



การพัฒนาเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิกสำหรับวิสาหกิจชุมชน Cutting Machine Development of Crispy Nuts Coconut Milk Toffee at Hot Condition with Hydraulic System for Community Enterprises

สำรวม โกศลนันท์^{1*}, ไพโรจน์ จันทร์แก้ว²

Sumroum Kosalanun^{1*}, Phairoach Chunkaew²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, 12110

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Muang, Tak 63000

*Corresponding author: Tel: +66- 02 549 3435, Fax: +66- 02 549 3432, E-mail: sumroum_k@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบแบบไฮดรอลิกกับชุดใบมีดตัด 3 รูปแบบ จากนั้นวิเคราะห์หาสมรรถนะของชุดใบมีดตัด คือ เปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ และอัตราการใช้พลังงาน จำเพาะ สามชุดใบมีดประกอบด้วย ใบมีดฟันตรง ใบมีดฟันเลื่อยและใบมีดฟันโค้ง ถูกออกแบบ ที่สามารถถอดมาลับคมได้ ซึ่งวัสดุ ชุดใบมีดตัดใช้ สเตนเลส 304 สามารถตัดได้ 100 ชิ้นต่อครั้งและพื้นที่หน้าตัดทอฟฟี่ 25x25 mm² ต่อชิ้น มีความหนา 5-6 mm อุณหภูมิทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่ใช้ในการทดสอบ คือ 60, 65 และ 70°C จากผลการทดลองพบว่า ใบมีดตัดทั้ง 3 ชุด สามารถตัด ทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์มีเปอร์เซ็นต์สูงที่สุดที่อุณหภูมิ 65°C ชุดใบมีดฟันตรง ชุดใบมีดฟันเลื่อย และชุดใบมีดฟันโค้งมี เปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ 93.25±1.36% 95.47±2.44% และ 98.09±0.33% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 65°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของชุดใบมีดฟันตรง ชุดใบมีดฟันเลื่อยและชุดใบมีดฟันโค้ง เท่ากับ 0.26±0.01 kWh kg⁻¹ 0.24±0.04 kWh kg⁻¹ และ 0.23±0.01 kWh kg⁻¹ ตามลำดับ ส่วนผลของอุณหภูมิพบว่า อัตราการใช้พลังงานจำเพาะน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

คำสำคัญ: เครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ, ชุดใบมีดตัด, ไฮดรอลิก

Abstract

The purposes of this research were to design and to improve a cutting machine of a crispy nuts coconut milk toffee with three cutting set types. The performances were a percentage of a complete crispy nuts coconut milk toffee and a specific energy consumption rate. Three cutting sets of a straight tooth blade set, a saw tooth blade set and a curved tooth blade set were to design. They could be removed to sharpen the knife and the cutting material was to make from 304 stainless steel. The machine could cut 100 pieces at a time and a cross-sectional area of crispy nuts coconut milk toffee was 25x25 mm² per piece with a thickness of 5-6 mm. The crispy nuts coconut milk toffee temperatures of 60, 65 and 70°C were used in test. It was found that all 3 blades could cut perfectly crispy nuts coconut milk toffee with the highest percentage at 65°C. The straight tooth blade set, the saw tooth blade set and the curved tooth blade set had 93.25±1.36% 95.47±2.44% and 98.09±0.33%, respectively.

Received: January 28, 2022

Revised: June 03, 2022

Accepted: June 07, 2022

Available online: August 14, 2022

At the 65°C, the straight tooth blade set, the saw tooth blade set and the curved tooth blade set had specific energy consumption rates of 0.26 ± 0.01 kWh kg⁻¹, 0.24 ± 0.04 kWh kg⁻¹ and 0.23 ± 0.01 kWh kg⁻¹, respectively. For the temperature effect, the specific energy consumption rate decreased with increasing the temperature.

Keywords: Crispy nuts coconut milk toffee, Cutting machine, Blade set, Hydraulic

1 บทนำ

ทอฟฟี่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะนิ่มจนถึงค่อนข้างแข็ง ได้จากการนำน้ำตาล กลูโคสซีรัป (แบะแซ) และอาจมีส่วนประกอบอื่น เช่น นม เนื้อมะขาม เนื้อทุเรียน มาทวนจนเหนียวได้ที่ แล้วทำให้เป็นรูปร่างตามต้องการ อาจปรุงแต่งสี กลิ่นรส หรือเนื้อสัมผัสด้วยส่วนประกอบอื่นที่เหมาะสม เช่น กะทิ ถั่วลิสง แล้วห่อ บรรจุในภาชนะบรรจุ (Thai Industrial Standards Institute, 2016) Panjabut and Hoongrak (2017) ได้ศึกษาพันธุ์มะม่วงและปริมาณแบะแซที่เหมาะสมในการผลิตทอฟฟี่มะม่วงพบว่า ทอฟฟี่ที่ทำจากมะม่วงทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกัน ปริมาณแบะแซที่มากขึ้นไม่มีผลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity) ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของทอฟฟี่มะม่วง นอกจากนี้ Petcharat et al. (2012) ได้ศึกษาการพัฒนาลูกอมสมุนไพรพื้นบ้านลดการอักเสบและดับกลิ่นปาก โดยศึกษาข้อมูลพื้นฐานของสมุนไพรจากแหล่งต่างๆ ทั้งในด้านคุณประโยชน์และสรรพคุณพบว่า มี 3 ชนิด คือ ลูกอมแบบผสมเนื้อผลไม้ ลูกอมชนิดแข็งแบบสอดไส้ และลูกอมชนิดแข็งแบบม้วน ซึ่งคุณภาพทางจุลินทรีย์ด้านอายุการเก็บรักษาเก็บได้ 2 สัปดาห์ มีความปลอดภัยในการบริโภคและเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนลูกกวาดและทอฟฟี่ (มผช. 265/2547)

วิสาหกิจชุมชนกลุ่มทอฟฟี่ ตำบลสามเงา อำเภอสามเงา จังหวัดตาก ได้ผลิตทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ ซึ่งเป็นที่นิยมและมียอดสั่งซื้อเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการตัดเนื่องจากในการตัดทอฟฟี่จะต้องทำให้มีสภาพกำลังร้อน โดยใช้แรงงาน อย่างรวดเร็วและใช้ประสิทธิภาพ เมื่อเททอฟฟี่ลงถาด ถัดจากขั้นตอนการทวนในกระทะ จะต้องใช้มีดตัดในขณะที่ทอฟฟี่ร้อน เนื่องจากเมื่อทอฟฟี่เย็นจะแข็งและไม่สามารถตัดได้ เพราะทอฟฟี่จะกรอบ เมื่อตัดจะแตกละเอียดส่งผลให้กำลังการผลิตต่ำลง อีกทั้งขนาดของทอฟฟี่ที่ได้ไม่เท่ากัน จากการรับฟังปัญหาดังกล่าวของวิสาหกิจชุมชน ซึ่งต้องการเครื่องตัดขนาดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบมาช่วยในขั้นตอนการผลิต นักวิจัยได้ลงพื้นที่เพื่อสำรวจ ศึกษาสภาพกระบวนการผลิตสภาพปัญหาในการผลิตทอฟฟี่กรอบ และวิเคราะห์ผลเชิงลึกในขั้นตอนการตัดทอฟฟี่กรอบ พบว่า การตัดทอฟฟี่ด้วยแรงงานคนทำให้เกิดความล่าช้าและต้องทำในช่วงที่ทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่ยังสามารถใช้

มีดกดตัดได้ ซึ่งในขณะนั้นทอฟฟี่ยังร้อนและต้องทำอย่างรวดเร็ว ก่อนที่ทอฟฟี่จะเข้าสู่สภาวะกรอบ จากการสืบค้นข้อมูลไม่พบข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องตัดทอฟฟี่กรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิก แต่มีงานวิจัยที่มีการนำระบบไฮดรอลิกไปตัดผลิตภัณฑ์อื่น เช่น Anantattanachai and Charoenyos (2015) ได้สร้างเครื่องรีดและตัดกระยาสารท โดยใช้กระยาสารทที่ผ่านการทวนมาแล้ว จำนวน 21 kg เทและเกลี่ยลงในถาดรอง แล้วใช้เครื่องรีดและตัดในการรีดสามารถที่จะรีดไปและกลับได้จนกว่าขนมกระยาสารทจะเรียบเสมอกับขอบถาด แล้วปัดตัดเป็นช่วงๆ จำนวน 6 ครั้ง ตลอดความยาวของถาดรองกระยาสารท แล้วจึงตักขนมออกจากถาด Khamfoo et al. (2015) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดชิ้นข้าวยัดไส้ปั่นปลาทุ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตข้าวยัดไส้ปั่น โดยผลิตข้าวยัดไส้ปั่นปลาทุให้เป็นอาหารพร้อมรับประทาน การออกแบบเครื่องตัดประกอบด้วย โครงสร้าง ชุดกระทุ้งข้าว ชุดใบมีดตัด และกระบอกนิวเมติกส์ การทำงานเครื่องใช้ระบบนิวเมติกส์และควบคุมด้วยโปรแกรม เมเบิลลอจิกคอนโทรล (Programmable logic control) การทดสอบทำ โดยทดลองตัดข้าวยัดไส้ปั่นปลาทุขนาดกว้าง 190 mm ยาว 254 mm หนา 40 mm ซึ่งจะได้ชิ้นย่อยจำนวน 36 ชิ้นต่อการตัด 1 ครั้ง ทดลองที่ความเร็วในการตัด 5 ระดับ ได้แก่ 4, 4.5, 5, 6 และ 7 ระดับละ 5 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่า มีความคล่องตัวมากในการทำงานตัวเปล่า และที่ความเร็วในการตัด 7 วินาทีต่อรอบ ให้ผลดีที่สุด และ Wongmanee et al. (2017) ได้พัฒนาเครื่องหั่นข้าวเกรียบสมุนไพรใบหม่อน เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตและขนาดแผ่นข้าวเกรียบที่เท่ากัน ท้นต่อการสั่งซื้อ ซึ่งในการพัฒนาเครื่องหั่นข้าวเกรียบสมุนไพรใบหม่อนได้เลือกใช้วัสดุเป็นสเตนเลสในการทำโครงสร้างเครื่อง ซึ่งจะช่วยให้เกิดสนิม โดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 V หรือไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V มีระบบ คอนเวอร์เตอร์ (Converter system) สามารถเก็บประจุไฟไว้ในแบตเตอรี่ มีระบบใบมีดที่สามารถถอดเปลี่ยนทำความสะอาดได้สะดวกจำนวน 1 ใบ หั่นข้าวเกรียบสมุนไพรใบหม่อนได้ทีละ 1 ก้อน ผลการวิจัยพบว่า เมื่อเปิดสวิตช์ใช้งานเครื่องจะทำงานแบบต่อเนื่อง มีขนาดกะทัดรัด สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายสามารถหั่นข้าวเกรียบได้ 20 kg ในเวลา 1 ชั่วโมง ขนาดแผ่นข้าวเกรียบมีความหนาไม่เกิน 2 mm ลดการเกิดอุบัติเหตุจากใบมีดบาด

จากการหั่นข้าวเกรียบ ลดแรงงานคนและสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ Kampantong et al. (2014) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดแผ่นฉนวนกันความร้อนประสิทธิภาพสูงเพื่อลดต้นทุนในกระบวนการผลิต เครื่องมีลักษณะเป็นราง ยาว 180 cm ทำจากอลูมิเนียม และติดตั้งเครื่องตัดที่มีขนาดใบ 4 in สามารถตัดแผ่นฉนวนกันความร้อนความหนา 3 cm

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ยังไม่มีเครื่องตัดทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบแบบไฮดรอลิกตามที่วิสาหกิจชุมชนต้องการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิกสำหรับวิสาหกิจชุมชนและทำการทดสอบสมรรถนะ ซึ่งประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้เครื่องตัดทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนแทนในขั้นตอนการผลิตช่วงตัดด้วยมีดบนเชียงเป็นการลดความยุ่งยากในกระบวนการผลิต และได้เปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบที่สมบูรณ์สูงรวมถึงการเลือกใช้ชนิดของชุดใบมีดตัดและการเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับตัดชิ้นงานทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบ โดยพิจารณาเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ที่สูง และอัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) ในหน่วย kWh kg⁻¹ ที่ต่ำ

2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุสำหรับเครื่องตัดที่สัมผัสอาหาร

อุปกรณ์เครื่องมือด้านอาหาร ส่วนมากใช้ สแตนเลสเกรด 304 (JFE Steel Corporation, 2020) ซึ่งมีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่าย ทนอุณหภูมิสูง ทนต่อการใช้งานและการกัดกร่อนสูง ไม่เป็นสนิม ไม่ดูดซึมสาร กลิ่น และรสชาติของอาหาร สามารถนำไปใช้กับอาหารได้อย่างปลอดภัยและถูกสุขลักษณะอนามัย สุดท้ายสามารถทำความสะอาดได้ง่ายดังนั้นชุดใบมีดตัดจึงใช้วัสดุสแตนเลสเกรด 304

2.2 แผ่นรองตัด

ทำจากพลาสติกประเภทโพลีพรอเพอ لین (Polypropylene) ซึ่งนำมาผ่านกระบวนการผลิตแบบอัด เพื่อเพิ่มความหนาแน่นและความแข็งแรงของเนื้อวัสดุ ทำให้มีความคงทนต่อการหั่น ตัด ฉีก และบีบได้เป็นอย่างดีไม่เป็นขุยง่าย ช่วยยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานกว่าแผ่นรองหั่นหรือตัดทั่วไปที่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด ซึ่งใช้เป็นวัสดุชิ้นส่วนหนึ่งในชุดกลไกใบมีดตัด

2.3 หลักการไฮดรอลิกเบื้องต้น

ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic) เป็นระบบที่มีการส่งถ่ายพลังงานของของไหลที่เป็นตัวขับเคลื่อนในการทำงานในรูปของอัตราการไหลและความดันเปลี่ยนเป็นพลังงานกล โดยผ่านตัวกระทำ เช่น กระบอกสูบ มอเตอร์ไฮดรอลิก มีส่วนสำคัญหลักๆ 3 ส่วน แหล่งจ่ายพลังงาน ระบบควบคุมการทำงาน และอุปกรณ์ทำงาน (Tanchiwong, 2001) ดังนั้นสามารถนำมาดัดแปลงให้ชุดใบมีดตัดเกิดการเคลื่อนที่ในแนวตั้งด้วยชุดกระบอกไฮดรอลิก โดยใช้กลไกระบบควบคุมการทำงานให้เคลื่อนที่ขึ้นหรือลงด้วยวาล์วควบคุม และมีปั๊มน้ำมันไฮดรอลิกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ทำหน้าที่สร้างแรงดันใช้งานในระบบไฮดรอลิก

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาสภาพกระบวนการผลิตและสภาพปัญหาในการผลิตทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบ

Figure 1 แสดงกระบวนการผลิตทอฟฟี่กรอบประกอบด้วยความรู้เกี่ยวกับการผลิต การเตรียมวัตถุดิบ การผสมวัตถุดิบในกระทะร้อน การใส่ถั่วลิสงเข้ากับส่วนผสมที่กำลังร้อนอยู่ในกระทะ การเททอฟฟี่ลงภาชนะที่เตรียมไว้และการทำให้ทอฟฟี่เป็นแผ่นแบนตามความหนาที่ต้องการ การตัดทอฟฟี่ด้วยมีดบนเชียง ซึ่งทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบยังร้อนและตัดได้ง่ายดัง Figure 2 (a) และ Figure 2 (b) จากนั้นบรรจุผลิตภัณฑ์ดัง Figure 3 พบว่า มีสภาพปัญหาเรื่องการใช้แรงงานคนในขั้นตอนการตัดทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบ ทำให้เกิดความล่าช้าและต้องทำในขณะที่ทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบยังร้อนอยู่ จึงจะสามารถใช้มีดกดตัดได้

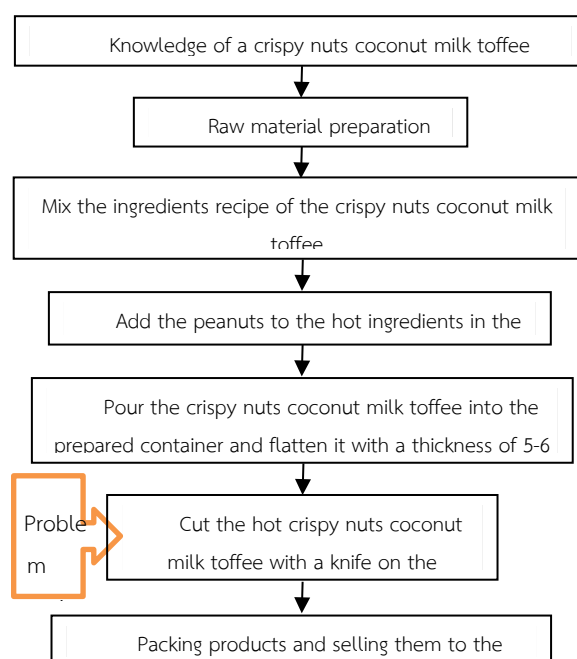


Figure 1 Crispy nuts coconut milk toffee production process.



(a)



(b)

Figure 2 (a) Cutting crispy nuts coconut milk toffee with a knife. (b) Size of crispy nuts coconut milk toffee 25x25 mm² with a thickness of 5-6 mm.



Figure 3 Crispy nuts coconut milk toffee products.

3.2 การพัฒนาเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิก

3.2.1 เงื่อนไขการออกแบบเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิก

ตามความต้องการของผู้ประกอบการ มีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้ ต้องการตัดทอฟฟี่ให้มีขนาด 25x25 mm² มีความหนา 5-6 mm และเนื่องจากขั้นตอนการตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนผู้ที่ทำหน้าที่ในส่วนนี้เป็นผู้ทำการทางขายสามารถทำงานได้ โดยนึ่งบนรถเข็นดังนั้นเงื่อนไขระดับความสูง

ของพื้นที่ทำงานและระบบกลไกควบคุมการทำงานชุดใบมีดตัดของเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนจึงต้องออกแบบให้เหมาะสมกับผู้ทำการทางขายที่นึ่งบนรถเข็นทำงานด้วย ส่วนกลไกการเคลื่อนที่ของชุดใบมีดตัดใช้ระบบไฮดรอลิกในการควบคุมและใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์

3.2.2 การออกแบบเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ

ตาม Figure 4 ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ คือ 1) ชุดกระบอกไฮดรอลิกขนาด 3 Ton ทำหน้าที่ให้ชุดใบมีดตัดเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ซึ่งปลายของแกนกลไกเคลื่อนที่สามารถดัดแปลงยึดกับโครงสร้างติดตั้งชุดใบมีดตัดได้อย่างเหมาะสม โดยแรงสามารถกระจายไปยังโครงยึดใบมีดตัดส่งผลให้ใบมีดฟันตรง ใบมีดฟันเลื่อยและใบมีดฟันโค้ง เคลื่อนที่ตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบได้อย่างสม่ำเสมอ 2) ชุดระบบปั๊มไฮดรอลิกที่ใช้กับขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์รุ่น SCL-RR ยี่ห้อ Mitsubishi ประเทศไทยเป็นผู้ผลิต ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ขนาด 3 HP มีหน้าที่สร้างแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกเมื่อเปิดใช้งานเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ ซึ่งจะมีกลไกควบคุมทิศทางน้ำมันไฮดรอลิกสำหรับควบคุมให้ชุดใบมีดตัดเคลื่อนที่ในแนวตั้งขึ้นหรือลง 3) โครงสร้างรองรับชุดกระบอกไฮดรอลิกสำหรับกลไกใบมีดฟันตรง ฟันเลื่อย หรือ ฟันโค้ง ที่ระดับเหมาะสมกับคน ซึ่งพิจารณาที่ไม่สามารถเดินได้ และ 4) ชุดกลไกใบมีดตัด 3 รูปแบบประกอบด้วยใบมีดฟันตรง ซึ่งรูปแบบชุดใบมีดใกล้เคียงกับเครื่องตัดชิ้นข้าวอัดใส่บับปลาทุ (Khamfoo et al., 2015) ใบมีดฟันเลื่อย และใบมีดฟันโค้ง สำหรับตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ ขนาด 25x25 mm² มีความหนา 5-6 mm ซึ่งสามารถตัดได้ 10x10=100 ชิ้นต่อครั้ง หากจะเปลี่ยนเป็นชุดใบมีดฟันเลื่อยหรือใบมีดฟันโค้งทำได้ โดยเปลี่ยนชุดใบมีดฟันตรงออกและใส่ชุดใบมีดฟันเลื่อยหรือใบมีดฟันโค้งตามFigure 5 ลักษณะใบมีดฟันตรง (Figure 6a) ใบมีดฟันเลื่อย (Figure 6b) ซึ่งมีมุมของใบมีดฟันเลื่อย 67.5° และใบมีดฟันโค้ง (Figure 6c) ออกแบบฐานเหมือนใบมีดฟันเลื่อย แต่ใบมีดมีลักษณะโค้ง

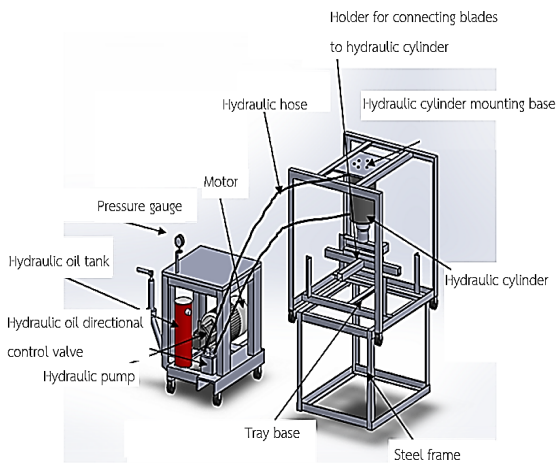


Figure 4 Crispy nuts coconut milk toffee cutter design.

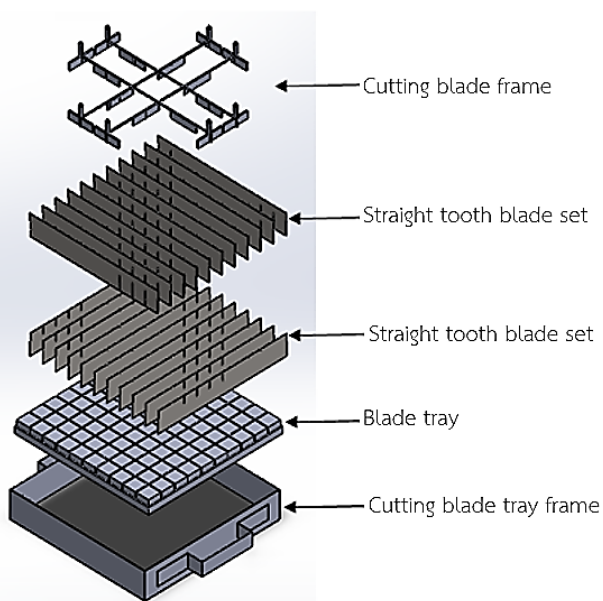


Figure 5 Straight tooth blade mechanism design.

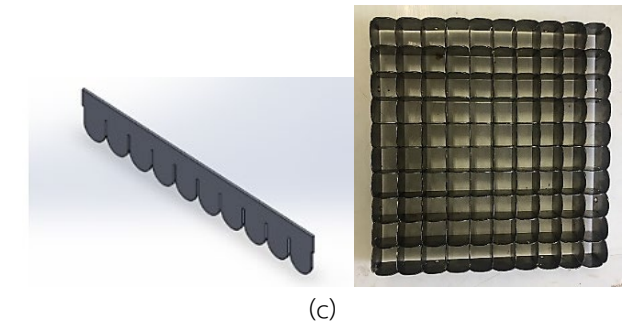
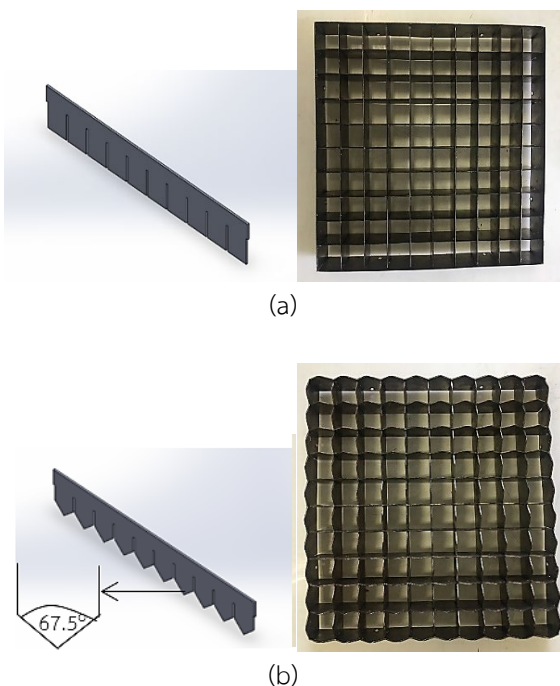


Figure 6 (a) Straight tooth blade, (b) Sawtooth blade and (c) Curved tooth blade.

3.2.3 การสร้างและพัฒนาเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ

Figure 7 แสดงหลักการทำงานของเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ และชุดกลไกใบมีดฟันตรงพร้อมถาดรองชุดใบมีดตัด โดยมีหลักการทำงาน คือ เสียบปลั๊กไฟฟ้าจากนั้นตรวจสอบตำแหน่งของชุดใบมีดตัดให้อยู่ตำแหน่งบนสุดสำหรับให้ง่ายในการนำทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบร้อนเข้าไปวางเพื่อตัด จากนั้นใช้มือผลักกลไกวาล์วควบคุม (Control valve mechanism) สำหรับควบคุมทิศทางน้ำมันไฮดรอลิกสำหรับควบคุมให้ชุดใบมีดตัดเคลื่อนที่ลง (Down) โดยชุดปั๊มสร้างแรงดันตลอดเวลา เมื่อใช้งานวาล์วน้ำมันไฮดรอลิกเปิดน้ำมันไปดันลูกสูบในกระบอกไฮดรอลิก ซึ่งติดตั้งชุดใบมีดตัด (The blade set) ให้ยกขึ้น (Up) หรือกดลง (Down) ตามต้องการ

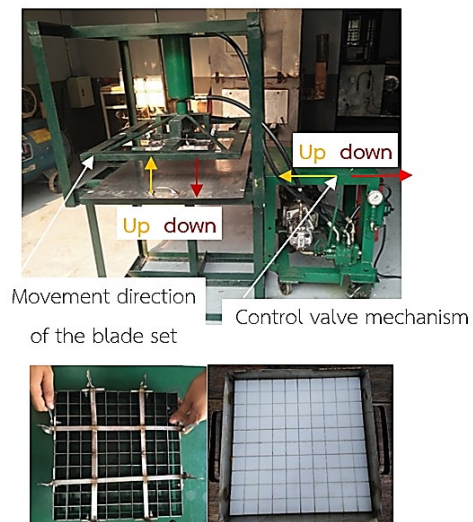


Figure 7 Crispy nuts coconut milk toffee cutter and a straight tooth blade mechanism set.

3.3 ทอฟฟี่กรอบที่ใช้ในการทดสอบ

วัตถุดิบสำหรับทำทอฟฟี่กะทิถั่วกรอบมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ กะทิ ถั่วลิสง น้ำตาลทรายแดง นมสด และแบะแซ (ไม่สามารถบอกปริมาณได้เนื่องจากเป็นสูตรความลับ) เริ่มจากตวง

ส่วนผสมตามที่กำหนดจากนั้นตั้งกระทะเริ่มจากนำส่วนผสมลงในกระทะ เริ่มกวนส่วนผสมให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน กวนจนส่วนผสมเหนียวและเปลี่ยนสี นำกระทะยกขึ้นจากเตา กวนส่วนผสมพร้อมกับเทาลงในกระทะ แล้วกวนให้เข้ากัน จากนั้นนำไปเทใส่ถาดรองที่เตรียมไว้ใช้ไม้คนจี่จนเป็นแผ่นพร้อมนำไปตัด โดยแผ่นทอฟฟี่ที่รีดแบนยังร้อนและถูกปล่อยคลายความร้อนออกให้มีอุณหภูมิที่ 60, 65 และ 70°C

3.4 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิก

3.4.1 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษา คือ ชนิดของชุดใบมีดตัดประกอบด้วยใบมีดฟันตรง ใบมีดฟันเลื่อย และใบมีดฟันโค้ง และอุณหภูมิทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่ 60, 65 และ 70°C และทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ

3.4.2 วิธีการทดสอบ

เริ่มจากการเสียบปลั๊กและติดตั้งเครื่องวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเข้ากับเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิก จากนั้นประกอบชุดใบมีดตัดเข้ากับโครงยึดใบมีดเข้ากับระบบไฮดรอลิก เตรียมถาดรองให้พร้อม และเททอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบร้อนในถาดรองพร้อมทั้งรีดให้เป็นแผ่นแบนและปล่อยให้มอดูณหภูมิ 60, 65 และ 70°C ตรวจวัดอุณหภูมิด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ยี่ห้อ Fluke รุ่น Ti105 จากบริษัท เก็ต อินไซต์ อินโนเวชัน จำกัด (GET INSIGHT INNOVATION CO., LTD.) จากนั้นนำไปตัดด้วยเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิก ช่วงเวลาการทำงานของเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิกทดสอบ โดยจับเวลาการเคลื่อนที่ของชุดใบมีดตัดจากตำแหน่งบนสุดให้เคลื่อนที่ลงเพื่อตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนและชุดใบมีดตัดถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ขึ้นไปยังตำแหน่งบนสุดพบว่าใช้เวลา 16 วินาที ซึ่งมีอัตราการตัดได้เท่ากับ $100/16 = 6.25$ ชิ้นต่อวินาที หรือ 0.16 วินาทีต่อชิ้น

เนื่องจากในแต่ละกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ประกอบการอาศัยประสบการณ์จึงไม่ได้มีตรวจวัดอุณหภูมิ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดลองเพื่อแสดงผลของอุณหภูมิในแต่ละขั้นตอนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนพบว่า ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ เมื่อเริ่มต้นเคี้ยวส่วนผสมตามสูตรของกลุ่มผลิตทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนมากกว่า 132.9°C ตาม Figure 8 ขณะเทสำหรับนวดแบน อุณหภูมิสูงถึง 128.3°C

ตาม Figure 9 ในขณะที่นวดแบนอุณหภูมิทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบจะลดลงจากเดิมดัง Figure 10 แสดงอุณหภูมิช่วงนวดแบนที่ 108.8°C จากนั้นปล่อยให้แผ่นทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบแบนเย็นตัวลงตามเงื่อนไขอุณหภูมิที่ทำการทดสอบดังตัวอย่างการตรวจวัดอุณหภูมิก่อนการตัดที่อุณหภูมิ 65°C ตาม Figure 11

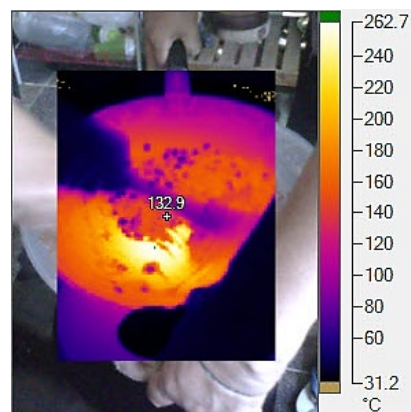


Figure 8 Temperature characteristics when simmer on a gas stove.

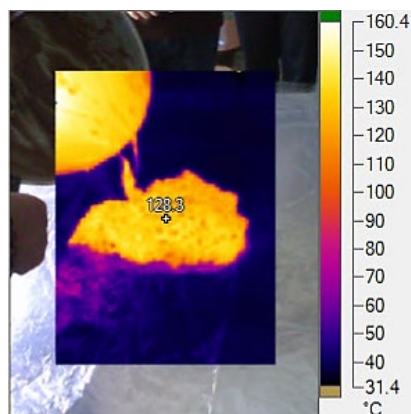


Figure 9 Temperature characteristics when pour before kneading to flatten.

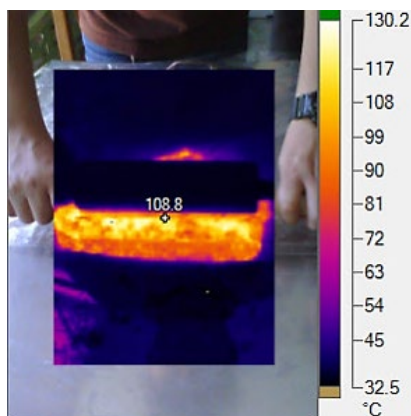


Figure 10 The temperature characteristics of the flat massage period.



Figure 11 Sheet sample of the crispy nuts coconut milk toffee for testing at 65°C.

3.4.3 วิธีการเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า ดิจิตอล (Digital power meter) ยี่ห้อ SINOTIMER ความละเอียดในการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0001-999.9 kWh และตรวจสอบชิ้นงานที่ตัดและคัดแยกชิ้นงานที่สมบูรณ์กับชิ้นที่เสีย ลักษณะชิ้นที่สมบูรณ์ คือ ขนาดชิ้นที่ขาดไม่เกิน 1/4 เท่าของชิ้นที่สมบูรณ์ (25×25 mm²) ส่วนลักษณะชิ้นที่ไม่สมบูรณ์ คือ ชิ้นที่ขนาดไม่ถึงครึ่งแผ่นของชิ้นที่สมบูรณ์หรือมีขนาดชิ้นขาดเกิน 1/4 เท่าของชิ้นงานที่สมบูรณ์

3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การหาเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ คำนวณตามสมการที่ (1)

$$P_C = \frac{P_U}{P_A} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ P_C คือ เปอร์เซ็นต์ชิ้นงานของทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ (%)

P_U คือ จำนวนชิ้นทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ (kg)

P_A คือ จำนวนชิ้นทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบทั้งหมด (kg)

อัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) เครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ คำนวณตามสมการที่ (2)

$$SEC = \frac{E_H}{P_U} \quad (2)$$

เมื่อ SEC คือ อัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (kWh kg⁻¹)

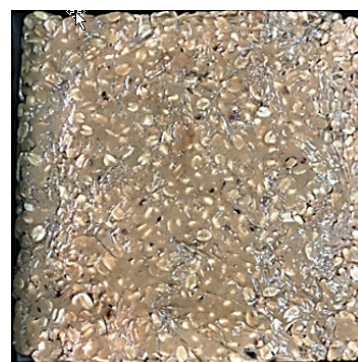
E_H คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าของไฮดรอลิก (kWh)

4 ผลและวิจารณ์

4.1 ผลของอุณหภูมิทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบและชนิดชดใบมิดตัดต่อสมรรถนะในการตัด

ผลของอุณหภูมิพบว่า สามารถตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์มีเปอร์เซ็นต์สูงที่สุดที่อุณหภูมิ 65°C โดยชดใบมิดฟันตรง ชดใบมิดฟันเลื้อย และชดใบมิดฟันโค้งมีเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ 93.25±1.36% 95.47±2.44% และ 98.09±0.33% ตามลำดับเนื่องจากที่อุณหภูมิ 65°C อุณหภูมินี้ทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบไม่อ่อนหรือแข็งเกินไป

ผลของชนิดใบมิดตัดพบว่า ชดใบมิดฟันโค้งตัดได้ดีที่สุดดัง Figure 12 มีลักษณะชิ้นทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบได้ตามขนาดที่ต้องการ เนื่องจากเมื่อกดตัดหน้าสัมผัสของคมมีดจะโดนส่วนโค้งก่อนจึงทำให้ตัดง่าย รองลงมา คือ ชดใบมิดฟันเลื้อย และสุดท้ายคือชดใบมิดฟันตรง ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันทั้ง 3 อุณหภูมิของทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบตาม Figure 13 เนื่องจากที่อุณหภูมิประมาณ 60°C เมื่อตัดแล้วทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบจะแตก เพราะทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบแข็งตัว ที่อุณหภูมิประมาณ 65°C เมื่อตัดแล้วมีเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์สูงเนื่องจากไม่แข็งและไม่เหนียวเกินไป และที่อุณหภูมิประมาณ 70°C เมื่อตัดแล้วทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบจะเหนียว เนื่องจากยังไม่แข็งตัว



(a)



(b)

Figure 12 Sample of the crispy nuts coconut milk toffee cutting by curved tooth blade at 65°C (a) Pre-cut sheets (b) 100 pieces sheets after cutting.

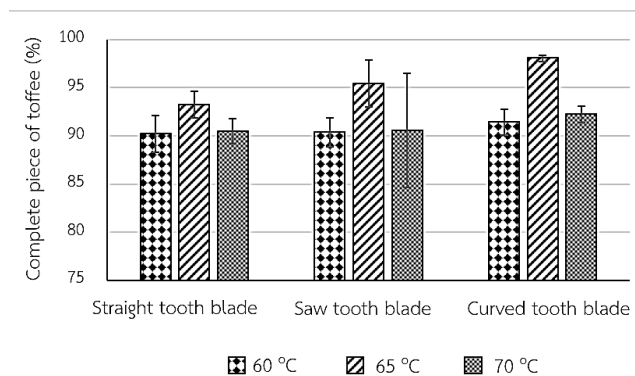


Figure 13 Cutting performance by perfectly toffee sample at 60, 65 and 70°C with straight tooth, saw tooth and curved tooth blade mechanisms.

4.2 ผลของอุณหภูมิของฟักที่กะทิฉนวนกรอบต่ออัตราการใช้พลังงานจำเพาะ

4.2.1 ผลการทดลองใบมีดฟันตรง

ที่อุณหภูมิ 60°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.27 \pm 0.06 \text{ kWh kg}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 65°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.26 \pm 0.01 \text{ kWh kg}^{-1}$ และอุณหภูมิ 70°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.25 \pm 0.01 \text{ kWh kg}^{-1}$

4.2.2 การทดลองใบมีดฟันเลี้ยว

ที่อุณหภูมิ 60°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.25 \pm 0.01 \text{ kWh kg}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 65°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.24 \pm 0.04 \text{ kWh kg}^{-1}$ และอุณหภูมิ 70°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.23 \pm 0.03 \text{ kWh kg}^{-1}$

4.2.3 ผลการทดลองใบมีดฟันโค้ง

ที่อุณหภูมิ 60°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.23 \pm 0.04 \text{ kWh kg}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 65°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.23 \pm 0.01 \text{ kWh kg}^{-1}$ และอุณหภูมิ 70°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.22 \pm 0.02 \text{ kWh kg}^{-1}$ และทั้ง 3 อุณหภูมิอัตราการใช้พลังงานจำเพาะของใบมีดฟันโค้งใช้อัตราการใช้พลังงานจำเพาะน้อยที่สุด ส่วนใบมีดฟันตรงอัตราการใช้พลังงานจำเพาะมากที่สุดทุกอุณหภูมิของฟักที่กะทิฉนวนกรอบ เนื่องจากเมื่อตัดฟักที่กะทิฉนวนกรอบตอนที่อุณหภูมิต่ำจะใช้แรงกดมากจึงทำให้ค่าอัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) มากและตัดฟักที่กะทิฉนวนกรอบที่อุณหภูมิสูงใช้แรงกดน้อยจึงทำให้ค่าอัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) น้อยลงไปด้วยตาม Figure 14 ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันทั้ง 3 ชนิดของใบมีดตัดค่า SEC ที่ต่ำหมายถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าของไฮดรอลิคน้อยลงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าน้อยตามไปด้วย

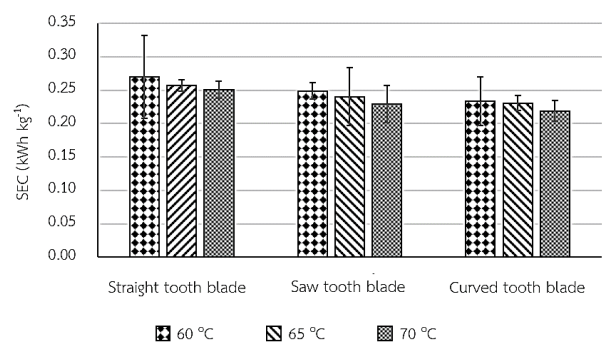


Figure 14 The specific energy consumption rate (SEC) at 60, 65 and 70°C of straight tooth, saw tooth and curved tooth blade mechanisms.

Table 1 Test results of three cutting set types and temperatures of 60, 65 and 70 °C.

Cutting set type	Temperature (°C)	Temperature before cutting (°C)	Complete piece of toffee (%)	Specific energy consumption ((kWh kg ⁻¹))
Straight tooth blade	60	61.30±1.14	90.23±1.88 ^a	0.27±0.06 ^a
	65	66.43±0.55	93.25±1.36 ^{ab}	0.26±0.01 ^a
	70	71.93±4.22	90.47±1.30 ^a	0.25±0.01 ^a
Saw tooth blade	60	62.77±1.23	90.38±1.53 ^a	0.25±0.01 ^a
	65	66.37±0.38	95.47±2.44 ^{bc}	0.24±0.04 ^a
	70	72.57±0.86	90.56±5.91 ^a	0.23±0.03 ^a
Curved tooth blade	60	61.43±2.25	91.45±1.36 ^{ab}	0.23±0.04 ^a
	65	67.20±2.07	98.09±0.33 ^c	0.23±0.01 ^a
	70	73.97±3.76	92.26±0.84 ^{ab}	0.22±0.02 ^a

Note : Lowercase superscripts in the same column indicate that the values are significantly difference ($p < 0.05$).

จาก Table 1 แสดงผลการทดสอบของชุดใบมีดฟันตรง ฟันเลื่อย และฟันโค้ง และอุณหภูมิของฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่ 60, 65 และ 70°C เมื่อใช้สถิติ Two way ANOVA ใช้ Duncan's multiple rang test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลหลายๆ คู่พร้อมๆ กันพบว่า อุณหภูมิของฟักที่ถั่วชนิดกรอบมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานของฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิของฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่ 65°C ส่วนชนิดของชุดใบมีดไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานของฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ ส่วนค่าอัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (*SEC*) ทั้งอุณหภูมิของฟักที่ถั่วชนิดกรอบและชนิดของชุดใบมีดไม่มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (*SEC*) ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 สมรรถนะในส่วนของการใช้พลังงานจำเพาะของอุณหภูมิพบว่า เมื่อตัดฟักที่ถั่วชนิดกรอบขณะที่อุณหภูมิต่ำจะใช้แรงกดมากจึงสามารถตรวจสอบได้จากค่าอัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (*SEC*) มากขึ้นเล็กน้อยตาม Table 1 ซึ่งอย่างไรแล้วพลังงานไฟฟ้าต้องจ่ายให้กับมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนปั๊มไฮดรอลิกที่ยึดชุดใบมีดตัดของรูปแบบต่างๆ เป็นจุดหลัก จากการใช้สถิติการเปรียบเทียบพบว่า ค่า *SEC* ของทุกสภาวะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากผลของแรงที่เกิดขึ้นขณะตัดมีค่าน้อยกว่าแรงที่เกิดจากโครงสร้างของชุดใบมีดตัดที่ระบบไฮดรอลิกต้องเคลื่อนที่ขึ้นและเคลื่อนที่ลง

นอกจากนี้จากการเก็บข้อมูลเฉพาะขั้นตอนในการตัดฟักที่ถั่วชนิดกรอบจากการผลิตเดิมใช้มีดตัดได้อัตราการตัด 0.56

วินาทีต่อชิ้น ดังนั้นคำนวณอัตราการผลิตได้ 6,428 ชิ้นต่อชั่วโมง และเครื่องตัดฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิกสำหรับวิสาหกิจชุมชนมีอัตราการตัด 0.16 วินาทีต่อชิ้น ดังนั้นคำนวณอัตราการผลิตได้ 22,500 ชิ้นต่อชั่วโมง โดยขนาดที่ตัดได้มาตรฐาน ส่วนงบประมาณสำหรับการใช้ในการพัฒนาเครื่องตัดฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิกใช้งบประมาณ 52,200 บาท

5 สรุป

ประโยชน์ที่ได้รับจากการพัฒนาเครื่องตัดฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิกสำหรับวิสาหกิจชุมชนสามารถแก้ปัญหาในขั้นตอนการตัดฟักที่ถั่วชนิดกรอบขณะร้อนตามที่วิสาหกิจชุมชนต้องการสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตและขนาดที่ตัดได้มาตรฐาน ซึ่งมีอุปกรณ์หลักๆ คือ ชุดระบบปั๊มไฮดรอลิกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส ขนาด 3 HP, ชุดกระบอกไฮดรอลิกขนาด 3 Ton สำหรับติดตั้งกลไกใบมีดตัดฟักที่ถั่วชนิดกรอบ, โครงสร้างรองรับชุดกระบอกไฮดรอลิกสำหรับกลไกใบมีดที่ระดับต้องเหมาะสมกับคนทำงาน ซึ่งพิจารณาสามารถเดินได้ และออกแบบชุดกลไกใบมีดฟันตรง ใบมีดฟันเลื่อยและใบมีดฟันโค้งสำหรับตัดฟักที่ถั่ว ใบมีดตัดถูกออกแบบที่สามารถถอดมาลับคมมีดได้ซึ่งวัสดุชุดใบมีดตัดใช้สแตนเลส 304

การทดสอบสมรรถนะของการตัด คือ เปอร์เซ็นต์ชิ้นงานของฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ และอัตราการใช้พลังงานจำเพาะ โดยทำการทดสอบชุดกลไกใบมีดตัด 3 ชุดกับอุณหภูมิ

ทอพีกะที่ถั่วชนิดกรอบ 60, 65 และ 70°C จำนวน 3 ซ้ำ พบว่าสมรรถนะของการตัดในส่วนเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอพีกะที่ถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ชุดใบมีดฟันโค้งได้สมรรถนะการตัดมากที่สุด รองลงมา คือ ชุดใบมีดฟันเลื่อย และถัดลงมาชุดใบมีดฟันตรง ทั้งนี้เนื่องมาจากพื้นที่ใบมีดฟันโค้งค่อยๆ สัมผัสกับเนื้อทอพีกะที่เกิดจากอัตราการใช้พลังงานที่มีแนวโน้มน้อยกว่าใบมีดฟันตรง และใบมีดฟันเลื่อยอย่างเห็นได้ชัดเจน พบว่า ชุดใบมีดฟันโค้งและใบมีดฟันเลื่อยตัดทอพีกะที่อุณหภูมิที่ 65°C ดีที่สุด เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอพีกะที่ถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ มากสุดและอัตราการใช้พลังงานจำเพาะต่ำ

6 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณบุญศรี ทาแลบ ที่ให้การสนับสนุนทุกด้านงานวิจัยเสร็จตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่ตั้งไว้

7 เอกสารอ้างอิง

Anantattanachai, S. and Charoenyos, R. 2015. Development of Krayasart ironing and cutting process for communities. Independent study, Bachelor of Engineering and Architecture. Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. Nonthaburi: Thai Wattana Panich. (in Thai)

JFE Steel Corporation. 2020. Stainless steels. Available at: <https://www.jfe-steel.co.jp/en/products/stainless/catalog/g1e-001.pdf>. Accessed on 9 June 2020.

Kampanpong, P., Sae – Sio, B. and Vorarat, S. 2014. A design and implementation of high performance insulation sheets cutting machine for production cost reduction. Proceedings of Industrial Engineering Academic Conference 2014. 30-31 October 2014, Samut Prakan. (in Thai)

Khamfoo, Th., Kanchanlertchai, S. Saksiangiam, N. and Sirasimbruem, P. 2015. Design and Development of rice cutting machine for stuffed fish mackerel. Bachelor of Engineering Thesis. King Mongkut's University of Technology Ladkrabang Bangkok: King Mongkut's University of Technology Ladkrabang. (in Thai)

Khamfoo, Th., Kanchanlertchai, S. Saksiangiam, N. and Sirasimbruem, P. 2015. Design and development of rice cutting machine for stuffed mackerel meal. Proceedings of the 16th TSAE National Conference and the 8th TSAE International Conference. 567-570. (in Thai)

Panjabut, N. and Hoongrak, K. 2017. Study of Mango Varieties and the optimum amount of Sae in Mango Toffee Production. Proceedings of the 2nd National / International Graduate Conference. Silpakorn University. 1016-1029. (in Thai)

Petcharat, K., Sae Tang, D. Tang Sathitporn, D. and Sakunyuenyongsuk, N. 2012. Research report on development of traditional Thai herbal candy: reduce inflammation and stop bad breath. Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)

Tanchiwawong, N. 2001. Hydraulic industry. Bangkok: Technology Promotion Association (Thai-Japanese). (in Thai)

Thai Industrial Standards Institute. 2016. Toffee Community Product Standard. 265/2559. Ministry of Industry, Rama VI Road, Bangkok. 1-6. (in Thai)

Wongmanee, A., Panya-uad, C. and Muang clear, N. 2017. Development of mulberry leaf cracker herbs shredder. Bachelor of Industrial Technology. Kamphaeng Phet Rajabhat University. (in Thai)