ปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง สำหรับผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังแผ่นทอดกรอบ

An Appropriation Factor of Cassava Single Tuber Peeling Machine for Cassava Chip

อภิสิทธิ์ ภูผิวผา (Aphisit Phupiewpha)* เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา (Cherdpong Chiawchanwattana)**
สุพรรณ ยั่งยืน (Suphan Yangyuen)[1]***

(Received: *October 14, 2020;* Revised: *October 22, 2020;* Accepted: *October 24, 2020)*

บทคัดย่อ

การปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังเป็นหนึ่งในขั้นตอนสำคัญของการผลิตมันแผ่นทอดกรอบ การปอกเปลือกยังคงต้องใช้แรงงานคนในการปอกเปลือกซึ่งมีความสามารถในการทำงานต่ำจึงไม่เพียงพอต่อความต้องการของกระบวนการผลิต งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง สำหรับผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังแผ่นทอดกรอบ โดยเครื่องที่สร้างขึ้นประกอบด้วย (1) โครงสร้าง (2) ต้นกำลัง (3) ระบบส่งกำลัง และ (4) ชุดใบมีดปอก ออกแบบให้ใบมีดปอกหมุนรอบในแนวรัศมีของหัวมัน ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก 3 ระดับ คือ 90 100 และ 110 รอบต่อนาที องศาใบมีดปอกทำมุมกับแนวแกน 3 ระดับ ที่ 0 10 และ 20 องศา และความยาวใบมีดปอก 3 ระดับ คือ 15 25 และ 35 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่า ที่ระดับความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอกเท่ากับ 110 รอบต่อนาที องศาใบมีดปอกทำมุมกับแนวแกนเท่ากับ 20 องศา และระดับความยาวใบมีดปอก 15 มิลลิเมตร เป็นเงื่อนไขการทดสอบที่เหมาะสมที่สุดคือมีประสิทธิภาพการปอก 95.09 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ 2.22 เปอร์เซ็นต์ และความสามารถในการทำงาน 94.43 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็น 2.5 เท่าของแรงงานคน

ABSTRACT

The peeling of cassava roots is an important step in cassava chip processing .Hand or manual peeling is commonly used, but it is slow and lacks sufficient capacity for efficient production .This research aims to design and fabricate a single tuber peeling machine prototype for producing crispy cassava chips .This peeling machine comprises: (1) a structure, (2) power unit, (3) transmission unit, and (4) a set of peeling knives .The experimental conditions were studied at peeling knife speeds of 90, 100, and 110 rpm, using three different degrees of blade and three levels of blade length .The results revealed that the most suitable conditions were a speed of 110 rpm for the peeling knife, using an angle of 20 degrees from the axis and a blade length of 15 mm. These conditions provided 95.09% peeling efficiency, 2.22% texture loss, and a machine capacity of 94.43 kg/h, which was 2.5 times faster than the traditional method (human labour).

คำสำคัญ: มันสำปะหลัง ปอกเปลือก ใบมีด

Keywords: Cassava, Peeling, Knife

[1]*Corresponding author: suphan.y@msu.ac.th*

**นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*

***ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*

****รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*

บทนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์แป้งมันสำปะหลังเป็นอันดับ 1 ของโลก มีส่วนแบ่งในตลาดโลกถึงร้อยละ 70 โดย ปี 2562/63 มีพื้นที่เก็บเกี่ยว 8.74 ล้านไร่ มีผลผลิตโดยรวม 29.49 ล้านตัน และมีผลผลิตต่อไร่ 3.80 ตันต่อไร่ [1-2] ซึ่งมันสำปะหลังสามารถนำมาแปรรูปได้หลายชนิด เช่น อาหารสัตว์ แป้งมัน แอลกอฮอล์ เม็ดพลาสติก และพบว่ามันสำปะหลังชนิดหวาน เช่น พันธุ์ห้านาที ระยอง 5 ยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นขนมขบเคี้ยวได้ [3] ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่กำลังนิยมในปัจจุบันคือมันสำปะหลังแผ่นทอดกรอบ โดยมีกระบวนการผลิตเริ่มจากการคัดเลือกหัวมันสำปะหลัง ที่มีอายุการปลูกอยู่ระหว่าง 8-12 เดือน ทำการคัดเลือกหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งและขนาดพอเหมาะไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป จากนั้นล้างทำความสะอาดเอาดินโคลนที่ติดออก ทำการตัดแต่งหัวมันสำปะหลังโดยตัดเฉือนส่วนที่เป็นเหง้า เส้นใยมาก แป้งน้อย ออก แล้วทำการปอกเปลือกจากนั้นล้างอีกครั้ง หั่นสไลด์ ทอด สลัดน้ำมัน คัดแยกขนาดชิ้นแตกหักออก ปรุงรส และบรรจุถุงในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีทั้งการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์เข้ามาช่วยในการผลิต แต่อย่างไรก็ตามพบว่าขั้นตอนการปอกเปลือกเป็นขั้นตอนที่เป็นคอขวดการผลิต เนื่องจากต้องใช้แรงงานคนเป็นหลักโดยยังไม่พบว่ามีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ปอกเปลือกที่เหมาะสม (ภาพที่ 1)

โดยทั่วไปแล้วการปอกเปลือกมันสำปะหลังชนิดหวานเพื่อบริโภคนี้ยังคงใช้แรงงานคนในการปอกโดยอาศัยมีดทำครัวทั่วไปกรีดที่เปลือกเป็นแนวยาวตามแกนหัวมัน แล้วใช้ปลายมีดหรือนิ้วมือจิกเข้าไปในเปลือกแล้วลอกออก [4-5] หรือกรณีที่หัวมันแก่จัดหรือเก็บเกี่ยวมานานจนเปลือกแห้งเหี่ยวจะใช้มีดคมสองชั้นปอกเปลือกออก เป็นที่ทราบกันดีว่าการปอกเปลือกด้วยใช้แรงงานคนมีความสามารถในการทำงานต่ำ [6] ซึ่งสามารถปอกได้ 150 ถึง 300 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน (ทำงาน 8 ชั่งโมง) หากต้องการกำลังการผลิตสูงๆ จำเป็นต้องจ้างแรงงานจำนวนมากซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิต รวมถึงภาวะปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงานเนื่องมาจากหลายปัจจัย จากการสืบค้นงานวิจัยเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังสำหรับบริโภค ในประเทศไทย พบ Pariyed และคณะ [7] ได้ศึกษาชนิดใบมีดปอกเปลือกที่มีรูปแบบแตกต่างกันที่มีผลต่อการปอกเปลือกและการสูญเสียเนื้อมัน ผลการศึกษาพบว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดมีประสิทธิภาพการปอก 90.30 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ 3.63 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาของ ทยาวีร์ และ ธวัชชัย [8] ได้ศึกษาการพัฒนาและประเมินผลเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังแบบใบมีดติดลูกกลิ้ง สำหรับการผลิตมันเส้นสะอาดผลการศึกษาพบว่ามีประสิทธิภาพการปอก 75.00 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนงานวิจัยของต่างประเทศโดย Oluwole O.O. และ Adio M. A. [9] ได้ว่าทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังด้วยหลักการใช้ลูกกลิ้งขูดผิวหรือขัดผิว ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการปอก 70.45 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ 5.09 เปอร์เซ็นต์ Ebunilo และคณะ [10] ได้ออกแบบเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังเป็นแบบแท่นกลึง ใบมีดปอกสามารถปรับตามรูปร่างหัวมันสำปะหลัง ประสิทธิภาพการปอกมากกว่า 70.00 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการปอกแบบขูดผิวหรือขัดผิวเปลือก

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น จะเห็นหลักการทำงานเครื่องปอกเปลือกมีการใช้หลักการขัดสีหรือขูดผิวส่งผลเสียต่อความเสียหายทางกลต่อผิวมันสำปะหลัง โดยผิวมันสำปะหลังจะไม่เรียบและบอบช้ำ ส่วนหลักการใช้ใบมีดขึ้นอยู่กับการออกแบบลักษณะใบมีดและการติดตั้ง ลักษณะการเคลื่อนที่ของใบมีดหรือหัวมันในการปอกเปลือก ซึ่งถือเป็นอิทธิพลหลักในการปอกเปลือกมันสำปะหลัง และส่งผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องปอก ตลอดจนคุณภาพการปอกเปลือกมันที่ได้เป็นที่ยอมรับของผู้ประกอบการคือ ประสิทธิภาพการปอกสูง ผิวหัวมันไม่เสียหายบอบช้ำ สูญเสียเนื้อมันในปริมาณไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการทำงานสูงกว่าการใช้แรงงานคน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง ที่สามารถทำงานได้เหมาะสมในการปอก

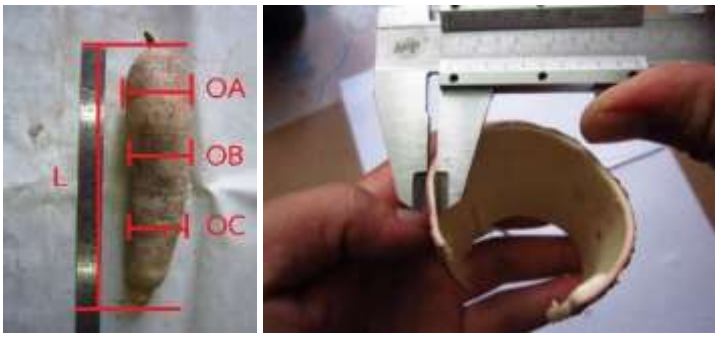
เปลือกมันสำปะหลังสำหรับกระบวนการผลิตมันแผ่นทอดกรอบ เพื่อลดปัญหาการขาดแคลนแรงงาน โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ และ เงื่อนไขที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องปอกเปลือก ซึ่งปัจจัยหลักที่คาดว่าจะมีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องปอกเปลือก ได้แก่ ปัจจัยด้านพืช (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวมันสำปะหลัง ความยาว ความหนาเปลือก เป็นต้น) ปัจจัยด้านเครื่อง (ความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก ชนิดใบมีดปอก มุมติดตั้งใบมีดปอก เป็นต้น)

ภาพที่ 1 แรงงานคนกำลังทำการปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง

เครื่องมือและวิธีการ

1. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของหัวมันสำปะหลัง

ในการศึกษานี้ใช้มันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที ซึ่งเป็นมันสำปะหลังชนิดหวานใช้สำหรับบริโภค ทำการศึกษาขนาดของหัวมันสำปะหลัง โดยการสุ่มเลือกหัวมันที่ได้มาจากแปลงและยังไม่ได้ทำการตัดแต่งหัวมัน [11] แบ่งการวัดขนาดของหัวมันสำปะหลัง ออกเป็น 4 ลักษณะ ได้แก่ ความยาว (L) ความกว้างส่วนโคน (OA) ความกว้างส่วนกลาง (OB) และความกว้างส่วนปลาย (OC) ของหัวมันสำปะหลัง วัดขนาดความหนาของเปลือกมัน (ภาพที่ 2) โดยทำการสุ่มหัวมันที่ตัดแต่งแล้ว นำมาตัดแบ่งออกเป็นสามช่วง แล้วปอกเปลือกออกเพื่อวัดความหนาของเปลือกสามตำแหน่งเพื่อหาค่าเฉลี่ย [12–15]



ภาพที่ 2 การวัดขนาดหัวมันสำปะหลัง และความหนาของเปลือก

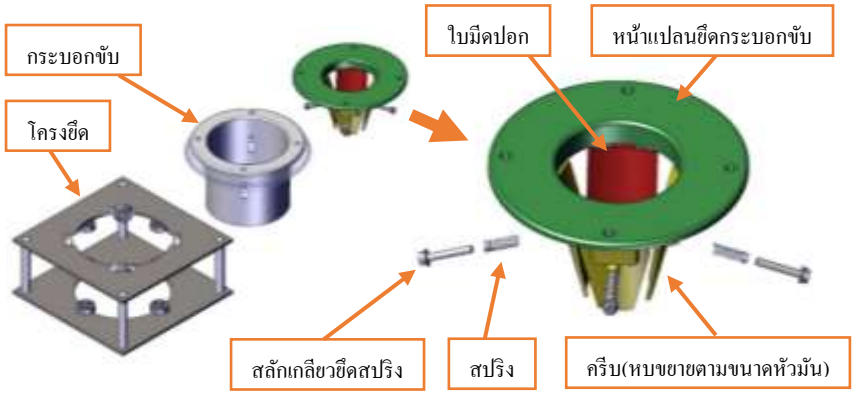
2. การออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง

การออกแบบเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ 1) โครงสร้างหลัก 2) ต้นกำลังและระบบส่งกำลัง และ 3) ชุดใบมีดปอก โดยผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ชุดใบมีดปอก คือส่วนประกอบสำคัญที่สุด ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้มุ่งเน้นศึกษาผลของชุดใบมีดปอกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการปอก โดยมีรายละเอียดการศึกษาดังต่อไปนี้

2.1 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อทดสอบแนวคิดการเฉือนเปลือกออกจากหัวมัน โดยเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนที่ระหว่างหัวมันเคลื่อนที่แต่ใบมีดอยู่นิ่ง กับใบมีดเคลื่อนที่แต่หัวมันอยู่นิ่ง โดยมีประสิทธิภาพการปอกเป็นค่าชี้ผลทางการศึกษา ได้ทำการศึกษาลักษณะและตำแหน่งการติดตั้งของใบมีดปอก ลักษณะการจับยึดหัวมัน ซึ่งค่าชี้ผลการศึกษาในการศึกษานี้จะใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการออกแบบเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังในลำดับต่อไป

2.2 การออกแบบใบมีดปอกและทดสอบการทำงาน ในหัวข้อนี้จะนำข้อมูลจากข้อ 2.1 และงานวิจัยของ Pariyed และคณะ [7] มาทำการออกแบบใบมีดปอกเปลือกให้มีมุมองศาติดตั้งที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0 10 และ 20 องศาจากแนวแกน โดยชนิดของใบมีดเลือกใช้เป็นใบมีดกบไสไม้ ซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น นำใบกบไสไม้มาตัดแต่งให้ได้ขนาดความยาว 15 25 และ 35 มิลลิเมตร กำหนดให้ใบมีดเคลื่อนที่หมุนรอบในแนวรัศมีของหัวมันเพื่อให้เกิดการปอก การจับยึดใช้แรงงานคนช่วยป้อนและบังคับให้หัวมันอยู่นิ่ง โดยเคลื่อนที่จากบนลงล่างตามแนวแกนของชุดใบมีด (ภาพที่ 3)

ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง (ภาพที่ 4) คือ เริ่มจากการนำหัวมันมาตัดส่วนหัวและส่วนท้ายออก โดยหัวมันที่จะนำมาเข้าชุดปอกจะกำหนดขนาดความยาว 200 มิลลิเมตร [9-10] และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 40 ถึง 80 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงที่ผู้ประกอบการรับซื้อหัวมันสำปะหลัง จากนั้นเปิดเครื่องนำหัวมันเข้าชุดใบมีดปอก โดยใช้การป้อนหัวมันด้วยมือ คือ นำหัวมันป้อนลงในช่องที่มีใบมีดหมุนรอบในแนวรัศมีของหัวมัน ใบมีดจะเฉือนเปลือกของหัวมันออกในลักษณะหมุนวน โดยผู้ปฏิบัติงานจะป้อนและดันหัวมันจากบนลงล่างตามแนวแกนของชุดใบมีด ซึ่งชุดใบมีดปอกสามารถขยายและหุบเข้าออกได้ด้วยสปริงดันกรีบ สำหรับการศึกษานี้ควบคุมค่าความแข็งสปริงที่ 5.17 นิวตันต่อเมตร



ภาพที่ 3 ชุดใบมีดปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง

ภาพที่ 4 การปอกเปลือกหัวมันด้วยเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง

3. การทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง โดยจัดแผนการทดลองแบบ 3x3x3 factorial in CRD ที่ความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอกหมุนรอบในแนวรัศมีของหัวมันด้วยความเร็ว 3 ระดับ คือ 90 100 และ 110 รอบต่อนาที เปรียบเทียบใบมีดที่มีมุมองศาติดตั้ง 3 ระดับ คือ 0 10 และ 20 องศาจากแนวแกน (ภาพที่ 5) ความยาวของใบมีดปอก 3 ระดับ คือ 15 25 และ 35 มิลลิเมตร (ภาพที่ 6) โดยทำการทดสอบแต่ละเงื่อนไข 2 ซ้ำ

(ก) **(ข)** **(ค)**

ภาพที่ 5 ใบมีดที่มีมุมองศาติดตั้ง (ก) 0 องศา (ข) 10 องศา และ (ค) 20 องศา

(1) **(2)** **(3)**

ภาพที่ 6 ความยาวของใบมีดปอก (1) 15 mm (2) 25 mm และ (3) 35 mm

จากนั้นทำการทดสอบปัจจัยการทำงานของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง โดยการปรับแต่งเงื่อนไขตามปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น เช่น ความเร็วใบมีดที่ 90 รอบต่อนาที ใช้ใบมีดมุมติดตั้ง 0 องศา และ ความยาวใบมีดปอก 15 มิลลิเมตร ป้อนหัวมันที่ผ่านการตัดแต่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 40 ถึง 80 มิลลิเมตร (เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงที่ผู้ประกอบการรับซื้อหัวมันสำปะหลัง) และกำหนดความยาวของหัวมันสำปะหลัง 200 มิลลิเมตร จากนั้นทำการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวมัน โดยแบ่งการวัดออกเป็นทั้งหมด 5 ช่วง ช่วงละ 40 มิลลิเมตร เพื่อหาพื้นที่ผิวเปลือกทั้งหมดก่อนการทดสอบ และชั่งน้ำหนักหัวมันสำปะหลัง ทำการจับเวลาตั้งแต่หัวมันเริ่มเคลื่อนที่ถึงใบมีด (เริ่มปอกเปลือก) จนกระทั่งหัวมันเคลื่อนที่ออกจากใบมีด (ปอกแล้วเสร็จ) นำหัวมันที่ผ่านการปอกเปลือก มาตรวจสอบพื้นที่ผิวเปลือกที่ยังปอกไม่หมด โดยการลอกเปลือกออก ถ่ายภาพ แล้วใช้โปรแกรม image J ในการหาพื้นที่เปลือกที่ปอกไม่หมด (ภาพที่ 7) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการปอก (Peeling efficiency, PE) สมการที่ 1 [7] ตรวจสอบเนื้อมันสูญเสีย (Flesh loss of tuber, FL) โดยแกะเนื้อมันที่ติดไปกับเปลือกนำมาชั่งน้ำหนัก สมการที่ 2 [7, 9] คำนวณหาความสามารถในการทำงาน (Throughput Capacity, TC) ดัง สมการที่ 3 [4, 7, 9, 16-17] นำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย วิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง และหาสมการความสัมพันธ์ของค่าชี้วัดที่แปรตามตัวแปรต้นที่ใช้ศึกษาในรูปแบบสมการ quadratic โดยใช้โปรแกรม Minitab R.14 ช่วยในการประมวลผลการทดลอง

$$\text{ประสิทธิภาพหลังการปอก (PE)} = \frac{\text{พื้นที่ทั้งหมด} - \text{พื้นที่ที่เหลือ}}{\text{พื้นที่ทั้งหมด}} \times 100 \quad , \% \qquad (1)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ (FL)} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อที่ติดไปกับเปลือก}}{\text{น้ำหนักเนื้อทั้งหมด}} \times 100 \quad , \% \qquad (2)$$

$$\text{ความสามารถในการทำงาน (TC)} = \frac{\text{น้ำหนักมันที่ปอกเปลือกแล้ว}}{\text{เวลาที่ใช้ในการปอก}} \quad , \text{kg/h} \qquad (3)$$

ภาพที่ 7 การหาพื้นที่ผิวเปลือกโดยโปรแกรม Image J

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของหัวมันสำปะหลัง

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า รูปร่างมันสำปะหลังมีขนาดไม่จำเพาะ รูปร่างส่วนใหญ่เป็นกรวยทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนกว้างที่สุดระหว่าง 41.10 ถึง 72.80 มิลลิเมตร เฉลี่ย 53.90 มิลลิเมตร ความยาวระหว่าง 190 ถึง 570 มิลลิเมตร เฉลี่ย 371.70 มิลลิเมตร ความหนาของเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 2.50 มิลลิเมตร โดยขนาด

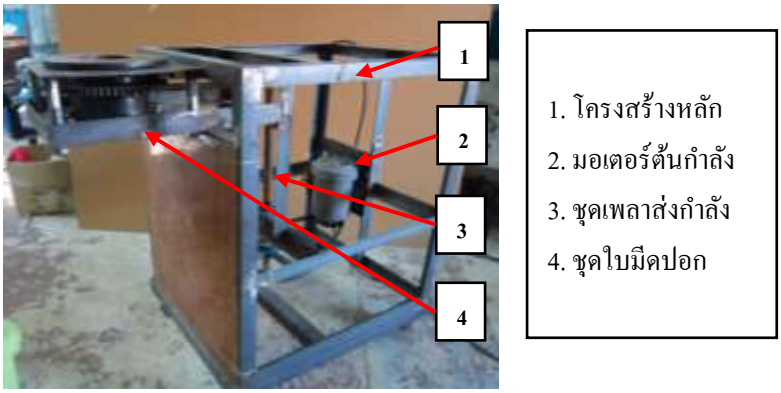
เส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาวและความหนาเปลือกของหัวมันสำปะหลังนั้นอยู่ในช่วงรายงานการวิจัยของ [10, 12, 14-15, 18] ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวมันสำปะหลังระหว่าง 18.80 ถึง 118.05 มิลลิเมตร ความยาว 141.05 ถึง 510.00 มิลลิเมตร และความหนาของเปลือก 1.20 ถึง 4.15 มิลลิเมตร

2. ผลการออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง

จากการทดสอบชุดปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังเบื้องต้น เพื่อทดสอบแนวคิดและหลักการปอกแบบมีดปอก พบว่าการทดสอบหัวมันเคลื่อนที่แต่ใบมีดอยู่นิ่ง มีความน่าจะเป็นในการปอกเปลือกมันสำปะหลังได้ แต่ชุดทดสอบปอกยังมีปัญหาและข้อจำกัดในการปอกของ ได้แก่ หัวมันสำปะหลังมีความเปราะ ทำให้หัวมันหลุดจากแท่นจับยึดในระหว่างการปอก การสูญเสียเวลาในขั้นตอนการเปลี่ยนถ่ายหัวมันสำปะหลังเข้าสู่แท่นจับยึด และจากรายงานวิจัย Ebunilo และคณะ [10] ข้อดีของการปอกเปลือกแบบแท่นกลึง คือ การสูญเสียเนื้อมันน้อย เนื่องจากเครื่องปอกสามารถรักษาระดับความลึกของใบมีดปอกไว้คงที่ตามที่กำหนดความลึก และอายุหลังเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปอกของเครื่อง

การทดสอบปอกเปลือกโดย ใบมีดเคลื่อนที่แต่หัวมันอยู่นิ่ง พบว่า ชุดทดสอบมีประสิทธิภาพการปอกตั้งแต่ 62.92 ถึง 90.30 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อตั้งแต่ 0.93 ถึง 5.26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปัจจัยที่เหมาะสมกับการปอกมากที่สุดคือ ที่ความเร็วของกระบอกขับใบมีดปอก 90 รอบต่อนาที โดยมีประสิทธิภาพการปอกเฉลี่ย 90.30 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อเฉลี่ย 3.63 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลข้างต้นจึงได้ทำการศึกษา ออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง ดังภาพที่ 8 โดยเครื่องปอกเปลือกประกอบด้วย 1) โครงสร้างหลัก 2) มอเตอร์ต้นกำลัง 3) ชุดเพลาส่งกำลัง และ 4) ชุดใบมีดปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง ภาพที่ 9



ภาพที่ 8 เครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง

(1) **(2)**

ภาพที่ 9 ตำแหน่งติดตั้งใบมีดปอก (1) บริเวณติดตั้งใบมีด (2) ลักษณะติดตั้งใบมีด (มุมมองด้านบน)

3. ผลการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง

ผลการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง ที่ความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก 90 100 และ 110 รอบต่อนาที เปรียบเทียบใบมีดปอกที่มีมุมองศาติดตั้ง 3 ระดับ คือ 0 10 และ 20 องศาจากแนวแกน และความยาวของใบมีดปอก 15 25 และ 35 มิลลิเมตร เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความแปรปวนของ 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ องศาใบมีดปอก (Blade Angle, BA) ความยาวใบมีดปอก (Blade Length, BL) และความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก (Rotational Speed, RS) ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปอก (PE) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ (FL) และความสามารถในการทำงาน (TC) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ผลที่ได้ดังตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปวนอิทธิพลของ องศาใบมีดปอก ความยาวใบมีดปอก และความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก ของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงาน

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปวนอิทธิพลของ องศาใบมีดปอก ความยาวใบมีดปอก และความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก ของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงาน

Source	DF	MS		
		PE	FL	TC
Replications	1	32.45^{ns}	4.49^{ns}	15.10^{ns}
Blade Angle (BA)	2	89.6^{ns}	2.87^{ns}	12082.10**
Blade Length (BL)	2	511.61**	210.19**	4932.50**
Rotational Speed (RS)	2	49.97^{ns}	0.33^{ns}	917.90*
BA x BL	4	21.89^{ns}	4.08^{ns}	483.90^{ns}
BA x RS	4	112.2*	9.06*	890.80*
BL x RS	4	12.6^{ns}	1.62^{ns}	393.50^{ns}
BA x BL x RS	8	85.88*	11.99**	443.40^{ns}

หมายเหตุ ns คือ อิทธิพลของปัจจัยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ $P > 0.05$
* คือ อิทธิพลของปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ $P < 0.05$
** คือ อิทธิพลของปัจจัยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง $P < 0.01$

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปวนอิทธิพลของปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังได้แก่ องศาใบมีดปอก (BA) ความยาวใบมีดปอก (BL) และความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก (RS) ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปอก (PE) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ (FL) และความสามารถในการทำงาน (TC) พบว่า องศาใบมีดปอก (BA) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ค่าชี้ผลความสามารถในการทำงาน ส่วนที่ค่าชี้ผลประสิทธิภาพการปอก และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จึงสรุปได้ว่าที่องศาใบมีดปอกส่งผลต่อความสามารถในการทำงานที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แต่ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปอก และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง

ที่ระดับปัจจัยความยาวใบมีดปอก (BL) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ทุกค่าชี้ผล สรุปได้ว่าปัจจัยความยาวใบมีดปอกส่งผลต่อประสิทธิภาพการปอก เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อและความสามารถในการทำงานของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

และที่ระดับปัจจัยความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก (RS) มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ที่ค่าชี้ผลความสามารถในการทำงาน ส่วนที่ค่าชี้ผลประสิทธิภาพการปอก และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จึงสรุปได้ว่าที่ระดับปัจจัยความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก ส่งผลต่อความสามารถในการทำงานแต่ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปอก และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากผลการทดสอบปัจจัยการทำงานของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง นำผลที่ได้จากการทดสอบมาพิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสมในการปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Least Significant Difference (LSD) ผลที่ได้ดังตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ

ตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ

องศาใบมีดปอก (BA, องศา)	ความยาวใบมีดปอก (BL, mm)	ความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก (RS, rpm)	ประสิทธิภาพการปอก (PE, %)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ (FI, %)	ความสามารถในการทำงาน (TC, kg/h)
0	15	90	89.80^{ABCDE}	3.93^{DEFGHI}	45.19^{J}
		100	88.81^{ABCDEF}	3.91^{DEFGHI}	58.64^{HIJ}
		110	74.38^{HIJ}	1.21^{HIJ}	46.36^{J}
	25	90	$88.05^{ABCDEFG}$	6.21^{CD}	85.43^{DEFGHI}
		100	91.00^{ABC}	10.53^{AB}	83.34^{DEFGHI}
		110	93.08^{ABC}	9.52^{B}	69.92^{FGHIJ}
	35	90	78.49^{FGHIJ}	$3.26^{DEFGHIJ}$	88.21^{DEFGHI}
		100	79.26^{EFGHIJ}	$3.16^{DEFGHIJ}$	69.87^{FGHIJ}
		110	77.72^{GHIJ}	2.64^{FGHIJ}	65.55^{GHIJ}
10	15	90	$84.91^{BCDEFGH}$	3.10^{EFGHIJ}	77.23^{EFGHIJ}
		100	73.24^{IJ}	1.87^{GHIJ}	106.08^{CDE}
		110	79.18^{EFGHIJ}	1.25^{HIJ}	56.18^{IJ}
	25	90	90.53^{ABCD}	5.04^{DEF}	83.21^{DEFGHI}
		100	$85.09^{BCDEFGH}$	6.20^{CD}	100.01^{DEF}
		110	93.48^{ABC}	10.08^{AB}	97.03^{DEFG}
	35	90	$79.69^{DEFGHIJ}$	1.90^{GHIJ}	76.83^{EFGHIJ}
		100	72.50^{J}	2.15^{FGHIJ}	93.99^{DEFG}
		110	$86.45^{ABCDEFG}$	4.93^{DEFG}	113.30^{BCD}

ตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

องศา ใบมีดปอก (BA, องศา)	ความยาว ใบมีดปอก (BL, mm)	ความเร็วรอบ กระบอกขับใบมีดปอก (RS, rpm)	ประสิทธิภาพการปอก (PE, %)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ (FI, %)	ความสามารถในการทำงาน (TC, kg/h)
20	15	90	73.21^{IJ}	0.55^{J}	86.18^{DEFGHI}
		100	$86.02^{ABCDEFG}$	0.90^{IJ}	89.09^{DEFGH}
		110	95.09^{AB}	2.22^{FGHIJ}	94.43^{DEFG}
	25	90	96.29^{A}	13.01^{A}	101.07^{DEF}
		100	88.78^{ABCDEF}	8.94^{BC}	143.46^{AB}
		110	91.98^{ABC}	5.89^{CDE}	165.57^{A}
	35	90	$83.23^{CDEFGHIJ}$	2.61^{FGHIJ}	115.29^{BCD}
		100	$83.61^{CDEFGHI}$	4.19^{DEFGH}	137.64^{ABC}
		110	$86.92^{ABCDEFG}$	3.11^{EFGHIJ}	144.02^{AB}

หมายเหตุ A-J คือ สัญลักษณ์การจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยจากมากไปน้อย

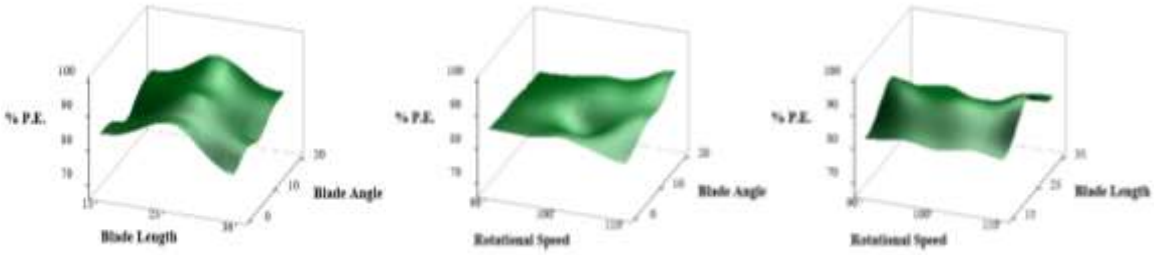
จากตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ ของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังพบว่าเครื่องปอกมีประสิทธิภาพการปอกอยู่ระหว่าง 72.50 ถึง 96.29 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย 84.85 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อระหว่าง 0.55 ถึง 13.01 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย 4.56 เปอร์เซ็นต์ และความสามารถในการทำงานระหว่าง 45.51 ถึง 165.57 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เฉลี่ย 92.35 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งจากตารางผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ พบว่าปัจจัยที่เหมาะสมในการปอก คือ มุมติดตั้งใบมีดปอกทำมุมกับแนวแกน 20 องศา ความยาวของใบมีดปอก 15 มิลลิเมตร และความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก 110 รอบต่อนาที โดยมีประสิทธิภาพการปอก 95.09 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ 2.22 เปอร์เซ็นต์ และมีความสามารถในการทำงาน 94.43 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการปอกที่อยู่ในระดับสูงกว่าค่าเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้ออยู่ในระดับต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมด ซึ่งผลการทดสอบเครื่องปอกเปลือกเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Pariyed และคณะ [7] ที่มีลักษณะการปอกแบบใบมีดปอก มีประสิทธิภาพการปอก 90.30 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ 3.63 เปอร์เซ็นต์ และมีประสิทธิภาพการปอกสูงกว่าในงานวิจัยของ Ebunilo และคณะ [10] ที่ใช้ลักษณะการปอกแบบแท่นกลึง มีประสิทธิภาพการปอก 70 เปอร์เซ็นต์ ยังพบว่า เครื่องปอกเปลือกมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ที่ใช้ลักษณะการปอกแบบขูดผิวหรือขัดผิวเปลือกมัน ที่มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ 10-20 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำความสามารถในการทำของเครื่องเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ ทยาวีร์ และ ธวัชชัย [8] พบว่ามีความสามารถในการทำงานของเครื่องที่น้อยกว่าถึงเท่าตัว ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากวิธีการป้อนหัวมันหรือหลักการของเครื่องที่แตกต่างกันอาจจะส่งผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่อง

เมื่อนำผลที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ จากตารางที่ 2 ของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำหลัง มาวิเคราะห์หาสมการถดถอยโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% (ระดับนัยสำคัญ 0.05) และกราฟแสดงความสัมพันธ์พื้นผิวตอบสนองของ 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ องศาใบมีด

ปอก (BA) ความยาวใบมีดปอก (BL) และความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก (RS) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการปอก (PE) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ (FL) และความสามารถในการทำงาน (TC) ผลที่ได้มีดังต่อไปนี้

1. ผลขององศาใบมีดปอก (BA) ความยาวใบมีดปอก (BL) และความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก (RS) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการปอก (PE) จากการวิเคราะห์ พบว่าองศาใบมีดปอกและความยาวใบมีดปอก มีผลต่อประสิทธิภาพการปอกอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความเร็วกระบอกขับมีแนวโน้มไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการปอก ที่ระดับความเร็วต่าง ๆ และจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ จะได้สมการของพื้นผิวตอนสนองของประสิทธิภาพการปอก ดังสมการที่ 4 และได้กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองดังภาพที่ 10

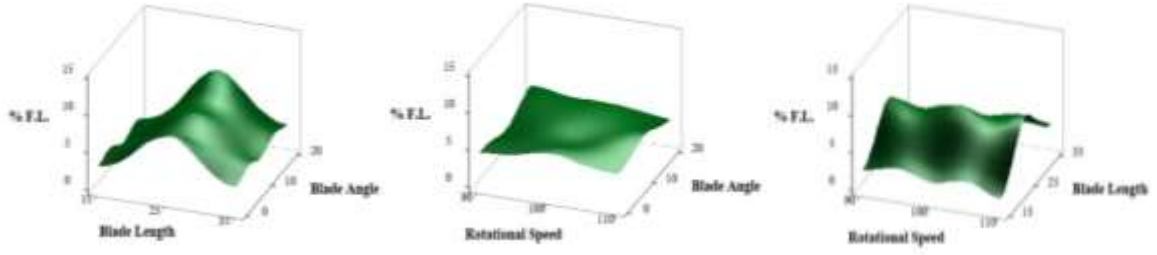
$$PE = 90.21 - 19.10(BA) + 31.19(BL) - 16.33(RS) + 3.05(BA^2) - 9.09(BL^2) + 2.56(RS^2) + 1.41(BA,BL) + 2.70(BA,RS) + 0.72(BL,RS) \quad ,R^2 = 0.46 \tag{4}$$



ภาพที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการปอก

2. ผลขององศาใบมีดปอก (BA) ความยาวใบมีดปอก (BL) และความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก (RS) ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ (FL) จากการวิเคราะห์ พบว่าองศาใบมีดปอกและความเร็วกระบอกขับมีแนวโน้มไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้ออย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความยาวใบมีดปอกมีแนวโน้มที่จะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ ซึ่งพิจารณาได้ว่าความยาวใบมีดปอกที่เพิ่มขึ้นจะมีความสามารถในการเฉือนผิวเปลือกและเนื้อมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ทำให้มีการสูญเสียเนื้อมันสำปะหลังที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ จะได้สมการของพื้นผิวตอนสนองของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ ดังสมการที่ 5 และได้กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองดังภาพที่ 11

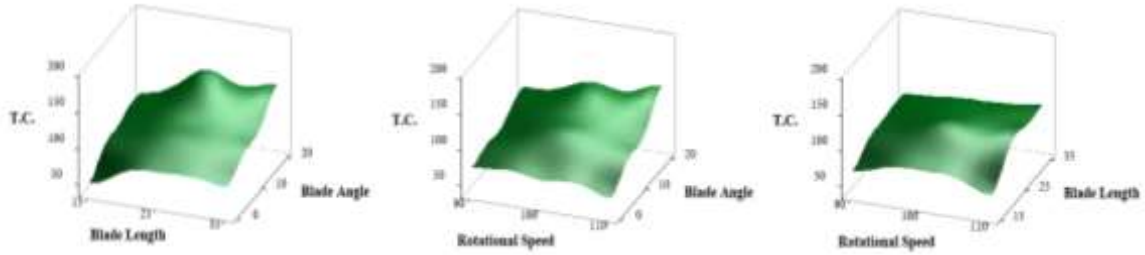
$$FL = -11.82 - 2.91(BA) + 21.90(BL) + 0.52(RS) + 0.63(BA^2) - 5.85(BL^2) - 0.14(RS^2) + 0.52(BA,BL) - 0.40(BA,RS) + 0.48(BL,RS) \quad ,R^2 = 0.68 \tag{5}$$



ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ

3. ผลขององศาใบมีดปอก (BA) ความยาวใบมีดปอก (BL) และความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก (RS) ที่มีผลต่อความสามารถในการทำงาน (TC) จากการวิเคราะห์ พบว่าองศาใบมีดปอก ความยาวใบมีดปอก และความเร็วกระบอกขับใบมีดปอกมีแนวโน้มส่งผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่องปอกอย่างมีนัยสำคัญ โดยความเร็วกระบอกขับใบมีดปอกมีผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่องปอกน้อยที่สุด ซึ่งพิจารณาได้ว่าเมื่อเพิ่มหรือลดความเร็วกระบอกขับใบมีดปอกความสามารถในการปอกเปลือกของเครื่องปอกจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเล็กน้อย ส่วนองศาใบมีดปอกและความยาวใบมีดปอกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการปอกเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ จะได้สมการของพื้นผิวตอนสนองของความสามารถในการทำงาน ดังสมการที่ 6 และได้กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองดังภาพที่ 12

$$TC = 18.12 - 24.57(BA) + 60.77(BL) + 6.96(RS) + 4.54(BA^2) - 16.31(BL^2) - 8.49(RS^2) + 4.51(BA,BL) + 11.56(BA,RS) + 4.54(BL,RS) \quad ,R^2 = 0.75 \tag{6}$$



ภาพที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ต่อความสามารถในการทำงาน

สรุปผลการวิจัย

หัวมันสำปะหลัง มีรูปร่างและขนาดไม่จำเพาะ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนกว้างที่สุดเฉลี่ย 53.90 มิลลิเมตร ความยาวต่อหัว เฉลี่ย 371.70 มิลลิเมตร และความหนาของเปลือกเฉลี่ย 2.50 มิลลิเมตร โดยเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง ที่ทำการออกแบบและสร้างประกอบด้วย 1) โครงเครื่อง 2) มอเตอร์ต้นกำลัง 3) ชุดเพลาส่งกำลัง และ 4) ชุดใบมีดปอกเปลือก โดยชุดใบมีดปอกเปลือกจะประกอบด้วยความยาวใบมีดปอก 3 ระดับ คือ 15 25 และ 35 มิลลิเมตร มีมุมติดตั้งใบมีดปอก 0 10 และ 20 องศาจากแนวแกน และความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก 90 100 และ 110 รอบต่อนาที ซึ่งปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง คือ ที่มุมติดตั้งใบมีดปอก 20 องศาจากแนวแกน ความยาวของใบมีดปอก 15 มิลลิเมตร และความเร็วรอบกระบอกขับใบมีดปอก 110 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพการปอกมีค่าเฉลี่ยเป็น 95.09 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อ 2.22 เปอร์เซ็นต์ และความสามารถในการทำงาน 94.43 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็น 2.50 เท่าของแรงงานคน

หากมีการนำเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังไปพัฒนาต่อยอด ควรมีการสร้างชุดป้อนหัวมันสำปะหลังเข้าสู่ชุดปอกโดยไม่ต้องใช้มือจับในการป้อนหัวมัน เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นในขั้นตอนป้อนหัวมันเข้าชุดใบมีดปอก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท บุญทัน ฟู้ดส์ (ประเทศไทย) จำกัด สำหรับประเด็นวิจัย รวมถึงสนับสนุนทุนในการวิจัย ขอขอบคุณ โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ป.โท ปี 2561 สำนักงานวิจัยกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในการสนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยและสนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. National Science and Technology Development Agency.(NSTDA). Cassava program Research Framework on Agriculture and Biological Industry [Internet]. 2020 [cited 2020 Jul 20]. Available from: https://www.nstda.or.th/th/th/industrial-research/907-cassava. Thai.
2. Office of Agricultural Economics. Details of production and marketing situation [Internet]. 2020 [cited 2020 July 20]. Available from: http://www.oae.go.th/view/1/ Weekly Production and Marketing Situation 2020/34277. Thai.
3. Thai Tapioca Deveiopmant Institute. (TTDI). Benefits of cassava. [Internet]. 2000 [cited 2020 Jul 20]. Available from: https://www.tapiocathai.org/E5.html. Thai.
4. Daniyan IA, Adeodu AO, Azeez TM, Dada OM, Olafare AO. Optimization of Peeling Time and Operational Speed for Cassava Peeling Using Central Composite Design and Response Surface Methodology. Int J Eng Sci Res Technol. 2012;91(5):1689–1699.
5. Baba Hassan A. Design and Fabrication of a Cassava Peeling Machine. IOSR J Eng. 2012;02(06):1–8.
6. Ohwovoriole EN, Oboli S, Mgbeke ACC. Studies and Preliminary Design for a Cassava Tuber Peeling Machine. Trans Am Soc Agric Eng. 1988;31(2):380–385.
7. Pariyed S, Juckmas L, Aphisit P, Suphan Y, Cherdpong C. Design and Construction of a Cassava Tuber Knife Peeling Unit. J Ind Technol. 2019;15(3):1–11.
8. Thayawee N, Thavachai T. The Development and Evaluation of a Peeling Machine for Cassava. Agricultural Science Journal. 2549;37:182–185. Thai.
9. Oluwole OO, Adio MA. Design and Construction of a Batch Cassava Peeling Machine. J M echanical Eng Autom. 2013;3(1):16–21.
10. Ebunilo P, Egware H, Ukwuaba S. Design and Testing of an Experimental Cassava Tuber Peeling Machine. Int J Eng Res Africa. 2013;9:35–42.
11. Fadeyibi A, Faith Ajao O. Design and Performance Evaluation of a Multi-Tuber Peeling Machine. AgriEngineering. 2020;2(1):55–71.
12. Date A. Investigation of cassava tuber physical characteristics and their relationships. 2017;5(September): 207–217.
13. Malomo O, Bello EK, Adekoyeni OO, Jimoh. Performance Evaluation of an Automated Combined Cassava Grater/Slicer. Int Invent J Biochem Bioinforma [Internet]. 2014;2(3):2408–722. Available from: http://internationalinventjournals.org/journals/IIJBB

14. Ademosun OC, Jimoh MO, Olukunle OJ. Effect of physical and mechanical properties of cassava tubers on the performance of an automated peeling machine ". Int J Dev Sustain [Internet]. 2012;11(33):810–22. Available from: www.isdsnet.com
15. Adetan D, Adekoya L, Aluko O. Characterisation of some properties of cassava root tubers. J Food Eng [Internet]. 2003 Oct 1 [cited 2018 Nov 22];59(4):349–53. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877402004934
16. Nathan C, Wadai J, Haruna IU. Comparative analysis of type 3 and type 4 cassava peeling machines. Niger J Technol. 2018;36(4):1088.
17. Jimoh MO, Olukunle OJ, Manuwa SI. Modeling of cassava peeling performance using dimensional analysis. Agric Eng Int CIGR J. 2016;18(2):360–367.
18. Olukunle OJ, Ogunlowo AS, Sanni L. The Search for an Effective Cassava Peeler. West Indian J Eng. 2010;32(January):42–47.