

# การศึกษาเชิงเปรียบเทียบของการกดขึ้นรูปฝ่าเท้าด้วยฟีนอลิกโฟม และเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าแบบใหม่

## Comparative Study of Foot Sole Impression Using Phenolic Foam and Novel Foot Sole Impression Machine

วิรุพท์ ทวีเหลือ มนต์ศักดิ์ พิมสาร

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

ผู้ป่วยเบาหวานที่มีภาวะแทรกซ้อนทางระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral Neuropathy) มักจะมีปัญหาแผลกดทับฝ่าเท้าได้ง่ายกลายเป็นแผลเรื้อรัง ซึ่งมีสาเหตุสำคัญจากการกระจายน้ำหนักที่ฝ่าเท้าไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงมีการนำแผ่นรองฝ่าเท้าเฉพาะบุคคลมาใช้กับผู้ป่วย เพื่อลดแรงกระทำที่มีมากที่สุดจุดหนึ่งและกระจายน้ำหนักให้ทั่วทั้งฝ่าเท้า ในการผลิตแผ่นรองฝ่าเท้าเฉพาะบุคคล ขั้นตอนการเก็บขนาดฝ่าเท้าปัจจุบันใช้ฟีนอลิกโฟมพิมพ์เท้าซึ่งใช้ครั้งเดียวและต้องทิ้งเป็นขยะ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าแบบใหม่ ที่ให้รูปฝ่าเท้าที่มีความใกล้เคียงกับรูปฝ่าเท้าที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้า สามารถใช้ซ้ำได้ไม่ก่อให้เกิดขยะและใช้งานได้ง่าย เครื่องที่พัฒนาขึ้นมาใหม่มีความมั่นใจ (Confidence level) อยู่ในระดับ 89.9 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าความผิดพลาด  $\pm 1$  มิลลิเมตร ผลการศึกษาเชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องเทียบกับการวัดจากโฟมพิมพ์เท้า ของผู้ป่วยโรคเบาหวานจำนวน 25 คน พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความยาวเท้า ความกว้างเท้าส่วนหน้า B, B.1, ความกว้างส่วนโค้งเท้า C, C.1, ความกว้างของส้นเท้า D, D.1, ความสูงของอุ้งเท้าและรัศมี ความโค้งของอุ้งเท้ามีค่า 1.49, 5.07, 4.22, 5.66, 5.82, 6.24, 7.80, 17.83 และ 17.84 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยขนาดความแตกต่างความสูงอุ้งเท้าเฉลี่ยมีค่าไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

คำสำคัญ : แผ่นรองฝ่าเท้า, พิมพ์รอยเท้า, โฟมพิมพ์เท้า, เครื่องกดขึ้นรูปเท้า, รูปฝ่าเท้า

### Abstract

Diabetes patient with peripheral neuropathy easily faces a foot ulceration problem, difficult to treat and finally becomes chronic wound. This is mainly due to non-uniform weight distribution on foot sole surface. Therefore, a personalized insole is used in diabetes patient to reduce high load, occurring at any point, and to uniformly distribute weight load on foot sole. In personalized insole manufacturing, nowadays, phenolic foam is employed in process of foot impression but it can only be used once. Then, it is disposed as garbage. Hence, in this paper, development of a novel foot sole impression machine is proposed. This machine yields equivalent foot insole surface to the surface obtained using the phenolic foam. The developed machine can be repeatedly used, easy to operate and does not generate any garbage. Confidence level of this machine is 89.9 percent when the tolerance is  $\pm 1$  millimeters. The effectiveness of the machine is studied by comparing the foot sole impression surface data of 25 diabetes patients, obtained from the proposed machine and the phenolic foam. The results show that the foot sole surfaces, obtained from both methods, are not much different. Moreover, it was found that the percentage discrepancies of foot length (A), ball width (B, B.1), instep (C, C.1), heel width (D, D.1), foot arch height

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and foot arch radius are about 1.49, 5.07, 4.22, 5.66, 5.82, 6.24, 7.80, 17.83, 17.84 percent, respectively. Arch height average difference is not more than 3 millimeters.

**Keywords:** Insole, Foot impression, Vacuum casting for foot orthoses, Insole manufacturing

## 1. บทนำ

ในผู้ป่วยเบาหวานที่มีภาวะแทรกซ้อนทางระบบประสาทส่วนปลาย จะมีปัญหาแผลกดทับที่ฝ่าเท้าได้ง่าย โดยสาเหตุนี้เกิดจากการกระจายน้ำหนักที่ฝ่าเท้าไม่สม่ำเสมอ เกิดการกดทับตรงบริเวณใดบริเวณหนึ่งที่มากขึ้นจนเกินไปจนเกิดแผลกดทับ หรือบาดแผลในบริเวณดังกล่าว ซึ่งถ้าขาดการดูแลรักษาที่เหมาะสมจะทำให้เกิดแผลลุกลาม ทำให้เกิดการเสียรูปและอาจจะต้องตัดเท้าในที่สุด จากข้อมูลของกระทรวงสาธารณสุขพบว่าในแต่ละปีผู้ป่วยที่ต้องทำการตัดเท้ามีสูงถึงปีละเกือบ 10,000 ราย[1] ในต่างประเทศมีการนำกระบวนการทางวิศวกรรมมาสร้างแผ่นรองฝ่าเท้าเฉพาะบุคคลกันอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากยังไม่มีงานวิจัยที่รองรับสำหรับการผลิตแผ่นรองฝ่าเท้าสำหรับคนไทย ประเทศไทยจึงยังคงใช้วิธีการเดิมในการรักษา คือการใช้แผ่นรองฝ่าเท้าที่สอดรับกับฝ่าเท้า ซึ่งจะช่วยกระจายแรงดันได้ฝ่าเท้าให้กระทำเท่ากันหรือใกล้เคียงกันทั่วทั้งฝ่าเท้า แต่ขั้นตอนการผลิตแผ่นรองฝ่าเท้าตามโรงพยาบาลทั่วไป ต้องใช้เวลานาน ขั้นตอนการผลิตต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในทุกกระบวนการผลิต ต้องใช้แรงงานคนในการผลิตเป็นส่วนใหญ่และก่อให้เกิดของเสียจากโฟมพิมพ์เท้า จึงไม่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ป่วยที่มีเป็นจำนวนมาก จึงต้องนำกระบวนการทางวิศวกรรมมาช่วยในการผลิตแผ่นรองฝ่าเท้าเพื่อลดระยะเวลาในการผลิตและเพิ่มความแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้อีกด้วย ซึ่งสามารถลดขยะที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยนำระบบการสแกนฝ่าเท้าเข้ามาใช้และใช้เครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าทดแทนโฟมพิมพ์เท้า

การสแกนเท้าโดยตรงด้วยเครื่องสแกนสามมิติ ซึ่งถือว่าการสร้างรูปฝ่าเท้าขณะไม่มีแรงมากระทำกับฝ่าเท้า (Non-weight bearing impression) หรือสแกนฝ่าเท้าในขณะที่ไม่มีแรงกระทำ ข้อมูลจากการสแกนถูกส่งไปทำการตัดรูปฝ่าเท้าด้วยเครื่องกัด CNC ดังนั้นระบบดังกล่าวนี้ถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าเป็นระบบ CAD-CAM ซึ่งระบบแรกถูกผลิตออกมาในปี ค.ศ. 1988 โดยบริษัท American Digital Technology ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Orthocan system (Grumbine N.[2])

Saraswathy G. และคณะ[3] ได้นำเสนอวัสดุใหม่ที่ใช้ในการกดขึ้นรูปรอยฝ่าเท้า วัสดุนี้ทำจากแป้งมันผสมสารโซเดียมเมตตะไบซัลเฟต, สารย้อมสีแดง, ผสมกับน้ำ ซึ่งเมื่อผสมกันแล้วจะมีลักษณะคล้ายแป้งที่ใช้ทำพิซซา จากนั้นนำวัสดุดังกล่าวให้ผู้ป่วยกดเท้าลงไป จะได้รอยฝ่าเท้า วัสดุดังกล่าวมีข้อดีคือย่อยสลายได้ ราคาไม่แพง และสามารถนำมาใช้ซ้ำได้ถึง 5 ครั้ง ภายใน 2 เดือน ถ้าเก็บไว้ในตู้เย็นที่ 14 °C ถ้าทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ภายใน 20 ชั่วโมง แป้งจะเกิดการแข็งตัวในที่สุดและถ้าทิ้งไว้นาน แป้งจะเน่าเสีย ไม่สามารถนำมาใช้ได้ใหม่ต้องทิ้งไปในที่สุด

ในปีค.ศ. 2008 Ki SW, Leung AK และ Li AN.[4] ได้ทำการศึกษาการกระจายความดันใต้ฝ่าเท้า เปรียบเทียบระหว่างวิธีดั้งเดิมกับการใช้เครื่องซีเอ็นซีผลิต ซึ่งระบบนี้ในการพิมพ์รูปเท้าจะใช้เซนเซอร์สปริงโหลด จำนวน 24 หัว เพื่อรองรับเท้าในขณะที่นั่ง แปลงค่าเส้นโค้งของรูปฝ่าเท้าให้เป็นข้อมูลดิจิทัลผ่านโปรแกรม Comfort Spline ซึ่งวิธีนี้เป็นอีกรูปแบบหนึ่งในการเก็บรูปเท้าเพื่อใช้ในการออกแบบรองเท้า

การใช้โฟมโพลีเอทิลีนเพื่อกดขึ้นรูปฝ่าเท้าที่อยู่ภายใต้แรงกระทำบางส่วน (Partial weight bearing foam) เป็นวิธีสร้างรูปฝ่าเท้าภายใต้การกระทำของแรงที่กระจายได้ทั่วทั้งฝ่าเท้าทั้งสองข้างซึ่งเป็นกรรมวิธีที่มาจากบริษัท Ammon Corporation จำกัด ซึ่งจะได้รูปเท้าได้ใกล้เคียงกับขณะยืนมากที่สุด เนื่องจากมีการรับแรงของเท้าทั้งสองข้างทั่วทั้งฝ่าเท้าวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในการอ้างอิงและเปรียบเทียบเป็นมาตรฐานได้

ในกรรมวิธีการขึ้นรูปขึ้นงานอย่างรวดเร็ว (Rapid prototype) นั้นมีหลายวิธีคือใช้ทรายในการขึ้นรูป (Sand casting) และใช้ความร้อนอบวัสดุและดูดอากาศออก (Vacuum Cast) ในการขึ้นรูปซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้ใช้ระบบ

สูญญากาศในการขึ้นรูป ซึ่ง Vacuum sand casting ส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ขึ้นรูปชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และอุตสาหกรรมเหล็กเพื่อใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานที่ทำมาจากเหล็ก[5]

พงศ์พันธ์ วาเทสุนทรพงศ์และมนต์ศักดิ์ พิมสาร[6] ได้นำเสนอกรรมวิธีใหม่ในการสร้างพื้นผิวฝ่าเท้าโดยใช้เทคโนโลยี Vacuum sand casting ในการพิมพ์รูปเท้า หลักการทำงานของเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้ามีหลักการทำงานคือ เมื่อทำการเหยียบเท้าลงบนแผ่นยางบางที่มีความยืดหยุ่น ที่อยู่ด้านบนของกล่องทดลอง ภายในกล่องมีเม็ดพอลิเมอร์ขนาดเล็กบรรจุอยู่ภายใน เมื่อฝ่าเท้ากดลงบนแผ่นยางที่รองรับด้วยเม็ดพอลิเมอร์ เม็ดพอลิเมอร์จะเกิดการกระจายตัวออกจากบริเวณที่มีแรงกดลงบนแผ่นยางลงมา ทำให้เกิดการยุบตัวของเม็ดพอลิเมอร์ผ่านแผ่นยางเป็นรอยฝ่าเท้า จากนั้นทำการลดความดันภายในกล่องทดลองโดยเปิดวาล์วควบคุมความดันแล้วทำการดูดอากาศออกจากกล่อง ด้วยปั๊มสูญญากาศ เมื่อทำการปิดวาล์วควบคุมความดัน ความดันภายในกล่องทดลองจะคงที่ รอยพิมพ์เท้าที่ได้จะคงรูปไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีก ซึ่งกรรมวิธีนี้เป็นวิธีที่รวดเร็วที่สุดในการสร้างรอยเท้า แต่เครื่องที่พัฒนาขึ้นมา เมื่อนำมาใช้ในการขึ้นรูปกดขึ้นรูปฝ่าเท้ามีความคลาดเคลื่อนจากโพลีพิมพ์เท้ามากถึง 21% โดยเกิดขึ้นที่บริเวณสันเท้า

งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการพัฒนาเครื่องกดขึ้นรูปเท้า ให้มีความแม่นยำและใกล้เคียงกับโพลีพิมพ์เท้ามากยิ่งขึ้นและทำการทดสอบเครื่องกับผู้ป่วยโรคเบาหวานเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องว่าสามารถใช้กับผู้ป่วยได้หรือไม่ นอกจากใช้กับผู้ป่วยแล้วยังสามารถใช้ได้กับคนปกติที่ต้องการรองเท้าที่พื้นรองเท้าสอดรับกับฝ่าเท้าได้เช่นกัน โดยข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือสามารถเก็บข้อมูลได้เฉพาะผู้ป่วยเบาหวานที่มีเท้าปกติไม่มีแผลเท่านั้น เนื่องจากวัสดุที่ใช้เป็นแผ่นยางธรรมชาติ ไม่สามารถเปื้อนหรือโดนสิ่งสกปรกได้

## 2. การดำเนินงานวิจัย

Vacuum sand casting คือกรรมวิธีการขึ้นรูปพื้นผิววัตถุอย่างรวดเร็ว การขึ้นรูปทำโดยกดวัตถุลงไปในแผ่น

ยางธรรมชาติ ซึ่งด้านล่างมีเม็ดพอลิเมอร์ขนาดเล็กเมื่อลดแรงดันจนต่ำกว่าศูนย์ เม็ดพอลิเมอร์ที่กระจายกันอยู่อย่างอิสระมีอากาศแทรกอยู่ จะถูกทำให้ชิดกันเนื่องจากอากาศถูกดูดออกไป เกิดสูญญากาศ ทำให้แผ่นยางธรรมชาติคงรูปตามลักษณะที่แผ่นยางนั้นสัมผัส เนื่องจากถูกความดันบรรยากาศด้านนอกกดไว้

เครื่องที่พัฒนาขึ้นมาภายในกล่องซึ่งสามารถควบคุมความดันได้ เมื่อเท้าเหยียบลงบนแผ่นยางซึ่งมีเม็ดพอลิเมอร์อยู่ด้านล่าง จะทำให้เกิดรอยเท้า จากนั้นลดความดันทำให้เกิดสูญญากาศด้วยปั๊มสูญญากาศ จะทำให้รอยเท้าที่ได้คงรูปไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีก แสดงผังเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าในรูปที่ 1 และแผนผังขั้นตอนการทดลองแสดงผังรูปที่ 2 หลังจากได้รอยฝ่าเท้าแล้ว ทำการสแกนด้วยเครื่องสแกนสามมิติ ดังแสดงในรูปที่ 3 และทำการสแกนเท้าด้วยโพลีพิมพ์เท้าที่ใช้ในทางการแพทย์ในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 4 ข้อมูลเท้าที่สแกนแล้วจะถูกนำมาเปรียบเทียบขนาดโดยใช้โปรแกรม Geomagic Qualify 12 [7] โดยกำหนดคุณลักษณะการเปรียบเทียบ 4 ส่วน[6] และเพิ่มจุดสนใจอีก 5 ส่วน รวมเป็น 9 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 5 เพื่อเพิ่มความละเอียดในการวัด คือ A,B,C,D,A.1,B.1,C.1,D.1, ความสูงของอุ้งเท้า และรัศมีความโค้งของอุ้งเท้า ดังนี้

A: length (ความยาวเท้า = ส่วนตามแนวยาวที่สุดของเท้า)  
B: width of ball (ความกว้างเท้าส่วนหน้า = วัดระยะในแนวตั้งฉากจากจุดบนสุดของความยาวเท้าลงมา 30%)  
B.1: forefoot width (วัดระยะในแนวตั้งฉากลงมา 30% ทางด้านนิ้วหัวแม่เท้าอีกด้านวัดระยะลงมา 37% ทางด้านนิ้วก้อย)  
C: width of instep (ความกว้างส่วนโค้งเท้า = วัดระยะในแนวตั้งฉากจากจุดบนสุดของความยาวเท้าลงมา 50%)  
C.1: width of instep (ความกว้างส่วนโค้งเท้า = วัดระยะในแนวตั้งฉากจากจุดบนสุดของความยาวเท้าลงมา 55%)  
D: width of heel (ความกว้างเท้าส่วนหลัง = วัดระยะในแนวตั้งฉากจากจุดบนสุดของความยาวเท้าลงมา 80%)  
D.1: heel width (ความกว้างสันเท้า = วัดระยะในแนวตั้งฉากจากจุดบนสุดของความยาวเท้าลงมา 85%)

ความสูงของอุ้งเท้า: วัดจากจุดตัดของเส้น B, C.1 ตัดกับ -

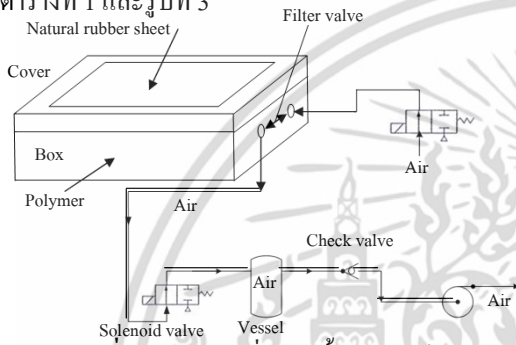
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นตัดขวาง 70 % ของเท้า

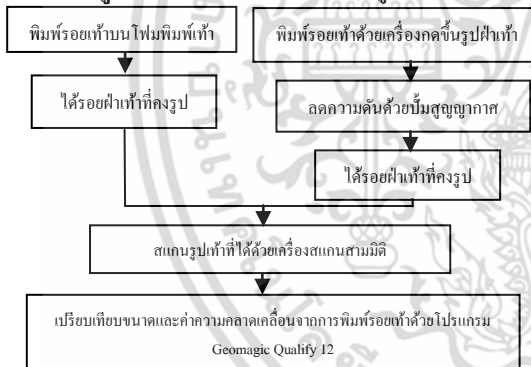
รัศมีความโค้งงูเท้า: วัดจากจุดตัด B, C.1, D.1 ตัดกับเส้นตัดขวาง 70 % ของเท้า

เครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าเดิม[6] มีขนาดใหญ่ แผ่นยางพาราหนา 1 มม. ทำให้เกิดความยืดหยุ่นน้อยได้รูปเท้าไม่ดีเท่าที่ควร เม็ดพลาสติกมีขนาดที่ใหญ่กว่าที่ควรคือ 0.5 มม. อีกทั้งยังมีลมรั่วออกมาอันเนื่องมาจากการออกแบบทำให้ต้องเปิดปั๊มสุญญากาศตลอดเวลา จึงทำการปรับปรุงพัฒนาโดยการเปลี่ยนวัสดุและการออกแบบให้ดียิ่งขึ้น ดังแสดง

ในตารางที่ 1 และรูปที่ 3



รูปที่ 1 แสดงผังเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้า



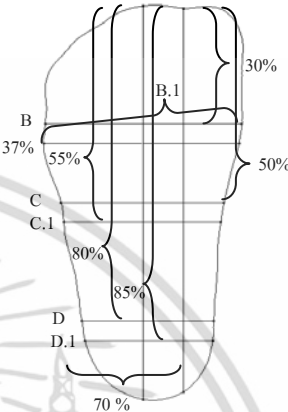
รูปที่ 2 แสดงแผนผังขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้า รูปเท้าที่ได้หลังจากการกดเท้าลงบนเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าและรูปเท้าที่ได้จากการกดขึ้นรูปฝ่าเท้าด้วยฟิโนลิกโพลี

ทำการเก็บข้อมูลกับผู้ป่วยโรคเบาหวานที่ โรงพยาบาล บางเลน ต.บางเลน อ.บางเลน จ.นครปฐม จำนวน 25 คน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทำการเก็บข้อมูลควบคู่ไปกับการเข้ารับการรักษาแบบปกติ ซึ่งผู้ป่วยโรคเบาหวานที่เข้ารับการรักษาแบบผู้ที่ผ่านเกณฑ์ต้องได้รับรองเท้าจากทางภาครัฐผ่านโครงการประกันสุขภาพถ้วนหน้า ต้องพิมพ์เท้าด้วยโฟมพิมพ์เท้าตามขั้นตอนการทำรองเท้าปกติ หลังจากพิมพ์เท้าด้วยโฟมพิมพ์เท้า จึงเก็บข้อมูลเท้าด้วยเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้า



รูปที่ 5 แสดงการวัดขนาดของรูปเท้าโดยวัดความยาวของฝ่าเท้าส่วน A, B, B.1, C, C.1, D, D.1, เส้น 70%

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าหลังจากปรับปรุงแล้ว

รายละเอียด	เครื่องเดิม	หลังจากปรับปรุง
ขนาดกล่อง	60×40×10 ซม.	44×28.5×12.5 ซม.
แผ่นยางธรรมชาติ	หนา 1 มม.	หนา 0.5 มม.
เม็ดพลาสติก	0.5 มม.	0.3 มม.

### 3. การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่อง

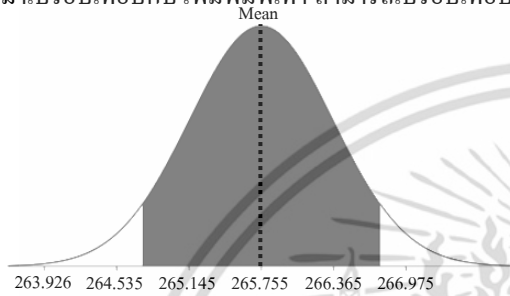
ทำการเก็บข้อมูล โดยการกดเท้าลงบนเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าจำนวน 5 ครั้ง โดยผู้ป่วยนั่งที่เก้าอี้ลำตัวตั้งตรง วางเท้าโดยให้หัวเข่าและท่อนขาตั้งฉากกับตัวเครื่อง ผู้ช่วยใช้มือกดเท้าลงจนได้ระนาบ หลังจากนั้นกดปุ่มเครื่องให้รอยเท้าคงรูป จากนั้นทำการสแกนด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ 3 มิติ นำข้อมูลที่ได้ออกมาวิเคราะห์ความกว้างในตำแหน่ง A, B, B.1, C, C.1, D, D.1, ความสูงอุ้งเท้า (H) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างในแต่ละครั้ง จากการเก็บข้อมูลเท้าซ้าย 5 ครั้ง ข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าน้อยที่สุด, ค่ามากที่สุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย ค่าน้อยที่สุด ค่ามากที่สุด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการเก็บข้อมูลเท้าข้างซ้าย 5 ครั้ง

(mm)	A	B	B.1	C	C.1	D	D.1	H
Mean	265.755	108.419	112.148	91.281	85.502	77.692	75.435	16.530
Min	264.434	107.182	110.721	90.359	84.453	77.281	75.099	15.761

Max	267.600	109.573	113.688	91.822	86.663	78.371	76.159	17.482
S.D.	1.36	0.873	1.12	0.57	0.79	0.41	0.45	0.75

จากตารางจะเห็นได้ว่าทุกตำแหน่งมีค่าแตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือตำแหน่ง A อยู่ที่ 1.845 ดังนั้นถ้าหากกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่  $\pm 1$  มิลลิเมตร มีความมั่นใจ (Confidence level) 89.9% ที่เครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าจะเก็บข้อมูลอยู่ระหว่างข้อมูลที่ได้  $\pm 1$  มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งทำให้มั่นใจได้ว่าค่าที่ได้จากเครื่อง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับโคมพิมพ์เท้า สามารถเปรียบเทียบได้

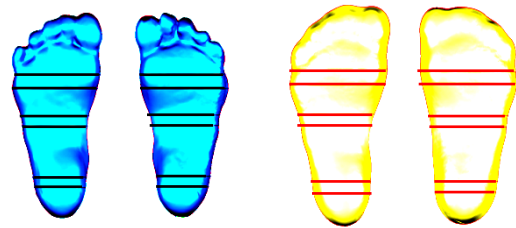


รูปที่ 6 แสดงข้อมูลตำแหน่ง A ซึ่งมีค่าความมั่นใจ 89.9% ที่ข้อมูลที่เก็บได้จะอยู่ระหว่างข้อมูลที่วัดได้  $\pm 1$

**4. ผลการทดลอง**

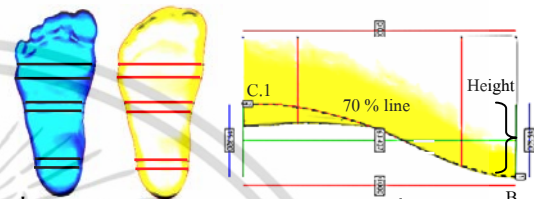
ทำการเก็บข้อมูลเท้าโดยการสแกนด้วยเครื่องสแกนสามมิติ โดยโคมพิมพ์เท้า และเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้า ในผู้ป่วยโรคเบาหวาน จำนวน 25 คน ได้ข้อมูลเป็นรูปเท้าจำนวน 50 ตัวอย่าง ข้างซ้ายและขวา อย่างละ 25 ตัวอย่าง โดยข้อมูลการสแกนด้วยโคมพิมพ์เท้า จำนวน 50 ข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 7 และข้อมูลการสแกนด้วยเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้า จำนวน 50 ข้อมูล ข้างซ้ายและข้างขวา อย่างละ 25 เท้า ดังแสดงในรูปที่ 8 รวมทั้งสิ้น 100 ข้อมูล โดยทำการเก็บข้อมูลความกว้างของตำแหน่ง A, B, B.1, C, C.1, D, D.1, ความสูงของอุ้งเท้าและความโค้งของอุ้งเท้า ทีละจุดจนครบ ด้วยโปรแกรม Geomagic Qualify 12 เป็นข้อมูลทั้งสิ้น 900 ค่า แล้วนำข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

ผลจากการทดลองได้ขนาดของฝ่าเท้าที่ได้จากโคมพิมพ์เท้า และขนาดของฝ่าเท้าที่ได้จากเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้า ดังแสดงเปรียบเทียบมุมมองจากด้านล่างไว้ในรูปที่ 9 รูปแบบการวัดความสูงของอุ้งเท้า ดังแสดงในรูปที่ 10 และรัศมีความโค้งของอุ้งเท้าดังแสดงในรูปที่ 11 ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการวัดความกว้างของเท้าเปรียบเทียบกันระหว่างรูปเท้าที่ได้จากโคมพิมพ์เท้าและเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าแสดงในตารางที่ 3



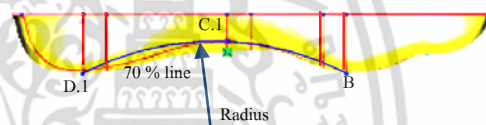
รูปที่ 7 (ซ้าย) แสดงรูปเท้าซ้ายและขวาที่ได้จากโคมพิมพ์เท้า ซึ่งสแกนด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ 3 มิติ

รูปที่ 8 (ขวา) แสดงรูปเท้าซ้ายและขวาที่ได้จากเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้า ซึ่งสแกนด้วยเครื่องสแกนมิติ



รูปที่ 9 (ซ้าย) แสดงตัวอย่างรูปเท้าข้างขวาที่ได้จากโคมพิมพ์เท้าและรูปเท้าข้างขวาที่ได้จากเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้า

รูปที่ 10 (ขวา) แสดงลักษณะการวัดความสูงของอุ้งเท้า



รูปที่ 11 แสดงลักษณะการวัดรัศมีความโค้งของอุ้งเท้า โดยกำหนดจุด 3 จุด แล้วใช้สมการหารัศมี

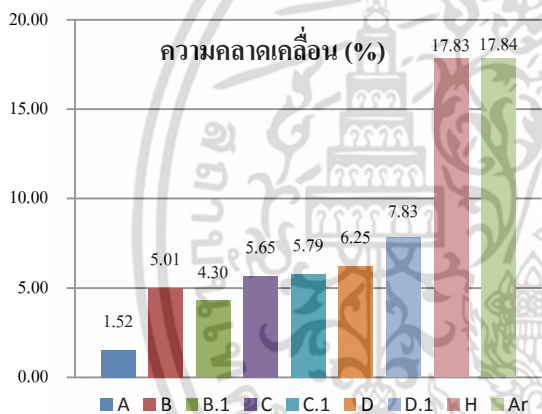
ตารางที่ 3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการวัดความกว้างของเท้าเปรียบเทียบกันระหว่างรูปเท้าที่ได้จากโคมพิมพ์เท้าและเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้า โดยที่ (F) คือ โคมพิมพ์เท้าและ (M) คือ เครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้า

Unit (mm)	Lowest	Highest	Average Difference	Min% Difference	Max% Difference	S.D.	Average% Difference
A (F)	202.824	268.245	3.54	0.09	4.64	1.21	1.49
A (M)	207.734	270.676					
B (F)	87.414	116.139	4.94	0.26	15.25	3.43	5.07
B (M)	90.339	123.006					
B.1 (F)	88.567	116.701	4.31	0.14	12.77	2.68	4.22
B.1 (M)	92.955	125.294					
C (F)	77.349	97.865	4.82	0.40	16.32	3.19	5.66
C (M)	75.596	104.820					
C.1 (F)	74.734	93.497	4.78	0.13	17.99	3.59	5.82
C.1 (M)	70.775	99.695					
D (F)	57.691	76.682	4.13	0.22	16.38	3.85	6.24
D (M)	61.510	81.511					
D.1 (F)	55.812	74.745	4.87	0.10	18.17	4.54	7.80
D.1 (M)	59.310	78.074					
H (F)	7.700	19.649	2.49	0.35	53.39	11.62	17.83
H (M)	5.653	24.075					
Ar (M)	98.205	409.168	30.49	0.07	60.17	15.15	17.84
Ar (F)	90.962	502.928					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คำอภิปราย

หลังจากปรับปรุงเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าโดยการลดขนาดให้เล็กลงและปรับขนาดให้สูงขึ้น ลดความหนาของแผ่นยางธรรมชาติลงจาก 1 มม. เป็น 0.5 มม. และลดขนาดของเม็ดพอลิเมอร์ลงจาก 0.5 มม. เป็น 0.3 มม. พบว่ารูปเท้าที่ได้จากเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้ามีความใกล้เคียงกับรูปเท้าที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้ามากยิ่งขึ้น กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของขนาดฝ่าเท้าที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าแสดงในรูปที่ 12 ตัวเครื่องมีขนาดเล็กลงสามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างสะดวก การพิมพ์เท้ากับผู้ป่วยโรคเบาหวานด้วยเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้ามีความปลอดภัย ไม่มีขั้นตอนใดที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายต่อผู้รับการพิมพ์เท้า



รูปที่ 12 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของขนาดรูปฝ่าเท้าจากเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าเมื่อเปรียบเทียบกับรูปฝ่าเท้าที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้า

6. สรุปผล

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าซึ่งใช้งานง่าย ใช้ซ้ำได้ไม่ก่อให้เกิดขยะหรือของเสีย จากการศึกษาความน่าเชื่อถือของเครื่องโดยการพิมพ์เท้าเดิมซ้ำ 5 ครั้งให้ค่าความมั่นใจสูงถึง 89.9 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการศึกษาประสิทธิภาพผลของเครื่อง โดยวิเคราะห์ผลจากการพิมพ์เท้าด้วยเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้า และนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับรูปฝ่าเท้าจากโฟมพิมพ์เท้า จากภาพสแกนฝ่าเท้าด้วยโปรแกรม Geomagic Qualify 12 พบว่ารูปฝ่าเท้าที่ได้จากอุปกรณ์ดังกล่าวให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากโฟมพิมพ์เท้า ดังนี้ ขนาดของความยาวเท้า A, ความ

กว้างของฝ่าเท้าส่วนหน้า B, B.1, ความกว้างของฝ่าเท้าส่วนกลาง C, C.1, ความโค้งงอของเท้าส่วนหลัง D, D.1, ความสูงของอุ้งเท้าและรัศมีความโค้งงอของอุ้งเท้า มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 1.49, 5.07, 4.22, 5.66, 5.82, 6.24, 7.80, 17.83, 17.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเครื่องที่พัฒนาโดย พงศ์พันธ์ และมนต์ศักดิ์[6] ในส่วนความสูงของอุ้งเท้ายังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ค่อนข้างมาก เมื่อนำรูปเท้าที่ได้จากเครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้านำไปสร้างโมเดลรองเท้า ควรเพิ่มความสูงของอุ้งเท้าอย่างน้อย 2-3 มม. เครื่องกดขึ้นรูปฝ่าเท้าสามารถใช้ได้เฉพาะผู้ป่วยหรือบุคคลทั่วไปที่มีเท้าปกติเท่านั้น ในการพัฒนาต่อไป ควรหาวัสดุที่มีความทนทาน ล้างได้ สามารถใช้ได้กับผู้มีแผลที่เท้าได้ เพื่อให้ครอบคลุมการใช้งานมากยิ่งขึ้น ควรศึกษาวิธีกดเท้าให้ได้ระนาบทุกครั้งที่เกิดขึ้นรูปฝ่าเท้า เพื่อให้ขนาดความสูงของอุ้งเท้าใกล้เคียงกับโฟมพิมพ์เท้า และมีความคลาดเคลื่อนน้อยลง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sakchai J. and Chanchai D. "Foot ulcers in diabetic patients" The endocrine society of Thailand, Ruankaew printing, Bangkok, pp.210-218, 2003.
- [2] Grumbine N. "Computer-generated orthoses. A review", Clin Podiatr Med Surg, Vol.10, pp.377-391, 1993.
- [3] Saraswathy G., Gautham G. and B.N. Das "New material for recording impression of foot for customized footwear applications", The Foot, Vol.14, pp.192-197, 2004.
- [4] Ki SW, Leung AK and Li AN., "Comparison of plantar pressure distribution patterns between foot orthoses provided by the CAD-CAM and foam impression methods", Prosthet Orthot Int, Vol.32, No.3, pp.356-362, Sep, 2008.
- [5] Omori E., Suzuki M. and Yasu K. "Vacuum sand-casting system for electric and electronic parts" EEIC/ICWA Exposition, pp.25-28, Oct, 1993
- [6] Watasuntonpong P. and Pimsarn M., "Novel method of foot sole surface generation for insole manufacturing", MENETT 25, Thailand, Oct, 2011.
- [7] Geomagic Qualify 12, Geomagic, inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้