

การสร้างและทดสอบสมรรถนะเครื่องกรีดยมะขามป้อมด้วยกลไกข้อเหวี่ยง

The construction and performance testing of Indian gooseberry (*Phyllanthus emblica*) tapping machine with crank mechanism

ณัฐ สิริวรรณานนท์^{1*}
Natt Siri wattananon^{1*}

บทคัดย่อ

การสร้างรอยบนผิวของผลมะขามป้อมเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตมะขามป้อมแช่อิ่ม การสร้างและทดสอบเครื่องกรีดยมะขามป้อมในครั้งนี้เพื่อหาความสัมพันธ์ของกลไกการทำงานแบบข้อเหวี่ยงกับสมรรถนะด้านกำลังการผลิตของเครื่อง โดยการออกแบบให้ลูกกระทุ้งเคลื่อนที่แนวตั้งดันให้ผลมะขามป้อมที่มีขนาด 30-36 มิลลิเมตร ผ่านมีดที่ติดตั้งในแนวรัศมีบริเวณส่วนปลายของกระบอกลูก ซึ่งสามารถปรับความเร็วรอบของข้อเหวี่ยงได้ด้วยเครื่องปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (inverter) ผลการทดลองพบว่าความเร็วรอบของข้อเหวี่ยงที่สูงกว่า 100 รอบต่อนาทีนั้นส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกรีดยมะขามป้อม เนื่องจากการป้อนเข้ากระบอกลูกของมะขามป้อมนั้นเป็นการป้อนโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ซึ่งเป็นผลให้เครื่องกรีดยมะขามป้อมมีสมรรถนะในการทำงานเท่ากับ 100 ผลต่อนาที หรือเฉลี่ยประมาณ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยเทียบเท่าแรงงานคนที่มีความชำนาญเท่ากับ 6 คนด้วยกัน

คำสำคัญ: เครื่องกรีดยมะขามป้อม มะขามป้อมแช่อิ่ม กลไกข้อเหวี่ยง การแช่อิ่ม สมรรถนะเครื่องกรีดย

Abstract

The tapping on the surface of Indian gooseberry (*Phyllanthus emblica*) is one method to reduce the preservation time. A construction and testing of Indian gooseberry tapping machine aimed to study the relationship between the crank mechanism and the capacity of the machine. The piston was designed to move vertically to push Indian gooseberry of 30-36 millimeters through a knife that cut radially at the end of the cylinder. The speed of crank mechanism was adjusted by the inverter. The results showed that the crank speed of more than 100 RPM influenced the tapping efficiency because the tapping cylinder was fed by gravity. The work efficiency of Indian gooseberry tapping machine was 100 fruits per minute or an average about 100 kilograms per hour, as equaled about 6 skilled workers.

Keywords: Indian gooseberry (*Phyllanthus emblica*) tapping machine, preserved Indian gooseberry, crank mechanism, preservation, performance of tapping machine

¹ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

* Corresponding author. E-mail: nutts.s@rmutsb.ac.th

Received: May 1, 2020; Revised: June 22, 2020; Accepted: July 3, 2020

บทนำ

ด้วยความหลากหลายในประโยชน์ของมะขามป้อม (Indian gooseberry หรือ *Phyllanthus emblica*) เราสามารถพบเห็นผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากมะขามป้อมในปัจจุบันที่เป็นทั้งสินค้าอุปโภคและบริโภค สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้สำหรับการบริโภคนั้นส่วนใหญ่มีฐานการผลิตมาจากครัวเรือนหรือชุมชนที่มีวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมที่ใช้เวลาในการผลิตมาก ซึ่งในปัจจุบันมีความนิยมบริโภคมะขามป้อมแปรรูปเพื่อสุขภาพกันมากขึ้นจึงต้องมีการมวธีในการผลิตสมัยใหม่หรือเครื่องจักรต่างๆ ที่ช่วยให้มีกำลังการผลิตสูงขึ้น มะขามป้อมเข้ามเป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีความนิยม แต่ในกระบวนการผลิตนั้นใช้เวลามากทั้งในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ การดองและการเชื่อม โดยกลุ่มผู้ผลิตพบว่า การสร้างผลหรือรอยกรีดบนผิวของผลมะขามป้อมจะช่วยให้ระยะเวลาของกระบวนการผลิตทั้งหมดลดลง จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมผลผลิตผลทางการเกษตรเพื่อการแปรรูปพบว่าการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีหรือนวัตกรรมต่างๆ มากมาย ดังเช่น Yamfang, Boonwan, Preamjai, Sukchana, & Kuptasa (2017) ได้วิจัยออกแบบสร้างการพัฒนาเครื่องผ่าผลหมากสด กิ่งอัตโนมัติโดยใช้หลักการให้มีดอยู่กับที่และใช้ระบบกลไกดันผลหมากเข้าหาเม็ดได้อย่างต่อเนื่องเฉลี่ยประมาณ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งเร็วกว่าคนประมาณ 10 เท่า หรือมีสมรรถนะในการทำงานของเครื่องเท่ากับคนประมาณ 10 คนนั่นเอง Thanpomsri (2010) ได้ประดิษฐ์เครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบ 2 หัวคว้าน โดยใช้ชุดจานหมุนพาผลลำไยที่ป้อนด้วยมือเข้าสู่ชุดกลไกคว้านเพื่อแยกเมล็ดและเนื้อออกจากกัน ซึ่งเครื่องมีกำลังการผลิตเฉลี่ย 30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ทั้งนี้เครื่องมีสมรรถนะ

มากกว่าคนประมาณ 8 เท่า Noonum (2016) พัฒนาเครื่องปอกเปลือกเผือกโดยอาศัยหลักการปอกเลียนแบบการทำงานจากคน โดยมีชุดจับเผือกให้หมุนและใช้มือควบคุมระยะของมีดตามรูปร่างของเผือกทำให้มีความปลอดภัยและไม่ระคายเคืองสำหรับคนที่มีอาการแพ้ ซึ่งสามารถช่วยให้ทำงานได้เร็วขึ้นเป็น 2 เท่าของการปอกด้วยมือและมีดเพียงอย่างเดียว Kuson, Terdwongworakul, & Jarimopat (2010) ศึกษาพัฒนาเครื่องผ่าผลทุเรียนเพื่อการบริโภคผลสดโดยใช้กลไกคันโยกเพื่อกดและฉีกผลทุเรียนให้แยกออกจากเปลือกและเพิ่มความปลอดภัยตอนผ่าแยกพูออกจากกัน ต่อจากนั้นก็ใช้มีดผ่าเพื่อนำเอาเนื้อออกจากเปลือกตามปกติซึ่งใช้เวลาโดยรวมใกล้เคียงกับการผ่าแบบปกติแต่สามารถเพิ่มความปลอดภัยและลดแรงในการผ่าขั้นตอนแรกได้เป็นอย่างดี Tiddaram, Treeamnuak, & Treeamnuak (2020) ได้พัฒนาเครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้กระบอกลูกสูบลมเป็นต้นกำลังและควบคุมการทำงานด้วย PLC ลักษณะการคว้านเป็นมีดทรงกระบอกลัดผ่านผลเงาะเพื่อให้เมล็ดหลุดออกจากผล ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ โดยมีกำลังการผลิตเฉลี่ย 17 กิโลกรัมต่อชั่วโมง Kalasee (2011) ศึกษาและออกแบบเครื่องผ่าปลาต้นแบบเพื่อการแปรรูปในชุมชนและอุตสาหกรรมขนาดเล็กโดยใช้หลักการให้วัสดุเคลื่อนที่ผ่านมีดผลการทดสอบต้นแบบพบว่าสามารถใช้งานได้ดี มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเนื้อปลาน้อยและมีกำลังการผลิตเฉลี่ยประมาณ 240 กิโลกรัมต่อชั่วโมง Pathaveerat, Tippayarat, & Jantra (2013) ได้ทดสอบวิธีการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนให้มีรูปทรง 5 เหลี่ยมโดยใช้กลไกใบมีดชักไป-กลับ พบว่ามีกำลังการผลิต

เฉลี่ยประมาณ 20 ผลต่อชั่วโมง Sangsawang (2017) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้ง โดยใช้ชุดลูกกลิ้งขบเปลือกของเมล็ดบัวด้วยความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที พบว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ 3.18 กิโลกรัมต่อชั่วโมง Nuchangsing, & Maneesaeng (2016) ได้พัฒนาเครื่องแยกเมล็ดออกจากเนื้อมะขามหวาน โดยใช้เครื่องกรีดมะขามที่จับวางบนฐาน ใบมีดกรีดเป็นทางยาว เครื่องจักรควบคุมโดยใช้ชุดมือหมุน สามารถกรีดซ้ำได้ เมื่อเป็นรอยพอที่จะแยกนำเนื้อมะขามออกจึงหยุดเครื่อง พบว่ากำลังการผลิตที่ขนาดมะขาม 25 ผลต่อกิโลกรัม ผลิตได้ 8.57 กิโลกรัมต่อชั่วโมง Muangdee (2010) ได้พัฒนาเครื่องผ่าผลปาล์มแบบไฟฟ้า โดยใช้ใบเลื่อยเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.50 นิ้ว จำนวนฟัน 60 ฟัน ความหนาฟัน 2 มิลลิเมตร เป็นขนาดเลื่อยที่ดีที่สุด สามารถผ่าผลปาล์มได้เฉลี่ย 837 ผลต่อชั่วโมง ใช้พลังงานเฉลี่ย 0.01 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง Kongsin (2019) ได้ศึกษาระบบควบคุมปริมาณน้ำให้พืชระยะต้นด้วยโครงข่ายประสาทเทียม สามารถลดปริมาณการใช้น้ำในการปลูกผักคะน้าได้จริงถึงสัปดาห์ละ 53.78 ลิตรต่อสัปดาห์ในเดือนพฤษภาคม และ 51.54 ลิตรต่อสัปดาห์ในเดือนมิถุนายน โดยที่คะแนนยังเติบโตได้ปกติ

จากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการประยุกต์ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อช่วยในการผลิตนั้นสามารถเพิ่มผลผลิตได้ด้วยหลักการที่แตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบ ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตทางด้านแรงงานและพลังงานได้เป็นอย่างดี สำหรับการวิจัยการสร้างและทดสอบสมรรถนะเครื่องกรีดมะขามป้อมด้วยกลไกข้อเหวี่ยงครั้งนี้ เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตในการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการเชื่อม

แทนการกรีดด้วยมือซึ่งจะสามารถลดต้นทุนในการผลิตและรองรับผลผลิตมะขามป้อมที่มีจำนวนมากในคราวเดียวกัน รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกลไกของข้อเหวี่ยงและการป้อนชิ้นงานด้วยแรงโน้มถ่วงแนวเฉียงที่ไม่เกิดการเสียหายต่อผลผลิตโดยสามารถใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาหรือประยุกต์ใช้กับวัสดุชนิดอื่นๆ ได้ต่อไป

วิธีการศึกษา

ในกระบวนการสร้างและทดสอบสมรรถนะเครื่องกรีดมะขามป้อมด้วยกลไกข้อเหวี่ยงนั้นเริ่มจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของมะขามป้อม กระบวนการกรีดเพื่อเตรียมแช่เชื่อมแบบดั้งเดิม แนวคิดเบื้องต้นในการออกแบบ การสร้างเครื่องต้นแบบและการทดสอบ การประเมินต้นทุนในการผลิตด้วยเครื่องจักร

ลักษณะทางกายภาพของมะขามป้อม

การออกแบบสร้างเครื่องกรีดมะขามป้อมเพื่อเป็นการเตรียมวัตถุดิบในการแช่เชื่อมนั้นเป็นการสร้างต้นแบบเพื่อตอบสนองความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนของจังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดใกล้เคียง โดยในเขตอำเภอไทรโยคเพียงอำเภอเดียวมีผลผลิตรวมกันมากกว่า 100 ตันต่อปี มะขามป้อมเป็นผลไม้ตามฤดูกาล ซึ่งจะออกผลผลิตในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนธันวาคม ซึ่งมีปริมาณที่ออกจำนวนมาก เมื่อเกษตรกรขายเป็นผลสดพ่อค้าคนกลางจะรับซื้อในราคาที่ต่ำ ในช่วงผลผลิตออกต้นฤดูกาล ผลขนาด 30 มิลลิเมตรขึ้นไปจะได้ราคา กิโลกรัมละ 40-60 บาท ช่วงกลางฤดูกาลจะได้ราคา กิโลกรัมละ 15-25 บาท เป็นเหตุให้เกษตรกรมีการรวมกลุ่มเกษตรกร ต้องหาทางแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิต การจำหน่ายผลิตภัณฑ์แปรรูปแช่เชื่อม

ราคาประมาณกิโลกรัมละ 100-120 บาท หรืออบแห้งแล้ว จะมีราคากิโลกรัมละ 150-250 บาท ซึ่งสูงกว่าขาย ผลสดเฉลี่ย 10-15 เท่า แต่ด้วยการผลิตที่ใช้แรงงานคน จึงเป็นข้อจำกัดของปริมาณการผลิตและทำให้ต้นทุนสูง ผลมะขามป้อมสดที่เกษตรกรผลิตได้นั้นจะมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 30-36 มิลลิเมตร ซึ่งมีรูปร่าง ค่อนข้างกลมและเมื่อนำมาชั่งน้ำหนักพบว่าโดยเฉลี่ย 1 กิโลกรัมนั้นจะมีผลมะขามป้อมสดเฉลี่ยประมาณ 50-60 ผล ดัง (Figure 1)



Figure 1 Size and weight of fresh Indian gooseberry.

กระบวนการกรีดแบบเดิมและปัญหา

มะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง เป็นวิธีแปรรูป ผลไม้อย่างหนึ่งเพื่อยืดอายุ และเพิ่มมูลค่าให้กับ ผลไม้ โดยการนำผลไม้ไปแช่น้ำเชื่อมปรุงรสที่ ประกอบด้วย น้ำตาล เกลือ จนได้ความหวานตามที่ต้องการ หลังจากนั้นจึงนำผลไม้แช่อิ่มนี้ไปอบให้แห้ง จนเป็นผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง โดยทั่วไปการผลิตผลไม้ แช่อิ่มอบแห้งให้ได้ผลิตภัณฑ์คุณภาพจะต้องแช่ ในน้ำเชื่อมที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำตาลตั้งแต่ 30-70 เปอร์เซ็นต์ (บริกซ์) ขึ้นไปโดยเพิ่มระดับความ เข้มข้นขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งจะได้ผลไม้แช่อิ่มที่ไม่นิ่มหรือ แข็งกระด้างเกินไป แล้วแต่วัตถุดิบ เช่น มะม่วงและ ฝรั่งเริ่มที่ความเข้มข้น 30-60 เปอร์เซ็นต์ กระบวนการ ผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มีกระบวนการ

ที่ใกล้เคียงกันโดยมีหลักการที่สำคัญคือ การนำ น้ำตาลเข้าไปแทนที่น้ำภายในเซลล์ของเนื้อผลไม้ เรียกว่ากระบวนการออสโมซิส (Saengpadsa, 2009) วิธีการในการดึงน้ำออกจากโมเลกุลของอาหาร อาหารที่นิยมนำมาทำวิธีการแบบนี้ส่วนใหญ่เป็น ประเภทที่มีน้ำค่อนข้างสูงและมีสารพวกน้ำตาล แป้ง และสารอื่นๆ รวมอยู่ในสภาพสารละลายเจือจาง เช่น ผัก ผลไม้ โดยที่เปลือกหรือผิวหนังทำหน้าที่ เป็นเยื่อบางๆ ที่ให้โมเลกุลของน้ำไหลผ่าน ทำให้ โมเลกุลของน้ำสามารถลดลงได้ถึงร้อยละ 50-60 ของน้ำหนักเดิม (Ray, 1960; Pointing, Walters, Forney, Jackson, & Stanley, 1966; Rammanuthy, Bongirwar, Bandyopadhyay, 1978) การสร้างรอย บนผิวของมะขามป้อมจึงเป็นวิธีการที่จะทำให้วัตถุดิบ ที่มีรสเปรี้ยว กระบวนการหลักในการลดความเปรี้ยว คือ การแช่น้ำเกลือ หลังจากนั้นจึงล้างน้ำเกลือออก แล้วทำให้ผิวมะขามป้อมคงมีรอยเล็กๆ เพื่อให้ น้ำตาล หรือน้ำเชื่อมเข้าสู่ผลมะขามป้อมได้ดี สอดคล้องกับ Limsuwann, Therathamakron, Poolcharoensil, & Duangnum (2008) ได้วิจัยเรื่อง ภูมิปัญญาการผลิตอาหารแช่อิ่มในภาคกลางตอนบน ได้นำตะลิงปลิงมาดัดซั่วแล้วนำมาคลึงบนกระต่ายเงิน ทำให้ตะลิงปลิงมีรูเล็กๆ เพื่อให้เป็นทางเข้าออกของ เกลือ น้ำตาล และน้ำเข้าสู่ผลตะลิงปลิงได้ดี การทำ ให้ผลมะขามป้อมมีรอยแบบเดิมนั้นใช้วิธีการ สร้างรอยด้วยมีดแบบใช้แรงงานคน ดัง (Figure 2) โดยการใช้มีดกดลงบนผลของมะขามป้อมคง ให้มีรอยประมาณ 5-6 รอย ในเวลา 1 นาที สามารถกรีด ได้เฉลี่ย 10-15 ผลต่อคน ดังนั้นมะขามป้อม 1 กิโลกรัม ทำให้ใช้เวลาเฉลี่ย 4-6 นาทีต่อคน ซึ่งทำให้มีปัญหา

ด้านต่างๆ เช่น ไม่สามารถผลิตได้ทันต่อวัตถุดิบที่มีคราวละมากๆ แรงงานหายากและมีแรงงานเฉพาะผู้สูงอายุเป็นส่วนใหญ่ เกิดอุบัติเหตุมีติดบาดบ่อยครั้ง และก่อให้เกิดผลผลิตขาดความเป็นมาตรฐาน เกิดความเมื่อยล้าและอาการนิ้วล็อก ปัญหาต่างๆ เหล่านี้สามารถแก้ไขได้ด้วยเครื่องจักรที่สามารถลดจำนวนแรงงานประหยัดพลังงาน เพิ่มผลผลิต มีความปลอดภัยลดการปนเปื้อนจากการติดเชื้อและถูกสุขลักษณะ



Figure 2 The original pattern of tapping.

แนวคิดเบื้องต้นในการออกแบบ

แนวคิดในการออกแบบเบื้องต้นดัง (Figure 3) ให้หลักการของวัตถุเคลื่อนที่ในท่อโดยใช้แรงกดจากข้อเหวี่ยง (crank) ผ่านมีด (blade) ที่ยึดอยู่กับที่ในแนวรัศมีของท่อ (cylinder) 5-6 ใบ เพื่อสร้างรอยกรีดบนผิวของผลมะขามป้อมแดง โดยลูกกระทุ้ง (pushrod) จะเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ในแนวตั้งตามจังหวะการหมุนของข้อเหวี่ยงเมื่อส่วนปลายของลูกกระทุ้งยกเปิดช่องทางป้อน (feed way) ผลมะขามป้อมจะเคลื่อนที่ตามช่องทางป้อนด้วยแรงโน้มถ่วงตามท่อที่เอียงเป็นมุม เมื่อลูกกระทุ้งเคลื่อนที่ลงจะปิดช่องทางป้อนและกดผลมะขามป้อมที่เคลื่อนที่เข้ามารอให้ผ่านชุดป้อมมีด (blade set) ที่มีใบมีดติดตั้งอยู่ประมาณ 5-6 ใบ ซึ่งความเร็วในการกรีดจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบที่เหมาะสมจากการทดสอบโดยข้อเหวี่ยงหมุน 1 รอบ จะได้กำกับการผลิตเท่ากับ 1 ผล

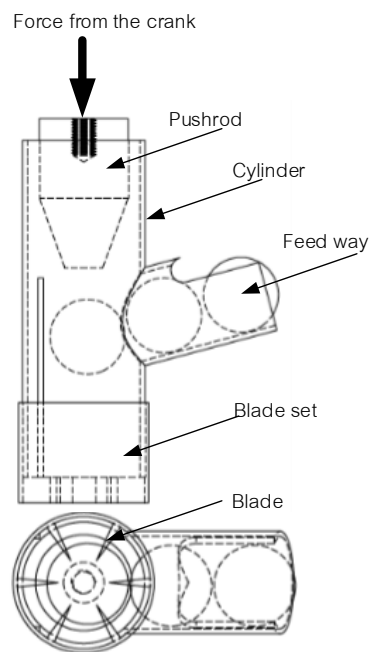


Figure 3 The design concept of a tapping machine.

การคำนวณ

ในการออกแบบสร้างและทดสอบนั้น มีกระบวนการในการคำนวณที่เกี่ยวข้องโดยมีสมการพื้นฐานที่ใช้กันทั่วไป คือการคำนวณหาแรงกด (F , นิวตัน) ด้วยสมการที่ (1) จากนั้นนำแรงกดที่ได้คำนวณหาขนาดของมอเตอร์ (P , วัตต์) ที่ส่งกำลังผ่านกลไกข้อเหวี่ยงด้วยสมการที่ (2) การคำนวณหาเวลาต่อความเร็วรอบข้อเหวี่ยง (t_r , วินาทีต่อรอบ) ด้วยสมการที่ (3) เพื่อหาเวลาที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่แนวเอียงของวัสดุ (t_e , วินาทีต่อผล) จากสมการที่ (4) และสามารถประเมินประสิทธิภาพในการกรีดของเครื่อง (η , %) ได้ด้วยสมการที่ (5) เมื่อทดสอบได้ความเร็วรอบที่เหมาะสมแล้วจะประเมินจุดคุ้มทุน (BEP, กิโลกรัม) ของเครื่องต้นแบบด้วยสมการที่ (6) โดยมีผลต่างของต้นทุนผันแปรรวม (VC_T) ดังสมการที่ (7)

แรงกดบนผลมะขามป้อม

$$F = LtS$$

โดย L คือ ความยาวรอยกรีด (เมตร)
 t คือ ความลึกรอยกรีด (เมตร) (1)
 S คือ ความต้านแรงกดของเนื้อวัตถุ
 (นิวตันต่อตารางเมตร)

ในการออกแบบส่วนี้ไม่สามารถหาค่าความต้านแรงกดของเนื้อมะขามป้อมได้จากตารางมาตรฐาน จึงใช้วิธีทดสอบแรงกดโดยการใช้ดุนน้ำหนักวางบนมีดและได้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 1.20 กิโลกรัมหรือเท่ากับ 11.77 นิวตัน เมื่อแทนค่าในสมการที่ (1) โดยให้ L เท่ากับ 35 มิลลิเมตรหรือ 0.035 เมตร ความลึก t เท่ากับ 10 มิลลิเมตรหรือ 0.01 เมตร จะทำให้ได้ค่าความต้านแรงกด S เท่ากับ 33,628.57 นิวตันต่อตารางเมตร

ขนาดของมอเตอร์

$$P = (2\pi TN)/60$$

โดย T คือ แรงบิดเพล (นิวตันเมตร) (2)
 N คือ ความเร็วรอบใช้งานสูงสุด
 (รอบต่อนาที)

ต้องการออกแบบให้มีรอยกรีดจำนวน 6 รอย จะต้องใช้แรงในการกรีดอย่างน้อยเท่ากับ $6 \times 11.77 = 70.32$ นิวตัน โดยกำหนดให้รัศมีของข้อเหวี่ยงเท่ากับ 80 มิลลิเมตรหรือ 0.08 เมตร ความเร็วรอบทำงานสูงสุดเท่ากับ 200 รอบต่อนาที เมื่อแทนค่าในสมการที่ (2) จะได้ P เท่ากับ 117.76 วัตต์ (เลือกใช้มอเตอร์ขนาด 250 วัตต์หรือ 1/3 แรงม้า)

เวลาในการทำงานของข้อเหวี่ยง

$$t_s = 60/N \quad (3)$$

หาเวลาในการหมุนต่อรอบของเพลข้อเหวี่ยง เมื่อความเร็วรอบในการทำงานสูงสุด 200 รอบต่อนาที จะได้ $60 \text{ วินาที}/200 \text{ รอบ} = 0.30 \text{ วินาทีต่อรอบ}$ และเมื่อทดสอบที่ความเร็วรอบต่ำสุด 40 รอบต่อนาที จะได้เวลาเท่ากับ 1.50 วินาทีต่อรอบ

เวลาในการเคลื่อนที่ของวัสดุแนวเอียง

$$t_L = [(u^2 + 2Xg\sin\theta)^{1/2}]/9.81$$

โดย u คือ ความเร็วต้นของวัตถุ
 (เมตรต่อวินาที) (4)
 X คือ ระยะทางในการเคลื่อนที่ (เมตร)
 θ คือ มุมเอียงของช่องทางป้อน (องศา)

ในการเคลื่อนที่ u จะมีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากเป็นการเคลื่อนที่จากจุดหยุดนิ่ง ระยะทาง X ในการเคลื่อนที่ที่จะเท่ากับขนาดเฉลี่ยของผลมะขามป้อมเท่ากับ 0.035 เมตร เลือกใช้มุมเอียงของช่องทางป้อนวัตถุเป็น 30 องศา เนื่องจากหากใช้มุมมากกว่านี้ปลายท่อทางออกจะมีขนาดใหญ่ตามมุมเอียงทำให้เกิดการขัดกันของผลมะขามป้อมทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงโน้มถ่วง เมื่อแทนค่าในสมการที่ (4) จะได้ t_L เท่ากับ 0.06 วินาที

ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง

$$\eta = (B_G/B_T) \times 100$$

ซึ่ง $B_G = B_T - B_N$
 โดย B_T จำนวนผลที่ทดสอบ (5)
 B_G จำนวนผลที่มีรอยกรีดปกติ
 B_N จำนวนผลที่ฉีกหรือแตก

จุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบ (break even point, BEP)

$$BEP = FC / VC_T \quad (6)$$

$$VC_T = VC_1 - VC_2$$

โดย FC คือ ต้นทุนคงที่ในการสร้างเครื่องต้นแบบ (บาท)

VC_T คือ ผลต่างต้นทุนผันแปรรวม (บาท/กิโลกรัม) (7)

VC_1 คือ ต้นทุนผันแปรรวมของการกรีดด้วยมือ (บาทต่อกิโลกรัม)

VC_2 คือ ต้นทุนผันแปรรวมของการกรีดด้วยเครื่อง (บาทต่อกิโลกรัม)

เครื่องต้นแบบ

การออกแบบเครื่องกรีดผลมะขามป้อมด้วยกลไกข้อเหวี่ยงดัง (Figure 4) มีหลักการการทำงานจะเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติโดยยังคงใช้คนช่วยในการป้อนผลมะขามป้อมให้เข้าช่องทางป้อน ซึ่งเป็นการออกแบบให้สามารถใช้งานง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อนรวมถึงการดูแลและบำรุงรักษาได้ง่ายด้วยผู้ที่ใช้งานเอง ประกอบด้วย 5 ส่วนหลักคือ โครงสร้าง (frame) ระบบส่งกำลัง (power unit) กลไกข้อเหวี่ยง (crank mechanism) ชุดกรีด (blade set) และช่องการป้อนชิ้นงาน (feed way) หลักการทำงานเริ่มจากชุดต้นกำลังซึ่งเป็นมอเตอร์กระแสสลับ 220 โวลต์ ขนาด 250 วัตต์ (1/3 แรงม้า) ส่งกำลังผ่านมูเลย์และสายพานไปยังเกียร์ทดรอบ (reduction gear) โดยรอบใช้งานลดลงเหลือ 200 รอบต่อนาที จะทำให้ข้อเหวี่ยงทำงานที่อัตราเร็วรอบเท่ากับ 200 รอบต่อนาที เช่นกัน เริ่มการกรีดโดยใช้ผลมะขามป้อมตกลงในถาดใส่วัตถุดิบ (raw material tray) เปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงานข้อเหวี่ยงจะพาลูกกระทุ้งเคลื่อนที่เป็นจังหวะจากนั้นผลมะขามป้อมจะสามารถกลิ้งจากถาดลงไปยังช่องทางป้อน เข้าสู่ชุดกรีดได้ด้วย

แรงโน้มถ่วงและการช่วยเหลือเล็กน้อยจากแรงงานคนภายในถาดใส่วัตถุดิบ มะขามป้อมที่กรีดเสร็จแล้วไหลออกทางช่องทางออก (work piece out) กลไกการทำงานของเครื่องไม่ยุ่งยากซับซ้อนสามารถดูแลและบำรุงรักษาได้ง่ายไม่ต้องใช้เทคโนโลยีในการควบคุมทำให้เหมาะกับการใช้งานของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนหรือครัวเรือน

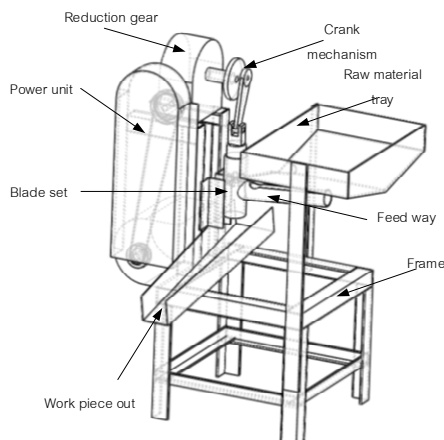


Figure 4 Design of Indian gooseberry tapping machine with crank mechanism.

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ในการทดสอบการทำงานและสมรรถนะของเครื่องต้นแบบหลังจากการสร้างดัง (Figure 5) เพื่อหาจำนวนครั้งในการทำงานหรืออัตราเร็วรอบต่อนาทีของข้อเหวี่ยงที่เหมาะสม โดยการปรับอัตราเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยเครื่องปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (inverters) ให้มีอัตราเร็วรอบในการทดสอบเท่ากับ 40, 60, 80, 100, 120, 140 และ 160 รอบต่อนาที และมีมุมเอียงของช่องทางป้อนวัตถุดิบคงที่เท่ากับ 30 องศา การทดสอบแต่ละครั้งจะใช้ผลมะขามป้อม 1 กิโลกรัม (ประมาณ 50-60 ผล) ซึ่งมีขนาดในช่วง 30-36 มิลลิเมตร (ได้จากเครื่อง

คัตขนาด) โดยทำการทดลองเป็นจำนวน 3 ครั้งต่อ 1 อัตราความเร็วรอบ

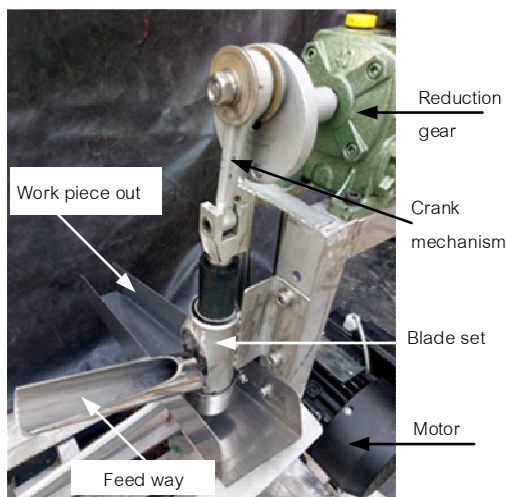


Figure 5 Indian gooseberry tapping machine for performance testing.

ผลการทดสอบด้วยความเร็วรอบต่างกัน

(Figure 6) เป็นลักษณะของผลมะขามป้อมที่กรีดด้วยเครื่องกรีดผลมะขามป้อมต้นแบบ จะเห็นได้ว่าเครื่องกรีดที่สร้างขึ้นสามารถกรีดผลมะขามป้อมให้เป็นรอยได้ตามต้องการทั้งนี้รอยกรีดจะอยู่ในแนวใดก็ได้ดัง (Figure 6a) และมีความลึกมากพอสำหรับการช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการแช่เย็นได้ดัง (Figure 6b) โดยมีบางส่วนเกิดความเสียหายขึ้นดัง (Figure 6c) ซึ่งในกระบวนการแช่เย็นนั้นเป็นรูปร่างที่ไม่สามารถจำหน่ายได้แต่สามารถใช้ในกระบวนการอบแห้งได้ โดยความสัมพันธ์ของความเร็วรอบที่เหมาะสมนั้นมีผลต่อความเสียหายของวัตถุดิบเช่นเดียวกับงานวิจัยเครื่องผ่าผลหมาก (Yamfang, Boonwan, Preamjai, Sukchana, & Kuptasa, 2017) เครื่องคว้านเมล็ดลำไย

(Thanpornsrri, 2010) และเครื่องปอกเปลือกเผือก (Noonum, 2016) ที่พบว่าความเสียหายของชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบในการหมุนของเครื่อง จึงต้องมีการทดสอบเพื่อหาอัตราเร็วรอบทำงานที่เหมาะสมกับวัตถุดิบที่ต่างชนิดกัน

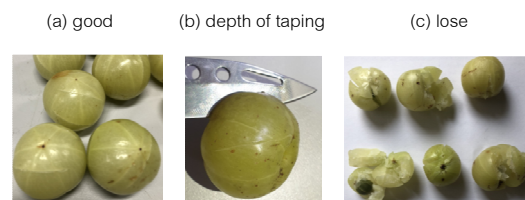


Figure 6 The tapped Indian gooseberry by a tapping machine.

(Figure 7) แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของอัตราเร็วรอบข้อเหวี่ยงต่อประสิทธิภาพในการกรีดของเครื่องโดยพิจารณาผลที่มีรอยกรีดตาม (Figure 6a) นับว่าดี และหากมีรอยฉีกหรือแตกดัง (Figure 6c) นับว่าเสีย ทั้งนี้รอยกรีดจะอยู่ในแนวใดก็ได้ ซึ่งพบว่าเมื่ออัตราเร็วรอบสูงกว่า 100 รอบต่อนาที มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการกรีดตามสมการที่ (5) ลดต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออัตราเร็วรอบเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลจากการเคลื่อนที่ของผลมะขามป้อมจากช่องทางป้อนเข้าสู่ชุดกรีดนั้นเป็นการเคลื่อนที่เข้าด้วยแรงโน้มถ่วงจากน้ำหนักของผลมะขามป้อมเองร่วมกับมุมเอียงของช่องทางป้อนประมาณ 30 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับพื้นระนาบ จึงเป็นข้อจำกัดของความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าของผลมะขามป้อมเช่นเดียวกันกับเครื่องผ่าผลหมากของ Yamfang, Boonwan, Preamjai, Sukchana, & Kuptasa (2017) ที่มีการป้อนด้วยแรงโน้มถ่วงแนวเอียงเหมือนกันสำหรับเครื่องผ่าผลหมาก

นั้นมีการพัฒนาเพิ่มผลผลิตโดยการผ่าครั้งละ 3 ผล และมีระยะเวลาคุ้มทุนเพียง 9 วัน ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผลมะขามป้อมดัง (Figure 6c) นั้นเป็นผลจากการเคลื่อนที่ของผลมะขามป้อมช้ากว่าการเคลื่อนที่ของลูกกระทุ้งของชุดกลไกข้อเหวี่ยง ซึ่งจากผลการทดสอบช่วงอัตราเร็วรอบ 40-100 รอบต่อนาที นั้นไม่สร้างความเสียหายให้แก่ผลมะขามป้อม จึงเลือกใช้อัตราเร็วรอบสูงสุดที่เหมาะสมจากการ

ออกแบบได้เท่ากับ 100 รอบต่อนาที ซึ่งจะใช้เวลาในการกรีดเท่ากับ 36 วินาทีต่อกิโลกรัม เป็นผลให้มีกำลังการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เทียบเท่าแรงงานคนเท่ากับ 6 คนด้วยกัน ถ้าหากมีการเพิ่มจำนวนกระบอกลูกสูบก็จะสามารถเพิ่มผลผลิตและทดแทนแรงงานคนได้มากขึ้นเช่นเดียวกับเครื่องผ่าผลหมากที่สามารถทดแทนแรงงานคนได้ถึง 10 คน

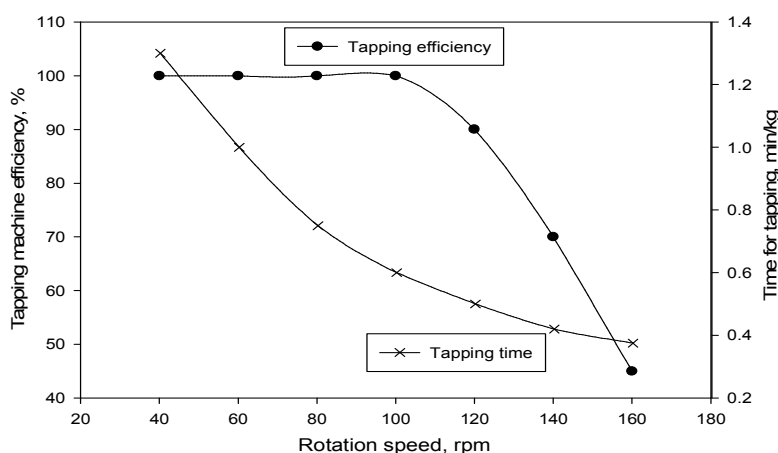


Figure 7 The tapping machine efficiency and tapping time.

กำลังการผลิตและจุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบ

จากผลการศึกษาใน (Figure 7) เลือกใช้อัตราเร็วรอบคงที่เท่ากับ 100 รอบต่อนาที ในการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องเนื่องจากเป็นอัตราเร็วรอบสูงสุดที่ประสิทธิภาพในการกรีดผลมะขามป้อมของเครื่องยังคงได้ 100 เปอร์เซ็นต์ (ไม่มีการฉีกหรือแตกของผลมะขามป้อม) ซึ่งจะใช้เวลาในการกรีดเท่ากับ 36 วินาทีต่อกิโลกรัม ทำให้มีกำลังการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สามารถเปรียบเทียบกำลังการผลิตระหว่างเครื่องจักรกับการกรีดด้วยมือ และจุดคุ้มทุนของ

เครื่องต้นแบบได้ดัง (Table 1) โดยการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างการกรีดด้วยมือ (manual) และการกรีดด้วยเครื่อง (machine) โดยกำหนดให้ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง การกรีดด้วยมือจะสามารถกรีดได้สูงสุดเท่ากับ 120 กิโลกรัม และการกรีดด้วยเครื่องสามารถกรีดได้เท่ากับ 800 กิโลกรัม คิดค่าแรง 300 บาทต่อวัน การกรีดด้วยมือจะมีต้นทุนเท่ากับ 2.50 บาทต่อกิโลกรัม (VC_1) การกรีดด้วยเครื่องมีต้นทุนค่าแรง 300 บาทต่อวัน และค่าไฟฟ้าไม่เกิน 10 บาทต่อวัน (มอเตอร์ขนาด 250 วัตต์ ทำงาน 8 ชั่วโมง ใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 2 กิโลวัตต์ หรือ 2 หน่วย

มิเตอร์) เฉลี่ยเป็นต้นทุนในการกรีดด้วยเครื่องเท่ากับ 0.40 บาทต่อกิโลกรัม (VC_2) ซึ่งจะประหยัดได้มากกว่าการกรีดด้วยมือเท่ากับ 2.10 บาทต่อกิโลกรัม (VC_1) ต้นทุนในการสร้างเครื่องต้นแบบเท่ากับ 45,000 บาท (FC) กำลังการผลิตสำหรับจุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบเท่ากับ 21,428 กิโลกรัม หรือประมาณ 27 วันทำงาน ซึ่งมีระยะเวลาคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบเร็วกว่าเครื่อง

คว้านเมล็ดออกจากเนื้องาของ Pramart, Jaruwat, Rattanasakulthan, & Udompetaikul (2018) ที่มีจุดคุ้มทุนประมาณ 68 วัน และใช้ระบบนิวแมติกส์ในการทำงานจะมีความซับซ้อนในขั้นตอนการทำงานไม่เหมาะแก่การใช้งานทั่วไปสำหรับชุมชน นอกจากนี้ยังคุ้มทุนเร็วกว่าเครื่องปอกเปลือกผลไม้โดยใช้ระบบนิวแมติกส์ของ Thongsroy (2012) ที่มีระยะเวลาคุ้มทุนประมาณ 90 วัน

Table 1 The performance and breakeven point of a prototype tapping machine.

type of working	performance (kg/h)	variable cost (baht/kg)	Diff. cost (baht/kg)	machine cost (baht)	breakeven point (kg)	B.E.P. (day)
manual	15	2.50	-	-	-	-
machine	100	0.40	2.10	45,000	21,428	27

สรุป

การสร้างและทดสอบสมรรถนะเครื่องกรีดผลมะขามป้อมเพื่อเตรียมการแปรรูปเป็นมะขามป้อมแช่อิ่มโดยการออกแบบให้ลูกกระทุ้งเคลื่อนที่แนวตั้งต้นให้ผลมะขามป้อมผ่านมีดที่ติดตั้งในแนวรัศมีบริเวณส่วนปลายของกระบอกล เพื่อให้เกิดจำนวนรอยกรีด 5-6 รอย ตามต้องการ และป้อนผลมะขามป้อมเข้าสู่มีดกรีดด้วยแรงโน้มถ่วงแบบรางเอียงเป็นมุม 30 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบพบว่า กลไกการทำงานแบบข้อเหวี่ยงของเครื่องกรีดผลมะขามป้อมเพื่อเตรียมการแปรรูปเป็นมะขามป้อมแช่อิ่มนั้น สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและสร้างรอยกรีดบนผิวของผลมะขามป้อมได้ตามต้องการด้วยจำนวนใบมีดที่ติดตั้งโดยความเร็วรอบของข้อเหวี่ยงนั้นมีผลโดยตรงกับจำนวนผลผลิตหรือสมรรถนะในการทำงานของเครื่อง ซึ่งพบว่าความเร็วรอบนั้นจะต้องสัมพันธ์กับอัตราการป้อนที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงและการเอียงของรางป้อน

หากความเร็วรอบของข้อเหวี่ยงสูงเกินไปจะส่งผลให้วัตถุดิบเคลื่อนที่เข้าไม่ทันและเกิดการซ้อนกันทำให้เกิดการเสียหายของวัตถุดิบขึ้น ทั้งนี้เครื่องกรีดผลมะขามป้อมที่สร้างขึ้นมีสมรรถนะหรือกำลังการผลิตเฉลี่ย 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ด้วยอัตราเร็วรอบข้อเหวี่ยงที่เหมาะสมกับรูปแบบการป้อนด้วยแรงโน้มถ่วงเท่ากับ 100 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นกำลังการผลิตที่สูงกว่าการกรีดด้วยมือแบบเดิมประมาณ 6.60 เท่า เมื่อวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบด้วยกำลังการผลิตที่สามารถทำได้ใน 8 ชั่วโมงต่อวัน จะได้จุดคุ้มทุนเมื่อใช้เครื่องประมาณ 27 วันทำงาน โดยจะสามารถกรีดผลมะขามป้อมได้ 21,428 กิโลกรัม นอกจากนี้ในการทดลองพบว่าการเอียงของมุมป้อนด้วยแรงโน้มถ่วงมีข้อจำกัดของความเร็วที่มีผลต่อการผลิตและประสิทธิภาพในการกรีดของเครื่อง การจะเพิ่มผลผลิตได้นั้นสามารถที่จะปรับปรุงมุมในการป้อนขึ้นงานให้สูงขึ้นเพื่อเพิ่มความเร็วใน

การป้อนหรือปรับการป้อนให้อยู่แนวตั้งและชุดกรีดให้อยู่แนวนอนซึ่งคาดว่าจะอัตราการป้อนจะเร็วขึ้นและสามารถเพิ่มความเร็วของข้อเหวี่ยงให้สูงขึ้นได้ รวมทั้งการเพิ่มจำนวนกระบอกลูกสูบหรือชุดกรีด จะเป็นผลให้สามารถทดแทนแรงงานได้ 6 คนต่อจำนวนกระบอกลูกสูบที่เพิ่มขึ้นเพียง 1 กระบอก นอกจากเครื่องจักรจะสามารถช่วยลดต้นทุนและแรงงานคนแล้วจากการทดสอบแรงกดบนผลมะขามป้อมพบว่าเนื้อมะขามป้อมมีความต้านแรงกดเฉลี่ย 33,628.57 นิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณออกแบบสิ่งประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้องกับมะขามป้อมต่อไปและยังพบอีกว่าความเร็วในการป้อนชิ้นงานจะต้องสัมพันธ์กับช่วงเวลาในการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของลูกกระทุ้งจากขึ้นสุดเป็นเริ่มเคลื่อนที่ลง

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สป.อว.) สำนักงานส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยี ซึ่งเป็นผู้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่ชุมชนโครงการพัฒนาและยกระดับสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ ด้วยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม พื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Kalasee, W. (2011). The study and design of fish cutting machine. In *Proceedings of The 25th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand* (pp. AMM12). Krabi: Kasetsart University. (in Thai)

- Kongsin, W. (2019). Study of water content control systems for short-lived vegetables using neural networks. *RMUTSB Academic Journal*, 7(1), 40-51. (in Thai)
- Kuson, P., Terdwongworakul, A., & Jarimopat, B. (2010). Development of durian dehusking machine for fresh consumption. *Kasetsart Engineering Journal*, 23(71), 12-23. (in Thai)
- Limsuwann, T., Therathamakron, S., Poolcharoensil, N., & Duangnum, S. (2008). Local wisdom in the production of food products preserved by sugar in the upper central region. In *Proceedings of 46th Kasetsart University Annual Conference: Education, Humanities and Social Sciences, Economics and Business Administration, Agricultural Extension and Home Economics* (pp. 630-637). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Muangdee, N. (2010). *Electrical palm fruit cutting machine* (research report). Surat Thani: Faculty of Science and Industrial Technology, Prince of Songkla University, Surat Thani Campus. (in Thai)
- Noonum, S. (2016). *Development of a taro peeler* (Master's thesis). Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani. (in Thai)
- Nuchangsing, W., & Maneesaeng, T. (2016). Development of seed separating tamarind machine. In *Proceedings of The 16th Graduate Studies of Northern Rajabhat University Network Conference* (pp. 1454-1462). Phetchabun: Phetchabun Rajabhat University. (in Thai)
- Pathaveerat, S., Tippayarat, C., & Jantra, C. (2013). Design and development of a young coconut trimming machine using reciprocating knife. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, 19(1), 38-42. (in Thai)

- Pointing, J. D., Walters, G. G., Forney, R. R., Jackson, R., & Stanley, W. L. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Tech*, 20(10), 125-130.
- Pramart, K., Jaruwat, P., Rattanasakulthan, C., & Udompetaikul, V. (2018). *Research and development on rambutan pitting machine* (research report). Chanthauri: Department of Agriculture. (in Thai)
- Rammanuthy, M. S., Bongirwar, D. R., & Bandyopadhyay, C. (1978). Osmotic dehydration of fruits. *Indian Food Packer*, 32, 108-111.
- Ray, P. M. (1960). On the theory of osmotic water movement. *Plant-phys*, 35(6), 783.
- Saengpadsa, W. (2009). *Optimization of the osmotic dehydration of Mangos (Mangifera indica Linn.) using bisulfite substituted compounds and humectants* (Master's thesis). Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)
- Sangsawang, S. (2017). *Design and development of a dried lotus seed sheller* (Master's thesis). Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani. (in Thai)
- Thanpornsr, K. (2010). *Two head automatic longan seed pulling machine* (invention). Rajamanagala University of Technology Lanna, Chiang Mai. (in Thai)
- Thongsroy, B. (2012). *Design and fabrication of fruit peeling machine using pneumatics system* (Master's thesis). King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. (in Thai)
- Tidtaram, A., Treeamnuk, K., & Treeamnuk, T. (2020). Development of semi-automatic rambutan peeling and seed removing machine. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, 26(1), 1-8. (in Thai)
- Yamfang, M., Boonwan, C., Preamjai, N., Sukchana, T., & Kuptasa, M. (2017). Development of the fresh betel nut splitter with a semi-automatic operation for the betel nut processing. *Area Based Development Research Journal*, 9(6), 420-429. (in Thai)