

**การปรับปรุงความหนาเบ้าขาเทียม
โดยกระบวนการขึ้นรูปความร้อนด้วยสุญญากาศ
Improvement of Prosthetic Socket Thickness
by Thermal vacuum forming**

ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี¹* และ ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
*ผู้ติดต่อ: E-mail: chanyaphan.v@gmail.com โทรศัพท์: 02 218 6748-9, โทรสาร: 02 252 2889

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยมีผู้พิการขาขาดจำนวนมาก ทำให้ปริมาณการผลิตขาเทียมไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้พิการ ส่วนประกอบของขาเทียมที่สำคัญและผลิตได้ยากชิ้นหนึ่ง คือ เบ้าขาเทียมซึ่ง กรรมวิธีผลิตเบ้าขาเทียมที่ใช้ในประเทศไทยมีอยู่ 2 วิธี คือ การขึ้นรูปด้วยเรซิน และการขึ้นรูปความร้อนแบบสุญญากาศด้วยพลาสติก (Thermal vacuum forming) ซึ่งการขึ้นรูปความร้อนแบบสุญญากาศด้วยพลาสติก มีข้อดีกว่า คือ ขึ้นรูปได้รวดเร็วและปราศจากสารระเหยที่เป็นอันตรายต่อเจ้าหน้าที่ที่กายอุปกรณ์อย่างในวิธีการขึ้นรูปด้วยเรซิน แต่อย่างไรก็ตามการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ยังมีข้อเสียอยู่บ้างกล่าวคือเบ้าขาเทียมที่ได้มีความหนาไม่สม่ำเสมอ จึงต้องนำกลับมาซ่อมแซมอยู่บ่อยครั้ง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นหาเทคนิค เพื่อปรับปรุงความหนาของเบ้าขาเทียมในวิธีการขึ้นรูปความร้อนแบบสุญญากาศให้สม่ำเสมอมากขึ้น โดยใช้พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) หนา 7 มม. ขนาด 38 x 40 ซม. จากการศึกษาพบว่า หากพลาสติกขณะขึ้นรูปมีอุณหภูมิต่ำลงจะมีความหนืดมากขึ้นยึดตัวได้ยากขึ้น ส่งผลให้ความหนาของเบ้าขาเพิ่มขึ้นด้วย จึงเลือกใช้อัตราการป้อนแบบต่อขาดด้วยความเร็วขึ้นรูปค่อนข้างต่ำที่ 7 มม./วินาที ร่วมกับใช้พัดลม (Blower) เป่าระบายความร้อน แต่เบ้าขาที่ได้เกิดรอยจีบขึ้นซึ่งถือว่าเป็นเบ้าขาที่ชำรุด คณะผู้วิจัยจึงปรับปรุงเทคนิคใหม่ด้วยการใช้ Guide ring ซึ่งเป็นวงแหวนโลหะขนาดใกล้เคียงกับแบบต่อขาใช้เพื่อจำกัดเนื้อพลาสติกส่วนเกินไม่ให้เกิดรอยจีบ ร่วมกับการใช้พัดลมเป่า ผลการทดลองพบว่าเบ้าขาเทียมที่ได้ไม่เกิดรอยจีบ มีการกระจายความหนาที่สม่ำเสมอ และมีความหนาที่ตำแหน่งบางสุดมากกว่าความหนาที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการป้อนแบบต่อขาดด้วยความเร็วขึ้นรูปต่ำเพียงอย่างเดียวถึง 2.4 เท่า

คำหลัก: การขึ้นรูปความร้อนแบบสุญญากาศ เบ้าขาเทียม ขาเทียม ผู้พิการขาขาด

Abstract

Nowadays, the prosthetic legs are still not available for every leg amputees in Thailand. The important component of a prosthesis leg which is hard to fabricate is prosthesis socket. In Thailand, there are two socket fabrication methods that are resin casting and thermal vacuum method. The thermal vacuum forming method which can rapidly fabricate has more advantage than the resin casting method

that ruins prosthetists' health from the volatile matter. Nevertheless, the thermal vacuum forming method can fabricate the socket with poor wall thickness distribution. The purpose of this paper is to develop techniques to improve the prosthetic socket thickness by thermal vacuum forming. High density polyethylene (HDPE) plastics of 38 cm x 40 cm with 7 mm in thickness were used. The results show that the plastic with low temperature during forming became more viscous and difficult to be elongated. As the result, the plastic wall became high thickness. The technique of slow feed rate (7 mm/s) of stump mould upward and cool down the plastic sheet using blower in thermal vacuum forming process were utilized. Lower feeding up velocity and cool down with blower can increase heat transfer and improve thickness but cause small pleats around the socket, which are considered as defects. Improved technique using the invented metal 'Guide ring' and cooled down plastic sheet during forming process can restrain the excessive plastic and shaped it closer to the mold. This technique is not only increase the thickness with no pleat, but also improves thickness distribution as well. The thinnest location by the improved technique has the thickness 2.4 times thicker than the technique of only slow feed rate stump mould upward.

Keywords: Thermal vacuum forming, prosthetic socket, prosthetic leg, leg amputee

1. บทนำ

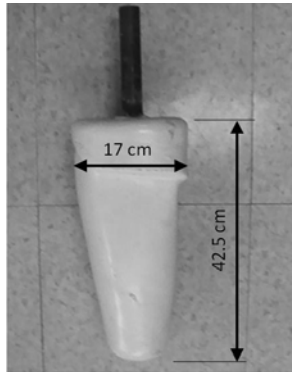
จากข้อมูลสำนักงานสถิติแห่งชาติ ผลสำรวจปี 2550 พบว่ามีผู้พิการสูญเสียขาที่จำเป็นต้องใส่ขาเทียมมากถึง 23,777 ราย [1] ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ทำให้ปริมาณการผลิตขาเทียมยังไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้พิการ

ส่วนสำคัญหนึ่งของขาเทียมคือ เบ้าขาเทียม ซึ่งเดิมการผลิตเบ้าขาเทียมนั้นใช้เรซิน ซึ่งใช้เวลาในการผลิตนาน และมีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อน แต่ปัจจุบันได้เริ่มพัฒนาโดยเปลี่ยนวัสดุเป็นแผ่นพลาสติก และใช้เทคนิคเทอร์โมฟอร์ม (Thermoforming) ขึ้นรูปด้วยสูญญากาศ เพื่อลดเวลาการผลิต แต่ยังพบว่าชิ้นงานบางชิ้นคุณภาพยังบกพร่องอยู่ ทำให้เสียเวลากับการซ่อมแซมโดยการหล่อเรซินเพิ่ม คณะผู้วิจัยได้มีงานวิจัยศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อความหนาชิ้นงานเบ้าขาเทียม [2] เพื่อการพัฒนาการผลิตให้ได้เบ้าขาเทียมที่มีคุณภาพเพื่อเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการพัฒนาและออกแบบกระบวนการผลิตเบ้าขาเทียมด้วยการขึ้นรูปความร้อนด้วยสูญญากาศ ให้สามารถลดเวลาการผลิตและให้ได้คุณภาพมากขึ้น โดยในงานวิจัยดังกล่าวได้ใช้พลาสติกชนิด โพลีโพรพิลีน (PP) ซึ่งมีความหนามากถึง 14 มม. ซึ่งเป็นขนาดความหนาที่ทำเฉพาะ

สำหรับขึ้นรูปเบ้าขาเทียม สาเหตุที่แผ่นพลาสติกที่ใช้มีความหนาตั้งต้นมากกว่าในแผ่นพลาสติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไปเนื่องจากรูปร่างของชิ้นงานที่นำมาขึ้นรูปในอุตสาหกรรมทั่วไปมีอัตราส่วนของขนาดฐานต่อความสูงต่ำ โดยมีอัตราส่วนประมาณ 0.7:1 ถึง 1.5:1 [3] และชิ้นงานที่ได้สำหรับการขึ้นรูปที่อัตราส่วนสูงมักจะบาง และไม่ได้ต้องการความแข็งแรงมากนัก ในขณะที่ต่อขามีอัตราส่วนสูง ดังเช่นอัตราส่วน 2.5:1 ดังรูปที่ 1 และเบ้าขาเทียมที่ได้หลังจากขึ้นรูปต้องการความหนาและความแข็งแรงที่เพียงพอ ทำให้เทคนิคที่ใช้ในอุตสาหกรรมขึ้นรูปพลาสติกทั่วไปในปัจจุบันยังนำมาประยุกต์ใช้กับการขึ้นรูปเบ้าขาเทียมไม่ได้

อย่างไรก็ตามการใช้แผ่นพลาสติกซึ่งมีความหนาเป็นพิเศษดังกล่าว จำเป็นต้องผลิตขึ้นโดยเฉพาะสำหรับขึ้นรูปเบ้าขาเทียมซึ่งปริมาณการผลิตน้อยมากเมื่อเทียบกับแผ่นพลาสติกที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม ทำให้ต้นทุนของแผ่นพลาสติกสำหรับขึ้นรูปเบ้าขาเทียมมีราคาสูง หากในการขึ้นรูปเบ้าขาเทียมสามารถใช้แผ่นพลาสติกที่ใช้งานในอุตสาหกรรมทั่วไปได้ จะทำให้หาแผ่นพลาสติกสำหรับขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น และมีราคาต้นทุนถูกลง

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคปรับปรุงความหนาเบาเข้าเทียมโดยกระบวนการขึ้นรูปความร้อนด้วยสุญญากาศโดยใช้แผ่นพลาสติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไปซึ่งมีความหนาไม่มาก



รูปที่ 1 ลักษณะและขนาดของแบบตอขาที่ใช้ในการทดลอง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตเข้าเทียมด้วยกระบวนการขึ้นรูปความร้อนด้วยสุญญากาศ [3]

การผลิตเข้าเทียมในปัจจุบันจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการสร้างแบบตอขา และขั้นตอนการสร้างเข้า หลังจากสร้างแบบตอขาแล้วการผลิตเข้าพลาสติกโดยใช้กระบวนการขึ้นรูปความร้อนด้วยสุญญากาศ (Thermal Vacuum forming) โดยใช้แผ่นพลาสติกแบบเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ชนิดโพลิโพรพิลีน (PP) หรือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)

กระบวนการจะเริ่มต้นด้วยการอบแผ่นพลาสติกให้ถึงจุดอ่อนตัวเพียงพอสำหรับการเปลี่ยนรูป จากนั้นจะใช้แรงดูดหรือแรงดันช่วยให้เนื้อพลาสติกแนบไปกับผิวของแม่พิมพ์ จากนั้นจึงปล่อยให้เย็นตัว ดังแสดงในรูปที่ 2 จุดเด่นกระบวนการขึ้นรูปความร้อนด้วยสุญญากาศนั้นสามารถขึ้นรูปได้รวดเร็ว อุปกรณ์และเครื่องมือในการขึ้นรูปไม่ซับซ้อนจึงมีราคาไม่สูง อย่างไรก็ตามถึงแม้การผลิตเข้าพลาสติกด้วยกระบวนการขึ้นรูปความร้อนด้วยสุญญากาศนี้จะมี ความรวดเร็วกว่าการผลิตเข้าด้วยเรซินเป็นอย่างมาก

แต่ก็ยังคงมีปัญหาในทางปฏิบัติ กล่าวคือกรรมวิธีในปัจจุบันยังไม่มี การควบคุมความหนาของเข้าไม่ให้บางเกินไป ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพในด้านความแข็งแรงของเข้าเทียม ทำให้เสียเวลากับการซ่อมแซมโดยการหล่อเรซินเพิ่ม



รูปที่ 2 การผลิตเข้าเทียมด้วยกระบวนการขึ้นรูปความร้อนด้วยสุญญากาศ

3. การเตรียมการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

การทดลองใช้แผ่นพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) หนาเพียง 7 มม. ขนาด 38 cm x 40 cm ซึ่งเป็นแผ่นพลาสติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมการขึ้นรูปพื้นปูกระเบื้อง ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3 โดยที่แผ่นพลาสติกมีการตีเส้นไว้เป็นวงกลมจากกึ่งกลางแผ่นทุกๆระยะ 1 cm เพื่อง่ายต่อการสังเกตและศึกษาการยืดตัวขณะขึ้นรูป แล้วยึดแผ่นพลาสติกกับแท่นยึดดังรูปที่ 4 เพื่อกันการหดตัวของพลาสติกขณะให้ความร้อน

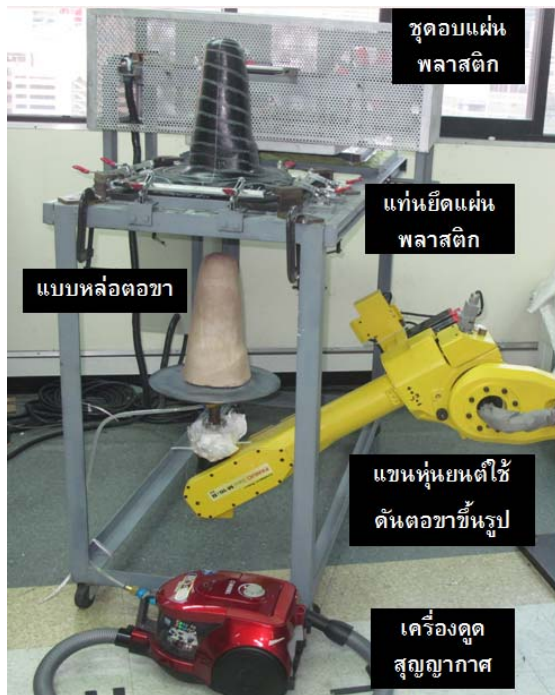
แบบตอขาที่ใช้สำหรับทดลอง ได้ใช้แบบตอขาจากอาสาสมัครของโรงพยาบาลทหารผ่านศึก ลักษณะตอขาเป็นแบบขาขาดข้างซ้ายและขาดเหนือหัวเข่า มีขนาดโดยประมาณดังรูปที่ 1



รูปที่ 3 แผ่นพลาสติก HDPE ในอุตสาหกรรม การขึ้นรูปพื้นปูกระเบื้อง



รูปที่ 4 การยัดแผ่นพลาสติกกับแท่นขึ้นรูป
ด้วยตัวจับยึดชิ้นงาน



รูปที่ 5 ชุดทดลองขึ้นรูปเบ้าชาเทียม

สำหรับชุดทดลองสำหรับขึ้นรูปเบ้าชาเทียมได้ออกแบบและสร้างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5 โดยมีส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่

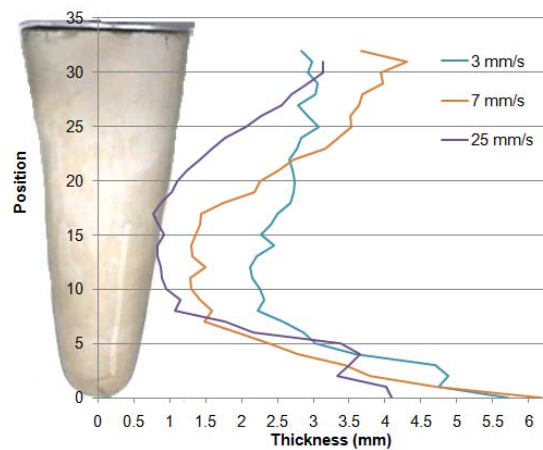
- ชุดอบแผ่นพลาสติก ได้ใช้ฮีตเตอร์ชนิด เซรามิก อินฟราเรด ขนาด 650 วัตต์ จำนวน 9 ตัว กำลังรวม 5850 วัตต์ สามารถให้ความร้อนได้สูงสุดถึง 600 องศาเซลเซียส
- แท่นยึดแผ่นพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 4
- แบบหล่อตอชา
- ชุดบ่อนตอชา ได้ใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม Fanuc รุ่น M-16iB/20T เพื่อควบคุมอัตราการบ่อน โดยจัดลักษณะการขึ้นรูปเป็นแบบบ่อนตัวแบบขึ้น
- เครื่องดูดสุญญากาศ

3.2 การวัดความหนาหน้าเบ้าชาเทียม

ข้อมูลที่เก็บจากการทดลองเพื่อพิจารณาความหนาของเบ้า โดยการผ่าเบ้าที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วเป็นสองส่วน มาทำการระบุตำแหน่ง โดยกำหนดให้ที่กึ่งกลางเบ้าเป็นตำแหน่ง 0 และตำแหน่งถัดไปทางด้านขวาเป็นบวก และด้านซ้ายเป็นลบ โดยแต่ละตำแหน่งห่างกัน 1 cm แล้วใช้ไมโครมิเตอร์วัดความหนาเพื่อ plot เป็นกราฟผลการทดลองต่อไป

4. ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองขึ้นรูปด้วยความเร็วคงที่ต่างๆ



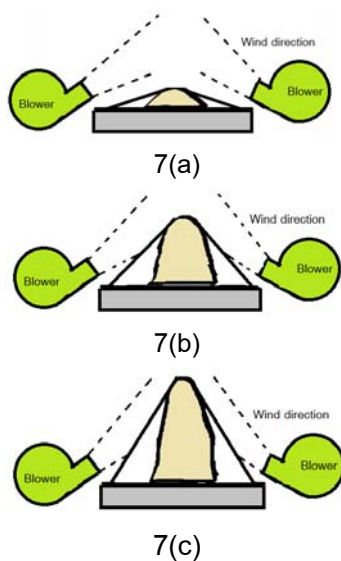
รูปที่ 6 ความหนาของเบ้าชาเทียมจาก
การขึ้นรูปที่ความเร็วคงที่ต่างๆ

เนื่องจากการขึ้นรูปเบ้าชาเทียมของหน่วยงานต่างๆ ในปัจจุบัน เจ้าหน้าที่กายอุปกรณ์ ใช้กระบอกลม (Pneumatic) ดันตอชาในการขึ้นรูป ซึ่งไม่สามารถควบคุมความเร็วในการขึ้นรูป ส่งผลให้เบ้าชาเทียมที่ได้ในแต่ละครั้งมีความหนาไม่เท่ากันและไม่คงที่ การทดลองนี้จึงมุ่งศึกษาถึงผลของความเร็วในการขึ้นรูปต่อความหนาเบ้าชาเทียม โดยทำการทดลองขึ้นรูปเบ้าชาเทียมโดยใช้ความเร็วต้นแบบหล่อตอชาคงที่ 3, 7 และ 25 มม./วินาที ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 6

จากผลการทดลองพิจารณาดำแหน่งที่ 5-20 จะเห็นได้ว่า เบ้าชาเทียมที่ขึ้นรูปด้วยความเร็วต่ำ มีความหนามากกว่าที่ความเร็วสูง เช่น ที่ความเร็ว 3 มม./วินาที ความหนาเป็น 2.27 เท่า เมื่อเทียบกับที่

25 มม./วินาที เนื่องจากการใช้ความเร็วต่ำจะมีเวลาให้พลาสติกถ่ายเทความร้อนออกได้มาก ทำให้อุณหภูมิลดลงได้มาก ส่งผลให้ความหนืดสูงขึ้น ทำให้พลาสติกยืดตัวได้ยาก ความหนาจึงมากขึ้น อย่างไรก็ตามความหนาที่ตำแหน่งบางสุดเมื่อใช้ความเร็ว 3 มม./วินาที จะมีความหนาประมาณ 2.5 มม. เมื่อลองกดดูพบว่า เบ้าขาเทียมสามารถยุบตัวได้ ซึ่งยังถือว่าบางเกินไปสำหรับการใช้งาน

4.2 การทดลองเป่าลม ลดอุณหภูมิขณะขึ้นรูป



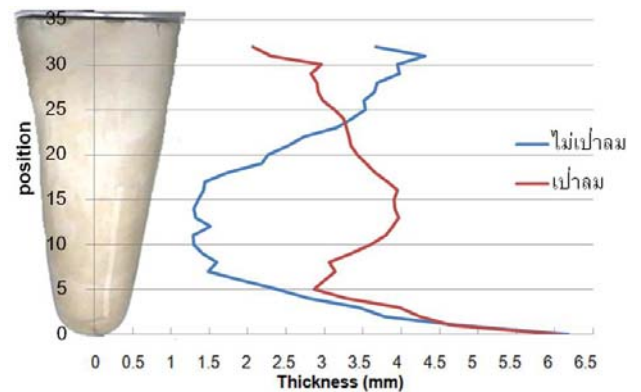
รูปที่ 7 แสดงตำแหน่งการเป่าลมที่ตำแหน่ง

7(a) ต้นเริ่มต้น 7(b) ต้นสูงขึ้น 7(c) ต้นสูงสุด

จากการทดลอง 4.1 พบว่าที่ตำแหน่งบางสุดยังมีความหนาไม่เพียงพอ จึงมีแนวคิดเพิ่มความหนาเฉพาะบริเวณที่บางด้วยการลดอุณหภูมิบริเวณนั้น จึงออกแบบให้ใช้ Blower เป่าลมในตำแหน่งที่บางดังแสดงในรูปที่ 7 เพื่อระบายความร้อนพลาสติกขณะขึ้นรูป โดยในการทดลองนี้เลือกใช้ความเร็วในการดันต่ออากาศที่ระดับกลาง 7 มม./วินาที และแสดงผลการทดลองในรูปที่ 8

จากผลการทดลองพบว่า เบ้าขาเทียมมีความหนาที่ตำแหน่งบางสุดเพิ่มมากขึ้นถึงประมาณ 2.4 เท่า และมีการกระจายตัวของความหนาดีขึ้น แต่พบว่าการรอยจิบเกิดรอบๆเบ้าขา ดังแสดงในรูปที่ 9 ทำให้ผิวเบ้าขาทั้งภายนอกและภายในไม่เรียบ ซึ่งถือเป็น

เบ้าขาที่ชำรุด จากการวิเคราะห์พบว่า รอยจิบเกิดจากสองสาเหตุ คือเนื้อพลาสติกที่ถูกดันขึ้นมามีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ผิวของตอขา และการที่ทำให้อุณหภูมิแผ่นพลาสติกในการขึ้นรูปลดต่ำเกินไป ทำให้เกิดการแข็งตัวเร็วส่งผลให้เนื้อพลาสติกไม่สามารถหดตัวแนบชิดตอขาได้ดี



รูปที่ 8 ความหนาของเบ้าขาเทียมจากการขึ้นรูปที่ความเร็วคงที่ พร้อมเป่าลมขณะขึ้นรูป

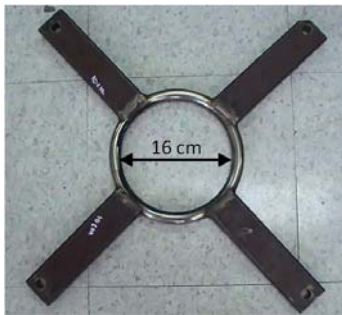


รูปที่ 9 เบ้าขาเทียมที่เกิดรอยจิบ

4.3 การทดลองใช้ Guide ring ลดรอยจิบ

จากการทดลอง 4.2 พบว่าการเป่าลมช่วยให้เพิ่มความหนา และมีการกระจายความหนาดีขึ้น แต่เกิดปัญหารอยจิบ ซึ่งน่าจะเกิดจากสาเหตุที่เนื้อพลาสติกที่ถูกดันขึ้นมามีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ผิวของตอขา การทดลองนี้จึงมีแนวคิดกำจัดรอยจิบด้วยการจำกัดเส้นรอบวงของพลาสติกที่จะขึ้นรูปไปเป็นเบ้าขาให้มีขนาดคงที่ และใกล้เคียงกับเส้นรอบวงของเบ้าขา ด้วย Guide ring ซึ่งเป็นวงแหวนโลหะผิวเรียบมัน ที่ติดตั้งเหนือแผ่นพลาสติก ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวง

แหวนใกล้เคียงกับขนาดตอขา ดังแสดงในรูปที่ 10 และเนื่องจากแผ่นพลาสติกหลังจากการอบมีอุณหภูมิสูง เมื่อสัมผัสโดยตรงกับ Guide ring ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ (อุณหภูมิห้อง) อาจทำให้พลาสติกถ่ายเทความร้อนให้แก่ Guide ring มาก และหนืดจนพลาสติกไม่สามารถยืดตัวและขึ้นรูปได้ ดังนั้น Guide ring ที่นำมาใช้จึงถูกอบให้มีอุณหภูมิสูงใกล้เคียงกับอุณหภูมิของพลาสติก และทำการขึ้นรูปเท้าขาเทียมที่ความเร็วคงที่ 7 มม./วินาที โดยแสดงการใช้ Guide ring ในการขึ้นรูปดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 10 Guide ring ที่ใช้ในการทดลอง

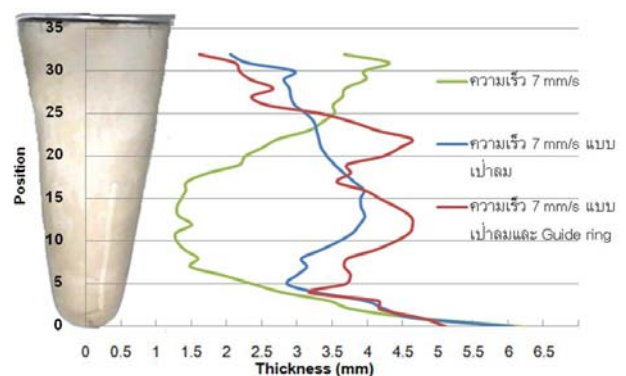


รูปที่ 11 การใช้ Guide ring ในการขึ้นรูป

นอกจากนี้ในการทดลองนี้ยังควบคุมอุณหภูมิแผ่นพลาสติกในขณะที่ขึ้นรูปไม่ให้ลดต่ำเกินไป เพื่อไม่ให้เกิดการแข็งตัวเร็ว ซึ่งจะส่งผลให้เนื้อพลาสติกไม่สามารถหดตัวแนบชิดตอขาได้ดีดังที่ไว้วิเคราะห์ไว้ใน การทดลอง 4.2 ด้วยการเปิด blower ระหว่างการขึ้นรูปไปถึงช่วงกลางตอขา ผลการทดลองพบว่า สามารถลดรอยจีบลงได้ ในขณะที่เท้าขาเทียมมีความหนาใกล้เคียงกับการเป่าลมเพียงอย่างเดียว โดยแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบความหนาของเท้าขาที่ใช้

Guide ring ร่วมกับการเป่าลม กับการขึ้นรูปโดยการเป่าลมเพียงอย่างเดียว และการขึ้นรูปปกติโดยไม่ได้เป่าลมดังแสดงในรูปที่ 12 จากกราฟเมื่อนำผลการทดลองทั้ง 3 แบบข้างต้นมาเปรียบเทียบกัน พบว่าความหนาของจุดที่บางที่สุดบนเท้าขาเทียมเป็น 3.2 มม., 2.7 มม. และ 1.3 มม.ตามลำดับ ซึ่งตำแหน่งบางสุดจากการทดลอง 4.3 นี้มากกว่าความหนาที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการป้อนแบบตอขาด้วยความเร็วขึ้นรูปต่ำเพียงอย่างเดียวถึง 2.4 เท่า เมื่อลองกดเท้าขาเทียมที่ขึ้นรูปได้ไม่เกิดการยุบตัว นอกจากนี้ความหนาที่ได้ยังมีการกระจายตัวที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการทดลองขึ้นรูปเท้าขาเทียมที่ความเร็วคงที่เพียงอย่างเดียว สังเกตได้จากเส้นวงกลมที่ดีไว้เพื่อสังเกตการยืดตัวมีความถี่สม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 11

อย่างไรก็ตามถึงแม้การใช้ Guide ring ร่วมกับการเป่าลมจะช่วยให้สามารถขึ้นรูปเท้าขาเทียมให้มีความหนามาก ลดรอยจีบ และมีการกระจายความหนาที่ดี แต่การใช้ Guide ring ก็ยังคงมีขั้นตอนที่ยุ่งยากในทางปฏิบัติอยู่ เนื่องจากต้องมีการอบ Guide ring ให้มีอุณหภูมิสูงใกล้เคียงกับอุณหภูมิของพลาสติก นอกจากนี้ยังต้องเตรียมขนาดของ Guide ring ไว้หลายขนาด เนื่องจากจะต้องเลือก Guide ring ให้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคนตอขาซึ่งแตกต่างกันไปในผู้พิการแต่ละคน ซึ่งคณะผู้วิจัยจะนำไปพัฒนาต่อเพื่อลดความยุ่งยากดังกล่าว



รูปที่ 12 เปรียบเทียบความหนาของเท้าขาที่ใช้ Guide ring ร่วมกับการเป่าลม, การเป่าลมเพียงอย่างเดียว และการขึ้นรูปปกติ

6. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาเทคนิคปรับปรุงความหนาแน่นของเบ้าขาเทียมโดยกระบวนการขึ้นรูปความร้อนด้วยสุญญากาศโดยใช้แผ่นพลาสติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมการขึ้นรูปแผ่นปูกระเบื้องที่มีความหนาตั้งต้นเพียง 7 มม. ให้มีความหนาแน่นขึ้นอย่างสม่ำเสมอได้โดยไม่เกิดรอยฉีกและหลังจากขึ้นรูปเบ้าขาเทียมด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นพบว่าความหนาของจุดที่บางที่สุดบนเบ้าขาเทียมเป็น 3.2 มม. ซึ่งหนามากกว่าการขึ้นรูปปกติซึ่งควบคุมความเร็วในการป้อนท่อเข้าเพียงอย่างเดียวถึง 2.4 เท่า

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากทุนส่งเสริมการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ และได้รับการให้ความอนุเคราะห์แผ่นพลาสติก HDPE สำหรับใช้ในการทดลองจากบริษัทตะวันออกโพลีเมอร์อุตสาหกรรม จำกัด

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] National Statistical Office, Ministry of Information and Communication Technology, (2007), *Statistic Data*, URL: <http://www.nso.go.th>, access on 10/01/2011.
- [2] ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ, ชัญญาพันธ์ วิรุพหศรี, ชีรภัทร์ ต้นไชย, วีรวิทย์ เบญจบุญยสิทธิ์, นพรัตน์ รัตนพิบูลย์มณี และ สุชาญวุฒิ พรหมโนมัย (2553). การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาของเบ้าขาเทียมโดยกระบวนการขึ้นรูปความร้อนด้วยสุญญากาศ. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24*, จังหวัดอุบลราชธานี
- [3] Yemm & Hart, Contract Products, *Thermoforming HDPE Parts*, URL: http://www.yemmhart.com/pdf_files/contractproducts/TIB-81Thermoforming.pdf, access on 31/01/2011.