

การพัฒนาเครื่องกรีตผลมะขามป้อมแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยระบบนิวเมติกส์

ณัฐ สิริวรรณานนท์¹ และธนาพล สุขชนะ^{2*}

thanaphols@rmutsb.ac.th¹, ton0019@hotmail.com^{2*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Received : 23-Mar-2021
Revised : 23-Apr-2021
Accepted : 28-Apr-2021

บทคัดย่อ

การกรีตมะขามป้อมให้เป็นรายนั้นเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการผลิตมะขามป้อมแช่อิ่ม การทำงานแบบเดิมนั้นใช้มีดกดลงบนผลมะขามป้อมจนมีรอย 5-6 รอยตามต้องการ ซึ่งรอยกรีตที่เกิดขึ้นบนผลมะขามป้อมจะสามารถลดระยะเวลาของกระบวนการแช่อิ่มได้ 30-50% เครื่องกรีตแบบกึ่งอัตโนมัติเป็นการออกแบบและสร้างผสมผสานระหว่างการทำงานแบบกลไกร่วมกับระบบนิวเมติกส์ที่สามารถควบคุมให้ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยใช้ลูกกระทุ้งดันผลมะขามป้อมให้ผ่านมีดที่ติดตั้งบริเวณทางออกในแนวรัศมีจำนวน 6 ใบ ตามจังหวะการทำงานของก้านสูบที่สามารถปรับความเร็วได้ด้วยวาล์วปรับอัตราการไหลของลม และการหน่วงเวลาด้วย PLC ในขณะที่ผลมะขามป้อมจะสามารถเคลื่อนที่ด้วยแรงโน้มถ่วงเข้าแทนที่ผลเดิมที่ถูกดันออกไปในจังหวะที่ลูกกระทุ้งเคลื่อนที่กลับ ผลการทดลองพบว่าเครื่องกรีตผลมะขามป้อมกึ่งอัตโนมัติมีกำลังการผลิตทดแทนการกรีตด้วยวิธีใช้มือกดผ่านแท่นมีดได้ประมาณ 6 คน โดยความเร็วของลูกกระทุ้งที่สัมพันธ์กับการป้อนด้วยแรงโน้มถ่วงได้สูงสุดเฉลี่ย 150 ครั้ง/นาที โดยไม่สร้างความเสียหายต่อผลมะขามป้อม ซึ่งจะได้อัตรากำลังการผลิตเฉลี่ย 150 กก./ชม. และมีระยะเวลาคืนทุนของเครื่องต้นแบบ 37 วัน

คำสำคัญ: มะขามป้อม เครื่องกรีต ระบบนิวเมติกส์ ระบบอัตโนมัติ การแช่อิ่ม

Development of a Sami-Automatic Phyllanthus Emblica Tapping Machine with Pneumatic System

Natt Siriwattananon¹ and Thanaphol Sukchana^{2*}
thanaphols@rmutsb.ac.th¹, ton0019@hotmail.com^{2*}

¹ Department of Teacher Training in Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Received	: 23-Mar-2021
Revised	: 23-Apr-2021
Accepted	: 28-Apr-2021

Abstract

The tapping on the surface of the phyllanthus emblica is one of the steps in the crystallized production process. The conventional operation is to use a knife to press down on the fruit for desired 5–6 marks. Tapping on the phyllanthus emblica surface can reduce the time of the crystallized process about 30 to 50%. The semi-automatic tapping machine is a design that combines a mechanism with a controllable pneumatic system which can be controlled to work continuously. A push-rod to push the phyllanthus emblica through six knives are installed in the radial outlet according to the working stroke of the connecting rod. Which can be speed adjusted by air flow adjustment valve and time delay by PLC. The phyllanthus emblica will move down by gravity to replace the original that was pushed away when the push-rod moves back. The results showed that the semi-automatic machine had the capacity more than the tapping method by handing pressing through the knife platform, approximately six people. The push-rod speed relative to the gravitational feed was averaging 150 times per minute without damaging of phyllanthus emblica. Which will get an average production capacity of 150 kg per hour and the break-even point of the prototype tapping machine about 37 days.

Keywords: phyllanthus emblica, tapping machine, pneumatic system, automatic, crystallized

1. บทนำ

มะขามป้อมนับเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งจะสามารถพบเห็นผลิตภัณฑ์จากมะขามป้อมและการแปรรูปเป็นสินค้าต่างๆ ทั้งอุปโภคและบริโภค ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการบริโภคนั้นมักมีกระบวนการในการผลิตหลายขั้นตอนและใช้เวลาในกระบวนการรวมทั้งกำลังการผลิตต่อแรงงานที่ใช้ต่ำเนื่องจากเป็นการผลิตในรูปแบบครัวเรือนหรือกลุ่มชุมชน โดยกระบวนการผลิตนั้นเป็นแบบวิถีดั้งเดิม การผลิตสินค้าจากผลิตผลทางการเกษตรนั้นโดยส่วนใหญ่แล้วมักจะต้องมีขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนการแปรรูป ในการผลิตแบบวิถีดั้งเดิมนั้นมักใช้แรงงานคนในการเตรียมวัตถุดิบซึ่งต้องใช้แรงงานและเวลามาก การใช้เครื่องจักรในกระบวนการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรนั้นจะสามารถช่วยลดเวลา แรงงาน และต้นทุนในการผลิต แต่ช่วยเพิ่มด้านคุณภาพ กำลังในการผลิต มีความสะอาด และมีความปลอดภัย ดังเช่นผลงานวิจัยพัฒนาเครื่องเตรียมวัตถุดิบทางการเกษตรที่เป็นระบบกลไก [1] ได้พัฒนาเครื่องผ่าผลหมากสดแบบกึ่งอัตโนมัติแบบกลไกโดยมีกำลังการผลิตเทียบได้กับแรงงานคนประมาณ 8-10 คน [2] ศึกษาพัฒนาเครื่องปอกเปลือกโดยใช้หลักการหมุนของชิ้นงานอยู่บนแกนคงที่และปอกโดยการใช้มีดควบคุมระยะของมีดเพื่อให้สามารถปอกได้ตามรูปร่างของเปลือกช่วยให้การทำงานเร็วขึ้นเป็น 2 เท่า [3] ได้ประดิษฐ์เครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบกลไกโดยใช้ชุดจานหมุนพาผลลำไยเข้าชุดกลไกคว้านแล้วกระทุ้งเอาเมล็ดออก โดยมีสมรรถนะเท่ากับการใช้แรงงานจำนวน 8 คน ต่อมามีการพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดมะขามหวาน [4] โดยใช้หลักการให้ชิ้นงานอยู่กับที่แล้วมีกรีดเคลื่อนที่ พบว่ามีกำลังการผลิตเฉลี่ย 8.57 กก./ชม. [5] ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้ง โดยใช้แรงกดจากชุดลูกกลิ้งสามารถกะเทาะเมล็ดบัวหลวงแห้งได้ นอกจากนี้ผลงานวิจัยพัฒนาเครื่องจักรที่เป็นระบบกึ่งอัตโนมัติได้มีผู้วิจัยกันอย่างต่อเนื่องดังเช่น [6] ได้ออกแบบและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องบรรจุ น้ำพริกน้ำเงี้ยว โดยใช้สัญญาณจากเครื่องชั่งแบบตัวเลขในการโปรแกรมควบคุมการหมุนของมอเตอร์เพื่อควบคุมปริมาณของน้ำพริกที่บรรจุ [7] ทดสอบโดยการติดตั้งระบบควบคุมกึ่งอัตโนมัติพีซี ลอจิกเพื่อควบคุมการเติมผงสมุนไพรให้เครื่องผลิตสมุนไพรขนาดเล็กได้อย่างแม่นยำ [8] พัฒนาเครื่องกวนเนื้อมังคุดชนิดควบคุมอุณหภูมิ

กึ่งอัตโนมัติ โดยใช้การตรวจจับอุณหภูมิควบคุมปริมาณการจ่ายแก๊สของเตา [9] ได้พัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้ PLC ในการควบคุมการทำงานของกระบอกสูบ ลักษณะการทำงานเป็นแบบชิ้นงานอยู่กับที่และคมตัดเคลื่อนที่ด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติโดยมีกำลังการผลิตเฉลี่ย 17 กก./ชม. สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกรีดผลมะขามป้อมนั้นพบว่า [10] ได้สร้างและทดสอบสมรรถนะของเครื่องกรีดผลมะขามป้อมแบบกลไกข้อเหวี่ยงโดยมีอัตรากำลังการผลิตเฉลี่ยถึง 100 กก./ชม.ซึ่งยังมีข้อจำกัดของกำลังการผลิตจากการเคลื่อนที่ในแนวเอียงของผลมะขามป้อม

จากผลงานวิจัยในการเตรียมวัตถุดิบทางการเกษตรที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าเครื่องจักรต่างๆ มีการออกแบบและสร้างเครื่องจักรโดยประยุกต์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หลักการทางเทคนิคและประสบการณ์ช่วยในการออกแบบและสร้างเนื่องจากลักษณะรูปร่างและรูปทรงของวัตถุดิบทางการเกษตรแต่ละชนิดนั้นมีความแตกต่างกัน ซึ่งวิธีการสร้างรอยกรีดแบบดั้งเดิมนั้นมีข้อจำกัด ทั้งด้านกำลังการผลิตและปัญหาด้านการขาดแคลนแรงงาน ซึ่งแรงงานที่มีส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุเกิดอุบัติเหตุในการทำงานบ่อยครั้ง มีอาการเมื่อยล้าและอาการนิ้วล็อก เป็นต้น งานวิจัยนี้เป็นการสร้างและการพัฒนาเครื่องกรีดผลมะขามป้อมแบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้ระบบลมอัดหรือนิวเมติกส์ เพื่อเพิ่มกำลังการผลิต ปลอดภัย ประหยัดพลังงาน และลดแรงงานคน ผลผลิตถูกสุขลักษณะตามมาตรฐานการผลิตอาหาร

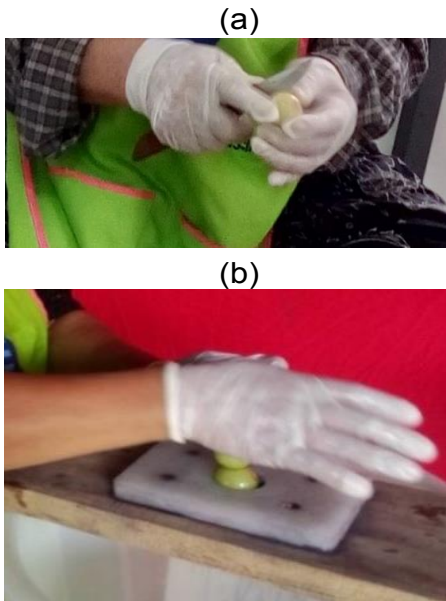
2. ขั้นตอนและวิธีการออกแบบ

2.1 วิธีการกรีดแบบเดิม

ในกระบวนการทำแช่อิ่มผลไม้ นั้นเป็นกระบวนการนำน้ำตาลเข้าไปแทนที่น้ำภายในเซลล์ของเนื้อผลไม้ เรียกว่ากระบวนการออสโมซิส [11] การแช่อิ่มผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว กระบวนการในการลดความเปรี้ยว คือการแช่น้ำเกลือแล้วทำให้ผิวมีรอยเล็ๆ จะเป็นผลให้น้ำ น้ำตาลหรือเกลือออสโมซิสเข้าสู่เซลล์ของเนื้อของผลไม้ได้รวดเร็วขึ้นสามารถลดระยะเวลาในการแช่อิ่มลงได้ [12] จากการศึกษาการแปรรูปมะขามป้อมแช่อิ่มพบวิธีการที่นิยมใช้เพื่อทำให้เกิดรอยบนผลมะขามป้อม 2 วิธีดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นการใช้คมมีดกดลงบนผิวของผลมะขามป้อมโดยผู้ที่มีความ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏวชิรสุพรรณบุรี 27

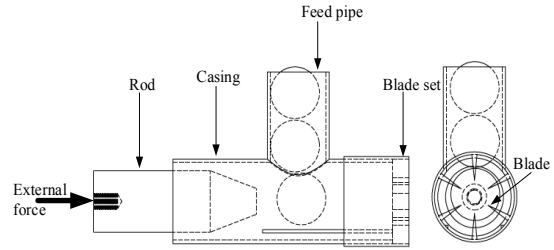
ชำนาญ (a) ซึ่งจะสามารถกรีดได้เฉลี่ย 10–15 กก./ชม./คน และอีกหนึ่งวิธีคือ (b) ติดตั้งใบมีดแล้วกดผลมะขามป้อมด้วยมือให้ผ่านชุดแท่นมีดซึ่งจะสามารถกรีดได้เฉลี่ยประมาณ 20–25 กก./ชม./คน ซึ่งประสบปัญหาทั้งด้านแรงงาน กำลังการผลิต ความปลอดภัย และความมีมาตรฐานในการผลิตอาหาร



รูปที่ 1 วิธีการกรีดของกลุ่มแปรรูปมะขามป้อมแช่อิ่ม

2.2 การออกแบบกลไกการกรีด

แนวคิดในการออกแบบชุดกระบอกสำหรับสร้างรอยกรีด ดังรูปที่ 2 อาศัยการเคลื่อนที่ของวัสดุเริ่มต้นด้วยแรงกระทำจากกระบอกสูบลม (External force) ผ่านลูกกระทุ้ง (Rod) โดยส่วนปลายของลูกกระทุ้งจะมีลักษณะเป็นหลุมผิวโค้งเพื่อใช้บังคับให้ผลมะขามป้อมให้อยู่ตรงกลางชุดกรีดได้ในแนวนอนเมื่อสัมผัสกับมีด ลูกกระทุ้งจะถูกบังคับทิศทางด้วยตัวเรือน (Casing) และดันให้ผลมะขามป้อมผ่านชุดใบมีด (Blade set) ที่มีใบมีด (Blade) จำนวน 6 ใบติดตั้งในแนวรัศมีที่ระดับความสูงเดียวกัน ซึ่งเป็นการทำงานในแนวนอนและป้อนมะขามป้อมเคลื่อนที่เข้าในแนวตั้งด้วยแรงโน้มถ่วงลงมาตามท่อป้อน (Feed pipe) ซึ่งจะสามารถช่วยแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ในแนวเอียงของผลมะขามป้อมที่เกิดการติดขัดระหว่างการทำงานของ [10] ได้ โดยลูกกระทุ้งจะทำหน้าที่เป็นวาล์วปิด-เปิดเพื่อให้ผลมะขามป้อมเคลื่อนที่ลงมาในตัวเรือนตามจังหวะการชักของลูกกระทุ้งที่ถูกดันและดึงด้วยก้านสูบของกระบอกลม



รูปที่ 2 โดอะแกรมกลไกการกรีดและชุดมีด

2.3 การคำนวณออกแบบ

กระบวนการในการออกแบบโดยศึกษาวิธีการกรีดแบบดั้งเดิมเพื่อทดสอบแรงในการกรีดแบบกดผลมะขามป้อมด้วยมือผ่านชุดใบมีดที่มีใบมีดจำนวน 6 ใบ ซึ่งรอยกรีดจะมีความลึกเฉลี่ย 10 มม. จากการทดสอบโดยการใช้ตุ้มน้ำหนักวางบนผลมะขามป้อมในแนวตั้งจนสามารถเคลื่อนที่ผ่านคมมีดได้เหมือนกับใช้มือกดดังรูปที่ 2 (b) ซึ่งจะได้แรงกด (F) เฉลี่ยเท่ากับ 70 นิวตัน [10] จากนั้นคำนวณหาขนาดของกระบอกสูบลม (c) เล็กที่สุดที่สามารถออกแรงทำงานได้ด้วยสมการที่ (1) กำหนดให้ความดันลม (P) ใช้งานต่ำสุดเท่ากับ 4 บาร์ เนื่องจากเป็นความดันต่ำสุดของระบบการตัด-ต่อในการทำงานของปั๊มลมทั่วไป ซึ่งจะช่วยให้อุปกรณ์มีกำลังเพียงพอในการทำงานอย่างต่อเนื่อง แทนค่าในสมการที่ (1) จะได้ขนาดของกระบอกสูบลมเท่ากับ 14.92 มม. จึงเลือกใช้ขนาดกระบอกสูบลมเท่ากับ 25 มม. จากตารางขนาดมาตรฐานของกระบอกลม โดยจะได้ค่าความปลอดภัยในการออกแบบเท่ากับ 1.68 เท่า ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้ดีและสามารถช่วยให้ประหยัดลมอัด พร้อมกันนี้เลือกใช้ระยะชักของก้านสูบเท่ากับ 80 มม. จากนั้นคำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่ออกของก้านสูบ (V) ด้วยสมการที่ (2) ได้ความเร็วออกของก้านสูบเท่ากับ 9.42 ม./วินาที แล้วคำนวณหาเวลา (t_1) ในการเคลื่อนที่ไปและกลับของก้านสูบด้วยสมการที่ (3) เพื่อประเมินสมรรถนะสูงสุดเบื้องต้นของเครื่องกรีดผลมะขามป้อมกึ่งอัตโนมัติได้เวลาในการเคลื่อนที่ออกของก้านสูบเท่ากับ 0.0085 วินาที โดยจะได้เวลาในการเคลื่อนที่ไปและกลับของก้านสูบรวมกันเท่ากับ 0.017 วินาที ทั้งนี้เวลาในการเคลื่อนที่กลับของก้านสูบจริงนั้นจะใช้เวลาน้อยกว่าตอนเคลื่อนที่ออกแต่ในการออกแบบครั้งนี้เลือกใช้เวลาเดียวกันกับตอนเคลื่อนที่ออกซึ่งมากกว่า เพื่อให้ผลมะขามป้อมเคลื่อนที่ด้วยแรงโน้มถ่วงเข้าตำแหน่งของการกรีดได้ทันเวลา นอกจากนี้ จะต้อง

คำนวณหาเวลาในการเคลื่อนที่ของผลมะขามป้อมในแนวตั้ง ด้วยแรงโน้มถ่วง (t_2) ด้วยสมการที่ (4) โดยใช้ระยะทางในแนวตั้ง (y) เท่ากับ 40 มม. ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยขนาดของผลมะขามป้อมที่ใช้ในการทดลองเล็กน้อย เพื่อใช้สำหรับการห้วงเวลาก่อนที่ ลูกกระทุ้งจะเคลื่อนที่ ต้นผลมะขามป้อมผ่านชุดมีด ซึ่งได้เวลาในการเคลื่อนที่เท่ากับ 0.085 วินาที ในการออกแบบจะเลือกใช้การห้วงเวลาน้อยสุดเท่ากับ 0.15 วินาที โดยคำนวณความสามารถในการทำงานของกระบอกสูบลม (N) ได้ด้วยสมการที่ (5) และใช้เวลาในการทำงานต่อ 1 รอบ (Σt) เท่ากับ $0.017+0.15 = 0.167$ วินาที จะได้ความสามารถในการทำงานของกระบอกสูบลมสูงสุดเท่ากับ 359 ครั้ง/นาที หรือมีความสามารถในการกรีดสูงสุดเท่ากับ 359 ผล/นาที หลังจากนั้นจะสามารถหาสมรรถนะการทำงานของเครื่อง (๘) ด้วยสมการที่ (6) โดยจะพิจารณาเลือกใช้งานอัตราเร็วตามความเหมาะสมเพื่อไม่ให้ผลมะขามป้อมเกิดความเสียหายจากการกรีดด้วยเครื่องกรีดแบบกึ่งอัตโนมัติ

$$d = \left[\frac{4F}{\pi \cdot P} \right]^{0.5} \quad (1)$$

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (2)$$

$$t_1 = \frac{s}{v} \quad (3)$$

$$t_2 = \left[\frac{2y}{g} \right]^{0.5} \quad (4)$$

$$N = \frac{60}{\Sigma t} \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{60N}{50} \quad (6)$$

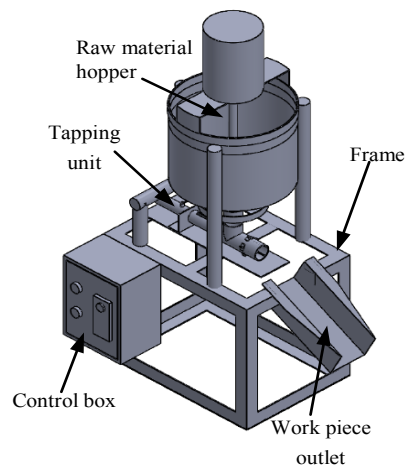
โดย d คือขนาดของกระบอกสูบลม (มม.), F คือแรงกดที่ทำให้ผลมะขามป้อมผ่านชุดใบมีด (นิวตัน), P คือความดันลมใช้งานต่ำสุด (บาร์), v คือความเร็วของก้านสูบ (ม./วินาที), Q คืออัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร/นาที), t_1 คือเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ไปหรือกลับของก้านสูบ (วินาที), s คือระยะชักของก้านสูบ (มม.), t_2 คือเวลาในการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของผลมะขามป้อม (วินาที), y คือระยะทางในการเคลื่อนที่แนวตั้งของผลมะขามป้อม (มม.), g คือความเร่ง

เนื่องจากแรงโน้มถ่วง, N คือจำนวนรอบ (ไป-กลับ) ในการเคลื่อนที่ของก้านสูบ (รอบ/นาที), Σt คือเวลารวมทั้งหมดต่อการเคลื่อนที่ต่อรอบของก้านสูบ (วินาที), ε คือสมรรถนะในการทำงานของเครื่อง (กก./ชม.) โดยใช้ค่าเฉลี่ยมวลของผลมะขามป้อมเท่ากับ 50 ผลต่อกิโลกรัม

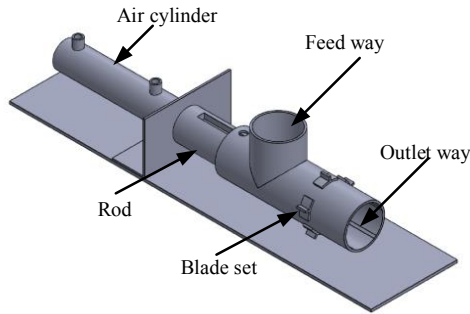
2.4 การสร้างเครื่องต้นแบบและการทดลอง

2.4.1 ลักษณะของเครื่องต้นแบบ

เครื่องกรีดผลมะขามป้อมแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยระบบนิวเมติกส์ (ลมอัด) ดังรูปที่ 3 ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักคือโครง (Frame) ทำด้วยเหล็ก ชุดสำหรับกรีดแนวนอน (Tapping unit) ชุดป้อนวัตถุดิบแนวตั้ง (Raw material hopper) กล่องควบคุมการทำงานของเครื่อง (Control box) และช่องทางออกของวัตถุ (Work piece outlet) ทั้งนี้ชุดสำหรับกรีดแนวนอนมีส่วนประกอบดังรูปที่ 4 โดยใช้กำลังจากกระบอกสูบลม (Air cylinder) ดันและดึง ลูกกระทุ้งให้เคลื่อนที่ในตัวเรือนซึ่งในขณะที่ยกขึ้นสูบลูกกระทุ้งจะเปิดให้ผลมะขามป้อมตกลงมาในตัวเรือนด้วยแรงโน้มถ่วงผ่านช่องทางป้อน (Feed way) จากนั้นก้านสูบจะดันให้ลูกกระทุ้งเคลื่อนที่ออกและดันผลมะขามป้อมให้เคลื่อนที่ผ่านชุดมีด (Blade set) จนถึงช่องทางออก (Outlet way) ในขณะเดียวกันลูกกระทุ้งจะทำหน้าที่ปิดกั้นไม่ให้ผลมะขามป้อมเคลื่อนที่เข้าในตัวเรือนได้จนกว่าลูกกระทุ้งจะเคลื่อนที่กลับเข้าสูบลูกกระทุ้งและห้วงเวลาก่อนที่จะเคลื่อนที่ออกเพื่อให้มั่นใจว่าผลมะขามป้อมเคลื่อนที่เข้าตัวเรือนชุดกรีดแล้ว



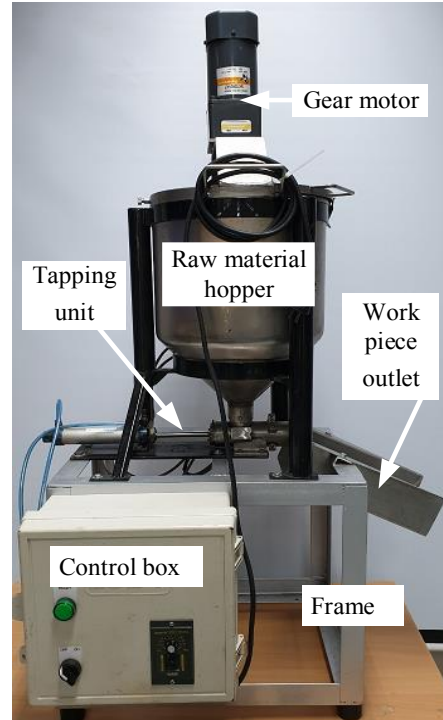
รูปที่ 3 ลักษณะการออกแบบเครื่องกรีดผลมะขามป้อม



รูปที่ 4 ส่วนประกอบของชุดกรีด (Tapping unit)

2.4.2 เครื่องต้นแบบ

จากรูปแบบและลักษณะในการทำงานของเครื่องกรีดผลมะขามป้อมแบบกึ่งอัตโนมัติต้นแบบในหัวข้อ 2.4.1 สามารถสร้างเครื่องต้นแบบได้ดังรูปที่ 5 โดยมีถึงสามารถบรรจุผลมะขามป้อมเป็นวัตถุดิบได้ประมาณ 15 กก. มีใบสำหรับกวนให้ผลมะขามป้อมเกิดการเคลื่อนที่ และไหลเข้าสู่ชุดกรีดแบบไม่ติดขัดด้วยมอเตอร์เกียร์กระแสสลับ 220 โวลต์ ขนาด 50 วัตต์ ตำแหน่งปกติในการทำงานก้านกระทุ้งจะอยู่ในตำแหน่งปิดทางของผลมะขามป้อมที่จะเข้ามายังชุดกรีด เริ่มทำงานโดยการเปิดสวิทซ์ให้มอเตอร์ทำงานก่อนเพื่อไม่ให้เกิดการติดขัดในการเคลื่อนที่เข้าสู่ชุดกรีดของผลมะขามป้อม จากนั้นเปิดสวิทซ์ให้กระบอกสูบลมทำงานก้านกระทุ้งจะถูกดึงกลับจนสุดและเปิดช่องทางให้ผลมะขามป้อมสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ชุดกรีดได้ครั้งละ 1 ผล ก้านกระทุ้งจะถูกหน่วงเวลาก่อนการเคลื่อนที่ออกตามเงื่อนไขการทดลองในหัวข้อที่ 2.4.3



รูปที่ 5 เครื่องต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง

2.4.3 การทดลอง

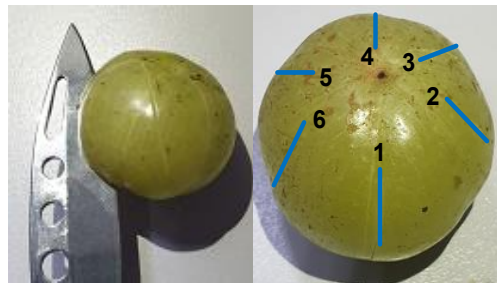
การทดลองนั้นจะเป็นการทดสอบการทำงานในเบื้องต้นและการทดสอบสมรรถนะของเครื่องกรีดโดยกำหนดให้ใช้งานได้กับผลมะขามป้อมสด สายพันธุ์ กจ-55-05 (พันธุ์แม่ลูกดก) [13] ที่มีขนาดเฉลี่ย 30–36 มม. โดยได้จากเครื่องคัดแยกขนาดซึ่งเป็นขนาดที่นิยมบริโภคและมีราคาสูงในท้องตลาดรวมทั้งมีรูปร่างค่อนข้างกลม จากการทดสอบโดยการชั่งพบว่ามือน้ำหนักเฉลี่ย 50 ผลต่อ 1 กก. โดยทำการทดลองครั้งละ 3 กก. ตามเงื่อนไขการหน่วงเวลาก่อนการเคลื่อนที่ออกของก้านสูบดังตารางที่ 1 เพื่อหาความสัมพันธ์ของเวลาการหน่วงเวลากับการเคลื่อนที่ของผลมะขามป้อมที่เหมาะสมโดยไม่เกิดความเสียหายจากการกรีด การหน่วงเวลาจะอยู่ในช่วง 0.15 ถึง 0.50 วินาที ซึ่งสามารถประเมินกำลังการผลิตได้โดยวิธีการคำนวณจะอยู่ในช่วง 139 ถึง 431 กก./ชม. ทำการทดลองตามเงื่อนไขการหน่วงเวลาอย่างละ 3 ครั้งๆ ละ 3 กก. แล้วนำค่าเฉลี่ยของเวลา 3 ครั้ง มาคำนวณเป็นสมรรถนะการทำงานของเครื่องในหน่วย กก./ชม. ด้วยสมการที่ 6 ในการทดลองครั้งนี้กำหนดให้ก้านสูบมีความเร็วคงที่เท่ากับ 9.42 ม./วินาที เนื่องจากใช้ความดันลมคงที่เท่ากับ 4 บาร์ ตามหัวข้อการคำนวณออกแบบ

ตารางที่ 1 การประเมินสมรรถนะโดยการทวนวงเวลา

ทวนวงเวลา (วินาที)	รวมเวลา/รอบ (วินาที)	ผลผลิตจากการ คำนวณ (กก./ชม.)
0.15	0.17	431
0.20	0.22	332
0.25	0.27	270
0.30	0.32	227
0.35	0.37	196
0.40	0.42	173
0.45	0.47	154
0.50	0.52	139

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

จากการทดสอบการทำงานเบื้องต้นพบว่าระบบนิวเมติกส์สามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องกรีตผลมะขามป้อมแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยมีกำลังเพียงพอและปรับแต่งการควบคุมได้ง่ายเช่นเดียวกับ [9, 14] ผลจากการทดลองดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่ามีรอยกรีดจำนวน 6 รอยทุกๆ ผลตามที่ต้องการ และมีความลึกเพียงพอสำหรับช่วยลดระยะเวลาในการดองและแช่อิ่ม ซึ่งรอยกรีดนั้นจะอยู่ในแนวใดก็สามารถใช้งานได้เช่นกัน สำหรับระบบการป้อนวัตถุดิบนั้นพบว่าหากไม่มีการกวนให้เคลื่อนไหวด้วยมอเตอร์เกียร์ เครื่องจะสามารถกรีตได้เพียง 3-5 ผล วัตถุดิบจะเกิดการติดขัดไม่มีการเคลื่อนที่เข้าไปในตำแหน่งที่ต้องการจะกรีต เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแนวรัศมีของผลมะขามป้อมที่มีรูปร่างค่อนข้างกลมและเกิดการกดทับกันบริเวณทางลงจนไม่สามารถเคลื่อนที่ลงได้ตามจังหวะการเคลื่อนที่ของก้านกระทุ้ง และแก้ไขโดยติดตั้งใบกวนให้ทำงานตลอดเวลาจึงจะสามารถช่วยให้ผลมะขามป้อมเคลื่อนที่เรียงแถวลงในแนวตั้งได้โดยไม่ติดขัด เช่นเดียวกับกับเครื่องผ่าผลหมาก [1] ที่ต้องมีใบสำหรับปัดให้ผลหมากเคลื่อนที่ หลังจากทดสอบการทำงานเบื้องต้นแล้วจึงทำการทดลองตามเงื่อนไขการทวนวงเวลาดังตารางที่ 1 โดยการปรับตั้งเวลาการทวนวงลูกระทุ้งด้วยโปรแกรม PLC (Programmable logic Control) และจะคัดเลือกผลมะขามป้อมที่ใช้งานไม่ได้กับใช้งานได้ดังรูปที่ 7 แล้วนำมาคำนวณเป็นประสิทธิภาพและสมรรถนะในการกรีตดังรูปที่ 8

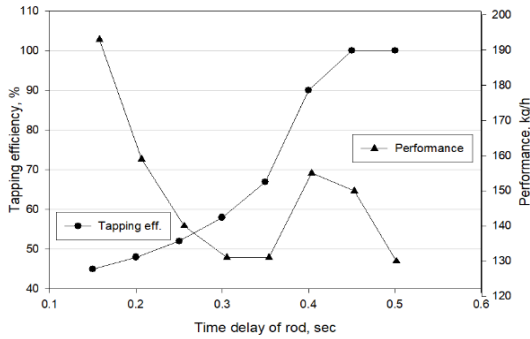


รูปที่ 6 ลักษณะรอยกรีดบนผลมะขามป้อม



รูปที่ 7 ลักษณะรอยกรีดบนผลมะขามป้อมที่ใช้งานไม่ได้และใช้งานได้

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกรีตจะเห็นว่า ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อมีการทวนวงเวลาของก้านกระทุ้งเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่าการทวนวงเวลาที่มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของผลมะขามป้อมด้วยเวลาในการทวนวง 0.4 วินาที จะมีของเสียเฉลี่ย 10% และเมื่อทวนวงเวลาตั้งแต่ 0.45 วินาทีขึ้นไปจะไม่ทำให้มีของเสียจากการกรีตเลย ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาสมรรถนะในการทำงานของเครื่องพบว่า การทวนวงเวลามากขึ้นมีผลต่อสมรรถนะที่ลดลงเนื่องจากเวลาที่มีการทวนวงเพิ่มขึ้นทำให้จำนวนครั้งในการทำงานของก้านกระทุ้งลดลง ทั้งนี้ จากการทดลองควรเลือกใช้การทวนวงเวลาเท่ากับ 0.45 วินาทีจะส่งผลให้ระบบการทำงานของเครื่องมีความสัมพันธ์กันพอดีโดยไม่เกิดของเสียในกระบวนการและมีสมรรถนะเฉลี่ย 150 กก./ชม. ซึ่งสูงกว่าผลงานวิจัย [10] ประมาณ 33% ที่มีการป้อนผลมะขามป้อมในแนวเอียงและมีสมรรถนะเฉลี่ย 100 กก./ชม.



รูปที่ 8 ผลจากการหน่วงเวลาแก่นกระทุ้งต่อประสิทธิภาพ และสมรรถนะในการกรีต

4. การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบ

จากผลการทดสอบเลือกใช้การหน่วงเวลาก่อนการเคลื่อนที่ออกของก้านสูบได้เท่ากับ 0.45 วินาที จะได้อัตรากำลังการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยกำหนดให้ทำงานวันละ 8 ชั่วโมงจะได้กำลังการผลิตเท่ากับ 1,200 กิโลกรัมต่อวัน และมีค่าใช้จ่ายด้านกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 30 บาทต่อวัน (8 ชั่วโมงงาน) ในขณะที่ใช้แรงงานเพียง 1 คน คิดเป็นค่าใช้จ่ายกำลังไฟฟ้ารวมค่าแรงประมาณ 180 บาทต่อวัน หรือคิดเป็น 0.15 บาทต่อกิโลกรัม ในการกรีตด้วยมือ สำหรับผู้มีความชำนาญนั้นจะได้กำลังการผลิตเฉลี่ย 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือ 200 กิโลกรัมต่อวัน โดยคิดค่าแรงงานเฉลี่ย 350 บาทต่อวัน จะเป็นต้นทุนเท่ากับ 1.75 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนเครื่องกรีตกับแรงงานคนจะพบว่าการใช้เครื่องกรีตสามารถลดต้นทุนได้ 1.6 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งต้นทุนในการสร้างและพัฒนาเครื่องต้นแบบเท่ากับ 70,000 บาท จะได้กำลังการผลิตที่เป็นจุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบเท่ากับ 43,750 กิโลกรัม หรือประมาณ 37 วันทำงาน (8 ชั่วโมงต่อวัน) โดยพบว่ามีจุดคุ้มทุนต่ำกว่าเครื่องกรีตมะขามป้อมด้วยกลไกข้อเหวี่ยง [10] ประมาณ 10 วันเนื่องจากมีต้นทุนในการสร้างสูงกว่าในขณะที่เครื่องกรีตผลมะขามป้อมแบบกึ่งอัตโนมัติมีสมรรถนะสูงกว่าการกรีตด้วยกลไกข้อเหวี่ยง

5. สรุปผลการทดลอง

การสร้าง พัฒนา และทดสอบสมรรถนะของเครื่องกรีตผลมะขามป้อมแบบกึ่งอัตโนมัติ ด้วยอุปกรณ์และเงื่อนไขการทำงานที่ใช้ในการออกแบบนั้น ได้อัตรากำลังการผลิต 150 กก./ชม. โดยมีประสิทธิภาพการกรีต 100% ด้วย

การหน่วงเวลาของก้านสูบเท่ากับ 0.45 วินาที และมีกำลังการผลิตสูงกว่าแรงงานคนประมาณ 6-8 เท่า ขึ้นอยู่กับความชำนาญของบุคคลด้วยเครื่องมือแบบดั้งเดิม โดยมีระยะเวลาคืนทุนของเครื่องต้นแบบ 37 วัน เหมาะสำหรับกลุ่มธุรกิจขนาดย่อม (SMEs) และวิสาหกิจชุมชนที่มีการแปรรูปมะขามป้อม ที่ต้องการกำลังในการผลิตสูงหรือขาดแคลนแรงงาน นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนากำลังการผลิตให้สูงขึ้นได้โดยเพิ่มระบบป้อนที่มีประสิทธิภาพสูง จะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้สูงสุดประมาณ 400 กก./ชม. หรือทดแทนแรงงานได้น้อยกว่า 15 คน

6. กิตติกรรมประกาศ

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

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Manop Y, Chakkawan B, Noppom P, Thanaphol S, Manapom K. Development of the fresh betel nut splitter with a semi-automatic operation for the betel nut processing. Area Based Development Research Journal. 2017;9(6):420-9. (in Thai)
- [2] Sakkarin N. Development of a taro peeler. Agricultural Machinery Engineering Thesis. Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani. 2016. (in Thai)
- [3] Kiangkrai T. Two head automatic longan seed pulling machine (Invention). Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai. 2010. (in Thai).

- [4] Wittaya N, Thanapat M. Development of seed separating tamarind machine. Proceedings of the 16th Graduate Studies of Northern Rajabhat University Network Conference. 2016;1454-62. (in Thai).
- [5] Jaturong L, Sunan P, Roongruang K, Surawut S. Development of a dried lotus seed shelle. Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi. 2018;17(2):11-22. (in Thai).
- [6] Niwatchai J, Amnuay K, Worapot S, Peerawat L. The design and development packing machine for increase packing process efficiency of Nam Ngjao Chili. Journal of Innovation Technology Research. 2019;3(1): 68-76. (in Thai)
- [7] Komsan M, Wayakorn U, Kritsana C. Small semi-automatic machine of herbal soap production for community. Rajabhat Rambhai Barni Research Journal. 2017; 11(1):39-45. (in Thai).
- [8] Kritsana C, Komsan M, Sarayut C. Development of mangosteen stirrer machine with semi-automatic temperature controller for Ban Tha sara community enterprise, Thamai district, Chanthaburi province. Rajabhat Rambhai Barni Research Journal. 2018; 12(1):58-67. (in Thai)
- [9] Anusara T, Krawee T, Tawarat T. Development of seme- automatic rambutan peeling and seed removing machine. Thai Society of Agricultural Engineering Journal. 2020;26(1): 1-8. (in Thai)
- [10] Natt S. The construction and performance testing of Indian gooseberry (Phyllanthus emblica) tapping machine with crank mechanism. RMUTSB Acad. J. 2020;8(2): 215-26. (in Thai)
- [11] Wannida S. Optimization of the osmotic dehydration of mangos (*Mangifera indica* Linn.) using bisulfite substituted compounds and humectants. Master of Food Science and Technology Thesis. Naresuan University Phitsanulok. 2009. (in Thai)
- [12] Tasanee L, Supawadee T, Noppamas P, Sunisa D. Local wisdom in the production of food products preserved by sugar in the upper central region. Proceedings of 46th Kasetsart University Annual Conference: Education, Humanities and Social Sciences, Economics and Business Administration, Agricultural Extension and Home Economics Bangkok: Kasetsart University. 2008;630-7. (in Thai)
- [13] Thothong S, Kameesak S, Chalaket J, Eakkapan, A, Aonboon P. Physical characteristics of different varieties of *phyllanthus emblica*. Songklanakarin Journal of Plant Science. 2016; 3 Suppl. (III), M10: 13-22. (in Thai)
- [14] Bundit T. Design and fabrication of fruit peeling machine using pneumatics system. Master of Engineering in Agricultural Engineering Thesis. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok. 2012. (in Thai)