การออกแบบพัฒนาเครื่องขึ้นรูปพลาสติกระบบสุญญากาศ เพื่อใช้สาธิตและการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์

จิรวัตน์ วงศ์พันธุเศรษฐ์ [1] รัฐไท พรเจริญ [2*] จิตรนภา รุจิระชาติกุล [3]

The design and development of the vacuum forming model products one building and for the demonstration

Jirawat Vomgphantuset[1] Ratthai Porncharoen[2*] Jitnapa Rujirachajun[3]

[1-2]อาจารย์ประจำภาควิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะมัณฑนศิลป์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดกรุงเทพมหานคร

[3] นักวิชาการศึกษาชำนาญการ หน่วยวิจัยทางการศึกษา สำนักเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดกรุงเทพมหานคร

[1-2]Lecturer, Faculty of Decorative Art and Design, Silpakorn University, Bangkok

[3] Educatiion Professional Education media Research Unit Office of Educttional Technology Sukhothai Thammathirat Open University, Bangkok

* Corresponding author E-mail address:ratthai6654@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นงานที่เกิดขึ้นมาจากการพบปัญหาของเครื่องขึ้นรูปแผ่นพลาสติกของทางภาควิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ใช้ได้กับแผ่นพลาสติกที่มีขนาดใหญ่ แต่จะมีปัญหากับนักศึกษาที่ต้องการขึ้นรูปกับชิ้นงานขนาดเล็ก ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองในเรื่องวัสดุรวมถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้เกิดงานวิจัยนี้ขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหา โดยมีเป้าหมายของการทำงานคือ เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องขึ้นรูปแผ่นพลาสติกระบบสุญญากาศที่เหมาะสมกับการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ โดยสามารถปรับขนาดวัสดุให้เล็กลงตามขนาดของชิ้นงานได้รวมทั้งสร้างความสะดวกต่อการใช้งานและการเคลื่อนย้ายได้โดยลำพัง อีกทั้งใช้ระบบการควบคุมกึ่งอัตโนมัติเพื่อการเรียนรู้รวมทั้งทำการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการขึ้นรูปของแผ่นพลาสติกในชนิดต่าง ๆ ในเรื่องขนาดและความหนาที่ต่างกัน ผลการวิจัยพบว่า เครื่องขึ้นรูปแผ่นพลาสติกที่สร้างขึ้น สามารถตอบสนองต่อการใช้งานแบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อการเรียนรู้ ที่มีการใช้งานที่สะดวกสบายขึ้น โดยผ่านการยอมรับจากผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทางผลิตภัณฑ์ 3 ท่านรับรองผล ผลการออกแบบสามารถที่จะนำแผ่นพลาสติกมาใช้กับเครื่องนี้ได้ 8 ขนาด รวมทั้งผ่านการทดสอบการขึ้นรูปแผ่นพลาสติกกับพิมพ์แม่แบบรูปทรงเหลี่ยม ที่เพิ่มชั้นระดับความสูงขึ้นทีละ 4.5 ซม. และเครื่องสามารถรองรับความสูงได้ถึง 35 ซม. โดยทำการทดสอบความร้อนที่ใช้แท่งฮีตเตอร์ที่ 2,000 วัตต์ กับแผ่นพลาสติกขนาดเล็กที่ กว้าง x ยาว เท่ากับ 22 x 22 ซม. และฮีตเตอร์ความร้อนที่ 4,000 วัตต์ กับแผ่นพลาสติกขนาดกลาง 32 x 32 ซม. รวมทั้งฮีตเตอร์ความร้อนที่ 6,000 วัตต์ กับแผ่นพลาสติกขนาดใหญ่ 32 x 41 ซม. ที่เป็นตัวแทน โดยการขึ้นรูปได้นำพลาสติกแผ่นพีวีซี ขนาดความหนาที่ 0.6 , 1.0 , 2.0 และ 3.0 มม. และแผ่นพลาสติก เอบีเอส ความหนาที่ 1.0 , 2.0 และ 3.0 มม. รวมทั้งพลาสติกอะคริลิค ที่ความหนา 1.0, 2.0 และ 3.0 มม. มาทำการทดสอบ ผลการทดสอบได้บันทึกค่าการขึ้นรูปของพลาสติกทั้งหมดไว้ โดยแผ่นพลาสติกที่มีประสิทธิภาพในการขึ้นรูปสูงสุด ที่ความร้อนฮีตเตอร์ 2,000 วัตต์ ใช้อุณหภูมิที่ 60 °c ได้พลาสติกแผ่นพีวีซีกับความหนาที่ 0.6 มม. สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ กว้าง x ยาว x สูง ที่ 7.5 x 9 x 9 ซม. และที่ 4,000 วัตต์ ใช้อุณหภูมิที่ 46 °c ได้พลาสติกพีวีซี ที่ความหนา 1.0 มม. ได้ชิ้นงานขนาด 17 x 17.5 x 9 ซม. รวมทั้งที่ 6,000 วัตต์ ใช้อุณหภูมิที่ 47 °c ได้พลาสติกพีวีซี ที่ความหนา 1.0 มม. โดยได้ชิ้นงานขนาด 17 x 27.5 x 18 ซม. ส่วนในภาพรวมกับพลาสติกที่หนา 3 มม. ทั้ง 3 ชนิด ผลการทดสอบไม่สามารถขึ้นรูปได้เต็มแบบแม่พิมพ์ แต่ถ้าจะนำมาใช้งานจริงควรมีอุปกรณ์ช่วยในการกดรอบพิมพ์ซึ่งต้องทำ

ในช่วงของการดูดขึ้นรูปด้วย สรุปผลการวิจัย เครื่องต้นแบบที่สร้างนี้ สามารถนำมาใช้ในภาควิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ที่จะช่วยให้นักศึกษาที่เรียนด้านการออกแบบสามารถทำการออกแบบให้เกิดชิ้นงานใหม่ ๆ ขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการสร้างงานในการพัฒนาการศึกษาต่อไป

คำสำคัญ : เครื่องขึ้นรูปแผ่นพลาสติก เครื่องขึ้นรูปพลาสติกสุญญากาศ

Abstract

This research derived from a problem found through a process of vacuum forming with oversize plastic sheet, where students from the Department of Industrial Design tended to utilize a smaller piece instead of a size assigned to the existing large production machine. This practice then leads to material waste and inefficient use of energy of these repeated small productions. Thus, these continuous misuses have generated inquiries for this research with objectives to- study and design a manageable semi-automated system of a vacuum machine that also accounted to portability, easy accessibility to adjust and compensate each design to any particular needs intended for the type of plastic use, the model's size and volume, as well as thickness variation of the plastic. As a result, the designed vacuum forming machine pertain the semi-automated system and met the intended objectives that were acceptable by three specialists in industrial design. The new machine was able to accommodate up to 8 different sizes of plastic sheet, which now supported the rectangular shape with adjustable step increment of 4.5 cm. and with maximum height of 35cm. It was also tested with an installment of a heating rod at 2,000 watts with the use of small plastic sheet (22x22cm.), then increased to 4,000 watts with a medium sheet size (32x32cm.), and finally with a heating rod of 6,000 watts with large sheet of plastic (32x41cm.); to which apply with the selective thickness of PVC of 0.6, 1.0, 2.0, and 3.0 mm. (increased with sheet size and watts), with ABS sheet of 1.0, 2.0, and 3.0 mm, as well as with acrylic of 1.0, 2.0, and 3.0mm. thickness. The three tests yielded the highest quality in the following combinations: at 2,000 watts at temperature of 60 °c degrees Celsius with PVC 0.6 mm., which resulted with model area of 7.5W x9L x9H cm., at 4,000 watts at temperature of 46 °c with PVC 1.0 mm., which resulted with model area of 17W x17.5L x 9H cm., and at 6,000 watts at temperature of 47 °c with PVC 1.0 mm., which resulted with model area of 17W x27.5L x18H cm. As for an overall result, all three plastictypes with thickness of 3.0mm were unable to form into the shape of a mould, but would required an additional press to lock plastic the piece in place during the vacuuming process. The final design of this new vacuum-forming machine is valid and can be use within the Department of Industrial Design to assist students in producing new design idea, which certainly will also continue to benefit their educational development processes.

Keywords : plastic forming machine, plastic vacuum forming machine.

บทนำ

ปัจจุบันพลาสติกเข้ามามีบทบาทที่สำคัญอย่างมากต่อชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นการอุปโภคและบริโภค โดยสินค้าที่มีขายอยู่ในท้องตลาดแทบทั้งหมดจะมีพลาสติกเป็นส่วนประกอบรวมอยู่ด้วย ซึ่งกระบวนการในการนำพลาสติกมาใช้นั้นมีอยู่หลายวิธีการในการผลิตด้วยกัน แต่วิธีการของงานวิจัยนี้จะเป็นการนำแผ่นพลาสติกสำเร็จรูปมาแปรเปลี่ยนสภาพ โดยใช้ความร้อนให้อ่อนตัวแล้วนำมาผ่านกระบวนการดูดขึ้นรูป ซึ่งจะได้รูปทรงใหม่เกิดขึ้นไปตามแม่แบบที่เตรียมไว้ (Baird, 1971,pp : 155-172) ปัจจุบันมีการสร้างเครื่องประเภทนี้ผลิตออกมาขายอยู่หลายรุ่นด้วยกัน ซึ่งจะเหมาะกับการนำมาใช้ในการผลิตสินค้าทางภาคอุตสาหกรรมมากกว่าใช้ทางการศึกษา เพราะจะต้องใช้แผ่นพลาสติกขนาดใหญ่ที่ต้องการผลิตจำนวนมากและเหมือนกันอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนพลังงานไฟฟ้า ทำให้ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานกับการทดลองทดสอบ ที่ต้องการออกแบบและสร้างไปทีละชิ้นงาน เพื่อที่จะศึกษาข้อดีและข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น

จากเหตุดังกล่าว ผู้วิจัยมองเห็นถึงการสูญเสียในการนำเครื่องขึ้นรูปแผ่นพลาสติก ที่มีใช้ในภาคอุตสาหกรรมมาใช้กับการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ของนักศึกษา ที่เรียนด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ ของมหาวิทยาลัยศิลปากร โดยการแก้ปัญหาส่วนใหญ่ที่ใช้กันอยู่ นักศึกษาจะทำการขึ้นรูปไปพร้อมกันทีละหลายชิ้น บางครั้งเกิดความสูญเสียขึ้น เพราะชิ้นงานมีขนาดสัดส่วนต่างกันจะเกิดการหดตัวและการดึงตัวของแผ่นพลาสติกที่สูงต่ำลงสู่แม่แบบชิ้นงานไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นในบางครั้ง อีกทั้งทางภาควิชายังมีเครื่องขึ้นรูปแผ่นพลาสติกขนาดเล็กอีกเครื่อง แต่จะมีประสิทธิภาพในการดูดขึ้นรูปชิ้นงานที่ต่ำกว่า คือไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่สูงได้ ดังนั้นนักศึกษาจึงไม่นิยมนำเครื่องตัวนี้มาใช้

จากข้อมูลที่กล่าวมา ทีมผู้วิจัยมองเห็นปัญหาที่ควรจะต้องแก้ไขคือ การออกแบบเครื่องขึ้นรูปแผ่นพลาสติกระบบสุญญากาศนี้ ให้มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้กับการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์จริง ๆ โดยสามารถออกแบบใหม่ให้เครื่องสามารถลดขนาดของวัสดุให้เหมาะสมกับขนาดของชิ้นงาน เพื่อให้เกิดการประหยัดวัสดุรวมถึงการลดพลังงานไฟฟ้าลง ซึ่งจะเป็นประโยชน์โดยตรงกับการสร้างงานออกแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ ส่งผลให้นักศึกษาได้ปฏิบัติงานจริงกันมากขึ้น เพราะจะลดต้นทุนให้ถูกลง อีกทั้งผู้วิจัยจะทำการออกแบบให้เครื่องตัวนี้สามารถเคลื่อนย้ายไปบนพื้นที่ราบได้สะดวกสบายขึ้น เพื่อที่จะนำไปใช้สาธิตนอกสถานที่ได้ รวมทั้งจะเกิดประโยชน์ทางอ้อมที่ผู้วิจัยคาดหวังไว้ คือ อาจจะมีการนำแนวคิดของเครื่องต้นแบบนี้ไปสร้างเชิงพาณิชย์ ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการสร้างธุรกิจ รับจ้างออกแบบของนักออกแบบรายใหม่ เพราะเครื่องตัวนี้เป็นต้นแบบที่ผ่านการทดลองทดสอบมาแล้ว จะทำให้เครื่องที่สร้างตามออกมานั้นมีราคาที่ถูกลง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศได้แนวทางหนึ่ง สามารถที่จะนำไปสู่การสร้างงานพื้นฐานทางการออกแบบรวมไปถึงการพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน

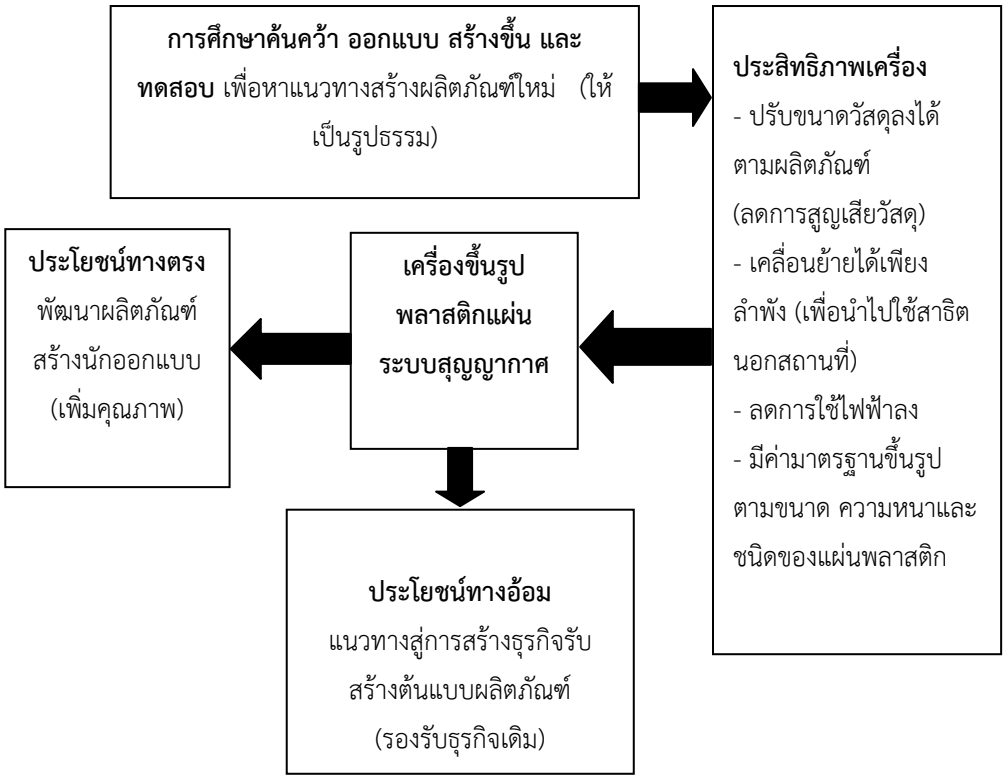
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องขึ้นรูปพลาสติกระบบสุญญากาศที่เหมาะสมกับการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ โดยสามารถปรับขนาดวัสดุให้เล็กลงตามขนาดของชิ้นงานได้รวมทั้งสร้างความสะดวกต่อการใช้งานและการเคลื่อนย้ายได้โดยลำพัง

2. เพื่อสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกระบบสุญญากาศระบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อการเรียนรู้

3. เพื่อนำเครื่องมาทำการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการขึ้นรูปของแผ่นพลาสติกในขนาด ความหนาของพลาสติกชนิดต่าง ๆ กัน

แนวคิดแผนงานที่ใช้ในการวิจัย



ภาพ 1 แสดงกรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์

1. สามารถลดขนาดการใช้ของแผ่นพลาสติกลงไปตามชิ้นงานแม่แบบได้
2. สามารถลดการใช้วัสดุรวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง โดยสามารถเลือกใช้แผ่นพลาสติกไปตามกรอบจับยึดชิ้นงานแผ่นพลาสติกได้ถึง 8 ขนาด
3. สามารถทำการเคลื่อนย้ายเครื่องไปในที่ราบได้โดยลำพัง
4. ใช้ระบบควบคุมกึ่งอัตโนมัติที่สร้างความปลอดภัยในการใช้งานที่ควบคุมได้ด้วยตัวเอง
5. สร้างระบบการเรียนรู้เพิ่มเติมได้เอง จากการมองเห็นและการสัมผัสได้โดยตรงกับตัวเนื้อวัสดุในช่วงของการทดสอบทุกขั้นตอน
6. ได้ค่ามาตรฐานของการทดสอบ ที่สามารถนำมาใช้ในการตั้งอุณหภูมิให้เหมาะสมกับแผ่นพลาสติกในการทำงานจริงเพื่อลดการสูญเสียที่จะเกิดขึ้น

ประโยชน์เชิงนโยบาย (ที่ได้ทำในงานวิจัย)

1. ได้เครื่องต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ภาควิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ (ที่วังท่าพระ)
2. สามารถนำมาทำการพัฒนางานออกแบบผลิตภัณฑ์ให้นักศึกษาที่เรียนในภาควิชาออกแบบผลิตภัณฑ์มีคุณภาพมากขึ้น (สามารถที่จะใช้วัสดุที่เล็กลงทำให้ปฏิบัติได้มากขึ้น)
3. ได้ผลงานจัดแสดงงานนิทรรศการร่วมกับคณาจารย์คณะมัณฑนศิลป์
4. ได้เผยแพร่ผลงานวิจัยลงวารสารวิชาการในระดับประเทศ
5. ได้นำจดสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการทำงานอยู่ 3 ส่วนคือ การศึกษาข้อมูล การออกแบบและสร้างชิ้นงานต้นแบบรวมทั้งการทดสอบ โดยจะทำงานไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ สามารถจำแนกออกหลัก ๆ ได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษา

1.1 ศึกษาข้อมูลทางทุติยภูมิในเรื่อง หลักการทำงานของเครื่องและองค์ประกอบของอุปกรณ์ที่ต้องนำมาใช้ในการสร้างเครื่อง

1.2 ศึกษาข้อมูลทางปฐมภูมิในเรื่อง สภาพปัญหาและความต้องการของนักศึกษาในภาควิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะมัณฑนศิลป์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีทั้งหมด 4 ชั้นปีและนักศึกษาในระดับปริญญาโททั้งหมด รวมทั้งสิ้นจำนวน 166 คน

1.3 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างแนวทางการออกแบบ (ตามกรอบแนวคิดที่วางไว้)

2. ทำการออกแบบและคัดเลือกแบบโดยทีมงานของผู้วิจัยและผ่านที่ปรึกษางานวิจัย จากนั้นนำมาทำการสร้างเครื่องทดสอบต้นแบบนี้ขึ้น จำนวน 1 เครื่อง

3. ทำการทดสอบการขึ้นรูปของแผ่นพลาสติกในขนาดและความหนาของพลาสติกชนิดต่าง ๆ ในการขึ้นรูป 3 มิติ โดยทดสอบกับแม่พิมพ์ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงเหลี่ยมลบมุมมนเฉพาะพื้นผิวส่วนบน 2 มม. สามารถปรับเติมความกว้าง ยาวและเพิ่มระดับชั้นความสูงขึ้นไปได้ชั้นละ 4.5 ซม. เป็นเกณฑ์

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนดำเนินงานที่สอดคล้องไปตามวัตถุประสงค์ สามารถจำแนกออกได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษา

1.1 ทำการศึกษาข้อมูลทางทุติยภูมิในเรื่อง หลักการทำงานของเครื่องรวมทั้งอุปกรณ์ที่ต้องนำมาใช้ในการสร้างเครื่อง โดยศึกษาจากเอกสาร ตำรา งานวิจัยต่าง ๆ รวมทั้งการสืบค้นทางอินเตอร์เน็ต ควบคู่ไปกับศึกษาระบบของเครื่องที่มีใช้อยู่ในภาควิชาออกแบบผลิตภัณฑ์

1.2 ทำการศึกษาข้อมูลทางปฐมภูมิในเรื่อง สภาพปัญหาและความต้องการของนักศึกษาในภาควิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะมัณฑนศิลป์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในด้านปัญหาที่พบจากการทำงาน ด้านความต้องการที่อยากให้ปรับปรุง รวมทั้งวัสดุแผ่นพลาสติกที่นำมาใช้ ในชนิดต่าง ๆ กับขนาดและความหนา รวมทั้งศึกษาสัดส่วนทางด้านร่างกายมนุษย์เพื่อใช้ในการควบคุมเครื่อง

1.3 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างแนวทางการออกแบบ (ตามกรอบแนวคิดที่วางไว้) นำข้อมูลจากปฐมภูมิและทุติยภูมิมาทำการวิเคราะห์ร่วม โดยเกณฑ์ของปัจจัยปฐมภูมิจะใช้ในการวิเคราะห์สรุปเลือกวัสดุที่นำมาใช้ตามความต้องการ รวมทั้งนำมาทำการกำหนดสัดส่วนความสูงของเครื่องและระยะของการควบคุมใช้งาน ส่วนปัจจัยทางทุติยภูมิจะนำมาใช้ในการสรุปเลือกอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการสร้างเครื่อง รวมทั้งการจัดวางระบบตำแหน่งภายในของเครื่อง เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานที่สะดวกสบายรวมทั้งปลอดภัยขึ้น ซึ่งจะได้ข้อสรุปของวัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาใช้

2. ทำการออกแบบและสร้างชิ้นงานต้นแบบ โดยมีการแบ่งขั้นตอนการทำงานหลักไว้ 3 ส่วน ดังนี้

2.1การจัดวางโครงสร้างระบบภายในโดยการเขียนเข้าสัดส่วนชิ้นงานอุปกรณ์หลักทั้งหมดที่เป็นส่วนสำคัญประกอบด้วย ถังเก็บลม ถังจ่ายลม ตัวปั๊มอัดลม ตัวปั๊มดูดลม กระบอกลม - นิวเมติกส์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนแผ่นวางชิ้นงาน และแผงเลื่อนฮีตเตอร์ความร้อน รวมทั้งชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบต่าง ๆ ในชิ้นงานหลัก โดยเทียบกับสัดส่วนมนุษย์และการควบคุมการใช้งาน ทำออกแบบจัดวางระบบต่าง ๆ และปรับตำแหน่งระบบภายในโดยใช้คอมพิวเตอร์ 3 มิติเข้ามาช่วยคำนวณส่วนนี้ จากนั้นทำการคัดเลือกแบบที่ลงตัวที่สุด โดยทีมงานของผู้วิจัยและนักวิจัยที่ปรึกษา

2.2 ทำการออกแบบภายนอกต่อ เพื่อให้เกิดความสวยงามขึ้น โดยยึดเกณฑ์ ที่จะต้องทำการห่อหุ้มระบบภายในให้มีขนาดเล็กกะทัดรัดที่สุด เพื่อที่จะทำให้ผู้ใช้งานได้สะดวกสบายต่อการใช้งานและการขนย้ายให้มากที่สุด โดยทำการตัดสินใจสรุปเลือกแบบจากทีมงานและนักวิจัยที่ปรึกษา

2.3 ทำการสร้างชิ้นงานต้นแบบ โดยเริ่มจากการจัดวางโครงสร้างเสาและคานเหล็กขึ้นก่อน จากนั้นทำการจัดวางระบบภายในยึดติดอุปกรณ์ในตำแหน่งต่าง ๆ ให้ครบ จากนั้นทำการทดสอบระบบการทำงานของเครื่อง ทำการปรับแก้ไขระบบการทำงานให้สมบูรณ์ และทำการตกแต่งภายนอก เพื่อสร้างความสวยงามของตัวเครื่องด้วยการขึ้นรูปพลาสติกจากไฟเบอร์กล๊าส

3. ทำการทดสอบการขึ้นรูปของแผ่นพลาสติก โดยเริ่มทดสอบกับแผ่นพลาสติกที่มีขนาดบางสุดขึ้นก่อน (0.6 มม.) กับชิ้นงานเฟรมที่มีขนาดใหญ่สุดของเครื่อง 32 x 41 ซม. ไปจนถึงแผ่นพลาสติกที่มีขนาดความหนาสูงสุด (3 มม.) จากนั้นทำการทดสอบแผ่นเฟรมที่ขนาด 32 x 32 ซม.ที่เป็นตัวแทนของแผ่นพลาสติกขนาดกลาง และแผ่นเฟรมที่ขนาด 22 x 22 ซม.ที่เป็นตัวแทนของแผ่นพลาสติกขนาดเล็ก โดยทำการทดสอบใน 3 ขนาดจากแผ่นเฟรมที่ใช้ยึดจับชิ้นงานพลาสติกทั้งหมด 8 ขนาด

4. นำผลการทดสอบแผ่นพลาสติกที่ได้ มาทำการเขียนสรุปข้อมูล เพื่อสร้างหลักเกณฑ์มาตรฐานที่จะนำแผ่นพลาสติกมาใช้งานต่อไป เพื่อลดความสูญเสียที่จะเกิดขึ้น

5. ทำการตรวจสอบเพื่อผ่านการยอมรับจากผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์และวิศวกรรม จำนวน 3 ท่าน

6. ทำการจดสิทธิบัตรและตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานทางวิชาการ จัดทำข้อสรุปและรายงานผลงานวิจัยต่อสถาบันต้นสังกัด

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยสามารถจำแนกออกไปตามขอบเขตของการวางแผนและวิธีการดำเนินการวิจัยซึ่งได้ข้อสรุปเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย สามารถทำการวิเคราะห์และสรุปผลได้ดังนี้

1. **ผลสรุปจากการวิเคราะห์ข้อมูล** (ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1) มีดังนี้

1.1 ข้อมูลการวิจัยทางปฐมภูมิ จากการสำรวจข้อมูลสภาพปัญหาและความต้องการของนักศึกษาภาควิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ จากนักศึกษาทั้งสิ้น จำนวน 166 คน ประกอบด้วยนักศึกษาปริญญาตรีชั้นปี 1 จำนวน 35 คน ชั้นปี 2 จำนวน 31 คน ชั้นปี 3 จำนวน 32 คน ชั้นปี 4 จำนวน 26 คน และนักศึกษาปริญญาโท 42 คน (สำรวจในปี พ.ศ. 2554) ผลการสำรวจในภาพรวมสามารถจำแนกออกตามตารางที่ 1-6 ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดความคิดเห็นที่มีต่อเครื่องขึ้นรูปแผ่นพลาสติกเดิมและเครื่องใหม่ที่จะสร้างขึ้น N = 166

รายละเอียด / ความคิดเห็น	จำนวน (คน)	ร้อยละ
จำนวนผู้ที่เคยใช้เครื่อง Vacuum	102	61.4
เห็นด้วยกับการปรับปรุงเครื่องใหม่ที่จะสร้างในครั้งนี้	141	84.9
มีความรู้สึกกลัว/กังวลใจในการใช้เครื่องเดิมที่มีอยู่	81	48.8
เครื่องเดิมมีความสิ้นเปลืองแผ่นวัสดุ	86	51.8
เครื่องเดิมมีการสูญเสียวัสดุ	88	53.0
ต้องการที่จะเห็นเครื่อง vacuum ที่ออกแบบให้เคลื่อนย้ายได้	143	86.1
ต้องการที่จะการทดลอง ทดสอบการขึ้นรูปและการใช้งานได้โดยลำพัง	151	91.0
จากแนวคิดของเครื่องที่สร้างใหม่ สามารถช่วยส่งเสริมความคิดในการออกแบบให้ออกแบบกว้างขวางขึ้นและใช้งานเครื่องนี้มากขึ้น	148	89.2

ข้อมูลจากตารางที่ 1 พบว่า จำนวนผู้ที่ไม่ตอบรวมทั้งผู้ที่ไม่เคยใช้เครื่องเลยมีอยู่จำนวน 64 คน โดยนักศึกษาปริญญาโททั้งหมดยังไม่เคยมีการใช้เครื่องเลย แต่ข้อมูลในภาพรวมของคนส่วนใหญ่ต้องการให้มีการออกแบบปรับปรุงและพัฒนาเครื่องใหม่ให้เกิดขึ้น

ตารางที่ 2 แสดงขนาดของชิ้นงานกับปัญหาที่พบกับการขึ้นรูปด้วยเครื่อง vacuum เดิม

ขนาดชิ้นงาน (ที่เคยขึ้นรูป) กว้าง x ยาว x สูง (ซม.) (= คือจำนวนผู้ตอบที่เหมือนกัน)	ปัญหาที่พบ (ลักษณะของข้อมูลปลายเปิดที่ผู้ตอบเขียนมาให้)
3 x5 x 3, 5 x 5 x 5, 5 x10 x 2	- ให้ความร้อนไม่ทั่วถึง มีรูอากาศขณะดูด
5 x10 x 5, 8 x 10 x 10	- เกิดเป็นฟอง กับ ABS สีขาว
10 x 10 x 5, 10 x 20 x10	- ขึ้นเป็นจีบ ไม่ตรงโมล อากาศเข้าโมล ย่นพับ
10 x20 x 20, 12 x 12 x 15	- เกิดย่นจีบที่มุม ผิดเพี้ยนไป จับจีบเป็นริ้วรอบงาน
12 x 15 x 15, 15 x 15 x 3	- พลาสติกไม่ขึ้นตามรูปทรงที่มี เกิดหลุมลึก
15 x 20 x 10, 15 x 20 x15	- เกิดคีบที่ขอบชิ้นงานเมื่อขึ้นรูปสูงขึ้น
15 x 30 x 15, 20 x 20 x 20	- แว๊กไม่รอบ เครื่องไม่แรงพอ ดูดไม่ได้ตามต้นแบบ
20 x 40 x 15, 25 x 30 x 10	- ขึ้นโมลสูงเกิดจีบขึ้นฟอง
30 x 30 x 5, 30 x 30 x 10(=3)	- พลาสติกเดือด แรงดูดเบา ดูดลงไม่สุดพิมพ์
30 x30 x 15(=3), 40 x 40 x 10	- มุมโค้งมนที่ฐานหรือบางครั้งมีเกิดครีบขึ้น
40 x 40 x 15, 40 x60 x 5	- ประกบไม่สนิทชิ้นงาน
60 x 60 x 2, 60 x 60 x 3	งานเล็กทิ้งเศษมาก แกะแม่พิมพ์ไม่ออก

ข้อมูลจากตารางที่ 2 พบว่า จากการสอบถามเป็นรายบุคล ขนาดของชิ้นงาน 30 x 30 x 5 ซม. , 30 x 30 x 10 ซม. มีผู้ตอบจำนวน 3 รายที่พบกับพลาสติกเดือด แรงดูดเบาและดูดลงพิมพ์ไม่สุด เหตุผลอาจเนื่องมาจากการตั้งเครื่องที่ไม่ได้เกณฑ์ในการขึ้นรูป หรือเกิดจากการที่เครื่องชำรุดขณะใช้งานในช่วงเวลานั้น ส่วนในชิ้นงานขนาด 30 x30 x 15 ซม. มีผู้ตอบจำนวน 3 คน โดยเกิดมุมโค้งมนที่ฐานหรือบางครั้งเกิดการขึ้นเกิดครีบ โดยการเกิดมุมโค้งมนที่ฐานเกิดขึ้นมาจากเครื่องมีกำลังดูดไม่มากพอทำให้ชิ้นงานลงมาไม่สุด ส่วนการเกิดครีบอาจเป็นผลที่เกิดจากแม่แบบชิ้นงานมีเหลี่ยมที่มุมมากเกินไปทำให้พลาสติกเกิดการเบียดตัวกันขึ้น ส่วนเหตุผลในข้ออื่นๆ จะมีความสอดคล้องที่คล้าย ๆ กัน

ตารางที่ 3 แสดงชนิดของแผ่นพลาสติกที่เคยใช้ขึ้นรูปบนเครื่อง vacuum forming

รายละเอียด	จำนวน (คน)	ร้อยละ
- อะคริลิค	3	1.8
- เอบีเอส	47	28.3
- อะคริลิค และ เอบีเอส	27	16.3
- พีวีซี	2	1.2
- ไม่ตอบ	87	52.4
รวม	166	100.0

ข้อมูลจากตารางที่ 3 พบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่จะใช้แผ่นพลาสติกเอบีเอสเป็นหลัก เพราะเป็นแผ่นพลาสติกที่มีความเหนียวทำให้ยืดตัวได้มากและใช้ความร้อนต่ำกว่า แต่จะมีข้อเสียจะมีการเดือดเป็นเม็ดฟองอากาศที่เกิดขึ้นได้เร็วกว่า ส่วนพลาสติกอะคริลิคจะยืดหยุ่นตัวได้น้อยกว่า ไม่เหมาะกับการขึ้นรูปชิ้นงานที่ต้องการความสูง ส่วนพลาสติกพีวีซีที่มีความหนาตั้งแต่ 2 มม. ขึ้นไปเมื่อนำมาขึ้นรูปจะเกิดการแตกร้าวที่ผิว หรือการกรอบไหม้ก่อนที่จะขึ้นรูปและมีอัตราการยืดตัวต่ำ แต่ถ้าเป็นแผ่นพีวีซีประเภทฟิล์ม ที่มีความหนาต่ำกว่า 2 มม. จะมีการหยุ่นตัวมากกว่าพลาสติกทั้งหมดที่กล่าวมา แต่ที่ไม่เป็นที่นิยมใช้กันของนักศึกษา เพราะหาซื้อได้ยากโดยจะต้องสั่งตรงจากโรงงานที่ต้องสั่งซื้อยกทั้งม้วนซึ่งมีราคาแพงมากขึ้น จึงไม่เป็นที่รู้จักหรือนิยมใช้กันของนักศึกษา

ตารางที่ 4 แสดงความหนาของแผ่นพลาสติกที่นักศึกษาใช้ในการขึ้นรูปกับเครื่องเดิม

รายละเอียด	ขนาด 0.5 มม. จำนวน (คน)	ขนาด 1 มม. จำนวน (คน)	ขนาด 2 มม. จำนวน (คน)	ขนาด 3 มม. จำนวน (คน)
- อะคลิริก	-	9	23	5
- ABS	1	40	56	10
- PVC	-	1	1	-
ไม่ระบุ	-	3	13	2

ข้อมูลจากตารางที่ 4 พบว่า ที่นักศึกษาจะนิยมใช้กับแผ่นพลาสติก 2 มม. กันส่วนมากเพราะนักศึกษาสามารถขึ้นรูปชิ้นงานและนำไปใช้งานได้โดยตรง แต่ชิ้นงานส่วนใหญ่ที่ได้จะต้องนำมาทำการตกแต่งกันมาก เพราะชิ้นงานยังขาดความคมชัดที่พื้นผิวที่ไม่แนบสนิทไปกับแม่พิมพ์ระหว่างการขึ้นรูป โดยส่วนใหญ่จะต้องใช้เครื่องมือช่วยกดดันชิ้นงานในระหว่างการดูดสุญญากาศ เพื่อช่วยให้ชิ้นงานแนบสนิทกับแบบมากขึ้น

ตารางที่ 5 แสดงความสูงของแผ่นพลาสติกที่นักศึกษาเคยใช้ในการขึ้นรูป (3 อันดับที่มีคนเลือกสูงสุด)

ขนาดความสูง (เซนติเมตร)	จำนวน (คน)
5	31
10	25
15	15

ข้อมูลจากตารางที่ 5 พบว่า ความสูงของชิ้นงานที่นักศึกษาใช้กันมากสุดจะมีความสูงที่ 5 ซม. รองลงมาคือ 10 และ 15 ซม. แต่ถ้าสูงกว่านี้จะมีสูงมากสุดที่ 20 ซม. แต่จะมีผู้ทำกันน้อยเพราะส่วนใหญ่จะเกิดการสูญเสียระหว่างการขึ้นรูปกันมาก จึงไม่ค่อยมีคนนิยมขึ้นรูปสูง ๆ กันเท่าไรนัก

ตารางที่ 6 แสดงขนาดความกว้างและยาวของชิ้นงานที่นักศึกษาเคยใช้แผ่นพลาสติกในการขึ้นรูป (3 อันดับที่มีคนเลือกสูงสุด)

ขนาดความกว้างยาว (เซนติเมตร)	จำนวน (คน)
- 5 x 10	11
- 30 x 30	8
- 15 x 15	7

ข้อมูลจากตารางที่ 6 พบว่า การขึ้นรูปที่ทำชิ้นงานกันมาสุดจะทำกันที่ขนาด 5 x 10 ซม. กันมาก ส่วนชิ้นงานขนาดใหญ่จะนิยมทำกันที่ขนาด 30 x 30 ซม. แต่ก็มีการขึ้นรูปที่ใหญ่กว่านี้ แต่จะมีการทำกันน้อยเพราะส่วนใหญ่จะเกิดการสูญเสียขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เจ้าหน้าที่ประจำโรงปฏิบัติ-ประสบการณ์ควบคุมเครื่องช่วย เพื่อที่จะคอยช่วยแก้ปัญหาและลดการสูญเสียลงได้

1.2 ข้อมูลที่สรุปผลได้ทางทุติยภูมิ ได้ศึกษาจากภาคเอกสาร ตำรา งานวิจัยรวมทั้งการสืบค้นทางอินเตอร์เน็ต โดยได้ข้อสรุปผลเพื่อนำมาใช้ในขั้นตอนของการทำงานบนเครื่องรวมทั้งการคัดเลือกระบบอุปกรณ์หลัก ๆ ที่จำเป็นใช้ในการสร้าง โดยได้ข้อสรุปต่าง ๆ ดังนี้

1.2.1 ขั้นตอนระบบการทำงานในการขึ้นรูปแผ่นพลาสติกระบบสุญญากาศ (VacuumForming) ในลักษณะการวางพิมพ์นูน มีดังนี้

1) วางต้นแบบแม่พิมพ์ (mold) ลงบนแท่นวาง (platform) ที่โต๊ะแวคคัมซึ่งด้านล่างมีรูอยู่จำนวนมากเพื่อใช้ในการดูดอากาศ (ถ้าทำชิ้นงานเหมือนกันหลายชิ้นให้ยึดน๊อตใต้ชิ้นกับแผ่นพื้นโต๊ะที่เตรียมตำแหน่งรูไว้ให้)

2) วางแผ่นพลาสติกลงในกรอบเฟรม (frame) ที่ออกแบบให้แยกกรอบนอกกับกรอบในออกจากกันเพื่อความสะดวก โดยการยึดล็อคจะใช้ระบบการบีบดันด้วยชุดสปริงบนแผงเลื่อนที่อยู่บนตัวเครื่อง

3) ทำการเปิดสวิทซ์ปุ่มหลักเพื่อควบคุมการทำงานทั้งระบบ บนแผงควบคุม (Control Panel) โดยเครื่องปั๊มแวคคัมดูดและปั๊มลมอัดจะติดทำงานเองอัตโนมัติ ส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการตั้งระบบสำเร็จรูปไว้แล้วที่อยู่ภายในตัวตู้ของเครื่อง (รอฟังเสียงเครื่องระบบจะหยุดเดินเอง)

4) เปิดสวิทช์ควบคุมความร้อนของแท่งฮีตเตอร์ (heater) และโยกปุ่มคันเลื่อนสวิทช์เพื่อเลื่อนแผงฮีตเตอร์เข้ามาหาแผ่นพลาสติก (โดยแท่งฮีตเตอร์ความร้อนจะติดเองโดยอัตโนมัติ) และจะมีพัดลมช่วยนำความร้อนจากส่วนบนนำพาความร้อนไปที่ชิ้นงานด้วย

5) ควบคุมความร้อนโดยดูที่มิเตอร์วัดอุณหภูมิ (โดยจะต้องใช้ค่า หรือผลการทดสอบที่ได้ทำไว้เป็นเกณฑ์)

6) รอจนอุณหภูมิได้ที่ แผ่นพลาสติกจะร้อนถึงขีดสุดและอ่อนตัวลงจนท้องแผ่นหย่อนลงมาด้านล่าง บางชนิดอาจแค่ตึงตัวเมื่อพลาสติกร้อนได้ที่ เลื่อนปุ่มสวิทช์คันโยกถอยกลับไปด้านหลัง (แผงฮีตเตอร์ความร้อนจะหยุดทำงานเอง)

7) เลื่อนสวิทช์ปุ่มคับโยกอีกตัวเพื่อเลื่อนแท่นวางแม่พิมพ์ (mold) หรือแท่นยก(lift linkage) จะยกโต๊ะแวคคัมขึ้นมาดันมาชนกับแผงพลาสติกข้างบนในขณะที่พลาสติกยังร้อนอยู่

8) กดสวิทช์ปั๊มดูดอากาศเพื่อดูดแผ่นพลาสติกให้ติดกับโมลแม่พิมพ์รอจนกระทั่งพลาสติกแข็งอยู่ตัว จนได้รูปทรงตามต้องการติดกับโมลแม่พิมพ์

9) เลื่อนสวิทช์ปุ่มคันโยกกลับลงมา (โดยครั้งแรกให้ทำการกระตุกปุ่มโยกเลื่อนสวิทช์ลงนิดหนึ่ง) จากนั้นทำการปดแผ่นยึดเฟรมพลาสติกออกจากตัวจับสปริงของตัวเครื่องก่อน แล้วจึงโยกสวิทช์เดิมเลื่อนถอยลงมาข้างล่างสุด (แผ่นเฟรมจะติดชิ้นงานลงมาตามแม่พิมพ์ด้วย)

10) จากนั้นทำการยกแผ่นเฟรมที่ยึดพลาสติกออก ก็จะได้ชิ้นงานสำเร็จตามชิ้นงานแม่พิมพ์เป็นอันเสร็จขั้นตอนบนเครื่อง

1.2.2 ชิ้นส่วนอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการสร้างเครื่องโครงสร้างหลักภายในมีดังนี้

1) แท่งฮีตเตอร์ความร้อน (heater) แท่งละ 1000 วัตต์ ความยาวของแท่งฮีตเตอร์ 75 ซม. (จำนวน 6 แท่ง)
2) ปั๊มลม ระบบโรตารี่ ตัวละ ½ แรงม้า (จำนวน 2 ตัว)
3) ถังอัดลมขนาด 50 ลิตร (จำนวน 1 ถัง)
4) ชุดปั๊มแวคคั่ม (vacuum pump) ระบบสายพานพร้อมมอเตอร์ไฟฟ้า ½ แรงม้า (จำนวน 1 ชุด)
5) ถังลมใช้ดูดสุญญากาศขนาด 25 ลิตร (vacuum tank ใช้จำนวน 1 ถัง)
6) กระบอกลมนิวเมติกรุ่นสี่เสา (จำนวน 1 ตัว)
7) กระบอกลมนิวเมติกรุ่นกลม (จำนวน 1 ตัว)
8) พัดลม (จำนวน 1 ตัว)
9) แท่นวางชิ้นงาน (platform) หรือพื้นโต๊ะแวคคั่มเคลื่อนที่ (ส่วนนี้สร้างขึ้นจำนวน 1 ชุด)
10) ชุดแผ่นเฟรมใส่แผ่นพลาสติก (ส่วนนี้สร้างขึ้นจำนวน 8 ขนาด)
11) ชุดจับยึดแผ่นชุดเฟรมใส่แผ่นพลาสติก (ส่วนนี้สร้างขึ้นจำนวน 1 ชุด)
12) ชุดใส่แผงแท่งฮีตเตอร์พร้อมที่ใส่พัดลม (ส่วนนี้สร้างขึ้นจำนวน 1 ชุด)

1.2.3 ชิ้นส่วนอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการควบคุมระบบการทำงานเครื่อง

1) เพรชเซอร์สวิทช์ ตัดลมอัดจากถัง (จำนวน 1 ตัว)
2) เกจ (gauge) วัดความดันลมอัด ขนาดหน้าปัด 1.5 นิ้ว วัดกำลังลมอัด 180 Lb/in^2 เกลียวทางหลัง 1/2” (จำนวน 1 ตัว)
3) ชุดกรองลมFR-500 ขนาด ¼” ปรับแรงดันได้ (จำนวน 1 ตัว)

4) โซลินอยด์วาล์ว (double Solenoid) รุ่น 4 V230 C-0.8 P; 0.15-0.8 MPa (2 ตัว)
5) สวิทช์ควบคุมแรงดูดแวคคั่ม 24 V (จำนวน 1 ตัว)
6) รีเลย์พร้อมซ้อกเก็ต (relay socket) 240 V (จำนวน 1 ชุด)
7) แมกเนติกคอนแทกเตอร์ (magnetic contactor) S-K20 (จำนวน 2 ตัว)
8) เกจวัดความดันลมดูดแวคคั่ม ขนาดหน้าปัด 2.5” วัดแรงดันสุด -76 cmHg/-30” HG เกลียวทางหลัง 1/2” (จำนวน 1 ตัว)
9) วาล์วไฟฟ้า สตีม (pressure Applied) 1” 1-15 Kg/cm^2 (1 ตัว)
10) เซฟตี้เบรกเกอร์ P2 30A แอมป์ (จำนวน 1 ตัว)
11) เซฟตี้เบรกเกอร์ 10A แอมป์ (จำนวน 1 ตัว)
12) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ รุ่น REX-C100 (จำนวน 1 ตัว)
13) สวิทช์โยก1021 2 ขา (จำนวน 3 ตัว)
14) สวิทช์หัวเห็ดกดล็อค (สีแดง) (จำนวน 1 ตัว)
15) เบสิค สวิทช์ (basic switch) รุ่น V-156-15A (จำนวน 1 ตัว)
16) สวิทช์โยกเด้งคืน 2 N/O JTB-PA22 ควบคุม 2 ทาง (จำนวน 2 ตัว)
17) สวิทช์ปุ่มกดหลอดไฟ LED สีเขียว (จำนวน 1 ตัว)
18) ไทม์เมอร์ รุ่น H3BA ควบคุมการตั้งเวลา (จำนวน 2 ตัว)

หมายเหตุ ทำการศึกษาสัดส่วนมนุษย์คนไทยควบคู่กันไปกับการออกแบบ โดยใช้ข้อมูลรายงานการสำรวจและวิจัยขนาดสัดส่วนโครงสร้างร่างกายคนไทย (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2545)

2. ผลการออกแบบ (ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2) มีดังนี้

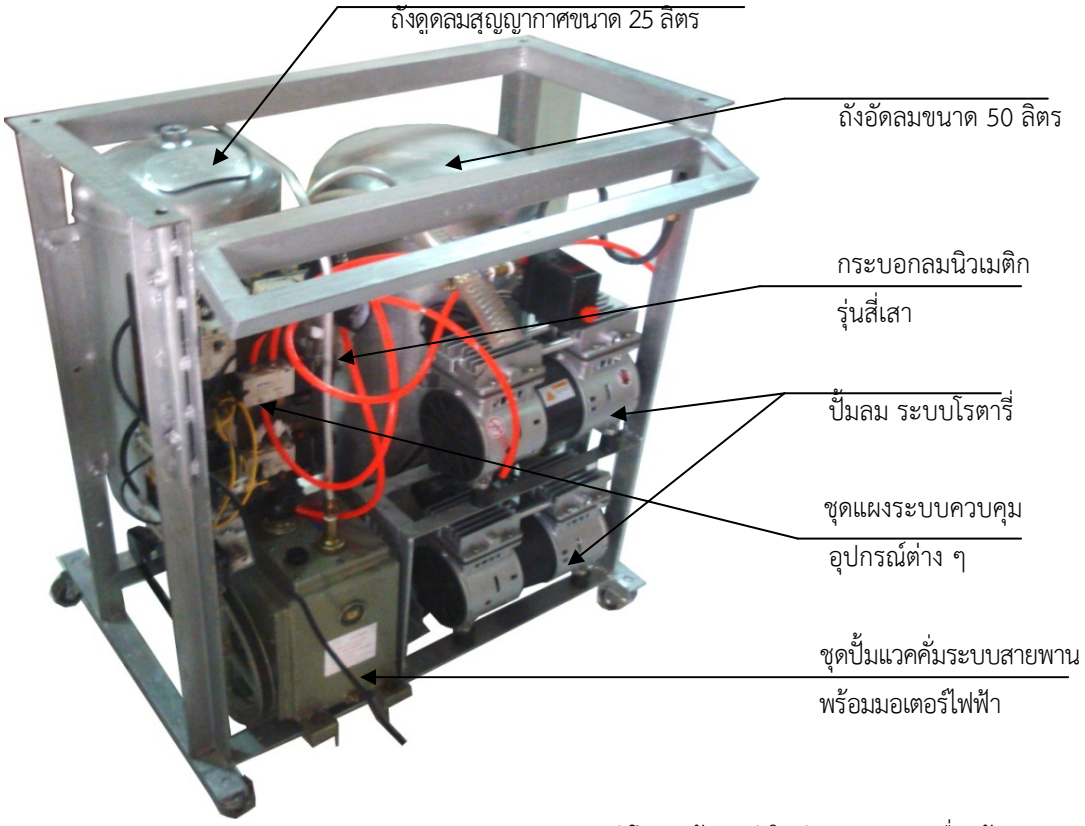
ทีมผู้วิจัยได้นำข้อสรุปที่ได้ จากภาคการสำรวจสภาพปัญหาและความต้องการผู้ใช้งาน โดยข้อมูลส่วนหนึ่งที่ได้จะนำมาเป็นข้อกำหนดในเรื่องวัสดุแผ่นพลาสติกที่ต้องนำมาใช้ทดสอบ รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นต่าง ๆ ที่จะต้องออกแบบให้เครื่องมีข้อผิดพลาดน้อยที่สุด ส่วนการศึกษาทางภาคเอกสาร ตำรางานวิจัย ส่วนหนึ่งจะนำมาใช้ในการกำหนดวัสดุภายใน โดยนำมาจัดวางองค์ประกอบใหม่ ที่จะต้องคำนึงถึงระยะสัดส่วนของผู้ใช้งานเป็นหลัก จากนั้นจึงทำการออกแบบภายนอกต่อเพื่อสร้างความสวยงามให้ลงกับภายใน โดยมองในส่วนที่จะสร้างความปลอดภัยในการใช้งานและช่วยปกป้องระบบภายในของตัวเครื่องให้ปลอดภัย จากนั้นนำมาทำการสร้างเครื่องต้นแบบและทำการทดสอบปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ โดยข้อมูลส่วนในส่วนนี้ ผู้วิจัยขออธิบายผลในภาพรวมโดยใช้ภาพประกอบเป็นหลักเพื่อให้เห็นภาพในการทำงาน ดังนี้

2.1 ข้อสรุปที่ได้จากการจัดวางโครงสร้างภายใน ประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วนดังนี้

2.1.1 ข้อสรุปของการจัดวางโครงสร้างภายในกับอุปกรณ์โครงสร้างหลัก (จากข้อมูลในข้อ 1.2.2) มาทำการออกแบบจัดวาง โดยใช้คอมพิวเตอร์คำนวณสัดส่วน ได้ผลของการจัดวางเครื่องในภาพรวมที่ได้จากการสร้างชิ้นงานจริงตามภาพประกอบ สามารถจำแนกได้ดังนี้

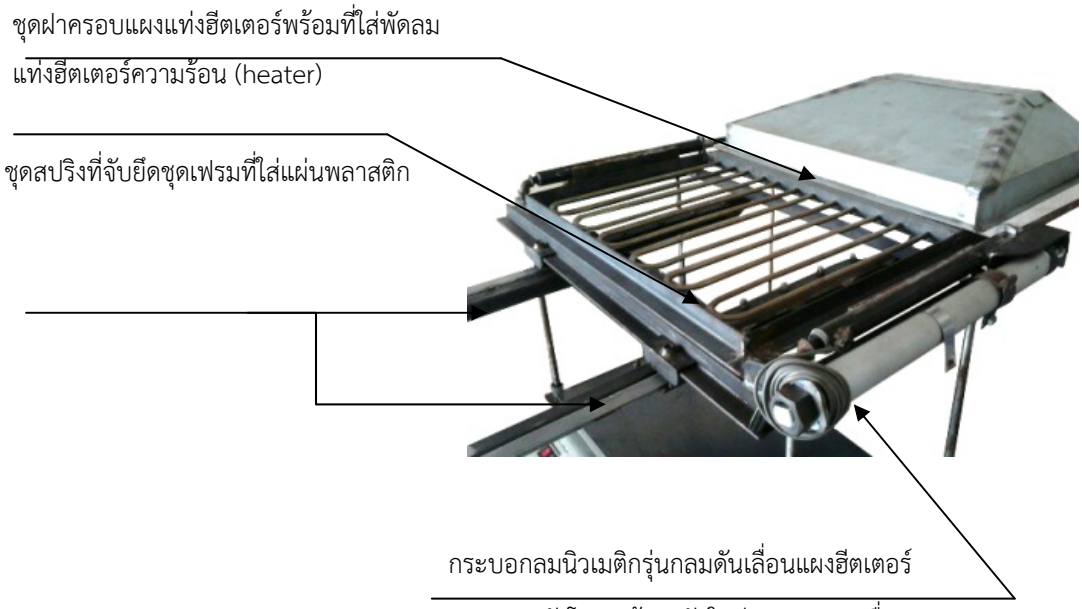
1) การออกแบบจัดวางระบบตัวเครื่องในส่วนล่าง (ตัวเครื่องหลัก)

ภาพที่ 2 แสดงการจัดวางชิ้นส่วนอุปกรณ์โครงสร้างหลัก ๆ ลงในตัวโครงสร้าง



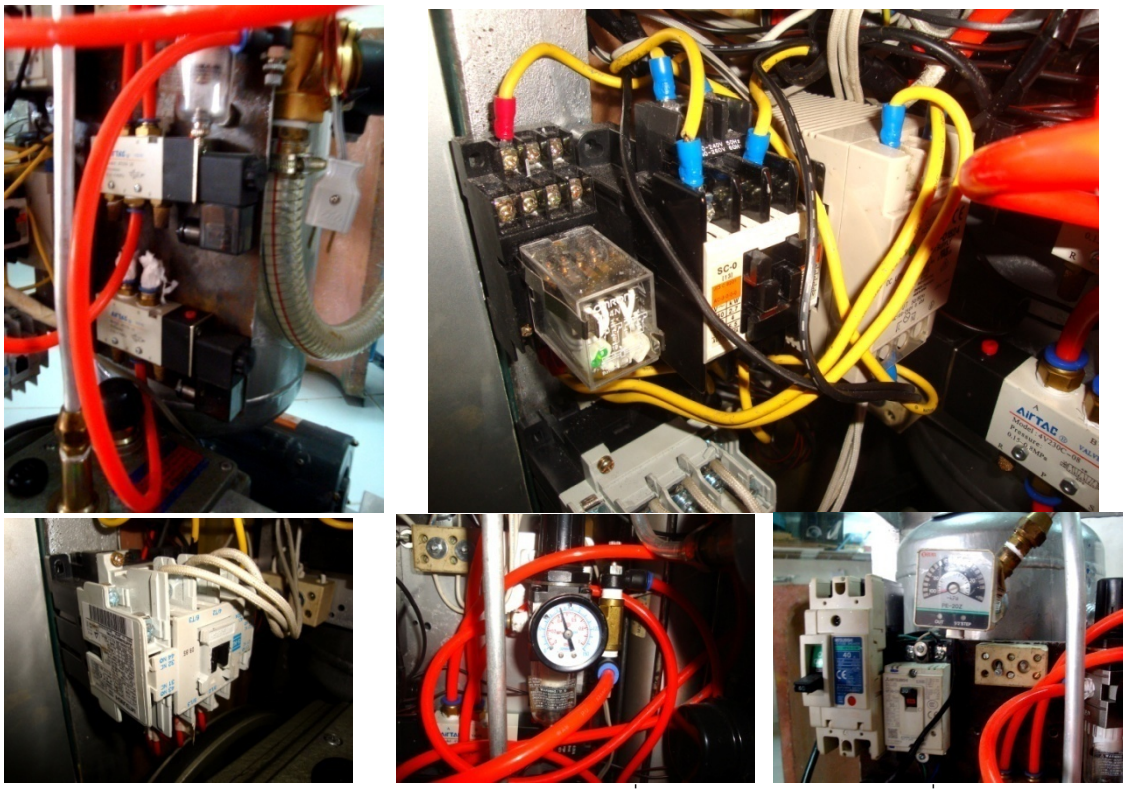
ภาพ 3 แสดงภาพรวมของตัวโครงสร้างหลักในส่วนฐานของเครื่องต้นแบบ

2) การออกแบบการวางระบบตัวเครื่องในส่วนบน

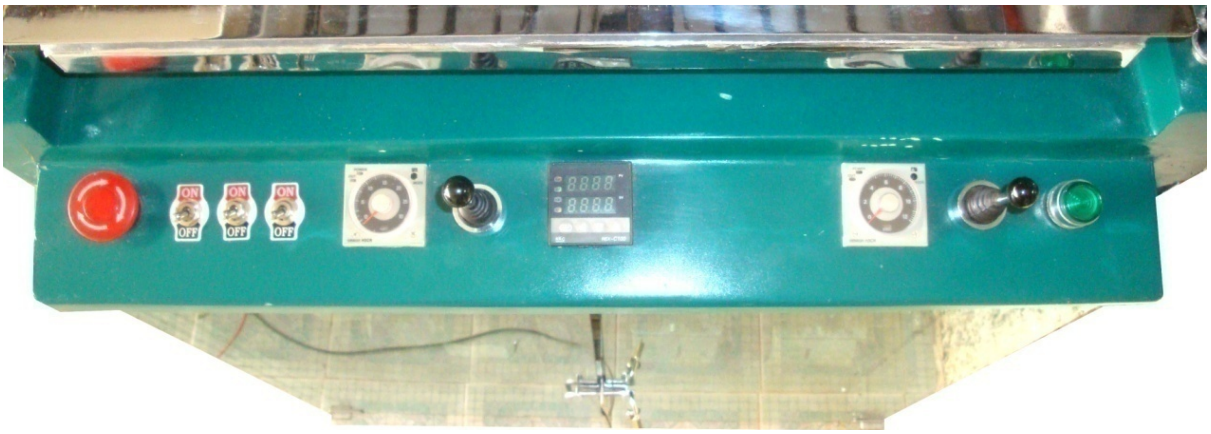


ภาพ 4 แสดงภาพรวมของตัวโครงสร้างหลักในส่วนบนของเครื่อง

2.1.2 ข้อสรุปของการจัดวางชิ้นส่วนอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการควบคุมระบบการทำงานเครื่อง (จากข้อมูลในข้อ 1.2.3) คำนึงถึงการใช้งานและการควบคุม โดยได้ผลของการจัดวางตำแหน่งของเครื่องจากการสร้างชิ้นงานจริงตามภาพประกอบ ดังนี้



ภาพ 5 แสดงระบบควบคุมการทำงานของเครื่อง vacuum forming ของเครื่องต้นแบบ



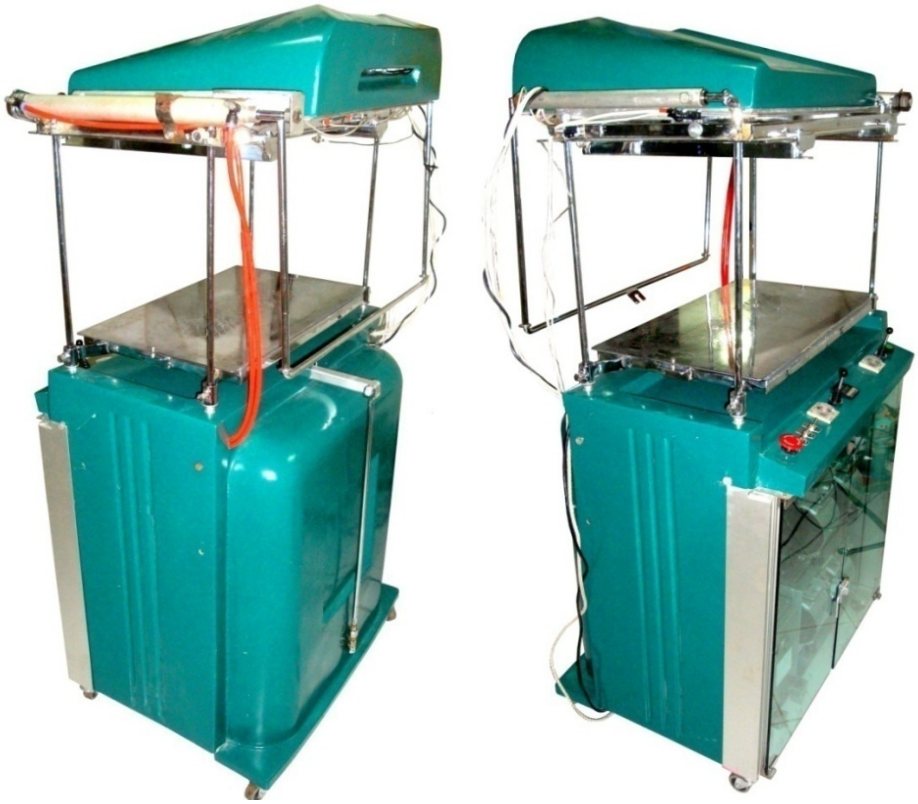
ภาพ 6 แสดงตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่อง vacuum forming

หมายเหตุ ระบบขั้นตอนการทำงานศึกษาดูได้ในภาพที่ 9 (ในคำอธิบายใต้ภาพ)

2.2 ข้อสรุปที่ได้จัดวางโครงสร้างภายนอก

จากการจัดวางโครงสร้างภายใน และตัวโครงสร้างหลักที่ใช้ในการยึดจับชิ้นส่วนต่าง ๆได้ผลออกแบบที่ไปกับภาพลักษณ์ภายนอก เพื่อให้เกิดความสวยงามและความลงตัวต่อการใช้งานที่สะดวกสบาย รวมทั้งปกป้องระบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายใน โดยได้ผลของการออกแบบในภาพรวมจากชิ้นงานจริงที่ผู้วิจัยได้นำเสนอมุมมองในภาพด้านและภาพ 3 มิติ โดยมีขนาดกว้างทางด้านข้าง x ยาวทางด้านหน้า x ความสูง คือ (55 ขณะกาง 90 x 75 x 145 ซม.) ตามภาพประกอบดังนี้

ภาพ 7 แสดงมุมมองในภาพด้าน 2 มิติของตัวเครื่องขณะกางแขนในส่วนบนออกเพื่อการใช้งาน



ภาพ 8 แสดงมุมมองในภาพ 3 มิติของตัวเครื่องขณะหุบแขนในส่วนบนเมื่อไม่ได้ใช้งาน

3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพ (ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3) มีดังนี้

จากการทดสอบ ผู้วิจัยได้ใช้โมลแม่แบบที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยจะลบคมเหลี่ยมที่บริเวณมุมที่พื้นผิวส่วนบนลง 2 มม. และลบพื้นผิวด้านข้างโดยรอบทางความสูงให้เอียงเฉียง 1 องศา เป็นเกณฑ์ในการทดสอบการขึ้นรูป โดยสามารถปรับเติมขนาดชิ้นงานได้อย่างอิสระ โดยจะเพิ่มชั้นความสูงขึ้นไปทีละชั้น (ชั้นละ 4.5 ซม.) การที่เลือกรูปทรงสี่เหลี่ยมเป็นเกณฑ์ในการทดสอบนั้น เป็นสิ่งที่ยากสุดต่อการขึ้นรูปแผ่นพลาสติกในลักษณะทรงสูง โดยประสิทธิภาพของเครื่องจะตั้งระบบของกำลังดูด Vacuum ไว้ที่สวิทซ์ตัดที่ค่าสูงสุด -76 cmHg และกำลังลมในการขับเคลื่อนแผงความร้อนและฐานดันชิ้นงานตั้งสวิทซ์ไว้ที่ 80 Lb/in^2 โดยจะได้ผลการทดสอบสรุปออกมาได้ในเรื่องของการเปิดใช้แท่งฮีตเตอร์ความร้อนเพื่อการกำหนดในการตั้งอุณหภูมิเป็นเกณฑ์ เพื่อเลือกใช้ชนิดของแผ่นพลาสติกในขนาดและความหนาต่าง ๆ ในการขึ้นรูปได้เหมาะสมขึ้น โดยได้ผลของการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

3.1 กลุ่มชิ้นงานแผ่นพลาสติกที่มีขนาดเล็ก โดยมีขนาด กว้าง x ยาว ไปตามเฟรมจับยึดใน 4 ขนาด คือ ชิ้นงานขนาด 17 x 17 ซม. 17 x 31.5 ซม. 22 x 22 ซม. และ 22 x 31.5 ซม. โดยใช้กับแท่งฮีตเตอร์ที่ 2,000 วัตต์ ในการทดสอบได้ข้อสรุปผลที่ผ่านการขึ้นรูปดังนี้

1) แผ่นพลาสติกพีวีซี ขนาดความหนา 0.6 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 60 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 7.5 x 9 x 9 ซม.

2) แผ่นพลาสติกพีวีซี ขนาดความหนา 1.0 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 50 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 7.5 x 10 x 4.5 ซม.

3) แผ่นพลาสติกเอบีเอส ขนาดความหนา 1.0 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 38 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 7.5 x 10 x 4.5 ซม.

4) แผ่นพลาสติกเอบีเอส ขนาดความหนา 2.0 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 44 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 7.5 x 10 x 4.5 ซม.

5) แผ่นพลาสติกอะคริลิค ขนาดความหนา 1.0 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 65 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 7.5 x 10 x 3.5 ซม. (ได้ตัดส่วนของค่าความโค้งของมุมฐานออกแล้ว)

6) แผ่นพลาสติกอะคริลิค ขนาดความหนา 2.0 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 55 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 7.5 x 10 x 3.5 ซม. (ได้ตัดส่วนของค่าความโค้งของมุมฐานออกแล้ว)

3.2 กลุ่มชิ้นงานแผ่นพลาสติกที่มีขนาดกลาง โดยมีขนาด กว้าง x ยาว คือ 32 x 32 ซม. ไปตามเฟรมจับยึดโดยใช้กับแท่งฮีตเตอร์ 4000 วัตต์ ได้ข้อสรุปผลที่ผ่านการขึ้นรูปดังนี้

1) แผ่นพลาสติกพีวีซี ขนาดความหนา 0.6 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 60 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 17x 17.5 x 18 ซม.

2) แผ่นพลาสติกพีวีซี ขนาดความหนา 1.0 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 46 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 17 x 17.5 x 9 ซม.

3) แผ่นพลาสติกเอบีเอส ขนาดความหนา 1.0 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 40 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 17 x 17.5 x 9 ซม.

4) แผ่นพลาสติกเอบีเอส ขนาดความหนา 2.0 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 45 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 17 x 17.5 x 3.5 ซม. (ได้ตัดส่วนของค่าความโค้งของมุมฐานออกแล้ว)

5) แผ่นพลาสติกอะคริลิค ขนาดความหนา 1.0 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 65 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 17 x 17.5 x 2.5 (ได้ตัดส่วนของค่าความโค้งของมุมฐานออกแล้ว)

3.3 กลุ่มชิ้นงานแผ่นพลาสติกที่มีขนาดใหญ่ โดยมีขนาด กว้าง x ยาว ไปตามเฟรมจับยึดใน 3 ขนาด คือ ชิ้นงานขนาด 17 x 41 ซม. 22 x 41 ซม. และ 32 x 41 ซม. โดยใช้กับแท่งฮีตเตอร์ 6000 วัตต์ ในการทดสอบ ได้ข้อสรุปผลที่ผ่านการขึ้นรูปดังนี้

1) แผ่นพลาสติกพีวีซี ขนาดความหนา 0.6 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 57 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 17x 27.5 x 18 ซม.

2) แผ่นพลาสติกพีวีซี ขนาดความหนา 1.0 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 47 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 17x 27.5 x 18 ซม.

3) แผ่นพลาสติกเอบีเอส ขนาดความหนา 1.0 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 40 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 17 x 27.5 x 7.5 ซม. และ 10 x 17.5 x 13.5 ซม.

4) แผ่นพลาสติกเอบีเอส ขนาดความหนา 2.0 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 46 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 10.5x 17 x 2 ซม. (ไม่ผ่านเกณฑ์)

5) แผ่นพลาสติกอะคริลิค ขนาดความหนา 1.0 มม. ความร้อนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปใช้อุณหภูมิที่ 55 °c สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สูงสุด 17 x 27.5 x 3 ซม.

ภาพแสดงขั้นตอนการใช้เครื่องและรูปทรงแผ่นพลาสติกที่ได้จากการทดสอบ

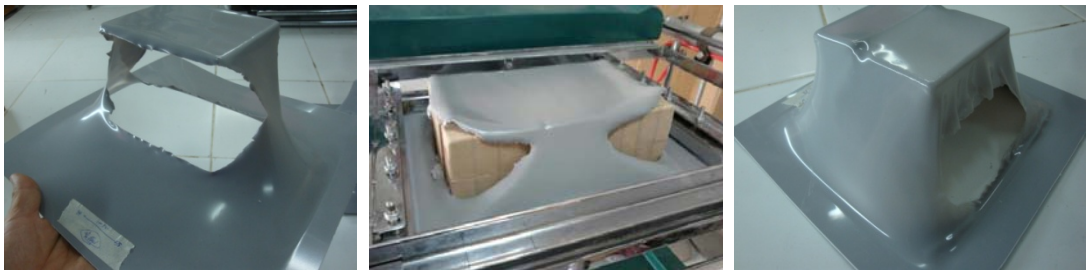
จากผลการทดสอบในข้อที่ 3 ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบโดยเริ่มต้นจากการทดสอบจุดหลอมละลายของแผ่นพลาสติกที่ใช้บนเครื่อง ที่ต้องสูญเสียวัสดุไปเป็นจำนวนมาก เพื่อหาค่าเกณฑ์ในการตั้งอุณหภูมิเพื่อควบคุมความร้อน โดยสามารถศึกษาขั้นตอนการทำงานของเครื่องได้ดังนี้

ภาพ 9 แสดงขั้นตอนการใช้เครื่องและรูปทรงของแผ่นพลาสติกที่ได้จากการทดสอบ

จากภาพ 9 สามารถแสดงขั้นตอนการทำงานจากภาพ 1-17 โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1) เลือกชุดแผ่นเฟรมและพื้นวางที่เหมาะสมกับขนาดชิ้นงาน 2) เลือกโมลทดสอบขึ้นตามขนาดแผ่นเฟรม 3) ตั้งแผ่นเฟรมพื้นและวางโมลทดสอบลงไปบนเครื่อง 4) วางแผ่นพลาสติกที่เหมาะสมกับแผ่นเฟรม 5) ตั้งชุดจับเฟรมบนเครื่องและดันแผ่นเฟรมเข้าไป 6) กดสวิทช์ปุ่มแดงใหญ่ทางด้านซ้ายเพื่อเปิดระบบรวมเมื่อเปิดแล้วรอจนฟังเสียงเครื่องปั๊มแว๊กคัมและปั๊มลมหยุดและปุ่มสวิทช์ถัดมาตัวแรกทางซ้ายมือ คือสวิทช์ฮีตเตอร์ที่ 2,000 วัตต์และถ้าเปิดตัวที่ 2 เพิ่มจะเป็นฮีตเตอร์ที่ 4,000 วัตต์ และตัวที่ 3 เพิ่มจะเป็นฮีตเตอร์ที่ 6,000 วัตต์ (การเปิดใช้ให้ดูจากผลการทดสอบ) 7) โยกสวิทช์ตัวถัดมาเข้าหาตัวเพื่อเลื่อนแผงฮีตเตอร์เข้าระบบจะทำงานอัตโนมัติ 8) สังเกตการณ์หลอมละลายของแผ่นพลาสติกจะมีการอ่อนตัว และย้อยลงมาหรือบางชนิดจะกลับมาตึงตัวอีกครั้งก่อนเดือดขึ้นเม็ดฟองอากาศ 9) ใช้อุณหภูมิที่ได้ตามเกณฑ์ทดสอบเป็นหลัก 10) แผ่นพลาสติกจะย้อยลงมาให้เห็น 11) โยกสวิทช์ตัวเดิมดันไปข้างหน้าเพื่อถอยแผงฮีตเตอร์กลับไประบบจะตัดไฟอัตโนมัติ 12) โยกสวิทช์ทางขวาอีกตัวไปข้างหน้าเพื่อเลื่อนโมลแม่แบบขึ้นมาแนบแผ่นพลาสติก 13) กดสวิทช์ปุ่มเขียวเพื่อให้แว๊กคัมดูดแผ่นพลาสติก 14) รอจนพลาสติกเซ็ทตัวเข้ารูป (สัมผัสได้) 15) สะกิดสวิทช์โยกตัวเดิมเข้าหาตัวนิดหนึ่ง และหยุดเพื่อเลื่อนแผงสปริงของเครื่องที่จับยึดแผ่นเฟรมที่จับพลาสติกออกทั้งสองข้าง และทำการโยกสวิทช์ตัวเดิมเข้าหาตัวอีกครั้งเพื่อเลื่อนชิ้นงานและแผ่นเฟรมจับลงมา 16) ชิ้นงานและโมลแม่แบบจะอยู่ในเฟรมจับบนฐานวาง 17) แกะโมลแม่แบบออกจะได้ชิ้นงานแผ่นพลาสติกออกมา

ภาพ 10 แสดงตัวอย่างรูปทรงของแผ่นพลาสติกที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ



ภาพ 11 แสดงตัวอย่างรูปทรงของแผ่นพลาสติกที่ไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ

หมายเหตุ แผ่นพลาสติกที่นำมาใช้ทั้งหมดสามารถลดขนาด กว้าง x ยาว จากเฟรมทั้งหมดลงได้อีก 2 ซม.

จากผลการทดการออกแบบและผลการทดสอบ ทีมผู้วิจัยได้ผ่านการตรวจสอบและยอมรับจากผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบและทางวิศวกรรมจำนวน 3 ท่าน ซึ่งได้ผลเป็นที่ยอมรับต่อผลงานที่ออกแบบในครั้งนี้

สรุปผลการวิจัย

ค่าการทดสอบจากการวิจัย สามารถนำมาใช้กับการตั้งอุณหภูมิเพื่อให้เหมาะสมกับขนาดชิ้นงานและชนิดของแผ่นพลาสติก พีวีซี เอบีเอสและอะคริลิค ในขนาดต่าง ๆ ให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น เพื่อลดการสูญเสียในการปฏิบัติงานจริง แต่การออกแบบของเครื่องครั้งนี้ก็ทำให้ทราบว่าชิ้นงานที่มีขนาดความสูงมาก ๆ ก็ควรมีขนาดความกว้างยาวห่างจากแผ่นเฟรมจับยึดพลาสติกอย่างน้อยประมาณ 2 นิ้ว ส่วนชิ้นงานที่มีความสูงไม่มากหรือประมาณไม่เกิน 4.5 ซม.ชิ้นงานสามารถวางห่างหรือเล็กจากเฟรมโดยรอบได้ประมาณ 1 นิ้ว ทั้งนี้พลาสติกที่นำมาใช้ควรมีความหนาไม่เกิน 1 มม. แต่ถ้าจะใช้พลาสติกที่มีความหนา 2 - 3 มม.ในการขึ้นรูปก็ควรจะต้องมีอุปกรณ์ช่วยในการกดรอบพิมพ์เข้าช่วยในช่วงระหว่างการดูดสุญญากาศ เพื่อทำให้ชิ้นงานชิดโมลแม่แบบลงลึกถึงฐานให้มากที่สุด ส่วนการขึ้นรูปที่ไม่ใช่รูปทรงเหลี่ยม โดยเฉพาะชิ้นงานที่มีลักษณะโค้งมน สามารถที่จะทำการขึ้นรูปได้สูงขึ้นจากค่าเกณฑ์ที่ได้ทำการทดสอบไว้ โดยเครื่องนี้สามารถรองรับความสูงได้ถึง 35 ซม. ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นของแผ่นพลาสติกที่สามารถขึ้นรูปจะไปได้ถึงหรือไม่ แต่คาดว่าแผ่นพลาสติก พีวีซีที่ความหนา 0.6 มม. น่าจะทำได้ โดยจากการทดสอบที่ปล่อยให้พลาสติกชนิดนี้ตกย้อยลงมาในรูปวงกลม จากการทดสอบแต่ถ้าจะให้เครื่องนี้ทำงานต่อเนื่องในระดับที่อุณหภูมิยังสูงอยู่ก็ควรจะให้มีอุณหภูมิเริ่มต้นน้อยกว่าอุณหภูมิที่ใช้งานจริง 15 °c เพื่อที่จะให้แผ่นพลาสติกได้มีระยะของการอุ่นเซ็ทตัวมากขึ้น ซึ่งจะใช้ได้กับค่าของอุณหภูมิที่ได้ทำการทดสอบไว้ แต่ถ้าต้องการที่จะทำงานต่อเนื่องเพื่อให้เร็วขึ้นช่วงอุณหภูมิของการขึ้นรูปควรห่างประมาณ 10 °c และจะต้องเพิ่มอุณหภูมิจากเกณฑ์ที่ตั้งไว้ขึ้นไปอีกประมาณ 1-2 °c ทั้งนี้ผู้ทดสอบสามารถใช้ทักษะของการสัมผัสแตะไปที่ผิวหรือแผ่นพลาสติกได้ รวมทั้งอาจจะสังเกตจากปฏิกิริยาของแผ่นพลาสติกที่มีการหดตัวและกลับมาเรียบตึงสำหรับแผ่นพลาสติก เอบีเอส แต่ถ้าเป็นพลาสติกพีวีซี จะเป็นการย้อยโค้งเป็นแอ่งกระทะลงมาเรื่อย ๆ ส่วนสำหรับอะคริลิคจะมีการย้อยลงมานิดหน่อยและจะเดือดเกิดเป็นเม็ดฟองอากาศขึ้น สิ่งเหล่านี้คือจุดสังเกตในการขึ้นรูปได้ แต่ไม่แนะนำให้สูดดมกลิ่นเป็นเกณฑ์ตัดสินเพราะจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัย ได้ข้อสรุปของเครื่องที่ผ่านการทดสอบของแผ่นพลาสติกที่สามารถนำมาใช้กับเครื่องตัวนี้ ที่สามารถช่วยให้นักศึกษาสามารถที่จะนำมาใช้กับการออกแบบทำงานต้นแบบกันได้มากขึ้น เพราะเครื่องที่สร้างสามารถใช้กับแผ่นพลาสติกได้ถึง 8 ขนาด กับพลาสติก พีวีซี เอบีเอสและแผ่นอะคริลิค ที่มีความหนาน้อยกว่า 2 มม. ลงมา โดยสามารถเลือกให้เหมาะสมกับขนาดชิ้นงานแม่แบบ ทำให้เกิดการประหยัดวัสดุรวมทั้งลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขึ้น รวมทั้งเหมาะกับสถานที่มหาวิทยาลัยศิลปากร (วังท่าพระ) ที่มีพื้นที่จำกัด โดยสามารถทำการเคลื่อนย้ายไปบนพื้นราบได้โดยล้อพัง สามารถที่จะทำงานปฏิบัติการได้ด้วยตัวเอง ใช้งานง่าย สะดวกและปลอดภัยขึ้น ซึ่งการออกแบบเครื่องครั้งนี้ ได้นำกับหลักการของ Terry A. Richardson (1974 , pp290-292) มาใช้ในช่วงของการสร้างเครื่องเกี่ยวกับขั้นตอนหลักของการทำงานทั้งหมด จนถึงขั้นได้ผลิตภัณฑ์ออกมา รวมทั้งได้ศึกษาหลักการทำงานของ Gerald L. Steele (1977 , pp165-171) ที่ผลิตเครื่องขึ้นรูปพลาสติกขนาดเล็กที่มีแนวทางเดียวกัน แต่จะมีเทคนิคการขึ้นรูปที่ตรงข้ามกันคือ การเคลื่อนแผ่นพลาสติกเข้าหาโมลแม่แบบแต่ผู้วิจัยใช้เทคนิคโมลแม่แบบเข้าหาแผ่นพลาสติกแทน รวมทั้งศึกษาผลการออกแบบและทดสอบของ สถาพร ล้อมไร่ (2546, หน้า1-67) ที่ได้สร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบสุญญากาศที่ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ ที่มีหลักการในการดูดแผ่นพลาสติกไปในแนวทางเดียวกัน ที่สามารถขึ้นรูปแผ่นพลาสติกที่มีความหนา 0.5 - 2.0 มม. ได้เหมือนกัน

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยที่ได้สร้างเครื่องขึ้นรูปแผ่นพลาสติกและได้ทำการทดสอบในครั้งนี้ สามารถที่จะเพิ่มเฟรมในการจับแผ่นพลาสติกให้มีขนาดที่ยาวขึ้นจากขนาดใหญ่ได้อีก 15 ซม. ส่วนความกว้างไม่สามารถขยายเพิ่มขึ้นได้ แต่ถ้าจะมีการออกแบบใหม่ควรเพิ่มความกว้างของพื้นที่เฟรมในการวางชิ้นงานให้มีขนาดกว้างออกไปอีก 20 ซม.เพื่อรองรับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ขึ้นแต่ด้วยเหตุผลในงานวิจัยที่ไม่ทำการขยายขนาดให้ใหญ่ไปกว่านี้เพราะใช้ข้อมูลจากการสำรวจเป็นหลัก รวมทั้งสถาบันได้มีเครื่องขนาดใหญ่รองรับอยู่แล้ว ปัญหาอีกส่วนหนึ่งที่พบควรลดความหนาของชั้นซิลิโคนที่ใช้ในการจับยึดแผ่นพลาสติกลงเพราะถ้าสูงเกินความจำเป็น เมื่อเวลาที่เครื่องดูดสุญญากาศอาจมีการหลุดเคลื่อนที่และเกิดการรั่วซึมขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

สถาพร ล้อมไร่. (2546). **การออกแบบเครื่องขึ้นรูปพลาสติกสุญญากาศเพื่อใช้ในการผลิตภัณฑ์รถยนต์.** วิศวกรรมการผลิต : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. **รายงานการสำรวจและวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย ระยะที่ 4 : 2543-2544.** กระทรวงอุตสาหกรรม, (อัดสำเนา)

Steele, G.L.(1977). **Exploring the World of Plastics.** Illinois : MyKnight Publishing Company

Baird, R. J. (1971). **Industrial Plastics.** Illinois :Goodheart-Willcox Co.,Inc.

Richardson T.A. (1974). **Modern Industrial Plastics.** Indianapolis: Howard w. Sams & Co.,Inc.,