

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24  
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

**การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาของเท้าเทียม  
โดยกระบวนการขึ้นรูปความร้อนด้วยสุญญากาศ**

**The study of factors influencing thickness of the prosthetic socket by  
Thermal Vacuum Forming Process**

ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ<sup>1</sup>, ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี<sup>1</sup>, ชีรภัทร์ ดันไชย<sup>1</sup>, วีรวิชญ์ เบญจบุญยสิทธิ์<sup>1</sup>,  
นพรัตน์ รัตนพิบูลย์มณี และ สุชาญวุฒิ พรหมโณมัย<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

\* ติดต่อ: โทรศัพท์: 02 218 6749, โทรสาร: 02 252 2889

**บทคัดย่อ**

ส่วนสำคัญหนึ่งของการพัฒนาขาเทียมคือผลิตเท้าเทียมที่มีคุณภาพ ซึ่งเดิมการผลิตเท้าเทียมใช้การหล่อเรซิน แต่ปัจจุบันได้เริ่มเปลี่ยนวัสดุมาเป็นโพลีโพรพิลีนและใช้กระบวนการขึ้นรูปความร้อนด้วยสุญญากาศเพื่อลดเวลาการผลิตแต่ยังพบว่าชิ้นงานที่ได้มีความหนาไม่สม่ำเสมอบางครั้งชิ้นงานมีบางส่วนบางมากจนใช้ไม่ได้หรือต้องซ่อม ดังนั้นบทความนี้จึงเป็นการศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของเท้าเทียมในด้านการกระจายความหนาของเท้าเทียม จากการทดลองพบว่าการลดอัตราการป้อนแบบต่อขาช่วยเพิ่มความหนาเฉพาะบริเวณกลางเท้าเท่านั้น การเพิ่มฉนวนความร้อนรูปวงแหวนมีผลต่อการเพิ่มความหนาได้น้อย ส่วนการเพิ่มฉนวนความร้อนแบบวงกลมสามารถเพิ่มความหนาของเท้าเทียมได้ดี และการเพิ่มความหนืดของพลาสติกโดยลดอุณหภูมิสามารถเพิ่มความหนาของเท้าเทียมได้ดีและยังสามารถย้ายจุดที่มีความหนาน้อยที่สุดหรืออ่อนแอที่สุดออกห่างแนวกลางเท้าเทียมได้

**คำหลัก:** เท้าเทียม, ขาเทียม, การขึ้นรูปสุญญากาศ

**Abstract**

An important point of the artificial leg development is fabrication of high quality of prosthetic socket. Normally, the resin forming process has been used to fabricate the socket. Nowadays, polypropylene starts to be used by the thermal vacuum forming process instead of resin forming process. Although, it can reduce manufacturing time, thickness distribution of the socket is still not uniform. Sometimes it needs to be fixed or becomes unusable. In this paper, various factors influencing thickness of the prosthetic socket were studied such as feed rate of positive mold, temperature distribution and viscosity of polypropylene. The experiments shown that lower feed rate can only increase thickness around the central area of the socket. Ring type insulators have less effect on thickness, but circular type insulator can increase thickness effectively. Higher viscosity of polypropylene also increases thickness effectively. Moreover, it can move the thinnest zone far away from the central area of the socket.

**Keywords:** Prosthetic socket, artificial leg, Thermal vacuum forming

## 1. บทนำ

จากสถิติจำนวนผู้พิการขาขาดที่เพิ่มขึ้น [1] ส่งผลต่อความต้องการขาเทียมเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนสำคัญหนึ่งของขาเทียมคือ เบ้าขาเทียม เดิมการผลิตเบ้าขาเทียมนั้นใช้เรซิน ซึ่งใช้เวลาในการผลิตนาน และมีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อน แต่ปัจจุบันได้เริ่มพัฒนาโดยเปลี่ยนวัสดุเป็นแผ่นโพลีโพรพีลีน และใช้เทคนิคเทอร์โมฟอร์ม (Thermoforming) ขึ้นรูปด้วยสูญญากาศ เพื่อลดเวลาการผลิต แต่ยังพบว่าชิ้นงานบางชิ้นคุณภาพยังบกพร่องอยู่ ทำให้เสียเวลากับการซ่อมแซมโดยการหล่อเรซินเพิ่ม ดังนั้นการพัฒนาการผลิตให้ได้เบ้าที่มีคุณภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งบทความนี้ได้กล่าวถึงการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อความหนาชิ้นงานเบ้าขาเทียม ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการพัฒนาและออกแบบกระบวนการผลิตเบ้าขาเทียมด้วยการขึ้นรูปความร้อยด้วยสูญญากาศ ให้สามารถลดเวลาการผลิตและให้ได้คุณภาพมากขึ้น

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การผลิตเบ้าขาเทียม [2]



รูปที่ 1 การผลิตเบ้าขาเทียมด้วยเรซิน



รูปที่ 2 การผลิตเบ้าขาเทียมด้วยพลาสติก

การผลิตเบ้าขาเทียมในปัจจุบันจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการสร้างตอขาจำลองและขั้นตอนการสร้างเบ้า ด้วยเทคโนโลยีการผลิตขาเทียมในปัจจุบันสามารถแบ่งตามลักษณะของตอขาเป็น 2 แบบ คือแบบที่ใช้ตอขาปูนและแบบที่ใช้ตอขาทราย จากนั้นด้วยตอขาแต่ละแบบสามารถนำมาผลิตเป็นเบ้าได้ด้วยวัสดุ 2 แบบ คือเบ้าเรซิน (Resin) ดังแสดงในรูปที่ 1 และเบ้าพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 2 ตามลำดับ หลังจากได้เบ้าขาเทียมแล้วขั้นตอนต่อไปคือการนำเบ้าไปประกอบกับตัวขาเทียม ซึ่งต้องถูกหลักกายวิภาคโดยใช้การจัดแนว (Bench alignment) และเพื่อให้เดินได้อย่างเป็นธรรมชาติ จะต้องให้คนไข้ลองสวมและเดินเพื่อสังเกตท่าเดินและอาการของตอขาจะได้นำการแก้ไขให้ถูกต้อง เมื่อผู้พิการเดินได้ดีก็นำไปตกแต่งให้เป็นรูปขาต่อไป

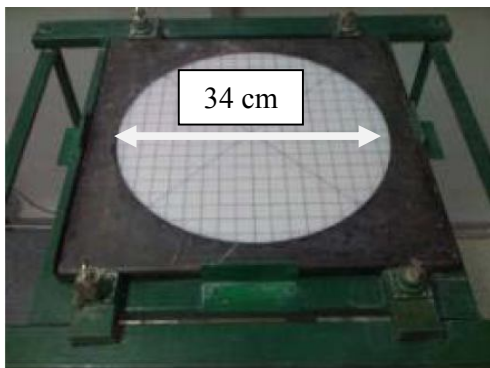
### 2.2 กระบวนการขึ้นรูปความร้อยด้วยสูญญากาศ

การผลิตเบ้าพลาสติกดังแสดงในรูปที่ 2 นั้น จะใช้กระบวนการขึ้นรูปความร้อยด้วยสูญญากาศ (Thermal Vacuum forming) โดยเริ่มต้นด้วยการอบแผ่นพลาสติกแบบ Thermoplastic ให้ถึงจุดอ่อนตัวเพียงพอสำหรับการเปลี่ยนรูป จากนั้นจะใช้แรงดูดหรือแรงดันช่วยให้เนื้อพลาสติกแนบไปกับผิวของแม่พิมพ์ จากปล่อยให้เย็นตัวจนมีความเค้นกลับคืนจุดเด่นกระบวนการขึ้นรูปความร้อยด้วยสูญญากาศนั้นสามารถใช้ได้กับชิ้นงานขนาดใหญ่ ชิ้นงานที่บาง ชิ้นงานที่น้ำหนักเบา ชิ้นที่แบบสามมิติ ขึ้นรูปได้รวดเร็ว อุปกรณ์และเครื่องมือในการขึ้นรูปไม่ซับซ้อน จึงมีราคาไม่สูง และที่สำคัญคือวัสดุที่เหลือจากการเล็ม (trim) หรือตัดขอบชิ้นงานสามารถนำกลับมาหลอมเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตได้อีก อย่างไรก็ตามถึงแม้การผลิตเบ้าพลาสติกด้วยกระบวนการขึ้นรูปความร้อยด้วยสูญญากาศนี้จะมีผลเร็วกว่าการผลิตเบ้าด้วยเรซินเป็นอย่างมาก แต่ก็ยังคงมีปัญหาในทางปฏิบัติ กล่าวคือกรรมวิธีในปัจจุบันยังไม่มีมาตรการควบคุมความหนาของเบ้าไม่ให้บางเกินไป ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพในด้านความแข็งแรงของเบ้าขาเทียม

### 3. การเตรียมการทดลอง

#### 3.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

การทดลองใช้แผ่นโพลีโพรพีลีน 410 mm x 410 mm x 14 mm โดยที่แผ่นพลาสติกมีการตีตารางเอาไว้เพื่อสำหรับการยึดตัวดังรูปที่ 3 มาทำการรอบด้วยเตาอบ small fisher scientific ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จากนั้นขึ้นรูปด้วยสูญญากาศโดยใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม Fanuc รุ่น M-16iB/20T เพื่อควบคุมอัตราการป้อน โดยจัดลักษณะการขึ้นรูปเป็นแบบป้อนตัวแบบขึ้นดังรูปที่ 4 ส่วนแผ่นพลาสติกนั้นวางไว้บนชุดจับยึดอย่างมั่นคง และขณะที่ท่ออากาศดันขึ้นจะเปิดชุดดูดสูญญากาศ เพื่อให้พลาสติกแนบไปกับท่อ และได้ขนาดที่ถูกต้อง



รูปที่ 3 แผ่นโพลีโพรพีลีนขนาด 410 mm x 410 mm x 14 mm และมีการตีตารางเอาไว้เพื่อสำหรับการยึดตัว



รูปที่ 4 การควบคุมความเร็วป้อนท่อด้วยหุ่นยนต์อุตสาหกรรม



รูปที่ 5 ลักษณะและขนาดของแบบท่อที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับแบบท่อที่ใช้สำหรับทดลอง ได้ใช้แบบท่อจากอาสาสมัครของโรงพยาบาลทหารผ่านศึก ลักษณะท่อเป็นแบบขาขาดข้างซ้ายและขาดเหนือหัวเข้า มีขนาดโดยประมาณดังรูปที่ 5

#### 3.2 การออกแบบการทดลอง

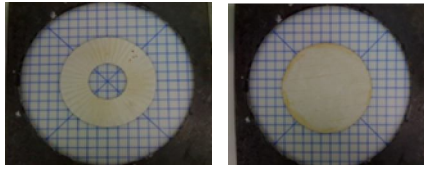
งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเบ้ากับตัวแปร 3 ประการคือ

##### 3.2.1 อัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate)

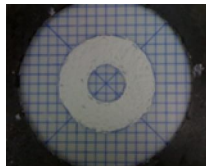
อัตราความเร็วในการป้อนชิ้นงานในการขึ้นรูปนั้นควบคุมด้วยหุ่นยนต์อุตสาหกรรม โดยทำการทดลองที่อัตราความเร็วในการป้อนชิ้นงาน 5 ค่าคือ 4.2, 4.7, 12.45, 90 และ 166 mm/s โดยอบพลาสติกที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

##### 3.2.2 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิบนแผ่นพลาสติก (Temperature Distribution)

โดยการกระจายตัวของอุณหภูมิในเนื้อแผ่นพลาสติกถูกควบคุมโดยการวางฉนวนความร้อนไว้บนแผ่นพลาสติกขณะทำการอบ ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้ฉนวน 3 แบบคือ ฉนวนแผ่นไม่ก้ำหุ้มด้วยผ้าฉนวนใยแก้วแบบเป็นวงแหวนและแบบเป็นวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 6(ก) และ 6(ข) ฉนวนอีกชนิดที่ใช้เป็นการโรยแป้งเป็นวงแหวนบนเนื้อพลาสติกดังแสดงในรูปที่ 6(ค) โดยฉนวนวงกลมจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 mm ส่วนฉนวนวงแหวนจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 80 mm และอัตราการป้อนท่อ 166 mm/s

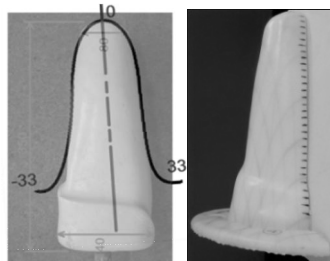


6(ก) การวางฉนวนแผ่น 6(ข) การวางฉนวนแผ่น  
ไม้ก้ำแบบวงแหวน ไม้ก้ำแบบวงกลม



6(ค) การวางฉนวนรอย  
แป้นแบบวงแหวน

รูปที่ 6 การวางฉนวนแบบต่างๆ เพื่อควบคุมการ  
กระจายตัวของอุณหภูมิบนแผ่นพลาสติก



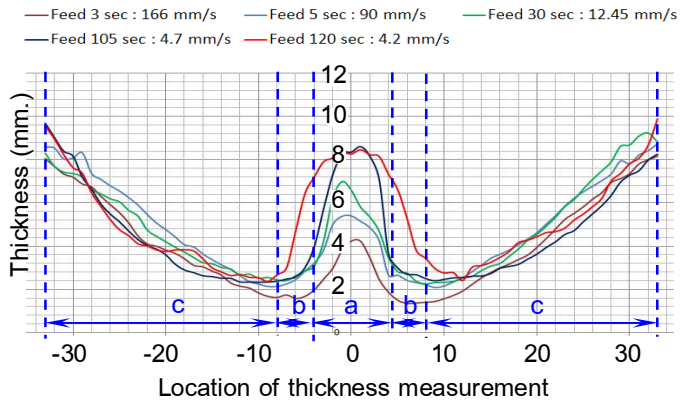
รูปที่ 7 ซ้ายแสดงตำแหน่งข้อมูลการวัดความหนา,  
ขวาแสดงการขีดตำแหน่งเพื่อทำการวัดความหนา

### 3.2.3 ความหนืด (Plastic Viscosity)

สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์  
ระหว่างความหนาของเบ้ากับความหนืดนั้น ได้ใช้  
วิธีการอบแผ่นพลาสติกจนถึงอุณหภูมิ 200 องศา  
เซลเซียสก่อนเพื่อให้เนื้อพลาสติกไหลที่ขึ้นรูปได้  
จากนั้นลดอุณหภูมิของตู้อบลงเหลือ 140, 150 และ  
175 องศาเซลเซียส เพื่อปรับความหนืดของพลาสติก  
ก่อนขึ้นรูป ด้วยอัตราการป้อนต่อขา 12.45 mm/s

### 3.3 การเก็บข้อมูลการทดลอง

ข้อมูลที่เก็บจากการทดลองเพื่อพิจารณาความ  
หนาของเบ้า (Thickness) โดยการผ่าเบ้าที่ผ่านการ  
ขึ้นรูปแล้วเป็น 2 ส่วน มาทำการขีดตำแหน่งการวัดที่  
ขอบโดยรอบห่างกันจุดละ 1 cm. ทั้งหมด 67 จุด  
ข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 7 จากนั้นใช้ไมโครมิเตอร์วัด  
ความหนาเพื่อ plot เป็นกราฟผลการทดลองต่อไป



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตรา  
ความเร็วต่างๆ ในการป้อนแบบต่อขา กับความหนา  
ของเบ้าขาเทียมที่ตำแหน่งการวัดความหนาต่างๆ

## 4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

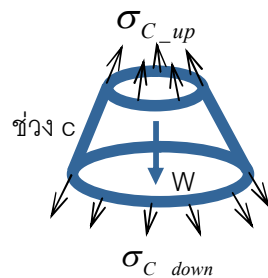
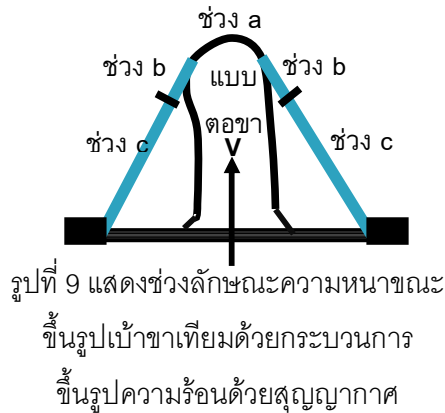
### 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนแบบต่อ ขา (Feed Rate) และความหนาของเบ้า

ผลการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง  
อัตราการป้อนแบบต่อขากับความหนาของเบ้า โดย  
ควบคุมอัตราการป้อนด้วยหุ่นยนต์อุตสาหกรรม 5 ค่า  
คือ 4.2, 4.7, 12.45, 90 และ 166 mm/s ได้แสดงอยู่  
ในกราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 8

จากผลการทดลองในรูปที่ 8 พบว่าความหนา  
ของเบ้าขาเทียมจะมีค่าสูงในช่วงขอบที่ยึดแผ่น  
พลาสติกมีค่าประมาณ 8 mm. เท่าๆ กันในทุกอัตรา  
การป้อนแบบต่อขา และค่าความหนามีแนวโน้มลดลง  
มาเรื่อยๆ เมื่อเข้ามามากกลางเบ้าขาเทียม และเพิ่มสูงขึ้น  
อีกครั้งเมื่อเข้ามาใกล้กลางเบ้าขาเทียม ซึ่งทำให้  
สามารถแบ่งลักษณะการกระจายความหนาของเบ้าขา  
เทียมได้เป็น 3 ช่วงดังนี้ คือ

- ช่วงที่ด้านบนของแบบต่อขาสัมผัสกับพลาสติก (ช่วง a)
- ช่วงที่พลาสติกถูกยึดเป็นเส้นตรงถัดจากด้านบนของแบบต่อขา (ช่วง b) และ
- ช่วงพลาสติกถูกยึดเป็นเส้นตรงจากด้านล่างที่ยึดแผ่นพลาสติก (ช่วง c)

ดังแสดงช่วงลักษณะความหนาแต่ละช่วงในรูปที่ 9



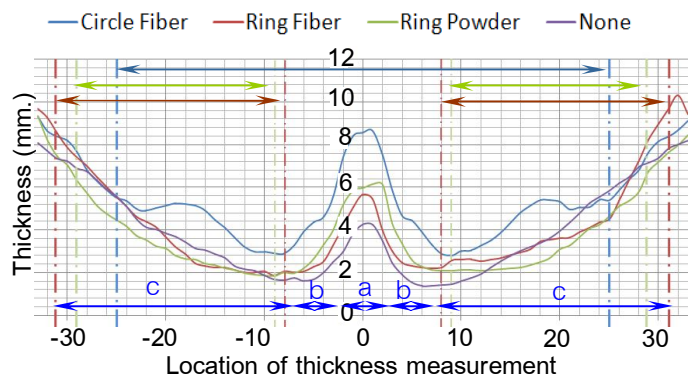
โดยสามารถวิเคราะห์ลักษณะความหนาที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงได้ดังนี้

- **ช่วง c** ความหนาของเบ้าเข้าเทียมมีค่าสูงในช่วงขอบที่ยึดแผ่นพลาสติกและมีแนวโน้มจะลดลงมาเรื่อยๆ เมื่อเข้ามามากกลางเบ้าเข้าเทียมทั้งนี้เนื่องจากผลของความเค้นที่เกิดขึ้น โดยความเค้นมีสาเหตุมาจากน้ำหนักของเนื้อพลาสติก และแรงดึงในเนื้อพลาสติกขณะป้อนแบบตอลง โดยน้ำหนักของเนื้อพลาสติกจะส่งผลให้เกิดความเค้นสูงที่ด้านบนของช่วง c มากกว่าด้านล่าง ประกอบกับรูปร่างของพลาสติกช่วง c เป็นลักษณะทรงกรวยดังรูปที่ 10 ทำให้ขณะป้อนแบบตอลงพื้นที่บริเวณด้านบนของช่วง c มีค่าน้อยกว่าด้านล่างซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า ความเค้นที่เกิดขึ้นจึงต่ำที่บริเวณขอบที่ยึดแผ่นพลาสติกและสูงขึ้นที่บริเวณด้านบนของช่วง c ดังแสดงในรูปที่ 10 ขณะป้อนแบบตอลงขึ้นจึงทำให้ด้านบนของช่วง c ซึ่งเกิดความเค้นสูงกว่าถูกยึดตัวออกมากความหนาจึงบางกว่าด้านล่าง

- **ช่วง a** เป็นบริเวณที่พลาสติกสัมผัสกับแบบตอลงโดยตรงซึ่งมีอุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ในขณะที่เนื้อพลาสติกมีอุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส ดังนั้นขณะป้อนแบบตอลงขึ้นความร้อนในเนื้อพลาสติกจะถ่ายเทมายังแบบตอลงทำให้อุณหภูมิพลาสติกลดลง พลาสติกบริเวณนี้จึงมีความหนืดมากขึ้นทำให้ยึดตัวได้น้อย ช่วง a จึงหนามาก นอกจากนี้เมื่อลดความเร็วในการป้อนแบบตอลงลงเรื่อยๆ ความหนาของช่วง a ก็ยังเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากความเร็วในการป้อนแบบตอลงลงเป็นการเพิ่มเวลาให้ความร้อนถ่ายเทจากพลาสติกไปยังแบบตอลงมากขึ้นทำให้พลาสติกมีความหนืดมากขึ้นยึดตัวได้น้อยนั่นเอง

- **ช่วง b** ถึงแม้ขณะป้อนแบบตอลงขึ้นความเค้นบริเวณนี้จะสูงเช่นเดียวกับบริเวณด้านบนของช่วง c ก็ตาม แต่เนื่องจากแบบตอลงมีอุณหภูมิห้องขณะป้อนจึงทำให้บริเวณนี้มีอุณหภูมิลดลงด้วย ดังนั้นความหนืดในเนื้อพลาสติกบริเวณนี้จึงสูงเช่นกัน เนื่องจากเป็นช่วงที่อยู่ใกล้แบบตอลงมาก ผลของความหนืดนี้จะค่อยๆ ลดลงจากกลางเบ้าเข้าเทียมซึ่งหนามากจนมาถึงตอนบนของช่วง c ซึ่งผลของความเค้นจะมีมากกว่าดังที่ได้อธิบายในช่วง c แล้ว

#### 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิบนแผ่นพลาสติก (Temperature Distribution) และความหนาของเบ้า



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของอุณหภูมิตามแผ่นพลาสติก จากการวางฉนวนความร้อนแบบต่างๆ กับความหนาของเบ้าเข้าเทียม

ผลการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของอุณหภูมิบนแผ่นพลาสติก ที่มีผลต่อความหนาของเบ้า โดยควบคุมการกระจายตัวของอุณหภูมิในเนื้อแผ่นพลาสติกด้วยการวางฉนวนความร้อนแบบต่างๆ ไว้บนแผ่นพลาสติกขณะทำการอบ ดังได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.2 ได้แสดงอยู่ในกราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 11

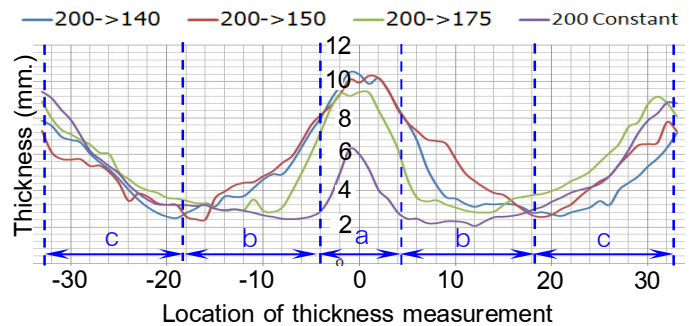
จากรูปที่ 11 ความหนาของเบ้าขาเทียมจะมีค่าสูงในช่วงขอบที่ยึดแผ่นพลาสติกและมีแนวโน้มจะลดลงมาเรื่อยๆ เมื่อเข้ามากลางเบ้าขาเทียมและจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อเข้ามาใกล้กลางเบ้าขาเทียม สามารถแบ่งลักษณะการกระจายความหนาของเบ้าขาเทียมได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วง a ช่วง b และ ช่วง c ตามลำดับเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 11

- การเพิ่มฉนวนกันความร้อนเป็นรูปวงแหวน (Ring Powder และ Ring Fiber) ทำให้เพิ่มความหนาบริเวณช่วง a ได้บ้างแต่ไม่ทำให้เพิ่มความหนาช่วง c ได้ แม้จะมีฉนวนวงแหวนกันอยู่ เนื่องจากความร้อนยังคงถ่ายเทผ่านพื้นที่บริเวณวงในของวงแหวนเข้าไปในเนื้อพลาสติกช่วง c ได้

- กรณีกันความร้อนด้วย Circle Fiber (บริเวณระหว่างตำแหน่งวัดความหนาที่ระยะ -25 ถึง 25 ในรูปที่ 11) ทำให้ความหนาของเบ้าขาเทียมเพิ่มขึ้นได้โดยบริเวณที่บางที่สุดจาก 2 mm. เพิ่มขึ้นเป็น 3 mm. ได้ และจะเห็นได้ว่าความหนาทั้งช่วงใต้แผ่นฉนวนดังกล่าวเพิ่มขึ้นทั้งช่วง ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนไม่สามารถผ่านเข้าไปได้สะดวกจึงทำให้บริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิที่ต่ำลงความหนืดของพลาสติกสูงขึ้นจึงยึดตัวได้น้อยความหนาจึงเพิ่มขึ้น

#### 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างผลของความหนืดของพลาสติก และความหนาของเบ้า

ผลการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเพิ่มความหนืดของพลาสติกที่มีผลต่อความหนาของเบ้า โดยการลดอุณหภูมิที่อบแผ่นพลาสติกลงมาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังที่ได้อธิบายการเตรียมการทดลองไว้ในหัวข้อ 3.2.3 ได้แสดงอยู่ในกราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดต่างๆ กับความหนาของเบ้าขาเทียม

จากรูปที่ 12 ความหนาของเบ้าขาเทียมจะมีค่าสูงในช่วงขอบที่ยึดแผ่นพลาสติกและมีแนวโน้มจะลดลงมาเรื่อยๆ เมื่อเข้ามากลางเบ้าขาเทียมและจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อเข้ามาใกล้กลางเบ้าขาเทียม สามารถแบ่งลักษณะการกระจายความหนาของเบ้าขาเทียมได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วง a ช่วง b และ ช่วง c ตามลำดับเช่นกันดังแสดงในรูปที่ 12

จากผลการทดลองในรูปที่ 12 พบว่าการเพิ่มความหนืดหรือลดอุณหภูมิลงทำให้ความหนาของทั้งช่วง a และช่วง b เพิ่มขึ้น เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีผลของทั้งการลดอุณหภูมิทำให้ความหนืดในเนื้อพลาสติกเพิ่มขึ้นแล้วยังมีผลจากแบบตอขาที่มีอุณหภูมิห้องขณะป้อนแบบตอขา

ส่วนช่วง b ของแต่ละกรณีจะกว้างต่างกันโดยยิ่งลดอุณหภูมิลงมากจะยิ่งทำให้ความกว้างของช่วง b เพิ่มมากขึ้น หรือทำให้จุดบางสุดเคลื่อนตัวห่างออกจากแนวกลางเบ้าขาเทียมมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลของความหนืดน่าจะมีอิทธิพลมากกว่าความเค้นในบริเวณดังกล่าวนั่นเอง

#### 5. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาถึงปัจจัยอัตราการป้อนแบบตอขา ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิบนแผ่นพลาสติก และการเพิ่มความหนืดให้กับพลาสติกด้วยการลดอุณหภูมิ ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ส่งผลต่อความหนาของเบ้าขาเทียมได้ดังนี้

1. ปัจจัยด้านอัตราการป้อนแบบตอขาช่วยเพิ่มความหนาเฉพาะบริเวณกลางเบ้าได้โดยการลดอัตราการป้อนแบบตอขา
2. ปัจจัยด้านลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิบนแผ่นพลาสติก พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิรอบรูวงแหวนมีผลต่อการเพิ่มความหนาได้น้อย ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิบนแบบวงกลมสามารถเพิ่มความหนาของเบ้าขาเทียมได้ดี
3. ปัจจัยด้านการเพิ่มความหนาของพลาสติก สามารถเพิ่มความหนาของเบ้าขาเทียมได้ดีและยังสามารถย้ายจุดที่มีความหนาน้อยที่สุดหรืออ่อนแอที่สุดห่างออกจากแนวกลางเบ้าขาเทียมได้

## **6. กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณ มูลนิธิขาเทียม ในสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และให้ความอนุเคราะห์แผ่นพลาสติกโพลีโพรพิลีนในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณโรงพยาบาลทหารผ่านศึกที่ให้คำปรึกษาแนะนำเป็นอย่างดี

## **7. เอกสารอ้างอิง**

- [1] สำนักงานสถิติแห่งชาติ, สถิติคนพิการ, แหล่งที่มา [http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/themes/the\\_me\\_2-5-4.html](http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/themes/the_me_2-5-4.html), เข้าดูเมื่อวันที่ 8/01/2553.
- [2] มูลนิธิขาเทียม ในสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี (2550). เชียงใหม่: การทำขาเทียมเหนือขาแบบเบ้า M.A.S. พิมพ์ครั้งที่ 5