การพัฒนากลไกเด็ดก้านพริกแบบทำงานต่อเนื่อง
The Development of a Continuous Chili Pepper Destemming Mechanism

พชร สวรรค์ตรานนท์ และ ชัยยากร จันทร์สุวรรณ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: psoergz@gmail.com, fengckj@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ตลาดค้าส่งผักผลไม้แห่งหนึ่งมีปริมาณพริกจินดาเข้าสู่ตลาดต่อวันเป็นจำนวนมาก พริกทั้งหมดถูกขายต่อทั้งแบบเด็ดก้านและไม่เด็ดก้าน กรณีเด็ดก้าน ผลพริกจินดาต้องไม่เสียหายและขั้วต้องถูกเด็ดออกหมด ปกติตลาดแห่งนี้ใช้แรงงานคนในการเด็ดก้านพริกจินดา แต่แรงงานคนมีข้อจำกัดคือทำงานได้ช้าและมีปัญหาขาดแคลนแรงงาน ทางออกของปัญหานี้คือการใช้เครื่องจักรที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว แต่ยังไม่มีเครื่องที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ในปัจจุบัน งานวิจัยนี้คิดค้นหลักการเด็ดก้านพริกแบบใหม่ ออกแบบและสร้างกลไกสำหรับการเด็ดก้านพริกจินดาที่มีประสิทธิภาพและทำงานได้อย่างต่อเนื่อง กลไกใช้หลักการ Slider-Crank คู่แบบสมมาตรและลูกเบี้ยวเชิงเส้น เพื่อบีบและดึงก้านพริกที่สอดผ่านรูขอบเอียงของแผ่นเบ้าจนขั้วพริกยึดแน่นบนแผ่นเบ้า ใช้ก้านดันผลพริกเพื่อสร้างโมเมนต์ในทิศตั้งฉากกับแกนผลพริก เพื่อให้ผลพริกหลุดออกจากก้าน จากนั้นได้พัฒนาเพิ่มเติมให้กลไกสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยใช้แผ่นเบ้าประกบคู่บนและล่างแทนแผ่นเบ้าแบบเจาะรูเดี่ยว ใช้แผ่นดัดรูปตัววีติดตั้งบนโซ่ลำเลียง เพื่อนำผลพริกและก้านพริกให้ผ่านเข้าช่องว่างของแผ่นเบ้าบนและล่างสู่กลไกบีบและดึงก้าน ผลการทดสอบกับพริกจินดาที่มีลักษณะทางกายภาพเหมาะสมด้วยความเร็ว 1 2 3 4 และ 5 ผลต่อวินาที พบว่าพริกทั้งหมดถูกเด็ดหลุดออกจากก้าน ผลพริกที่ได้มีคุณภาพดี ร้อยละ 94 94 96 66 และ 30 ตามลำดับ ได้ผลพริกคุณภาพพอใช้ ได้แก่ มีขั้วเหลืออยู่เล็กน้อยหรือผลพริกฉีกขาดเล็กน้อย ร้อยละ 6 6 4 6 และ 6 ตามลำดับ และผลพริกคุณภาพไม่ดี ได้แก่ ผลพริกเสียหายร้ายแรงหรือก้านพริกไม่ถูกเด็ดออกร้อยละ 28 และ 64 ด้วยความเร็ว 4 และ 5 ผลต่อวินาที ตามลำดับ

คำสำคัญ: พริกจินดา, เด็ดก้าน

Abstract

One wholesale greenmarket has a large amount of chili peppers entering the market every day. All chili peppers are for sale either with or without stem. Destemmed chili peppers must be in good conditions namely no major damage of the pod and complete removal of calyx. In general, the market produces destemmed chili peppers manually by workers. This, however, comes with limitations of low throughput and worker shortage. To overcome

these limitations an efficient, high speed destemming machine is required. Unfortunately, such machine does not exist to date. This research invented a new destemming principle, designed and constructed a chili pepper destemming mechanism that operated efficiently and continuously. The mechanism employed symmetric, double slider-crank mechanisms and linear cam for pressing and pulling the stem through a countersink hole, thus firmly held the stem onto the hole. A pusher was used to create moment perpendicular to the pod's axis that separated the pod from its stem. Further development was made to enable a continuous operation of the process. The countersink hole was replaced by two plates with chamfered edges spaced in parallel. A V-shaped bended plate attached on a conveyor chain was used to carry a chili pepper to the destemming mechanism by leading the stem into the space between two chamfered edges. Performance test with properly selected chili peppers at processing speed of 1, 2, 3, 4 and 5 pepper per second showed that the mechanism was able to separate stem from pod for all peppers. Of all 5 speeds, the processed pod showed 94, 94, 96, 66 and 30 percent respectively of good quality results. There were respectively 6, 6, 4, 6 and 6 percent of acceptable quality results, which means a minor damage on pod or a little left behind of calyx. There were 28 and 64 percent major damage respectively in 4 and 5 pepper per second speed cases.

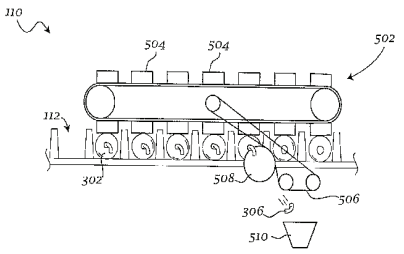
Keywords: Chili pepper, destemming

1. บทนำ

ในประเทศไทย พริกเป็นผักที่นิยมนำมาใช้ประกอบอาหาร พริกมีมากมายหลายชนิด มีรสชาติและความเหมาะสมกับอาหารแตกต่างกันไป พริกจินดาเป็นพริกขี้หนูชนิดหนึ่งที่มีผลใหญ่ยาวกว่าพริกขี้หนูทั่วไป มีรสไม่เผ็ดมาก สีแดงหรือเขียวสด เป็นที่นิยมในการนำมาทำอาหารหลากหลายชนิด เกษตรกรจึงนิยมปลูกกันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ และมีตลาดค้าส่งหลักในกรุงเทพมหานคร ข้อมูลจากตลาดค้าส่งแห่งหนึ่งระบุว่ามีปริมาณพริกจินดาเข้าสู่ตลาดมากที่สุดถึงวันละ 350 ตัน พริกจินดาที่รับเข้ามานั้นถูกแบ่งขายออกเป็นสองประเภท คือ พริกจินดาที่ยังไม่เด็ดก้านและพริกจินดาที่เด็ดก้านแล้ว ซึ่งมีราคาสูงกว่าและเป็นที่ต้องการของผู้ซื้อเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีความต้องการถึงวันละประมาณ 70 ตัน แต่ตลาดสามารถทำได้เพียงวันละประมาณ 30 ตัน โดยทั้งหมดเป็นการใช้แรงงานคนเด็ดก้านพริก แรงงานหนึ่งคนสามารถเด็ดก้านพริกได้มากสุดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อวัน ทำให้มีต้นทุนค่อนข้างสูง และเกิดปัญหาขาดแคลนแรงงานจำนวนมาก จากปัญหาดังกล่าว ทำให้เกิดแนวคิดใน การพัฒนาเครื่องเด็ดก้านพริกที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถเด็ดก้านพริกจินดาให้หลุดออกทั้งหมด ไม่มีขั้วเหลือติดอยู่บนผลพริก ผลพริกไม่เกิดการเสียหาย เช่น มีบางส่วนหลุดติดไปกับก้านพริกหรือผลพริกแตก นอกจากนี้ยังต้องสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาหลักการเด็ดก้านพริกจินดาที่มีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งเหมาะสมสำหรับการพัฒนาต่อยอดเป็นเครื่องจักรที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วต่อไป

2. การศึกษาเครื่องเด็ดก้านพริกแบบต่าง ๆ

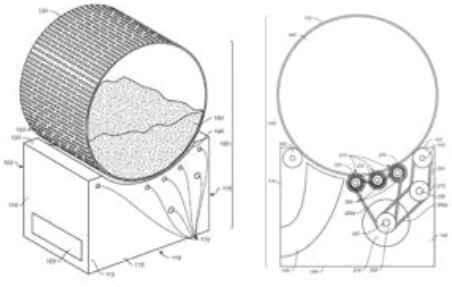
จากการสืบค้นภายในประเทศไทย พบว่ามีการพัฒนาเครื่องเด็ดก้านพริกสำหรับใช้งานกับพริกแห้งและพริกสดอยู่บ้าง แต่ใช้หลักการที่พัฒนาขึ้นมาก่อนหน้าแล้วในต่างประเทศ มีดังนี้



ภาพที่ 1 เครื่องเด็ดก้านพริกแบบสายพานคู่

เครื่องเด็ดก้านพริกแบบสายพานคู่ (Joseph A.Randazzo, Aiken, SC) ดังแสดงในภาพที่ 1 ใช้สายพานสองเส้นวางตัวขนานกัน บนและล่าง ที่สายพานบนติดตั้งแผ่นอัดพริก (504) และที่สายพานล่างมีช่องว่างขนาดพอดีสำหรับพริกหนึ่งผล ที่ด้านข้างสายพานบนและล่างติดตั้งลูกกลิ้ง (508) และสายพานชุดเล็ก (506) หลักการทำงานของเครื่องคือใช้แผ่นอัดพริกที่ติดตั้งอยู่บนสายพานบน อัดผลพริกให้แน่นลงบนสายพานล่าง เมื่อพริกเคลื่อนที่ผ่านลูกกลิ้งและสายพานชุดเล็กก้านพริกจะถูกหนีบและดึงโดยลูกกลิ้งและสายพานให้หลุดออกจากผลพริก เครื่องเด็ดก้านพริกแบบสายพานคู่นั้นถูกออกแบบมาสำหรับพริกพันธุ์ฮาลาปิโน ซึ่งมีผลและก้านที่ใหญ่และแข็งกว่าพริกจินดา หากใช้งานกับพริกจินดาแรงบีบผลพริกให้อยู่กับที่จะทำให้เกิดความเสียหายกับผลพริก อีกทั้งเมื่อผลพริกมีขนาดต่างกัน และช่องว่างระหว่างแผ่นอัดพริกบนสายพานบนกับสายพานล่างไม่สามารถเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดผลพริก แรงกดลงบนผลพริกจะไม่เท่ากัน ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง

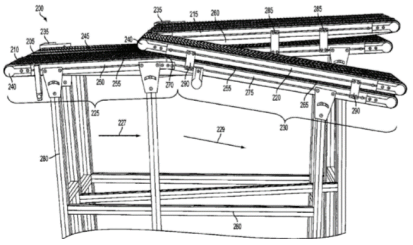
เครื่องเด็ดก้านพริกแบบล้อตะแกรงหมุน (Delmar E.Snyder, Jr.,Oroville, CA; William Kenneth Snyder, Laytonville, CA) ดังแสดงในภาพที่ 2 ประกอบด้วยล้อตะแกรงทรงกระบอก รูตะแกรงมีขนาดใหญ่เพียงพอให้ก้านพริกลอดผ่านออกมาด้านนอกแต่เล็กกว่าผลพริก มีลูกกลิ้งติดขนแปรงแข็งจำนวนหนึ่งหมุนอยู่ในตำแหน่งติดกับตะแกรง หลักการทำงานของเครื่องเด็ดก้านพริกแบบล้อหมุนคือใช้การหมุนล้อตะแกรงอย่างต่อเนื่อง ทำให้ก้านพริกลอดผ่านรูตะแกรงออกมาด้านนอก และเมื่อตะแกรงหมุนเคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่งลูกกลิ้งแปรงแข็ง ก้านพริกจะถูกขนแปรงหมุนชนแรงเสียดทานจะทำให้ขั้วผลพริกหลุด และก้านพริกตกสู่ด้านล่าง เนื่องจากตัวเครื่องไม่มีระบบจัดเรียงผลพริก จึงไม่สามารถเด็ดก้านพริกได้หมด นอกจากนี้เครื่องเด็ดก้านพริกแบบล้อตะแกรงหมุนยังไม่เหมาะกับการทำงานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำคัญในการพัฒนาความเร็วในการทำงาน



ภาพที่ 2 เครื่องเด็ดก้านพริกแบบล้อตะแกรงหมุน

หลักการเด็ดก้านพริกแบบสี่สายพาน (Nagendra B.Kodali, Pelham, NH (US)) ดังแสดงในภาพที่ 3 ประกอบไปด้วยสายพาน 4 ชุด สายพานชุดที่ 1 (205) คือสายพานแนวตรงยาวทำหน้าที่ลำเลียงผลพริกตลอดแนวสายพาน สายพานชุดที่ 2 (235) คือสายพานคู่ขนานอยู่ด้านบนสายพานชุดที่ 1 ในช่วงหลัง ทำหน้าที่อัดผลพริกให้แน่นลงบนสายพานชุดที่ 1 ในระหว่างการเด็ดก้านพริก สายพานชุดที่ 3 (210) คือสายพานขนานแนวราบกับสายพานชุดที่ 1 และเอียงลงในช่วงหลังทำมุมกับสายพานชุดที่ 1 ทำหน้าที่ลำเลียงก้านพริก สายพานชุดที่ 4 (240) คือสายพานคู่ขนานอยู่ด้านบนสายพานชุดที่ 3 ทำงานคู่กับสายพานชุดที่ 3 เพื่อบีบก้านพริกและดึงลงให้หลุดออกจากผลพริก

เนื่องจากใช้หลักการคล้ายกับเครื่องเด็ดก้านพริกแบบสายพานคู่จึงไม่เหมาะสำหรับนำมาใช้กับพริกจินดา



ภาพที่ 3 หลักการเด็ดก้านพริกแบบสี่สายพาน

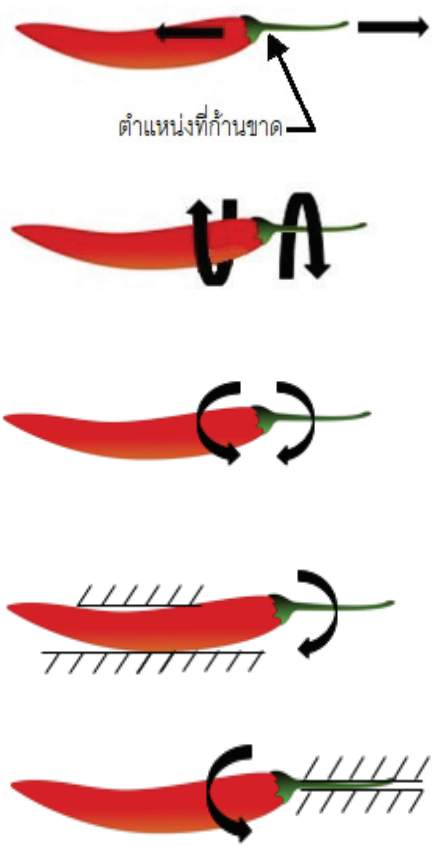
3. การคิดค้นและพัฒนาหลักการเด็ดก้านพริกจินดา

จากหลักการของเครื่องเด็ดก้านพริกแบบล้อตะแกรงหมุน เมื่อก้านพริกลอดผ่านรูตะแกรงและล้อหมุนไปทำให้ก้านพริกเคลื่อนที่ผ่านขนแปรงแข็งแรงเสียดทานทำให้เกิดแรงดึงและแรงเฉือนที่ขั้วพริกบริเวณที่ติดอยู่กับรูตะแกรง การเด็ดก้านพริกที่เกิดขึ้นเป็นผลจากแรงที่กระทำบริเวณขั้วพริกก่อให้เกิดความเค้นที่มีขนาดสูงกว่าความแข็งแรงของรอยต่อระหว่างก้านพริกและผลพริก ก้านพริกจึงหลุดออก

ในกรณีของเครื่องเด็ดก้านพริกแบบสายพานคู่นั้นเมื่อพริกเคลื่อนที่ไปถึงลูกกลิ้งและสายพานก้านพริกจะถูกสายพานและลูกกลิ้งบีบและดึงให้เคลื่อนที่ออกห่างจากผลพริก ซึ่งทำให้เกิดแรงเฉือนและโมเมนต์ที่บริเวณขั้วพริกและหลุดออกในที่สุด ดังนั้นจึงได้แนวคิดทดลองหลักการในการเด็ดก้านพริกด้วยแรงชนิดต่างๆ กระทำที่บริเวณขั้วพริก เพื่อหาชนิดของแรงที่ทำให้เกิดการขาดหลุดของก้านพริกได้ดีที่สุด ดังนี้

ใช้แรงดึงโดยทดลองดึงก้านพริกและผลพริกออกจากกันในแนวเส้นตรงตามภาพที่ 4(ก) เมื่อแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น จุดที่อ่อนแอที่สุดในแนวเส้นแรงจะขาดออกจากกัน ซึ่งพบว่าคือบริเวณใกล้โคนก้านพริก ผลที่ได้คือยังมีก้านพริกส่วนหนึ่งติดอยู่กับผลพริก การใช้แรงดึงจึงไม่เหมาะสม

การทดลองหมุนก้านพริกและตัวพริกในทิศทางตรงข้ามด้วยแรงบิด ตามภาพที่ 4(ข) และโมเมนต์ดัดตามภาพที่ 4(ค) พบว่าให้ผลคล้ายกันคือสามารถทำให้ก้านพริกหลุดออกได้ดี ในกรณีที่ใช้มือจับยึดด้านก้านพริกแน่นและชิดกับโคนก้าน แต่กรณีแรงบิดในภาพที่ 4(ข) ต้องใช้แรงจับยึดด้านก้านพริกมากกว่าจึงนำหลักการใช้โมเมนต์ดัดในภาพที่ 4(ค) มาพัฒนาต่อในรูปแบบที่จะใช้กลไกทางกลได้โดยพิจารณา 2 กรณี คือการหนีบยึดผลพริกด้วยแผ่นแข็งและใช้มือหมุนหักขั้วด้านก้านพริก ดังภาพที่ 4(ง) และการหนีบยึดก้านพริกด้วยแผ่นแข็งและใช้มือหมุนหักขั้วด้านผลพริก ดังภาพที่ 4(จ)

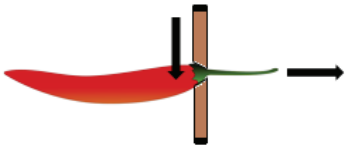


ภาพที่ 4 การทดลองเด็ดก้านพริกแบบต่าง ๆ

ผลการทดลองพบว่า กรณีแรก (ภาพที่ 4(ง)) จะให้ผลลัพธ์ดีในกรณีที่มือจับยึดด้านก้านพริกแน่นที่บริเวณโคนก้านแล้วหมุนหัก ส่วนกรณีหลัง (ภาพที่ 4(จ)) การจับยึดก้านพริกด้วยแผ่นแข็งทำได้จำกัดคือไม่สามารถยึดถึงโคนก้านพริกได้ง่าย เนื่องจากมีขนาดใหญ่กว่าส่วนอื่นของก้านพริก ทำให้เด็ดก้านพริกไม่ได้ เนื่องจากก้านพริกจะงอตามที่บริเวณโคนก้าน หากใช้วิธีการนี้การจับยึดต้องมีการปรับปรุงรูปแบบให้เหมาะสมมากขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ทั้งสองกรณีเปรียบเทียบกันในด้านการปรับให้ใช้กับกลไกทางกล พบว่ากลไกจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนจับยึดด้านใดด้านหนึ่งให้แน่นอยู่กับที่ และส่วนเคลื่อนที่เพื่อทำให้เกิดโมเมนต์ดัดที่ต้องการสำหรับหักขั้วพริกอีกด้านหนึ่ง แต่เนื่องจากกลไกส่วนหลังนี้มีการเคลื่อนที่ การจับยึดไปพร้อมๆ กับการหมุนหักจึงทำได้ยาก ดังนั้นจึงควรใช้กลไกส่วนเคลื่อนที่กับด้านผลพริก (ภาพที่ 4(จ)) เนื่องจากผลพริก มีขนาดใหญ่และแข็งแรงกว่าด้านก้านพริก สามารถทำให้เกิดโมเมนต์ได้ด้วยการใช้แรงดันในทิศตั้งฉากกับแกนของผลพริก ซึ่งทำได้ง่ายด้วยกลไกทางกล

ปัญหาของวิธีการในภาพที่ 4(จ) คือการยึดก้านด้วยแผ่นประกบแข็งทำได้ยาก ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการยึดก้านพริกใหม่ ที่สามารถยึดได้ถึงโคนก้านส่วนที่ต่อกับผลพริกซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า ผลจากการคิดค้น ทำให้พบวิธีการยึดก้านพริกให้ได้ตามความต้องการข้างต้นโดยการสอดก้านพริกผ่านรูแบบ countersink พร้อมกับใช้แรงดึงก้านพริกให้ตึง ทำให้ขั้วพริกแนบแน่นกับมุมเอียงของรูดังภาพที่ 5 ผลการทดสอบด้วยวิธีนี้พบว่าผลพริกหลุดออกจากก้านพริกโดยง่ายและไม่เกิดความเสียหายต่อผลพริก



ภาพที่ 5 การยึดก้านพริกด้วยแผ่นเจาะรูเอียงและแรงดึงที่ก้าน หมุนหักด้วยแรงดันตั้งฉากกับแกนผลพริก

4. การออกแบบและสร้างเครื่องเด็ดก้านพริกจินดาแบบทำงานต่อเนื่อง

การออกแบบกลไกสำหรับเครื่องเด็ดก้านพริกจินดา ดำเนินการตามกระบวนการออกแบบของ Pahl G., Beitz., Feldhusen. and Grote K.H. (Engineering Design. A Systematic Approach.) โดยเมื่อวิเคราะห์หลักการเด็ดก้านพริกข้างต้นพบว่าประกอบด้วยหน้าที่การทำงาน 3 ส่วนหลัก เรียงตามลำดับการทำงาน คือ 1) การนำผลพริกเข้าสู่กลไกเด็ดก้าน 2) การบีบก้านและดึงให้โคนก้านแนบแน่นกับเบ้าเอียง และ 3) การทำให้เกิดโมเมนต์บนผลพริกในทิศตั้งฉากกับแกนผลพริกเพื่อให้ผลพริกหลุดออกจากก้าน หลังจากนั้นจึงออกแบบกลไกที่สามารถทำงานได้ตามหน้าที่ทั้ง 3 ส่วนข้างต้น แล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นเครื่องต้นแบบ โดยมีรายละเอียดผลการออกแบบเรียงตามลำดับการออกแบบดังนี้

4.1 การบีบและดึงก้านพริกให้แนบกับเบ้า

กลไกบีบและดึงก้านพริกใช้หลักการของ Slider-Crank คู่แบบสมมาตร ดังแสดงในภาพที่ 6 ประกอบด้วย

1) ก้าน 1 ลักษณะเป็นโลหะแผ่น ปลายด้านหนึ่งยึดกับแผ่นยางสำหรับบีบก้านพริก ปลายอีกด้านหนึ่งเชื่อมติดกับก้านสั้นซึ่งมีรูสำหรับสวมกับแกน 3 บริเวณตอนกลางเชื่อมติดกับก้านยาวซึ่งมีรูสำหรับสวมกับแกน 1

2) ก้าน 2 ลักษณะเป็นโลหะแผ่นเรียวยาว ปลายด้านหนึ่งสวมกับแกน 2 และปลายอีกด้านหนึ่งสวมกับแกน3

3) แผ่นเลื่อน 1 ลักษณะเป็นโลหะแผ่นสี่เหลี่ยมติดตั้งบนรางเลื่อน ปลายด้านหนึ่งเจาะรูสำหรับยึดสปริง 1 บริเวณกลางแผ่นเชื่อมติดกับแกน 1 ในแนวตั้งฉากกับระนาบของแผ่น ปลายแกนเจาะรูสำหรับยึดกับสปริง 2

4) แผ่นเลื่อน 2 ลักษณะเป็นโลหะแผ่นยาวติดตั้งบนรางเลื่อนถัดจากแผ่นเลื่อน 1 ปลายด้านหนึ่ง

เชื่อมติดกับแกน 2 ในแนวตั้งฉากกับระนาบของแผ่น ปลายแกนเจาะรูสำหรับยึดกับสปริง 2 ปลายอีกด้านหนึ่งเชื่อมติดกับแกน 4 ในแนวตั้งฉากกับระนาบของแผ่น

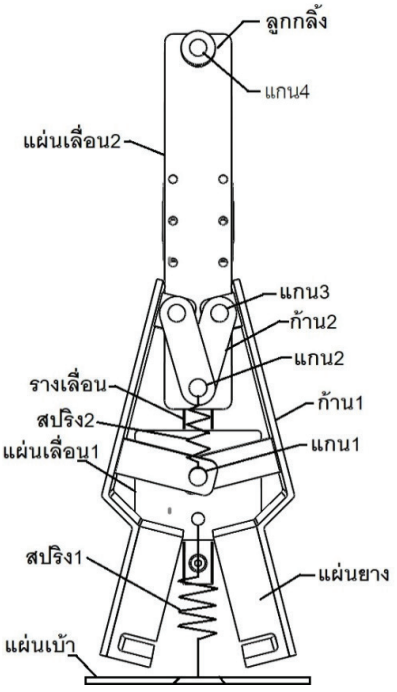
5) ลูกกลิ้ง ติดตั้งอยู่บนแกน 4 บนแผ่นเลื่อน 2 ใช้คู่กับลูกเบี้ยวเชิงเส้นเพื่อดึงแผ่นเลื่อน 2 ให้เคลื่อนที่

6) รางเลื่อน ยึดแน่นกับโครงสร้างมีแผ่นเลื่อน 1 และแผ่นเลื่อน 2 ติดตั้งอยู่และเคลื่อนที่ได้อิสระตามแนวรางเลื่อน

7) แผ่นเบ้า เป็นโลหะแผ่น ตรงกลางแผ่นเจาะรูรูปกรวยสำหรับสอดก้านพริกผ่าน และรองรับขั้วพริกในขณะที่กลไกดึงก้านพริก

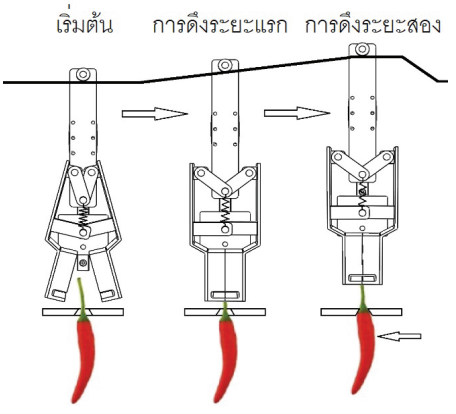
8) สปริง 1 เป็นสปริงดึง ปลายด้านหนึ่งยึดกับแกน 1 ปลายอีกด้านยึดกับแผ่นเบ้า

9) สปริง 2 เป็นสปริงดึงซึ่งมีความแข็ง (stiffness) น้อยกว่าสปริง 1 ปลายด้านหนึ่งยึดกับแกน 1 ปลายอีกด้านยึดกับแกน 2



ภาพที่ 6 กลไกบีบและดึงก้านพริกจินดา

หลักการทำงานของกลไกบีบและดึงก้านพริกจินดา แสดงดังภาพที่ 7 เริ่มต้นเมื่อก้านพริกที่สอดผ่านเบ้าเอียงทรงกรวยอยู่ในตำแหน่งระหว่างแผ่นยาง เมื่อชุดกลไกเคลื่อนที่ ลูกกลิ้งบนแผ่นเลื่อน 2 จะเคลื่อนที่ในแนวรางเลื่อนตามลูกเบี้ยวเชิงเส้นที่ติดอยู่บนแผ่นเลื่อน 2 แกน 1 จะถูกดึงถอยหลังไปพร้อมกัน ทำให้ก้าน 2 กางออก และดันก้าน 1 ให้หมุนรอบแกน 1 เนื่องจากสปริง 1 มีความแข็งมากกว่าสปริง 2 ในระหว่างนี้แผ่นเลื่อน 1 จะไม่เคลื่อนที่จนกระทั่งแผ่นยางบีบก้านพริกจนแน่น เรียกกระบวนการช่วงนี้ว่าการดึงระยะแรก หลังจากนั้นเมื่อลูกกลิ้งบนแผ่นเลื่อน 2 เคลื่อนที่ตามลูกเบี้ยวเชิงเส้นเพิ่มมากขึ้นขณะเดียวกันก้าน 1 ไม่สามารถหมุนต่อไปได้เนื่องจากแผ่นยางสองด้านบีบก้านพริกจนสุดแล้ว ก้าน 1 ทั้งสองฝั่งจะดึงแผ่นเลื่อน 1 ให้เคลื่อนที่ตามไปพร้อม ๆ กับสปริง 1 ยืดตัวออก ส่งผลให้ก้านพริกถูกดึงจนขั้วพริกติดแน่นเข้ากับแผ่นเบ้ารูปกรวย ตามภาพที่ 7 เรียกกระบวนการช่วงนี้ว่าการดึงในระยะที่สอง การเด็ดก้านพริกเกิดขึ้นในช่วงนี้ หลังจากนั้นชุดกลไกจะเคลื่อนที่กลับตามแผ่นลูกเบี้ยวเชิงเส้นด้วยแรงดึงของสปริง 1 ไปที่ตำแหน่งเริ่มต้นและแผ่นยางจะอ้าออกด้วยแรงดึงของสปริง 2 จนกลับมาอยู่ในตำแหน่งตั้งต้นอีกครั้ง



ภาพที่ 7 หลักการทำงานของกลไกบีบและดึงก้านพริก

4.2 การทำให้เกิดโมเมนต์บนผลพริก

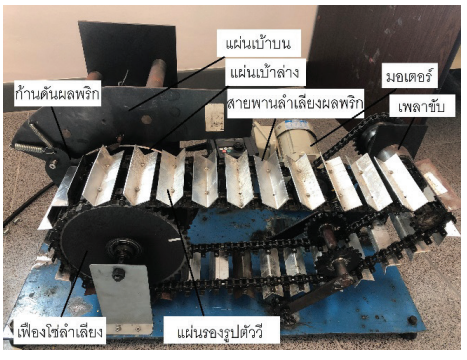
จากภาพที่ 7 ขณะที่ชุดกลไกอยู่ในกระบวน การดึงในระยะที่สอง ผลพริกถูกดึงให้แนบกับแผ่นเบ้ารูปกรวย ใช้ก้านแข็งเคลื่อนที่ดันผลพริกในแนวตั้งฉากกับแกนผลพริกเพื่อสร้างโมเมนต์บนผลพริก ทำให้ผลพริกถูกดันหลุดออกจากก้าน

4.3 การนำผลพริกเข้าสู่กลไกเด็ดก้าน

เนื่องจากเครื่องต้นแบบของงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อการทดสอบหลักการและกลไกเด็ดก้าน ดังนั้นการนำผลพริกเข้าสู่กลไกเด็ดก้านจึงใช้การเรียงผลพริกด้วยมือไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการเด็ดก้าน โดยการวางพริกลงบนแผ่นรองรับผลพริก ซึ่งเป็นโลหะแผ่นพับเป็นรูปตัววี ติดตั้งอยู่บนโซ่ลำเลียง เพื่อให้ผลพริกอยู่ในตำแหน่งตรงกลาง และเคลื่อนที่เข้าสู่ชุดกลไกบีบและดึงก้านพริกพอดี

4.4 การออกแบบเครื่องต้นแบบเพื่อการทำงานแบบต่อเนื่อง

การออกแบบเครื่องเด็ดก้านพริกจินดาต้นแบบเพื่อการทำงานแบบต่อเนื่อง โดยใช้หลักการที่กล่าวมาข้างต้น คือการบีบและดึงก้านพริกให้แนบกับเบ้า การทำให้เกิดโมเมนต์บนผลพริก และการนำผลพริกเข้าสู่กลไกเด็ดก้าน มาทำงานร่วมกัน ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ดังแสดงในภาพที่ 8 และมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 8 ส่วนประกอบของเครื่องเด็ดก้านพริกเครื่องต้นแบบเพื่อการทำงานแบบต่อเนื่อง

1) โซ่ลำเลียงผลพริก ทำจากโซ่กำลังเบอร์ 40 สองเส้นคู่ ห่างกันเป็นระยะเพียงพอกับความยาวมากที่สุดของผลพริก มีแผ่นรองรับพริกพับเป็นร่องรูปตัววีติดตั้งอยู่ระหว่างโซ่ทั้งสองเส้น ซึ่งจะทำให้ผลพริกวางตัวในตำแหน่งกึ่งกลางพอดี

2) แผ่นเบ้า เพื่อการทำงานแบบต่อเนื่อง แผ่นเบ้าถูกออกแบบให้เป็นร่องยาวปลายเปิดทั้งสองด้าน ทำให้ก้านพริกสามารถเคลื่อนที่ผ่านเข้า-ออกผ่านร่องยาวได้ ร่องยาวทำจากแผ่นประกบสองด้าน ขอบแผ่นทั้งสองเอียงทำให้หน้าตัดของร่องมีลักษณะเป็น countersink โดยใช้แผ่นวงกลมขอบเอียงเป็นแผ่นเบ้าล่างเชื่อมติดและหมุนพร้อมกับเฟืองโซ่ลำเลียง ประกบคู่กับแผ่นเบ้าบนซึ่งมีรูปร่างรับกับขอบของแผ่นเบ้าล่าง ยึดแน่นกับโครงสร้างทำให้เกิดร่องกว้าง 4 มิลลิเมตร

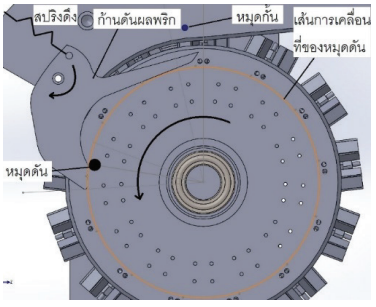
3) กลไกบีบและดึงก้านพริก ยึดแน่นอยู่กับด้านหลังของแผ่นเบ้าล่าง โดยให้แผ่นยางหันเข้าหาแผ่นเบ้าล่าง กลไกทั้งชุดจะหมุนไปพร้อมกับแผ่นเบ้าล่างในตำแหน่งที่ตรงกันกับแผ่นวางผลพริกรูปตัววี ดังแสดงในภาพที่ 9 ลูกเบี้ยวเชิงเส้นถูกดัดให้โค้งตามการหมุนของกลไก และติดตั้งไว้ด้านหลังสำหรับดึงลูกกลิ้งในกระบวนการเด็ดก้านพริก

4) ก้านดันผลพริก ใช้กลไกแบบ rocker arm โดยมีลักษณะเป็นแผ่นมีแกนหมุนยึดอยู่บนแผ่นเบ้าบน ปลายด้านหนึ่งยาวสำหรับดันผลพริกให้หลุดจากขั้ว ปลายอีกด้านหนึ่งมีขอบลูกเบี้ยว เพื่อทำงานร่วมกับหมุดดันที่ติดตั้งบนแผ่นเบ้าล่าง เพื่อให้ก้านดันผลพริกหมุนตามเข็มนาฬิกาไปที่ตำแหน่งก่อนดันผลพริก มีสปริงเพื่อดึงก้านให้หมุนทวนเข็มนาฬิกา เพื่อดันผลพริกให้หลุดจากขั้ว และมีหมุดกั้นเพื่อจำกัดการหมุนหลังจากดันผลพริก

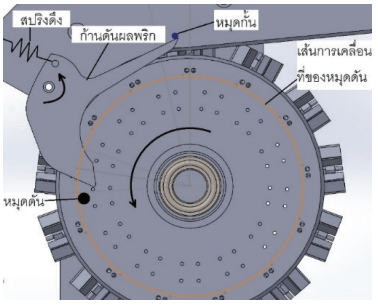
หลักการทำงานของเครื่องเด็ดก้านพริกแบบต่อเนื่อง เริ่มต้นจากการวางผลพริกลงบนแผ่นรองรูปตัววี หันก้านไปทางฝั่งกลไกบีบและดึงก้านพริกโดยให้ขั้วยื่นออกจากขอบแผ่นรองรูปตัววีเล็กน้อย มอเตอร์จะหมุนขับโซ่ลำเลียงและแผ่นรองรูปตัววีพาให้ก้านพริกเข้าไปในรางของแผ่นเบ้า ในขณะที่พริกกำลังเคลื่อนที่

เข้าสู่ตำแหน่งเด็ดก้าน หมุดดันบนแผ่นเบ้าล่างจะดันขอบลูกเบี้ยว ดึงให้ก้านดันผลพริกหมุนตามเข็มนาฬิกาหลบผลพริกที่กำลังเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งเด็ดก้านพริก เรียกกระบวนการนี้ว่าระยะดึงหลบดังแสดงในภาพที่ 10 ที่ตำแหน่งนี้กลไกบีบและดึงก้านพริกจะเริ่มทำงาน เมื่อพริกเข้าสู่ตำแหน่งเด็ดก้านพริก ก้านพริกจะถูกดึงจนขั้วพริกแนบกับร่องระหว่างแผ่นเบ้าบนและแผ่นเบ้าล่างขณะเดียวกับหมุดดันเคลื่อนที่พ้นขอบลูกเบี้ยว ก้านดันผลพริกจะถูกดึงกลับด้วยแรงสปริงและดันผลพริกให้หลุดจากขั้วพริก เรียกกระบวนการนี้ว่าระยะดึงกลับดังแสดงในภาพที่ 11

ภาพที่ 9 การติดตั้งกลไกบีบและดึงก้านพริก



ภาพที่ 10 กระบวนการเด็ดก้านพริกในระยะดึงหลบ



ภาพที่ 11 กระบวนการเด็ดก้านพริกในระยะดึงกลับ

เครื่องเด็ดก้านพริกจินดาต้นแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เกียร์ขนาด 200 วัตต์ ความเร็วรอบสูงสุด 97 รอบต่อนาที เนื่องจากมอเตอร์เกียร์ที่ใช้ในการทดสอบและภาระรวมภายในเครื่องมีเพียงแค่แรงเสียดทานเท่านั้น จึงเลือกใช้มอเตอร์เกียร์ที่มีอยู่แล้วมีกำลังมากพอ และความเร็วรอบสูงสุดครอบคลุมการทดสอบตาม ที่ตั้งเป้าหมายไว้ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ในการปรับความเร็วกลไกลำเลียงพริกจินดาประกอบไปด้วยเฟืองโซ่คู่เบอร์ 40 ขนาด 52 ฟัน และเฟืองขับเบอร์ 40 ขนาด 13 ฟัน แผ่นเบ้าล่างติดตั้งกลไกบีบและดึงก้านพริกได้ 13 ชุด ที่ความเร็วรอบสูงสุด สามารถเด็ดก้านพริกได้เร็วสุดประมาณ 5 ผลต่อวินาที จากการคำนวณ ดังนี้

$$i = N_1/N_2 = Z_2/Z_1$$

โดย i คือ อัตราทด

N_1 คือ ความเร็วรอบของเฟืองขับ

N_2 คือ ความเร็วรอบของเฟืองตาม

Z_1 คือ จำนวนฟันของเฟืองขับ

Z_2 คือ จำนวนฟันของเฟืองตาม

จะได้อัตราทด = 52/13 = 4

ความเร็วรอบของเฟืองตาม (รอบต่อนาที) =

$$\frac{\text{ความเร็วการทำงาน (ผลต่อวินาที)} \times 60}{\text{จำนวนชุดกลไกที่ติดตั้ง}}$$

ที่ความเร็วการทำงาน 1, 2, 3, 4 และ 5 ผลต่อวินาที จะได้ความเร็วรอบของเฟืองตาม 4.62 9.23 13.85 18.46 และ 23.08 รอบต่อนาที ตามลำดับ

ความเร็วรอบของเฟืองขับ = ความเร็วรอบมอเตอร์เกียร์

ที่ความเร็วการทำงาน 1 2 3 4 และ 5 ผลต่อวินาที จะได้ความเร็วรอบมอเตอร์เกียร์ 18.48 36.92 55.40 73.84 และ 92.32 รอบต่อนาที ตามลำดับ

5. การทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องพิจารณาเฉพาะประสิทธิภาพของกลไกการเด็ดโดยไม่รวมถึงการจัดเรียงพริกและการนำเข้าสู่กลไก ดังนั้นจึงกำหนดขอบเขตการพิจารณาเฉพาะกรณีที่ก้านพริกเข้าสู่ปากคีบของกลไกดึงก้านพริกได้ แต่เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของพริกจินดาที่หลากหลาย เช่น ขนาด ความคดงอของผลและก้าน และปัจจัยอื่นที่อาจส่งผลต่อการทำงานของเครื่อง เช่น ความสดของพริกจินดา เป็นต้น ดังนั้นจึงกำหนดให้พริกจินดาที่ใช้ในการทดสอบเป็นพริกที่เก็บเกี่ยวมาไม่เกิน 24 ชั่วโมง และไม่คดงอจนเกินไป ดังแสดงในภาพที่ 12

ภาพที่ 12 ตัวอย่างพริกจินดาที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพแบ่งออกเป็น 5 การทดลอง จำแนกตามความเร็วในการเด็ดก้านพริกจินดา คือ 1 2 3 4 และ 5 ผลต่อวินาที ซึ่งสอดคล้องกับความเร็วรอบมอเตอร์เกียร์ที่ 18 37 55 74 และ 92 รอบต่อนาที ตามลำดับ ในแต่ละการทดลอง ใช้พริกจินดาจำนวน 50 ผล ดำเนินการโดยนำพริกจินดาวางลงบนแผ่นรองรูปตัววี ครั้งละ 1 ผล ให้เคลื่อนที่เข้าสู่กลไกเด็ดก้านพริก

6. ผลการทดสอบ

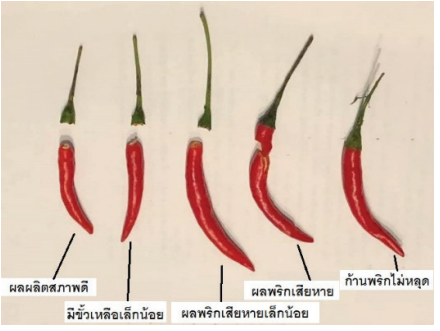
ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเด็ดก้านพริก พิจารณาจากคุณภาพของผลพริกที่ผ่านกลไกการเด็ดก้านมาแล้วโดยจำแนกผลการทดสอบออกเป็น 3 ประเภท คือ คุณภาพดี พอใช้ และไม่ดี ดังแสดงในภาพที่ 13 โดยคุณภาพดีหมายถึงพริกจินดาไม่มีข้อบกพร่องใด ๆ คุณภาพพอใช้หมายถึงพริกจินดามีขั้วติดเหลืออยู่เล็กน้อย หรือผิวพริกจินดาใต้ขั้วฉีกขาดเล็กน้อย ทั้งนี้ระดับคุณภาพดีและพอใช้ถือเป็นระดับคุณภาพที่ยอมรับได้เพื่อการซื้อขาย

สาเหตุความเสียหายของผลพริกอาจเกิดจากหลายปัจจัย ได้แก่

1) การวางผลพริกห่างจากเบ้ามากเกินไป ทำให้ระยะดึงก้านพริกไม่เพียงพอที่จะทำให้ขั้วพริกติดแน่นกับแผ่นเบ้า

2) การวางผลพริกชิดกับแผ่นเบ้ามากเกินไป ระยะดึงที่มากเกินไปนี้อาจทำให้ก้านพริกถูกดึงจนเปลือกก้านรูดเสียหาย ส่งผลให้แรงดึงลดลง

3) พริกไม่สด ปริมาณน้ำที่ลดลงในผลพริกจะทำให้ขั้วพริกเหนียวและเด็ดยากกว่ากรณีพริกสด



ภาพที่ 13 ลักษณะของพริกจินดาแบบต่าง ๆ ที่ผ่านการทำงานของเครื่องเด็ดก้านพริกจินดา

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบที่ระดับความเร็วทั้งห้าระดับ พบว่าที่ความเร็ว 1 ผลต่อวินาที เครื่องสามารถเด็ดก้านพริกจินดาได้คุณภาพดี 47 ผล มีขั้วเหลือติดอยู่ 3 ผล ที่ความเร็ว 2 ผลต่อวินาที ได้พริกจินดาคุณภาพดี 47 ผล มีขั้วเหลือติดอยู่ 2 ผล และผิวใต้ขั้วฉีกขาดเล็กน้อย 1 ผล ที่ความเร็ว 3 ผลต่อนาที ได้พริกจินดาคุณภาพดี 48 ผล มีขั้วเหลือติดอยู่ 1 ผล และผิวใต้ขั้วฉีกขาดเล็กน้อย 1 ผล ที่ความเร็ว 4 ผลต่อวินาที เครื่องสามารถเด็ดก้านพริกจินดาได้คุณภาพดี 33 ผล มีขั้วเหลือติดอยู่ 3 ผล และผลผลิตไม่ดี คือ ก้านพริกไม่หลุด 14 ผล ที่ความเร็ว

5 ผลต่อวินาที เครื่องสามารถเด็ดก้านพริกจินดาได้คุณภาพดี 15 ผล มีขั้วเหลือติดอยู่ 2 ผล ผลพริกเสียหายเล็กน้อย 1 ผล และผลผลิตไม่ดี แบ่งเป็นผลพริกเสียหาย 1 ผล และก้านพริกไม่หลุด 31 ผล ภาพที่ 14 15 16 17 และ 18 แสดงตัวอย่างพริกจินดาที่ผ่านการเด็ดขั้วของแต่ละกรณี และภาพที่ 19 แสดงกราฟผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วการทำงาน 1 – 5 ผลต่อวินาที

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเด็ดก้านพริก ที่ความเร็วการทำงาน 1 – 5 ผลต่อวินาที

คุณภาพผลพริก	ความเร็วการทำงาน(ผลต่อวินาที)				
	1	2	3	4	5
คุณภาพดี	47	47	48	33	15
คุณภาพพอใช้					
- มีขั้วเหลืออยู่	3	2	1	3	2
- ผิวใต้ขั้วฉีกขาดเล็กน้อย	0	1	1	0	1
คุณภาพไม่ดี					
- ก้านพริกไม่ถูกเด็ดออก	0	0	0	14	31
- พริกเสียหายร้ายแรง	0	0	0	0	1

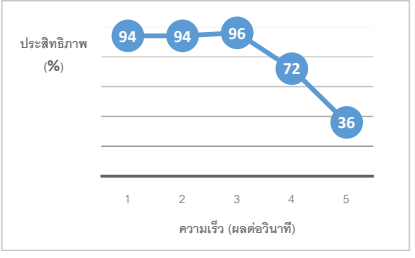
ภาพที่ 14 ตัวอย่างผลการทดสอบในระดับความเร็วของการทำงานที่ 1 ผลต่อวินาที

ภาพที่ 15 ตัวอย่างผลการทดสอบในระดับความเร็วของการทำงานที่ 2 ผลต่อวินาที

ภาพที่ 16 ตัวอย่างผลการทดสอบในระดับความเร็วของการทำงานที่ 3 ผลต่อวินาที

ภาพที่ 17 ตัวอย่างผลการทดสอบในระดับความเร็วของการทำงานที่ 4 ผลต่อวินาที

ภาพที่ 18 ตัวอย่างผลการทดสอบในระดับความเร็วของการทำงานที่ 5 ผลต่อวินาที



ภาพที่ 19 กราฟผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเครื่องเด็ดก้านพริกจินดาสำหรับผลผลิตคุณภาพดีและพอใช้ ที่ความเร็ว 1 – 5 ผลต่อวินาที

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพที่ความเร็วการทำงาน 1 – 5 ผลต่อวินาที สรุปได้ว่าผลการทดสอบ ที่มีคุณภาพพอใช้ตามความต้องการอยู่สูงในช่วงที่ความเร็วการทำงาน 1 2 และ 3 ผลต่อวินาที ถึงร้อยละ 94.67 และในช่วงนี้ ความเร็วที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เพิ่มแนวโน้มในความสำเร็จ แต่เกิดจากตัวแปรการทดลองที่ไม่สามารถควบคุมได้ ผลการทดสอบที่ความเร็วการทำงาน 4 ผลต่อวินาที มีอัตราความสำเร็จลดลงเหลือร้อยละ 72 และผลการทดสอบที่ความเร็วการทำงาน 5 ผลต่อวินาที มีอัตราความสำเร็จลดลงเหลือร้อยละ 36 จากการวิเคราะห์เหตุผลที่ทำให้อัตราความสำเร็จลดลงอย่างมากจากการทดสอบที่ความเร็วการทำงาน 4 และ 5 ผลต่อวินาที คือ เมื่อความเร็วที่ก้านพริกถูกดึงและผลพริกเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างแผ่นเบ้าบนและล่างมีมากเกินไป ก่อให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างขั้วพริกและแผ่นเบ้าบนที่ไม่ได้เคลื่อนที่ไปพร้อมผลพริก ทำให้ผลพริกถูกบิดและงอจนกระทั่งไปถึงตำแหน่งดันผลพริก และก้านดันผลพริกจะไม่สามารถดันผลพริกได้อย่างเต็มประสิทธิภาพในขณะที่ผลพริกถูกบิดและงออยู่ ทำให้ในบางครั้งผลพริกไม่หลุดออกจากขั้วได้ เมื่อความเร็วในการทำงานเพิ่มขึ้นกรณีนี้จะเกิดมากขึ้น จึงสรุปได้ว่าความสามารถของเครื่องเด็ดก้านพริกนี้สามารถทำการเด็ดก้านพริกได้ไม่เกินที่ความเร็ว 3 ผลต่อวินาที

7. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้คิดค้นและทดสอบหลักการเด็ดก้านพริกจินดาแบบต่อเนื่องประสิทธิภาพสูง ซึ่งประกอบด้วยกลไกดึงก้านพริกจินดา กลไกดันผลพริกจินดาให้หลุดจากขั้ว และกลไกลำเลียงพริกจินดา นอกจากนี้ยังแสดงการออกแบบกลไกการทำงานเพื่อใช้กับเครื่องที่ทำงานอย่างต่อเนื่อง และสร้างเครื่องต้นแบบที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพ ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน พบว่าสามารถเด็ดก้านพริกจินดาได้ผลดีมากถึงร้อยละ 94.67 โดยใช้ความเร็วในการทำงานที่ไม่เกิน 3 ผลต่อวินาที ทั้งนี้การทดสอบนี้ยังอยู่ในขอบเขตที่จำกัด กล่าวคือพริกจินดาที่นำมาทดสอบมีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมและถูกจัดวางด้วยมือในตำแหน่งที่เหมาะกับการทำงานของเครื่อง การพัฒนาในขั้นตอนต่อไปจึงมุ่งเน้นการเพิ่มความเร็ว และขยายขอบเขตการทำงานให้ครอบคลุมลักษณะทางกายภาพของพริกจินดาให้หลากหลายขึ้น รวมถึงเครื่องหรือกลไกในการจัดเรียงและนำพริกเข้าสู่โซ่ลำเลียงในตำแหน่งที่ต้องการ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDiPT) ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

9. เอกสารอ้างอิง

[1] Pahl G., Beitz., Feldhusen. and Grote K.H. (2007). Engineering Design. A Systematic Approach.

[2] eil Sclater, Nicholas P. Chironis. (2006). Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook.

[3] Joseph A. Randazzo, Aiken (2011). United States Patent No. US 8733240B2. Automated Destemming.

[4] Delmar E. Snyder, Jr., Oroville ; William Kenneth Snyder, Laytonville (2009). United States Patent No. US 20090191928A1. Destemming and Vegetative Shredding.

[5] Nagendra B. Kodali (2013). United States Patent No. US 9173431B2. System and Method of De-stemming Produce.