

เครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งสำหรับขึ้นรูปภาคบรรจุข้าวแต่น

กนต์ธีร์ สุขตากจันทร์^{1*} ดอน วิลละคำ² และนเรศ อินตะวงค์³
luang_s4@hotmail.com^{1*}, wilakhamd@gmail.com², naret_i@yahoo.com³

¹⁻³ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

² ฝ่ายวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

Received	: 9-Aug-2019
Revised	: 29-Aug-2019
Accepted	: 5-Sep-2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและจัดสร้างเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งขนาดเล็ก โดยมีหลักการการทำงานคือ แผ่นพอลิเอทิลีนเทรฟทาเลตขนาดความหนา 0.3 มิลลิเมตรที่ถูกลำเลียงมาอย่างต่อเนื่องมายังตำแหน่งแม่พิมพ์ จากนั้นแผ่นพอลิเอทิลีนเทรฟทาเลตจะถูกให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์อินฟราเรดช่วงอุณหภูมิ 240 °C ถึง 260 °C จนอ่อนตัวและถูกดึงขึ้นรูปด้วยแรงดูดสูญญากาศภายในแม่พิมพ์ และถูกลำเลียงไปยังชุดตัดให้ได้รูปทรงภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการ สำหรับภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ได้ถูกออกแบบให้มีช่องบรรจุที่เหมาะสมกับขนาดข้าวแต่น ทำให้ไม่ให้เกิดความเสียหายจากการกระแทกทางด้านข้างระหว่างขนย้าย รวมทั้งสามารถสร้างตราสัญลักษณ์เครื่องหมายการค้าของตนเองลงบนภาชนะได้อีกด้วย ผลการดำเนินงานพบว่าเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งสามารถขึ้นรูปชิ้นงานภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นได้ตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ สภาวะการผลิตที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิการผลิต 260 °C เวลาในการให้ความร้อนแก่แผ่นพอลิเอทิลีนเทรฟทาเลตเท่ากับ 20 วินาที เวลาในการขึ้นรูปเท่ากับ 5 วินาที และความดันการขึ้นรูปเท่ากับ 0.005 บาร์ ผลการวิเคราะห์ความหนาของภาชนะบรรจุภัณฑ์พบว่าบริเวณส่วนกลางของหลุมชิ้นงานมีขนาดหนามากที่สุดจากนั้นมีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงบริเวณขอบของชิ้นงาน กำลังการผลิตที่เครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งทำได้คือ 704 ชิ้นงานต่อวัน ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าต้นทุนการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกด้วยเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งเท่ากับ 2.14 บาทต่อชิ้นงาน และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2 ปี 2 เดือน

คำสำคัญ: เครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติก ข้าวแต่น แม่พิมพ์

Thermoforming Machine For Produced of the Kaotan Packaging

Konthee Sugtakchan^{1*}, Don Wilakham² and Naret Intawong³
luang_s4@hotmail.com^{1*}, wilakhamd@gmail.com², naret_i@yahoo.com³

¹⁻³ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna.

² Research and Development Institute, Rajamangala University of Technology Lanna,

Received	: 9-Aug-2019
Revised	: 29-Aug-2019
Accepted	: 5-Sep-2019

Abstract

This research aims to design and produce a small thermoforming machine. The working principle of the machine was to continuously feed a 0.3 millimeter thick polyethylene terephthalate sheet into the mold position. The polyethylene terephthalate sheet was heated by infrared heater at a temperature range of 240 °C to 260 °C until softened. Then the softened sheet was pulled by vacuuming force inside the mold. Finally it was fed to the cutting unit to achieve the desired container shape for Kaotan packaging. The Kaotan packaging was designed to have a suitable compartment for the Kaotan product size and to prevent damage from side impact during transportation. Manufacturers could also be able to put their own logos or trade marks on the kaotan packages. Results showed that the constructed thermoforming machine was able to mold the kaotan packaging container according to purpose of the design. The suitable producing condition for thermoforming machine was optimum production temperature of 260 °C. The preheating time (PT) and Vacuum forming time (VFT) were 20 seconds and 5 seconds, respectively. The vacuum pressure used in forming was 0.005 bar. Analysis of thickness of kaotan packaging revealed that the container was thickest at the center and tended to get continuously thinner towards the edge of the kaotan packaging. Production capacity of the thermoforming machine was 704 pieces per day. The economic analysis showed that the cost of producing kaotan packaging with thermoforming machines was 2.14 baht per piece, with a return of investment within a period of 2 years and 2 months.

Keywords: Thermoforming machine, Plastic Sheet Packaging, Rice Snack (Kaotan), Mould

1. บทนำ

ข้าวแต่น [1] เป็นขนมพื้นบ้านทางภาคเหนือ ที่แสดงถึงเอกลักษณ์ และภูมิปัญญาพื้นบ้าน รวมทั้งแสดงถึงวัฒนธรรมของชาวพื้นเมือง ที่บริโภคข้าวเหนียวเป็นอาหารหลัก ข้าวแต่นมักนิยมทำขึ้นเพื่อใช้เป็นขนมประกอบพิธีกรรมในเทศกาลงานบุญตามประเพณีของชาวภาคเหนือมาแต่โบราณ ปัจจุบันได้มีการปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นในหลาย ๆ รูปแบบ เช่น การนำเอาผลไม้เช่นน้ำแดงโมและเมล็ดธัญพืชมาผสมเป็นส่วนประกอบเพิ่มเติมเพื่อเป็นการสร้างจุดขายของผลิตภัณฑ์ จนเป็นที่ นิยมของตลาดเป็นอย่างมาก ตลอดจนมีแนวโน้มทางการตลาดที่ดีในรูปแบบสินค้า “หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์” [2] ที่สร้างชื่อเสียงประเภทสินค้ายอดเยี่ยมระดับภาคเหนือ ซึ่งนอกจากจะบริโภคในประเทศแล้วยังสามารถส่งออกไปยังต่างประเทศ เช่น ประเทศมาเลเซีย และไต้หวัน เป็นต้น

ในการนี้ทางหุ้นส่วนสามัญนิติบุคคล “ข้าวแต่นหมื่นคำ” ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นขึ้นใหม่ในลักษณะของรูปทรง “โดนัท” ดังแสดงในรูปที่ 1 และมีความต้องการที่จะสร้างภาชนะบรรจุภัณฑ์ ที่มีรูปทรงและขนาดเหมาะสมกับขนาดผลิตภัณฑ์ใหม่ดังกล่าว นอกจากนี้ยังต้องการสร้างตราสัญลักษณ์ของตนเองบนภาชนะบรรจุภัณฑ์อีกด้วย สำหรับวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตข้าวแต่นคือข้าวเหนียวประมาณ 22,500 กิโลกรัม/ปี และ เมล็ดธัญพืชจำนวน 240 กิโลกรัม/ปี

จากแนวโน้มความต้องการทางการตลาดที่ดีของผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ได้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในตลาดของ

ผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น [1] พื้นฐานการออกแบบและพัฒนาจากงานวิจัยที่ผ่านมาอดีต [3] ซึ่งได้ออกแบบและสร้างเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งที่มีกลไกการทำงานด้วยการให้ความร้อนแก่แผ่นพอลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ถูกบ้อนมาอย่างต่อเนื่องมาอย่างต่อเนื่องแม่พิมพ์ จากนั้นแผ่นพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตจะถูกให้ความร้อนด้วยอินฟราเรดฮีตเตอร์จนอ่อนตัวและถูกดึงขึ้นรูปด้วยแรงดูดสุญญากาศ (Vacuum Forming) [4] ในแม่พิมพ์ (Mould) [5] โดยเป็นการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ ผลการวิจัยได้นำเสนอข้อมูลสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งเพื่อให้ได้คุณภาพด้านความหนาชิ้นงานที่สมบูรณ์

สำหรับปัญหาที่เป็นขีดจำกัดด้านการพัฒนารูปลักษณะของภาชนะบรรจุข้าวแต่นนั้นพบว่าผู้ประกอบการไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบของภาชนะบรรจุข้าวแต่นได้หลากหลายมากนัก ส่วนใหญ่มักมีรูปร่างเป็นถุงสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยจะต่างกันเฉพาะสีของถุงและฉลากของผู้ประกอบการเท่านั้น และผู้ประกอบการไม่สามารถสร้างตราสัญลักษณ์ที่เป็นเอกลักษณ์ของผู้ประกอบการเองลงบนแผ่นพลาสติกทรงก้นกระแทกได้ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากรูปลักษณะของภาชนะบรรจุข้าวแต่นดังกล่าวถูกกำหนดด้วยแผ่นพลาสติกที่ถูกขึ้นรูปด้วยเทคนิคสุญญากาศ ที่มีรูปแบบเดียวกัน แผ่นพลาสติกพลาสติกมีรูปทรงแบบเดียวกันไม่สร้างความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ อีกปัญหาหนึ่งคือแผ่นพลาสติกก้นกระแทกมีขนาดไม่เหมาะสมกับขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ข้าวแต่นที่มีความหลากหลายมากขึ้น รวมทั้งแผ่นพลาสติกดังกล่าวมิได้ช่วยในการป้องกันการกระแทกจากทางด้านข้างแต่อย่างใด ส่วนใหญ่มี

ขนาดของช่องบรรจุเล็กกว่าขนาดผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นและข้าวแต๋นลูกวางไว้บนแผ่นพลาสติกที่อยู่ด้านล่างภายในถุงพลาสติก โดยในความเป็นจริงแล้วตัวผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นควรจะอยู่ในช่องของภาชนะบรรจุพลาสติกที่พอดี ปัญหาดังกล่าวนำมาซึ่งความแตกหักเสียหายของผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นระหว่างการขนส่งเสมอ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการออกแบบและจัดสร้างเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งขนาดเล็ก ที่สามารถผลิตภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มข้าวแต๋นไม่ให้เคลื่อนที่ระหว่างขนย้ายรวมทั้งสามารถป้องกันการกระแทกจากด้านข้างได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังสามารถสร้างตราสัญลักษณ์เครื่องหมายการค้าลงบนภาชนะได้อย่างคมชัดและสวยงาม



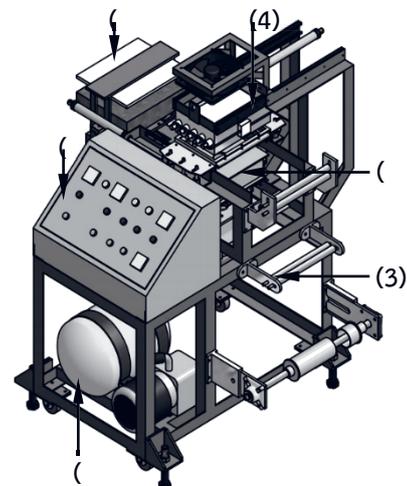
รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นรูปทรง “โดนัท”

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

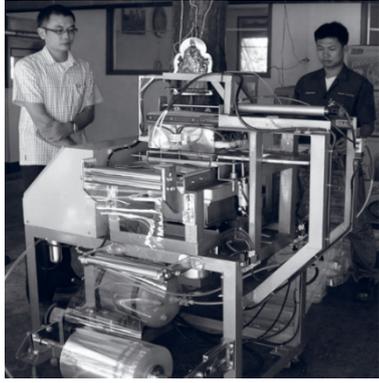
2.1 การออกแบบและจัดสร้างเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่ง

เครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องจักรที่มีระบบการผลิตแบบอัตโนมัติ ซึ่งงานถูกขึ้นรูปอย่างต่อเนื่องโดยไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานทำหน้าที่วางแผ่นพลาสติกลงในแม่พิมพ์ การนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ และมีกลไกการตัดชิ้นงานภายหลังจากการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว นอกจากนี้ยังสามารถผลิตภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มข้าวแต๋นไม่ให้เคลื่อนที่ระหว่างขนย้าย และสามารถป้องกันการกระแทกจากด้านข้างได้อีกทางหนึ่งรวมทั้งสามารถสร้างตราสัญลักษณ์เครื่องหมายการค้าของผู้ประกอบการเองลงบนภาชนะได้อย่างคมชัดและสวยงาม

เครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งที่ได้ออกแบบและจัดสร้างขึ้นประกอบด้วย 6 ส่วนได้แก่ แม่พิมพ์ (1) ระบบสุญญากาศ (2) ระบบการลำเลียงแผ่นพลาสติก (3) ชุดให้ความร้อนฮีตเตอร์และการขึ้นรูปแผ่นพลาสติก (4) ชุดตัดแผ่นพลาสติก (5) และชุดควบคุมการทำงาน (6) ดังแสดงในรูปที่ 2



ก) แบบเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่ง



ข) เครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งต้นแบบ
รูปที่ 2 แบบและเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งที่ได้
จัดสร้างขึ้น

- แม่พิมพ์

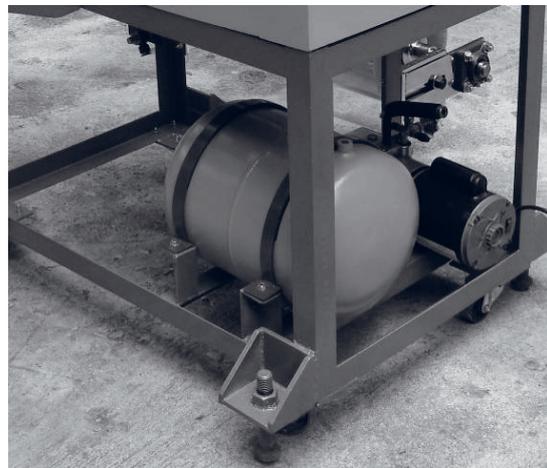
รูปที่ 3 แสดงรูปทรงของแม่พิมพ์ที่ผลิตจากวัสดุอะลูมิเนียมเพื่อใช้สำหรับขึ้นรูปภาชนะบรรจุภัณฑ์ข้าวแต๋นมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 280x230 mm. สามารถบรรจุข้าวแต๋นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 mm ได้ 20 ชิ้น โดยได้ทำตราสัญลักษณ์เครื่องหมายการค้า “ข้าวแต๋นหมื่นคำ” และตรารูปรถม้าซึ่งเป็นสัญลักษณ์ของจังหวัดลำปางลงในแม่พิมพ์ด้วย สำหรับการชุดขับเคลื่อนแม่พิมพ์โดยกล่องสุญญากาศจะถูกทำให้เคลื่อนที่ขึ้นและลงตามจังหวะการขึ้นรูปใช้กระบอกลมนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm ระยะชักสูงสุด 100 mm เป็นต้นกำลัง แม่พิมพ์ถูกเจาะรูเพื่อให้เป็นท่อขนาดเล็กสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสุญญากาศ



รูปที่ 3 แสดงรูปทรงของแม่พิมพ์

- ระบบสุญญากาศ

รูปที่ 4 แสดงระบบสุญญากาศใช้หลักการดูดอากาศออกจากถังพักขนาดปริมาตรความจุ 25 ลิตรเพื่อทำให้ถังมีความดันประมาณ 45 เซนติเมตรปรอทในการดูดขึ้นรูปแผ่นพลาสติก ปัมสุญญากาศที่ใช้คือ MISU Vacuum Pump รุ่น FY-2B มีความสามารถดูดอากาศได้ 115 l/min โดยปั๊มลมจะทำงานทุก ๆ 20 วินาทีเพื่อรักษาระดับความดันในถังพักให้คงที่

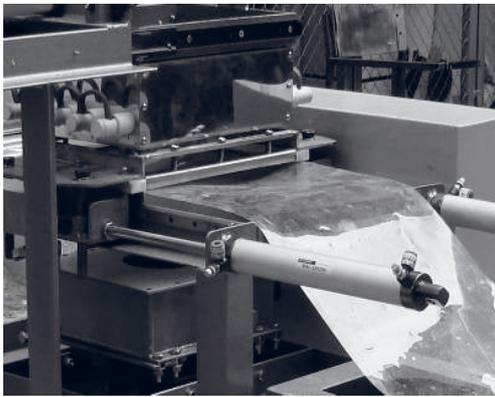
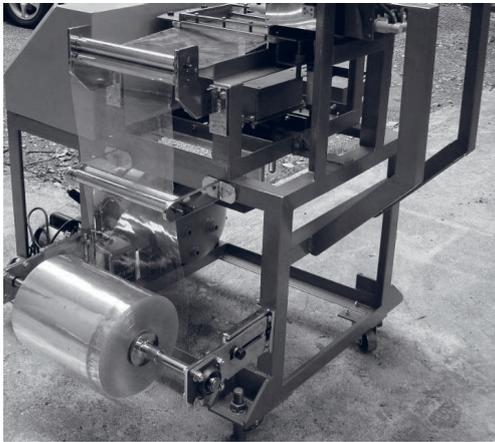


รูปที่ 4 ระบบสุญญากาศ

- ระบบการลำเลียงแผ่นพลาสติก

รูปที่ 5 แสดงส่วนประกอบของชุดลำเลียงแผ่นพลาสติกซึ่งมีหลักการทำงานคือใช้การจับยึดแผ่นพลาสติกด้วยแรงกดจากแผ่นพลาสติกทนความร้อนรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งติดตั้งบนชุดจับยึดรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 220x380 mm โดยประกอบเข้ากับกระบอกลมนต้นกำลังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm ระยะชัก 50mm ทั้งสองด้านของแผ่นกดแผ่นพลาสติก โดยกระบอกลมนดังกล่าวจะเคลื่อนที่พร้อมกันกล่าวคือ การเคลื่อนที่ขึ้นเพื่อปล่อยแผ่นพลาสติกภายหลังขึ้นรูปแล้ว และเคลื่อนที่ลงเพื่อจับยึดแผ่นพลาสติกแผ่นใหม่เข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปต่อไป โดยชุด

ลำเลียงแผ่นพลาสติกจะทำงานร่วมกับชุดจับยึด
ม้วนพลาสติก

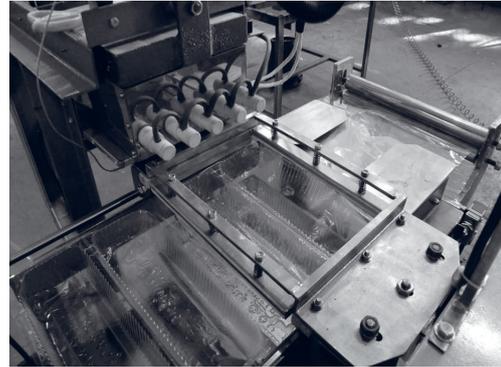


รูปที่ 5 แสดงส่วนประกอบของชุดลำเลียงแผ่น
พลาสติก

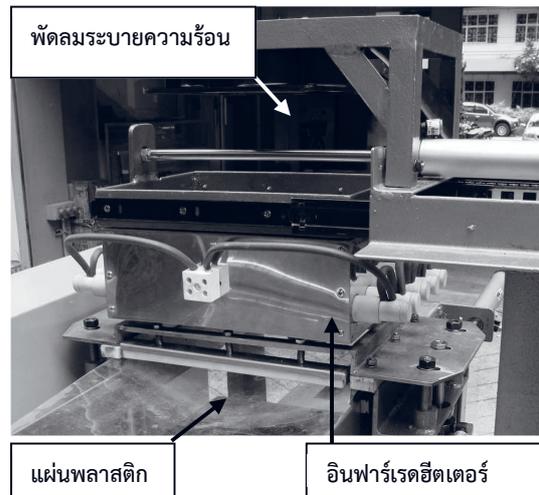
- ชุดให้ความร้อนฮีตเตอร์และการขึ้น
รูปแผ่นพลาสติก

รูปที่ 6 แสดงอินฟราเรดฮีตเตอร์ที่ใช้ใน
การให้ความร้อนแผ่นพลาสติก ซึ่งประกอบอยู่ใน
กล่องโลหะขนาด 210×290×100 mm (กxยxส)
กำลังไฟที่ใช้โดยรวมเท่ากับ 3500 W. AC
ฮีตเตอร์ดังกล่าวติดตั้งอยู่บนชุดขับเคลื่อนซึ่ง
สามารถเคลื่อนที่ไปและกลับเพื่อให้ความร้อนแก่
แผ่นพลาสติกบริเวณชุดขึ้นรูป การควบคุม
อุณหภูมิมีอาศัยอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ
เทอร์โมคัปเปิล นอกจากนี้ได้ติดตั้งพัดลม

ระบายอากาศขนาด 200×200×60mm(กxยxส)
กำลังไฟที่ใช้เท่ากับ 40 W. ระยะห่างจากพัดลม
ระบายความร้อนถึงแม่พิมพ์เท่ากับ 300 mm
ทำหน้าที่ระบายความร้อนแก่แผ่นพลาสติกที่
ผ่านการขึ้นรูปแล้วดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 6 ชุดให้ความร้อนอินฟราเรดฮีตเตอร์

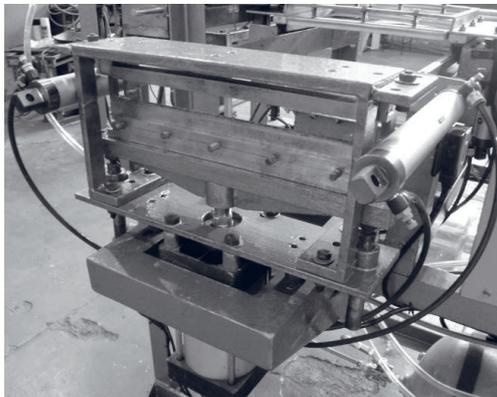


รูปที่ 7 แผ่นพลาสติกที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว

- ชุดตัดแผ่นพลาสติก

ชุดตัดขึ้นงานทำหน้าที่ตัดแผ่นพอลิ
เมอร์ขึ้นงานหลังจากทำการขึ้นรูปแล้วโดยใช้
วิธีการตัดแบบเฉือน โครงสร้างทำจากเหล็กฉาก
ขนาด 25×25×50 mm. ส่วนใบมีดตัดบนและ
ล่างทำมาจากเหล็กเครื่องมือ 210×50×10 mm.
และถูกติดตั้งเข้ากับโครงชุดตัดบนและล่าง

เช่นกัน โดยใบมีดทั้งสองถูกประกอด้วยเพลลาเหล็กตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 mm. ทั้งสองด้านของชุดใบมีดตัดดั่งแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ชุดตัดแผ่นพลาสติก

- ชุดควบคุมการทำงาน

ชุดควบคุมระบบไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ชุดควบคุมอุณหภูมิ และ อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของปั๊มสุญญากาศ ซึ่งแต่ละชุดมีหน้าที่ของการทำงานดังต่อไปนี้ ชุดควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าและวงจรควบคุมอุณหภูมิของฮีตเตอร์อินฟราเรด ซึ่งทำงานร่วมกับ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ที่ติดตั้งอยู่บริเวณด้านข้างของกล่องฮีตเตอร์ สามารถปรับตั้งอุณหภูมิ ช่วงอุณหภูมิการทำงานสูงสุดที่สามารถปรับตั้งได้คือ 400°C ความละเอียด $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ชุดควบคุมระบบสุญญากาศประกอบด้วยวงจรควบคุมการเปิด/ปิดระบบสุญญากาศด้วยโซลีนอยวาล์วไฟฟ้าทำหน้าที่ควบคุมสถานะสุญญากาศภายในถังเก็บให้อยู่ในระดับคงที่ตลอดเวลาที่อัตราการดูดอากาศ 115 U/min เพื่อให้เพียงพอต่อการดูดขึ้นรูปชิ้นงาน

2.1 วิธีการทดลอง

- วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

พอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลองคือ พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate, PET) [6] ชนิดแผ่น ซึ่งผ่านการขึ้นรูปแบบอัดรีดและม้วนเก็บในลูกกลิ้งกระดาษ ขนาดความหนา 0.3 mm . กว้าง 210 mm . และความยาวเท่ากับ 290 mm . ต่อ 1 รอบในการผลิต จากบริษัทซี.เอ.พี.อินเตอร์เทรด จำกัด

- การหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม

1. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิต

อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบขึ้นรูปชิ้นงานคือ 240°C 250°C และ 260°C ซึ่งสามารถปรับตั้งได้จากชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติพิจารณาคุณภาพของชิ้นงานในแต่ละอุณหภูมิการผลิตการปรับตั้งด้วยการวัดขนาดความหนาแต่ละส่วนของชิ้นงาน

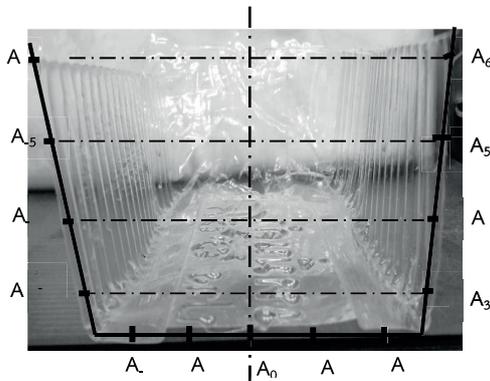
2. เวลาในการผลิตที่เหมาะสม

การปรับตั้งเวลาในการผลิตสามารถแยกออกเป็น 2 ช่วงเวลาคือ ช่วงเวลาให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน (Preheat Time) และช่วงเวลาของการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยสุญญากาศ (Vacuum Forming Time) ช่วงเวลาให้ความร้อนแก่ชิ้นงานเครื่องจักรสามารถปรับตั้งได้ในช่วง 0 ถึง 95 วินาที สำหรับงานวิจัยนี้ช่วงเวลาให้ความร้อนแก่ชิ้นงานถูกกำหนดให้เป็นพารามิเตอร์คงที่คือ 20 วินาที โดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมา [3] ซึ่งพบว่าเป็นเวลาในการให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกที่เหมาะสม ช่วงเวลาของการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยสุญญากาศปรับตั้งในช่วง 5 วินาที ถึง 20 วินาที ตามลำดับ พิจารณาคุณภาพของ

ขึ้นงานด้วยการวัดการกระจายตัวของความหนาแต่ละส่วนของชิ้นงาน ในแต่ละสถานะการผลิต

- การตรวจวัดการกระจายตัวของความหนาชิ้นงาน

จากที่ 9 แสดงตำแหน่งการวัดขนาดความหนาของชิ้นงานทดสอบ ที่ได้จากสถานะการผลิตต่าง ๆ ประกอบด้วยตำแหน่งการวัดความหนาของชิ้นงาน 2 ด้านคือ ด้านล่างและด้านข้างของถาดหลุมตามลำดับ โดยใช้ไมโครมิเตอร์ Mitutoyo ความละเอียด 0.001 mm



รูปที่ 9 แสดงตำแหน่งของการวัดขนาดความหนาของชิ้นงานทดสอบ

- การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

คือการคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งได้แก่ค่าไฟฟ้าจากการใช้งานจริง ค่าแรงงาน ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์หา

จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนของเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งๆ เมื่อนำไปใช้งานเชิงพาณิชย์ต่อไป

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานของเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่ง



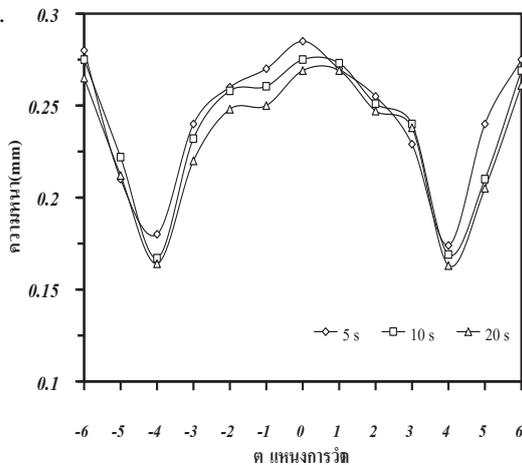
รูปที่ 10 แสดงผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นถูกบรรจุในภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่ขึ้นรูปจากเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่ง

เครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งที่ได้จัดสร้างขึ้นสามารถขึ้นรูปชิ้นงานภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นได้ตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบดังจะเห็นได้จากตัวอย่างชิ้นงานตามรูปที่ 10 แผ่นพลาสติก PET ถูกขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุและรูปร่างเป็นไปตามแม่พิมพ์ที่ได้ออกแบบไว้ ภาชนะบรรจุที่ได้มีขนาดเหมาะสมกับขนาดของข้าวแต๋น สามารถบรรจุข้าวแต๋นขนาดเส้นผ่าน

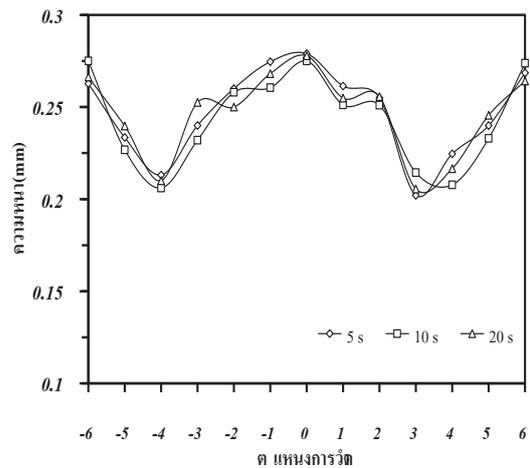
ศูนย์กลาง 65 mm ได้ 20 ชั้นได้อย่างพอดี ภาชนะบรรจุทำหน้าที่ห่อหุ้มข้าวแต่นไม่ให้ เคลื่อนที่ระหว่างขนย้าย รวมทั้งสามารถป้องกันการกระแทกจากด้านข้างได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังสามารถสร้างตราสัญลักษณ์ เครื่องหมายการค้าลงบนภาชนะได้อย่างคมชัด และสวยงามตามที่คาดไว้

3.2 การหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม

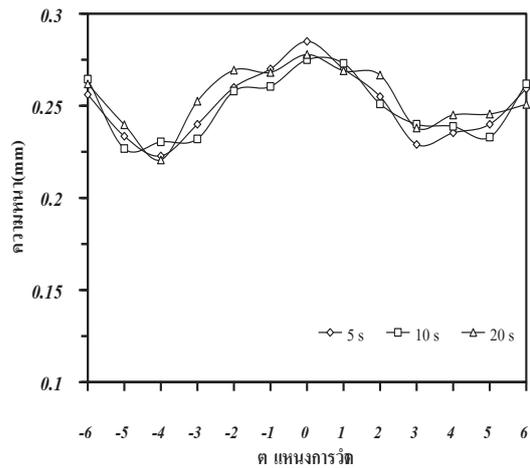
การเลือกสภาวะการผลิตที่เหมาะสม จะพิจารณาจากการกระจายตัวของความหนา ของแผ่นชิ้นงานที่มีความสม่ำเสมอตลอดทั้ง ชิ้นงาน โดยมีตัวแปรที่ต้องคำนึงถึงคือ อุณหภูมิ การผลิต เวลาในการให้ความร้อน (Preheat Time, PT) และเวลาในการขึ้นรูป (Vacuum Forming Time, VFT) [7]



รูปที่ 11 ค่าความหนาที่ตำแหน่งการวัดต่าง ๆ ที่ VFT เท่ากับ 5 วินาที 10 วินาที และ 20 วินาที อุณหภูมิการผลิต 240°C



รูปที่ 12 ค่าความหนาที่ตำแหน่งการวัดต่าง ๆ ที่ VFT เท่ากับ 5 วินาที 10 วินาที และ 20 วินาที อุณหภูมิการผลิต 250°C



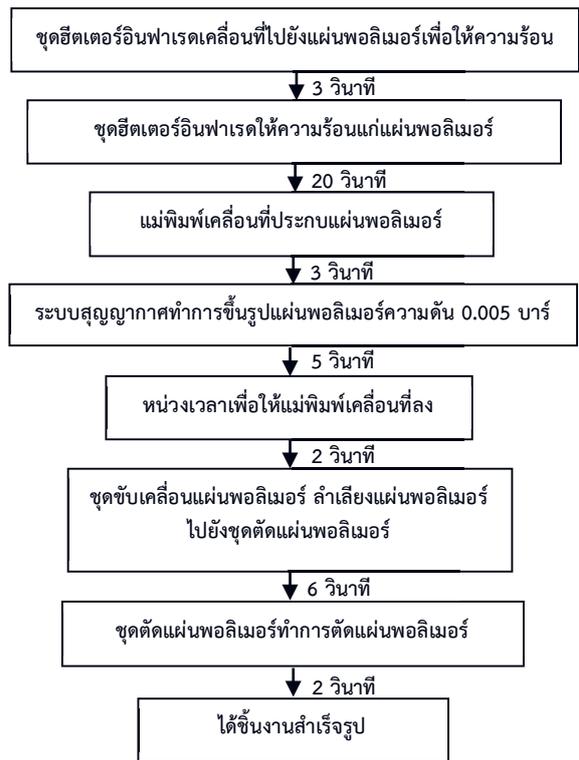
รูปที่ 13 ค่าความหนาที่ตำแหน่งการวัดต่าง ๆ ที่ VFT เท่ากับ 5 วินาที 10 วินาที และ 20 วินาที อุณหภูมิการผลิต 260°C

รูปที่ 11 รูปที่ 12 และรูปที่ 13 แสดงผล การวัดความหนาชิ้นงานที่สภาวะการผลิตคือ อุณหภูมิในการขึ้นรูป 240°C, 250°C และ 260 °C ตามลำดับ เวลาในการให้ความร้อนแก่ แผ่นพลาสติก (PT) เท่ากับ 20 วินาที เวลาใน การขึ้นรูป (VFT) เท่ากับ 5 วินาที 10 วินาที

และ 20 วินาที ปรับตั้งค่าความดันสุญญากาศของการขึ้นรูปเท่ากับ 0.005 บาร์ ผลการวิเคราะห์ความหนาของภาชนะบรรจุภัณฑ์พบว่าบริเวณส่วนกลางของหลุมขึ้นงานมีขนาดหนามากที่สุดจากนั้นมีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงบริเวณขอบของขึ้นงาน เวลาในการขึ้นรูปด้วยสุญญากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของขึ้นงานในแต่ละตำแหน่งการวัดของทุกสภาวะการผลิต ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าแผ่นพลาสติกจะเย็นตัวทันทีเมื่อสัมผัสกับผนังของแม่พิมพ์ หลังจากนั้นจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างถึงแม้ว่าจะยังคงให้เวลาในการดูดขึ้นรูปยาวนานขึ้นก็ตาม

นอกจากนี้ยังพบว่าความหนาของขึ้นงานมีแนวโน้มใกล้เคียงกันตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการผลิต ทั้งนี้เนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมิการผลิตทำให้แผ่นขึ้นงานพลาสติกได้รับความร้อนอย่างทั่วถึงทั้งแผ่นและสะสมความร้อนได้มากกว่า ซึ่งทำให้การดึงยึดขณะขึ้นรูปด้วยสุญญากาศเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์มากกว่า จากผลการทดลองที่ได้กล่าวมาพอสรุปได้ว่าสภาวะการผลิตที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิการผลิต 260 °C เวลาในการให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกเท่ากับ 20 วินาที เวลาในการขึ้นรูปเท่ากับ 5 วินาที และความดันการขึ้นรูปเท่ากับ 0.005 บาร์ เนื่องจากได้ขึ้นงานที่มีความหนาใกล้เคียงกันมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 14

นำผลการทดลองที่ได้จากสภาวะการผลิตที่ดีที่สุดไปทดลองผลิตจริงตามลำดับขั้นการผลิตดังแผนภูมิรูปที่ 14 พบว่าในการขึ้นรูปขึ้นงาน 1 ชิ้นใช้เวลาทั้งหมด 41 วินาทีหรือเท่ากับ 88 ขึ้นงานต่อชั่วโมง



รูปที่ 14 ลำดับขั้นการผลิตและเวลารวมของการขึ้นรูปขึ้นงาน 1 ชิ้น

3.3 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ [8]

- ค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน

การควบคุมเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งใช้แรงงานคนจำนวน 1 คน ค่าใช้จ่ายเท่ากับ 300 บาทต่อวัน (ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง) กำลังการผลิต 88 ชิ้นต่อชั่วโมงหรือ 704 ชิ้นต่อวัน รวม ต้นทุนเท่ากับ 0.4 บาทต่อชิ้นงาน

- ค่าวัตถุดิบ

ราคาแผ่นพลาสติก PET ขนาด 61x100x0.2 mm ราคา 15 บาท สามารถผลิตเป็นขึ้นงานได้ 10 ชิ้นงาน ดังนั้นราคาต่อหน่วยเท่ากับ 1.50 บาท/ชิ้นงาน

- ค่ากระแสไฟฟ้า

มอเตอร์บีบลม ½ Hp	= 375	W
มอเตอร์บีบสุญญากาศ ½ Hp	= 375	W
ฮีตเตอร์	= 2000	W
รวม	= 2.8	kW/h

ค่ากระแสไฟฟ้า (400 หน่วยขึ้นไป/เดือน)
 $= 3$ บาท/kW
 ค่ากระแสไฟฟ้าต่อชั่วโมง
 $2.75 \times 3 = 8.25$ บาท/ชั่วโมง
 กำลังการผลิตของเครื่อง = 88 ชิ้น/ชั่วโมง
 ต้นทุนค่าไฟฟ้า = 0.09 บาทต่อชิ้นงาน

- **ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร**
 สูตรค่าเสื่อมราคา $= \frac{B - SV}{N}$
 เมื่อ B = ราคาต้นทุนสินทรัพย์ (เครื่องจักร
 ราคา=150,000 บาท)
 SV = มูลค่าซาก (10%ของราคาต้นทุน
 สินทรัพย์)
 N = อายุการใช้งาน (5 ปี)
 ค่าเสื่อมราคา
 $= (150,000-15,000)/5 = 27,000$ บาท
 จำนวนวันในการทำงานใน 1 ปี = 261 วัน
 ดังนั้นค่าเสื่อมราคา = $27,000/261=103$ บาทต่อวัน
 กำลังการผลิต 704 ชิ้นงานต่อวัน
 ดังนั้นค่าเสื่อมราคา = 0.15 บาทต่อชิ้นงาน

- **การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนของการผลิต**
 ต้นทุนการผลิตด้วยเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งเท่ากับ
 $= (\text{ค่าแรงงาน} + \text{ค่าวัสดุดิบ} + \text{ค่ากระแสไฟฟ้า} + \text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร})$
 $= (0.4 + 1.5 + 0.09 + 0.15)$
 $= 2.14$ บาทต่อชิ้นงาน
 แต่เดิมผู้ประกอบการมีค่าใช้จ่ายค่าแผ่นพลาสติกที่เป็นบรรจุภัณฑ์เดิมราคา 2.50 บาทต่อชิ้นงาน ดังนั้น
 จุดคุ้มทุน = $\text{ต้นทุนคงที่} / (\text{ต้นทุนเดิม} - \text{ต้นทุนแปรผัน})$
 $= 150,000 / (2.50 - 2.14)$

$= 416,667$ ชิ้นงาน
 กำลังการผลิตของเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งเท่ากับ 704 ชิ้นต่อวัน ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนคือ
 $= 2$ ปี 2 เดือน

4. สรุปผลการทดลอง

4.1 เครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งที่ได้จัดสร้างขึ้นสามารถขึ้นรูปชิ้นงานภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นได้ตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ โดยสามารถบรรจุข้าวแต๋นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 mm ได้ 20 ชิ้นได้อย่างพอดี

4.2 ภาชนะบรรจุขึ้นรูปจากเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งทำหน้าที่ห่อหุ้มข้าวแต๋นไม่ให้เคลื่อนที่ระหว่างขนย้าย รวมทั้งสามารถป้องกันการกระแทกจากด้านข้างได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังสามารถสร้างตราสัญลักษณ์เครื่องหมายการค้าลงบนภาชนะได้อย่างคมชัดและสวยงามตามที่คาดไว้

4.3 ผลการวัดความหนาของภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้ พบว่าบริเวณส่วนกลางของหลุมขึ้นงานมีขนาดหนามากที่สุดบริเวณตราสัญลักษณ์ จากนั้นมีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงบริเวณขอบของชิ้นงานในทุก ๆ สภาวะการผลิต

4.4 สภาวะการผลิตที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิการผลิต 260 °C เวลาในการให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกเท่ากับ 20 วินาที เวลาในการขึ้นรูปเท่ากับ 5 วินาที และความดันการขึ้นรูปเท่ากับ 0.005 บาร์กำลังการผลิตเท่ากับ 88 ชิ้นงานต่อชั่วโมงหรือ 704 ต่อวัน

4.5 จากการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์พบว่าต้นทุนการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกด้วยเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งเท่ากับ 2.14 บาทต่อชิ้นงาน และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2 ปี 2 เดือน

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือ (อวน.) ผู้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยและการพัฒนาในหัวข้อ “การพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตเครื่องขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ข้าวแต๋น” ในปีงบประมาณ 2553 ตลอดจน “ร้านข้าวแต๋นหมื่นคำ” ผู้สนับสนุนวัตถุดิบในการทดลอง รวมทั้งสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sugtakcha K, Wilakham D and Intawong N-T. Development on Kaotan packaging machine and technology transfer of Kaotan packaging production. Final Report. Northern Science Park; 2011. (in Thai)
- [2] BAAC Thailand. Kiangkhu Ru Kha Kap Thokoso [Internet]. 2018. .[Updated 2018 October 3; cited 2019 July 15] Available from https://www.youtube.com/watch?v=oR7v5OL9Z_Y
- [3] Intawong N-T. Development of thermoforming machines for production of Kaotan packaging. Final Report. Ministry of Science and Technology 2011. (in Thai)
- [4] Morton-Jones D. H. Polymer processing, TJ Press (Padstow) Ltd; 1989.
- [5] Banleng Sonnin. Plastic technology, 16th edition. Technology Pro-motion Association (Thailand-Japan); 2004. (in Thai)
- [6] Ratchatwet A, Polymer. Duangkamol Publishing. Bangkok; 2012. 223. (in Thai)
- [7] Khueanphet M, Chiramat P, Chaison S and Intawong N-T. Thermoforming machines for produced of Kaotan packaging. Final Report. Industrial and Research Projects for Undergraduate Students, IRPUS. The Thailand Research Fund, TRF; 2007.
- [8] Lomchart N and Nuchanat A. A comparative study of the costs and returns of Barramundi culture in ponds, brackish and salt water. A case study sea bass culture in Prachuap Khiri Khan province. The 5th Rajamangala University of Technology National Conference; 2016. 80-90. (in Thai)