Engng.J.CMU.(2019) 26 (2), 157−166

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การพัฒนาเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติ

Development of the Semi-Automatic Forming of Sago with Pork Filling Balls Machine

สุนัน ปานสาคร[1,*] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์[1] เจริญพร สมบัติหอม[1] และ อภิสิทธิ์ มากเมือง[1]

Sunan Parnsakhorn[1,*], Jaturong Langkapin[1], Charoenphon Sombathom[1] and Apisit Makmuang[1]

[1,*]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

[1,*]Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi,
39 Moo 1, Rangsit-Nakhonnayok Road, Klong 6, Thanyaburi, Pathum Thani 12110
*E-mail: sunan.p@en.rmutt.ac.th, Telephone number: 02-549-3380, Fax: 02-549-3581

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สาคูไส้หมูที่มีรูปร่างใกล้เคียงทรงกลม ลดเวลา และแรงงานในการผลิตสาคูไส้หมู เพื่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรมและกึ่งอุตสาหกรรม เครื่องต้นแบบประกอบด้วย โครงสร้างเครื่อง ส่วนอัดแป้ง ส่วนอัดไส้สาคู ชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง จำนวน 2 ตัว ขนาด 1.0 แรงม้า สำหรับส่วนอัดแป้งและไส้ และขนาด 0.5 แรงม้า สำหรับชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู การทำงานของเครื่องเริ่มจากการป้อนแป้งสาคูและไส้ลงถังบรรจุ จากนั้นแป้งสาคูและไส้จะถูกอัดผ่านท่อลำเลียงที่ออกแบบให้มีลักษณะเป็นท่อสองชั้น ชั้นนอกเป็นส่วนของแป้ง และชั้นในเป็นส่วนของไส้ โดยอัตราการไหลของแป้งขึ้นอยู่กับความหนืด จากผลการทดสอบพบว่า เครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่สุดโดยการนวดแป้งที่อัตราส่วนแป้งกับน้ำ 1 ต่อ 1 จากนั้นไส้และแป้งถูกส่งไปยังชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมูที่ถูกออกแบบมาในลักษณะเบ้าครึ่งทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชุด เพื่อทำการกดและอัดให้ได้สาคูไส้หมูที่มีลักษณะเป็นทรงกลม พบว่าชุดเบ้าขึ้นรูปสาคูไส้หมูสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วรอบ 15 รอบ/นาที มีอัตราการผลิต 1,842 ลูก/ชั่วโมง ความสามารถในการทำงานจริงของเครื่อง 1,481 ลูก/ชั่วโมง และมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 20 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของชุดเบ้าขึ้นรูปสาคูไส้หมูเป็น 20 รอบ/นาที และ 25 รอบ/นาที ให้ความสามารถในการทำงานจริงของเครื่องลดลงเป็น 1,048 และ 328 ลูก/ชั่วโมง ตามลำดับ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 0.88 กิโลวัตต์ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมแสดงระยะเวลาคืนทุน 60 วัน

คำสำคัญ: สาคูไส้หมู เครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมู แป้ง เครื่องต้นแบบ ความสามารถในการทำงาน

ABSTRACT

This research focused on developing semi-automatic forming of sago with pork filling balls machine in order to produce spherical sago balls, reduce production time and labor cost. This machine was developed for industrial and semi-industrial production scales. The prototype consisted of main frame, flour filling unit, sago filling unit, sago forming unit and two power transmission units. The power transmission units were 1.0 horsepower for flour filling unit and 0.5 horsepower for sago forming unit. The machine operation started from filling sago powder and filling pork into the container.

Received 16 May 2018
Revised 9 August 2018
Accepted 21 August 2018

Subsequently, the sago powder and the pork filling were compressed through a double-layer pipe where the outer layer conveyed dough and the filling was in the inner pipe. The results showed that the optimal ratio of starch and water was 1:1. Later, the filling and dough were delivered to sago forming unit, which was designed into two pieces of semi-circular mold of 28-mm diameter to press and compress sago ball into spherical shape. The research found that the most efficient speed of the forming unit was 15 rpm and the production rate was 1,842 balls per hour. The working capacity of the machine was 1,481 balls per hour with 20 percent damage. The increasing of sago forming speed to 20 rpm and 25 rpm reduced the actual capacity of the machine to 1,048 and 328 balls per hour, respectively. Power consumption of the machine was 0.88 kWh. Lastly, the engineering economic analysis showed that the payback period was 60 days.
Keywords: Sago pork, Sago pork forming machine, Flour, Prototype, Working capacity

1. คำนำ

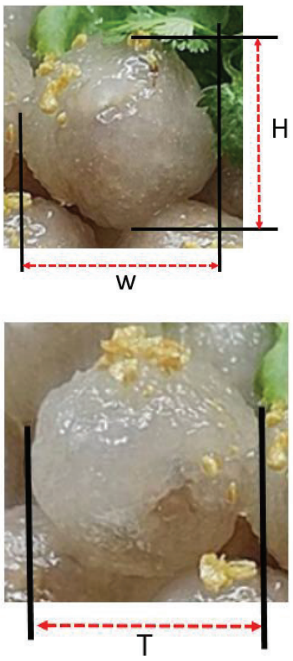
อาหารหลักของคนไทย คือ ข้าว แต่นอกจากข้าวแล้ว ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยังต้องการรับประทานขนมหวานอาหารว่าง หรือของขบเคี้ยวอื่น ๆ เพื่อเพิ่มอรรถรสในการรับประทานอาหาร ขนมไทยเป็นทางเลือกหนึ่งที่ทุกชนชั้นนิยมรับประทาน เนื่องจากรสชาติที่ดี มีการผลิตอย่างถูกหลักอนามัย ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติหรือวัตถุดิบทางการเกษตรเป็นส่วนมาก เช่น ใบเตย ดอกอัญชัน กระเจี๊ยบ ฟักทอง ฯลฯ จึงเหมาะสำหรับการรับประทานเพื่อสุขภาพ อีกทั้งยังเป็นที่นิยมอย่างมากตามร้านอาหาร งานเลี้ยงหรืองานมงคลต่าง ๆ โดยเฉพาะในช่วงหลังมานี้มีกลุ่มชมรมเกษตรกร หรือกลุ่มชมรมต่าง ๆ ที่เริ่มรณรงค์ในการผลิตขนมไทยเพื่อจำหน่ายเป็นสินค้า OTOP และจำหน่ายตามร้านสะดวกซื้อทั่วไปซึ่งพบได้ว่า ขนมไทยกำลังแพร่หลายอย่างมากในยุคปัจจุบันนี้ สาคูไส้หมูเป็นขนมไทยชนิดหนึ่งที่ผู้คนนิยมบริโภคและอยู่คู่คนไทยมาช้านาน เม็ดสาคู มี 2 ประเภท คือ สาคูเม็ดเล็ก และสาคูเม็ดใหญ่ ซึ่งเดิมผลิตจากต้นสาคู [1] แต่ด้วยปัจจุบันแนวโน้มมีการลดลงของจำนวนต้นสาคูมีมากขึ้น ดังนั้นเม็ดสาคูที่นิยมนำมาทำขนมรับประทานกันโดยทั่วไปจึงทำมาจากแป้งมันสำปะหลังที่มีลักษณะคล้ายแป้งสาคู โดยมีขั้นตอนการแปรรูป คือ นำแป้งมาขึ้นรูปด้วยเครื่องเขย่าให้จับกันเป็นก้อน และร่อนเพื่อคัดขนาดที่ต้องการ คั่วและอบแห้งเป็นเม็ด ๆ เรียกว่า เม็ดสาคู เนื่องจากในอดีตเม็ดสาคูทำมาจากต้นสาคูที่เป็นพืชตระกูลปาล์มที่พบมากในภาคใต้ แต่หลังจากมีการนำเข้ามันสำปะหลังมาปลูกในประเทศไทยอย่างแพร่หลาย การทำเม็ดสาคูจึงได้ใช้แป้งมันสำปะหลังแทน ต้นสาคูจึงไม่ถูกนำมาผลิตเป็นแป้งและเม็ดสาคูอีกต่อไป [2, 3]

การนำเม็ดสาคูมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ นิยมทำสาคูยัดไส้โดยที่ไส้ของสาคูมีความแตกต่างกันไปตามความต้องการของผู้บริโภค และที่เป็นที่นิยมในกลุ่มผู้บริโภคคือ “สาคูไส้หมู” ซึ่งกรรมวิธีในการผลิตสาคูไส้หมูจะใช้แรงงานคนเกือบทั้งหมดในการผลิต ตั้งแต่การกวนไส้ การปั้นไส้ การผสมแป้ง รวมถึงการขึ้นรูปเพื่อห่อไส้จนกระทั่งนำไปนึ่ง ซึ่งการผลิตเพื่อจำหน่ายจะอยู่ในรูปแบบร้านค้าขนาดเล็กและร้านค้าขนาดกลาง ปัจจุบันสาคูไส้หมูเริ่มมีการผลิตเพื่อจำหน่ายในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือ SME โดยเฉพาะสาคูไส้หมูที่มีรสชาติดีเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค มีการผลิตเป็นจำนวนมากต่อวัน ผู้ผลิตจึงต้องผลิตสินค้าให้ทันตามความต้องการของลูกค้าซึ่งเป็นการผลิตวันต่อวัน ดังนั้นการใช้เครื่องจักรเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตสาคูไส้หมู ลดความเมื่อยล้าในกระบวนการผลิตจากคน เพิ่มปริมาณการผลิตสาคูไส้หมูให้ได้มากขึ้น ทุ่นเวลาในการทำงาน และลดค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ ดังนั้นด้วยความนิยมบริโภคสาคูไส้หมูทั้งในครัวเรือนและการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการพัฒนาเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติ เพื่อเป็นเครื่องทุ่นแรงสำหรับผู้ประกอบการที่ผลิตสาคูไส้หมูจำหน่ายโดยใช้หลักพื้นฐานในการออกแบบ คือ สะดวก สะอาด และปลอดภัย

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเม็ดสาคูไส้หมู

วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพของเม็ดสาคูไส้หมู [4] ได้แก่ ขนาดความกว้าง (W) ความสูง (H) และความหนา (T) ของเม็ดสาคูไส้หมู แสดงดังรูปที่ 1 สำหรับใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู และคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อลำเลียงไส้และแป้ง ดำเนินการศึกษาโดยการสุ่มขนาดของสาคูไส้หมูที่วางขายตามท้องตลาดจำนวน 10 ร้านค้า จำนวนร้านละ 5 เม็ด จากการศึกษาพบว่าความกว้างของเม็ดสาคูไส้หมูมีค่าระหว่าง 2.96-3.11 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 3.03±0.02 เซนติเมตร ความสูงของเม็ดสาคูไส้หมูมีค่าระหว่าง 2.86-3.12 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 2.98±0.01 เซนติเมตร ความหนาของเม็ดสาคูไส้หมูมีค่าระหว่าง 2.81-3.06 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 2.93±0.05 เซนติเมตร แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งจะใช้ค่าที่ได้นี้ไปออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติให้สามารถทำงานได้สะดวก สะอาด และปลอดภัย



รูปที่ 1 การวัดขนาดของเม็ดสาคูไส้หมูทั้งสามด้าน (ความกว้าง ความสูง และ ความหนา)

ตารางที่ 1 ขนาดจากการของเม็ดสาคูไส้หมูทั้งสามด้าน (ความกว้าง ความสูง และ ความหนา)

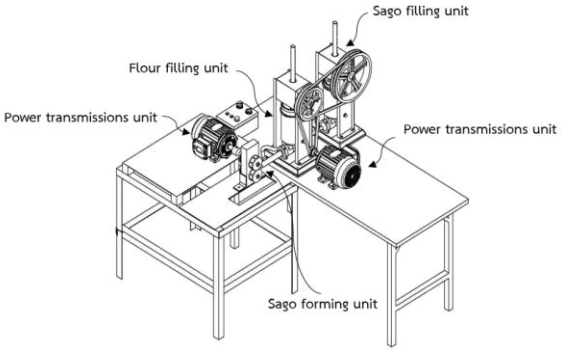
	ขนาด (cm)*		
	ความกว้าง (W)	ความสูง (H)	ความหนา (T)
ค่าสูงสุด	3.11±0.06	3.12±0.15	3.06±0.11
ค่าต่ำสุด	2.96±0.03	2.86±0.05	2.81±0.09
ค่าเฉลี่ย	3.03±0.02	2.98±0.01	2.93±0.05

*ข้อมูลได้จากค่าเฉลี่ยการทดสอบตัวอย่างจำนวน 50 ตัวอย่าง (mean ± SD)

2.2 หลักการออกแบบพัฒนาเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติ

การออกแบบพัฒนาเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติใช้ข้อมูลเบื้องต้นจากสมบัติทางกายภาพของสาคูไส้หมูที่ได้ศึกษาในหัวข้อ 2.1 โดยนำมาเป็นพื้นฐานของการออกแบบชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมูเป็นทรงกลมขนาดเฉลี่ย 2.93±0.05 เซนติเมตร และได้ประยุกต์ใช้ความรู้และหลักการออกแบบเครื่องจักรกล [5] และเครื่องจักรกลเกษตร [6, 7] ในการคำนวณขนาดของชิ้นส่วนต่าง ๆ ขนาดต้นกำลังที่ใช้ รวมทั้งใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและเขียนแบบ [8] ดังนั้นจึงสามารถออกแบบตามองค์ประกอบหลักของสาคูไส้หมู คือ ส่วนของแป้งและส่วนของไส้ที่ต้องทำการขึ้นรูปในลักษณะแป้งห่อหุ้มไส้ด้านใน ดังนั้นการศึกษาข้อมูลของเครื่องต่าง ๆ ที่มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกันประกอบกับข้อมูลพื้นฐานเชิงวิศวกรรม จึงได้ออกแบบพัฒนาเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก คือ โครงสร้างเครื่อง (Main frame) ส่วนอัดแป้ง (Flour filling unit) ส่วนอัดไส้สาคู (Sago filling unit) ชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู (Sago forming unit) ระบบส่งกำลัง (Power transmissions unit) และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังจำนวน 2 ตัว ขนาด 1.0 แรงม้า สำหรับส่วนอัดแป้งและไส้ และขนาด 0.5 แรงม้า สำหรับชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู ทั้งนี้สองส่วนแรกติดตั้งบนโครงสร้างเดียวกัน และทำการแยก

ชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมูออกมายังตำแหน่งด้านข้าง แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2



(ก)

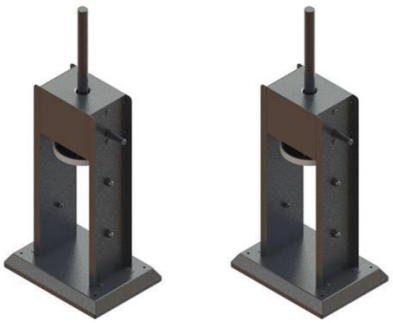
(ข)

รูปที่ 2 องค์ประกอบทั้งหมดของเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติ
(ก) เครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติจากการออกแบบ
(ข) เครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติต้นแบบ

ก. โครงสร้างเครื่อง (Main frame): โครงสร้างของเครื่องทั้งหมดประกอบด้วย ส่วนอัดแป้ง ส่วนอัดไส้ ท่อลำเลียง ระบบส่งกำลัง ทั้งหมดติดตั้งอยู่บนโต๊ะวางอุปกรณ์ เพื่อความสะดวกในการทำงาน และมีพื้นที่สำหรับวางวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์หลังการผลิต ซึ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูจะติดตั้งบนโครงสร้างด้วยนัตและสกรู

ข. ส่วนอัดแป้ง (Flour filling unit): ทำจากวัสดุสแตนเลสประกอบด้วยถังใส่แป้งรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 มิลลิเมตร สูง 200 มิลลิเมตร สามารถบรรจุแป้งได้ 3 กิโลกรัม ด้านบนมีหน้าแปลนทำหน้าที่อัดแป้งที่ผ่านการผสมตามความหนืดที่ต้องการการอัดด้วยแรงจากมอเตอร์กดผ่านหน้าแปลนที่มีหน้าตัดพอดีกับเส้นผ่านศูนย์กลางของถังบรรจุแป้ง ทำให้แป้งเกิดการไหลไปยังท่อลำเลียง 2 ชั้น ซึ่งไหลอยู่ด้านนอก

ค. ส่วนอัดไส้สาคู (Sago filling unit): ทำจากวัสดุสแตนเลส ประกอบด้วย ถังใส่ไส้รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 มิลลิเมตร สูง 200 มิลลิเมตร สามารถบรรจุไส้ได้ 3 กิโลกรัม ด้านบนมีหน้าแปลนทำหน้าที่อัดไส้ซึ่งการอัดด้วยแรงจากมอเตอร์กดผ่านหน้าแปลนที่มีหน้าตัดพอดีกับเส้นผ่านศูนย์กลางของถังบรรจุไส้ ทำให้ไส้ไหลไปยังท่อลำเลียง 2 ชั้น ซึ่งไหลอยู่ด้านในแสดงดังรูปที่ 3 (ข)



(ก) (ข)

รูปที่ 3 ชุดอัดแป้ง (ก) และชุดอัดไส้สาคู (ข)

ง. ชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู (Sago forming unit): แสดงดังรูปที่ 3 ถูกออกแบบให้ทำงานต่อเนื่องจากท่อลำเลียง 2 ชั้น เพื่อทำการขึ้นรูปสาคูไส้หมูเป็นทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 29 มิลลิเมตร โดยออกแบบตัวกดเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 78 มิลลิเมตร หนา 30 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น พร้อมทั้งทำเบ้าครึ่งทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 29 มิลลิเมตร ที่ถูกออกแบบให้มีทิศทางการหมุนในลักษณะหมุนเข้าหากันเพื่อให้เกิดการกดและตัดคล้ายการปั้มขึ้นรูป

รูปที่ 4 ชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู

ในการทดสอบการทำงานของเครื่อง เบื้องต้นได้ทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งและน้ำเพื่อเตรียมแป้ง พบว่าอัตราส่วนแป้ง 1 ส่วนต่อน้ำ 1 ส่วน ได้ความหนืดของแป้งที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทดสอบกับเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น จากนั้นเตรียมไส้ตามสูตรที่ต้องการพร้อมทั้งนำไปบรรจุในถังทั้งสองถัง จากนั้นทำการอัดทั้งแป้งและไส้ผ่านหน้าแปลนให้ไหลผ่านท่อลำเลียง 2 ชั้น และผ่านไปยังชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมูที่มีทิศทางการหมุนในลักษณะหมุนเข้าหากันเพื่อให้เกิดการกดและตัดคล้ายการปั้มขึ้นรูปจนได้สาคูไส้หมูที่มีรูปทรงใกล้เคียงทรงกลมมากที่สุด

2.3 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อการทดสอบ

วัตถุดิบหลักของการทดสอบได้แก่แป้งสาคูและไส้ ซึ่งสามารถเตรียมแป้งโดยการผสมแป้งสาคูกับน้ำใน อัตราส่วน 1 ต่อ 1 (สัดส่วนที่ผ่านการทดสอบแล้วว่าเหมาะสม) จากนั้นนวดแป้งให้เข้ากันเป็นอย่างดีก่อนนำไปทดสอบ ส่วนของไส้เตรียมตามสูตรที่ต้องการ

2.4 การทดสอบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติ

หลังจากการทดสอบเบื้องต้นและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติแล้ว ต่อจากนั้นจึงได้ทดสอบเพื่อหาสมรรถนะการทำงานของเครื่อง ซึ่งปัจจัยที่นำมาพิจารณา ได้แก่ ความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมูที่ 15, 20 และ 25 รอบ/นาที ตามลำดับ ควบคุมความหนืดของแป้งและลักษณะของไส้ โดยในแต่ละการทดลองจะใช้น้ำหนักแป้งและไส้อย่างละ 3 กิโลกรัม ทดสอบการกดอย่างต่อเนื่องจนหมด จับเวลาการทดสอบและทำการทดสอบซ้ำ 3 ซ้ำ พร้อมทั้งใช้อัตราการผลิต เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย ความสามารถในการทำงาน ความเป็นทรงกลม และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า เป็นค่าชี้ผลการศึกษา และใช้วิธีการทางสถิติวิเคราะห์ผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบปัจจัยที่ใช้ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 [9] ซึ่งมีสมการค่าชี้ผลการศึกษาดังนี้

1) อัตราการผลิต (เม็ด/ชั่วโมง)

$$\text{อัตราการผลิต} = \frac{\text{จำนวนเม็ดสาคูที่ได้จากการทดสอบ}}{\text{เวลาที่ใช้ทั้งหมด}} \quad (1)$$

2) เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเม็ดสาคูไส้หมู (เปอร์เซ็นต์)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย} = \frac{\text{จำนวนเม็ดสาคูไส้หมูที่เสียหาย} \times 100}{\text{จำนวนเม็ดสาคูที่ใช้ทดสอบทั้งหมด}} \quad (2)$$

เม็ดสาคูไส้หมูที่เสียหายคือเม็ดสาคูไส้หมูหลังการทดสอบที่มีรอยแตก เกิดการขึ้นรูปไม่สมบูรณ์ รูปร่างไม่เป็นทรงกลม (รูปที่ 5 (ข))

3) ความสามารถในการทำงานจริงของชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติ (เม็ด/ชั่วโมง)

$$\text{ความสามารถในการทำงานจริง} = \frac{\text{จำนวนเม็ดสาคูดีที่ได้จากการทดสอบ}}{\text{เวลาที่ใช้ทั้งหมด}} \quad (3)$$

4) ความเป็นทรงกลม (Sphericity, ϕ) ใช้เวอร์เนียร์ในการตรวจวัดขนาดพร้อมทั้งคำนวณหาค่าได้จากสมการที่ 4 [10]

$$\text{ความเป็นทรงกลม } (\phi) = \frac{\sqrt[3]{WHT}}{W} \quad (4)$$

โดยกำหนดให้

W คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด (มิลลิเมตร)

H คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตั้งฉากกับ W และมีขนาดเล็กกว่า W (มิลลิเมตร)

T คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตั้งฉากกับ W และ H และมีขนาดสั้นที่สุด (มิลลิเมตร)

5) อัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าของเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมู (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

อ่านค่าอัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าจากกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์ ณ ตำแหน่งต้นกำลังประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าจำนวน 2 ตัว ขนาด 1.0 แรงม้า สำหรับส่วนอัดแป้งและไส้ และขนาด 0.5 แรงม้า สำหรับชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมูที่ต่อเข้ากับเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติขณะทดสอบ

2.5 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ก) การวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย

วิธีการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมเกี่ยวกับต้นทุนในการใช้งานชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติ สมมติว่าร้านค้าซื้อเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติแทนวิธีการใช้แรงงานคน ซึ่งค่าใช้จ่ายโดยรวมจะประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง (คิดค่าเสื่อมราคาโดยวิธีเส้นตรงเมื่อประมาณอายุการใช้งานของเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติได้ 5 ปี) และค่าเสียโอกาสของเงินทุน (คิดอัตราดอกเบี้ย 10%) ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่จะไม่เปลี่ยนแปรไปตามปริมาณของการผลิตสาคูไส้หมู (Hunt, 2001)

ข) การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period)

เป็นการคาดคะเนว่า เมื่อลงทุนใช้เครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติไปแล้ว จะได้รับผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไปแล้วภายในระยะกี่ปี โดยคิดจากราคาในการลงทุนซื้อเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติกับผลประโยชน์สุทธิที่คาดว่าจะได้รับในการใช้งานเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติ 5 ปี [11]

2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95% (One-way analysis of variance (ANOVA)) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan New's Multiple Range Test (DMRT)

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

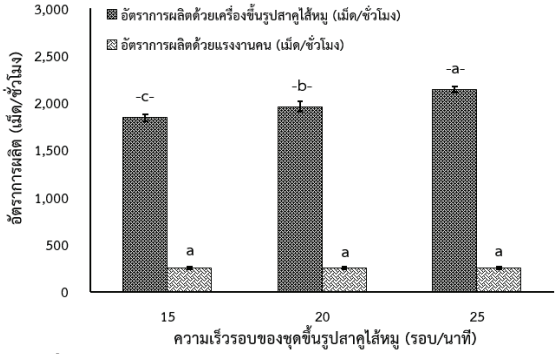
3.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการทำงานของเครื่องต้นแบบ

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องโดยพิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากการปรับความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู 15, 20 และ 25 รอบ/นาที ตามลำดับ ให้ผลการทดลองดังนี้

3.1.1 อัตราการผลิต

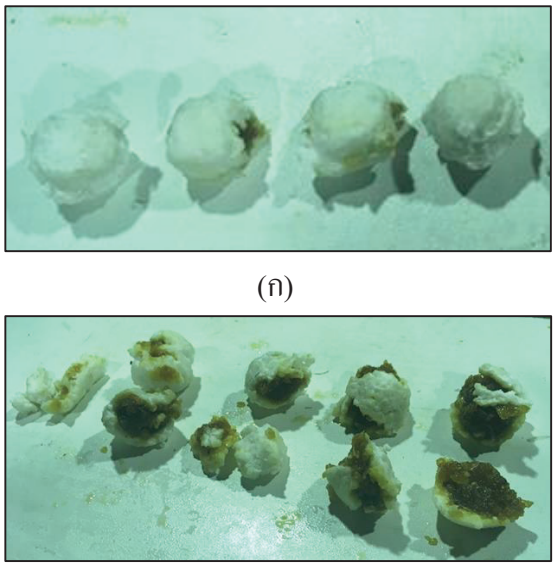
จากรูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบอัตราการผลิตสาคูไส้หมูด้วยเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติ โดยพิจารณาอัตราการผลิตใน 1 ชั่วโมง นับจำนวนเม็ดสาคูไส้หมูทั้งหมด รวมในส่วนที่ขึ้นรูปได้เป็นทรงกลมและใกล้เคียงทรงกลม (รูปที่ 5 (ก)) และที่มีลักษณะเสียหาย (รูปที่ 5 (ข)) จากการทดสอบที่ความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู 15 รอบ/นาที ให้อัตราการผลิต 1,842 ลูก/ชั่วโมง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เป็น 1,960 ลูก/ชั่วโมง และ 2,138 ลูก/ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 20 รอบ/นาที และ 25 รอบ/นาที ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าด้วยความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการกดและอัดสาคูไส้หมูที่ถูกลำเลียงผ่านท่อสองชั้นสูงขึ้น ส่งผลให้การขึ้นรูปของเม็ดสาคูทำได้ในปริมาณมาก แต่ในทางตรงข้ามกลับพบว่า มีรูปทรงไม่ค่อยเป็นรูปทรง มีลักษณะความเสียหายจากการขึ้นรูปค่อนข้างสูง ได้แก่ แป้งไม่สามารถห่อหุ้มไส้ได้ แป้งและไส้แตกออกจากกัน มีองค์ประกอบไม่ครบทั้งสองส่วน แสดงผลดังรูปที่ 6 ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วรอบไม่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู 15 รอบ/นาที ให้ปริมาณคุณภาพดีของเม็ดสาคูที่มากกว่าความเร็วรอบ 20 รอบ/นาที และ 25 รอบ/นาที และเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตสาคูไส้หมูจากแรงงานคนอยู่ที่ประมาณ 250 ลูก/ชั่วโมง อ้างอิงจากการจับเวลาการทำงานจริงของ

แม่ค้าที่จำหน่ายสาคูไส้หมู พบว่า เครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติให้กำลังการผลิตสูงกว่าถึง 8 เท่า เนื่องจากเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ในขณะที่การใช้แรงงานคนใช้เวลาค่อนข้างนานกว่ามากและทำงานไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 5 เปรียบเทียบอัตราการผลิตสาคูไส้หมูด้วยเครื่องที่ความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปต่าง ๆ กับการผลิตด้วยแรงงานคน

[a, b]อักษรต่างกันในแต่ละความเร็วรอบ หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตามการวิเคราะห์แบบ DMRT ($P<0.05$)



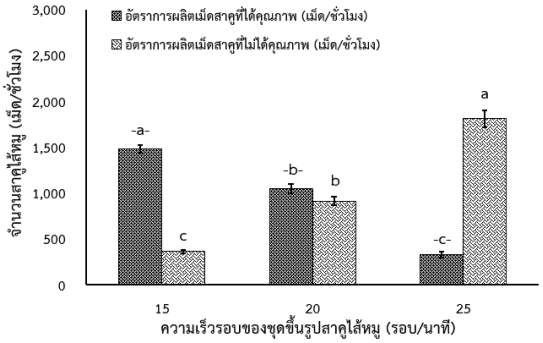
(ก)

(ข)

รูปที่ 6 ลักษณะสาคูไส้หมูจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติ
(ก) สาคูไส้หมูคุณภาพดี
(ข) สาคูไส้หมูที่ไม่ได้คุณภาพ

3.1.2 อัตราความเสียหาย

จากการทดสอบผลของการขึ้นรูปสาคูไส้หมูพบว่าเม็ดสาคูบางเม็ดไม่สามารถขึ้นรูปได้ ทั้งนี้เนื่องด้วยความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมูไม่เหมาะสม ส่งผลอย่างชัดเจนต่อความเสียหายที่เกิดขึ้น โดยความเสียหายของเม็ดสาคูพิจารณาจากขนาดที่ขึ้นรูปไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ รูปทรงไม่เป็นทรงกลมหรือใกล้เคียงทรงกลม เม็ดสาคูแตกแป้งไม่สามารถห่อไส้ได้ เป็นต้น (รูปที่ 5 (ข)) ในขณะที่ลักษณะที่เม็ดสาคูที่ยอมรับได้สังเกตจากได้ขนาดตามที่ต้องการ มีลักษณะรูปทรงกลมหรือค่อนข้างกลม มีการห่อของแป้งและไส้ เป็นต้น แสดงลักษณะดังรูปที่ 5 (ก) จากรูปที่ 6 อัตราความเสียหายของเม็ดสาคูที่ความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู 15 รอบ/นาที ให้อัตราความเสียหาย 360 ลูก/ชั่วโมง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เป็น 912 ลูก/ชั่วโมง และ 1,810 ลูก/ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 20 รอบ/นาที และ 25 รอบ/นาที ตามลำดับ ดังนั้นจึงพบว่าที่ความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู 15 รอบ/นาที ให้อัตราการผลิตสูงสุดและอัตราความเสียหายต่ำสุด ได้ลักษณะการขึ้นรูปเม็ดสาคูที่ยอมรับได้ จึงเหมาะสมสำหรับแนะนำเพื่อการนำไปใช้งานของเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัตินี้ต่อไป

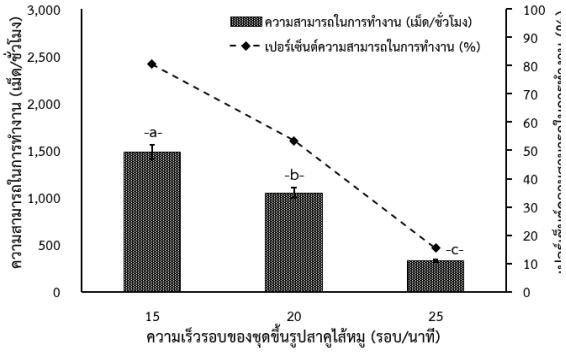


รูปที่ 7 เปรียบเทียบจำนวนเม็ดสาคูที่ได้คุณภาพและที่ไม่ได้คุณภาพจากการผลิตด้วยเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติที่ความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปต่าง ๆ

[a, b]อักษรต่างกันในแต่ละความเร็วรอบ หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตามการวิเคราะห์แบบ DMRT ($P<0.05$)

3.1.3 ความสามารถในการทำงานจริงของเครื่อง

จากการทดสอบความสามารถในการทำงานจริงของเครื่อง แสดงดังรูปที่ 7 โดยการพิจารณาจากเม็ดสาคูที่มีคุณภาพดี พบว่าที่ความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู 15 รอบ/นาที ให้ค่าความสามารถในการทำงานจริงของเครื่อง 1,481 เม็ด/ชั่วโมง หรือ 80 เปอร์เซ็นต์ และลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่ 1,048 เม็ด/ชั่วโมง และ 328 เม็ด/ชั่วโมง เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมูเป็น 20 รอบ/นาที และ 25 รอบ/นาที ตามลำดับ การที่เกิดความเสียหายของเม็ดสาคูค่อนข้างมากที่ความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปสูงเกินไป สังเกตได้ว่าเกิดจากความไม่สัมพันธ์กันของความเร็วในการกดอัดแป้งและไส้ที่ผ่านมายังท่อลำเลียงกับความเร็วในการกดอัดของชุดขึ้นรูป อย่างไรก็ตาม การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมของทั้งสองส่วนซึ่งให้ผลการทดสอบเป็นที่น่าพึงพอใจแสดงดังรูปที่ 7

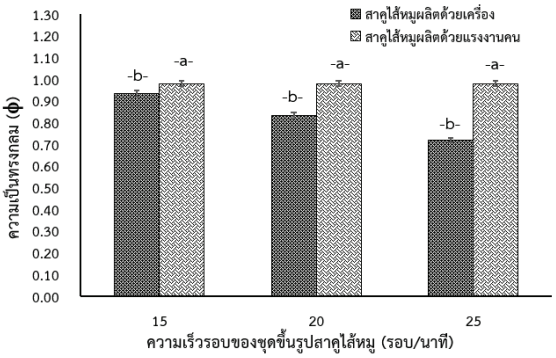


รูปที่ 8 ความสามารถในการทำงานของเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติที่ความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปต่าง ๆ

[a, b]อักษรต่างกันในแต่ละความเร็วรอบ หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตามการวิเคราะห์แบบ DMRT ($P<0.05$)

3.1.4 คุณสมบัติทางกายภาพ

ลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งของสาคูไส้หมูคือลักษณะทางกายภาพด้านเป็นทรงกลม (Sphericity ,ϕ) หรือค่อนข้างกลม ดังนั้นจากการทดสอบวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของสาคูไส้หมูจากการทดสอบด้วยเครื่องเปรียบเทียบกับสาคูไส้หมูที่วางขายตามท้องตลาดให้ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 8 ทั้งนี้ค่าความเป็นทรงกลมพิจารณาได้จากสมการที่ (4) จากผลการทดสอบพบว่า ค่าความเป็นทรงกลมของเม็ดสาคูที่วางขายตามท้องตลาดหรือที่ทำการขึ้นรูปด้วยแรงงานคนให้ค่าประมาณ 0.98 ในขณะที่เมื่อทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติ ให้ค่าระหว่าง 0.72-0.93 โดยที่ความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู 15 รอบ/นาที ให้ค่าความเป็นทรงกลมใกล้เคียงกับสาคูที่วางขายตามท้องตลาดมากที่สุด (0.93) อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างการขึ้นรูปสาคูไส้หมูด้วยคนและการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรด้วยการวิเคราะห์ผล t-test ที่เป็น Independent-sample t test พบว่า ทั้งสามความเร็วรอบให้ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



รูปที่ 9 ความเป็นทรงกลมของสาคูไส้หมูที่ผลิตจากเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติที่ความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปต่างๆ

[a, b]อักษรต่างกันในแต่ละความเร็วรอบ หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตามการวิเคราะห์แบบ DMRT ($P<0.05$)

3.1.5 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

ทดสอบพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าเท่ากับ 0.88 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

3.2 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยคิดที่ราคาเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูต้นแบบ 25,000 บาท อายุการใช้งาน 5 ปี อัตราดอกเบี้ย 10% ใช้ผู้ควบคุม

เครื่อง 1 คน ความสามารถในการทำงาน 1,481 เมล็ด/ชั่วโมง อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.88 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คำนวณต้นทุนคงที่ได้ 5,875 บาท/ปี และต้นทุนผันแปร 60,235 บาท/ปี ค่าใช้จ่ายรวม 66,110 บาท/ปี (ตารางที่ 2) หรือคิดเป็น 0.031 บาท/เม็ด เมื่อใช้เครื่องทำงาน 1,440 ชั่วโมง/ปี (กำหนดให้เครื่องทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน ทำงานปีละ 180 วัน) จะมีระยะเวลาคืนทุน 60 วัน

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องขึ้นรูปสาคูไส้หมูกึ่งอัตโนมัติ

Particular	Amount
Fixed cost	
- Purchase price, P_p	25,000 Baht
- Salvage value, S = 10% P_p	2,500 Baht
- Useful life of the forming, y_r	5 years
- Interest rate	10% / year
1) Depreciation, D = $(P_p$-S)/y_r	4,500 Baht/year
2) Interest, I = $(P_p$+S)i / 2	1,375 Baht/year
3) Total fixed cost, F_c = (1)+(2)	5,875 Baht/year
Variable cost	
- Assume working/year	180 days
- Regular working hours	8 hours/day
- Capacity of machine	1,481 seeds/hour
- Assume repair and maintenance rate	10 Baht/day
- Power consumption	0.88 kW-hour
- Labor cost for operation	300/day
4) Repair and maintenance cost, 10x180	1,800 Baht/year
5) Power consumption cost, 0.88x3.5x180x8	4,435 Baht/year
6) Labor cost, 300x180	54,000 Baht/year
7) Total Variable cost, V_c = (4)+(5)+(6)	60,235 Baht/year
8) Total operating cost, T_c = (3)+(7)	66,110 Baht/year

ความเมื่อยล้าในกระบวนการผลิตจากคน เพิ่มปริมาณการผลิตสาคูไส้หมูให้ได้มากขึ้น ทุ่นเวลาในการทำงานและลดค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงาน โดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบจนได้เครื่องต้นแบบที่มีส่วนประกอบหลัก คือ โครงสร้างเครื่อง ส่วนอัดแป้ง ส่วนอัดไส้สาคู ชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง จำนวน 2 ตัว ขนาด 1.0 แรงม้า สำหรับส่วนอัดแป้งและไส้ และขนาด 0.5 แรงม้า สำหรับชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมู จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่สุดที่อัตราส่วนแป้งกับน้ำ 1 ต่อ 1 และชุดเบ้าขึ้นรูปสาคูไส้หมูสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วรอบ 15 รอบ/นาที โดยสามารถขึ้นรูปสาคูไส้หมูให้มีค่าความเป็นทรงกลม 0.93 ซึ่งใกล้เคียงกับการขึ้นรูปด้วยแรงงานคน ให้ค่าความสามารถในการทำงานจริงของเครื่อง 1,481 ลูก/ชั่วโมง และเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 20 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของชุดขึ้นรูปสาคูไส้หมูเป็น 20 รอบ/นาที และ 25 รอบ/นาที ให้ความสามารถในการทำงานจริงของเครื่องลดลงเป็น 1,048 และ 328 ลูก/ชั่วโมง ตามลำดับ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 0.88 กิโลวัตต์ชั่วโมง และระยะเวลาคืนทุน 60 วัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุน งบประมาณ วัสดุอุปกรณ์ และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] อัมพวัน ตั้นสกุล ศักรินทร์ ภูมิรัตน และ ชยานินทร์ พัวพันธุมา. สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเม็ดสาคู. *วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 2545; 25(4): 347-358.

[2] จรรยา สุบรรณ์. ตำรับอาหาร ชุดพิเศษ. 2542; [ระบบออนไลน์] แหล่งข้อมูล: https://th.wikipedia.org/wiki/แป้งมันสำปะหลัง.

[3] ประชาชาติ. แป้งมันสำปะหลัง. 2560; [ระบบออนไลน์] แหล่งข้อมูล: https://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1490178952.

[4] Sahin, S., and Sumnu, S.G. Physical Properties of Foods. New York, Springer Science Business Media, 2006.

[5] Shigley, J.E. and Mischke, C.R. Mechanical Engineering Design. 5th Edition. McGraw- Hill Book Company, USA. 1989.

[6] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. ทฤษฎีของเครื่องจักรกลเกษตร. สำนักพิมพ์ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ, 2558.

[7] Krutz, G., Thomson, L., and Claar, P. Design of Agricultural Machinery. John Wiley and Sons. New York Chicheter Brisbne, Toronto, Singapore, 1994.

[8] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. ออกแบบและเขียนแบบวิศวกรรมด้วยโปรแกรม SolidWorks (ฉบับเรียนลัดด้วยตัวเอง). สำนักพิมพ์ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ, 2555.

[9] Gomez, K.A., and Gomez, A.A. Statistical Procedure for Agricultural Research. 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York, 1984.

[10] Mohsenin, N.N. Physical properties of plant and animal materials. Structure, physical characteristics and mechanical proprieties. 2nd Edition. Gordon and Breach Science Publishers. Inc. New York, USA, 1986.

[11] Hunt, D. Farm Power and Machinery. 10th Edition, Iowa State University Press. Ames, Iowa, 2001.