นวตกรรมเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนสำหรับการผลิตถาดบรรจุไรน้ำนางฟ้าแช่แข็ง ของชุมชนคลองสำพรึง จังหวัดนครสวรรค์

Thermal Plastic Molding Machine Innovation for Frozen Fairy Shrimp Tray Production in Khlong Saamprung Community, Nakhon Sawan Province

โกเมน หมายมั่น[1*], กฤษณะ ร่มชัยพฤกษ์[2] และธีรพจน์ แนบเนียน[3]

Komain Maimun[1*], Krissana Romchaiyaphuek[2] and Teerapod Naebnean[3]

[1*,2,3]คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ 398 หมู่ 9 ถ.สวรรค์วิถี ต.นครสวรรค์ตก อ.เมือง จ.นครสวรรค์ 60000 E-mail: komain.m@nsru.ac.th, krissana@nsru.ac.th, t.tru@hotmail.com

[1*,2,3]Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology. Nakhon Sawan Rajabhat University 398 Moo. 9, Sawanwithi Road, Muang District, Nakhon Sawan, 60000, Thailand.

E-mail: komain.m@nsru.ac.th, krissana@nsru.ac.th, t.tru@hotmail.com

วันที่รับบทความ 12 พฤศจิกายน 2561 **วันที่รับแก้ไขบทความ** 10 พฤษภาคม 2562 **วันที่ตอบรับบทความ** 14 พฤษภาคม 2562

Received: Nov. 12, 2018 **Revised:** May. 10, 2019 **Accepted:** May. 14, 2019

บทคัดย่อ

การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนสำหรับการผลิตถาดบรรจุไรน้ำนางฟ้าแช่แข็งของชุมชนคลองสำพรึง อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ โครงสร้างทำจากเหล็กกล้า มีขนาดความกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร และสูง 130 เซนติเมตร ใช้กับไฟฟ้า 3 เฟส แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ระบบให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกจากฮีตเตอร์อินฟราเรด จำนวน 12 แผ่น ความร้อนสูงสุด 300 °C ความสามารถผลิตชิ้นงานที่มีความกว้างและความยาวสูงสุด 250 x 300 มิลลิเมตร และมีความหนาสูงสุด 0.5 มิลลิเมตร มีการทำงานอัตโนมัติควบคุมด้วย พี แอล ซี (PLC) การทดสอบประสิทธิภาพและวิเคราะห์จุดคุ้มทุนสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิที่ 250 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับการผลิตถาดพลาสติกชนิด พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 20 วินาที และมีระยะเวลาขึ้นรูป 275 วินาที รอบการทำงาน (Cycle Time) ทั้งหมดเท่ากับ 360 วินาที หรือ 6 นาที สามารถผลิตชิ้นงานถาดพลาสติกได้ 160 ชิ้น/วัน มีจุดคุ้มทุน (Break Even Point) โดยต้องผลิต 179.25 วัน หรือต้องผลิต 28,680 ชิ้น คิดที่ชั่วโมงการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน

คำสำคัญ: เครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน, ไรน้ำนางฟ้า, ถาดพลาสติก

Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal

Abstract

This study involved the design and construction of a thermal plastic molding machine for the production of frozen fairy shrimp trays in Khlong Saamprung community, Chum Saeng district, Nakhon Sawan province. The structure, made of steel, is 100 cm wide, 120 cm long, and 130 cm high. It uses 3-phase electric power, 380 volts, and 50 Hertz. There are 12 infrared heat plates to heat the plastic sheets up to 300 ℃. The mold can produce parts with a maximum width and length of 250 x 300 mm, and a maximum thickness of 0.5 mm with automatic PLC function control (PLC). After performance testing and break-even point analysis it can be concluded that a temperature of 250 degrees Celsius is the most suitable temperature for the production of the polyethylene terephthalate (PET) plastic trays with 20 seconds heating time and 275 seconds forming time. The cycle time is equal to 360 seconds or 6 minutes. The mold can produce 160 plastic trays per day. The break-even point is 179.25 days or 28,680 pieces, representing 8 hours of work per day.

Keywords: thermal plastic molding machine, fairy shrimp, plastic tray

1. บทนำ

ชุมชนคลองสำพรึง อำเภอชุมแสง เป็นชุมชนติดกับแม่น้ำและบึงบอระเพ็ดส่วนใหญ่ทำอาชีพเลี้ยงปลาน้ำจืด แหล่งใหญ่ของจังหวัดนครสวรรค์ นอกจากเลี้ยงปลาน้ำจืดเพื่อบริโภคแล้วยังเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลาน้ำจืดที่ส่งภายทั่วประเทศอีกด้วย ในกระบวนการเลี้ยงปลาในบ่อดินมักจะเกิดน้ำเสียจากการเลี้ยงปลาเกิดขึ้น ซึ่งน้ำเสียบางส่วนจะถูกปล่อยลงแหล่งน้ำธรรมชาติและพื้นที่ทำการเกษตรอื่น ดังนั้นกลุ่มชุมชนคลองสำพรึง ได้มีแนวคิดที่จะทำการเพาะเลี้ยงไรน้ำนางฟ้าในน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาเพื่อลดการปล่อยน้ำเสียไปยังแหล่งน้ำธรรมชาติ ประโยชน์ไรน้ำนางฟ้า (Fairy Shrimps) คือ ใช้เป็นอาหารสำหรับปลาเพื่อบริโภค และปลาสวยงาน (Koprasert, K., 2018) การเพาะเลี้ยงไรน้ำนางฟ้าทำได้ง่ายมีระยะเวลาการเพาะเลี้ยงสั้นประมาณ 20 - 30 วัน ต้นทุนการผลิตต่ำ ซึ่งเป็นข้อดีในการลดต้นทุนการเลี้ยงปลาของเกษตรกร และ ยังสามารถจำหน่ายให้กับกลุ่มผู้เลี้ยงปลาสวยงานได้อีก ปัจจุบันกลุ่มชุมชนคลองสำพรึง ได้ผลิตไรน้ำนางฟ้าจำหน่ายให้กับกลุ่มผู้เลี้ยงปลาสวยงานแต่เนื่องจากของไรน้ำมีอายุที่สั้น ประกอบกับเพื่อสะดวกต่อการจำหน่ายทำให้ต้องบรรจุใส่ถุงและทำการแช่แข็ง (freeze) เพื่อยืดอายุของผลิตภัณฑ์ ซึ่งปัจจุบันกลุ่มเพาะเลี้ยงไรน้ำนางฟ้า ชุมชนคลองสำพรึง ได้ใช้ถุงซิบบรรจุไรน้ำนางฟ้าและนำไปแช่แข็ง (freeze) โดยมีปริมาณถุงละ 30 กรัม เพื่อให้มีปริมาณเพียงพอต่อการเลี้ยงปลาสวยงามต่อครั้ง ถ้าเหลือจากการให้ปลาก็จะถูกทิ้ง

Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal

ทำให้กลุ่มผู้ผลิตคิดค้นภาชนะบรรจุไรน้ำนางฟ้าให้เหมาะสมกับปริมาณที่ใช้เลี้ยงปลาในแต่ละครั้ง ดังนั้นการทำถาดพลาสติกจึงเป็นทางเลือกในการบรรจุไรน้ำนางฟ้า และยังสามารถแช่แข็งเพื่อเก็บรักษาได้สะดวกมากกว่าภาชนะที่เป็นถุงอีกด้วย การสั่งขึ้นรูปถาดพลาสติกที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาณการใช้ จะต้องสั่งครั้งละมาก ๆ ในแต่รูปแบบของถาด ซึ่งทำให้กลุ่มชุมชนเพาะเลี้ยงไรน้ำนางฟ้าไม่สามารถแบกรับต้นทุนได้ ดังนั้น การออกแบบและสร้างเครื่องที่มีต้นทุนต่ำ และสามารถผลิตถาดที่มีความหลากหลายโดยมีแม่พิมพ์ราคาต่ำ จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกับชุมชนเพาะเลี้ยงไรน้ำนางฟ้า ของชุมชนคลองสำพรึง จังหวัดนครสวรรค์ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยการออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน

การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน เพื่อการผลิตถาดสำหรับบรรจุไรน้ำนางฟ้า และการจำหน่ายให้กับกลุ่มผู้เลี้ยงปลาสวยงามที่มีความต้องการใช้ต่อครั้งไม่มาก มีเป็นแนวทางของการออกแบบเครื่องที่มีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกันเครื่องที่ผลิตในภาคอุตสาหกรรมที่มีราคาแพง โดยการออกแบบจะมุ่งเน้นการใช้งานที่ง่าย ระบบการทำงานที่ไม่ซับซ้อน สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างต่อเนื่องและมีความยืดหยุ่นของกระบวนการอีกด้วย อีกทั้งสามารถขึ้นรูปกับแผ่นพลาสติกได้หลายชนิด โดยเฉพาะพลาสติกชนิดเหมาะการบรรจุอาหารและกันน้ำได้ เช่น พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) ซึ่งเป็นวัสดุสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์ถาดบรรจุไรน้ำนางฟ้านี้ด้วย

2. วัตถุประสงค์

2.1 ออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน

2.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพและกำลังการผลิตของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน

2.3 วิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน

3. วิธีการดำเนินการ

3.1 การออกแบบเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน

การออกแบบเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่การออกแบบ ขนาดของปั้มสุญญากาศ (Vacuum Pump) ขนาดและจำนวนฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater) และกระบอกลม (Pneumatic Air Cylinder) ที่ในระบบนิวแมติกส์ (Pneumatic System) การคำนวณหาอัตราการดูดอากาศของกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน จากสมการ (1)

$$S = A \times f \quad (1)$$

Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal

S = อัตราการดูด (m^2hr^{-1})

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อที่ดูดอากาศ (m^2)

f = ความเร็วเฉลี่ยรากที่สอง (Root Mean Square Speed หรือ V_{rms})

การคำนวณหาขนาดและจำนวนของ ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater) ที่ใช้กับเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนจากสมการความร้อน (2) และ (3)

$$Q = mc\Delta T \quad (2)$$

$$Q = \bar{h}A(T_w - T_\infty) \quad (3)$$

Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน

$\overline{h}$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

A = พื้นที่หน้าตัด

T_w = อุณหภูมิที่กระแสหลัก

T_∞ = อุณหภูมิที่ผิวหน้าวัสดุ

การคำนวณหาขนาดกระบอกลม (Pneumatic Air Cylinder) และแรงดันลมที่ใช้ในระบบของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนหาได้จากสมการ (4) เพื่อหาแรงดันลมที่ใช้

$$P = \frac{F}{A} \quad (4)$$

P = ความดัน(Pressure)

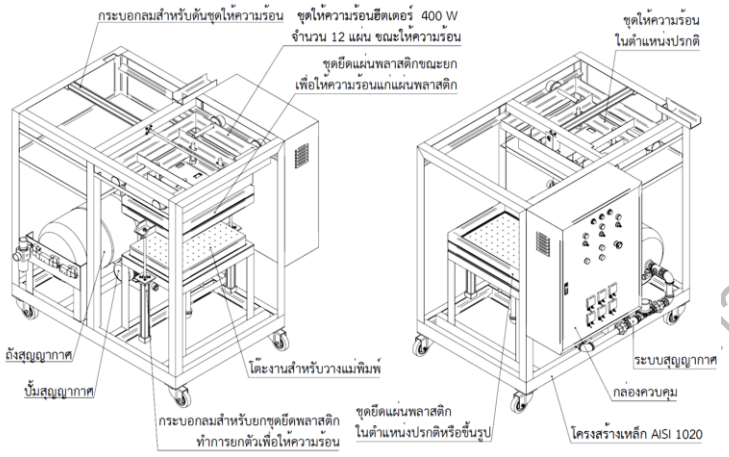
F = แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิว (Normal Force)

A = พื้นที่ (Area)

จากการคำนวณอัตราการดูด (Flow rate) โดยมีพื้นที่หน้าตัดท่อเท่ากับ 0.025 เมตร ได้อัตราการดูด 0.48 ลูกบาศเมตร/นาที และได้พิจารณาเลือกใช้เครื่องสุญญากาศชนิดโรตารี่ (Rotary Vacuum Pump) อัตราการดูด 0.5 ลูกบาศเมตร/นาที การคำนวณหาขนาดและจำนวนของ ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater) เพื่อให้ความร้อนพลาสติก พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) ขนาด 370 × 500 มิลลิเมตร หนา 0.25 มิลลิเมตร ฮีตเตอร์เท่ากับ 242 W และเลือกฮีตเตอร์อินฟาเรดแบบก้อนขนาด 120 × 120 มิลลิเมตร ค่าความร้อน 400 W จำนวน 12 แผ่น เวลาในการให้ความร้อน 20 วินาที และจากการคำนวณหาขนาดกระบอกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร แรงดันลมที่ใช้ในระบบ 7 บาร์

Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal

จากการคำนวณนำไปสู่ออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน ภาพที่ 1 แสดงแบบของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน มีส่วนประกอบได้แก่ ระบบความร้อน ประกอบด้วย ฮีตเตอร์อินฟราเรด 400 วัตต์ จำนวน 12 แผ่น ระบบสุญญากาศ ประกอบด้วย ปั๊มสุญญากาศ ถังสุญญากาศ ระบบวาล์ว โต๊ะงาน และแคมป์ยึดแผ่นพลาสติก เคลื่อนที่โดยกระบอกลม และกล่องควบคุมระบบไฟฟ้า 3 เฟส และระบบ พี แอล ซี (PLC) ควบคุมการทำงานของเครื่องขึ้นรูป แหล่งจ่ายลมในระบบใช้ปั๊มลมขนาดความจุ 20 ลิตร (Tiger TG-1)



ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนจากการออกแบบ

3.2 ขอบเขตเครื่องมือการสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน

กระบวนการสร้างและทดสอบเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนมีเครื่องมือในการสร้างโดยแบ่งออกเป็นโครงสร้างของเครื่อง ระบบควบคุมการทำงานของเครื่อง และวัสดุที่ใช้ทดสอบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

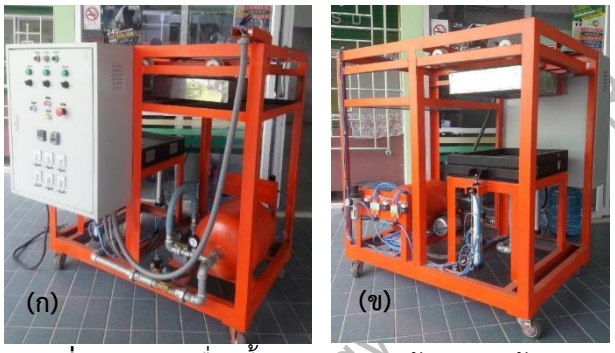
1) เครื่องมือสำหรับโครงสร้าง
   เครื่องตัดไฟเบอร์ขนาดใบตัด 14 นิ้ว
   เครื่องเชื่อมไฟฟ้า 300 แอมป์ 220/380 โวลต์
   เครื่องเจาะตั้งโต๊ะ
   หินเจียรมือ 4 นิ้ว
   เครื่องกัดแนวตั้ง
2) เครื่องมือสำหรับระบบควบคุม
   เครื่องมือวัดไฟ (Multimeter)
   คีมตัดและปลอกสายไฟ
   คอมพิวเตอร์

Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal

3) วัสดุทดสอบ

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) กว้าง 609.6 มิลลิเมตร ความหนา 0.25 มิลลิเมตร โดยมี ความหนาแน่น 1.38 g/cm^3 จุดหลอมเหลว 250°C จุดเดือด 350°C และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.15- 0.24 Wm^{-1}K^{-1} (Norkaew, P., 2012).

การสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน โครงสร้างทำจากเหล็กกล้า AISI 1020 ดังแสดงในภาพที่ 2(ก) แสดงด้านหน้าของเครื่องที่ประกอบด้วยถังสุญญากาศขนาด 20 ลิตร ระบบปั้มสุญญากาศ และตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องซึ่งควบคุมด้วยระบบ พี แอล ซี (PLC) ภาพที่ 2(ข) แสดงด้านหลังของเครื่องที่ประกอบไปด้วยชุดยกโต๊ะงานเพื่อให้ความร้อนด้วยกระบอกลมซึ่งทำงานด้วยระบบนิวเมติกส์ (Pneumatic) ส่วนระบบการให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกจะเคลื่อนที่แนวราบด้วยระบบนิวเมติกส์ เช่นกัน โดยเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนใช้กำลังไฟฟ้า 380 โวลต์ โดยใช้ปั้มลมขนาด 20 ลิตร กำลังไฟฟ้า 220 โวลต์ แยกออกจากตัวเครื่องขึ้นรูปพลาสติก (Vomgphantuset, J., 2013) (Surin, P., 2018)



ภาพที่ 2 แสดงเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน (ก) ด้านหน้าของเครื่อง (ข) ด้านหลังของเครื่อง

3.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน

การออกแบบการทำงานของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนเพื่อผลิตถาดสำหรับบรรจุไรน้ำนางฟ้า การออกแบบจะเป็นระบบกึ่งอัตโนมัติ มีหลักการสรุปเป็นแผนผังการทำงานของเครื่องในภาพที่ 3 และรายละเอียดของขั้นตอนดังต่อไปนี้

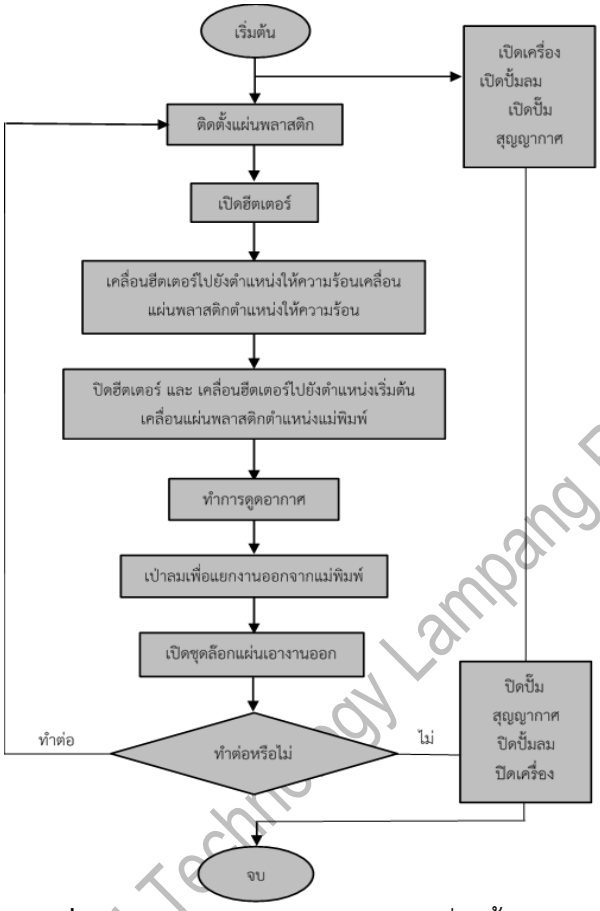
1) ขั้นตอนการเปิดเครื่อง เป็นขั้นตอนแรกของการทำงานโดยการเปิดเครื่อง เปิดปั้มลม และเปิดปั้มสุญญากาศตามลำดับ จากทั้งสามส่วนที่แยกการทำงาน เมื่อปั้มลม และปั้มสุญญากาศทำงานเสร็จจะหยุดอัตโนมัติ

2) ขั้นตอนการติดตั้งพลาสติก โดยตัดแผ่นพลาสติกตามขนาดที่ต้องการแล้วติดตั้งเข้ากับชุดยึดแผ่นพลาสติกทำการล๊อกแผ่นให้แน่เพื่อป้องกันการรั่วขณะทำการดูดอากาศ

Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal

3) ขั้นตอนการเปิดฮีตเตอร์อินฟราเรด เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ทำให้พลาสติกอ่อนตัว (ขึ้นอยู่แต่ละชนิดและความหนาของพลาสติก) เป็นกระบวนการที่ได้จากการทดลองของแต่ละชนิดและความหนาของพลาสติก

4) ขั้นตอนเคลื่อนฮีตเตอร์อินฟราเรดไปยังตำแหน่งให้ความร้อนและเคลื่อนแผ่นพลาสติกตำแหน่งให้ความร้อน โดยระบบนิวแมติกส์ที่ควบคุมผ่านระบบ พี แอล ซี (PLC) เป็นกระบวนการที่สามารถทำพร้อมกัน จากนั้นจะรอจนพลาสติกอ่อนตัวและสามารถขึ้นรูปได้



ภาพที่ 3 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน

5) ขั้นตอนเคลื่อนชุดฮีตเตอร์อินฟราเรดไปยังตำแหน่งเริ่มต้นและเคลื่อนแผ่นพลาสติกตำแหน่งแม่พิมพ์ โดยทั้งสามกระบวนการสามารถกระทำพร้อมกัน โดยระบบนิวแมติกส์ที่ควบคุมผ่านระบบ พี แอล ซี (PLC)

6) ขั้นตอนการดูดอากาศ เป็นขั้นตอนที่ต่อเนื่องจากขั้นตอนเคลื่อนแผ่นพลาสติกตำแหน่งแม่พิมพ์ ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำให้พลาสติกขึ้นรูปห่อหุ้มแม่พิมพ์

Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal

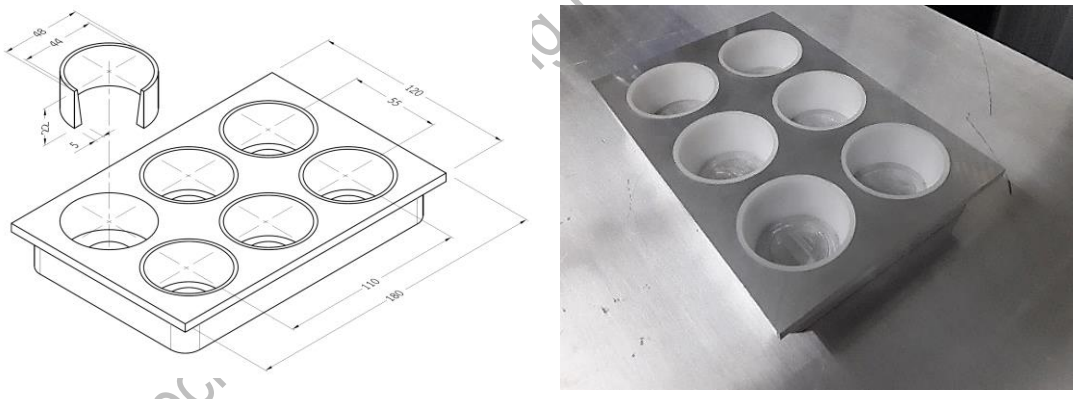
7) ขั้นตอนเป่าลมเพื่อแยกงานออกจากแม่พิมพ์ เป็นขั้นตอนที่จะเกิดขึ้นหลังจากแผ่นพลาสติกคงรูปแล้ว ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานแยกออกจากแม่พิมพ์

8) ขั้นตอนเปิดชุดล๊อกแผ่นเอางานออก โดยการเปิดชุดยึดแผ่นแล้วเอาชิ้นงานออก ถ้าต้องการทำงานต่อจะต้องนำแผ่นพลาสติกเข้ามาใส่เข้าไปเหมือนขั้นตอนในข้อ 2.

9) ขั้นตอนการปิดเครื่องซึ่งจะเป็นขั้นตอนสุดท้าย โดยเริ่มจากการปิดปั๊มสุญญากาศ ปิดปั้มลม และปิดเครื่องเป็นการบวนการสิ้นสุดการทำงานของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน (Vomgphantuset, J., 2013)

3.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน

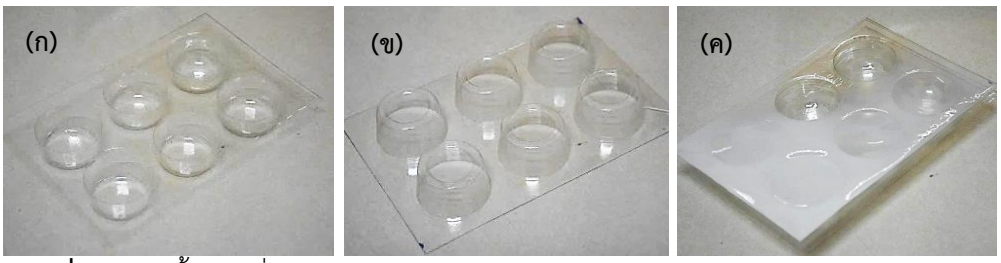
จากการทดสอบเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน การทดลองเพื่อหาอุณหภูมิที่และเวลาที่ให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกชนิด พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต โดยมีแม่พิมพ์สำหรับผลิตถาดหกหลุม แต่ละหลุมมีขนาดปากหลุมเส้นผ่าศูนย์กลาง 44 มิลลิเมตร ก้นหลุมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร และมีความสูง 22 มิลลิเมตร เพื่อบรรจุไรน้ำนางฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยผลการทดสอบมีผลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4 แสดงแม่พิมพ์สำหรับขึ้นพลาสติกแผ่นด้วยเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน

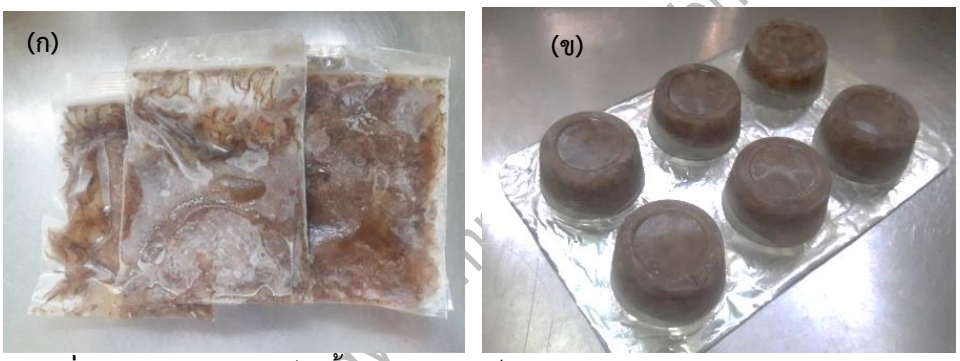
จากการทดสอบอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติก โดยกำหนดเวลาการทำงานให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 200 250 และ 300°C โดยมีช่วงเวลาการให้ความร้อน 10 และ 20 วินาที พบว่าการทดสอบที่ช่วงเวลา 10 วินาที ที่อุณหภูมิ 200 และ 250°C แผ่นพลาสติกอ่อนตัวน้อยทำให้ขึ้นรูปไม่เต็มแม่พิมพ์ ส่วนที่อุณหภูมิ 300 °C แผ่นพลาสติกนิ่มเมื่อขึ้นรูปทำให้เกิดรอยย่นที่ชิ้นงาน

Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal



ภาพที่ 5 แสดงชิ้นงานที่เวลาให้ความร้อน 20 วินาที (ก) 200°C (ข) 250°C และ (ค) 300°C

จากภาพที่ 5 แสดงผลของเวลาให้ความร้อนแผ่นพลาสติก 20 วินาที โดยการทดลองในช่วงอุณหภูมิ 200 250 และ 300 °C ในการทดลองที่ 5(ก) ที่อุณหภูมิที่ 200 °C พบว่าการไหลตัวของแผ่นพลาสติกไม่เต็มแม่พิมพ์ 5(ข) ทดลองอุณหภูมิ 250 °C แผ่นพลาสติกไหลเข้าแม่พิมพ์ได้ดีกว่าอุณหภูมิ 200 °C 5(ค) ทดลองอุณหภูมิ 300 °C พบว่าพลาสติกเกิดการเปลี่ยนสี เนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินไป จากการทดลองกำหนดการทดลองที่อุณหภูมิ 250 °C และเวลาให้ความร้อน 20 วินาที ซึ่งเป็นอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมกับแผ่นพลาสติกชนิด พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต ความหนา 0.25 มิลลิเมตร



ภาพที่ 6 แสดงผลิตภัณฑ์ไรน้ำนางฟ้าแช่แข็ง (ก) บรรจุภัณฑ์แบบเดิม (ข) บรรจุภัณฑ์ใหม่ที่ผลิตจากเครื่องขึ้นรูปพลาสติก

จากภาพที่ 6 แสดงผลิตภัณฑ์ไรน้ำนางฟ้าแช่แข็ง จากภาพที่ 6(ก) แสดงบรรจุภัณฑ์แบบเดิมที่ใช้ถุงซิบบรรจุในปริมาณ 30 กรัมต่อซอง ส่วนภาพที่ 6(ข) แสดงบรรจุภัณฑ์แบบมีลักษณะเป็นถาดที่ผลิตจากเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน ทำการปิดด้วยแผ่นอะลูมิเนียมเพื่อป้องกันน้ำรั่ว แต่ละหลุมจะบรรจุไรน้ำนางฟ้า 20 กรัม

การทดสอบเพื่อวิเคราะห์เวลาต่อรอบการทำงาน (Cycle time) พิจารณาจากการทำงานในแต่ละขั้นตอนเพื่อหาเวลาต่อรอบการทำงาน การทดสอบการทำงานโดยมีผลการทดสอบดังตารางดังต่อไปนี้

Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal

ตารางที่ 2 แสดงเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน

ครั้งที่	ยึดแผ่นเข้ากับแคล้มจับ	ให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติก	เคลื่อนที่ไปยังแม่พิมพ์	ดูดอากาศออกจากแม่พิมพ์	เอาชิ้นงานออก	เวลารวม (s)
1	32.23	20	5	275	27.56	359.79
2	28.44	20	5	275	28.12	356.56
3	28.37	20	5	275	27.49	355.86
เฉลี่ย	29.68	20	5	275	27.72	357.40
SD	2.21	0	0	0	0.35	2.55

จากตารางที่ 2 แสดงเวลาของขั้นตอนการทำงานของเครื่อง โดยการให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติก การเคลื่อนที่ไปยังแม่พิมพ์ และการขึ้นรูปด้วยดูดอากาศออกจากแม่พิมพ์ เป็นค่าคงที่เนื่องจากเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองและการทำงานถูกควบคุมจากระบบอัตโนมัติโดยโปรแกรม พี แอล ซี (PLC) โดยมีระยะเวลาการทำงานทำงหมด 300 วินาที ซึ่งเมื่อนำมารวมกับเวลายึดแผ่นเข้ากับแคล้มจับ และเอาชิ้นงานออกจากแคล้มจับ จากการทำงานด้วยแรงงานคน และทำการปรับค่าเป็นขั้นตอนละ 30 วินาที ซึ่งทำให้เวลาในการทำงานต่อรอบ เท่ากับ 360 วินาที หรือ 6 นาที

3.5 วิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน โดยสมการที่ 8 ได้ทำการคำนวณต้นทุนสำหรับการผลิตถาดเพื่อบรรจุน้ำนางฟ้า มีขนาดกว้าง 135 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร สูง 26 มิลลิเมตร โดยการหาต้นทุนการผลิตต่อวัน ได้แก่ ต้นทุนค่าไฟ ต้นทุนค่าวัสดุ และต้นทุนค่าแรงงานการผลิต โดยอัตราการผลิตต่อวันได้จากการทดลองข้างต้น ผลของการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนในสมการที่ (5) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

$$N = \frac{F}{P-V} \tag{5}$$

1) ต้นทุนในการผลิตเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน โดยต้นทุนการผลิตเครื่องคิดออกเป็นสองส่วนได้แก่ ต้นทุนค่าวัสดุ และต้นทุนในการออกแบบและผลิตที่ได้จากการประมาณการโดยคุณสมบัติของเครื่องนี้มีรอบของการผลิต เท่ากับ 6 นาที

1.1) ต้นทุนค่าวัสดุทั้งหมดในการผลิต = 47,300 บาท

1.2) ต้นทุนค่าออกแบบและผลิตเครื่องจักร = 30,000 บาท

2) การคำนวนต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้า

2.1) ชุดให้พลังงานความร้อนใช้กำลังไฟฟ้า = 36.96 กิโลวัตต์ชั่วโมง

Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal

2.2) มอเตอร์เครื่องทำสุญญากาศใช้กำลังไฟฟ้า = 9.152 กิโลวัตต์ชั่วโมง

2.3) มอเตอร์ปั๊มลมใช้กำลังไฟฟ้า = 10.208 กิโลวัตต์ชั่วโมง

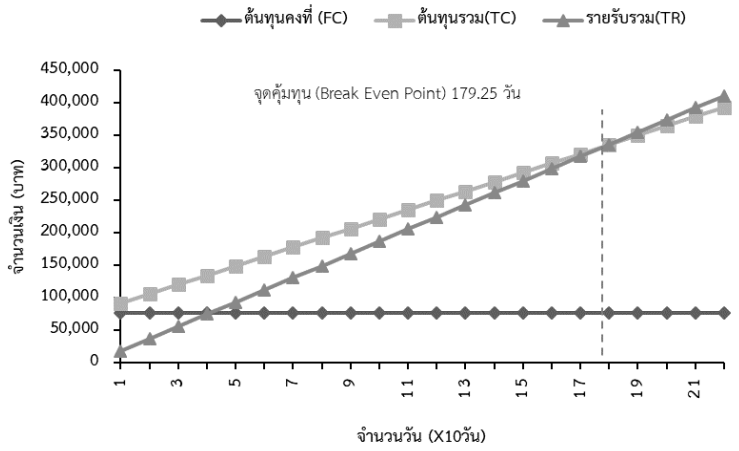
ดังนั้น การผลิต 1 วัน ใช้กำลังไฟฟ้ารวม = 56.31 กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยมีค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.6 บาท

ราคาต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าใน 1 วัน = 202.72 บาท

3) ต้นทุนวัตถุดิบแผ่นพลาสติก วัตถุดิบที่ใช่ผลิตถาดบรรจุไรน้ำนางฟ้า คือพอลิเอทิลีนทาเลต หน้ากว้าง 609.6 มิลลิเมตร ความหนา 0.25 มิลลิเมตร ราคาซื้อ 27.34 บาท/เมตร (ชนิดแบ่งขาย) ขนาดที่ใช้เครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนต่อครั้ง 420 x 609.6 มิลลิเมตร ราคาแผ่น 11.5 บาท/แผ่น โดยหนึ่งแผ่นสามารถทำได้ 2 ชิ้น

4) ต้นทุนค่าแรงงาน ในการผลิตถาดสำหรับบรรจุไรน้ำนางฟ้า ต้นทุนค่าแรงโดยอ้างอิงค่าแรงขั้นต่ำของกระทรวงแรงงาน เป็นตามประกาศคณะกรรมการค่าจ้าง เรื่อง อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ (ฉบับที่ 9) ซึ่งได้ประกาศให้มีผลใช้บังคับ ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2561 เท่ากับ 315 บาทต่อวัน

5) ราคาจำหน่ายถาดบรรจุไรน้ำนางฟ้า การพิจารณาราคาขายถาดบรรจุไรน้ำนางฟ้า จะทำการพิจารณาโดยการคำนวนต้นทุนต่อชิ้นและบวกผลกำไรร้อยละ 30 จากราคาต้นทุน ดังนั้นถาดพลาสติกจะมีราคาขายอยู่ที่ 13.5 บาท/ชิ้น



ภาพที่ 6 กราฟแสดงจุดคุ้มทุน (Break Even Point) ของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน

จากกราฟในภาพที่ 6 แสดงถึงจุดคุ้มทุน (Break Even Point) ของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน ในอัตราการผลิตที่ 160 ชิ้นต่อวัน เครื่องจักรจะต้องทำงานทั้งสิ้น 179.25 วัน หรือต้องผลิต 28,680 ชิ้น (Yaemphuan, P., 2013) (Norkaew, P., 2012)

Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน มีขนาดของตัวเครื่อง กว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร และความสูง 130 เซนติเมตร ใช้กับไฟฟ้า 3 เฟส แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ระบบให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกจากฮีตเตอร์อินฟราเรดจำนวณ 12 แผ่น ความร้อนสูงสุด 300 °C ความสามารถผลิตชิ้นงานที่มีความกว้างและความยาวสูงสุด 250 x 300 มิลลิเมตร และมีความหนาสูงสุด 0.5 มิลลิเมตร มีระบบควบคุมการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติแบ่งการควบคุมเป็นสามช่วงการทำงานได้แก่ ขั้นตอนแรกการติดตั้งแผ่นพลาสติกพร้อมจับยึดโดยผู้คุมเครื่อง ขั้นตอนการให้ความร้อนและการขึ้นรูปจะเป็นระบบอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานจาก พี แอล ซี (PLC) ขั้นตอนเอาชิ้นงานออกจากชุดจับยึดแผ่นโดยผู้คุมเครื่อง เป็นขั้นตอนสุดท้ายของรอบการทำงานของเครื่อง

จากการทดสอบประสิทธิภาพและกำลังการผลิตของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่ 250 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับการผลิตถาดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 20 วินาที และมีระยะเวลาขึ้นรูป 275 วินาที โดยมีทำงานต่อรอบเท่ากับ 360 วินาที หรือ 6 นาที สามารถผลิตชิ้นงานถาดพลาสติกได้ 160 ชิ้น/วัน จากการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน โดยต้องทำการผลิตถาดหลุมชนิดเดียวกันเป็นเวลา 179.25 วัน หรือจำนวนชิ้นงานที่ผลิตไม่ต่ำกว่า 28,680 ชิ้น โดยทั้งหมดคิดเป็นชั่วโมงการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน จากการวิเคราะห์หลักการทำงานของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนนั้นมีขั้นตอนการทำงานที่ง่ายสะดวกเหมาะแก่คนที่มีทักษะการทำงานไม่มากนัก โดยมีหลักการทำงานคล้ายกับงานวิจัยของจิรวัตน์ วงศ์พันธุเศรษฐ์ (Vomgphantuset, V., 2013) แต่มีความแตกต่างในเรียงรูปแบบของเครื่องและขนาดชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่กว่า

5. สรุปผลการวิจัย

จากการใช้งานเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนพบว่าการก่อนการทำงานจะต้องใช้เวลาในการเตรียมแผ่นพลาสติกโดยการเตรียมแผ่นจะทำการตัดให้ได้ขนาดกับชุดจับยึดทำให้เพิ่มเวลาการผลิต และทำให้การผลิตไม่ต่อเนื่องดั้งนั้นต้องศึกษาระบบป้อนแผ่นแบบอัตโนมัติ เพื่อลดเวลาการเตรียมแผ่นวัตถุดิบ นอกจากนี้ระบบให้ความร้อนที่มีระยะห่างจากแผ่นพลาสติกเป็นปัญหาหนึ่งในการให้ความร้อน ทำให้ใช้เวลาให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกนานเกินความจำเป็นโดยต้องปรับแก้ในขั้นการพัฒนาต่อไป

Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์การทำงานวิจัยจากคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมจาก และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

7. เอกสารอ้างอิง

Koprasert, K. (2018). The development of replication export company by participation model for ornamental fish farmers in Thailand. **Veridian E-Journal, Silpakorn University,** Vol.11(2), 156-169. (in Thai)

Norkaew, P. (2012). The development of hot mounting using recycled plastic yoghurt bottles. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**, Vol.5(1), 27-33. (in Thai)

Peter W. Klein. (2009). Fundamentals of Plastics Thermoforming. **Synthesis Lectures on Materials Engineering.** Vol.1(1), 1-97.

Surin, P. (2018). Design and Construction of Cowboy Hat Drill Part Machine: A Case Study of Cowboy Hat Production Group. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**, Vol.11(1), 23-34. (in Thai)

Vomgphantuse, J. (2013). The design and development of the vacuum forming model products one building and for the demonstration. **Art and Architecture Journal Naresuan University,** Vol.4(1), 19-39. (in Thai)

Yaemphuan, P. (2013). **Engineering Economy.** Bangkok: SE-ED Public Company Limited. (in Thai)

Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal