ME-NETT23 The 23rd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand

BME-006122

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23
4 – 7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่

การพัฒนาวัสดุของอุปกรณ์หนุนเท้าจากยางธรรมชาติเพื่อลดความดันในส้นเท้า

Materials Development of Natural Rubber Heel Cushion for Reducing Plantar Heel Pressure

อาทิตย์ สวัสดิรักษา[1], เจริญยุทธ เดชวายุกุล[1], สุนทร วงษ์ศิริ[2], บุญสิน ตั้งตระกูลวนิช[2] และ วิริยะ ทองเรือง[1,*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
[2]ภาควิชาศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิกส์และกายภาพบำบัด คณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

* E-mail: twiriya@me.psu.ac.th

บทคัดย่อ

โรคปวดส้นเท้าเป็นปัญหาที่พบบ่อยในเวชปฏิบัติ และจากผลการวิจัยที่ผ่านมา พบว่าอุปกรณ์หนุนส้นเท้าสามารถช่วยลดอาการ บาดเจ็บในส้นเท้าได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาวัสดุจากยางธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนอุปกรณ์หนุนส้นเท้าที่ทำจากยางสังเคราะห์และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกสูตรให้ได้ยางคงรูปที่มีสมบัติเหมาะแก่การนำไปใช้งาน โดยใช้สารย่อยยางและน้ำมันเป็นสารตัวเติมผสมในยาง จากการทดสอบพบว่ายางดังกล่าวสามารถลดความแข็งของยางได้ดี สามารถดูดซับพลังงานได้สูง อีกทั้งยังให้ผลิตภัณฑ์มีพื้นผิวที่สวยงาม ไม่มีรูพรุนและฟองอากาศในเนื้อของผลิตภัณฑ์

คำหลัก: โรคปวดส้นเท้า อุปกรณ์หนุนส้นเท้า ยางธรรมชาติ ฮีสเทอร์รีสีส

Abstract

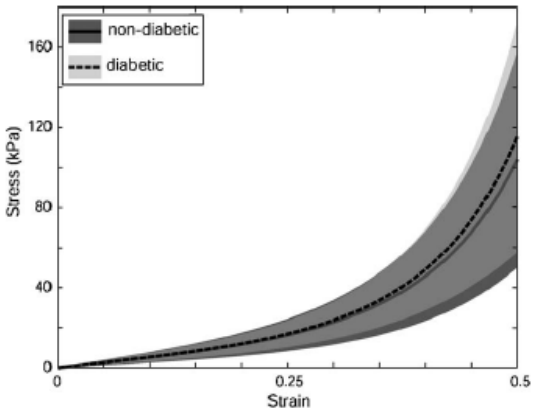
Plantar heel pain is often problem in clinic. The education meets that, the Heel Cushion can help to decrease wounded symptoms has in the heel, this research develop material from natural rubber for uses to be the inventory that imports from the foreign countries. Rubber compound by sulphur vulcanization system have peptizer and oil are filler. The test meets that, rubber compound that add a peptizer and oil can decrease the hardness of vulcanizate and the property has suit to the usability , can absorb the energy 77.8% the products have beautiful surface, decrease riddled hole and the air bubble that happen in the meat of the products.

Keywords: plantar heel pain, heel cushion, natural rubber, hysteresis

1. บทนำ

ปัจจุบันพบผู้ป่วยโรคปวดส้นเท้า (Plantar heel pain) ในทางเวชปฏิบัติถึงร้อยละ 10 [1] และส่งผลต่อการดำเนินชีวิตเนื่องจากทำให้เกิดอาการเจ็บปวดบริเวณส้นเท้า บางรายอาจอาการหนักจนไม่สามารถเดินหรือวิ่งได้ ซึ่งจาก รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กับหน้าที่ของส้นเท้าที่มีต่อท่าทางต่าง ๆทั้งเดินและวิ่ง โดยพิจารณาถึงกลไกการดูดซับการกระแทก (shock-absorbing mechanism) ความสามารถในการรับภาระ (load-carrying ability) ความแข็งตึง (stiffness) ของเนื้อเยื่อและการกระจายความเค้น ตัวแปรที่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของสมบัติข้างต้นได้แก่ ชนิดและบริเวณของเนื้อเยื่อที่พิจารณา และ อายุ ของผู้ป่วย ฟังก์ชั่นของเนื้อเยื่อส้นเท้า มี 3 อย่างคือ ลด แรงกระแทก ดูดซับแรงกระแทก และกระจายแรง เนื้อเยื่อส้นเท้ามนุษย์มีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นหนืด (Visco-elastic) แบบไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้มีสมบัติลดแรงกระแทก ดูดซับการกระแทก และกระจายแรงได้ดี [2] จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของเนื้อเยื่อส้นเท้ามนุษย์ด้วยวิธีและเทคนิคต่าง ๆเช่น วิธี การอาศัยปรากฏการณ์ทางแสงควบคู่กับเรดิโอกราฟฟิคฟลูออโรสโคปีพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของ เนื้อเยื่อ ส้นเท้าไม่เป็น แบบเชิงเส้น มีค่าโมดูลัสเริ่มต้นของการกดอยู่ที่ 105 kPa และ ค่าโมดูลัสการกดที่ความเครียด 30% เท่ากับ 306 kPa นอกจากนี้ยังพบว่ามีการกระจายของพลังงานในขณะที่ส้นเท้ากระทบพื้นประมาณ 18 % ของพลังงานทั้งหมด [3] ส่วนเทคนิคการใช้เครื่องทดสอบแบบเซอโวไฮดรอลิค (servo-hydraulic) พบว่าค่าความแข็งตึงของส้นเท้าอยู่ที่ประมาณ 900 kN/m และสามารถกระจายพลังงานได้ 46.5 – 65.5% [4] และจากการทำโมเดลทดสอบแบบเพ็นดูลั่ม (Pendulum) [5] สำหรับทดสอบการเคลื่อนที่ของเนื้อเยื่ออ่อนขาช่วงล่าง (the soft tissue of the lower leg) พบว่าเนื้อเยื่อดังกล่าวส่งผลต่อแรงในส้นเท้าอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของเนื้อเยื่อส้นเท้าและเนื้อเยื่ออ่อ นดังกล่าวในการ ดูดซับ พลังงา น นอกจากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นการใช้เทคนิคอัตรา - ซาวด์แบบ M-mode คู่กับอุปกรณ์วัดแรง (Force transducer) ทดสอบสมบัติของวัสดุส้นเท้าเมื่อเกิดการเปลี่ยนรูปอันเนื่องจากการกดของผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานและของคนปกติได้ผลความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดแบบไม่เป็นเชิงเส้นของวัสดุส้นเท้าดังรูปที่ 1 [6]



รูปที่ 1 ผลการทดสอบการกดเนื้อเยื่อส้นเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวานและคนปกติ [6]

อีกทั้งจากข้อมูลเปรียบเทียบเนื้อเยื่อส้นเท้า [7] พบว่าอัตราความเครียดมีผลต่อความแข็งตึงของเนื้อเยื่อส้นเท้าเนื่องจากเนื้อเยื่อส้นเท้ามนุษย์มีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นหนืดแบบไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งมีลักษณะเฉกเช่นพฤติกรรมของยางธรรมชาติที่มีการปรับปรุงสมบัติ ที่สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุของอุปกรณ์หนุนส้นเท้าได้ ประกอบกับจากรายงานที่ผ่านมายังพบว่าอุปกรณ์หนุนส้นเท้าสามารถลดอาการในผู้ป่วยได้ถึงร้อยละ 90 [8] และเป็นการบำบัดรักษาที่ปลอดภัย ทำได้ง่าย ดังจะเห็นได้จากบริษัทต่าง ๆ ทำการผลิตอุปกรณ์หนุนส้นเท้าด้วยวัสดุชนิดอื่น ๆ เช่น ซิลิโคน เป็นต้น อย่างไรก็ดีอุปกรณ์เหล่านั้นมีราคาค่อนข้างสูง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ผู้ป่วยที่มีรายได้น้อยไม่สามารถจัดซื้อเพื่อบำบัดอาการเจ็บป่วยดังกล่าวได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนาวัสดุยางธรรมชาติ ที่เป็นวัตถุดิบที่มีในประเทศไทยมาใช้เป็นวัสดุทดแทนอุปกรณ์หนุนส้นเท้าที่นำเข้าจากต่างประเทศ

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การเตรียมวัสดุ

ยางที่นำมาใช้ในการศึกษาเป็นยางธรรมชาติ ชนิดSTR-5L จากบริษัทถาวรอุตสาหกรรมยางจำกัด การออกสูตรยางใช้สารทำให้ยางคงรูป (vulcanizing agent or curing agent) สารตัวเร่ง สารกระตุ้น สารป้องกันยางเสื่อม น้ำมันและพลาสติกไซเซอร์ ใน

ปริมาณต่างๆ โดยใช้ ระบบคงรูปยางด้วยกำมะถัน (sulphur vulcanization system) และใช้ปริมาณสารเคมีสำหรับขึ้นรูปโดยทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้สารเคมีในระบบยางคงรูป

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr*)
ยาง STR 5L	100
Struktol	vary
Stearic acid	1-2
ZnO	3-5
Wingstay L	1-2
MBT	0.5-1.5
sulphur	2-3
spindle oil	vary

* part per hundred rubber

ทำการบดยางและผสมสารเคมีด้วยเครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-roll mill) เพื่อเตรียมยางคอมเพานด์ (rubber compound) ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้โมเลกุลเกิดการคลายตัวก่อนนำยางคอมเพานด์ไปทดสอบหาเวลาวัลคะไนซ์ (ยางสุก) ด้วยเครื่องทดสอบเวลาวัลคะไนซ์ของยาง (Moving Die Rhometer, MDR) ทำการขึ้นรูปยางคอมเพานด์ด้วยเครื่องอัดเบ้า (Compression molding) ที่อุณหภูมิกำหนดและเวลาที่วิเคราะห์ได้จากการทดสอบเวลาวัลคะไนซ์ของยาง

2.2. การทดสอบวัสดุ

ในการพัฒนาวัสดุจากยางธรรมชาติได้ศึกษาถึงสมบัติต่างๆเช่น ค่าพลาสติกซิตี้ (Plasticity) หรือดัชนีความอ่อนตัวเป็นสมบัติของยางดิบหรือยางผสมที่ยังไม่ผ่านการ วัลคาไนซ์ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิและแรงอัดที่กำหนด ค่าความหนืด (Mooney viscosity) ของยางดิบ และ ยางคอม เพาน ด์ ค่า ความแข็ง (Hardness) ตามมาตรฐาน (ASTM D 2240 Shore A) [9] และสมบัติการรับแรงกด (Compressive property) และสมบัติฮีสเทอรีสีส (hysteresis) ของการกดด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine, INSTRON Model 8872) ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 เครื่องทดสอบความแข็งแรงวัสดุ

สำ หรับการทดสอบแรงกด ในแนวแกนเดียว (Uniaxial compression test) ได้ใช้ข้อกำหนดตามมาตรฐานของ ASTM D575-91 ชิ้นงาน เป็นทรงกระบอก (Cylindrical Disk) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 28.5 mm หนา 12.5 mm ที่อัตราการกดคงที่ 12 mm/min ในอัตราการกดเดียวกับการทดสอบฮีสเทอรีสีสแต่วิธีหลังจะกำหนดให้ความเค้นคงที่ที่ 600 kPa

3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

3.1 ผลการขึ้นรูปยาง

ผลจากการ ขึ้นรูปยางคอมเพานด์สูตรต่างๆในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน ด้วยเครื่องอัดเบ้าโดยใช้อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ที่ 150 °C ความดัน 2,500 psi เป็นเวลา 15 นาที จะทำให้ได้ยางสุกหรือยางคงรูป (vulcanizate) ที่มีการหดตัวอยู่ที่ 10-15% ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาตามที่กำหนด การขึ้นรูปยางจากยางคอมเพานด์สูตรต่างๆ (ทดลอง 6 สูตร) พบว่ายางวัลคะไนซ์บางสูตรมีรูพรุนและฟองอากาศเกิดขึ้นโดยปริมาณรูพรุนและฟองอากาศพบมากในยางสูตรที่มีปริมาณการใช้น้ำมันมากขึ้น การเติมสารย่อยยางพบว่าสามารถลดความพรุนของเนื้อยางลงได้ กล่าวได้ว่าน้ำมันอาจมีองค์ประกอบของสารที่ระเหยได้เมื่อโดนความร้อน

ส่งผลให้เกิดรูพรุนและฟองอากาศแต่เมื่อทำการผสมน้ำมันพร้อมกับสารย่อยยางในสัดส่วนที่เหมาะสมจะสามารถลดรูพรุนและฟองอากาศลงได้ รวมทั้งสามารถทำให้ยางมีความนิ่มมากขึ้นและมีสมบัติที่ใกล้เคียงเนื้อมนุษย์มากขึ้น

3.2 ผลการทดสอบวัสดุ

ผลการทดสอบค่าพลาสติกซิตี้หรือค่าความอ่อนตัวแสดงในตารางที่ 2 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าพลาสติกซิตี้สูงแต่เมื่อบดยางเป็นเวลานานขึ้นค่าพลาสติกซิตี้สามารถทำให้ลดลงได้ถึงประมาณ 4 เท่าอันเนื่องจากในขณะบดมีการเฉือนเกิดขึ้นทำให้โมเลกุลเล็กลงและอ่อนตัวง่าย นอกจากนี้เมื่อทำการบดยางพร้อมกับผสมสารย่อยยาง พบว่าค่าการอ่อนตัวลดลงได้ประมาณ 5 เท่า ดังนั้นเมื่อเทียบกับค่าพลาสติกซิตี้เริ่มต้นของยางธรรมชาติก่อนการบดพบว่าเวลาที่ใช้ในการบดยางและสารย่อยยางมีผลต่อค่าพลาสติกซิตี้ของยางที่ใช้

ตารางที่ 2 ค่าพลาสติกซิตี้ (Plasticity) ของยาง

ยาง	ครั้งที่			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
ยางดิบ (รับมา)	63.6	64.3	63.7	63.9±0.4
บด 50 นาที	14.7	15.4	15.6	15.3±0.5
บด 50 นาทีและผสมสารย่อยยาง	12.5	12.9	13.1	12.8±0.3

ผลการทดสอบค่าความหนืดของยางสูตรต่างๆแสดงในตารางที่ 3 พบว่าค่าความหนืดของยางมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้บดยางและความหนืดของยางที่รับมามีค่าลดลงประมาณ 53% เมื่อบดยางเป็นเวลานาน 50 นาที แต่เมื่อบดผสมกับสารย่อยยางพบว่าค่าความหนืดลดลงถึง 58.78% ในขณะเดียวกันเมื่อเติมน้ำมันลงในยางผสมข้างต้นส่งผลให้ค่าความหนืดของยางมีค่าลดลงได้สูงถึงประมาณ 70-80% ทำให้ได้ยางที่มีความหนืดน้อย ง่ายต่อการอัดขึ้นรูปและนิ่ม อย่างไรก็ตามจากข้อมูลพบว่าสารย่อยยางทำให้ความหนืดของยางเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในกรณีของยางเติมน้ำมันเมื่อเทียบกับยางเติมน้ำมันที่ไม่มีสารย่อยยาง

ตารางที่ 3 ความหนืดของยางดิบและยางคอมเพานด์

สูตร	ML 1+4 (MU)	% ลดลงของความหนืด
ยางธรรมชาติ (SRT 5L)	103.76	0
ยางธรรมชาติบด 50 นาที	48.74	53.03
ยางธรรมชาติบด 50 นาที ผสมสารย่อยยาง	42.77	58.78
ยางคอมเพานด์สูตรที่ 1	50.28	53.48
ยางคอมเพานด์สูตรที่ 2	33.45	67.76
ยางคอมเพานด์สูตรที่ 3	17.56	83.08
ยางคอมเพานด์สูตรที่ 4	44.24	57.36
ยางคอมเพานด์สูตรที่ 5	40.47	61.00
ยางคอมเพานด์สูตรที่ 6	22.76	78.06

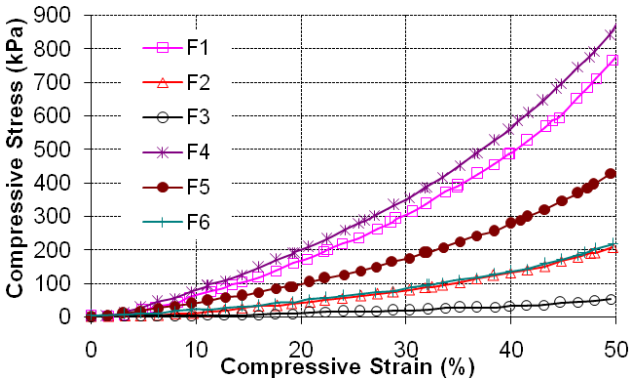
ค่า ความแข็งของยางวัลคะไนซ์แสดงในตารางที่ 4 พบว่ายางธรรมชาติมีค่าความแข็งประมาณ 40 shore A เมื่อนำตัวอย่างยางวัลคะไนซ์สูตรที่ 1 2 3 4 5 และ 6 มาทดสอบได้ค่าความแข็งลดลง 60.7 93.7 97.5 52.5 79.5 และ 95% ตามลำดับ การบดยางด้วยเวลาเพียง 50 นาทีส่งผลให้ค่าความแข็งลดลงได้ 60% การบดยางพร้อมกับสารย่อยยางส่งผลให้ค่าความแข็งลดลง 53% ส่วนการบดยางพร้อมน้ำมันส่งผลให้ค่าความแข็งลดลงได้ถึง 90-97% ดังนั้นเวลาที่ใช้บดยางน้ำมันและ สารย่อยยาง ส่งผลให้ค่า ความแข็ง ลดลงได้ในช่วง 80-97%

ตารางที่ 4 ค่าความแข็ง (Hardness) ของยาง

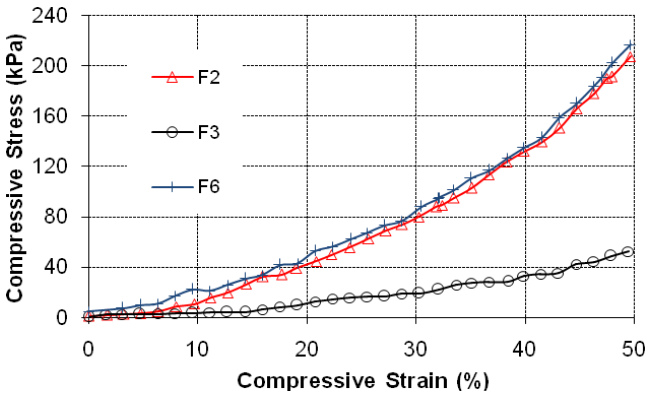
ยางคอมเพานด์สูตรต่างๆ	ค่าความแข็งเฉลี่ย (Shore A)	% การลดลงของค่าความแข็ง
ยางธรรมชาติ	40.0±0.0	0.0
1	15.7±0.6	60.7
2	2.5±0.5	93.7
3	1.0±0.0	97.5

4	19.0±0.4	52.5
5	8.2±0.6	79.5
6	2.0±0.0	95.0

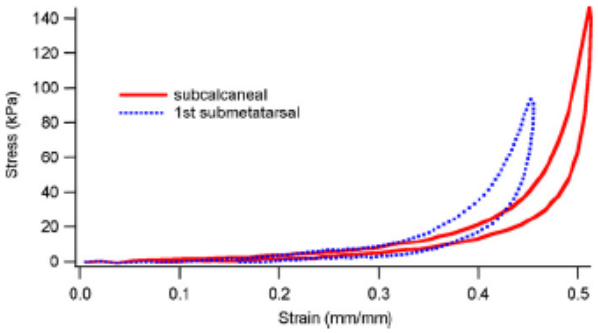
ผลการทดสอบสมบัติต้านทานการรับแรงกด (Compressive properties) สามารถแสดงดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ จากการรับแรงกดของยางทั้ง 6 สูตร พบว่าที่ค่าความเครียดการกดเดียวกันที่ 50% ค่าความเค้นการกดสูงสุดเกิดขึ้นในยางวัลคะไนซ์สูตรที่ 4 ซึ่งมีค่าประมาณ 850 kPa ค่าความเค้นการกดต่ำสุดเกิดขึ้นในยางวัลคะไนซ์สูตรที่ 3 มีค่าประมาณ 80 kPa ทั้งนี้เป็นผลมาจากยางในสูตรดังกล่าวปรากฏรูพรุนและฟองอากาศเกิดขึ้นทำให้สมบัติต้านทานแรงกดลดลง สมบัติต้านทานการรับแรงกดทั้งสองสอดคล้องกับค่าความแข็งที่วัดได้ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยเมื่อเทียบกับเนื้อเยื่อส้นเท้าในงานวิจัยที่ผ่านมาดังแสดงในรูปที่ 5 [10] พบว่าสูตรยางที่ให้สมบัติใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อส้นเท้าคือสูตรที่ 2 3 และ 6 ดังนั้นในที่นี้จะนำเสนอเน้นข้อมูลในสูตรดังกล่าวเพื่อนำไปขึ้นรูปสำหรับใช้งานต่อไป



รูปที่ 3 สมบัติเชิงกลของการรับแรงกดของยางวัลคะไนซ์สูตรต่างๆ

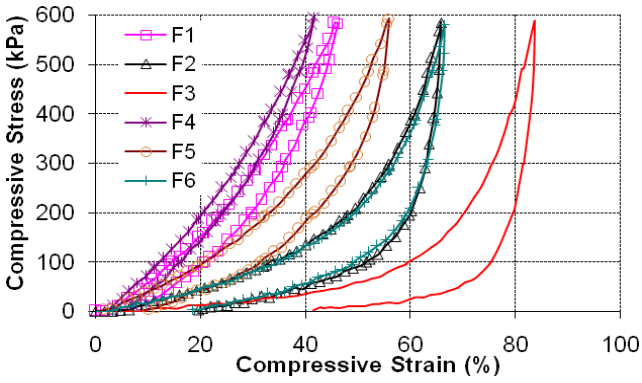


รูปที่ 4 สมบัติการรับแรงกดของยางวัลคะไนซ์สูตร 2 3 และ 6

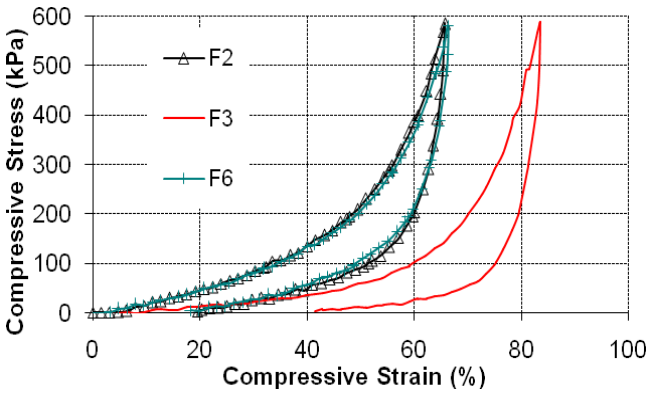


รูปที่ 5 วงรอบฮีสเทอร์รีสีสของส้นเท้าและจมูกเท้า [10]

จากผลการทดสอบสมบัติฮีสเทอรีสีสหรือความสามารถของวัสดุในการดูดซับพลังงานหรือพลังงานที่สูญเสียและกระจายในเนื้อวัสดุหลังการรับแรงแสดงดังรูปที่ 6-7 และข้อมูลในตารางที่ 5 ซึ่งพบว่ายางวัลคะไนซ์แต่ละสูตรมีค่าฮีสเทอรีสีสที่ต่างกันโดยสูตรยาง ที่ 2 3 และ 6 ให้ค่าฮีสเทอรีสีสสูงสุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ (คำนวณจากพื้นที่วงรอบฮีสเทอรีสีส)



รูปที่ 6 สมบัติฮีสเทอรีสีสของยางวัลคะไนซ์สูตรต่างๆ



รูปที่ 7 สมบัติฮีสเทอรีสีสของยางวัลคะไนซ์สูตร 2 3 และ 6

ตารางที่ 5 ค่าพลังงานสูญเสียของยางสูตรต่าง ๆ

ยางสูตร	% พลังงานสูญเสีย
1	56.5
2	77.8
3	71.0
4	37.0
5	65.8
6	76.2

ที่ค่าความเค้นการกดเดียวกันที่ 600 kPa ยางวัลคะไนซ์สูตรที่ 2 และ 6 มีค่าการดูดซับพลังงานได้ดีสุดที่ประมาณ 76-78% โดยที่ยางวัลคะไนซ์สูตรที่ 4 มีค่าการดูดซับพลังงานได้ต่ำที่สุด 37.0% ยางวัลคะไนซ์สูตรที่ 2 และสูตร 6 มีความยืดหยุ่นต่ำ น้ำมันที่ผสมในยางทั้งสองมีผลทำให้ยางวัลคะไนซ์เปลี่ยนรูปได้ง่าย (ความเครียดสูง) และมีสมบัติการคืนรูปต่ำ ทำให้ค่าดูดซับพลังงานได้ดี อีกทั้งยังนิ่มและให้สมบัติที่ใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อส้นเท้ามากที่สุด ทำให้เหมาะต่อการนำไปใช้งานมากกว่าสูตรอื่น ๆ

4. สรุป

การพัฒนาวัสดุโดยการใช้ยางธรรมชาติให้ใกล้เคียงกับสมบัติของเนื้อเยื่อส้นเท้าของมนุษย์สามารถทำได้โดยการบดยางด้วยเครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง โดยปรับเวลาในการบดยางและผสมสารเคมีที่ส่งผลต่อสมบัติของยางในการใช้เป็นวัสดุผลิตอุปกรณ์รองส้นเท้าเช่น สารย่อยยางและน้ำมัน อีกทั้งยังสามารถลดความแข็ง ความหนืดของยาง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะต่อการนำไปใช้งานเป็นอุปกรณ์หนุนส้นเท้าได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดรูพรุนและฟองอากาศที่เกิดขึ้นในเนื้อของผลิตภัณฑ์ด้วย ซึ่งจะนำยางสูตร 2, 3, 5 และ 6 มาขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และทดสอบสมบัติต่าง ๆและพัฒนาเพื่อให้ได้วัสดุและผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิผลสูงสุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และคณะบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนทุนสำหรับทำงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1]http://www.ops2. moc.go.th/tradeth/cgi/ImComm2.asp (June 12,2007)

[2] 2. Rome, K., “Mechanical Properties of the Heel Pad: Current Theory and Review of the Literature”, *The Foot*, **8**, 179-185, 1998.

[3] Gefen, A., Megido-Ravid, M. and Itzchak, Y., “In Vivo Biomechanical Behavior of The Human Heel Pad During The Stance phase of Gait”, *Journal of Biomechanics,* **34**, 1661-1665, 2001.

[4] P. Aerts,* R. F Ker,t D. De Clercq,$ D. W. Ilsleyg and R. McN. Alexander., “The Mechanical Properties Of The Human Heel Pad:A Paradox Resolved”, J. Biomchanics, **28**, 1299-1308, 1995

[5] Pain, M. T.G. and Challis, J.H., “The role of the Heel Pad and Shank Soft Tissue During Impacts: A Further Resolution of a Paradox”, *Journal of Biomechanics,* **34**, 327-333, 2001.

[6] Erdemir, A., Viveiros, M.L., Ulbrecht, J.S. and Cavanagh, P.R., “An Inverse Finite-Element

Model of Heel Pad Indentation", *Journal of Biomechanics,* **39**, 1279-1286, 2006.

[7] Iain R. Spears , Janice E. Miller-Young., "The effect of heel-pad thickness and loading protocol on measured heel-pad stiffness and a standardized protocol for inter-subject comparability", *Clinical Biomechanics*, **21**, 204-212, 2006

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

[9] http://rubber.sc.mahidol.ac.th (January 20,2009)

[10] William R. Ledouxa,b,c, , Joanna J. Blevinsa., "The compressive material properties of the plantar soft tissue", Journal of Biomechanics, **40**, 2975–2981, 2007