิตแป้งถั่วเขียวซึ่งเป็นขั้นตอนที่ สำคัญที่จะเตรียมวัตถุดิบเพื่อนาไปผลิตเป็นวุ้นเส้น โดยเครื่องบดแป้งถั่วเขียวที่ออกแบบพัฒนาขึ้นนี้เป็นแบบ Pin mill แสดงดังภาพที่ 13 มีขนาดจานบดเส้นผ่าศูนย์กลาง 240 มิลลิเมตร มีซี่ฟันบดเรียงเป็นวงกลมบนจานหมุน 3 แถว (Rotor) วางสลับกับซี่ฟันบดยึดอยู่กับที่ 2 แถว (Stator) จานบดหมุนด้วยความเร็ว 2,900 รอบต่อนาที มอเตอร์ต้นกำลัง 3 แรงม้า จากการทดสอบบดแป้งถั่วเขียวพบว่ามีอัตราการบด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แป้งถั่วเขียวที่ได้จากการบดมีความละเอียด 125 เมซ เมื่อนำไปแปรรูปผลิตเป็นวุ้นเส้นได้วุ้นเส้นคุณภาพดีไม่แตกต่างจากการใช้วิธีบดแบบเดิมซึ่งใช้แรงงานคนในการบด ซึ่งยังเห็นได้ว่าเครื่องจักรที่ทำการวิจัยยังไม่มีการทำงานที่สามารถแยกเมล็ดออกจากเนื้อหรือเปลือกเช่นเดียวกัน

ภาพที่ 12 เครื่องบดแห้งทุเรียนต้นแบบ

ภาพที่ 13 เครื่องมือแปรรูปเพื่อผลิตแป้งถั่วเขียว

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเครื่องบดย่อยยังทำงานได้เฉพาะบดย่อยให้ได้ขนาดและบดย่อยเป็นผงเพื่อการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น แต่ยังไม่มีเครื่องจักรที่สามารถแยกเมล็ดออกจากเปลือกหรือเนื้อได้ จึงมีแนวคิดที่จะวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ได้เครื่องจักรที่มีความสามารถดังกล่าว

ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร ที่สามารถแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือกและเครื่องจักรที่สามารถแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก เพื่อนำไส้และเมล็ดพริก เปลือกและเนื้อมะเขือเทศ ไปเป็นวัตถุดิบสำหรับการนำไปสกัดสารสำคัญด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤตนั้น ในปีงบประมาณ 2559 เป็นการหาข้อมูลสมบัติทางกายภาพของพริกและมะเขือเทศเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบ แล้วจึงทำการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเบื้องต้นโดยใช้ข้อมูลทางวิศวกรรม และทำการทดสอบเบื้องต้น ในปีงบประมาณ 2560 เป็นขั้นตอนหลังจากการนำข้อมูลสมบัติทางกายภาพของพริกมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD)

การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร ในปีงบประมาณ 2561 เป็นการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องจักรบดย่อยมะเขือเทศที่สามารถแยกเมล็ดออกจากเนื้อ โดยการนำข้อมูลสมบัติทางกายภาพของมะเขือเทศมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบ สร้าง ทดสอบและปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้เครื่องต้นแบบสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) รายละเอียดการดำเนินงานมีดังนี้

1. การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพรที่สามารถแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก

มีวิธีการทดลองดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของพริก ได้แก่ ขนาดของผลและเมล็ด มุมเท ความหนาแน่นรวม สัดส่วนระหว่างเปลือกและเมล็ด เพื่อใช้ประกอบการออกแบบเครื่องจักร

2. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบที่สามารถแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือกให้เหมาะสมกับความต้องการในการนำเมล็ดไปสกัดด้วยเครื่องสกัดสารสำคัญแบบ Supercritical carbon dioxide ที่มีเงื่อนไขการออกแบบให้มีปริมาตรการสกัด 2,000 มิลลิลิตรต่อครั้ง

3. ทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไขเบื้องต้น ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัจจัยหลักในการทดสอบได้แก่ อัตราการป้อนวัตถุดิบ (กิโลกรัม / ชั่วโมง) ความเร็วเชิงเส้นของใบตีแยกเมล็ดออกจากเปลือก (เมตร / วินาที) และขนาดรูตะแกรง (มิลลิเมตร)

4. ปรับปรุงแก้ไขการออกแบบ และการทำงานของกลไกและอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ให้เหมาะสม ซึ่งจะได้ผลการแก้ไขการออกแบบและทำงานของกลไกและอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ที่ทำงานได้ตรงกับความต้องการในการออกแบบ

5. ปรับปรุงแก้ไข สร้างเครื่องต้นแบบและกลไก อุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ เพิ่มเติม ให้ได้ตามผลการวิเคราะห์จากการทดสอบ

6. ทดสอบการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบที่ปรับปรุงแล้วกับพริกอย่างน้อย 3 พันธุ์ เพื่อให้ได้ผลการทดสอบปัจจัยต่าง ๆ พร้อมสภาวะการทำงานที่เหมาะสม

7. วิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร

8. สรุปผลการวิจัย

1.1 การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลประกอบด้วย น้ำหนักของเมล็ดและเปลือกทั้งที่ลอดผ่านตะแกรงลงสู่ช่องรับเมล็ด และค้างในตะแกรงแล้วตกลงสู่ช่องรับเปลือก เวลาในการทำงาน และค่าการใช้กระแสไฟฟ้า โดยมีค่าชี้ผลการทำงานได้แก่ ความสามารถในการทำงาน (กิโลกรัม / ชั่วโมง) ความสามารถในการแยกเมล็ดออกจากเปลือก (%) และพลังงานจำเพาะ (kW-h / kg) รายละเอียดการบันทึกข้อมูล การคำนวณและการนิยามค่าต่างๆ มีดังนี้

$$Sc_t = Sc_1 + Sc_2 + Sc_3 + Sc_4 \quad (1)$$

$$Pc_t = Pc_1 + Pc_2 \quad (2)$$

$$Sc_1\ (\%) = Sc_1 * 100 / Sc_t \quad (3)$$

$$Sc_2\ (\%) = Sc_2 * 100 / Sc_t \quad (4)$$

$$Sc_3\ (\%) = Sc_3 * 100 / Sc_t \quad (5)$$

$$Sc_4\ (\%) = Sc_4 * 100 / Sc_t \quad (6)$$

$$Pc_1\ (\%) = Pc_1 * 100 / Pc_t \quad (7)$$

$$Pc_2\ (\%) = Pc_2 * 100 / Pc_t \quad (8)$$

เมื่อ

Sc_t = น้ำหนักเมล็ดพริกรวม (กรัม)

Pc_t = น้ำหนักเปลือกพริกรวม (กรัม)

Sc_1 = น้ำหนักเมล็ดพริกที่หลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Sc_2 = น้ำหนักเมล็ดพริกที่หลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเปลือก (กรัม)

Sc_3 = น้ำหนักเมล็ดพริกติดเปลือก ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Sc_4 = น้ำหนักเมล็ดพริกติดเปลือก ในช่องรับเปลือก (กรัม)

Pc_1 = น้ำหนักเปลือกพริก ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Pc_2 = น้ำหนักเปลือกพริก ในช่องรับเปลือก (กรัม)

1.2 ผลการวิจัยและอภิปรายผล เครื่องแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก

1.2.1 ผลการวัดสมบัติทางกายภาพด้านต่าง ๆ ของพริก ได้แก่ การแยกหาสัดส่วน เปลือก เมล็ด และไส้ พริก แสดงดังภาพที่ 14 ส่วนผลการคัดแยกหาสัดส่วน แสดงดังตารางที่ 1 ขนาดของผลพริก แสดงดังตารางที่ 2 ขนาดของเมล็ด แสดงดังตารางที่ 3 การวัดมุมเทหรือมุมการไหลของผลพริกแห้ง แสดงดังภาพที่ 14 และแสดงผลการวัดมุมเท แสดงดังตารางที่ 4

ภาพที่ 14 การแยกหาสัดส่วน เปลือก เมล็ด และไส้ พริก

ตารางที่ 1 ร้อยละโดยน้ำหนักของ เมล็ด ไส้ และเปลือก ของพริกพันธุ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบ

พันธุ์	เมล็ดและไส้ (%)	เปลือก (%)
พริกแห้ง จินดาแดง	44.8	55.2
พริกแห้ง อินเดียใหญ่	18.1	81.9
พริกแห้งเฮียะโต	23.4	76.6
พริกสด ซุปเปอร์ฮอต	27.6	72.4

ตารางที่ 2 ขนาดของผลพริกแห้ง พันธุ์จินดาแดง (มิลลิเมตร)

รายการ	ส่วนขั้ว		ส่วนกลาง		ส่วนปลาย		ยาว
	กว้าง	หนา	กว้าง	หนา	กว้าง	หนา	
จำนวนตัวอย่าง	30	30	30	30	30	30	30
ค่าสูงสุด	10.50	7.50	12.00	6.10	8.55	5.10	79.50
ค่าต่ำสุด	6.10	2.90	8.10	2.95	4.60	2.10	48.50
ค่าฉลี่ย	8.35 ± 1.23	5.36 ± 1.10	9.83 ± 0.76	4.62 ± 0.91	6.09 ± 0.92	3.33 ± 0.80	63.42 ± 7.95

ตารางที่ 3 ขนาดเมล็ดของพริกแห้ง พันธุ์จินดาแดง (มิลลิเมตร)

รายการ	กว้าง (a)	ยาว (b)	หนา (c)
จำนวนตัวอย่าง	50	50	50
ค่าสูงสุด	4.52	4.57	0.95
ค่าต่ำสุด	2.44	2.69	0.23
ค่าฉลี่ย	3.30 ± 0.45	3.83 ± 0.40	0.63 ± 0.10
GMD	2.00		
AMD	2.59		

GMD เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต = $(a*b*c)^{1/3}$

AMD เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเลขคณิต = $(a + b + c)/3$

ภาพที่ 15 การใช้อุปกรณ์วัดมุมเทหรือมุมการไหลของพริกแห้ง

ตารางที่ 4 มุมเทของผลพริกแห้ง พันธุ์จินดาแดง บนแผ่นเหล็กเหนียว และแผ่นสแตนเลส (องศา)

วิธีการ/วัสดุ	วางพริกครั้งละเม็ด		วางพริก 100 กรัม กระจาย	
	เหล็กเหนียว	สแตนเลส	เหล็กเหนียว	สแตนเลส
จำนวนตัวอย่าง	10	10	10	10
ค่าสูงสุด	37.0	45.0	32.0	45.0
ค่าต่ำสุด	25.0	30.0	30.0	30.0
ค่าเฉลี่ย	31.2 ± 3.5	37.9 ± 5.5	30.5 ± 0.7	37.9 ± 5.5

1.2.2 ผลการศึกษารูปแบบและหลักการทำงานของเครื่องจักรลดขนาดวัสดุ เพื่อประกอบการออกแบบเครื่องต้นแบบเครื่องแยกเมล็ดและไส้พริกออกจากเปลือกสรุปได้ดังนี้ การลดขนาดในอุตสาหกรรมอาหารนั้นมีวัตถุประสงค์โดยทั่วไปคือ 1) เพื่อให้ได้ขนาดของอาหารตามวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่นการบดเครื่องเทศ การบดน้ำตาล เป็นต้น 2) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุซึ่งเป็นประโยชน์ในการดำเนินการต่อไปเช่นการอบแห้ง เนื่องจากทำให้อบแห้งวัสดุได้เร็วขึ้น 3) เพื่อเพิ่มความสะดวกในการขนถ่าย หรือเพื่อให้อาหารถูกย่อยได้ง่ายขึ้น และ 4) เพื่อให้สามารถสกัดแยกส่วนหรือสารที่ต้องการได้ดีขึ้นในกระบวนการสกัดสารสำคัญ ซึ่งตรงกับเป้าหมายของการวิจัยเครื่องต้นแบบนี้ วิธีการลดขนาดอาจจำแนกตามลักษณะผลิตผลภายหลังการลดขนาดได้แก่ ก) วิธีการบดจนเป็นแป้งหรือเพสท์ (Paste) เช่นการบดเครื่องเทศ การบดแป้ง วิธีนี้ไม่เหมาะกับการทำงานของเครื่องต้นแบบที่ทำการวิจัยจึงไม่เลือกใช้ ข) วิธีการอิมัลซิฟิเคชั่นและโฮโมจิไนเซชั่น เป็นการลดขนาดที่ไม่เข้ากันของของเหลว เช่นเม็ดไขมันในน้ำ การทำไอศครีม ครีม และเนยเป็นต้น วิธีนี้ไม่เหมาะกับการทำงานของเครื่องต้นแบบที่ทำการวิจัยเช่นเดียวกัน และ ค) วิธีการตัด การสับ และการหั่นเป็นชิ้นบาง เช่นการหั่นผลไม้เพื่อบรรจุกระป๋อง การตัดผัก ผลไม้เป็นลูกเต๋า การสับเนื้อสัตว์ ซึ่งเครื่องต้นแบบนี้เลือกใช้วิธีการสับตามแนวยาวให้ผิวเปลือกพริกเปิดออกเพื่อให้ง่ายต่อการแยกไส้และเมล็ด เครื่องลดขนาดวัสดุยังอาจจำแนกตามลักษณะของแรงกระทำได้เป็น 4 แบบ คือการบีบอัด การกระแทก การขัดสี และการตัด ซึ่งอาจใช้หลักการเดียวหรือหลายหลักการร่วมกันในเวลาเดียวกันก็ได้ จากหลักการทำงานทั้งสี่แบบมีการออกแบบกลไกการทำงานหลากหลายแบบ จึงอาจจำแนกประเภทของเครื่องลดขนาดวัสดุตามลักษณะกลไกการทำงานได้แก่ เครื่องบดวัสดุแบบลูกกลิ้ง (Roller mill) เครื่องบดวัสดุแบบชุดใบตีหมุน (Hammer Mill) เครื่องบดวัสดุแบบจาน (Disc Mill) เครื่องบดวัสดุแบบซี่ (Pin Mill) เครื่องบดแบบเกลียวอัด (Cutting Mill) เครื่องบดวัสดุแบบบอลมิลล์ (Ball Mill) และเครื่องบดวัสดุแบบร็อดมิลล์ (Rod Mill) มีรายละเอียดดังนี้

1 เครื่องบดวัสดุแบบลูกกลิ้ง (Roller mill) ลูกกลิ้งอาจมีผิวเรียบ หรือเป็นร่อง จำนวนสองตัวขึ้นไปหมุนทิศทางตรงข้ามกันและออกแรงกดหรือบีบจนวัสดุแตก การปรับความเร็วของลูกกลิ้งที่ต่างกันทำให้เกิดแรงเฉือนร่วมด้วย ขนาดของผลผลิตขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง หลักการของเครื่องบดนี้ไม่เหมาะกับการทำงานของเครื่องต้นแบบเนื่องจากอาจทำให้เปลือกพริกถูกบดย่อยจนมีขนาดเล็กเกินไป

2 เครื่องบดวัสดุแบบชุดใบตีหมุน (Hammer Mill) มีซี่บดหรือซี่ตีหมุนตีวัสดุในห้องบดที่มีผนังบางส่วนหรือทั้งหมดเป็นตะแกรง วัสดุถูกลดขนาดโดยแรงจากการฟาดตีและการขัดสีจนมีขนาดเล็กพอที่จะลอดหรือร่วงผ่านรูตะแกรงออกนอกห้องบด ซี่อาจมีทั้งแบบยึดแน่น และแบบเหวี่ยงตัวได้เพื่อลดการเสียหายจากการที่วัสดุที่มีความแข็งปนเข้าไปในห้องบด ขนาดของผลิตผลขึ้นอยู่กับขนาดรูตะแกรง หลักการของเครื่องบดนี้เหมาะกับการทำงานของเครื่องต้นแบบ ซึ่งจะใช้ในส่วนของการตีให้เปลือกพริกที่ถูกผ่าแยกตัวบางส่วนออกจากไส้และเมล็ดพริก

3 เครื่องบดวัสดุแบบจาน (Disc Mill) โดยทั่วไปมีจานบดสองจานที่ติดตั้งห่างกันเล็กน้อยและหมุนด้วยความเร็วต่างกันหรืออาจมีเพียงหนึ่งจานแต่อาศัยผนังห้องบดแทนอีกจานหนึ่ง วัสดุที่อยู่ระหว่างจานบดทั้งสองจะถูกลดขนาดโดยการเฉือนและการขัดสีระหว่างวัสดุกับผิวของจานจนมีขนาดเล็กพอที่จะร่วงผ่านรูตะแกรงซึ่งติดตั้งอยู่รอบแผ่นจานบด ขนาดของผลิตผลจะขึ้นกับระยะห่างระหว่างจานบดและขนาดของรูตะแกรง หลักการของเครื่องบดนี้ไม่เหมาะกับการทำงานของเครื่องต้นแบบ เนื่องจากอาจทำให้เปลือกพริกถูกบดย่อยจนมีขนาดเล็กเกินไป

4 เครื่องบดวัสดุแบบซี่ (Pin Mill) โดยทั่วไปประกอบด้วยจานบดสองจานหรือหนึ่งจานเช่นกัน แต่มีซี่เล็ก ๆ บนผิวหน้าของจานบด ซึ่งอาจเป็นซี่กลม ซี่เหลี่ยม และซี่มีคมคล้ายใบมีด วัสดุที่อยู่ระหว่างจานบดจะถูกบดโดยแรงกระแทกของซี่จนมีขนาดเล็กพอที่จะลอดผ่านรูตะแกรงได้ ขนาดของผลผลิตขึ้นกับขนาดของรูตะแกรง หลักการของเครื่องบดนี้ไม่เหมาะกับการทำงานของเครื่องต้นแบบ เนื่องจากอาจทำให้เปลือกพริกถูกบดย่อยจนมีขนาดเล็กเกินไป

5 เครื่องบดแบบเกลียวอัด (Cutting Mill) โดยทั่วไปประกอบด้วยเกลียวลำเลียง ใบมีดตัด และแผ่นหน้าแว่นหรือตะแกรงบด วัสดุจะถูกดันโดยเกลียวลำเลียงให้ไปที่ช่องทางออกที่มีใบมีดหมุนตัดให้วัสดุมีขนาดเล็กลงจนลอดผ่านรูตะแกรงได้ ขนาดของผลิตผลขึ้นอยู่กับขนาดของรูตะแกรง มักใช้บดวัสดุที่อ่อนนุ่ม มีความชื้นสูง เช่นเนื้อ ผัก เป็นต้น หลักการของเครื่องบดนี้ไม่เหมาะกับการทำงานของเครื่องต้นแบบ เนื่องจากอาจทำให้เปลือกพริกถูกบดย่อยจนมีขนาดเล็กเกินไป

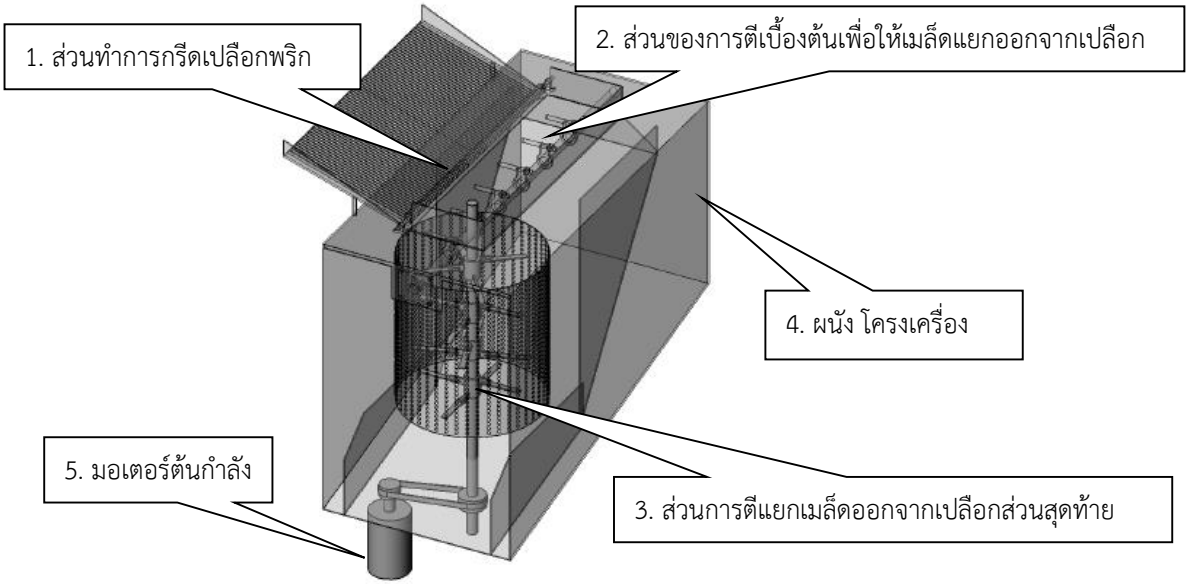
6 เครื่องบดวัสดุแบบบอลมิลล์ (Ball Mill) โดยทั่วไปประกอบด้วยถังทรงกระบอกที่หมุนเคลื่อนที่รอบแกนในแนวนอน ภายในถังมีโลหะกลมเส้นผ่าศูนย์กลางราว 25-150 มม. เคลื่อนที่ตามการหมุนของถังแล้วตกลงมากระแทกวัสดุที่กลิ้งอยู่ด้านล่าง วัสดุถูกลดขนาดด้วยแรงเฉือนและแรงกระแทก หลักการของเครื่องบดนี้ไม่เหมาะกับการทำงานของเครื่องต้นแบบ เนื่องจากอาจทำให้เปลือกพริกถูกบดย่อยจนมีขนาดเล็กเกินไป

7 เครื่องบดวัสดุแบบร็อดมิลล์ (Rod Mill) โดยทั่วไปมีกลไกคล้ายเครื่องบดวัสดุแบบบอลมิลล์ แต่ใช้แท่งโลหะแทนโลหะกลม โดยแท่งโลหะนี้กระจายตลอดความยาวเครื่อง ทำให้แก้ปัญหาข้อจำกัดที่เกิดกับโลหะกลมได้ คือในกรณีโลหะกลมวัสดุที่อยู่ระหว่างช่องว่างของโลหะกลมจะไม่ถูกบด หลักการของเครื่องบดนี้ไม่เหมาะกับการทำงานของเครื่องต้นแบบ เนื่องจากอาจทำให้เปลือกพริกถูกบดย่อยจนมีขนาดเล็กเกินไป

8 เครื่องนวดข้าวแบบไหลตามแกน ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ ลูกนวดแบบซี่เหล็กเส้นกลม ตะแกรงบนและตะแกรงนวดล่างแบบซี่ตะแกรงเหล็กเส้นกลม ครีบวงเดือน และใบพัดขับ

ฟาง โดยลูกนวดใช้หลักการของเครื่องบดวัสดุแบบชุดใบตีหมุน มีหน้าที่พาต้นข้าวที่อยู่ในห้องนวดเคลื่อนที่ไปบนตะแกรงนวด เพื่อให้ต้นข้าวถูกฟาดตีจนเมล็ดหลุดออกจากรวง ส่วนครีบวงเดือนที่ติดอยู่ตะแกรงส่วนบนเป็นอุปกรณ์ในการบังคับทิศทางให้ต้นข้าวเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนของลูกนวด และฟางข้าวที่เหลือจะถูกส่งออกจากตัวเครื่องเกี่ยวนวดด้วยใบพัดขับฟาง วิธีนี้เหมาะกับการทำงานของเครื่องต้นแบบ ซึ่งจะใช้ในส่วนของการตีให้เปลือกพริกที่ถูกผ่าแยกตัวบางส่วนออกจากไส้และเมล็ดพริก และลำเลียงเปลือกและเมล็ดส่วนที่ยังไม่ถูกแยกไปยังอุปกรณ์ตีแยกเมล็ดที่อยู่ในส่วนสุดท้าย

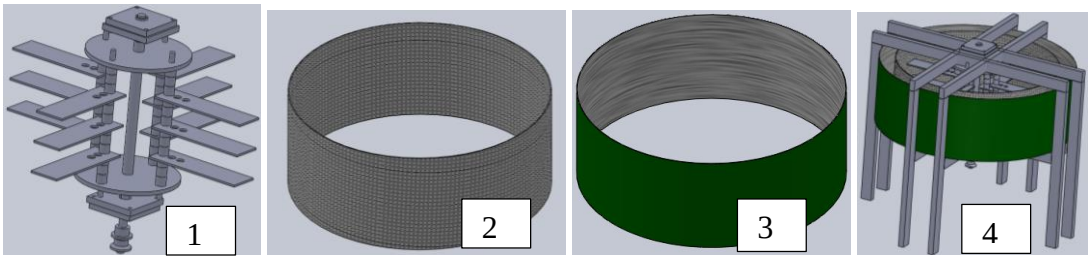
จากผลการศึกษาหลักการเครื่องจักรบดย่อยต่าง ๆ ได้นำมาประกอบการออกแบบต้นแบบเครื่องจักรเพื่อแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือกซึ่งการทำงานสามส่วน ประกอบด้วยส่วนที่ทำการกรีดเปลือกพริกด้วยชุดใบมีดกรีดติดตั้งบนเพลาแนวนอนที่วางขวางแนวการเคลื่อนที่ของพริก ส่วนที่สองเป็นส่วนของการตีเบื้องต้นเพื่อให้เมล็ดแยกตัวออกจากเปลือกบางส่วน โดยชุดตีจะแบ่งเป็นสองช่วงการทำงานแต่อยู่บนเพลาเดียวกันในแนวนอนและมีตะแกรงรูกลมล้อมรอบชุดใบตี และส่วนที่สามซึ่งเป็นการตีคัดแยกเมล็ดออกจากเปลือกส่วนสุดท้ายซึ่งมีชุดใบค้อนหรือใบตีและใบอุ้มลมที่ประกอบเป็นชั้น ๆ กับเพลาแนวตั้งที่มีตะแกรงรูกลมล้อมรอบชุดใบตี แสดงดังภาพที่ 16



ภาพที่.16 แนวความคิด ส่วนประกอบของต้นแบบเครื่องจักรเพื่อแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก

เนื่องจากส่วนของการตีแยกเมล็ดออกจากเปลือกในแนวตั้งส่วนสุดท้าย (3) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการทำงานของต้นแบบเครื่องจักรทั้งสามส่วน ทั้งในเรื่องของปริมาณและคุณภาพของการแยกเมล็ดออกจากเปลือก จึงได้ทำการสร้างต้นแบบในส่วนนี้ก่อนเพื่อทำการทดสอบการทำงานเบื้องต้น สำหรับการออกแบบชุดใบตีแยกเมล็ดออกจากเปลือกในแนวตั้งนั้นใช้หลักการตีแยกด้วยใบตีที่ติดตั้งบนเพลาในแนวตั้งตีให้เมล็ดและไส้พริกหลุดออกจากรูตะแกรงได้ เหลือเพียงเปลือกที่อยู่ภายในเนื่องจากมีขนาดใหญ่กว่ารูตะแกรง การออกแบบแสดงในภาพที่ 17 ซึ่งประกอบด้วย 1) ชุดใบตีแยกเมล็ดที่เป็นเหล็กพืดเจาะรูและสวมอยู่บนเพลาจำนวน 4 เพลา ๆ ละ 3 ใบ และใบตีอุ้มลมที่เป็นเหล็กพืดเจาะรูและบิดให้มีลักษณะเหมือนใบพัดลมอีกเพลาละหนึ่งใบ เพื่อสร้างแรงลมยกให้ผลพริกลอยตัวไม่ตกลงด้านล่างเข้าสู่ช่อง

เก็บเปลือกพริกเร็วเกินไป เพลาทั้งสี่ประกอบเข้ากับเหล็กแผ่นกลมบนและล่าง เหล็กแผ่นกลมทั้งสองแผ่นติดตั้งอยู่กับเพลาหลักที่ถูกขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 2) ตะแกรงรูกลมที่ติดตั้งด้านในล้อมรอบชุดใบตี ซึ่งสามารถถอดเปลี่ยนได้ตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูตะแกรงที่ต้องการ 3) เหล็กแผ่นกั้นรอบตะแกรงด้านนอกเพื่อรองรับเมล็ดพริกที่ถูกตีเหวี่ยงลอดรูตะแกรงออกมาก่อนตกลงยังช่องรับเมล็ด และ 4) โครงรองรับ



ภาพที่.17 ส่วนประกอบของต้นแบบเครื่องแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก 1) ชุดใบตีแยกเมล็ด 2) ตะแกรงรูกลมที่ติดตั้งด้านในล้อมรอบชุดใบตี 3) เหล็กแผ่นกั้นรอบตะแกรงด้านนอก 4) โครงรองรับ

ภาพที่ 18 ก) ต้นแบบส่วนแยกเมล็ดและไส้พริกออกจากเปลือก **ข)** อุปกรณ์ปรับความเร็ว **ค)** อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า

1.2.3 การทดสอบในเบื้องต้น (ภาพที่ 19) ที่ความเร็วใบตีแยก 3 ระดับได้แก่ 21.4 32.2 และ 42.5 เมตร / วินาที ซึ่งควบคุมโดยชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์ขับ ระยะห่างระหว่างปลายใบตีกับตะแกรงมีค่า 2.54 มิลลิเมตร และเลือกใช้พริกแห้งพันธุ์จินดาแดง (ภาพที่ 20) เนื่องจากค่าเฉลี่ยด้านกว้างและด้านยาวของเมล็ดพริกจากตารางที่ 3 มีค่า 3.30 และ 3.83 มิลลิเมตร ตามลำดับ จึงเลือกใช้ตะแกรงรูกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร พริกที่ทดสอบใช้มีดกรีดตลอดด้านใดด้านหนึ่งของผลพริก เพื่อจำลองว่าพริกได้ถูกกรีดมาจากส่วนการกรีดเปลือกส่วนที่หนึ่งแล้ว ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ ใช้พริก 500 กรัมต่อซ้ำ ผลการทดสอบพบว่า แม้ความเร็วรอบสูงขึ้นเมล็ดจะหลุดจากเปลือกมากขึ้น แต่ที่ทุกความเร็วมีเมล็ดพริกลอดผ่านรูตะแกรงเข้าสู่ช่องเก็บเมล็ดได้น้อยมาก เนื่องจากขนาดรูตะแกรงเล็กกว่าค่าเฉลี่ยขนาดเมล็ด

พริก ผลทดสอบการแยกเมล็ด แสดงดังภาพที่ 21 ซึ่งในขั้นตอนนี้ยังปิดช่องรับเปลือกไว้ก่อน เพื่อพิจารณาผลการฉีกขาดของเปลือกพริก เนื่องจากต้องการให้เมล็ดพริกแยกออกจากเปลือก โดยที่ต้องการให้เปลือกมีลักษณะเหมือนใช้มีดกรีดแล้วแยกเมล็ดออก เพราะเปลือกที่ฉีกขาดเป็นชิ้นเล็กมากเกินไปมักมีปัญหาการเกิดเชื้อราในการเก็บรักษาได้ง่าย การทดสอบเบื้องต้นสรุปได้ว่า ที่ความเร็วใบตีแยกเมล็ด 32.2 เมตร / วินาที สามารถแยกเมล็ดออกจากเปลือกได้ดี เปลือกฉีกขาดไม่มากนัก แต่การเลือกใช้ตะแกรงที่รูมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร เมล็ดพริกที่แยกจากเปลือกแล้ว ผ่านตะแกรงออกไปช่องเก็บเมล็ดได้น้อยมาก

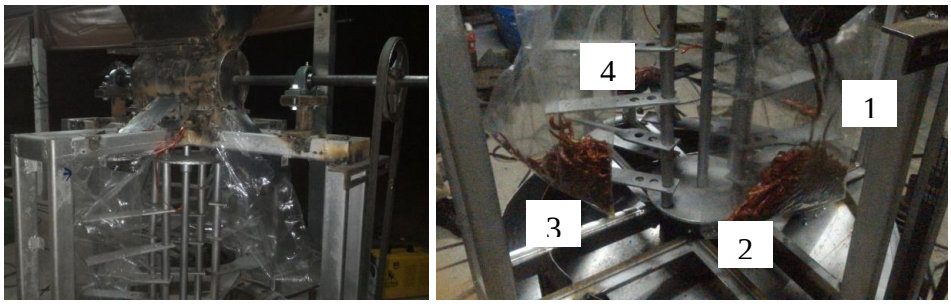
ภาพที่ 19 อุปกรณ์ปรับความเร็วมอเตอร์ขับ การใช้เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า และการใช้อุปกรณ์วัดความเร็วรอบเพลา

ภาพที่ 20 พริกที่ใช้ทดสอบเครื่องต้นแบบเบื้องต้น ก) พริกพันธุ์แดงจินดา ข) พริกพันธุ์ซุปเปอร์ฮ็อต

ภาพที่ 21 ผลการแยกเมล็ด การตกค้างของเมล็ด และเปลือกพริกในตะแกรง เมื่อใช้ตะแกรงที่รูมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร และปิดช่องรับเปลือกด้านล่างไว้

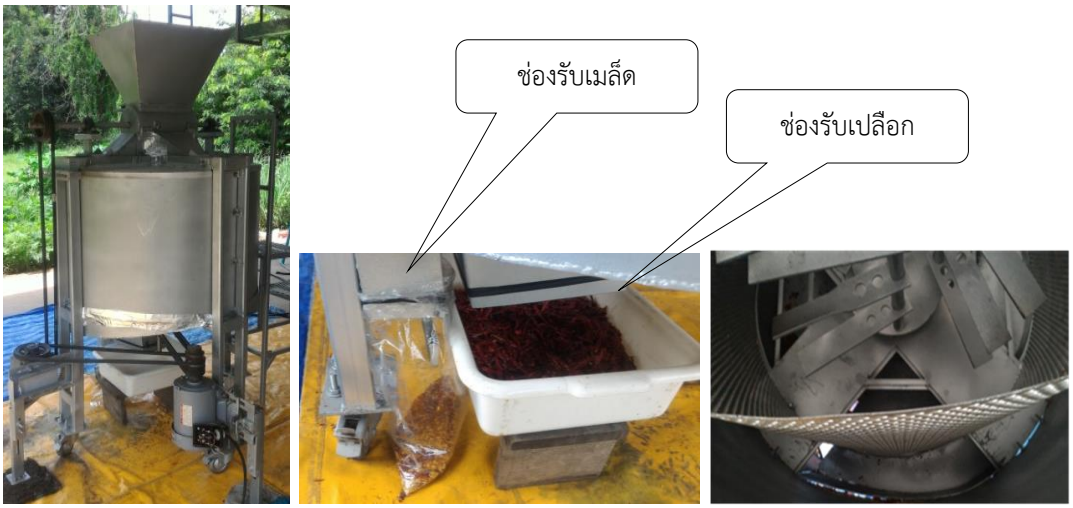
หลังการทดสอบเบื้องต้น ได้สร้างชุดป้อนพริกแบบทรงกระบอกติดครีบที่สามารถควบคุมและปรับอัตราการป้อนได้ แสดงดังภาพที่ 22 และทดสอบการป้อนพริกแบบสี่ช่องป้อนเข้าเครื่องตีแยกเมล็ด ดังภาพที่ 23 ซึ่งทำให้ป้อนพริกได้สม่ำเสมอและกระจายได้โดยรอบในชุดใบตีแยกเมล็ด ทำให้เครื่องต้นแบบทำงานได้ดีขึ้น

ภาพที่ 22 ชุดป้อนพริกแบบทรงกระบอกติดครีบ แยกช่องป้อนพริกแบบสี่ช่อง

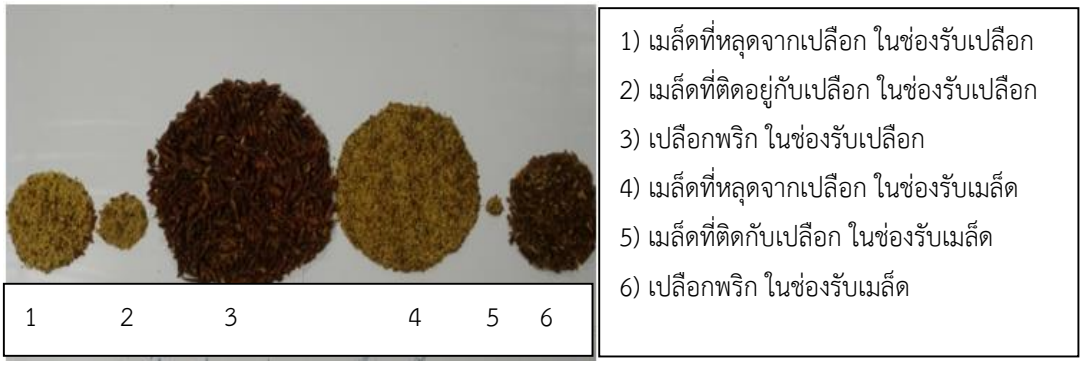


ภาพที่ 23 ทดสอบการป้อนเพื่อปรับการกระจายตัวของพริกที่แต่ละช่องป้อน

เนื่องจากต้องการทดสอบผลของการกรีด และไม่กรีดเปลือกพริก ก่อนป้อนเข้าเครื่องตีแยกเมล็ด ซึ่งมีผลต่อการตัดสินใจสร้างชุดกรีดเปลือกส่วนที่ 1 จากภาพที่ 16 จึงทดสอบพริกพันธุ์จินดาแดง โดยทดสอบ 3 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือการเตรียมพริกก่อนการทดสอบ มี 2 ระดับ ได้แก่ การกรีด และไม่กรีดเปลือกพริก ก่อนการตีแยกเมล็ด ปัจจัยที่ 2 คือเส้นผ่าศูนย์กลางรูตะแกรง มี 2 ระดับ ได้แก่ 5 มิลลิเมตร และ 8 มิลลิเมตร ปัจจัยที่ 3 คือความเร็วใบตีแยกเมล็ด มี 3 ระดับ ได้แก่ 21.5 32.2 และ 42.5 เมตร / วินาที ตามลำดับ วางแผนการทดสอบแบบ 2 x 2 x 3 Factorial in CRD 3 ซ้ำ ที่อัตราการป้อน 40 กิโลกรัม / ชั่วโมง การทดสอบแสดงดังภาพที่ 23 ผลการคัดแยกเมล็ดที่ส่วนต่าง ๆ หลังการทดสอบการตีแยกเมล็ด แสดงดังภาพที 24 ผลการทดสอบแสดงดัง ตารางที่ ผ 1 ก ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงดัง ตารางที่ ผ 2 ก ผลวิเคราะห์เมล็ดพริกที่หลุดจากเปลือกแล้วและอยู่ในช่องรับเปลือก แสดงดังตารางที่ 5



ภาพที่ 23 เครื่องต้นแบบที่สร้างชุดป้อนพริกด้านบน และภาพการตีแยกเมล็ด



ภาพที่ 24 การแยกวิเคราะห์ผลการแยกเมล็ดพริกจากเปลือก ที่ส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 5 ผลวิเคราะห์เมล็ดพริกหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ด (%) ของพริกพันธุ์ จินดาแดง ที่เปรียบเทียบ 3 ปัจจัย คือการเตรียมเปลือกพริก ขนาดรูตะแกรง และความเร็วใบตีแยกเมล็ด ที่อัตราการป้อน 40 กิโลกรัม / ชั่วโมง

A การเตรียมพริกสำหรับการทดสอบ	เมล็ดพริกหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ด[2] (%)					
	c1 21.5 m/s		c2 32.2 m/s		c3 42.5 m/s	
	b1 (รูตะแกรง 8 มม.)	b2 (รูตะแกรง 5 มม.)	b1 (รูตะแกรง 8 มม.)	b2 (รูตะแกรง 5 มม.)	b1 (รูตะแกรง 8 มม.)	b2 (รูตะแกรง 5 มม.)
a1: กรีดเปลือก	36.1e	27.2f	66.9b	45.9d	78.9a	56.0c
a2: ไม่กรีดเปลือก	37.1d	19.9e	63.4b	48.5c	73.0a	38.5d
ค่าแตกต่าง[1]	1.0^{NS}	7.3**	3.5*	2.6**	5.9**	17.5**

[1] เปรียบเทียบทางด้านสดมภ์ / NS = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ / * = แตกต่างกันทางสถิติ โดยเทียบกับ LSD 0.05 ** = แตกต่างกันทางสถิติ โดยเทียบกับ LSD 0.01

[2] เปรียบเทียบทางด้านแถว เมล็ดพริกหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ด (%) ที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความ เชื่อมั่น 95 %

จากตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบในสดมภ์ พบว่า การกรีดและไม่กรีดเปลือกก่อนนำเข้าเครื่องตีแยกเมล็ด มีเมล็ดพริกที่หลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทุกขนาดรูตะแกรงและทุกความเร็วใบตีแยกเมล็ด ยกเว้นที่ความเร็ว 21.5 เมตร / วินาที และเส้นผ่าศูนย์กลางรูตะแกรง 8 มิลลิเมตร มีผลต่อการแยกเมล็ดไม่แตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่า การกรีดเปลือกทำให้แยกเมล็ดได้ดีกว่า เมื่อพิจารณาในแถว พบว่าทั้งการกรีดเปลือกและไม่กรีดเปลือก ขนาดรูตะแกรง และความเร็วใบตีแยกเมล็ด มีผลต่อเมล็ดพริกที่หลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าที่รูตะแกรง 8 มิลลิเมตร และความเร็วใบตีแยกเมล็ด 42.5 เมตร / วินาที มีการแยกเมล็ดดีกว่า และเมื่อพิจารณาร่วมทั้งในสดมภ์และแถว สรุปได้ว่า การกรีดเปลือกพริกก่อนเข้าตีแยกเมล็ด ที่ขนาดรูตะแกรง 8 มิลลิเมตร และความเร็วใบตีแยกเมล็ด 42.5 เมตร / วินาที มีการแยกเมล็ดดีกว่าเงื่อนไขการทดสอบอื่น

เนื่องจากการสร้างชุดกรีดเปลือกอาจมีผลต่อความยุ่งยากในการสร้างต้นแบบ และอาจมีผลต่อความสามารถในการทำงานโดยรวมของเครื่องต้นแบบ รวมถึงค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น จึงต้องการทราบผลการแยกเมล็ดจากเปลือกที่เปรียบเทียบ 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 มี 3 ระดับ ได้แก่ การไม่กรีดเปลือกแล้วตีแยกเมล็ด 1 รอบการทำงาน และ 2 รอบการทำงาน กับการกรีดเปลือกแล้วตีแยกเมล็ดเพียง 1 รอบการทำงาน ปัจจัยที่ 2 ความเร็วใบตีแยกเมล็ด มี 3 ระดับ ได้แก่ 21.5 32.2 และ 42.5 เมตร / วินาที ตามลำดับ เลือกใช้รูตะแกรงขนาด 8 มิลลิเมตร โดยวางแผนการทดสอบแบบ 3 x 3 Factorial in CRD 3 ซ้ำ ผลการทดสอบแสดงดัง ตารางที่ ผ 3 ก และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงดัง ตารางที่ ผ 4 ก และการวิเคราะห์ผลการทดสอบแสดงดัง ตารางที 6

ตารางที่ 6 ผลวิเคราะห์เมล็ดพริกหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ด (%) ของพริกพันธุ์ จินดาแดง ที่เปรียบเทียบ 2 ปัจจัย คือการเตรียมเปลือกพริกที่กรีดเปลือกแล้วตีแยกเมล็ด 1 และ 2 รอบการทำงาน กับความเร็วใบตีแยกเมล็ด 3 ระดับ

A การเตรียมพริก สำหรับการทดสอบ	เมล็ดพริกหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ด (%)		
	ความเร็วใบตีแยกเมล็ด		
	c1: 21.5 m/s	c2: 32.2 m/s	c3: 42.5 m/s
a1: กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 รอบการทำงาน	47.0^{b}z	66.3^{b}y	71.9^{b}x
a2: ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 รอบการทำงาน	45.1^{b}z	62.9^{c}y	66.1^{c}x
a3: ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 2 รอบการทำงาน	52.6^{a}z	73.0^{a}y	87.6^{a}x

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย เมล็ดพริกหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ด (%) โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

-ทางด้านแถว ความแตกต่างระหว่างความเร็วใบตีแยกเมล็ด ที่วิธีการเตรียมพริกแบบเดียวกัน (ด้านแถว) ใช้อักษร x, y, z

-ทางด้านสดมภ์ ความแตกต่างระหว่างวิธีการเตรียมพริก ที่ความเร็วใบตีแยกเมล็ดค่าเดียวกัน (ด้านสดมภ์) ใช้อักษร a, b, c

จากตารางที่ 6 การเปรียบเทียบด้านสดมภ์ (a, b, c) และใช้รูตะแกรง 8 มิลลิเมตร พบว่า ที่แต่ละความเร็วใบตีแยกเมล็ด การกรีดและไม่กรีดเปลือกแล้วตีแยกเมล็ดที่จำนวนรอบการทำงานต่างกัน มีผลต่อการตีแยกเมล็ดแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งสรุปได้ว่า ทุกความเร็วใบตีแยกเมล็ด การไม่กรีดเปลือกแต่ตีแยกเมล็ด 2 รอบการทำงาน มีผลต่อเมล็ดพริกหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ด ได้ดีกว่าทั้งการกรีดและไม่กรีดเปลือกแล้วตีแยกเมล็ด 1 รอบการทำงาน เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบด้านแถว (x, y, z) พบว่า ทุกวิธีการกรีดและไม่กรีดเปลือกพริก ความเร็วใบตีแยกเมล็ดมีผลต่อเมล็ดพริกหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ดที่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าการเลือกใช้วิธี ไม่กรีดเปลือกแต่ตีแยกเมล็ด 2 รอบการทำงาน และใช้ความเร็วใบตีแยกเมล็ดที่ 42.5 เมตร / วินาที ทำให้เมล็ดพริกหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ดได้ดีกว่า

เนื่องจากเครื่องต้นแบบอาจต้องการให้ตีแยกเมล็ดของพริกสดได้ ซึ่งพริกสดอาจแยกตีแยกเมล็ดได้ยากกว่าพริกแห้ง จึงทดสอบเปรียบเทียบผลของขนาดรูตะแกรง 2 ขนาด ได้แก่ 8 มิลิเมตร และ 11.2 มิลลิเมตร ที่ความเร็วใบตีแยกเมล็ด 42.5 เมตร / วินาที โดยใช้พริกแห้งพันธุ์จินดาแดง เทียบกับพริกสดพันธุ์ซุปเปอร์ฮ็อต แสดงดังภาพที่ 25 ผลการทดสอบแสดงดัง ตารางที่ ผ 5 ก ซึ่งสรุปได้ว่า พริกแห้งจินดาแดงที่ทดสอบที่รูตะแกรง ขนาด 11.2 มิลลิเมตร ตีแยกเมล็ดได้ดีกว่าเมื่อทดสอบที่รูตะแกรงขนาด 8 มิลลิเมตร และให้ผลการตีแยกเมล็ดได้ใกล้เคียงกับการทดสอบกับพริกสดพันธุ์ซุปเปอร์ฮ็อต

เนื่องจากมีการโก่งตัวของเพลาราวใบตีแยกทั้ง 4 เพลา จึงเปลี่ยนใช้เพลาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ขึ้น เดิมขนาด 3 / 4 นิ้ว เป็นขนาด 1 นิ้ว และเพิ่ม เหล็กแผ่นกลมเสริมช่วงกลางเพลา ทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ดังแสดงใน ภาพที่ 26 และ ภาพที่ 27

ภาพที่ 25 ผลการตีแยกเมล็ดออกจากเปลือก พริกสดพันธุ์ซุปเปอร์ฮ็อต

ภาพที่ 26 การโก่งตัวของเพลา และการฉีดขาดของตะแกรง

ภาพที่ 27 ก) การโก่งตัวของเพลาตีแยกเมล็ด **ข)** เพลาเดิมและเพลาใหม่ **ค)** การประกอบเพลาใหม่และเหล็กหน้าแปลนยึดเพิ่มเพื่อความแข้งแรง

เนื่องจากต้นกำลังเป็นมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งสะดวกในการปรับความเร็วรอบเพื่อให้ได้ความเร็วใบตีแยกเมล็ดที่เหมาะสมแล้ว แต่ไม่สะดวกในการใช้งานทั่วไป จึงได้เปลี่ยนเป็นมอเตอร์ 1 เฟส ขนาด 3 แรงม้า และใช้การทดรอบพุลเล่ย์เพลาใบตีแยกเมล็ดให้ได้ความเร็วที่ใกล้เคียงกับความเร็วที่เหมาะสมแทน นอกจากวิธีการเตรียมพริกก่อนตีแยกเมล็ดแล้ว ยังมีปัจจัยด้านพันธุ์พริก และอัตราการป้อนที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องแยกเมล็ดพริก จึงเลือกเปรียบเทียบปัจจัยดังกล่าว โดยทดสอบ 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 คือการเตรียมพริกสำหรับทดสอบ มี 2 ปัจจัย ได้แก่ การไม่กรีดเปลือกพริกแล้วตีแยกเมล็ด 1 รอบการทำงาน และ 2 รอบการทำงาน ปัจจัยที่ 2 คืออัตราการป้อน มี 3 ระดับ ได้แก่ 102 136 และ 164 กิโลกรัม / ชั่วโมง ปัจจัยที่ 3 คือพันธุ์พริก มี 3 ระดับ ดังภาพที่ วางแผนการทดสอบแบบ 2 x 3 x 3 Factorial in CRD ทดสอบ 3 ซ้ำ ผลการทดสอบแสดงดัง ตารางที่ ผ 6 ก การวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงดัง ตารางที่ ผ 7 ก และการเปรียบเทียบผลการทดสอบแสดงดัง ตารางที 7

ตารางที่ 7 ผลการการตีแยกเมล็ดออกจากเปลือกของพริกแห้ง พันธุ์จินดาแดง อินเดียใหญ่ และเฮี๊ยะโต๋ แบบไม่กรีดเปลือก ตีแยก 1 ครั้งและ 2 ครั้ง ที่แต่ละอัตราการป้อน เมื่อใช้มอเตอร์ 1 เฟส ขนาด 3 แรงม้า รูตะแกรง 11.2 ม

A การเตรียมพริกสำหรับทดสอบ	เมล็ดพริกหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ด[2] (%)								
	c1: จินดาแดง			c2: อินเดียใหญ่			c3: เฮี๊ยะโต๋		
	b1: 102 กก./ชม.	b2: 136 กก./ชม.	b3: 164 กก./ชม.	b1: 102 กก./ชม.	b2: 136 กก./ชม.	b3: 164 กก./ชม.	b1: 102 กก./ชม.	b2: 136 กก./ชม.	b3: 164 กก./ชม.
a1: ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 รอบการทำงาน	88.8 a	78.9 f	77.5 g	85.3 d	81.3 e	79.0 f	88.3 ab	87.0 bc	86.5 cd
a2: ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 2 รอบการทำงาน	97.2 a	96.7 a	96.8 a	97.0 a	96.4 a	94.6 b	97.6 a	97.4 a	97.0 a
ค่าแตกต่าง[1]	8.4**	17.8**	19.3**	11.7**	15.1**	15.6**	9.3**	10.4**	10.5**

[1] เปรียบเทียบทางด้านสดมภ์ เมล็ดพริกหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ด (%) / NS = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ / * = แตกต่างกันทางสถิติ โดยเทียบกับ LSD 0.05 / ** = แตกต่างกันทางสถิติ โดยเทียบกับ LSD 0.01

[2] เปรียบเทียบทางด้านแถว เมล็ดพริกหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ด (%) ที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จากตารางที่ 7 เมื่อพิจารณาด้านสดมภ์ พบว่าอัตราการป้อนทั้ง 3 ระดับ และพริกทั้ง 3 พันธุ์ ผลการเตรียมพริกโดยไม่กรีดเปลือกแต่ตีแยก 1 รอบการทำงาน กับ 2 รอบการทำงาน มีผลต่อปริมาณเมล็ดพริกหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ดแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการตีแยก 2 รอบการทำงาน ให้ผลการแยกเมล็ดดีกว่า เมื่อพิจารณาด้านแถว สำหรับพริกที่ไม่กรีดเปลือกแต่ตีแยกเมล็ด 1 รอบการทำงานนั้น ผลของอัตราการป้อน และพันธุ์พริก มีผลต่อปริมาณเมล็ดพริกหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ดแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างสำหรับพริกที่ไม่กรีดเปลือกแต่ตีแยกเมล็ด 2 รอบการทำงาน

สรุปได้ว่า พริกทั้ง 3 พันธุ์ ควรเลือกการไม่กรีดเปลือกแต่ตีแยกเมล็ด 2 รอบการทำงาน และใช้อัตราการป้อนได้ถึง 164 กิโลกรัม / ชั่วโมง สำหรับพริกพันธุ์จินดาแดงและพันธุ์เฮี๊ยะโต๋ ส่วนพันธุ์อินเดียใหญ่ควรใช้ 136 กิโลกรัม / ชั่วโมง

ภาพที่ 28 พริกที่ใช้ในการทดสอบ ก) พันธุ์จินดาแดง ข) พันธุ์อินเดียใหญ่ ค) พันธุ์เฮี๊ยะโต๋

หลังการปรับปรุงชุดป้อนครั้งล่าสุดที่สามารถป้อนพริกที่มีขนาดยาวมาก ๆ เข้าตีแยกเมล็ดได้ดีขึ้น ดังภาพที่ 29 ได้นำเครื่องตีแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือกไปสาธิตการใช้งานให้กับกลุ่มเกษตรกรที่สนใจ แสดงดังภาพที่ 30 ซึ่งเป็นกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกพริกแล้วส่งพริกทั้งผลขายให้บริษัทเอกชนที่ผลิตสารสำคัญจากพริก

ภาพที่ 29 ชุดป้อนพริกเข้าเครื่องตีแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือกที่ทำการแก้ไขล่าสุด (3)

ภาพที่ 30 การสาธิตเครื่องตีแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือกที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชน

1.3 สรุปผลการวิจัย เครื่องแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก

ผลการวิจัยและพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก ได้ต้นแบบเครื่องจักรที่ใช้มอเตอร์ 1 เฟส ขนาด 3 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ระบบไฟฟ้า 220 v 50 / 60 Hz เป็นต้นกำลัง ชุดตีแยกเมล็ดเป็นใบตีแยกที่ทำจากเหล็กแบน เจาะรูร้อยบนเพลา 4 เพลา ๆ ละ 3 ใบและใบอุ้มลมเพลาละ 1 ใบ ทั้งสี่เพลายึดกับเพลาหลักด้วยเหล็กแบนตัดเป็นวงกลมวางเป็นช่วงจำนวน 3 แผ่น มีตะแกรงรูกลมล้อมรอบชุดใบตีแยกในแนวตั้ง และมีเหล็กแผ่นด้านนอกกั้นเป็นช่องรับเมล็ดที่ถูกตีลอดตะแกรงออกมา ด้านล่างของตะแกรงเป็นช่องรับเปลือก ผลทดสอบพริก 3 พันธุ์ พบว่า เครื่องต้นแบบทำงานได้ดีที่ ความเร็วใบตีแยกเมล็ด 41.1 เมตร / วินาที อัตราการป้อน 164 กิโลกรัม / ชั่วโมง และขนาดรูตะแกรง 11.2 มิลลิเมตร โดยมีเมล็ดที่หลุดจากเปลือกแล้วอยู่ในช่องเก็บเมล็ด มีค่า 96.8 (%) 94.6 (%) และ 97.6 (%) สำหรับพริกพันธุ์จินดาแดง

พันธุ์อินเดียใหญ่ และพันธุ์เฮ๊ยะโต๋ ตามลำดับ และได้นำเครื่องตีแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือกไปสาธิตการใช้งานให้กับกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกพริกส่งขายให้บริษัทเอกชนที่ผลิตสารสำคัญจากพริก

2. การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพรที่สามารถแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก

มีวิธีการทดลองดังนี้

1. ออกแบบ และสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องจักรบดย่อยมะเขือเทศ ที่เหมาะสมกับความต้องการในการนำเมล็ดไปสกัดด้วยเครื่องสกัดสารสำคัญแบบ Supercritical carbon dioxide ที่มีเงื่อนไขการออกแบบให้มีปริมาตรการสกัด 2,000 มิลลิลิตรต่อครั้ง ซึ่งประกอบด้วยชุดบดย่อยที่วางในแนวนอน และล้อมรอบครึ่งล่างด้วยตะแกรงรูกลม โดยส่วนบดย่อยช่วงแรกใช้หลักการทำงานของเครื่องบดแบบใบค้อน (hammer mill) เพื่อตีปั่นและฉีกเปลือกมะเขือเทศให้เป็นชิ้นเล็กลง ชุดบดย่อยในช่วงถัดไปจะใช้หลักการทำงานของเครื่องนวดแบบไหลตามแกน (Axail Flow Thresher) ซึ่งจะตีปั่นให้เมล็ดแยกออกจากเนื้อและลอดผ่านรูตะแกรงลงสู่อุปกรณ์รองรับเมล็ด ส่วนเนื้อจะค้างอยู่ในตะแกรงและถูกขับออกอีกด้านหนึ่งลงสู่อุปกรณ์รองรับเนื้อหรือเปลือกต่อไป

2. ทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไข ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัจจัยหลักในการทดสอบได้แก่ อัตราการป้อนวัตถุดิบ (กิโลกรัมผลสด / ชั่วโมง) ความเร็วเชิงเส้นการทำงานของชุดบดย่อย (เมตร / วินาที) ขนาดรูตะแกรง (มิลลิเมตร) ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้างทางเข้า (inlet side concave clearance; Sc_i) ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้างทางออก (outlet side concave clearance; Sc_o) และระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่าง (concave clearance; Cc) โดยทดสอบกับมะเขือเทศอย่างน้อย 3 พันธุ์

3. วิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร

4. สรุปผลการวิจัย

2.1 การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลประกอบด้วย น้ำหนักของเมล็ดและเปลือกทั้งที่ลอดผ่านตะแกรงลงสู่ช่องรับเมล็ด ค้างในตะแกรง และในช่องรับเปลือกท้ายเครื่อง เวลาในการทำงาน และค่ากระแสไฟฟ้า ส่วนค่าชี้ผลการทำงานได้แก่ ความสามารถในการทำงาน (กิโลกรัม ผลสด / ชั่วโมง) ความสามารถในการแยกเมล็ดออกจากเปลือก (%) และพลังงานจำเพาะ (kW-h / kg) รายละเอียดการบันทึกข้อมูล การคำนวณ และการนิยามค่าต่าง ๆ มีดังนี้

$$St_t = St_1 + St_2 + St_3 + St_4 + St_5 + St_6 \quad (1)$$

$$Pt_t = Pt_1 + Pt_2 + Pt_3 \quad (2)$$

$$St_1\ (\%) = St_1 * 100 / St_t \quad (3)$$

$$St_2\ (\%) = St_2 * 100 / St_t \quad (4)$$

$$St_3\ (\%) = St_3 * 100 / St_t \quad (5)$$

$$St_4\ (\%) = St_4 * 100 / St_t \quad (6)$$

$$St_5\ (\%) = St_5 * 100 / St_t \quad (6)$$

$$St_6\ (\%) = St_6 * 100 / St_t \quad (6)$$

Pt_1 (%) = $Pt_1 * 100 / Pt_t$ (7)

Pt_2 (%) = $Pt_2 * 100 / Pt_t$ (8)

Pt_3 (%) = $Pt_3 * 100 / Pt_t$ (8)

เมื่อ

St_t = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศรวม (กรัม)

Pt_t = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศรวม (กรัม)

St_1 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศที่หลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

St_2 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศที่หลุดจากเปลือกแล้ว แต่ค้างในตระแกรง (กรัม)

St_3 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศหลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเปลือก (กรัม)

St_4 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศติดเปลือก ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

St_5 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศติดเปลือก ค้างในตระแกรง (กรัม)

St_6 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศติดเปลือก ในช่องรับเปลือก (กรัม)

Pt_1 = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศ ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

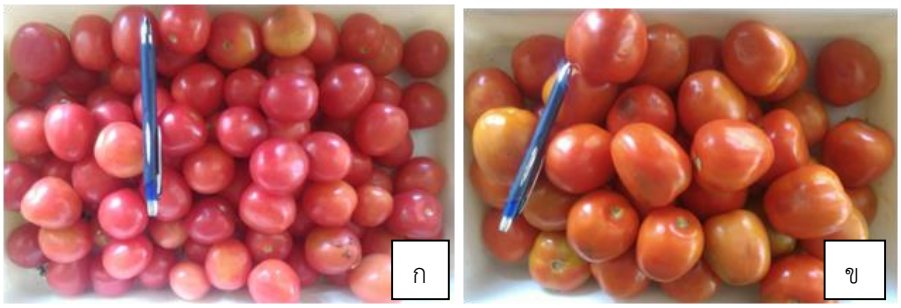
Pt_2 = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศ ค้างในตระแกรง (กรัม)

Pt_3 = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศ ในช่องรับเปลือก (กรัม)

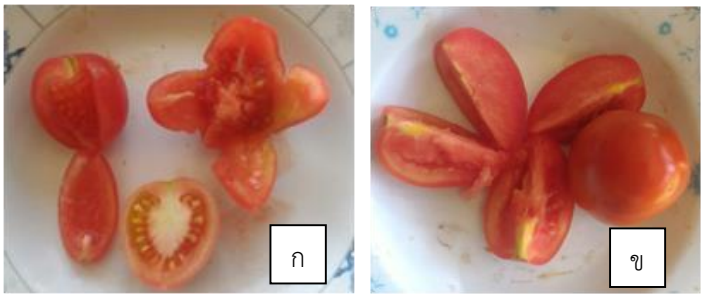
2.2 ผลการวิจัยและอภิปรายผล การวิจัยเครื่องแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก

ได้ดำเนินการวิจัยโดยการวัดสมบัติทางกายภาพของมะเขือเทศ และการออกแบบและสร้างต้นแบบ มีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

2.2.1 วัดสมบัติทางกายภาพของมะเขือเทศ พันธุ์สีดา พันธุ์ท้อ และพันธุ์อีเป๋อ ดังภาพที่ 31ถึงภาพที่ 33 โดยวัดขนาดผลเพื่อใช้ออกแบบระยะห่างใบตีแยก วัดผลและขนาดเมล็ด ดังภาพที่ 34 เพื่อใช้เลือกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูตะแกรงคัดแยกเมล็ด วัดมุมความเสียดทานของผล ดังภาพที่ 35 และวัดความหนาแน่นรวม ดังภาพที่ 36 เพื่อออกแบบมุมเอียง และขนาดของถังป้อน ผลการวัดแสดงในภาคผนวก ตารางที่ ผ 1 ข ตารางที่ ผ 2 ข และ ตารางที่ ผ 3 ข



ภาพที่ 31 มะเขือเทศที่ใช้ในการหาสมบัติทางกายภาพ (ก) พันธุ์สีดา (ข) พันธุ์ท้อ



ภาพที่ 32 ภาคตัดผลมะเขือเทศ (ก) พันธุ์สีดา (ข) พันธุ์ท้อ

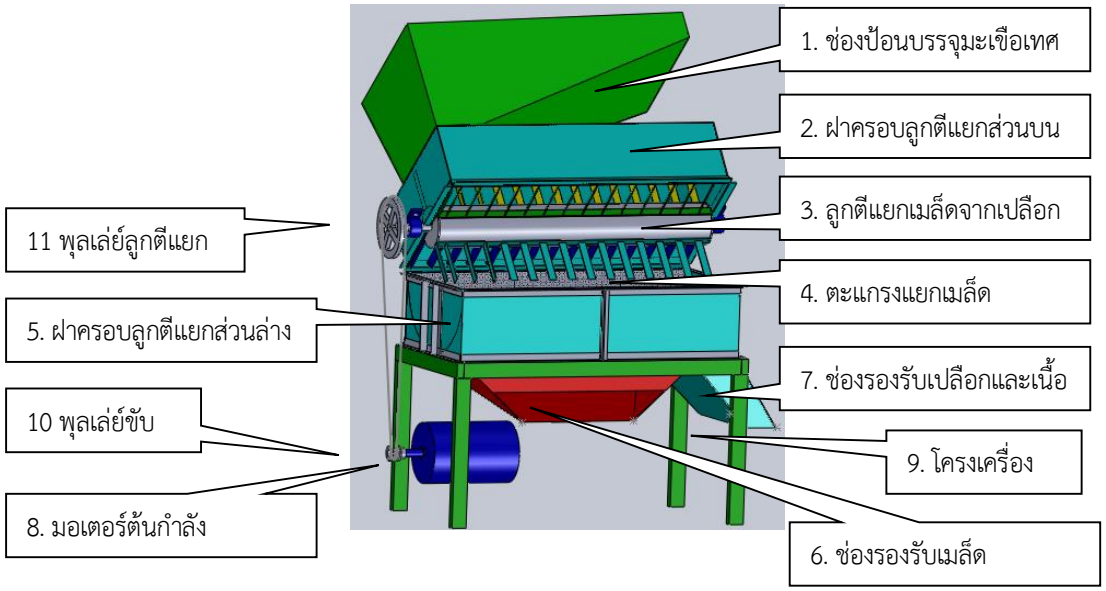
ภาพที่ 33 อัตราส่วนเปลือก ไส้หรือเนื้อ และเมล็ด ของมะเขือเทศ

ภาพที่ 34 (ก) การวัดขนาดผลมะเขือเทศ (ข) การวัดขนาดเมล็ดมะเขือเทศ (ค) ตำแหน่งการวัดขนาดผล และเมล็ดมะเขือเทศ

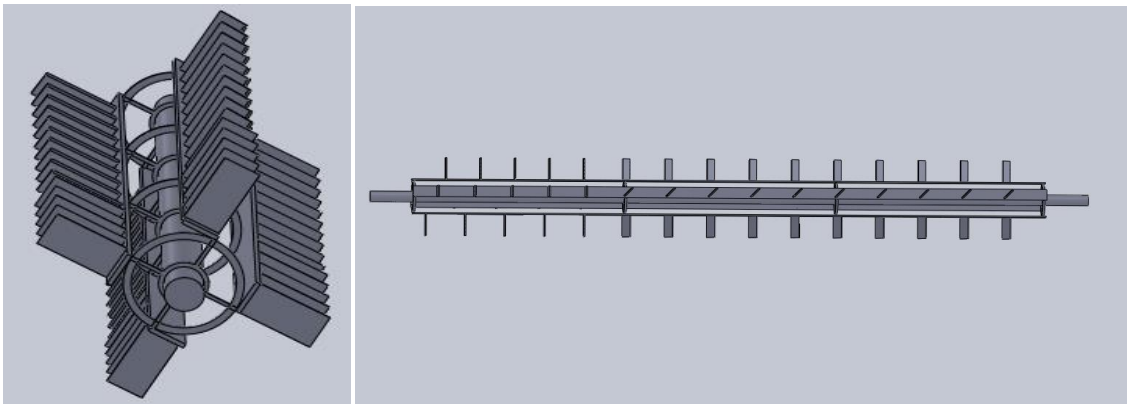
ภาพที่ 35 การวัดมุมเสียดทาน

ภาพที่ 36 (ก) การวัดความหนาแน่นรวมผลมะเขือเทศ (ข) การวัดความหนาแน่นรวมของเมล็ดมะเขือเทศ

2.2.2 ผลการออกแบบ และสร้างเครื่องต้นแบบ แสดงดังภาพที่ 37 ถึงภาพที่ 39



ภาพที่ 37 ภาพร่างการออกแบบเครื่องแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก



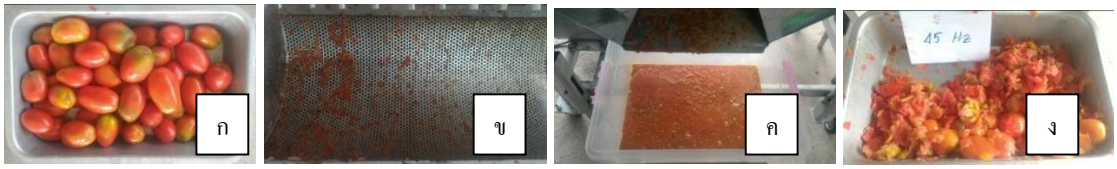
ภาพที่ 38 แสดงลักษณะใบตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก และแสดงลักษณะการจัดวางใบตี

ภาพที่ 39 เครื่องต้นแบบ เครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก

2.2.3 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

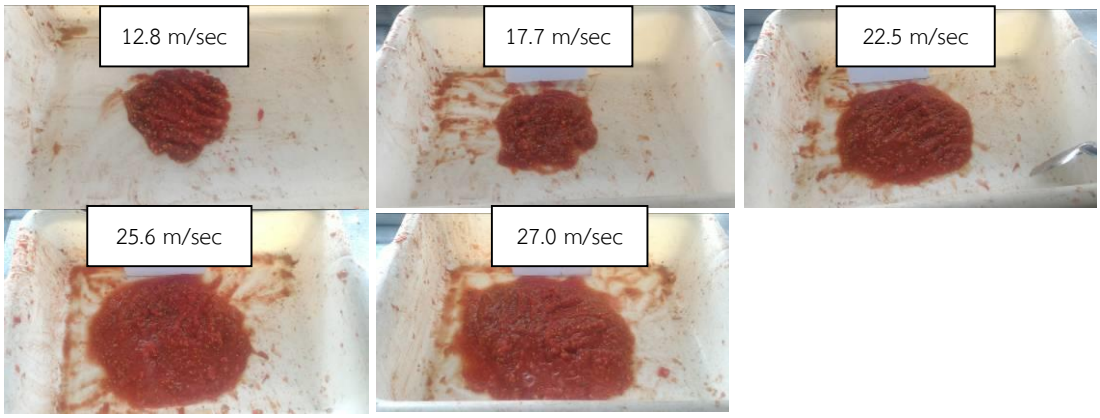
เครื่องต้นแบบใช้มอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 3 แรงม้า เป็นต้นกำลัง และควบคุมความเร็วรอบด้วยเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (invertor) ดังภาพที่ 40 ต้นแบบประกอบด้วย ตะแกรงที่มีรูกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้างทางด้านเข้า(Sc_i) และด้านออก (Sc_o) มีค่า 15 มิลลิเมตร ส่วนระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่าง (Cc) มีค่า 30 มิลลิเมตร ทดสอบโดยใช้ความเร็วเชิงเส้นปลายใบตีแยกห้าระดับ โดยเริ่มจากรอบมอเตอร์ต่ำสุดที่เครื่องไม่สั่นและมีกำลังมากพอ จนถึงรอบสูงสุดที่เครื่องทำงานได้โดยไม่สั่นแรงเกินไป ใช้มะเขือเทศพันธุ์ท้อ จำนวน 3 กิโลกรัม ในการทดสอบในแต่ละครั้ง จับเวลาการทำงานตั้งแต่เริ่มเทมะเขือเทศลงในช่องเท จนกว่าเครื่องจะหมุนโดยไม่มีภาระหรือแรงต้านจากวัสดุทดสอบจึงหยุดการจับเวลา และผลจากการตีแยกเมล็ดมะเขือเทศแสดงดังภาพที่ 41

ภาพที่ 40 เครื่องปรับความเร็วรอบมอเตอร์ต้นกำลัง การวัดกระแสไฟฟ้า และการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

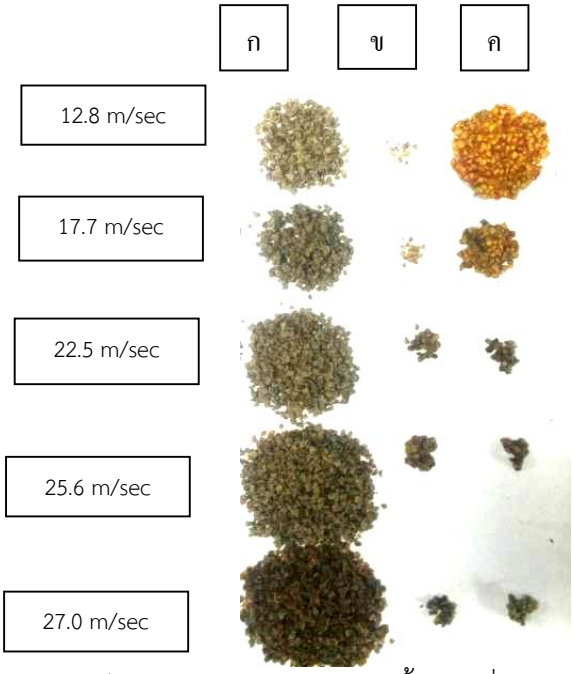


ภาพที่ 41 ก) มะเขือเทศที่ใช้ทดสอบ ข) มะเขือเทศค้างในตะแกรง ค) เมล็ดมะเขือเทศผ่านตะแกรงลงสู่ช่องรับเมล็ด ง) เปลือกมะเขือเทศที่ถูกแยกออกสู่ช่องรับเปลือก

หลังการทดสอบที่ความเร็วห้าระดับ เมื่อพิจารณาเมล็ดที่ถูกตีแยกผ่านตะแกรงลงสู่ช่องรับเมล็ดของแต่ละความเร็วที่ทดสอบ พบว่าเมื่อความเร็วมากขึ้น เครื่องต้นแบบแยกเมล็ดออกจากเปลือกได้ดีขึ้น แสดงดังภาพที่ 42 การแยกเฉพาะเมล็ดแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วเปรียบเทียบเมล็ดที่ทดสอบแต่ละความเร็ว แสดงดังภาพที่ 43 ผลการทดสอบแสดงดัง ตารางที่ 8



ภาพที่ 42 เมล็ดและเนื้อมะเขือเทศที่ผ่านตะแกรงลงสู่ช่องรับเมล็ด ที่แต่ละความเร็วของการตีแยก



ภาพที่ 43 เปรียบเทียบเมล็ดมะเขือเทศหลังการแยกเนื้อออกที่แต่ละความเร็วของใบตีแยกเมล็ด ก) เมล็ดที่ผ่านตะแกรงและเข้าสู่ช่องรับเมล็ด ข) เมล็ดที่ตกค้างในตะแกรง ค) เมล็ดที่สูญเสียติดไปกับเปลือกที่เข้าสู่ช่องรับเปลือก

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบเบื้องต้น เครื่องต้นแบบ เครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก

ความเร็วใบตีแยกเมล็ด (เมตร/วินาที)	ความสามารถในการทำงาน (กก./ชม.)	% เมล็ดที่ตีแยกได้						%เปลือก		
		เมล็ดหลุดจากเปลือก			เมล็ดติดเปลือก					
		ช่องรับเมล็ด	ค้างตะแกรง	ช่องรับปลือก	ช่องรับเมล็ด	ค้างตะแกรง	ช่องรับปลือก	ช่องรับเมล็ด	ค้างตะแกรง	ช่องรับปลือก
12.8	1,164	**22.4**	0.8	**76.7**	**0.0**	0.0	**0.0**	**1.5**	13.0	**85.5**
17.7	1,170	**56.2**	1.5	**42.3**	**0.0**	0.0	**0.0**	**2.1**	18.3	**79.6**
22.5	1,175	**87.3**	4.4	**8.3**	**0.0**	0.0	**0.0**	**6.0**	34.2	**59.8**
25.6	1,180	**87.3**	8.0	**4.7**	**0.0**	0.0	**0.0**	**9.1**	45.4	**45.5**
27.1	1,303	**91.8**	3.2	**5.0**	**0.0**	0.0	**0.0**	**8.0**	22.4	**69.7**

จากตารางที่ 8 ผลการทดสอบตีแยกเมล็ดมะเขือเทศที่แต่ละความเร็วการตีแยก พบว่า เมื่อความเร็วมากขึ้น ทำให้เมล็ดที่หลุดจากเปลือกแล้วและผ่านตะแกรงลงสู่ช่องรับเมล็ดได้มากขึ้น เนื่องจากมีความรุนแรงในการตีแยกเนื้อและเปลือกฉีกขาดมากขึ้น เมล็ดจึงแยกได้ง่ายขึ้น แต่ยังมีผลให้มีเมล็ดและเปลือกค้างในตะแกรงเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการถูกตีแยกเป็นชิ้นเล็กๆ แต่ปลายใบตีแยกยังห่างจากตะแกรงล่างมากเกินไป ทำให้ไม่สามารถพาเปลือกครูดกับตะแกรงและดันให้เมล็ดลอดตะแกรงได้ไม่ดีพอ จึงได้ปรับให้มีระยะห่างน้อยลง ทั้งนี้แม้ความเร็วที่มากขึ้นจะตีแยกเมล็ดออกได้ดีขึ้น แต่ที่ความเร็วใบตีแยก 27.1 เมตรต่อวินาที เครื่องต้นแบบเกิดการสั่นสะเทือนค่อนข้างมาก จึงเลือกใช้ความเร็วระหว่าง 22.5 ถึง 25.6 เมตรต่อวินาที ในการทดสอบครั้งต่อไป

ผลการทดสอบหลังการปรับระยะห่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่างพบว่า ที่ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่าง 10 และ 20 มิลลิเมตร และความเร็วเส้นใบตีแยก 17.7 และ 22.5 เมตรต่อวินาที มีผลการแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือกได้ดี ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 79.5 % ถึง 93.1 % ซึ่งเหมาะกับการใช้งาน ส่วนที่ความเร็ว 25.6 เมตรต่อวินาที เครื่องมีการสั่นมากไม่เหมาะกับการเลือกใช้งาน ส่วนระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่าง 30 มิลลิเมตร ได้ทดสอบกับมะเขือเทศพันธุ์สีดา แต่มีผลการแยกเมล็ดไม่ดีนักโดยมีเมล็ดที่แยกได้และผ่านตะแกรงลงสู่ช่องรับเมล็ดเพียง 73.1 % จึงทดสอบเพียงพันธุ์เดียวเท่านั้น ทั้งนี้ผลการตีแยกเมล็ดพบว่าไม่มีเมล็ดที่ยังติดค้างที่เปลือกในทุกการทดสอบ ผลการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลของระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่าง (Cc) ต่อการแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก เมื่อรูตะแกรงมีขนาด 8 มิลลิเมตร และระยะห่างปลายใบตีกับตะแกรงด้านข้าง ทั้งด้านเข้าและออก (Sc_i และ Sc_o) มีค่า 15 มม.

ระยะห่างใบตีกับตะแกรงด้านล่าง (มม.)	พันธุ์	ความเร็วใบตีแยก (เมตร/วินาที)	ความสามารถในการทำงาน (กก./ชม.)	% เมล็ด			% เปลือก		
				เมล็ดหลุดจากเปลือก					
				ช่องรับเมล็ด	ค้างตะแกรง	ช่องรับเปลือก	ช่องรับเมล็ด	ค้างตะแกรง	ช่องรับเปลือก
10	สีดา	17.7	1,607	**90.3**	6.7	**3.0**	**0.0**	12.6	**87.4**
		22.5	2,143	**90.5**	6.2	**3.3**	**0.0**	21.1	**78.9**
		25.6	2,169	**81.1**	7.4	**11.5**	**0.0**	8.9	**91.1**
	อีเป๋อ	17.7	1,714	**91.6**	4.1	**4.3**	**0.0**	27.5	**72.5**
		22.5	2,130	**88.2**	7.4	**4.4**	**0.0**	16.1	**83.9**
		25.6	2,118	**84.7**	8.2	**7.2**	**0.0**	27.9	**72.1**
	ท้อ	17.7	1,841	**79.5**	6.3	**14.2**	**0.0**	12.0	**88.0**
		22.5	1,800	**83.4**	10.1	**6.5**	**0.0**	11.6	**88.4**
		25.6	2,081	**82.3**	8.3	**9.4**	**0.0**	19.6	**80.4**
20	สีดา	22.5	1,304	**82.1**	15.6	**2.3**	**0.0**	23.8	**76.2**
	อีเป๋อ		1,440	**93.1**	4.4	**2.6**	**0.0**	32.5	**67.5**
	ท้อ		1,293	**84.1**	12.1	**3.8**	**0.0**	36.7	**63.3**
30	สีดา	22.5	1,246	**73.7**	16.4	**9.9**	**0.0**	68.1	**31.9**

จากตารางที่ 9 พบว่ามะเขือเทศพันธุ์อีเป๋อมีเมล็ดที่แยกออกจากเปลือกและเมล็ดไหลลงในช่องรับเมล็ดได้ 93.1 % ที่ความเร็วใบตีแยก 22.5 เมตรต่อวินาที และ Cc 20 มิลลิเมตร ส่วนพันธุ์สีดาและพันธุ์ท้อ มีเมล็ดที่แยกออกจากเปลือกและเมล็ดไหลลงในช่องรับเมล็ดได้ดีที่ความเร็วใบตีแยก 22.5 เมตรต่อวินาที ที่ C_C 10 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า ในการใช้งานโดยทั่วไปควรเลือกใช้ความเร็วใบตีแยกเมล็ดที่ 22.5 เมตรต่อวินาที ที่ C_C 10 มิลลิเมตร ผลการวิเคราะห์ความเร็วใบตีแยกแสดงดัง ตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลของความเร็วใบตีแยกของเครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือกต่อการแยกเมล็ด เมื่อรูตะแกรง 8 มิลลิเมตร

ความเร็วใบตีแยกเมล็ด (m/s)	% เมล็ดที่ตีแยกได้ที่ช่องรับเมล็ด
A (12.8 m/s)	22.4[a]
B (17.7 m/s)	56.2[b]
C (22.5 m/s)	87.3[c]
D (25.6 m/s)	88.4[c]
E (27.1 m/s)	91.8[d]

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์ มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 10 พบว่าความเร็วใบตีแยกเมล็ด มีผลต่อการแยกเมล็ดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเกษตรกรส่วนมากใช้ไฟฟ้าเฟสเดียว 220 โวลต์ จึงเปลี่ยนต้นกำลังจากเดิมใช้มอเตอร์ 3 เฟส 3 แรงม้า 380 โวลต์ เป็นมอเตอร์เฟสเดียว 3 แรงม้า 220 โวลต์ ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที และเปลี่ยนพุลเล่ย์เพลาใบตีแยกเมล็ดให้มีความเร็วเชิงเส้นปลายใบตีแยกเมล็ดที่ 22.5 เมตรต่อวินาที เนื่องจากมีผลการแยกเมล็ดได้ดีและเครื่องทำงานได้ราบเรียบไม่เกิดการสั่นมากเกินไป ทดสอบกับมะเขือเทศ 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ท้อ พันธุ์สีดา และพันธุ์อีเป๋อ โดยใช้มะเขือเทศแต่ละพันธุ์ จำนวน 2 กิโลกรัม ตะแกรงรูกลมยังคงใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 8 มิลลิเมตร และทดสอบปัจจัยอื่นที่คาดว่าจะมีผลต่อการทำงานของเครื่องต้นแบบ เช่นผลของระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้าง ทั้งทางด้านเข้า (inlet side concave clearance; Sc_i) และทางด้านออก (outlet side concave clearance; Sc_o) รวมถึงการมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่าง Cc Sc_i Sc_o และพันธุ์มะเขือเทศ ทำการเปรียบเทียบผลของการแยกเมล็ดที่ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้างทางด้านเข้า (Sc_i) และด้านออก (Sc_o) จำนวน 3 แบบคือ 1) Sc_i เท่ากับ Sc_o และมีค่า 15 มิลลิเมตร 2) Sc_i มากกว่า Sc_o โดย Sc_i 20 มิลลิเมตร และ Sc_o 5 มิลลิเมตร 3) Sc_i น้อยกว่า Sc_o โดย Sc_i 5 มิลลิเมตร และ Sc_o 20 มิลลิเมตร โดยเปรียบเทียบร่วมกับผลของระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่าง (Cc) 3 ระดับ ได้แก่ 10 20 และ 30 มิลลิเมตร ตามลำดับ วางแผนการทดสอบแบบ 3 x 3 x 3 factorial experiment in CRD 3 ซ้ำ ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ตารางที่ ผ 4 ข ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ ผ 5 ข

ตารางที่ 11 ผลทดสอบเครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก เมื่อรูตะแกรงมีขนาด 8 มิลลิเมตร ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ 1 เฟสขนาด 3 แรงม้า 220 โวลต์ ความเร็วใบตีแยกเมล็ด 22.5 เมตรต่อวินาที

A ระยะห่างปลายใบตีกับตะแกรงล่าง (Cc)	เมล็ดมะเขือเทศหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ด (%)								
	c1 พันธุ์ท้อ			c2 พันธุ์สีดา			c3 พันธุ์อีเป๋อ		
	b1 ($Sc_i < Sc_o$)	b2 ($Sc_i = Sc_o$)	b3 ($Sc_i > Sc_o$)	b1 ($Sc_i < Sc_o$)	b2 ($Sc_i = Sc_o$)	b3 ($Sc_i > Sc_o$)	b1 ($Sc_i < Sc_o$)	b2 ($Sc_i = Sc_o$)	b3 ($Sc_i > Sc_o$)
a1 10 mm	44.7 ^{z}g	98.3 ^{x}a	81.4 ^{y}d	88.8 ^{xy}c	76.5 ^{y}e	82.6 ^{y}d	93.7 ^{x}b	67.0 ^{z}f	90.3 ^{x}c
a2 20 mm	87.4 ^{y}cd	88.6 ^{y}bc	88.2 ^{x}bc	87.0 ^{y}cd	91.2 ^{x}a	88.1 ^{x}bc	85.2 ^{y}d	88.8 ^{y}abc	90.6 ^{x}ab
a3 30 mm	94.0 ^{x}b	83.3 ^{z}d	89.2 ^{x}c	90.1 ^{x}c	88.7 ^{x}c	84.7 ^{y}d	85.3 ^{y}d	98.9 ^{x}a	92.4 ^{x}b

- การเปรียบเทียบทางด้านสดมภ์ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ x, y, z ที่ต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

- การเปรียบเทียบทางด้านแถว ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a, b, c, d, e, f, g ที่ต่างกันในแถว มีความแตกต่างทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จากตารางที่ 11. พบว่า เครื่องต้นแบบมีการแยกเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์ท้อได้มากที่สุด 98.3 % เมื่อ Cc 10 มิลลิเมตร และ Sc_i เท่ากับ Sc_o พันธุ์สีดาแยกเมล็ดได้มากที่สุด 91.2 % เมื่อ Cc 20 มิลลิเมตร และ Sc_i เท่ากับ Sc_o และแยกเมล็ดพันธุ์อีเป๋อได้มากที่สุด 98.91 % เมื่อ Cc มีค่า 30 มิลลิเมตร และ Sc_i เท่ากับ Sc_o เช่นเดียวกัน ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปัจจัยที่ทดสอบได้แก่ Cc Sc_o Sc_i และชนิดพันธุ์มะเขือเทศมีผลต่อความสามารถในการแยกเมล็ดออกจากเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และพบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสามซึ่งแสดงดังตารางที่ ผ 5 ข

2.3 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะเครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก

เครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก เมื่อรูตะแกรงมีขนาด 8 มิลลิเมตร ต้นกำลังเป็นมอเตอร์เฟสเดียวขนาด 3 แรงม้า 220 โวลต์ ความเร็วเชิงเส้นปลายใบตีแยกเมล็ด 22.5 เมตรต่อวินาที มีการแยกเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์ท้อได้มากที่สุด 98.3 % เมื่อ Cc 10 มิลลิเมตร และ Sc_i เท่ากับ Sc_o พันธุ์สีดาแยกเมล็ดได้มากที่สุด 91.2 % เมื่อ Cc 20 มิลลิเมตร และ Sc_i เท่ากับ Sc_o และแยกเมล็ดพันธุ์อีเป๋อได้มากที่สุด 98.91 % เมื่อ Cc มีค่า 30 มิลลิเมตร และ Sc_i เท่ากับ Sc_o เช่นเดียวกัน ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปัจจัยที่ทดสอบได้แก่ Cc Sc_o Sc_i และชนิดพันธุ์มะเขือเทศ มีผลต่อความสามารถในการแยกเมล็ดออกจากเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และพบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสาม ซึ่งเครื่องต้นแบบสามารถนำไปใช้ในการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศได้ นอกเหนือจากการเตรียมเมล็ดและเนื้อสำหรับการ แยกเมล็ดและไส้ของพริกแห้งออกจากเปลือก และต้นแบบเครื่องจักรที่สามารถแยกเมล็ดมะเขือเทศสดออกจากเนื้อเพื่อการเตรียมเมล็ดหรือไส้ไปเป็นวัตถุดิบสำหรับนำไปสกัดสารสำคัญด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤต จะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มศักยภาพในการผลิต เป็นการส่งเสริมการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากผลิตผลการเกษตรที่มีจำนวนมากในประเทศ และลดการนำเข้าเครื่องจักรและวัตถุดิบจากต่างประเทศได้

ผลการวิจัยและพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก ได้ต้นแบบเครื่องจักรที่ใช้มอเตอร์ 1 เฟส ขนาด 3 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ระบบไฟฟ้า 220 v 50 / 60 Hz เป็นต้นกำลัง ชุดตีแยกเมล็ดเป็นใบตีแยกที่ทำจากเหล็กแบน เจาะรูร้อยบนเพลา 4 เพลา ๆ ละ 3 ใบและใบอุ้มลมเพลาละ 1 ใบ ทั้งสี่เพลายึดกับเพลาหลักด้วยเหล็กแบนตัดเป็นวงกลมวางเป็นช่วงจำนวน 3 แผ่น มีตะแกรงรูกลมล้อมรอบชุดใบตีแยกในแนวตั้ง และมีเหล็กแผ่นด้านนอกกั้นเป็นช่องรับเมล็ดที่ถูกตีลอดตะแกรงออกมา ด้านล่างของตะแกรงเป็นช่องรับเปลือก ผลทดสอบพริก 3 พันธุ์ พบว่า เครื่องต้นแบบทำงานได้ดีที่ ความเร็วใบตีแยกเมล็ด 41.1 เมตร / วินาที อัตราการป้อน 164 กิโลกรัม / ชั่วโมง และขนาดรูตะแกรง 11.2 มิลลิเมตร โดยมีเมล็ดที่หลุดจากเปลือกแล้วอยู่ในช่องเก็บเมล็ด มีค่า 96.8 (%) 94.6 (%) และ 97.6 (%) สำหรับพริกพันธุ์จินดาแดง พันธุ์อินเดียใหญ่ และพันธุ์เฮ๊ยะโต๋ ตามลำดับ และได้นำเครื่องตีแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือกไปสาธิตการใช้งานให้กับกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกพริกส่งขายให้บริษัทเอกชนที่ผลิตสารสำคัญจากพริก

บรรณานุกรม

ตะวันฉาย บ้านบางแก้ว.2557. ทำไมมาเลย์ชอบพริกขี้หนูจากเมืองไทย. เทคโนฯ เกษตร. แหล่งข้อมูล http://www.technologychaoban.com/news_detail.php?tnid=1164. สืบค้นเมื่อ 26 พฤษภาคม 2557.

น.ส.พ. กสิกร ปีที่ 83 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม - สิงหาคม 2553

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2557. vegetable / ผัก. ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร.แหล่งข้อมูล http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1665/vegetable. สืบค้นเมื่อ 19 พฤษภาคม 2557

พอพันธ์ สุทธิวัฒนะ. 2551. การพัฒนาเครื่องหั่นผักตบชวาจากเครื่องต้นแบบโดยการมีส่วนร่วมกับชุมชน. จันทบุรี. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

มณฑล หมายเคียงกลาง. 2544. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) สาขาวิชาเครื่องจักรกลเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น,. 74 หน้า.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.2557. การปรับปรุงพันธุ์พริกเผ็ด. แหล่งข้อมูล http://www.nstda.or.th/nstda-r-and-d/11242-.breeding-pepper. สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2557.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. สถิติการนำเข้า/ส่งออก. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งข้อมูล. http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php.

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบเครื่องแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก

ตารางที่ ผ 1 ก ผลทดสอบเปรียบเทียบการกรีดเปลือกกับไม่กรีดเปลือก ที่ขนาดรูตะแกรงต่างกัน และความเร็วใบตีแยกเมล็ดต่างกัน

พันธุ์	การเตรียมพริกสำหรับการทดสอบ	มอเตอร์		เครื่องตีแยกเมล็ด			เมล็ด (%)				เปลือก (%)	
							เมล็ดหลุดเปลือก		เมล็ดติดเปลือก			
		ความเร็ว (รอบ/นาที)	พลังงานจำเพาะ (Kw-hr)/kg	ขนาดรูตะแกรง (มม.)	อัตราการป้อน (กก./ชม.)	ความเร็วใบตีแยกเมล็ด (ม./วินาที)	ช่องรับเมล็ด	ช่องรับเปลือก	ช่องรับเมล็ด	ช่องรับเปลือก	ช่องรับเมล็ด	ช่องรับเปลือก
แดงจินดา	กรีดเปลือก	585	0.04	8.0	40.0	21.5	36.1	44.7	0.8	18.4	0.1	99.9
		878	0.04			32.2	66.9	30.8	0.0	2.3	0.6	99.4
		1,158	0.06			42.5	78.9	20.0	0.0	1.1	4.6	95.4
		585	0.04	5.0		21.5	27.2	48.9	0.8	23.1	0.0	100.0
		878	0.04			32.2	45.9	53.8	0.0	0.3	0.0	100.0
		1,158	0.06			42.5	56.0	42.0	0.1	1.9	8.5	91.5
	ไม่กรีดเปลือก	585	0.04	8.0		21.5	37.1	29.9	0.6	32.5	0.0	100.0
		878	0.04			32.2	63.4	30.8	0.0	5.8	1.0	99.0
		1,158	0.06			42.5	73.0	24.3	0.0	2.7	4.0	96.0
		585	0.04	5.0		21.5	19.9	33.4	0.0	46.7	0.0	100.0
		878	0.04			32.2	48.5	33.6	0.0	17.8	0.0	100.0
		1,158	0.06			42.5	38.5	52.4	0.7	8.4	0.0	100.0

ตารางที่ ผ 2 ก ผลวิเคราะห์ความแปรปรวน การเปรียบเทียบการกรีดเปลือกกับไม่กรีดเปลือก ที่ขนาดรูตะแกรงต่างกัน และความเร็วใบตีแยกเมล็ดต่างกัน

SOV	df	df	S.S	MS	F
Tratment	t-1	11	11,388.0	1,035.3	1,066.4**
A: การเตรียมพริก	a-1	1	234.1	234.1	241.1**
B: เส้นผ่าศูนย์กลางรูตะแกรง (มม.)	b-1	1	3,564.1	3,564.1	3,671.2**
C: ความเร็วใบตี (m/s)	c-1	2	6,817.9	3,408.9	3,511.3**
AB	(a-1)(b-1)	1	47.6	47.6	49.0**
AC	(a-1)(c-1)	2	207.0	103.5	106.6**
BC	(b-1)(c-1)	2	384.5	192.2	192.2**
ABC	(a-1)(b-1)(c-1)	2	132.9	66.4	68.4**
Error	t(r-1)	24	23.3	1.0	
Total	tr-1	35	11,411.3		
C.V.%	2.83				

ตารางที่ ผ 3 ก ผลทดสอบเปรียบเทียบการกรีดเปลือกกับไม่กรีดเปลือก ที่มีจำนวนรอบการตีแยกต่างกัน และความเร็วใบตีแยกเมล็ดต่างกัน

พันธุ์	การเตรียมพริกสำหรับทดสอบ	เครื่องตีแยกเมล็ด		%เมล็ด				%เปลือก	
				เมล็ดหลุดจากเปลือก		เมล็ดติดกับเปลือก			
		ขนาดรูตะแกรง (มม.)	ความเร็วใบตี (ม./วินาที)	ช่องรับเมล็ด	ช่องรับเปลือก	ช่องรับเมล็ด	ช่องรับเปลือก	ช่องรับเมล็ด	ช่องรับเปลือก
พริกแห้ง จินดาแดง	กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 เที่ยว	8.0	21.5	47.0	27.0	0.4	25.6	0.8	99.2
			32.2	66.3	23.1	0.5	10.2	2.7	97.3
			42.5	71.9	21.0	1.0	6.1	13.6	86.4
	ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 เที่ยว		21.5	45.1	28.6	0.4	26.0	0.6	99.4
			32.2	62.9	25.5	0.0	11.5	0.6	99.4
			42.5	66.1	23.9	1.1	8.9	10.5	89.5
	ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 2 เที่ยว		21.5	52.6	23.4	0.4	23.6	0.8	99.2
			32.2	73.0	17.1	1.3	8.7	6.2	93.8
			42.5	87.6	8.9	0.1	3.3	16.4	83.6
พริกสด ซุปเปอร์ฮ็อต	กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 เที่ยว		42.5	33.2	33.1	0.0	33.7	0.3	99.7

ตารางที่ ผ 4 ก ผลวิเคราะห์ความแปรปรวน เปรียบเทียบการกรีดเปลือกกับไม่กรีดเปลือก ที่มีจำนวนรอบการตีแยกต่างกัน และความเร็วใบตีแยกเมล็ดต่างกัน

SOV	df	df	S.S	MS	F
Tratment	t-1	8	4,458.3	557.3	650**
A: การเตรียมพริก	a-1	2	812.0	406.0	473**
C: ความเร็วใบตีแยกเมล็ด	c-1	2	3,466.2	1,733.1	2,023**
AC	(a-1)(c-1)	4	180.1	45.0	52**
Error	t(r-1)	18	15.4	0.9	
Total	tr-1	26	4,473.7		
C.V.%	2.43				

ตารางที่ ผ 5 ก ผลการการตีแยกเมล็ดออกจากเปลือกของพริกแห้งพันธุ์จินดาแดงและพริกสดพันธุ์ซุปเปอร์ฮ็อตทั้งแบบกรีดและไม่กรีดเปลือก เมื่อใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า 3 เฟส รูตะแกรง 8.0 และ 11.2 มม.

พันธุ์	การเตรียมพริกสำหรับทดสอบ	องตีแยกเม	เมล็ด (%)				เปลือก (%)	
			เมล็ดหลุดจากเปลือก		เมล็ดติดกับเปลือก			
		ขนาดรูตะแกรง (มม.)	ช่องรับเมล็ด	ช่องรับเปลือก	ช่องรับเมล็ด	ช่องรับเปลือก	ช่องรับเมล็ด	ช่องรับเปลือก
พริกแห้ง จินดาแดง	กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 เที่ยว	8.0	63.9	22.2	0.0	13.9	8.2	91.8
	ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 เที่ยว		**84.3**	11.5	0.0	4.2	15.6	84.4
	ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 2 เที่ยว		87.2	12.0	0.0	0.9	45.3	54.7
	กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 เที่ยว	11.2	80.5	12.0	0.0	7.5	28.5	71.5
	ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 เที่ยว		**93.0**	4.7	0.0	2.4	48.1	51.9
	ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 2 เที่ยว		73.7	14.7	0.0	11.6	41.6	58.4
พริกสด ซุปเปอร์ฮ็อต	กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 เที่ยว	11.2	76.6	13.1	0.0	10.3	47.1	52.9
	ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 เที่ยว		**94.6**	3.2	0.0	2.2	56.6	43.4
	ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 2 เที่ยว							

ตารางที่ ผ 6 ก ผลการการตีแยกเมล็ดออกจากเปลือกของพริกแห้ง พันธุ์จินดาแดง อินเดียใหญ่ และเฮี๊ยะโต๋ แบบไม่กรีดเปลือก ตีแยก 1 ครั้งและ 2 ครั้ง ที่แต่ละอัตราการป้อน เมื่อใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า 1 เฟส รูตะแกรง 11.2 มม.

พันธุ์	การเตรียมพริกสำหรับทดสอบ	เครื่องตีแยกเมล็ด	%เมล็ด				%เปลือก	
			เมล็ดหลุดเปลือก		เมล็ดติดเปลือก			
		อัตราการป้อน (กก./ชม.)	ช่องรับเมล็ด	ช่องรับเปลือก	ช่องรับเมล็ด	ช่องรับเปลือก	ช่องรับเมล็ด	ช่องรับเปลือก
จินดาแดง	ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 รอบการทำงาน	102	**88.8**	7.1	0.0	4.1	45.0	55.0
		136	**78.9**	17.2	0.0	3.9	37.8	62.2
		164	**77.5**	15.5	0.0	7.0	30.2	69.8
	ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 2 รอบการทำงาน	102	**97.2**	2.8	0.0	0.0	72.1	27.9
		136	**96.7**	2.7	0.6	0.0	68.6	31.4
		164	**96.8**	2.7	0.2	0.3	67.5	32.5
อินเดียใหญ่	ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 รอบการทำงาน	102	**85.3**	14.7	0.0	0.0	27.7	72.3
		136	**81.3**	18.1	0.0	0.5	27.0	73.0
		164	**79.0**	17.0	0.0	4.0	25.5	74.5
	ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 2 รอบการทำงาน	102	**97.0**	3.0	0.0	0.0	72.4	27.6
		136	**96.4**	2.8	0.0	0.8	63.9	36.1
		164	**94.6**	3.6	0.0	1.8	54.6	45.4
เฮี๊ยะโต๋	ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 1 รอบการทำงาน	102	**88.3**	11.7	0.0	0.0	35.0	65.0
		136	**87.0**	13.0	0.0	0.0	22.2	77.8
		164	**86.5**	13.5	0.0	0.0	25.4	74.6
	ไม่กรีดเปลือก ตีแยกเมล็ด 2 รอบการทำงาน	102	**97.9**	2.1	0.0	0.0	66.0	34.0
		136	**97.4**	2.6	0.0	0.0	62.3	37.7
		164	**97.0**	3.0	0.0	0.0	57.5	42.5

ตารางที่ ผ 7 ก ผลวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลการการตีแยกเมล็ดออกจากเปลือกของพริกแห้ง พันธุ์จินดาแดง อินเดียใหญ่ และ เฮี๊ยะโต๋ แบบไม่กรีดเปลือก ตีแยก 1 ครั้งและ 2 ครั้ง ที่แต่ละอัตราการป้อน เมื่อใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า 1 เฟส รูตะแกรง 11.2 มม.

SOV	df	df	S.S	MS	F
Tratment	t-1	17	2,816.5	165.7	235**
A: การเตรียมพริก	a-1	1	2,324.6	2,324.6	3,307**
B: อัตราการป้อน (กก. / ชม.)	b-1	2	138.6	69.3	98**
C: พันธุ์พริก	c-1	2	122.3	61.1	87**
AB	(a-1)(b-1)	2	75.6	37.8	53**
AC	(a-1)(c-1)	2	65.4	32.7	46**
BC	(b-1)(c-1)	4	46.0	11.5	16**
ABC	(a-1)(b-1)(c-1)	4	43.9	11.0	15**
Error	t(r-1)	36	25.3	0.7	
Total	tr-1	53	2,841.8		
C.V.%	0.92				

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบเครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก

ตารางที่ ผ 1 ข ขนาดความกว้าง (a) ความยาว (b) ความหนา (c) ของผลมะเขือเทศที่ใช้ในการทดสอบ (มิลลิเมตร)

รายการ	พันธุ์ อีเป้อ			พันธุ์ ท้อ			พันธุ์ สีดา		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
n	30	30	30	30	30	30	30	30	30
max	39.30	34.85	34.00	69.59	62.88	61.66	46.62	46.05	42.46
min	27.45	26.25	25.00	56.29	50.87	48.17	34.90	34.85	31.09
avg	31.65	30.75	30.83	60.84	56.57	54.09	42.56	39.82	35.92
std	2.59	2.05	2.08	3.05	2.83	2.88	2.98	2.62	2.65
GMD	31.07			57.10			39.34		
AMD	31.08			57.17			39.43		

GMD เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต = $(a*b*c)^{1/3}$

AMD เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเลขคณิต = $(a + b + c)/3$

ตารางที่ ผ 2 ข ขนาดความกว้าง (a) ความยาว (b) ความหนา (c) ของเมล็ดมะเขือเทศที่ใช้ในการทดสอบ (มิลลิเมตร)

รายการ	พันธุ์ สีดา			พันธุ์ ท้อ			พันธุ์ อีเป้อ		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
n	**30**	**30**	**30**	**30**	**30**	**30**	**30**	**30**	**30**
max	3.86	4.68	1.47	3.11	4.44	1.13	4.45	3.00	1.95
min	2.36	2.85	1.06	2.25	2.73	0.78	3.00	1.15	0.70
avg	3.14	4.08	1.23	2.79	3.63	0.99	3.64	2.48	1.00
std	0.34	0.45	0.14	0.24	0.37	0.11	0.32	0.34	0.26
GMD	2.51			2.16			2.08		
AMD	2.82			2.47			2.37		

GMD เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต = $(a*b*c)^{1/3}$

AMD เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเลขคณิต = $(a + b + c)/3$

ตารางที่ ผ 3 ข มุมความเสียดทานบนพื้นสแตนเลสของผลมะเขือเทศที่ใช้ในการทดสอบ (องศา)

รายการ	พันธุ์อีเป้อ	พันธุ์สีดา	พันธุ์ท้อ
n	10	10	10
max	21	23.0	19.0
min	14	17.0	15.0
avg	16.8	19.2	17.6
std	1.8	1.7	1.2

ตารางที่ ผ 4 ข ผลทดสอบเครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือกไตรมาสที่ 4 เมื่อรูตะแกรงมีขนาด 8 มิลลิเมตร ต้นกำลัง เป็นมอเตอร์เฟสเดียว 3 แรงม้า 220 โวลต์ นาที และความเร็วเชิงเส้นปลายใบตีแยกเมล็ด 22.5 เมตรต่อวินาที

ระยะห่างใบตีกับตะแกรงด้านล่าง (CC) (มม.)	การจัดระยะห่างใบตีกับตะแกรงด้านข้าง (SC_i , SC_o)	พันธุ์	ความสามารถในการทำงาน (กก./ชม.)	% เมล็ดเมล็ดหลุดจากเปลือก			%เปลือก		
				ช่องรับเมล็ด	ค้างตะแกรง	ช่องรับเปลือก	ช่องรับเมล็ด	ค้างตะแกรง	ช่องรับเปลือก
10	Sci < Sco	ท้อ	2,257	44.7	54.2	1.1	6.0	11.6	82.4
		สีดา	2,118	88.8	9.8	1.4	18.1	6.6	75.3
		อีเป้อ	1,600	93.7	5.5	0.8	20.8	12.1	67.1
	Sci = Sco	ท้อ	2,022	98.3	0.6	1.1	6.3	2.5	91.2
		สีดา	1,791	76.5	23.1	0.4	10.6	25.7	63.7
		อีเป้อ	1,429	67.0	32.7	0.3	9.5	19.0	71.4
	Sci > Sco	ท้อ	1,532	81.4	18.0	0.6	11.1	7.0	81.9
		สีดา	1,494	82.6	16.6	0.8	17.5	12.0	70.5
		อีเป้อ	1,516	90.3	8.3	1.4	20.0	12.4	67.5
20	Sci < Sco	ท้อ	2,707	87.4	11.7	0.9	7.8	9.9	82.3
		สีดา	1,805	87.0	12.6	0.4	11.9	30.9	57.2
		อีเป้อ	2,243	85.2	14.3	0.6	9.7	28.2	62.1
	Sci = Sco	ท้อ	2,250	88.6	10.4	1.0	8.6	16.5	74.9
		สีดา	2,202	91.2	8.5	0.3	11.7	27.8	60.5
		อีเป้อ	1,593	88.8	10.0	1.2	14.2	29.4	56.4
	Sci > Sco	ท้อ	2,308	88.2	11.2	0.5	7.4	10.3	82.3
		สีดา	1,509	88.1	11.1	0.7	10.2	48.3	41.5
		อีเป้อ	2,195	90.6	8.1	1.4	9.2	30.5	60.3
30	Sci < Sco	ท้อ	2,449	94.0	5.5	0.5	5.8	30.0	64.3
		สีดา	2,156	90.1	7.7	2.2	8.5	55.1	36.5
		อีเป้อ	1,946	85.3	13.9	0.8	3.8	55.2	41.0
	Sci = Sco	ท้อ	2,278	83.3	15.3	1.4	4.8	27.7	67.5
		สีดา	1,569	88.7	10.7	0.6	8.4	41.7	50.0
		อีเป้อ	2,353	98.9	0.5	0.5	6.2	51.9	41.9
	Sci > Sco	ท้อ	2,236	89.2	10.4	0.4	5.0	24.8	70.3
		สีดา	1,946	84.7	14.1	1.2	8.0	42.0	50.0
		อีเป้อ	2,535	92.4	6.5	1.0	3.7	50.1	46.2

SC_i : inlet side concave clearance

SC_o : outlet side concave clearance

ตารางที่ ผ 5 ข ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลทดสอบเครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก ไตรมาสที่ 4 เมื่อรูตะแกรงมีขนาด 8 มิลลิเมตร ต้นกำลังเป็นมอเตอร์เฟสเดียวขนาด 3 แรงม้า 220 โวลต์ ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ความเร็วเชิงเส้นปลายใบตีแยก 22.5 เมตรต่อวินาที

SOV	df	S.S	MS	F
Tratment	26	8,452.10	325.1	154.5**
A: ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงล่าง	2	1,353.5	676.7	321.7**
B: ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้าง	2	185.3	92.7	44**
C: พันธุ์มะเขือเทศ	2	233.3	116.6	55.4**
AB	4	242.0	60.5	28.7**
AC	4	286.69	71.7	34.1**
BC	4	1,103.95	276.0	131.2**
ABC	8	5,047.40	630.9	299.9**
Error	52	109.39	2.10	
Total	80	8,561.5		