การออกแบบและการทดสอบผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าจากยางธรรมชาติเพื่อลดแรงดันในส้นเท้า
Design and testing of heels cushion from natural rubber to reduce pressure on the heel

ศรัทธา ศรีวรเดชไพศาล[1]*, วิริยะ ทองเรือง[1] เจริญยุทธ เดชวายุกุล[1], จีระภา สุขแก้ว[1],
บุญสิน ตั้งตระกูลวานิช[2], สุนทร วงษ์ศิริ[2], อาทิตย์ สวัสดิรักษา[3]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90110
[2] ภาควิชาศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิกส์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90110
[3]โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลเมืองกระบี่ ถนนมหาราช ต.ปากน้ำ อ.เมือง จ.กระบี่ 81000
*ติดต่อ: E-mail, เบอร์โทรศัพท์, เบอร์โทรสาร

บทคัดย่อ

อาการปวดส้นเท้า เป็นปัญหาที่พบได้บ่อยในกลุ่มคนทั่วไป จากการศึกษาย้อนหลังพบว่าการใช้ผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าสามารถช่วยลดอาการปวดส้นเท้าได้ การศึกษานี้จึงออกแบบผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าที่ผลิตจากยางธรรมชาติและทดสอบประสิทธิภาพการลดแรงดันในส้นเท้าเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าในท้องตลาด โดยการออกแบบและจำลองการทดสอบยางรองส้นเท้าด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากนั้นจึงนำยางรองส้นเท้าแบบที่ดีที่สุดจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ไปทำการทดสอบจริงเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าอื่นๆ ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ผลการจำลองพบว่ายางรองส้นเท้าแบบดับเบิ้ลวัฟเฟิลสามารถลดแรงดันในส้นเท้าได้ดีกว่าแบบพื้นเรียบ และให้ผลการทดสอบการลดแรงดันในส้นเท้าได้ดีเทียบเท่ากับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์สำหรับทำผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติสำหรับลดและดูดซับแรงได้

คำหลัก: ยางรองส้นเท้า; ไฟไนต์เอลิเมนต์; ยางธรรมชาติ; ปวดส้นเท้า

Abstract

Heel pain is a common problem among people. The retrospective study found that the use of rubber heels can help reduce heel pain. This research aims to design heel cushion made from natural rubber and to perform testing to reduce pressure on the heel compared with commercial heels cushion. The natural rubber heel cushion was designed and simulation tested with the Finite Element Method (FEM). The best rubber heel cushion from FEM was tested and compared with other heel cushion products. The result showed that the double waffle pattern design of rubber heel cushion reduced more pressure on the heel compared to that of the flat surface pattern. In addition, results showed that rubber heel cushion reduced pressure comparable with other heel cushion products. In conclusion, FEM can be used in rubber product design that can be developed to variety of products for reducing and absorbing pressure.

Keywords: Heel cushion; Finite element; Natural rubber; Heel pain

1. บทนำ

อาการปวดส้นเท้า อาจเรียกในอีกชื่อว่า โรครองช้ำ โรคพังผืดใต้ฝ่าเท้าอักเสบ หรือโรคเอ็นฝ่าเท้าอักเสบ (Plantar Fasciitis) [1, 2, 3, 4, 5] เป็นอาการอักเสบของพังผืดใต้ฝ่าเท้า สืบเนื่องมาจากการบาดเจ็บทีละเล็กทีน้อยของพังผืดบริเวณจุดเกาะที่กระดูกส้นเท้า ทำให้มีอาการปวดส้นเท้า จนลามไปทั่วฝ่าเท้า [2] หากไม่ได้รับการรักษาที่เหมาะสม อาการจะเรื้อรังมากขึ้น ส่งผลต่อการดำรงชีวิตประจำวันถึงขั้นไม่สามารถเดินได้ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าอัตราการเกิดโรคในประชากรไทยยังไม่มีการศึกษาที่ชัดเจน แต่พบว่าในประเทศสหรัฐอเมริกา มีประชากรมากถึง 10% ที่มีอาการปวดส้นเท้า [3, 7] ผู้ที่มีอาการเหล่านี้ส่วนใหญ่ มีอายุมากกว่า 40 ปี เนื่องจากพังผืดที่ฝ่าเท้ามีความยืดหยุ่นน้อยลง พบในเพศหญิงมากกว่าเพศชาย และอาจเกิดจากสาเหตุอื่นๆ ได้แก่ มีน้ำหนักตัวมาก สวมใส่รองเท้าไม่เหมาะสมเป็นประจำ เช่น รองเท้าที่มีพื้นแข็งหรือบาง การยืนหรือเดินนานๆ เป็นต้น [3, 4] การป้องกันการเกิดอาการปวดส้นเท้าสามารถทำได้ง่ายกว่าการรักษาเมื่อมีอาการแล้ว [8] เท้าเป็นอวัยวะที่ต้องรับน้ำหนักร่างกายมากที่สุด ทำให้เกิดความเค้นหรือแรงดันเกิดขึ้นที่ส้นเท้ามากเมื่อยืน เดิน และวิ่ง รองเท้าจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะสามารถช่วยลดแรงดันที่เกิดบริเวณส้นเท้าได้ แต่ด้วยความหลากหลายของรองเท้าและรองเท้าบางชนิด ไม่สามารถลดแรงดันที่เกิดขึ้นที่ส้นเท้าได้ดีนัก การเลือกใช้ผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดแรงดันที่เกิดขึ้นในส้นเท้าได้ และช่วยลดอาการปวดส้นเท้าได้มากกว่า 90% [7, 9, 10] ซึ่งผลิตภัณฑ์รองส้นเท้ามีหลากหลายรูปแบบให้เลือกใช้และแต่ละแบบผลิตจากวัสดุที่แตกต่างกัน แต่มักมีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

ยางพารา เป็นยางธรรมชาติชนิดหนึ่ง ที่มีคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกได้ดี และเป็นวัตถุดิบที่ผลิตได้ในประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ ประกอบกับปัญหาราคายางตกต่ำ ทางหนึ่งที่จะแก้ปัญหานี้ได้ คือการสร้างมูลค่าเพิ่มจากยางพารา โดยการแปรรูปยางให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มแบบต่างๆ ให้มากขึ้น การแปรรูปยางพาราเป็นผลิตภัณฑ์รองส้นเท้า เป็นสิ่งหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะนอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่ายางธรรมชาติแล้ว ยังเป็นการช่วยให้คนไทยได้ใช้สินค้าไทยที่มีคุณภาพและราคาไม่สูงจนเกินไป และสามารถส่งออกไปขายต่างประเทศได้

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คือการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยแก้ปัญหาทางวิศวกรรมเป็นตัวช่วยหนึ่งที่ใช้สำหรับออกแบบผลิตภัณฑ์และวิเคราะห์เชิงวิศวกรรม ซึ่งวิธีนี้เป็นที่นิยมและสามารถช่วยลดเวลาในการออกแบบผลิตภัณฑ์ได้ การจำลองเท้ามนุษย์ประกอบด้วยกระดูกเท้า 26 ชิ้น เส้นเอ็นต่างๆ 72 เส้น และเนื้อเยื่อส้นเท้า [11, 12, 13] ซึ่งมีความซับซ้อน อาจสามารถลดความซับซ้อนของแบบจำลองเหลือเพียงกระดูกส้นเท้าและเนื้อเยื่อส้นเท้าได้ [14] แต่ในงานวิจัยนี้เลือกจำลองเท้าอย่างง่าย โดยกำหนดให้เป็นวัสดุยางเพียงชนิดเดียว แล้วออกแรงกดกระทำกับเท้า [15, 16] เพื่อพิจารณาผลของยางรองส้นเท้าแบบต่างๆ

งานวิจัยนี้จึงเลือกออกแบบผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าจากยางธรรมชาติ โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบผลิตภัณฑ์ ก่อนจะนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบจริง

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

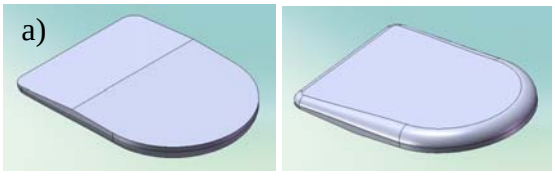
2.1 ผลิตภัณฑ์รองส้นเท้า

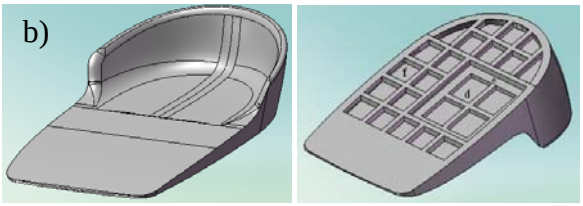
ผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าในงานวิจัยนี้ทำจากยางธรรมชาติ ขึ้นรูปโดยวิธีการอัดร้อน โดยใช้สูตรเคมีดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้สารเคมีในระบบยางคงรูป

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)
ยาง STR 5L	100
struktol	-
stearic acid	1
ZnO	5
wingstay L	1
MBT	0.5
sulphur	1.5
spindle oil	0

โดยศึกษายางรองส้นเท้าใน 2 รูปแบบคือ ยางรองส้นเท้าแบบพื้นเรียบ และยางรองส้นเท้าแบบดับเบิลวัฟเฟิล ดังแสดงในรูปที่ 1

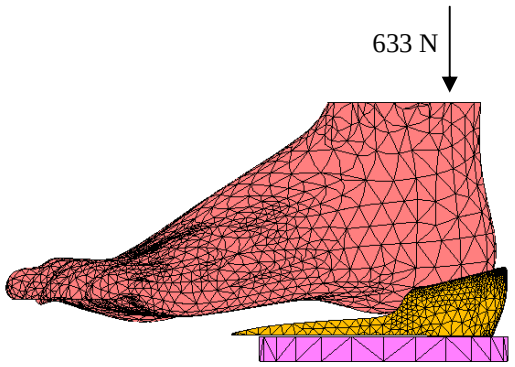




รูปที่ 1 แสดงลักษณะของยางรองส้นเท้า a) แบบพื้นเรียบ b) แบบดับเบิลวัฟเฟิล

2.2 การออกแบบและจำลองวัสดุด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จำลองยางรองส้นเท้าแบบต่างๆ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม MSC. Marc 2007 กำหนดให้เอลิเมนต์เป็นแบบ tet 4 จำลองสร้างแรงกดกระทำกับเท้า 633 N (ประมาณ 64.5 กิโลกรัม) ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักตัวของมนุษย์ หรือค่าภาระที่เท้าต้องทำหน้าที่รับน้ำหนัก ลักษณะการจำลองแสดงดังในรูปที่ 2 และสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ กำหนดให้เท้าใช้สมบัติของเนื้อเยื่อส้นเท้ามนุษย์ [16] และสมบัติของยางรองส้นเท้าทำมาจากยางธรรมชาติทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน ASTM D575-91 แล้วนำมากำหนดค่าสมบัติของวัสดุด้วยโปรแกรม MSC. Marc 2007 ดังแสดงตารางที่ 2



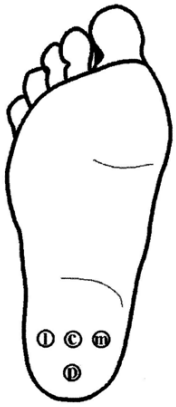
รูปที่ 2 แสดงการจำลองการทดสอบแรงดันส้นเท้าเมื่อใช้ผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในระบบยางคงรูป

เงื่อนไข	เท้า	แบบพื้นเรียบ	แบบดับเบิลวัฟเฟิล
Element type	Tet 4	Tet 4	Tet 4
Elements	2,420	1,611	11,884
Material properties	Mooney C_{10} -162680 C_{01} 199640 C_{11} 127360	Mooney C_{10} 162330 C_{01} -108830 C_{11} 126950	Mooney C_{10} 162330 C_{01} -108830 C_{11} 126950

2.3 การทดสอบและเปรียบเทียบผล

การทดสอบยางรองส้นเท้า ใช้อุปกรณ์วัดแรงดันฝ่าเท้า Tekscan โดยใช้คนน้ำหนัก 64.5 กิโลกรัมทำหน้าที่สร้างแรงกด 633 N กระทำ วัดค่าแรงดันที่ส้นเท้า 4 ตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งวัดแรงที่บริเวณส้นเท้า

3. ผลการทดสอบ

3.1 ผลการจำลองและทดสอบยางรองส้นเท้า

ผลการจำลองการทดสอบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้แรงกด 633 N กดลงบนส้นเท้าเปรียบเทียบกัน 3 กรณี 1. ไม่สวมใส่ยางรองส้นเท้า 2. สวมยางรองส้นเท้าแบบพื้นเรียบ 3. สวมยางรองส้นเท้าแบบดับเบิ้ลวัฟเฟิล แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าผลการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ความดันสัมผัส (kPa)			
ตำแหน่ง	ไม่ใช้ยางรองส้นเท้า	ยางรองส้นเท้า	
		แบบเรียบ	แบบดับเบิลวัฟเฟิล
c	101.68	89.42	45.44
m	175.08	165.92	47.31
p	567.36	417.00	55.19
l	129.14	110.21	52.71

จากการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าแรงดันในส้นเท้าลดลงเมื่อมียางรองส้นเท้า และยางรองส้นเท้าแบบดับเบิ้ลวัฟเฟิลสามารถลดแรงดันได้ดีกว่าแบบพื้นเรียบ เมื่อพิจารณาตามลักษณะรูปร่างของยางรองส้นเท้าแบบดับเบิ้ลวัฟเฟิล พบว่าด้วยรูปแบบยางรองส้นที่มีลักษณะดังกล่าวจะมีความอ่อนตัวมากกว่า สามารถปรับเข้ากับรูปร่างเท้าและกระจายแรงได้มากกว่า จึงสร้าง

แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปยางรองส้นเท้าแบบดังกล่าว เพื่อนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบค่าแรงดันที่ส้นเท้ากับแบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบค่าแรงดันส้นเท้าของยางรองส้นเท้าแบบดับเบิลวัฟเฟิล

ตำแหน่ง	ไม่ใช้ยางรองส้นเท้า		แบบดับเบิลวัฟเฟิล	
	จำลอง	ทดสอบ	จำลอง	ทดสอบ
c	101.68	147.02	45.44	88.14
m	175.08	162.96	47.31	62.22
p	567.36	140.54	55.19	103.70
l	129.14	139.99	52.71	90.73

เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบในตารางที่ 5 พบว่าค่าแรงดันส้นเท้าในตำแหน่ง P มีความแตกต่างค่อนข้างมาก ซึ่งเกิดจากความไม่ถูกต้องของแบบจำลองของเท้า โดยเท้ามนุษย์ประกอบด้วยกระดูก เส้นเอ็น และเนื้อเยื่อ เป็นโครงสร้างที่มีความซับซ้อน แต่ในแบบจำลองเท้ากำหนดให้เป็นวัสดุคล้ายยางเพียงชนิดเดียวเท่านั้น หากปรับแบบจำลองให้เหมือนเท้าจริงก็จะมีความถูกต้องมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลการจำลองและทดสอบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือยางรองส้นเท้าสามารถช่วยลดแรงดันในส้นเท้าได้ เพราะฉะนั้นวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ยางได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อแบบจำลองมีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริง

3.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าอื่นๆ

เมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบยางรองส้นเท้าจากงานวิจัยกับผลิตภัณฑ์รองส้นเท้ายี่ห้อต่างๆ ด้วยแรงกด 633 N ที่มีจำหน่าย 3 ยี่ห้อ ซึ่งมีลักษณะของวัสดุและรูปร่างที่แตกต่างกัน โดยยี่ห้อ A และ B ทำมาจากวัสดุยางสังเคราะห์มีลักษณะพื้นด้านล่างเป็นแบบพื้นราบและตารางสี่เหลี่ยม ยี่ห้อ C ทำจากยางซิลิโคน มีลักษณะพื้นด้านล่างเป็นแบบพื้นราบ ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบยางรองส้นเท้าในงานวิจัยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ยี่ห้อต่างๆ

ตำแหน่ง	แบบดับเบิลวัฟเฟิล	ยี่ห้อ		
		A	B	C
c	88.14	82.96	69.99	103.70
m	62.22	64.81	41.48	62.22
p	103.70	82.96	98.51	62.22
l	90.73	64.81	113.32	103.70

จากผลการทดสอบแรงดันส้นเท้าของผลิตภัณฑ์รองส้นแบบต่างๆ พบว่า ยางรองส้นเท้าที่ออกแบบพื้นด้านล่างเป็นแบบดับเบิ้ลวัฟเฟิลมีความสามารถกระจายแรงดันส้นเท้าได้เทียบเท่าผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าอื่นๆ ที่ทำจากวัสดุยางสังเคราะห์ และซิลิโคน ที่มีลักษณะของพื้นด้านล่างที่แตกต่างกัน

4. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

วัสดุยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นโดยธรรมชาติ เป็นวัสดุที่ยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้สูง และยังคงรักษาการกลับคืนสู่รูปเดิม และสามารถปรับสูตรให้มีความเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานได้ โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้สูตรที่มีความใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อส้นเท้า [10] เมื่อนำยางรองส้นเท้าในสูตรดังกล่าวมาใช้ในการออกแบบสำหรับทำผลิตภัณฑ์รองส้นเท้า ก็เสมือนเท้าที่มีเนื้อเยื่อส้นเท้าหนามากขึ้น ส่งผลให้แรงดันที่เกิดขึ้นที่ส้นเท้ามีค่าลดลง จากผลการจำลองและทดสอบยางรองส้นเท้าแบบดับเบิ้ลวัฟเฟิลสามารถช่วยลดแรงดันในส้นเท้าได้มากกว่าแบบพื้นเรียบ และเมื่อนำยางรองส้นจากงานวิจัยไปทดสอบเปรียบเทียบกับยางรองส้นเท้าที่มีวางขายทั่วไป พบว่ามีความสามารถในการลดแรงดันได้ดีเทียบเท่ากัน จากการทดสอบเปรียบกับผลิตภัณฑ์ยางรองส้นเท้าอื่นๆ

จากการผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าแบบอื่นๆ พบว่าการออกแบบผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบ โดยวัสดุแตกต่างกันจะสามารถออกแบบรูปร่างของผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าได้แตกต่างกัน (ดังผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าแบบต่างๆ ที่ทำจากวัสดุต่างกัน) ดังนั้นเมื่อทดสอบเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ซึ่งมีพื้นเรียบก็สามารถลดแรงได้ดีเทียบเท่ากับยางรองส้นเท้าแบบดับเบิลวัฟเฟิลได้ เนื่องจากความแตกต่างกันทางด้านสมบัติของวัสดุอาจมีความเหมาะสมกับพื้นแบบเรียบ ดังนั้นในงานสร้าง

ผลิตภัณฑ์จึงต้องพิจารณาเลือกวัสดุและออกแบบรูปร่างให้มีความเหมาะสมกับสมบัติของวัสดุด้วย

การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์รองส้นเท้าจากยางธรรมชาติ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสามารถช่วยลดเวลาในการสร้างต้นแบบแบบลองผิดลองถูก ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า เพราะต้องมีการสร้างแม่พิมพ์ในหลายๆ แบบ เพื่อเปรียบเทียบหาแบบที่ดีที่สุด วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์จึงสามารถช่วยทำให้งานสำเร็จเร็วขึ้นและลดค่าใช้จ่ายได้

5. ข้อเสนอแนะ

การใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อช่วยในการออกแบบจะมีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น เมื่อใช้แบบจำลองที่มีความเหมือนจริงมากยิ่งขึ้น จึงน่าจะมีการพัฒนาแบบจำลองของเท้ามนุษย์ให้มีความเหมือนจริงมากยิ่งขึ้น เพื่อใช้สำหรับออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับเท้าแบบอื่นๆ ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีการยาง และคณะบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำหรับสถานที่อุปกรณ์ในการดำเนินงาน และทุนวิจัย ขอบคุณทีมวิจัยทุกท่านที่ช่วยที่ร่วมมือกันจนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] วนิดา พันธ์สะอาด, นฤมล นันทพล, ภุชงค์ บุญรักษ์ และ สาวิตรี กลิ่นหอม (2555). แอโรบิกด๊านซ์, สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา, กรมพลศึกษา, กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา.

[2] สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร (2556). การดูแลสุขภาพสำหรับประชาชน, สำนักงานพัฒนาระบบสาธารณสุข สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร.

[3] นิติ อารมณ์ชื่น (2556). การศึกษาความชุกของโรคเอ็นฝ่าเท้าอักเสบในพระสงฆ์เขตอำเภอพระนครศรีอยุธยา, วารสารสมาคมเวชศาสตร์ป้องกันแห่งประเทศไทย, ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม 2556 หน้า 184-190.

[4] Siriporn Janchai, Dootchai Chaiwanichsiri, Nutsulee Silpipat, Jirayoo Tiamprasitt (2008). Ageing feet and plantar arch characteristics of the Thai elderly, Asian Biomedicine Vol. 2 No. 4 August 2008; 297-303.

[5] http://www.ops2.moc.go.th/tradeth/cgi/ImComm2.asp

[6] Edward Kwame Agyekum, Kaiyu Ma (2015). Heel pain: A systematic review, Chinese Journal of Traumatology 18 (2015) 164-169

[7] Damien B Irving, Jill L Cook, Mark A Young and Hylton B Menz (2007). Obesity and pronated foot type may increase the risk of chronic plantar heel pain: a matched case-control study, BMC Musculoskeletal Disorders 2007, 8:41

[8] Barrett SJ, Robert O'Malley R. (1999). Plantar fasciitis and other causes of heel pain. Am Fam Physician. 1999 ; 59 : 2200 – 2206

[9] Hsu, T.C., Lee, Y.S., Shau, Y.W. (2002). Biomechanics of the Heel Pad for Type 2 Diabetic Patients, Clinical Biomechanics, 17, 291-296, 2002.

[10] อาทิตย์ สวัสดิรักษา, เจริญยุทธ เดชวายุกุล, สุนทร วงษ์ศิริ, บุญสิน ตั้งตระกูลวนิช และ วิริยะ ทองเรือง (2552). การพัฒนาวัสดุของอุปกรณ์หนุนเท้าจากยางธรรมชาติเพื่อลดความดันในส้นเท้า. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 23, 4 – 7 พฤศจิกายน 2552, จังหวัดเชียงใหม่

[11] Ayelet Levy, Mor Ben-Or Frank, Amit Gefen (2015). The biomechanical efficacy of dressings in preventing heel ulcers, Journal of Tissue Viability (2015) 24, 1-11

[12] Jason Tak-Man Cheung, MPhil, Ming Zhang, PhD. (2005). A 3-Dimensional Finite Element Model of the Human Foot and Ankle for Insole Design, Arch Phys Med Rehabil Vol 86, February 2005.

[13] Annamaria Guiotto, Zimi Sawacha, Gabriella Guarneri, Angelo Avogaro, Claudio Cobelli (2014). 3D finite element model of the diabetic neuropathic foot: A gait analysis driven

approach. Journal of Biomechanics 47 (2014) 3064–3071.
[14] Steven Goske, Ahmet Erdemir, Marc Petre, Sachin Budhabhatti, Peter R. Cavanagh. (2008). Reduction of plantar heel pressures: Insole design using finite element analysis. Journal of Biomechanics 39 (2006) 2363–2370.
[15] Rome, K. (1998). Mechanical Properties of the Heel Pad: Current Theory and Review of the Literature, The Foot, 8, 179-185, 1998.
[16] Antunes, P. J. G. R. Dias, A.T. Coelho, F. Rebelo and T. Pereira. (2008). Non-Linear Finite Element Modelling of Anatomically Detailed 3D Foot Model, 2008