

รายงานการวิจัย
เรื่อง

แผ่นรองเท้าสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพเท้าผู้สูงอายุ
Prefabricated Insole for Elderly Foot Health

โดย

ผศ.ดร.ฉันท์ทิพ สกุลเขมฤทัย
ผศ.ดร.สิงห์โต สกุลเขมฤทัย
นาย อโณทัย ผลสุวรรณ
นพ.ปีนไทย เทพมณฑา
น.ส.วาวแวว ว่องเอกลักษณ์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ประจำปีงบประมาณ 2560

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ในการจัดทำโครงการวิจัยในหัวข้อการ พัฒนายางธรรมชาติที่มีความต้านทานต่อการติดไฟสูง จนโครงการสำเร็จตามวัตถุประสงค์นั้น คณะผู้จัดทำได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2560 ในกลุ่มเรื่องผู้สูงอายุ และคนพิการ ซึ่งคณะผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูงในการได้รับความอนุเคราะห์ทุนอุดหนุนการวิจัยในโครงการนี้ นอกจากนี้ขอแสดงความขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ และสถาบันสิรินธรเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพทางการแพทย์แห่งชาติ ในการให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการดำเนินโครงการวิจัย

คณะผู้จัดทำ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและจัดสร้างแผ่นรองเท้าเพื่อสุขภาพผู้สูงอายุ โดยใช้วัสดุหลักจากยางธรรมชาติ ในงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาสูตรผสมยางธรรมชาติ และออกแบบแผ่นรองเท้า จากนั้นทำการผลิตแผนรองเท้าด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป จากงานวิจัยนี้พบว่าในการผลิตแผ่นรองเท้าสุขภาพนั้นต้องใช้สูตรยางในการผลิตที่แตกต่างกัน เพื่อให้เกิดผลในการกระจายแรงกดที่ดี ช่วยลดแรงกดทับของฝ่าเท้าทั้งในขณะเดินและเคลื่อนไหว ซึ่งทั้งยางสองส่วนนี้จะมีความแข็งของยางแตกต่างกัน ในการผลิตแผ่นรองเท้าเพื่อสุขภาพในงานวิจัยนี้นั้นใช้วัตถุดิบที่ผลิตได้ภายในประเทศและใช้ยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศ ต้นทุนการผลิตที่ใช้ในเรื่องของวัตถุดิบในการผลิตแผ่นรองเท้าในงานวิจัยนี้จึงมีมูลค่าโดยประมาณ 40 บาท ต่อแผ่นรองเท้า 1 คู่ (ราคาเปลี่ยนแปลงตามราคาของวัตถุดิบในช่วงเวลาของการผลิต) ในเรื่องของการออกแบบแผ่นรองเท้าที่เหมาะสมนั้น ควรเป็นแผ่นรองเท่าที่มีการกระจายในการรับแรงกดที่ดี ไม่มีสะสมแรงกดทับในบริเวณใดบริเวณหนึ่งมากเกินไป และควรมีการออกแบบให้มีส่วนโค้งที่รองรับบริเวณอุ้งเท้า (arch) ซึ่งผู้สูงอายุนั้นจะมีแนวโน้มสูญเสียไขมันในบริเวรดังกล่าวมากขึ้น ฝ่าเท้าจะแบบลง ส่งผลให้เกิดความเจ็บปวดเมื่อยืนหรือเดินเป็นเวลานานๆได้มากขึ้น การออกแบบแผ่นรองเท้าให้มีส่วนโค้งที่รองรับบริเวณอุ้งเท้า (arch) นั้นจะช่วยให้เกิดการกระจายแรงกดทับขณะยืนหรือเคลื่อนได้ดี ช่วยให้ผู้สวมใส่มีความสบายมากยิ่งขึ้น

Abstract

This research aims to design and create a prefabricated insole for elderly foot health by using natural rubber as raw materials. In this research, the formulation of natural rubber blends and design of footwear is created. The prefabricated insole was produced by compression molding process. This research has been found to require a different production of rubber formulations to achieve good pressure distribution, it reduces the pressure of both the soles while walking and moving. Both parts of the rubber formulation must have different vulcanite hardness. In the production of the prefabricated insole for elderly foot health in this research, it uses domestically produced raw materials and uses natural rubber, a major agricultural product in the country. The cost of production used in the production of the insole in this research is approximately 40 Baht per pair of insoles (the price changes according to the price of raw materials at the time of production). In terms of designing the insole, It should be distributed in good pressure, which is not too much pressure accumulated in any area. The insole should be designed to have a curved section that supports the arch, where the elderly is more likely to lose fat in such a way. This results in more pain when standing or walking for a long time. The design of the shoe plate to have a curved section that supports the arch allows to spread pressure while standing or moving well and helps the wearer be more comfortable.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	II
บทคัดย่อ	III
สารบัญ	IV
สารบัญ (ต่อ)	V
สารบัญตาราง	VI
สารบัญตาราง (ต่อ)	VII
สารบัญรูป	VIII
สารบัญรูป (ต่อ)	IX
สารบัญรูป (ต่อ)	X
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โครงสร้างของเท้า	3
2.2 การเลือกรองเท้าที่เหมาะสมในแต่ละคน	4
2.3 อาการปวดส้นเท้า	5
2.4 การรักษาสุขภาพเท้า	8
2.5 อิลาสโตเมอร์	9
2.6 Cellular Rubber	13
2.7 Micro Cellular Rubber	14
2.8 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการวัลคาไนเซชันด้วยระบบกำมะถัน	14
2.9 สารตัวเติม	16
2.10 สารทำให้ยางนิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต	17
2.11 เพปไตเซอร์	19
2.13 การออกแบบสูตรส่วนผสม	19
2.14 กระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยาง	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	
3.1 สารเคมี	25
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	25
3.3 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน	30
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	32
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	
4.1 การทดสอบความแข็งของตัวอย่างแผ่นรองเท้า	43
4.2 ออกแบบแผ่นรองเท้าและวิเคราะห์ความแข็งของแผ่นรองเท้าในแต่ละส่วน	49
4.3 ศึกษาสมบัติของสารตัวเติมที่มีผลต่อยางธรรมชาติ	53
4.4 ทดสอบแรงกดใต้ฝ่าด้วยยางที่ขึ้นรูปเป็นแผ่นรองเท้า	72
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	88
บรรณานุกรม	91
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การตั้งค่าเครื่อง Compression molding	93
ภาคผนวก ข. โปรแกรมดูค่าแรงกดใต้ฝ่าเท้า FSA 4	95
ภาคผนวก ค. ราคาวัตถุดิบ	97
ภาคผนวก ง. ผลการสำรวจจากผู้ทดสอบ	99

สารบัญตาราง

ตารางที่	**หน้า**
2.1 มาตรฐานยางแท่งของประเทศไทย	11
2.2 มาตรฐานยางแท่ง STR 20 ตามที่ AFET กำหนด	12
2.3 การแบ่งกลุ่มขององค์ประกอบที่ใช้ในการผสมเคมียาง	15
2.4 การออกสูตรยางเบื้องต้น	20
2.5 ตัวอย่างขนาดปริมาณยางที่จะบดได้และกำลังของเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง	21
3.1 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของสารเคมีที่มีผลต่อยางธรรมชาติ	37
3.2 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีผลต่อยางธรรมชาติ	37
3.3 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของคาร์บอนแบล็คที่มีผลต่อยางธรรมชาติ	38
3.4 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของพลาสติไซเซอร์ที่มีผลต่อยางธรรมชาติ	39
3.5 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของสารเคมีย่อยยางที่มีผลต่อยางธรรมชาติ	39
3.6 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของสารเคมีย่อยยางผสมกับพลาสติไซเซอร์ที่มีผลต่อยางธรรมชาติ	40
3.7 มาตรฐานสากลเครื่องวัดความแข็งชนิด Shore A	41
4.1 ค่าความแข็งของตัวอย่างแผ่นรองเท้า (Hardness)	43
4.2 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต	51
4.3 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต	51
4.4 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต	52
4.5 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต	53
4.6 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค	54
4.7 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค	55
4.8 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค	56
4.9 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์	58
4.11 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์	59
4.12 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์	60
4.13 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์	60
4.14 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง	61
4.15 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง	62
4.16 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง	63
4.17 แสดงค่าแรงดึง Tensile (MPa) ของยางธรรมชาติ ที่เติมสารตัวเติมชนิดต่างๆ	64
4.18 ยางธรรมชาติที่เติมสารตัวเติมชนิดต่างๆ ที่นำมาใช้ขึ้นรูปแผ่นรองเท้า	65
4.19 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง	66
4.20 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง	67
4.21 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง	68
4.22 แสดงค่าแรงดึง Tensile (MPa) ของยางธรรมชาติ ที่เติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ	69
4.23 ยางธรรมชาติที่เติมสารตัวเติมชนิดต่างๆ ที่นำมาใช้ขึ้นรูปแผ่นรองเท้า	72
5.1 สูตรยางที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนแผ่นรองเท้าส่วนที่ 1	89
5.2 สูตรยางที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนแผ่นรองเท้าส่วนที่ 2	89

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 อุ้งเท้าสูง	4
2.2 อุ้งเท้าแบน	4
2.3 อุ้งเท้าแบน	6
2.4 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ	10
2.5 ตัวอย่างลักษณะโครงสร้างทางโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอน	18
2.6 ตัวอย่างลักษณะโครงสร้างทางโมเลกุลของ Struktol A86	19
3.1 เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)	26
3.2 เครื่องทดสอบความหนืด (Mooney viscometer)	26
3.3 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบดายเคลื่อนที่ (Moving Die Rheometer,MDR)	27
3.4 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding)	27
3.5 เครื่องวัดความแข็ง (Hardness)	28
3.6 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine)	28
3.7 เครื่องวัดแรงกดใต้ฝ่าเท้า	29
3.8 แผ่นรองเท้า	29
3.9 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน	30
3.10 แผนผังขยายการดำเนินงานศึกษาแผ่นรองเท้าที่มีวางจัดจำหน่ายทั่วไป	31
3.11 แผนผังขยายการดำเนินงานออกแบบแม่พิมพ์แผ่นรองเท้า	31
3.12 แผนผังขยายการดำเนินงานทำแผ่นรองเท้า	32
3.13 แผ่นรองเท้าที่วัดความแข็งเรียบร้อย	33
3.14 ตัวอย่างผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า	34
3.15 การออกแบบแผ่นรองเท้าครั้งที่ 1	34
3.16 การออกแบบแผ่นรองเท้าและแม่พิมพ์ครั้งที่ 2	35
3.17 การออกแบบแผ่นรองเท้าและแม่พิมพ์ครั้งที่ 3	36
3.18 รูปร่างชิ้นงานทดสอบดัมบ์เบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D 412 (Die C)	42
4.1 ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ทดสอบความแข็งด้วยเครื่อง Durometer (Shore A) แล้ว	43
4.2 ตัวอย่างเครื่องวัดแรงกดใต้ฝ่าเท้า	44
4.3 ตัวอย่างผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.4 ผลที่ได้จากเครื่องกดใต้ฝ่าเท้าของเท้าเปล่า 45
4.5 ผลที่ได้จากเครื่องกดใต้ฝ่าเท้าของตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 1 45
4.6 ผลที่ได้จากเครื่องกดใต้ฝ่าเท้าของตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 2 46
4.7 ผลที่ได้จากเครื่องกดใต้ฝ่าเท้าของตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3 47
4.8 ผลที่ได้จากเครื่องกดใต้ฝ่าเท้าของตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 4 48
4.9 (1) แบบแผ่นรองเท้า และ (2) แบบแม่พิมพ์แผ่นรองเท้า 49
4.10 แม่พิมพ์แผ่นรองเท้า (1) แผ่นรองเท้าด้านล่าง และ (2) แผ่นรองเท้าด้านบน 49
4.11 แม่พิมพ์สำหรับประกอบด้านล่างแผ่นรองเท้าในรูปที่ 4.10 (1) 50
4.12 ความแข็งของแผ่นรองเท้าในแต่ละส่วน 50
4.13 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 52
4.14 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 53
4.15 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 55
4.16 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 55
4.17 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค 56
4.18 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค 57
4.19 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค 58
4.20 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค 59
4.21 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์ 61
4.22 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์ 62
4.23 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์ 63
4.24 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์ 64
4.25 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง 65
4.26 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง 66
4.27 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง 67
4.28 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง 68
4.29 แสดงค่าแรงดึง Tensile (MPa) ของยางธรรมชาติ ที่เติมสารตัวเติมชนิดต่างๆ 70
4.30 แสดงค่า Elongation at break (%) ของยางธรรมชาติ ที่เติมสารตัวเติมชนิดต่างๆ 70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.31 แสดงค่า 100 % modulus ของยางธรรมชาติ ที่เติมสารตัวเติมชนิดต่างๆ	71
4.32 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 1	72
4.33 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 1	73
4.34 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 2	73
4.35 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 2	74
4.36 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 3	74
4.37 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 3	75
4.38 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 4	76
4.39 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 4	76
4.40 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 5	77
4.41 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 5	77
4.42 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 6	78
4.43 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 6	78
4.44 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 7	79
4.45 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 7	79
4.46 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 1 กับแผ่นรองเท้าที่ 6	80
4.47 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 2 กับแผ่นรองเท้าที่ 6	81
4.48 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3 กับแผ่นรองเท้าที่ 6	82
4.49 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 4 กับแผ่นรองเท้าที่ 6	82
4.50 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 8	84
4.51 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 8	84
4.52 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 1 กับแผ่นรองเท้าที่ 8	85
4.53 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 2 กับแผ่นรองเท้าที่ 8	86
4.54 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3 กับแผ่นรองเท้าที่ 8	86
4.55 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 4 กับแผ่นรองเท้าที่ 8	87
5.1 ความแข็งของแผ่นรองเท้าในแต่ละส่วน	88

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากผลสำรวจของสำนักงานสถิติแห่งชาติพบว่า ประเทศไทยมีจำนวนและสัดส่วนของผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง การที่ประชากรไทยมีชีวิตยืนยาวขึ้น มิได้หมายถึงประชากรผู้สูงอายุมีสุขภาพดีขึ้น แต่ดูเหมือนว่าช่วงชีวิตที่ยืนยาวขึ้นนั้น จะเป็นช่วงชีวิตที่มีการเจ็บป่วยเพิ่มขึ้นเป็นลำดับด้วย ผู้สูงอายุหลายท่านถึงแม้จะมีสุขภาพดีก็ตาม แต่ร่างกายก็ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอายุที่มากขึ้น โดยเฉพาะส่วนขาและเท้าที่อ่อนแอลงจนเกิดอาการต่างๆ รองเท้าผู้สูงอายุจึงเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาสุขภาพของผู้สูงอายุได้เป็นอย่างดีมีการศึกษาเรื่องปัญหาเท้าที่พบบ่อยในผู้สูงอายุสุขภาพดี พบว่าปัญหาที่พบบ่อยในคนสูงอายุคือ ส้นเท้าจะขาดความยืดหยุ่นที่คอยรองรับน้ำหนักตัวบริเวณส้นเท้า บางครั้งทำให้เจ็บฝ่าเท้าบริเวณโคนนิ้วเกือบทุกนิ้ว อาการเหล่านี้จะดีขึ้นหรือหายไปได้ โดยการใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่นรองไว้ตรงตำแหน่งที่มีอาการเจ็บหรือปวดนั้นๆ ปัจจุบันพบว่ามีการใช้กายอุปกรณ์เสริมมากขึ้นสำหรับรักษากลุ่มอาการที่มีอาการปวดที่ข้อเท้าและเท้า ซึ่งมีความหลากหลายของรูปแบบและวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่น เพิ่มความสามารถในการใช้งาน ความเหมาะสมเข้ากับปัญหา รวมทั้งยังมีการผลิตในรูปแบบสำเร็จรูป นอกจากนี้ยังมีความหลากหลายของวัสดุที่นำมาใช้ทำกายอุปกรณ์เสริม แผ่นรองเท้าก็เช่นเดียวกัน มีทั้งแผ่นรองเท้าชนิดหล่อพิเศษเฉพาะราย (Custom Insole) และแผ่นรองเท้าชนิดสำเร็จรูป (Prefabricated Insole) ซึ่งมีความหลากหลายของวัสดุที่นำมาใช้ผลิต มีความแตกต่างของราคาในท้องตลาด เช่นแผ่นรองเท้าที่ทำจากซิลิโคนจะมีราคาแพง การออกแบบลักษณะของแผ่นรองเท้าที่เหมาะสมจะส่งผลให้การควบคุมการทรงตัวได้ดีขึ้น และสามารถป้องกันภาวะหกล้มในผู้สูงอายุได้

จากข้อมูลดังกล่าวนี้ทำให้คณะผู้วิจัยเกิดความสนใจที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ “แผ่นรองเท้าสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพเท้าผู้สูงอายุ” โดยมีแนวความคิดที่จะใช้ยางธรรมชาติ เป็นวัสดุในการผลิต เนื่องจาก ยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่น อ่อนนุ่ม และสามารถปรับปรุงให้มีสมบัติเชิงกลหลากหลายได้โดยใช้เทคโนโลยีและองค์ความรู้ทางด้านสารเติมแต่งเพื่อนำมาปรับปรุงสมบัติของยางสามารถขึ้นรูปให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ โดยเก็บรายละเอียดต่างๆได้ดี สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างๆได้หลากหลาย ทำความสะอาดได้ง่าย และนอกจากนี้ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาราคายางตกต่ำส่งผลให้รายได้ของเกษตรชาวสวนยางลดลงเป็นอันมาก รัฐบาลได้ให้ความสำคัญกับปัญหาดังกล่าวและได้บรรจุเป็นวาระเร่งด่วนที่ต้องได้รับการแก้ไขปัญหา แนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการแก้ไขปัญหาราคายางของประเทศ คือการกระตุ้นปริมาณการใช้งานในประเทศมากขึ้น ดังนั้นทำให้คณะผู้วิจัยมีความตั้งใจในการที่จะเพิ่มมูลค่าให้แก่ยางธรรมชาติ โดยการนำมาวิจัยและพัฒนามาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ ซึ่งเป็นตลาดผู้บริโภคที่มีแนวโน้มมีปริมาณความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ออกแบบและผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ “แผ่นรองเท้าสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพเท้าผู้สูงอายุ”

1.2.2 เพื่อทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ (ทดสอบทางวิศวกรรม)

1.2.3 เพื่อทดสอบการใช้งานในชีวิตประจำวันของผู้สูงอายุ (ทดสอบทางการแพทย์)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ผลิตแผ่นรองเท้าโดยใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลัก

1.3.2 ออกแบบพื้นรองเท้าให้เหมาะสมกับผู้สูงอายุ

1.3.3 ขึ้นรูปแผ่นรองเท้าด้วยแม่พิมพ์ที่ออกแบบ

1.3.4 สมบัติเชิงกลที่ต้องการจากแผ่นรองเท้าสามารถให้ความนุ่ม ยืดหยุ่น รับแรงได้ดี

1.3.5 สมบัติเชิงกลของแผ่นรองเท้าที่จะผลิตจะใช้ขอบเขตการเปรียบเทียบโดยใช้แผ่นรองเท้าที่มีจำหน่ายทั่วไปและเป็นวัสดุประเภทเดียวกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติ โดยนำมาพัฒนาให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์

1.4.2 แผ่นรองเท้าที่ผลิตเองสามารถนำไปให้ผู้สูงอายุและบุคคลทั่วไปใช้งานได้

1.4.3 แผ่นรองเท้าจากยางธรรมชาติ มีคุณสมบัติที่ดีกว่าหรือเทียบเท่ากับแผ่นรองเท้าที่มีจำหน่ายทั่วไป มีโอกาสที่จะพัฒนาให้เกิดเป็นสินค้าภายในประเทศหรือแม้แต่การส่งออกไปขายต่างประเทศได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างของเท้า [1]

เท้า เป็นอวัยวะที่มีจุดประสานและเชื่อมต่อที่แข็งแรงกับอวัยวะทั้งร่างกาย เท้าแต่ละข้างมีกระดูกจำนวน 26 ชิ้น รวมเท้าซ้ายและขวาเป็น 52 ชิ้น แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนกระดูกข้อเท้า 7 ชิ้น กระดูกฝ่าเท้า 5 ชิ้น กระดูกนิ้วเท้า 14 ชิ้น กระดูกเท้าจัดวางเรียงตัวในลักษณะที่มีความโค้ง มีผลทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการลงน้ำหนัก การจัดเรียงตัวดังกล่าวทำให้ทางด้านบนของเท้ามีลักษณะโค้งนูน อย่างไรก็ตามโค้งของเท้าจะแบนลงเมื่อมีน้ำหนักตัวกดลงมาเช่น ในขณะยืน และคืนตัวเมื่อนั่งหรือนอน การเกิดโค้งของเท้ามีประโยชน์เพื่อให้เกิดการกระจายน้ำหนัก ในขณะเคลื่อนไหวโค้งของเท้าคงรูปอยู่ได้ด้วยพังผืดต่างๆ ที่ยึดกระดูกแต่ละชิ้นไว้คือ เอ็นและกล้ามเนื้อ แต่ละโค้งของเท้ามีกระดูกที่เป็นจุดศูนย์กลางเช่นเดียวกัน ถ้าโครงสร้างใดโครงสร้างหนึ่งเสียรูปร่างไป จะมีผลให้เกิดความผิดปกติในโค้งของเท้า ทำให้การทรงตัวเสียไป

2.1.1 ส่วนประกอบของเท้า [2]

2.1.1.1 กระดูกและเส้นเอ็น เท้าส่วนหน้าจะประกอบไปด้วยนิ้วเท้า และกระดูกตรงส่วนฝ่าเท้าเท้าส่วนกลางประกอบด้วยโครงสร้างของฝ่าเท้า และเท้าส่วนหนังคือส้นเท้า

2.1.1.2 เส้นประสาทและเส้นเลือด เป็นศูนย์รวมของระบบประสาทและเส้นเลือดต่างๆ โดยสื่อสารผ่านระบบประสาทและต่อมน้ำเหลือง

2.1.1.3 ผิวหนังที่ง่ายต่อการเสียดสี ผิวหนังเป็นส่วนประกอบสำคัญอย่างหนึ่ง ซึ่งเมื่อสวมรองเท้าที่กดรัดมากเกินไปจะเกิดแรงเสียดสีขึ้นอย่างมาก และหากไม่รักษาความสะอาดของเท้าจะเป็นที่มาของเชื้อรา เกิดกลิ่นอับ นอกจากนี้พยาธิบางประเภทสามารถเจาะเข้าสู่ผิวหนังช่วงเท้าได้ ดังนั้นจึงไม่ควรเดินเท้าเปล่าลงพื้นที่แฉะ

2.1.1.4 กล้ามเนื้อที่แข็งแรงของเท้า การเคลื่อนไหวของเท้าทำงานประสานกับกล้ามเนื้อหลายส่วนเพื่อเกิดการขยับที่สมดุลกัน เท้าเป็นอวัยวะที่รองรับแรงทั้งหมดของร่างกาย รองรับการเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลัง อีกทั้งเท้ายังเป็นจุดศูนย์รวมของระบบประสาท

2.1.2 ลักษณะของเท้า [3]

2.1.2.1 โค้งเท้าสูงหรืออุ้งเท้าสูง

คือ การที่มีส่วนโค้งบริเวณอุ้งเท้าสูงกว่าปกติมักเป็นโดยกำเนิด มีผลทำให้น้ำหนักกดลงที่เท้าในจุดที่ไม่ถูกต้อง มักทำให้เกิดอาการอักเสบบริเวณเท้าส่วนหน้าและส้นเท้า ในผู้ป่วยบางรายน้ำหนักตัวที่กดลงที่เท้าในจุดที่ไม่ถูกต้อง ส่งผลให้เกิดตาปลาหรือเกิดหนังด้านในบริเวณนั้นได้ เท้าสูงสามารถแก้ไขได้ โดยการใช้แผ่นรองฝ่าเท้าเฉพาะบุคคล เพื่อกระจายแรงกดทับของน้ำหนักตัว ที่กดลงบนเท้าให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องสมดุล ช่วยลดการอักเสบต่างๆ ลงได้



รูปที่ 2.1 อุ้งเท้าสูง [3]

2.1.2.2 โค้งเท้าน้อยหรือไม่มีอุ้งเท้า,อุ้งเท้าแบน

ภาวะฝ่าเท้ามีลักษณะแบน เป็นภาวะที่เกิดจากการทรุดลงไปของอุ้งเท้า และจะเริ่มด้วยการเสียดุลภาพของเท้าไปยังการเจ็บปวดและการเสียดุลภาพของข้อเท้า เข่า สะโพก กระดูกสันหลัง คอ เป็นต้น และจะมีอาการหลักของฝ่าเท้าแบนคือจะเกิดความร้อนในฝ่าเท้าหากมีการเดินเป็นเวลานาน และปัญหาที่ใหญ่ที่สุด คือ อาการเจ็บปวดและโรคต่างๆที่เกี่ยวกับเข่าและกระดูกสันหลัง เมื่อมีการดำเนินการของภาวะฝ่าเท้าแบนทุกๆ 1 องศา แล้วเข่าก็จะบิดออกไป 0.44 องศา และหากเป็นฝ่าเท้าแบนแบบข้างเดียว จะทำให้กระดูกเชิงกรานทรุดลงไป และยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระดูกสันหลัง จึงเป็นสาเหตุหลักของการปวดกระดูกเชิงกรานและอาการปวดเอว



รูปที่ 2.2 อุ้งเท้าแบน [3]

2.2 การเลือกรองเท้าที่เหมาะสมในแต่ละคน [4]

2.2.1 นักกีฬา ควรเลือกซื้อรองเท้ากีฬา หลังจากเดินสักพักหรือหลังจากเล่นกีฬาเสร็จ เพราะเท้าจะมีขนาดเดียวกันกับขณะเล่นกีฬา ควรเลือกรองเท้าที่มีพื้นนิ่ม และมีความยืดหยุ่นเพื่อรองรับแรงกระแทกได้ดี หากกีฬาที่เล่นใช้ปลายเท้าเป็นส่วนมาก เช่น การวิ่ง ควรเลือกรองเท้าที่ออกแบบให้รองรับแรงกระแทกส่วนหน้าโดยเฉพาะ

2.2.2 คนเท้าแบน มีทั้งแบบถาวรและชั่วคราว ฝ่าเท้าแบนทำให้ปวดบริเวณกลางฝ่าเท้า เนื่องจากเอ็นซึ่งทำหน้าที่ยกอุ้งเท้าถูกดึงยืด ดังนั้นหากคุณเป็นคนฝ่าเท้าแบนชั่วคราว (คือเท้าแบนเมื่อเหยียบพื้นเท่านั้น) ควรสวมรองเท้าที่เสริมอุ้งเท้า (บริเวณพื้นรองเท้าด้านในช่วงกลางที่นูนขึ้น) เพื่อช่วยเส้นเอ็นพยุงอุ้งเท้า มีที่หุ้มด้านข้างและหลังเท้า เพื่อพยุงไม่ให้ส้นเท้าบิดและเท้าล้มเข้าด้านใน แต่หากฝ่าเท้าแบนถาวร ซึ่งมักมีเท้าส่วนกลางกว้างกว่าปกติ ควรเลือกรองเท้าที่ด้านข้างกว้าง และมีพื้นนิ่มใส่สบาย

2.2.3 คนอุ้งเท้าสูง จะมีปัญหาปวดบริเวณฝ่าเท้าด้านหน้าและส้นเท้า เพราะการรับน้ำหนักของอุ้งเท้าส่วนกลางหายไป รองเท้าจึงควรมีลักษณะเสริมอุ้งเท้าส่วนกลาง (ยกนูนช่วงกลางฝ่าเท้าและเสริมอุ้งเท้า) เพื่อช่วยกระจายน้ำหนักจากฝ่าเท้าด้านหน้าและส้นเท้ามาที่อุ้งเท้า ควรเลือกรองเท้าที่มีพื้นนิ่มและมีความยืดหยุ่น

2.2.4 คนปวดส้นเท้า การปวดส้นเท้าส่วนใหญ่เกิดจาก จุดยึดพังผืดบริเวณส้นเท้าอักเสบ ซึ่งมักปวดมากในการเดินก้าวแรกหลังตื่นนอน เพราะพังผืดถูกยืดทันทีทันใด รองเท้าที่เหมาะกับปัญหานี้ ควรมีพื้นนิ่ม มีส้นเล็กน้อยเพื่อถ่ายน้ำหนักไปยังเท้าส่วนหน้า การใส่รองเท้าที่มีการเสริมอุ้งเท้า และนวดฝ่าเท้าก่อนลุกจากเตียง รวมถึงการบริหารยืดเอ็นร้อยหวายจะช่วยบรรเทาอาการได้

2.2.5 คนปวดฝ่าเท้าด้านหน้า ปัญหานี้พบบ่อยในผู้ที่ใส่รองเท้าส้นสูงเป็นประจำ และผู้ที่มีภาวะหัวแม่เท้าเก ซึ่งหัวแม่เท้าไม่สามารถรับน้ำหนักได้ ภาระจึงตกอยู่กับฝ่าเท้าบริเวณนิ้วชี้ถึงนิ้วก้อย เมื่อรับน้ำหนักนาน ๆ จึงทำให้ปวด ดังนั้นผู้ที่มีอาการนี้จึงควรใส่รองเท้าส้นเตี้ย มีพื้นนิ่ม และมีหน้ารองเท้ากว้าง เพื่อลดการบีบและเสียดสีของเท้า

2.2.6 คนเป็นเบาหวาน ผู้ป่วยเบาหวานมักมีปลายประสาททำงานผิดปกติ ทำให้เท้าชา มีนิ้วเท้าหงิกงอ ทำให้ฝ่าเท้าด้านหน้ารับน้ำหนักมากและนิ้วเท้าเสียดสีกับหัวรองเท้า จึงควรเลือกใส่รองเท้าพื้นนิ่ม มีหัวลึกและกว้าง ห้ามใช้รองเท้าคีบ เพราะอาจทำให้เกิดแผลบริเวณร่องนิ้วเท้าได้โดยไม่รู้ตัว

2.3 อาการปวดส้นเท้า [5]

ปวดส้นเท้า โรครองช้ำ หรือ โรคเอ็นฝ่าเท้าอักเสบ หรือ โรคเอ็นส้นเท้าอักเสบ มักมีอาการปวดเวลาเดินลงน้ำหนัก ซึ่งเกิดจากการที่เอ็นพังผืดของฝ่าเท้าอักเสบ โดยอาการปวดสัมพันธ์กับการลงน้ำหนักเท้า การมีจุดปวดบนเท้า ส้นเท้า เช่น การวิ่ง การเดิน หรือการยืนเป็นเวลานาน ทำให้ผู้ป่วยมีอาการบวมและอักเสบที่บริเวณฝ่าเท้า อาจเกิดขึ้นได้กับเท้าข้างใดข้างหนึ่งหรือเกิดขึ้นได้กับเท้าทั้ง 2 ข้าง โดยปกติแล้วถ้าได้พักเท้าจากการใช้งานก็อาจทำให้อาการดีขึ้นได้



รูปที่ 2.3 อุ้งเท้าแบน [5]

2.3.1 อาการปวดส้นเท้า

ผู้ป่วยจะมีอาการปวด ตึง เจ็บแปลบ หรือเจ็บเหมือนมีดแทง มักเป็นที่บริเวณส้นเท้า ซึ่งเป็นจุดลงน้ำหนักและเป็นส่วนที่บางที่สุดของเอ็นฝ่าเท้าหรือพังผืดใต้ฝ่าเท้า (Plantar Fascia) หรือบางคนอาจรู้สึกปวดที่บริเวณกลางฝ่าเท้า โดยปกติแล้วอาการปวดจะเกิดขึ้นที่ส้นเท้าข้างใดข้างหนึ่ง แต่ก็อาจเกิดขึ้นกับส้นเท้าทั้ง 2 ข้างได้เช่นกัน ผู้ป่วยมักมีอาการปวดส้นเท้ามากขึ้นหลังจากตื่นนอนในตอนเช้า หรือหลังจากนั่งหรือยืนเป็นเวลานาน และอาจไม่พบอาการปวดในระหว่างการทำกิจกรรมต่าง ๆ รวมถึงการออกกำลังกาย แต่มักพบว่ามีอาการมากขึ้นหลังสิ้นสุดการทำกิจกรรม

2.3.2 ปัจจัยสาเหตุและสาเหตุของโรคปวดรองช้ำ

สาเหตุของโรคปวดรองช้ำ นั้น เกิดจากการดึงรั้งของเอ็นฝ่าเท้ามากเกินไป หรือมีการกดเบียดฝ่าเท้า และลงน้ำหนักเท้ามากเกินไป ซึ่งมีสาเหตุและปัจจัยส่งเสริมให้มีอาการปวดรองช้ำมากขึ้นดังนี้

1. ภาวะอ้วน หรือ น้ำหนักตัวมากกว่าปกติ โดยเฉพาะคนที่ดัชนีมวลกายมากกว่า 30 จะทำให้เวลาเดินมีน้ำหนักกดเอ็นฝ่าเท้ามากกว่าปกติ

2. ลักษณะการเดินที่ผิดปกติ หรือ ท่าทางในการยืนผิดปกติ ทำให้เอ็นฝ่าเท้ารองรับน้ำหนักกดมากกว่าปกติจนเกิดการอักเสบ

3. ภาวะเท้าผิดรูป เช่น อุ้งเท้าแบน หรือ อุ้งเท้าสูงหรือโก่งมากเกินไปรองเท้าไม่ถูกสุขลักษณะ เช่น ผู้ที่สวมรองเท้าส้นสูงตลอดเวลา รองเท้าคับแน่นหรือหลวมเกินไป

4. ผู้ที่ต้องยืนหรือเดินมากๆ หรืออาชีพที่ต้องออกแรงกดฝ่าเท้าอยู่เป็นประจำ

รวมไปถึงนักกีฬาที่อาจเกิดอุบัติเหตุจากการเล่นกีฬา การกระโดดผิดท่า เป็นต้น

2.3.3 สาเหตุของอาการปวดส้นเท้า

โดยปกติแล้วเอ็นฝ่าเท้าจะทำหน้าที่รองรับความโค้งของเท้า หากมีการยืดมากเกินไปหรือฉีกขาดซ้ำ ๆ อาจทำให้บวมหรืออักเสบได้ ในปัจจุบันยังไม่สามารถบอกได้อย่างแน่ชัดว่าสาเหตุของอาการปวดส้นเท้าเกิดจากอะไร แต่มีหลายปัจจัยที่เพิ่มความเสี่ยงและนำไปสู่อาการปวดส้นเท้า ได้แก่

1. อายุ ผู้ที่อายุในช่วง 40 และ 60 ปีจะมีความเสี่ยงสูง

2. โครงสร้างของเท้า เช่น ผู้ที่มีเท้าแบน เท้าโค้งมาก หรือลักษณะการเดินที่ไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อการลงน้ำหนักที่ส้นเท้ามากกว่าเดิม

3. การออกกำลังกายบางชนิด โดยเฉพาะกิจกรรมที่ต้องลงน้ำหนักที่ส้นเท้า เช่น การวิ่งบนพื้นแข็ง ๆ การเต้นแอโรบิก บัลเลต์ บาสเก็ตบอล เทนนิส รวมถึงผู้ที่ออกกำลังกายอย่างหนักหลังจากที่ห่างหายไปเป็นเวลานาน

4. โรคอ้วนหรือมีน้ำหนักตัวเกิน ก็จะลงน้ำหนักที่เอ็นฝ่าเท้าหรือพังผืดใต้ฝ่าเท้ามากยิ่งขึ้น รวมถึงผู้ที่กำลังตั้งครรภ์ เพราะนอกจากน้ำหนักที่มากขึ้นแล้ว ฮอร์โมนที่เปลี่ยนแปลงอาจเป็นสาเหตุให้เอ็นคลายตัวและมีแนวโน้มที่จะทำให้เท้าแบนได้

5. อาชีพ โดยเฉพาะผู้ที่ต้องยืนหรือเดินบนพื้นแข็งเป็นเวลานาน

2.3.4 การวินิจฉัยอาการปวดส้นเท้า

การวินิจฉัยโดยแพทย์นั้นมักเริ่มต้นจากการสอบถามอาการเพื่อหาปัจจัยเสี่ยงและตรวจร่างกาย โดยแพทย์อาจกดที่ส้นเท้าในขณะผู้ป่วยเหยียดเท้า เพื่อสำรวจว่ามีอาการปวดหรือตึงที่ตำแหน่งใด และประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและสุขภาพของเส้นประสาท บางรายอาจต้องเอกซเรย์ หรือตรวจอย่างอื่นร่วมด้วยเพื่อตรวจสอบว่าอาการปวดส้นเท้าไม่ได้เป็นผลมาจากปัญหาอื่น ๆ เช่น กระดูกหัก เส้นประสาทถูกกด เป็นต้น

2.3.5 การรักษาอาการปวดส้นเท้า

สิ่งสำคัญของการรักษาอาการปวดส้นเท้าคือลดการอักเสบและบวม โดยทั่วไป เมื่อพักการใช้งานเท้าจากกิจกรรมต่าง ๆ อาจช่วยบรรเทาอาการลงได้ หรือการประคบเย็นด้วยน้ำแข็งครั้งละประมาณ 15-20 นาที วันละ 3-4 ครั้ง แต่อาจใช้เวลาหลายสัปดาห์กว่าอาการจะบรรเทาลง นอกจากนี้ แพทย์อาจรักษาด้วยวิธีอื่น ๆ ดังนี้

1. การรับประทานยาในกลุ่มเอ็นเสด เช่น ไอบูโพรเฟน นาพร็อกเซน อาจช่วยบรรเทาอาการปวดได้การทำกายภาพบำบัด นักกายภาพบำบัดจะแนะนำท่าออกกำลังกายที่เน้นการยืดเอ็นฝ่าเท้าและเอ็นร้อยหวาย อีกทั้งยังเพิ่มความแข็งแรงให้แก่กล้ามเนื้อขาส่วนล่าง ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวกับความมั่นคงของเข่าและส้นเท้า นอกจากนี้ นักกายภาพบำบัดอาจแนะนำให้ใช้แผ่นรองเสริมที่ส้นเท้า

2. การใช้อุปกรณ์เสริม เช่น อุปกรณ์ดามและลดการกระแทกส้นเท้าและฝ่าเท้าชนิดสำเร็จรูป แพทย์หรือนักกายภาพบำบัดอาจแนะนำให้ผู้ป่วยใช้เพื่อยืดกล้ามเนื้อบริเวณน่องขาและ

ความโค้งของฝ่าเท้าให้อยู่ในมุม 90 องศาและลดการตึงของเอ็นฝ่าเท้าและเอ็นร้อยหวายในขณะนอนหลับพักผ่อน

3. การฉีดสเตียรอยด์ ในบริเวณที่มีอาการปวดตึงเพื่อบรรเทาอาการชั่วคราวสำหรับผู้ป่วยที่มีอาการขั้นรุนแรงหรือรักษาด้วยการรับประทานยา หรือวิธีข้างต้นแล้วอาการไม่ดีขึ้น

4. การรักษาด้วยเครื่องช็อกเวฟ โดยใช้คลื่นเสียงกระตุ้นการไหลเวียนของเลือดในบริเวณที่มีอาการปวด มักใช้รักษาผู้ป่วยที่มีอาการปวดส้นเท้าชนิดเรื้อรังหรือไม่ตอบสนองต่อการรักษาวิธีอื่น ๆ การรักษาด้วยวิธีนี้อาจทำให้เกิดผลข้างเคียงได้ เช่น รอบฟกช้ำ ปวด บวม ชา หรือรู้สึกเหมือนมีเข็มทิ่ม เป็นต้น

5. การผ่าตัด เพื่อทำให้เอ็นฝ่าเท้าแยกออกจากกระดูกเท้า แพทย์อาจแนะนำให้รักษาด้วยการผ่าตัดเฉพาะผู้ป่วยที่มีอาการปวดขั้นรุนแรงหรือผู้ที่รักษาด้วยวิธีการอื่น ๆ แล้วอาการไม่ดีขึ้น และการผ่าตัดอาจส่งผลข้างเคียงต่อความโค้งของฝ่าเท้าได้

2.3.6 ภาวะแทรกซ้อนของอาการปวดส้นเท้า

อาการปวดส้นเท้าที่ไม่ได้รับการรักษาอาจนำไปสู่อาการปวดส้นเท้าชนิดเรื้อรัง ซึ่งจะส่งผลต่อการทำงานของอวัยวะส่วนอื่น ๆ ได้แก่ ขา หัวเข่า สะโพก และหลัง รวมถึงการรักษาด้วยยาสเตียรอยด์อาจทำให้เอ็นฝ่าเท้าอ่อนตัวหรือเป็นสาเหตุทำให้เอ็นฝ่าเท้าฉีกขาดได้ อีกทั้งการรักษาด้วยการผ่าตัดอาจเสี่ยงต่อการติดเชื้อ หรือทำให้เส้นประสาทของเท้าเสียหายได้

2.3.7 การป้องกันอาการปวดส้นเท้า

การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมบางอย่าง อาจช่วยป้องกันอาการปวดส้นเท้าได้ ด้วยการปฏิบัติตามวิธีดังนี้

1. เลือกรองเท้าที่พื้นอ่อนนุ่ม และเหมาะสมกับรูปเท้า และช่วยลดแรงกระแทกที่บริเวณส้นเท้าได้

2. หลีกเลี่ยงการใส่รองเท้าส้นสูงและการเดินเท้าเปล่า

3. ยืดเอ็นฝ่าเท้าและเอ็นร้อยหวายเป็นประจำ รวมถึงก่อนการออกกำลังกาย

4. หลีกเลี่ยงกิจกรรมหรือการออกกำลังกายบนพื้นผิวที่แข็งเป็นเวลานาน ๆ โดยอาจลองกิจกรรมอื่น อย่างการว่ายน้ำหรือการปั่นจักรยานซึ่งเป็นกิจกรรมที่เกิดแรงกระแทกบริเวณส้นเท้าน้อย

5. ลดน้ำหนัก โรคอ้วนหรือการมีน้ำหนักตัวเกินอาจเป็นปัจจัยเสี่ยงให้เกิดอาการปวดส้นเท้า

2.4 การรักษาสุขภาพเท้า [4]

หลังจากเท้าต้องทำงานมาทั้งวัน การแช่เท้าในน้ำอุ่น หรือนวดฝ่าเท้าจะช่วยผ่อนคลายความตึงล้าของกล้ามเนื้อเล็ก ๆ ในเท้าได้ แต่ห้ามใช้ในผู้เป็นเบาหวานซึ่งมีผิวเท้าแห้ง เพราะการแช่น้ำทำให้ผิวแห้งมากขึ้น และห้ามใช้ในผู้ที่มีเท้าชา เพราะทำให้ไม่รู้ตัวว่าน้ำนั้นร้อนเกินไป อาจทำให้เท้าพองได้

ออกกำลังกายช่วยบริหารข้อเท้า และกล้ามเนื้อเท้าอย่างสม่ำเสมอทุกวัน เพื่อคงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และกระตุ้นการไหลเวียนเลือดมาสู่ปลายเท้า วิธีบริหารเริ่มจาก

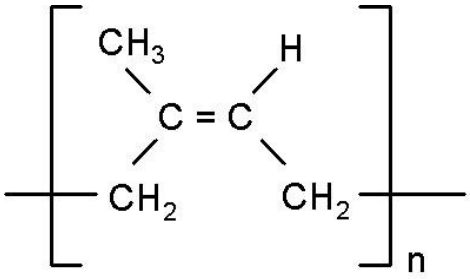
1. กระดกข้อเท้าขึ้นและลงสลับกันช้า ๆ
2. หมุนข้อเท้า โดยหมุนเข้าและหมุนออกช้า ๆ
3. ใช้นิ้วเท้าจิกผ้าที่วางอยู่บนพื้นเพื่อบริหารกล้ามเนื้อเล็ก ๆ ในเท้า
4. นั่งยกขาขึ้น เหยียดเข่าตึง แล้วกระดกข้อเท้าขึ้นค้างไว้นับ 1–6 ในใจ ถือเป็น 1 ครั้ง

2.5 อิลาสโตเมอร์ (Elastomer) [6],[7]

2.5.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber : NR)

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) คือใน 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C5H8) มาต่อกันเป็นสายโซ่ยาวแบบเส้นตรงโดยทั่วไป ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมากยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 g/cm3 ที่อุณหภูมิ 20 °C และมีมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, Tg) ประมาณ -72 °C

ยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) โดยทั่วไป ยางแต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด มันจึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ประเทศเมืองหนาวจึงต้องนำยางธรรมชาติมาอบที่อุณหภูมิประมาณ 50-70 ^{0}C เพื่อทำให้ยางอ่อนก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ส่วนการเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวหรือที่เรียกว่า “strain-induced crystallization” จะพบเมื่อยางถูกยืดจนมีความยาวมากกว่าเดิมประมาณ 2-3 เท่า การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวของยางจะทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจนคือ ยางจะเปลี่ยนจากสภาพโปร่งแสง (transparent) ไปเป็นทึบแสง (opaque) ซึ่งจะสังเกตได้ง่ายในยางคงรูปที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม นอกจากนี้ การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อแรงฉีกขาด และความต้านทานต่อการขัดถูสูงขึ้น



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ [6]

2.5.2 ประเภทของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติได้แบ่งเป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ คือ

1. น้ำยาง
2. ยางแห้ง แบ่งออกได้ดังนี้
   - 2.1 ยางแผ่นรมควัน
   - 2.2 ยางแผนผึ่งแห้ง
   - 2.3 ยางเครพ
   - 2.4 ยางทีซีอาร์ (Technically Classified Rubber ; TCR)
   - 2.5 ยางฮีเวียครั้ม (Heveacrump Rubber)
   - 2.6 ยางพิเศษ (Special Type)
   - 2.7 ยางธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล (Modified NR)
   - 2.8 ยางสำหรับผลิตยางล้อรถยนต์ (Tire Rubber)
   - 2.9 ยางแท่ง (Technically Specified Rubber , TSR)

ในการแบ่งชั้นคุณภาพจะยึดหลักของความสกปรกเป็นใหญ่ มาตรฐานยางแท่งเอสทีอาร์เรียกว่า Standard Thai Rubber (STR) ตารางที่ 2.1 แสดงข้อกำหนดในมาตรฐานยางแท่งเอสทีอาร์ ซึ่งจะได้เห็นการแบ่งชั้นออกเป็น STR 5L , STR 5 ,STR 20 , STR XL , STR 5CV , STR 10CV และ STR 20CV จะแบ่งตามปริมาตรสิ่งสกปรกเป็นเกณฑ์

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานยางแท่งของประเทศไทย [8]

Parameter / วัตถุดิบที่ผลิต	STR XL	STR 5L	STR 5	STR 5 CV	STR 10	STR 10 CV	STR 20	STR 20 CV
	น้ำยาง		น้ำยาง/ยางแผ่น		ยางก้อน /ยางแผ่น			
ปริมาณสิ่งสกปรก, % ไม่เกิน	0.02	0.04	0.04	0.04	0.08	0.08	0.16	0.16
ปริมาณเถ้า, % ไม่เกิน	0.40	0.40	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80
ปริมาณไนโตรเจน , % ไม่เกิน	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
ปริมาณสิ่งระเหย, % ไม่เกิน*	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
ค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (Po), ไม่ต่ำกว่า	35	35	30	-	30	-	30	-
ดัชนีความอ่อนตัวของยาง (PRI), ไม่ต่ำกว่า	60	60	60	60	50	50	40	40
สีเทียบด้วยไอโอดีนอนด์ ไม่เกิน	4.0	6.0	-	-	-	-	-	-
ความหนืด (Moony Viscosity)	-	-	-	**	-	**	-	**
รหัสชั้นใช้สี	ฟ้า	เขียวอ่อน	เขียวอ่อน	ตัวอักษรขาวบนพื้นเขียว	น้ำตาล	ตัวอักษรขาวบนพื้นน้ำตาล	แดง	ตัวอักษรขาวบนพื้นแดง

* เป็นขีดจำกัดสำหรับผู้ใช้ ถ้าผู้ผลิตต้องมีปริมาณสิ่งระเหย ไม่เกิน 0.05%

** ขีดจำกัดของผู้ผลิตคือ

STR 5 CV มีค่าความหนืด 70 (+7,-5) และ 50(+7,-5)

STR 10 CV มีค่าความหนืด 60 (+7,-5)

STR 20 CV มีค่าความหนืด 65 (+7,-5)

มาตรฐานยางแท่ง STR 20 ตามที่ตลาดสินค้าเกษตรล่วงหน้าแห่งประเทศไทย (AFET) กำหนด

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานยางแท่ง STR 20 ตามที่ AFET กำหนด [8]

Properties	Specification
Dirt Content	0.16 max
Ash Content	0.80 max
Nitrogen	0.60 max
Volatile Matter (%wt.)	0.80 max
Initial Plasticity (PO)	33±3
Plasticity Retention Index (PRI)	55±5
Colour Lovibond Scale (Individual Value)	-
Mooney Viscosity ML	80±10
Colour Coding Marker	Red

2.5.3 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ [9],[10]

2.5.3.1 ความยืดหยุ่น (elasticity) สมบัติความยืดหยุ่นเป็นลักษณะเด่นของยางธรรมชาติ คือยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อมีแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไป ยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) ได้อย่างรวดเร็ว

2.5.3.2 ความเหนียวติดกัน (tack) ยางธรรมชาติที่ยังไม่คงรูปมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกันซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน

2.5.3.3 ความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) โมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยางธรรมชาติ

2.5.3.4 ความทนทานต่อการฉีกขาด (year strength) เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด ยางธรรมชาติจึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง

2.5.3.5 สมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดี ยางมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังมีความต้านทานต่อการล้าตัว (fatigue resistance) ที่สูงมากอีกด้วย

2.5.3.6 ความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการขัดถูสูง แต่ยังด้อยกว่ายาง SBR เล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ พบว่า ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูอยู่ในกลุ่มที่สูงมาก

2.5.3.7 ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (insulation) ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูง โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (specific resistivity) สูงถึง 1015 หรือ 1016 ohm.cm

2.5.3.8 ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (liquid and chemical resistance) เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน ความสามารถในการละลายนี้จะลดลงถ้ายางเกิดการคงรูป

2.5.3.9 การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด (aging properties) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน โดยมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ยางธรรมชาติยังไม่ทนต่อโอโซนเพราะเมื่อยางถูกยืดและได้รับโอโซนนาน ๆ จะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณพื้นผิว

2.5.3.10 การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature flexibility) ยางธรรมชาติยังคงรักษาสมบัติความยืดหยุ่น คือความสามารถในการหักงอได้ที่อุณหภูมิต่ำ ๆซึ่งยางที่มีสมบัตินี้ดีกว่ายางธรรมชาติมีเพียง 2 ชนิด คือ ยางบิวตาไดอีน (BR) และยางซิลิโครน (Q)

2.5.3.11 การกระเด้งกระดอน (rebound resilience) ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระเด้งกระดอนสูง (ยกเว้นยาง BR) และในระหว่างการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง ยางจะสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนน้อย (มี hysteresis ต่ำ) ยางธรรมชาติจึงมีความร้อนสะสมต่ำเมื่อถูกใช้งานในเชิงพล

2.5.3.12 อุณหภูมิของการใช้งาน (service temperature)ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ตั้งแต่อุณหภูมิ -55°C จนถึง 70°C อย่างไรก็ตามหากเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำนานๆ ยางอาจเกิดการตกผลึกซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้นและสูญเสียความหยุ่น แต่เมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูงเกิดไป สมบัติเชิงกลต่างๆ จะด้อยลงเนื่องจากความร้อนจะทำให้ยางเสื่อมสภาพ ในบางกรณีที่มีการออกสูตรยางได้อย่างเหมาะสม (มีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลงไป) ยางธรรมชาติอาจนำไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงถึง 90 ℃ หรืออาจสูงถึง 100°C ในกรณีที่ยางได้รับอุณหภูมิสูงเป็นช่วงๆเท่านั้น

2.6 Cellular Rubber

เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูพรุน ซึ่งผลิตขึ้นจากยางธรรมชาติทั้งจากยางแห้งและจากน้ำยางสด โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. foam rubber ผลิตภัณฑ์จะผลิตจากน้ำยาง
2. sponge rubber ผลิตภัณฑ์จะผลิตจากยางแห้ง
3. expanded rubber ผลิตภัณฑ์จะผลิตจากยางแห้ง

ความแตกต่างระหว่าง Sponge Rubber และ Expended Rubber คือ Sponge Rubber จะให้โครงสร้างที่มีรูพรุนแบบเปิด ส่วน Expended Rubber จะให้โครงสร้างที่มีรูพรุนแบบปิด ซึ่งสามารถแยกได้จากสมบัติการดูดซับน้ำ (Water Absorption Properties) โดยวัดเป็นเปอร์เซนต์ของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ถ้าดูดน้ำได้น้อยกว่า 10% จัดเป็น Expanded Rubber แต่ถ้าดูดน้ำได้มากกว่า 15% จัดเป็น Sponge Rubber

2.7 Micro Cellular Rubber

จัดเป็นยางฟองน้ำที่มีรูพรุนแบบปิด เป็นยางที่มีขนาดเซลล์เล็กมาก มีความสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์พื้นรองเท้า ซึ่งต้องการความเบาสวมใส่สบาย ผลติภัณฑ์ฟองน้ำขอบประตูรถยนต์

2.8 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการวัลคาไนเซชันด้วยระบบกำมะถัน [11],[12]

ยางดิบมีข้อจำกัดในการใช้งานด้านต่าง ๆ มากมายเช่น มีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีและสมบัติเชิงกลเหล่านี้ก็เปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามอุณหภูมิ นอกจากนี้ ยางดิบยังมี ความสามรถในการทนต่อสารเคมีและสารละลายตา อีกทั้งยังไม่สามารถคงรูปได้ หลังจากการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ด้วยเหตุนี้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาหรือ ปรับปรุงคุณภาพของยางเพื่อให้กับการใช้งานโดยในอดีต การนำยางมาผสมกับ สารเคมีได้ถูกริเริ่มโดย Goodyear และ Handcock หลังจากนั้นก็ได้มีการพัฒนาสูตร การผสมเคมีเรื่อยมาจนถึงกับปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ยางแทบทุกชนิดที่ใช้ลันทุกวันนี้ เช่น ยางล้อรถ ลุงมือยางรัดของ ท่อยาง สายพาน ฯลฯ ล้วนแล้วแต่เป็นของผสมระหว่าง ยางกับองค์ประกอบสารเคมีอื่น ๆ อีกมากมาย โดยทั่วไป ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมี สูตรผสมเคมีที่แตกต่างกัน หรือแม้แต่ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันแต่ได้รับการผลิตต่าง จากโรงงาน ก็อาจมีสูตรผสมเคมีที่แตกต่างกัน

2.8.1 การออกสูตรเคมียาง [11],[12]

นอกจากสภาวะการใช้งานของผลิตภัณฑ์แล้ว การออกสูตรการผสมเคมี ยางยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ประกอบด้วย เช่น ต้นทุนและกรรมวิธีการผลิต เป็นต้น ดังนั้นการออกสูตรการผสมเคมียางที่ดีจึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้ทั้งทาง วิทยาศาสตร์และทางศิลปะในการเลือกใช้ชนิดของยาง รวมถึงชนิดของปริมาณ สารเคมีหรือสารตัวเติมอื่น ๆ เพื่อที่จะทำให้ได้ยางที่สามารถขึ้นรูปได้ง่ายและผลิตภัณฑ์ยางที่ได้ก็มีคุณภาพดีและมีต้นทุนตามสูตรการผสมเคมีพื้นฐาน มักประกอบไปด้วยสารเคมีและสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ มากมาย สารเคมีแต่ละชนิด เหล่านี้ล้วนแต่มีหน้าที่เฉพาะอย่าง ดังนั้น ผู้ออกสูตรการผสมเคมียางจึงต้องเลือกใช้ ชนิดและปริมาณของสารเคมีด้วยความระมัดระวัง เพราะสารเคมีเหล่านี้ไม่เพียงแต่ จะมีผลโดยตรงต่อสมบัติของยาง (ทั้งยางคอมพาวด์และยางคงรูป) แต่ยังมีผลต่อ กระบวนการผลิตและด้นทุนอีกด้วย ปัจจุบัน ได้มีการผลิตสารเคมีและสารตัวเติม ชนิดต่าง ๆ มากมายให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม ด้วยเหตุนี้ ในการออกสูตรการ ผสมเคมียางเพื่อให้ได้ยางที่มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการและมีด้านต้นทุนที่สุด

ตารางที่ 2.3 การแบ่งกลุ่มขององค์ประกอบที่ใช้ในการผสมเคมียาง [11],[12]

กลุ่ม	องค์ประกอบ
1	ยาง (elastomers)
2	สารทำให้ยางคงรูป (vulcanizing agents)
3	สารตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerators)
4	สารกระตุ้นและสารหน่วงปฏิกิริยา (activators and retarders)
5	สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (anti degradants)
6	สารตัวเติม (fillers)
7	สารทำให้ยางนิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต (plasticizers and processing aide)
8	องค์ประกอบอื่น ๆ เช่น สี (pigments) สารทำให้เกิดฟอง (blowing agents) สารหน่วงการติดไฟ (flame retardants) เป็นต้น

2.8.2 สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing or Curing Agent) [11],[12]

สารทำให้ยางคงรูปเป็นองค์ประกอบที่เติมลงไปเพื่อทำให้ยางเกิดปฏิกิริยา ทางเคมีที่เรียกว่าปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันหรือปฏิกิริยาคงรูป ซึ่งจะส่งผลให้โมเลกุล ของยางเกิดการเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ

การคงรูปด้วยกำมะถัน ผงสีเหลืองบางเกรดมีการเคลือบด้วย Mg(co)3 มีต้นทุนต่ำ ใช้กันมากที่สุดในโรงงาน อุตสาหกรรม การคงรูปเกิดขึ้นได้เร็วเมื่อใช้ร่วมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยา ยางคงรูปที่ ได้มีสมบัติเชิงกลดี ปริมาณการใช้ 0.5-3.0 phr มีข้อจำกัดคือใช้ได้กับยางที่มีพันธะคู่ ในโมเลกุลเท่านั้น ระบบของการคงรูปด้วยกำมะถัน แบ่งออกได้เป็น 3 ระบบตาม ปริมาณของกำมะถันและสารตัวเร่งปฏิกิริยา

1. แบบดั้งเดิม (conventionalvulcanization, cv)

ใช้อัตราส่วนของกำมะถันต่อสารเร่งปฏิกิริยาสูง เช่น กามะถัน 1.5-2.5 phr กับสารตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5-1.0 phr การเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดผ่าน พันธะพอลิซัลฟิดิก ยางคงรูปที่ได้จะมีความยืดหยุ่นสูงและมีสมบัติทั้งเชิงกลและเชิง พลวัตที่ดี แต่ยางจะมีความทนทานต่อความร้อนต่ำ

2. แบบประสิทธิภาพ (efficient vulcanization, EV)

ใช้อัตราส่วนของกำมะถันต่อสารเร่งปฏิกิริยาตา เช่น กำมะถัน 0-0.2 phr กับสารตัวเร่งปฏิกิริยาประมาณ 2.5-3.5 phr นิยมใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มที่แตก ตัวให้กำมะถันได้ในระหว่างกระบวนการคงรูป (เรียกว่า sulfur donor accelerator) การเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดผ่าน

พันธะมอนอไดซัลพีดิกยางคงรูปที่ได้จะมี สมบัติทั้งเชิงกลและเชิงพลวัตไม่ดีเท่าระบบ CV แต่ยางจะมีความทนทานต่อความ ร้อนสูงและมูลค่า Compression set ต่ำกว่า

3. แบบกึ่งประสิทธิภาพ (semi-efficient vulcanization, semi-EV)

ใช้อัตราส่วนของกำมะถันต่อสารเร่งปฏิกิริยาปานกลาง เช่น กำมะถัน 0.5-1.2 phr กับสารตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5-2.5 phr การเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดผ่าน พันธะแบบผสม ยางคงรูปที่ได้มีสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงพลวัต และสมบัติความ ทนทานต่อความร้อนอยู่ระหว่าง 2 ระบบข้างต้น

2.8.3 สารตัวเร่ง (Accelerators) [11],[12]

ก่อนจะมีการค้นพบสารเร่งวัลคาไนซ์ได้ใช้การวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยใช้กำมะถันและความร้อนเท่านั้น ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดช้ามาก ต้องใช้เวลาหลาย ชั่วโมง ยิ่งไปกว่านั้นจะต้องใช้กำมะถันเป็นจำนวนมากเกินพอ ซึ่งส่วนใหญ่จะ สูญเสียไป โดยกำมะถันเชื่อมต่อกันเองเป็นสายยาวมากเกินไป หรือมิฉะนั้น จะ ออกมาในรูปของกำมะถันเสรีอยู่ในเนื้อ หรือซึมออกมาที่ผิวของผลิตภัณฑ์ เมื่อมีการต้นพบสารเร่งอินทรีย์จึงได้นำมาใช้ร่วมกับกำมะถันในการวัลคาไนซ์ยาง ซึ่งจะ ช่วยลดเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ลงอย่างมาก อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมาก ขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ก็ลดลงด้วย รวมทั้งปริมาณกำมะถันที่ใช้ช่วยลดการสูญ เปล่าและการซึมของกำมะถันมาที่ผิวของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ สารเร่งวัลคาไนซ์ยัง สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพบางอย่างของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย สารเร่งวัลคาไนซ์ถูกค้นพบมากมายหลายชนิด จนต้องจัดแบ่งเป็นหมวดหมู่ซึ่งระยะแรก จัดแบ่งตามความเร็วของปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ดังนี้

2.8.4 สารกระตุ้น (Activators) [11],[12]

สารกระตุ้นวัลคาไนซ์เป็นสารที่เติมลงในสารประกอบยางเพียงเล็กน้อย มี หน้าที่หลัก คือ กระตุ้นให้สารเร่งวัลคาไนซ์ทำหน้าที่ได้ดียิ่งขึ้น โดยทำปฏิกิริยากัน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้กามะถันเชื่อมขวางกับยางได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ ยังช่วยไม่ให้สารประกอบยางติดลูกกลิ้งที่ใช้บดผสมยาง และช่วย การกระจายตัวของสารเคมีต่างๆในเนื้อยางอีกด้วย

2.9 สารตัวเติม (Filler) [11],[12]

สารตัวเติม คือ องค์ประกอบที่เติมเข้าไปในยางเพื่อจุดประสงค์หลายอย่าง เช่น เพื่อเสริมแรงให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ทำให้ยางคอมพาวด์มีสมบัติที่เหมาะกับกระบวนการผลิต หรือ เพื่อลดต้นทุน เป็นต้นสารตัวเติมที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ สารตัวเติมเสริมแรง (reinforcing fillers) และสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรงหรือที่เรียกว่าสารตัวเติมเฉื่อย (non-reinforcing หรือ inert filler) เติมเพื่อลดต้นทุนหรืออาจแบ่งตามสีของสารตัวเติม ได้เป็น 2 กลุ่มเช่นกัน ได้แก่ เขม่าดำ และสารตัวเติมสีอ่อน

การเสริมแรง คือ ความสามารถของสารตัวเติมในการเพิ่มความหนืดของยางคอมพาวด์และปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของยางคงรูปเช่น มอดูลัส ความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาดและความต้านทานต่อการขัดถู ค่ามอดูลัสและความแข็งของยางก็จะเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่การยืดตัว ณ จุดขาด และสมบัติการกระเด้งกระดอนของยางจะลดลง สารตัวเติมเสริมแรงคือสารตัวเติมที่เมื่อใส่ลง

ไปในยางแล้วจะทำให้สมบัติของยางเกิดการเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างที่สำคัญของสารตัวเติมเสริมแรง ได้แก่ ผงเขม่าดำ (carbon black) และซิลิกา (silica) แต่สำหรับสารตัวเติมบางชนิดที่เมื่อใส่ลงไปในยางแล้วทำให้ความหนืดของยางเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่ทำให้สมบัติเชิงกลต่างๆของยางคงรูปด้อยลง (หรือเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย) จะเรียกสารตัวเติมประเภทนี้ว่า สารตัวเติมไม่เสริมแรงหรือสารตัวเติมเฉื่อย ตัวอย่างที่สำคัญของสารตัวเติมเฉื่อย ได้แก่ ทัลคัม (talc) แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และดินขาว (clay)

การเสริมแรงที่เกิดขึ้นในยางแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน โดยทั่วไป ผลของการเสริมแรงจะเห็นได้เด่นชัดในยางสังเคราะห์ (เช่น ยาง BR SBR และ NBR) มากกว่าในยางธรรมชาติหรือยาง CR แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติเชิงกลที่ดีโดยไม่ต้องเติมสารตัวเติมเสริมแรงเพราะยางสามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด (strain-induced crystallization) ในการใช้งานทางวิศวกรรมส่วนใหญ่ การเติมสารตัวเติมเสริมแรงก็จะช่วยปรับปรุงสมบัติของยางให้ดียิ่งขึ้น แต่สำหรับยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ไม่สามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด การเติมสารตัวเติมเสริมแรงจัดว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ถูกนำไปใช้งานในเชิงวิศวกรรมเพราะยางเหล่านี้จะมีสมบัติเชิงกลต่ำมากหากไม่มีการเติมสารตัวเติมเสริมแรง

2.10 สารทำให้ยางนิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต
(softeners and plasticizers and processing aids) [13]

หลักปฏิบัติโดยทั่วไปของการบดผสมยาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่สูตรยางมีส่วนผสมของสารตัวเติม มักจะผสมสารประเภทน้ำมันต่างๆ เพื่อจุดประสงค์ให้ยางนิ่มและทำให้สารตัวเติมคลุกเคล้าเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับยางได้ดี อย่างไรก็ตามศัพท์ภาษาอังกฤษของสารในกลุ่มนี้มีการเรียกชื่อต่างๆ ได้แก่ softeners, plasticizers, extenders, tackifiers, factices, processing aids เช่น การใช้น้ำมันปริมาณเล็กน้อยเพื่อทำหน้าที่ให้ยางนิ่ม (softener) ขณะเดียวกันถ้าใช้ปริมาณมากจะทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มเนื้อ (extender) ASTM ได้เคยเสนอการใช้น้ำมัน 14 phr ถือเป็น processing aids และถ้าใช้มากกว่า 15 phr จัดเป็น extender

Softener (สารทำให้ยางนิ่ม) สารที่เติมลงไปในยาง 2-5 phr เพื่อเพิ่ม plasticity และช่วยให้เกิดความสะดวกในกระบวนการผลิตการใช้สารดังกล่าวในปริมาณที่มากขึ้น (20-50 phr) จัดเป็น extender

Plasticizer (พลาสติไซเซอร์) อาจเรียกว่า softener หรือ processing aids จัดเป็นสารที่เติมผสมกับยางเพื่อให้ความสะดวกในกระบวนการผลิต ทำให้ยางไม่คงรูปมีความเป็นพลาสติกมากขึ้น ช่วยในการผสมคลุกเคล้ายางกับสารผงต่างๆ ลดอุณหภูมิในกระบวนการผลิตและช่วยให้ยางไหลในเบ้าพิมพ์ โดยที่ความนิ่มที่เกิดขึ้นจะมีผลถึงยางที่คงรูปแล้วด้วย ความหมายเทียบเคียงกับ peptizing agent หรือ plasticizers จะประกอบด้วยกรดไขมัน, น้ำมันพืช, mineral oil, pine products และ coal-tar products

Tackifier (สารช่วยให้ยางเหนียวติดกัน) สารที่ช่วยทำให้พื้นผิวของยางที่ยังไม่คงรูปเหนียว (tacky) ซึ่งสารบางชนิด เช่น pine tar ที่จัดเป็น softener และ processing aids นั้นก็เป็น tackifier ได้

Extender (สารเพิ่มเนื้อ) ในความหมายกว้างๆ คือสารใดๆที่เติมลงในยางเพื่อต้องการลดต้นทุนการใช้คำนี้ปกติจะจำกัดการใช้กับน้ำมันปิโตรเลียมบางชนิดที่ราคาถูกและใช้กับยาง

เหตุผลของการใช้สารทำให้ยางนิ่ม สารช่วยกระบวนการผลิตและสารช่วยให้ยางเหนียวติดกัน คือ

1. เพื่อปรับปรุงหรือช่วยให้ความสะดวกในกระบวนการผลิต
2. เพื่อปรับสมบัติต่างๆ เช่น ความแข็ง การหักงอได้ของผลิตภัณฑ์
3. เพื่อลดพลังงานที่ใช้ระหว่างกระบวนการผลิต
4. เพื่อลดต้นทุนของคอมพาวด์โดยใช้การเพิ่มสารตัวเติมได้มากขึ้น แต่ยังคงรักษาสมบัติบางประการที่ต้องการไว้ได้

2.10.1 สารทำให้ยางนิ่ม [13]

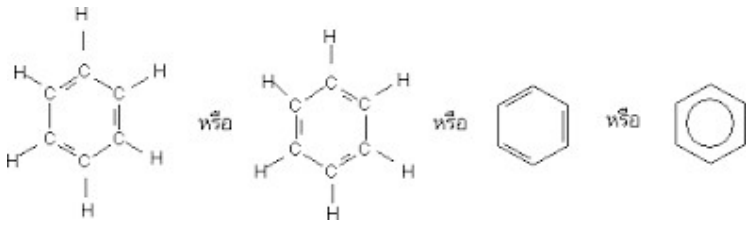
สารทำให้ยางนิ่มคือองค์ประกอบที่เติมลงไปในยางเพื่อจุดประสงค์หลายอย่าง เช่น

1. ปรับความหนืดของยางให้ลดลงทำให้ยางไหลง่ายขึ้นจึงทำให้ประหยัดพลังงานในระหว่างกระบวนการผลิตและช่วยป้องกันไม่ให้ยางติดกัน
2. ทำให้สารตัวเติมกระจายตัวได้ดีในยาง
3. ช่วยปรับปรุงสมบัติการหักงอที่อุณหภูมิต่ำของยาง
4. ทำให้ยางมีค่าอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว Tg ต่ำลงและมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดสูงขึ้น

2.10.1.1 น้ำมันมิเนอรัล (mineral oil)

น้ำมันมิเนอรัลจัดเป็นสารทำให้ยางนิ่มกลุ่มที่มีความสำคัญมากที่สุดเพราะมีราคาถูกและสามารถเข้ากับยางได้หลายชนิด น้ำมันมิเนอรัลส่วนใหญ่ได้มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ)

น้ำมันพาราฟินนิกคือ สารประกอบไฮโดคาร์บอนชนิดหนึ่งที่มีอะตอมของคาร์บอนมาต่อกันแบบอะลิฟาติก (aliphatic) คือเรียงต่อกันเป็นสายโซ่ตรงหรือมีกิ่งสาขาด้วยพันธะเดี่ยวเท่านั้น น้ำมันพาราฟินนิกจึงจัดเป็นน้ำมันที่อิ่มตัว สูตรทั่วไปของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนพาราฟินนิกคือ CnH2n+2 เช่น C15H32 เป็นต้น ถ้า n มีค่าต่ำสารประกอบนี้ก็จะอยู่ในสภาวะของเหลวที่เรียกว่าน้ำมันพาราฟิน แต่ถ้า n มีค่าสูงสารประกอบที่ได้ก็จะอยู่ในสภาวะของแข็งที่เรียกว่าไขพาราฟิน



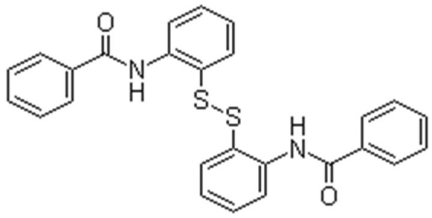
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างลักษณะโครงสร้างทางโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอน [11]

2.10.1.2 พาราฟิน (paraffins) [7]

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนพาราฟินที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนสูงส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาวะของแข็งที่อุณหภูมิห้องเรียกว่าไขพาราฟิน (paraffines waxes) โดยทั่วไป พาราฟินที่ไม่มีกิ่งก้านจะเริ่มเปลี่ยนสภาวะเป็นของแข็งเมื่อมีจำนวนคาร์บอนมากกว่าและถ้าหากว่าโครงสร้างโมเลกุล 17 โมเลกุลของไขมันนี้มีจำนวนคาร์บอนอยู่ที่ 40-70 ไขที่ได้จะมีลักษณะแข็งและมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้นจึงเรียกไขนี้ว่า พาราฟินแข็ง (paraffines hard)

2.11 เพปไตเซอร์ (peptizer) [7]

เพปไทเซอร์เป็นสารที่ใช้เติมเข้าไปในยางในช่วงแรกของการผสมเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการย่อยหรือตัดสายโซ่โมเลกุลของยางเพื่อให้ยางนิ่มขึ้นง่ายต่อการบดและผสมสารเคมีอื่นๆในขั้นตอนการบดยาง(mastication) สารชนิดนี้จึงช่วยลดระยะเวลาในการบดยางและทำให้ประหยัดพลังงานในกระบวนการผสมมากขึ้น



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างลักษณะโครงสร้างทางโมเลกุลของ Struktol A86 [11]

2.12 การออกแบบสูตรส่วนผสม

การออกแบบสูตรผลิตภัณฑ์ยางแต่ละชนิดนั้น มีหลักเกณฑ์สำคัญที่จะต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

1. จะต้องมีการเริ่มต้นของกระบวนการที่ถูกต้องและแม่นยำ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพตรงกับความต้องการ

2. ออกแบบสูตรที่ให้ผลผลิตในราคาที่ถูกต้อง 3. ต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้และความสะอาดในกระบวนการผลิต

โดยปกติการใช้ปริมาณสารต่างๆ จะใช้สัดส่วนต่างๆ ต่อยาง 100 ส่วนเป็นเกณฑ์ ดังนั้น สูตรพื้นฐานทั่วไปของผลิตภัณฑ์ยางจึงประกอบด้วยสารต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.4 การออกสูตรยางเบื้องต้น [11],[12]

ส่วนผสม	ส่วน
ยาง	100
ซัลเฟอร์	2.5-3.5
สารกระตุ้นสารเร่ง	1-5
สารเร่งให้ยางคงรูป	0.5-1.5
สารเพิ่ม	ตามที่ต้องการ
สารช่วยทำให้ยางนิ่ม	5-10
สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ	1-2

จากส่วนผสมของสารต่างๆ ตามสูตรพื้นฐานที่กล่าวข้างต้นนี้ จะเห็นได้ว่าปริมาณการใช้ สารแต่ละชนิดนั้นไม่ได้จำกัดแน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่จะผลิต

2.13 กระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยาง

กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากยางแห้ง เริ่มจากการออกแบบสูตรส่วนประกอบยาง และสารเคมี ขั้นต่อไปเป็นการบดยางให้นิ่ม (Mastication) ในกรณีที่ใช้ยางธรรมชาติ และการ บดผสมยางกับสารเคมี (mixing) ซึ่งทั้ง 2 กระบวนการนี้จะใช้เครื่องจักรบด ซึ่งมี 2 แบบ คือ เครื่องบดระบบเปิด (Open mill , 2 – roll mill) และเครื่องบดผสมแบบปิด (Internal mixer) จากนี้น้ำยางที่บดผสมกับสารเคมีแล้ว (Compound rubber) ไปขึ้นรูป (Forming) เป็นผลิตภัณฑ์ ที่ต้องการ แล้วอบให้ยางคงรูป (Vulcanization) และตกแต่งชิ้นผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย

2.13.1 การบดยาง

2.13.1.1 เครื่องมือกลที่ใช้ (Machinery)

เครื่องมือที่ใช้บดยางให้นิ่มและใช้บดยางกับสารเคมีต่างๆ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. เครื่องบดผสมระบบเปิด (Open mill mixer)

เครื่องบดระบบเปิด ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูกเรียงในแนวนอนและขนานกัน ลูก กลิ้งหน้าจะมีสกรูสำหรับปรับช่องระหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง ขนาดของเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้งที่ใช้ ในปัจจุบันมีขนาดต่างๆ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างขนาดปริมาณยางที่จะบดได้และกำลังของเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง [14]

ขนาดของลูกกลิ้ง(นิ้ว)	ปริมาณยางที่บดได้ (ปอนด์)	กำลังของเครื่องบด (แรงม้า)
6 X 13	1.25-2	7.5
8 X 16	2.5-4	10-15
10 X 20	5-8	15-20
12 X 24	10-18	30-40
14 X 30	20-30	40-55
16 X 42	30-50	70-75
18 X 48	45-70	75-100
22 X 60	75-125	125-150
24 X 72	125-200	150-200
26 X 84	150-250	150-200
28 X 84	175-300	200-250

2. เครื่องบดผสมระบบปิด (Internal mixer)

เครื่องบดผสมระบบปิด สามารถบดผสมยางกับสารเคมีได้ในปริมาณมากกว่าเครื่อง บดแบบ 2 ลูกกลิ้ง เครื่องบดระบบปิดมีความเหมาะสมและจำเป็นอย่างยิ่งกับการบดผสมใน ปริมาณมาก โดยเฉพาะกับการบดผสมที่มีส่วนประกอบของสารพวกเขม่าดำเพราะช่วยแก้ ปัญหาเรื่องการฟุ้งกระจายของเขม่าดำ

2.13.1.2 การบดยางให้นิ่มและการบดผสมยางกับสารเคมี

ยางธรรมชาติจำเป็นต้องผ่านกระบวนการบดให้นิ่มก่อนที่จะบดผสมสารเคมี เพราะยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลมาก การบดยางให้นิ่มเสียก่อนนั้นเป็นการทำให้โมเลกุลฉีกขาด น้ำหนักโมเลกุลเล็กลง ยางสังเคราะห์จะถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยมีการควบคุมน้ำหนักโมเลกุล ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องบดให้นิ่มก่อน

การบดยางให้นิ่ม คือ การบดยางล้วนๆ และอาจใช้สารเคมีผสมพวก Softener ช่วยเร่ง ด้วย เมื่อยางนิ่มพอเหมาะแล้วจึงทำการผสมสารเคมีบดให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ขั้นตอนการเติม สารเคมีต่างๆ ลงบดผสมยางนั้นจะต้องจัดลำดับการเติมไว้อย่างถูกต้อง สารผสมที่มีขนาดอนุภาค ใหญ่และผสมกับยางจะถูกเติมลงไปก่อน สารเคมีพวกเร่งให้ยางเกิดการคงรูปจะถูกจัดไว้ลำดับสุดท้าย ยางที่ได้บดผสมสารเคมีเรียบร้อยแล้ว จะถูกเก็บไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนการนำไปขึ้น รูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

2.13.2 การคงรูป

การคงรูปยางที่ได้ผสมสารเคมีเรียบร้อยแล้วให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ สรุปได้ 4 วิธี คือ

1. การใช้แม่พิมพ์
2. การอัดผ่านได

3. การใช้เครื่องคาเล็นเดอร์
4. การฉาบสารละลายยางบนผ้า

2.13.3 การทำให้ยางคงรูป

การทำให้ยางคงรูป คือ การทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลและเป็นผล ให้เพิ่มความหยุ่นตัว และลดความเสียรูปทรงของยางเมื่อปล่อยยางให้เป็นอิสระจากแรงที่กระทำ ให้เสียรูป วิธีที่ทำให้ยางคงรูปมีหลายวิธี ดังนี้

1. ทำให้ยางคงรูปโดยเครื่องอัด (Vulcanization in press) ใช้กับการทำผลิตภัณฑ์ยาง ชนิดที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัดหรือแบบกึ่งฉีด

2. ทำให้ยางคงรูปแบบเปิด (Open Cure) ใช้กับการทำผลิตภัณฑ์ยางชนิดที่ไม่ต้องการความแน่นอนของรูปร่างโดยแม่พิมพ์

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิชญา พิศสุวรรณ [15] ได้ศึกษางานวิจัยเรื่องสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นเดิน ภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการเดินที่ส่งผลต่อการลื่นล้มเมื่อใช้พื้นรองเท้าจากยางธรรมชาติ โดยทำการออกแบบและสร้างเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานให้สามารถปรับค่าตัวแปรต่างๆ ได้คือ มุมเท้า แรงในแนวดิ่ง และความเร็วในการลื่นไถล ตัวแปรอิสระในการทดลองมี 3 ปัจจัยคือ 1.ชนิดของพื้นรองเท้า 6 ชนิด คือ ยางธรรมชาติสูตรแข็ง ยางธรรมชาติสูตรอ่อน ยางธรรมชาติจากท้องตลาด 2.ชนิดของพื้นทางเดิน 3 ชนิด คือ พื้นปูนขัดหยาบ หินขัดหยาบ และกระเบื้อง 3.สภาวะของพื้นทางเดิน 4 สภาวะ คือ พื้นแห้ง พื้นเปียกน้ำ และพื้นเปื้อนน้ำสบู่ และตัวแปรตามคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ข้อมูลจากการทดลองถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยเทคนิค ANOVA พบว่าปัจจัยทั้ง 3 คือ ชนิดของพื้นรองเท้า ชนิดของพื้นทางเดิน และสภาวะของพื้นทางเดิน มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้ายางธรรมชาติสูตรแข็งบนพื้นหินขัด ในสภาวะพื้นแห้งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สูงที่สุดเท่ากับ 4.11 และพื้นรองเท้ายางธรรมชาติสูตรอ่อนบนพื้นกระเบื้อง ในสภาวะพื้นเปื้อนน้ำสบู่จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.08

ดุจใจ ชัยวานิชศิริ และคณะ [16] ได้ศึกษาอุบัติการณ์ความผิดปกติของเท้าและสมรรถภาพในการเดินของ ผู้สูงอายุ หาความสัมพันธ์ของความผิดปกติกับปัจจัยต่างๆ และชนิดของรองเท้าที่ใช้ หาความสัมพันธ์ของปัจจัยเกี่ยวข้องกับการล้ม คำนวณหาขนาด/มิติของเท้าผู้สูงอายุเพื่อใช้เป็นหุ่นในการทำรองเท้าให้ผู้สูงอายุ การวิจัยเชิงพรรณนา ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งรวบรวมอาสาสมัครผู้สูงอายุชาวไทยสุขภาพดี อายุ 60-80 ปี ช่วยเหลือตนเองได้ สัมภาษณ์ข้อมูลทั่วไป ปัญหาเท้า การเดิน การล้ม การใช้รองเท้า ตรวจร่างกาย ตรวจเท้า ตรวจรองเท้า พิมพ์ฝ่าเท้า วัดขนาด/มิติเท้า ประเมินสมรรถภาพการเดินด้วย Timed Get Up and Go Test และคำนวณความเร็วในการเดิน 6 เมตรมีอาสาสมัครทั้งสิ้น 213 คน เป็นชาย 108 คน หญิง 105 คน อายุเฉลี่ย 68.6+-5.4 ปี ค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกายใกล้เคียงกัน – 24.65 กก./ตร.ม. ผู้สูงอายุชาย 66% หญิง 50% เกษียณอยู่กับบ้าน และ 23%

ของผู้สูงอายุหญิงยังทำงานบ้าน ผู้สูงอายุเพศหญิงมีปัญหาโรคข้อเข้าเสื่อมมากกว่า (34.3% : 21.3%, p = 0.046) และมีปัญหาหลังเสื่อมมากกว่า (30.5% : 3.7%, p = 0.00) พบอาการปวดเท้า 14% โดยพบในเพศชาย 5.56 % และในเพศหญิง 22% สาเหตุ 1 ใน 3 เกิดจากเอ็นใต้ฝ่าเท้าอักเสบ 1 ใน 3 เกิดจาก Hallux valgus 1 ใน 5 เกิดจากภาวะหนังเท้าหนา (callus) และภาวะ Metatarsalgia เพศหญิงมีอาการปวดเท้ามากกว่าเพศชาย 4 เท่า ประมาณ 1 ใน 3 ของผู้สูงอายุทั้งสองเพศสวมรองเท้าคับ ผู้หญิงที่สวมรองเท้าหุ้มส้น และรองเท้าคับมีปัญหาปวดเท้ามากที่สุดคือ 38.5% และ 35.5% ตามลำดับ พบความผิดปกติของ protective sensation ประมาณ 20% ของผู้สูงอายุกว่า 85% ของผู้สูงอายุมีเท้าผิดรูป มากที่สุดคือ Hallux valgus ชายหญิงเท่ากันประมาณ 45% รองลงมาคือ Mallet toe พบในเพศชายมากกว่าหญิง 2 เท่า (58% : 31%) โดย Hallux valgus ในเพศหญิงจะมีความรุนแรงกว่า ปวดมากกว่า ลักษณะอุ้งเท้าแบนพบในผู้สูงอายุหญิงมากกว่า (42% : 32%) ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างอุ้งเท้าแบนกับภาวะเอ็นฝ่าเท้าอักเสบ หรือ Hallux valgus ใน 6 เดือนที่ผ่านมา ผู้สูงอายุหญิงล้ม 29.5% ผู้สูงอายุชายล้ม 12.9% (p = 0.004) กลุ่มล้มมีอายุเฉลี่ยสูงกว่า มีปัญหาเข่าเสื่อมมากกว่า (p = 0.02) มีปัญหาปวดเท้ามากกว่า (p = 0.02) มีความผิดปกติของ protective sensation มากกว่า และมีความสัมพันธ์กับการใช้รองเท้าส้นสูง (p = 0.036) มากกว่ากลุ่มไม่ล้ม ส่วนการทดสอบ Timed Get Up & Go และความเร็วในการเดิน ไม่มีความแตกต่างกัน ได้สูตรคำนวณจากการวัดขนาดเท้าดังนี้ สำหรับผู้สูงอายุหญิง Ball width = 2.863 + 0.279 (Foot length) และผู้สูงอายุชาย Ball width = 2.487 + 0.311 (Foot length) ซึ่งนำมาเป็นต้นแบบการทำหุ่นรองเท้าให้ผู้สูงอายุชายไทย ผู้สูงอายุมีปัญหาสุขภาพเท้าเป็นจำนวนมาก ทั้งจากการเปลี่ยนแปลงตามวัย และการใช้รองเท้าที่ไม่เหมาะสม ซึ่งในเพศหญิงจะมีความเสื่อมมากกว่า มีอาการปวดมากกว่า และอุบัติการณ์การล้มสูงกว่าเพศชาย ผู้สูงอายุควรได้รับความรู้ในการดูแลเท้าและเลือกรองเท้าให้เหมาะสมมากขึ้น

จิรายุ วงษ์ปัญญา [17] การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะส้นของรองเท้าสตรีวัยทำงานที่มีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อขา แรงกดใต้ฝ่าเท้าและแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะเดิน กลุ่มตัวอย่างเป็นอาสาสมัครหญิงวัยทำงานที่มีอายุระหว่าง 20-40 ปี จำนวน 21 คน ทำการวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อในขณะเดิน ได้แก่ 1) Biceps femoris 2) Vastus lateralis 3) Gastrocnemius lateralis 4) Gastrocnemius medialis 5) Tibialis anterior และ 6) Soleus จำนวน 10 ก้าว ทำการวัดแรงกดใต้ฝ่าเท้าทั้งสองข้างด้วยเซ็นเซอร์ที่สวมไว้ในรองเท้า จำนวน 10 ก้าว และทำการวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้วยการเดินเหยียบบนแผ่นวัดแรงด้วยเท้าข้างที่ถนัด จำนวน 3 รอบ โดยทำการสวมรองเท้า 5 คู่ ดังนี้มี 5 แบบ คือ แบบที่ 1 ส้นแบน แบบที่ 2 ส้นเต็มสูง 2 นิ้ว แบบที่ 3 ส้นเว้ากลางสูง 2 นิ้ว แบบที่ 4 ส้นเต็มสูง 3 นิ้ว และแบบที่ 5 ส้นเว้ากลางสูง 3 นิ้ว ซึ่งได้มาจากผลสำรวจความนิยมการสวมรองเท้าสตรีวัยทำงาน วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำ หากพบความแตกต่างจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ ด้วยวิธีของบอนเฟอโรนี ผลการวิจัย พบว่ารองเท้าแบบที่ 5 มีค่าเฉลี่ยร้อยละของแอมปลิจูดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Vastus lateralis สูงกว่ารองเท้าแบบที่ 1 และแบบที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แรงกดใต้ฝ่าเท้าข้างขวาจังหวะส้นเท้าสัมผัสพื้น เมื่อสวมรองเท้าแบบที่ 1 สูงกว่ารองเท้าแบบที่ 2, 3, 4 และ5 รองเท้าแบบที่ 3 สูงกว่ารองเท้า แบบที่ 2 รองเท้าแบบที่ 3 สูงกว่ารองเท้าแบบที่ 4 และรองเท้าแบบที่ 5 สูง

กว่ารองเท้าแบบที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในจังหวะที่ปลายเท้าถีบพื้น ค่าเฉลี่ยแรงกดใต้ฝ่าเท้าข้างซ้ายจังหวะส้นเท้าสัมผัสพื้น รองเท้าแบบที่ 4 ต่ำกว่ารองเท้าแบบที่ 1 และแบบที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และจังหวะที่ปลายเท้าถีบพื้น รองเท้าแบบที่ 1ต่ำกว่ารองเท้าแบบที่ 2, 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และแรงปฏิกิริยาจากพื้นไม่พบความแตกต่างเป็นรายคู่อย่างมีนัยสำคัญ สรุปผลการวิจัย การสวมรองเท้าที่มีลักษณะส้นต่างกันที่มีความสูงไม่เท่ากันมีผลต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Vastus lateralis แต่ไม่ส่งผลต่อกล้ามเนื้อ Biceps femoris, Gastrocnemius lateralis, Gastrocnemius medialis, Tibialis anterior และ Soleus ลักษณะส้นและระดับความสูงของรองเท้าต่างกันมีผลต่อแรงกดใต้ฝ่าเท้าแต่ไม่มีผลต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้น

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

3.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) ของบริษัทไทยฮั้วยางพารา ประเทศไทย จำกัด (มหาชน)

3.1.2 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) ของบริษัทเมทอ็อกไซด์ประเทศไทย จำกัด

3.1.3 กรดสเตียริก (Stearic Acid) ของบริษัท EMERY OLEOCHEMICALS ประเทศมาเลเซีย

3.1.4 N-Tert-Butyl-2-Benzothiazole Sulfenamide, TBBS ของบริษัท MONFLEX PTE. LTD ประเทศสิงคโปร์

3.1.5 Tetramethylthiuram Disulfide, TMTD ของบริษัทเวสเชิล เคมีเคิล จำกัด ประเทศไทย

3.1.6 กำมะถัน (Sulfur) ของบริษัทเวสเชิล เคมิเคิล จำกัด ประเทศไทย

3.1.7 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) ของบริษัท Thai Poly Chemicals Co,Ltd. ประเทศไทย

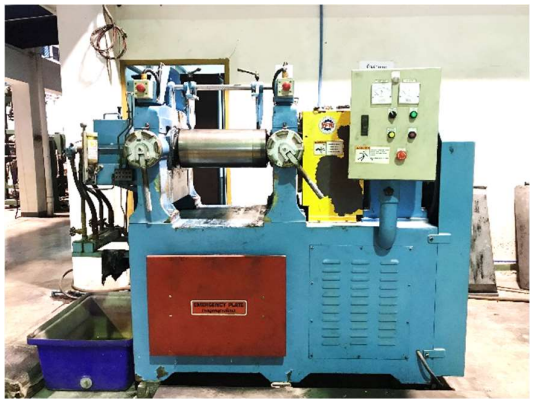
3.1.8 Struktol A86 ของบริษัทเจ๊บเซ่น แอนด์ เจ๊สเซ่น อินกรีเดียนส์ (ที) จำกัด ประเทศไทย

3.1.9 Paraffinic oil ของบริษัท ซันนี่เวิลด์ จำกัด ประเทศไทย

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

3.2.1 เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) Model: YFTR 8” (YFH - 8” ×18” L) ของบริษัทยง ฟง แมชชินเนอรี่ ประเทศไทย จำกัด



รูปที่ 3.1 เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)

3.2.2 เครื่องทดสอบความหนืด (Mooney viscometer) มาตรฐาน ASTM D 1646 รุ่น MV-3 ของบริษัท Beijing Rade Instrument Co., Lt ประเทศจีน



รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบความหนืด (Mooney viscometer)

3.2.3 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบดายเคลื่อนที่ (Moving Die Rheometer,MDR) มาตรฐาน ASTM D 5289 ยี่ห้อ GOTECH รุ่น GT - M2000 ของบริษัท GOTECH testing machines Inc. ประเทศไต้หวัน



รูปที่ 3.3 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบดายเคลื่อนที่ (Moving Die Rheometer,MDR)

3.2.4 เครื่องอัดขึ้นรูปไฮโดรลิค (Compression molding) Model: YFYHM - 100T ของบริษัทยง ฟง แมชชินเนอรี่ ประเทศไทย จำกัด



รูปที่ 3.4 เครื่องอัดขึ้นรูปไฮโดรลิค (Compression molding)

3.2.5 เครื่องวัดความแข็ง (Hardness) มาตรฐาน ASTM D 2240 ใช้เครื่อง durometer เครื่องวัดความแข็งของยางชนิดเอ (Type A) ของบริษัท PTC instruments ประเทศสหรัฐอเมริกา



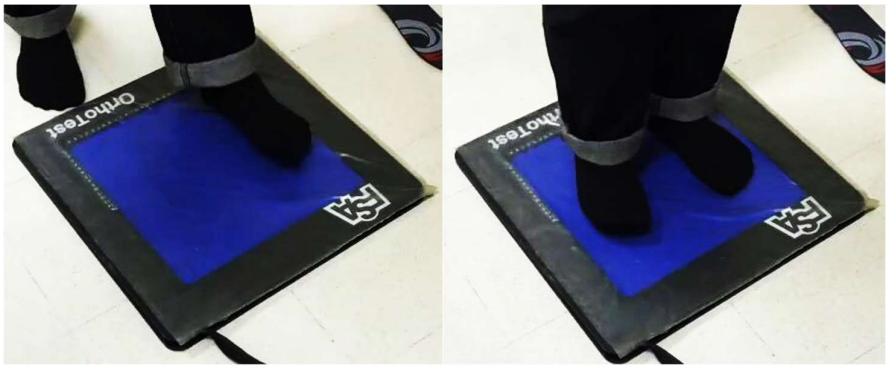
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความแข็ง (Hardness)

3.2.6 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) มาตรฐาน ASTM D412



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine)

3.2.7 เครื่องวัดเท้า ใช้ในการวัดเพื่อหาจุดที่รับแรงน้ำหนัก และแรงกดของฝ่าเท้า เครื่องวัดจะแสดงผลออกมาในรูปแบบของสีและตัวเลขตามแรงกดและการกระจายน้ำหนัก



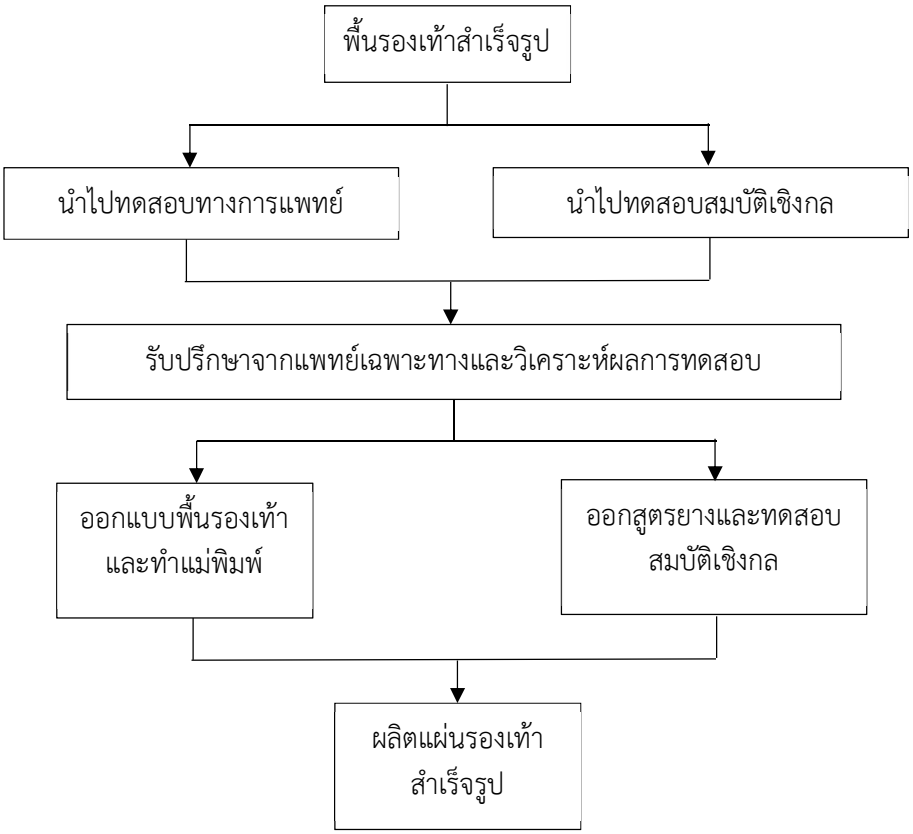
รูปที่ 3.7 เครื่องวัดแรงกดใต้ฝ่าเท้า

3.2.8 แผ่นรองเท้าที่มีวางจำหน่ายทั่วไป เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลกับแผ่นรองเท้าที่จะผลิตขึ้นเอง

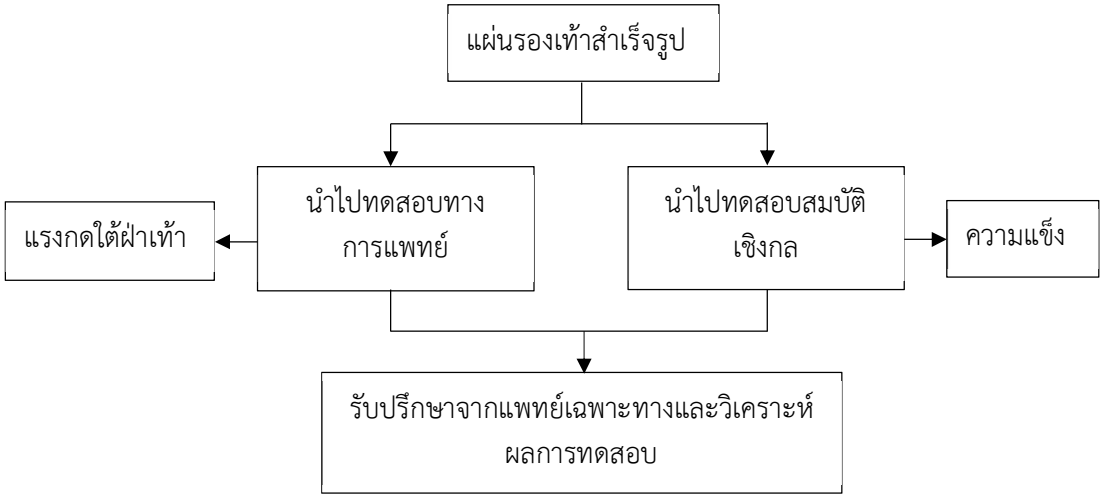


รูปที่ 3.8 แผ่นรองเท้า

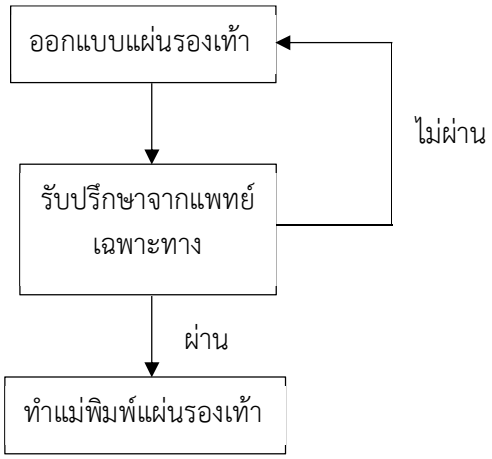
3.3 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน



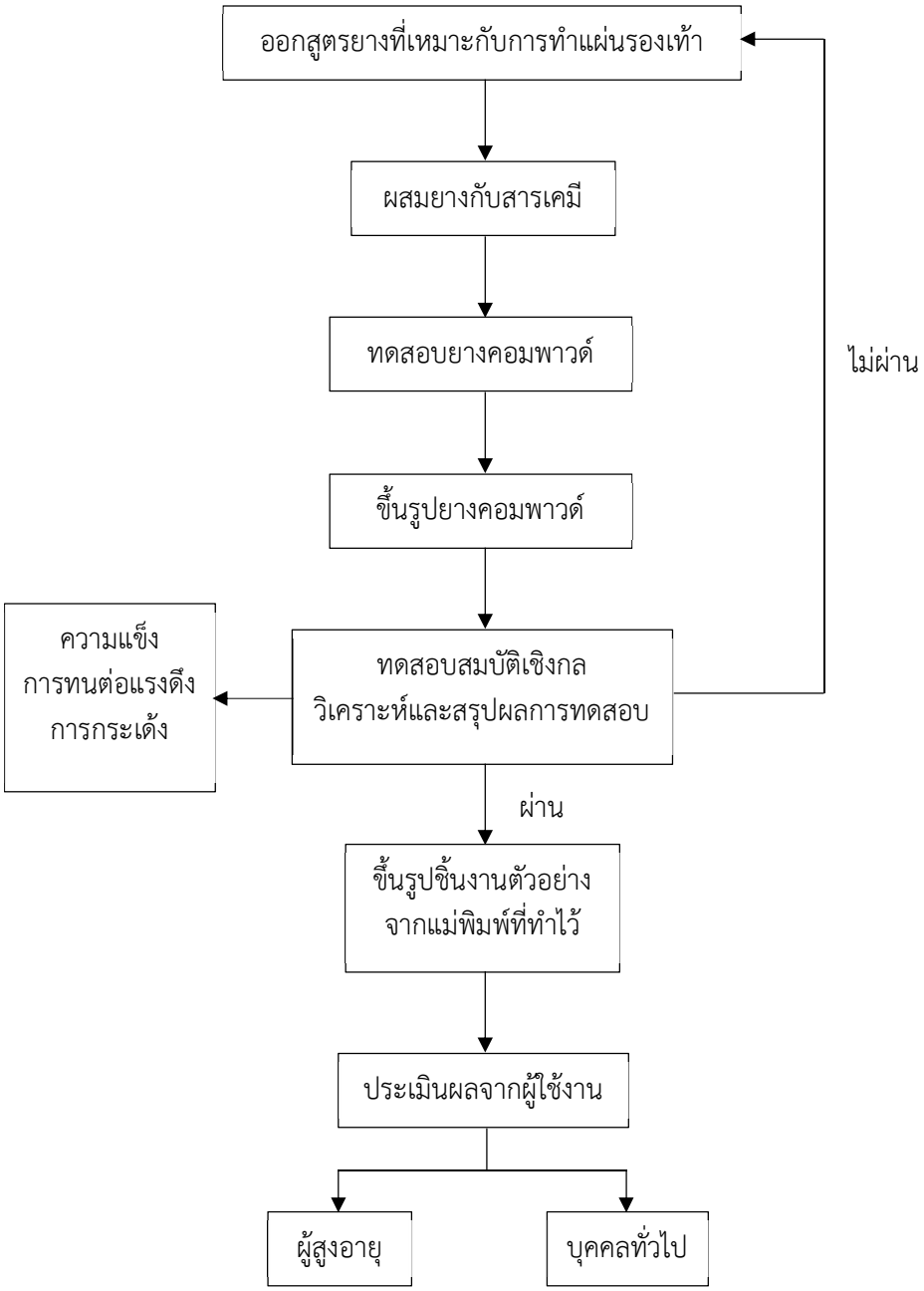
รูปที่ 3.9 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.10 แผนผังขยายการดำเนินงานศึกษาแผ่นรองเท้าที่มีวางจัดจำหน่ายทั่วไป



รูปที่ 3.11 แผนผังขยายการดำเนินงานออกแบบแม่พิมพ์แผ่นรองเท้า



รูปที่ 3.12 แผนผังขยายการดำเนินงานทำแผ่นรองเท้า

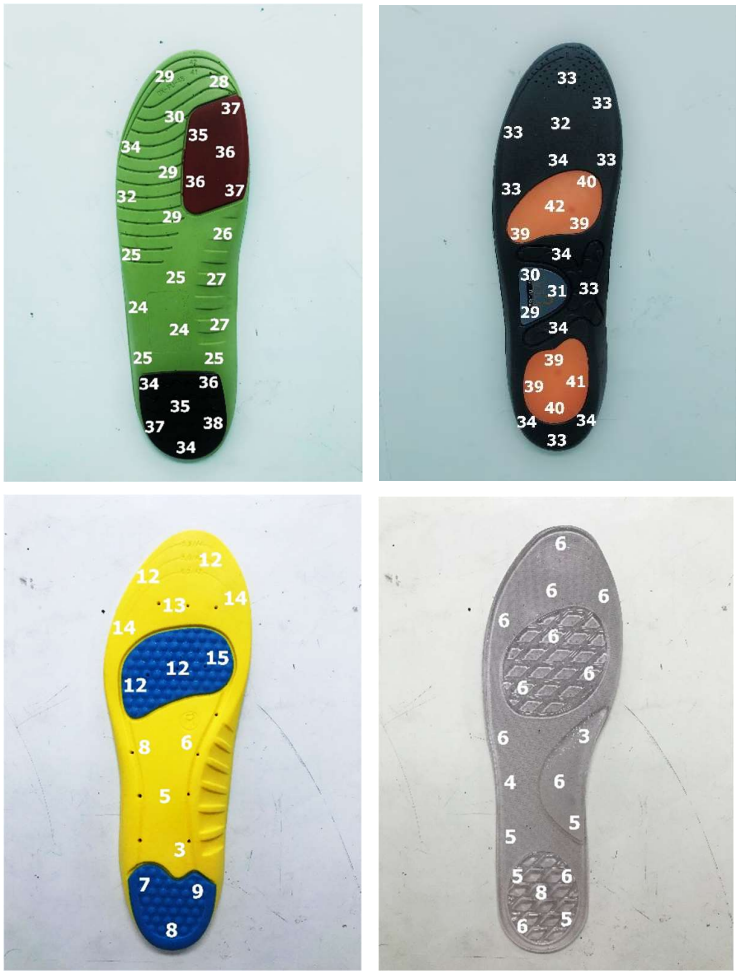
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.4.1 ทดสอบความแข็ง (Hardness) ของแผ่นรองเท้า

1.) ทำการจัดซื้อแผ่นรองเท้าที่มีวางจำหน่ายในท้องตลาด

2.) ทำการทดสอบความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 ด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง (Durometer Shore A)

3.) วิเคราะห์ผลการทดสอบ



รูปที่ 3.13 แผ่นรองเท้าที่วัดความแข็งเรียบร้อย

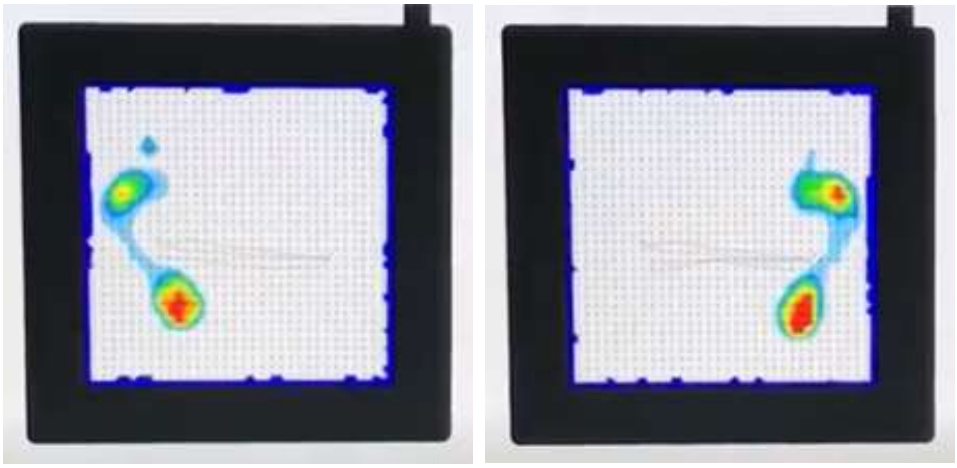
3.4.2 ทดสอบแรงกดของฝ่าเท้าทางการแพทย์

1.) เตรียมแผ่นรองเท้าที่ได้จัดซื้อมา

2.) วางแผ่นรองเท้าลงบนเครื่องวัดเท้า (Force Plate) เพื่อหาจุดที่รับแรงน้ำหนัก และแรงกดของฝ่าเท้า เครื่องวัดจะแสดงผลออกมาในรูปแบบของสี

- สีแดง บ่งบอกถึงแรงกดที่มากที่สุดของฝ่าเท้า
- สีส้ม บ่งบอกถึงแรงกดที่น้อยรองลงมาจากสีแดง
- สีเหลือง บ่งบอกถึงแรงกดที่น้อยรองลงมาจากสีส้ม
- สีเขียว บ่งบอกถึงแรงกดที่น้อยรองลงมาจากสีเหลือง
- สีฟ้า บ่งบอกถึงแรงกดที่น้อยรองลงมาจากสีเขียว
- สีน้ำเงิน บ่งบอกถึงแรงกดที่น้อยที่สุดของฝ่าเท้า

3.) วิเคราะห์ผลการทดสอบ



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า

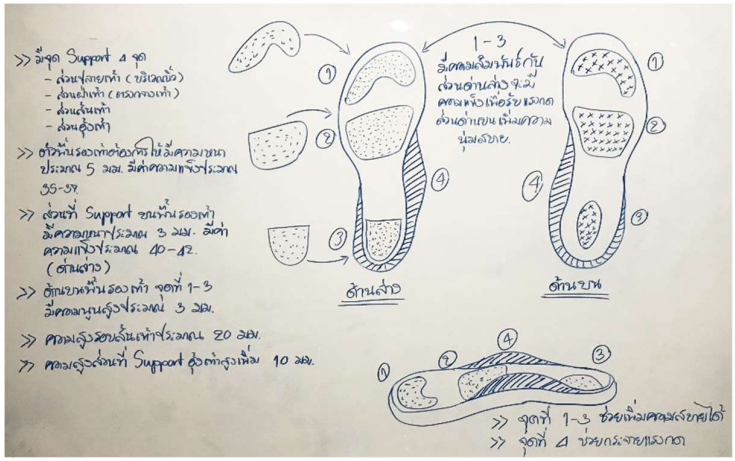
3.4.3 ออกแบบแผ่นรองเท้า

1.) นำผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งและแรงกดใต้ฝ่าเท้ามาวิเคราะห์อีกครั้ง

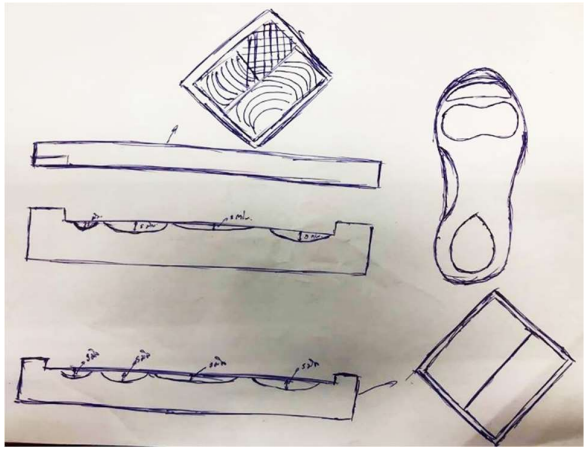
2.) ออกแบบแผ่นรองเท้า ให้มีความเหมาะสมกับความต้องการใช้งานของผู้สูงอายุ

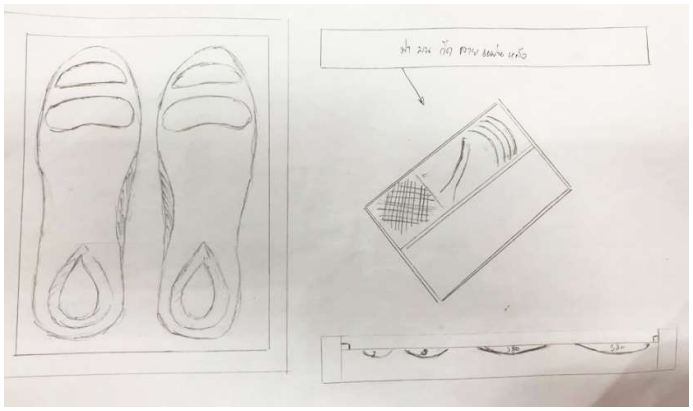
3.) นำแบบแผ่นรองเท้าที่ออกแบบไว้ ไปปรึกษากับแพทย์ผู้เชียวชาญเฉพาะทาง

4.) จัดทำแม่พิมพ์แผ่นรองเท้า

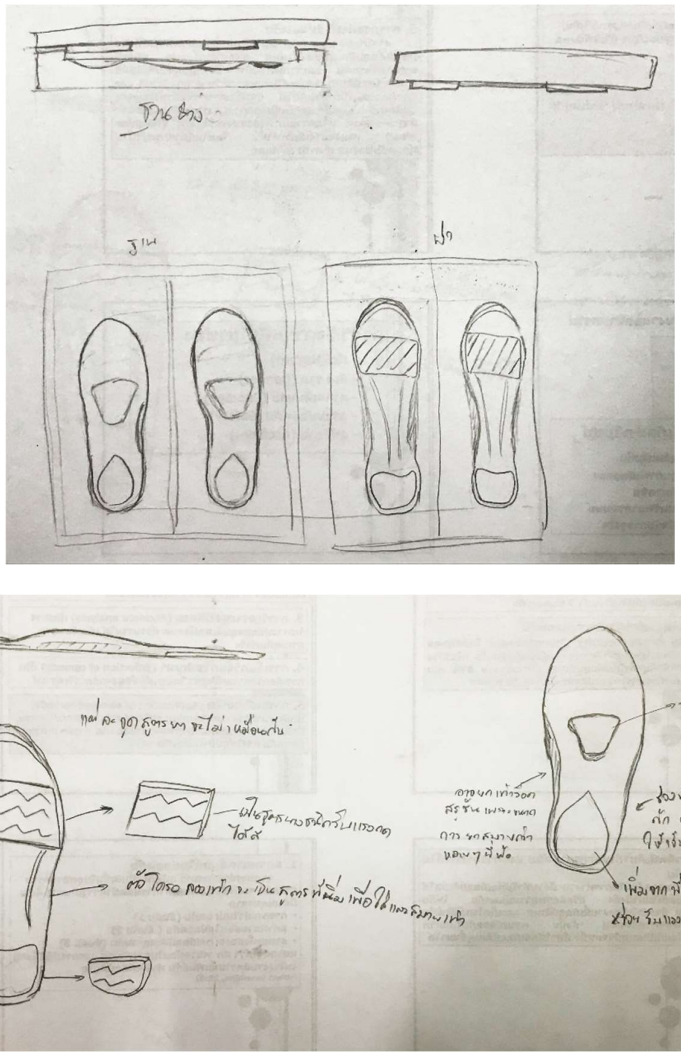


รูปที่ 3.15 การออกแบบแผ่นรองเท้าครั้งที่ 1





รูปที่ 3.16 การออกแบบแผ่นรองเท้าและแม่พิมพ์ครั้งที่ 2



รูปที่ 3.17 การออกแบบแผ่นรองเท้าและแม่พิมพ์ครั้งที่ 3

3.4.4 ศึกษาสมบัติของสารเคมีที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

1.) เตรียมยางและสารเคมี ตามสูตรในตารางที่ 3.1

2.) ขั้นตอนการผสมยางคอมพาวด์

- บดยางธรรมชาติ (NR) STR 5L ด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง
- ใส่สารเคมีตามลำดับ Stearic acid, ZnO, TMTD, TBBS, Sulfur โดยการใส่สารเคมี ต้องให้ตัวที่ใส่ลงไปละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับยางก่อน จึงใส่สารเคมีตัวถัดไป
- ใช้อุณหภูมิในการผสมยาง 40 – 60 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการผสมประมาณ 30 – 40 นาที

ตารางที่ 3.1 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของสารเคมีที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

ยางและสารเคมี	ปริมาณ phr)
STR5L	100
Stearic Acid	2
ZnO	3
TMTD	1
TBBS	0.5
Sulfur	1

3.4.5 ศึกษาสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

1.) เตรียมยางและสารเคมี ตามสูตรในตารางที่ 3.2

2.) ขั้นตอนการผสมยางคอมพาวด์

- บดยางธรรมชาติ (NR) STR 5L ด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง
- ใส่สารเคมีตามลำดับ Stearic acid, ZnO, $CaCO_3$, TMTD, TBBS, Sulfur

โดยการใส่สารเคมี ต้องให้ตัวที่ใส่ลงไปละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับยางก่อน จึงใส่สารเคมีตัวถัดไป

- ใช้อุณหภูมิในการผสมยาง 40 – 60 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการผสมประมาณ 30 – 40 นาที

ตารางที่ 3.2 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)			
STR5L	100			
Stearic Acid	2			
ZnO	3			
$CaCO_3$	20	30	40	50
TMTD	1			
TBBS	0.5			
Sulfur	1			

3.4.6 ศึกษาสมบัติของคาร์บอนแบล็คที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

1.) เตรียมยางและสารเคมี ตามสูตรในตารางที่ 3.3

2.) ขั้นตอนการผสมยางคอมพาวด์

- บดยางธรรมชาติ (NR) STR 5L ด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง
- ใส่สารเคมีตามลำดับ Stearic acid, ZnO, Carbon Black, TMTD, TBBS,

Sulfur โดยการใส่สารเคมี ต้องให้ตัวที่ใส่ลงไปละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับยางก่อน จึงใส่สารเคมีตัวถัดไป

- ใช้อุณหภูมิในการผสมยาง 40 – 60 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการผสมประมาณ 30 – 40 นาที

ตารางที่ 3.3 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของคาร์บอนแบล็คที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)			
STR5L	100			
Stearic Acid	2			
ZnO	3			
Carbon Black	1	3	5	10
TMTD	1			
TBBS	0.5			
Sulfur	1			

3.4.7 ศึกษาสมบัติของพลาสติไซเซอร์ที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

1.) เตรียมยางและสารเคมี ตามสูตรในตารางที่ 3.4

2.) ขั้นตอนการผสมยางคอมพาวด์

- บดยางธรรมชาติ (NR) STR 5L ด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง
- ใส่สารเคมีตามลำดับ Stearic acid, ZnO, TMTD, TBBS, Sulfur, Plasticizer โดยการใส่สารเคมี ต้องให้ตัวที่ใส่ลงไปละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับยางก่อน จึงใส่สารเคมีตัวถัดไป

- ใช้อุณหภูมิในการผสมยาง 40 – 60 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการผสมประมาณ 30 – 40 นาที

ตารางที่ 3.4 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของพลาสติไซเซอร์ที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)			
STR5L	100			
Stearic Acid	2			
ZnO	3			
TMTD	1			
TBBS	0.5			
Sulfur	1			
Plasticizer	10	15	20	80

3.4.8 ศึกษาสมบัติของสารเคมีย่อยยางที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

1.) เตรียมยางและสารเคมี ตามสูตรในตารางที่ 3.5

2.) ขั้นตอนการผสมยางคอมพาวด์

- บดยางธรรมชาติ (NR) STR 5L ด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง
- ใส่สารเคมีตามลำดับ Struktol A86, Stearic acid, ZnO, TMTD, TBBS, Sulfur โดยการใส่สารเคมี ต้องให้ตัวที่ใส่ลงไปละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับยางก่อน จึงใส่สารเคมีตัวถัดไป
- ใช้อุณหภูมิในการผสมยาง 40 – 60 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการผสมประมาณ 30 – 40 นาที

ตารางที่ 3.5 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของสารเคมีย่อยยางที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)					
STR5L	100					
Peptizer	1	3	5	10	15	20
Stearic Acid	2					
ZnO	3					
TMTD	1					
TBBS	0.5					
Sulfur	1					

3.4.9 ศึกษาสมบัติของสารเคมีย่อยยาง ผสมกับพลาสติไซเซอร์ที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

1.) เตรียมยางและสารเคมี ตามสูตรในตารางที่ 3.7

2.) ขั้นตอนการผสมยางคอมพาวด์

- บดยางธรรมชาติ (NR) STR 5L ด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง
- ใส่สารเคมีตามลำดับ Peptizer , Stearic acid, ZnO, TMTD, TBBS, Sulfur, Paraffin oil โดยการใส่สารเคมี ต้องให้ตัวที่ใส่ลงไปละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับยางก่อน จึงใส่สารเคมีตัวถัดไป
- ใช้อุณหภูมิในการผสมยาง 40 – 60 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการผสมประมาณ 30 – 40 นาที

ตารางที่ 3.6 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของสารเคมีย่อยยาง ผสมกับพลาสติไซเซอร์ที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)		
STR5L	100		
Peptizer	1		
Stearic Acid	2		
ZnO	3		
TMTD	1		
TBBS	0.5		
Sulfur	1		
Paraffin oil	10	15	20

3.4.10 การทดสอบยางคอมพาวด์

การทดสอบความหนืด (Mooney viscometer) ตามมาตรฐาน ASTM D1646

วิธีการทดสอบ

- ทดสอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

3.4.11 การทดสอบหาเวลาที่ยางคงรูป (Moving Die Rheometer, MDR)

ตามมาตรฐาน ASTM D5289

วิธีการทดสอบ

- ทดสอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส และ 150 องศาเซลเซียส เพื่อหาระยะเวลา Cure Time และ Scorch Time

3.4.12 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

อุปกรณ์

- เครื่องอัดขึ้นรูปไฮโดรลิค (Compression Molding) ตามมาตรฐาน

Model: YFYHM - 100T

วิธีการขึ้นรูป

- อัดขึ้นรูปชิ้นงานตามเวลาการคงรูปที่ได้จากกราฟของการทดสอบเครื่องรีโอมิเตอร์แบบดายเคลื่อนที่ (Moving Die Rheometer,MDR)

3.4.13 การทดสอบความแข็ง (Hardness)

ตามมาตรฐาน ASTM D2240 โดยใช้เครื่อง Durometer เครื่องวัดความแข็งของยางชนิดเอ (Type A) ข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐานสากลเครื่องวัดความแข็ง รายละเอียดชนิด Shore A มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.7 มาตรฐานสากลเครื่องวัดความแข็งชนิด Shore A

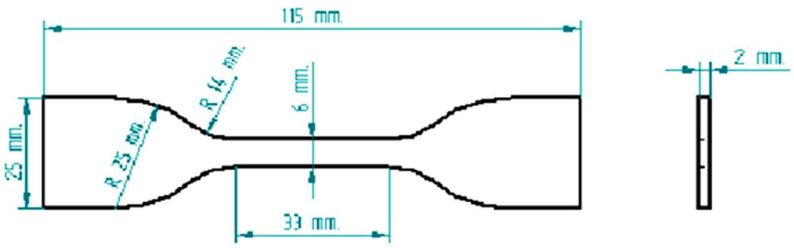
ชนิด	Shore A
การใช้วัสดุ	สำหรับยางทั่วไปที่มีความยืดหยุ่น
มาตรฐาน	ASTM D2240
แรงสปริง (N) ความแข็ง 0 – 100 (กรัม)	0.550 N – 8.050 N
ขนาดของหัวกด ขนาด/ความสูง (mm)	ทรงรูปกรวยปลายตัด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.50 มม. ทำมุม 35 องศา 0.79 ± 0.04

วิธีการทดสอบ

- ทดสอบวัดความแข็งของชิ้นงาน 5 จุดบนชิ้นงานทดสอบ

3.4.14 การทดสอบสมบัติการดึงยืด

ตามมาตรฐาน ASTM D412 สมบัติแรงดึงของยางสามารถวัดได้โดยการดึงชิ้นงานทดสอบมาตรฐานจนขาดออกจากกันด้วยอัตราความเร็วคงที่ มาตรฐาน ASTM D412 ได้กำหนดอัตราความเร็วในการดึงเท่ากับ 500 ± (50 มิลลิเมตร/นาที) เครื่องที่ใช้ทดสอบส่วนใหญ่จะเรียกว่าเครื่อง Universal testing machine หรือ Tensile testing machine ในระหว่างการดึง เครื่องจะทำการวัดและบันทึกค่าแรงดึงที่เปลี่ยนไปตามระยะการยืดตัวของยางแล้วนำแล้วนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณและพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด พร้อมทั้งคำนวณหาค่าความทนทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัสที่ความเครียดต่างๆโดยทั่วไป ชิ้นทดสอบที่จะนำทดสอบควรได้รับการคงรูปแล้วไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นทดสอบนั้นได้รับการคงรูปอย่างสมบูรณ์แล้ว แต่ไม่ควรเก็บชิ้นทดสอบไว้นานเกิน 28 วันหลังการคงรูป (ยกเว้นในกรณีที่เตรียมชิ้นทดสอบจากผลิตภัณฑ์) สำหรับรูปร่างของชิ้นทดสอบมาตรฐาน รูปดัมบ์เบลล์ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 รูปร่างชิ้นงานทดสอบดัมบ์เบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D 412 (Die C)

วิธีการทดสอบ

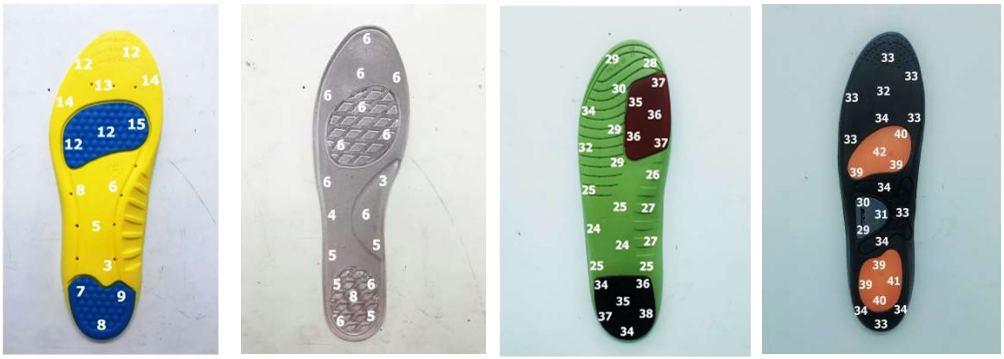
- ทดสอบสมบัติการยืดดึง โดยตัดชิ้นงานทดสอบเป็นรูปดัมบ์เบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D412 ซึ่งใช้เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบแบบ Die C แล้ววัดความหนาของชิ้นงานตัวอย่างในช่วงกลางและปลายทั้ง 2 ข้าง ของคอดัมบ์เบลล์ รวมทั้งเว้นความกว้างในช่วง ดังกล่าวด้วย
- บันทึกค่าความเค้นที่จุดขาด (Stress at break) หรือค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) และค่าการยืด ณ จุดขาด (Elongation at break)

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

ตอนที่ 1 ทดสอบและวิเคราะห์ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่มีวางจำหน่ายตามท้องตลาด

4.1 การทดสอบความแข็งของตัวอย่างแผ่นรองเท้า

4.1.1 นำตัวอย่างแผ่นรองเท้าทั้ง 4 ตัวอย่างที่จัดเตรียมไว้ มาทดสอบความแข็งด้วยเครื่อง Durometer (Shore A) และบันทึกผลค่าเฉลี่ยความแข็งของแต่ละจุด



(1) *(2)* *(3)* *(4)*

ที่ 4.1 ตัวอย่างแผ่นรองเทาที่ทดสอบความแข็งด้วยเครื่อง Durometer (Shore A) แล้ว

ตารางที่ 4.1 ค่าความแข็งของตัวอย่างแผ่นรองเท้า (Hardness)

ตัวอย่างที่	ค่าความแข็งเฉลี่ย (Shore A)		
	ปลายเท้า	กลางเท้า	ส้นเท้า
1	13	10	7
2	6	5	6
3	33	26	36
4	40	35	40

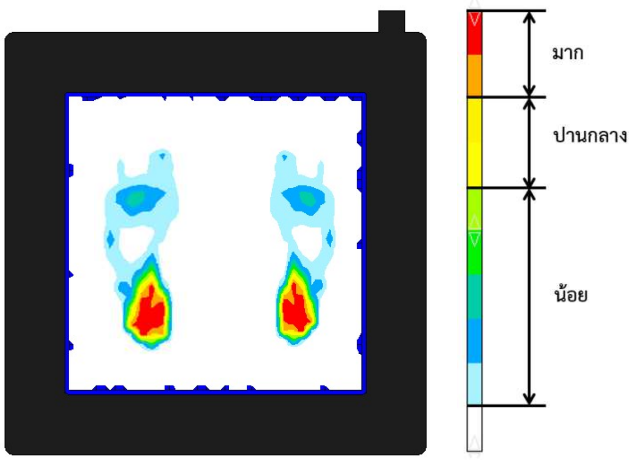
4.1.2 นำตัวอย่างแผ่นรองเท้าทั้ง 4 ตัวอย่างที่จัดเตรียมไว้ มาทดสอบความแข็งด้วยเครื่องกดใต้ฝ่าเท้าที่สถาบันสิรินธร เพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพทางการแพทย์แห่งชาติ กับผู้เชี่ยวชาญด้านกายอุปกรณ์



รูปที่ 4.2 เครื่องวัดแรงกดใต้ฝ่าเท้า

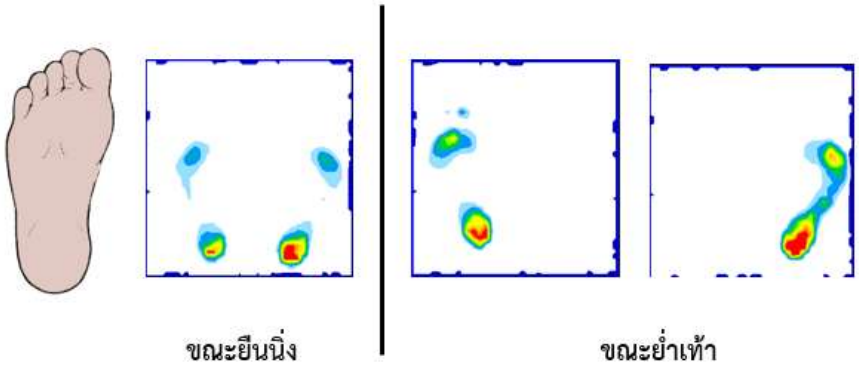
ผลที่ได้จากเครื่องวัดแรงกดใต้ฝ่าเท้า

- สีแดง บ่งบอกถึงแรงกดที่มากที่สุดของฝ่าเท้า
- สีส้ม บ่งบอกถึงแรงกดที่น้อยรองลงมาจากสีแดง
- สีเหลือง บ่งบอกถึงแรงกดที่น้อยรองลงมาจากสีส้ม
- สีเขียว บ่งบอกถึงแรงกดที่น้อยรองลงมาจากสีเหลือง
- สีฟ้า บ่งบอกถึงแรงกดที่น้อยรองลงมาจากสีเขียว
- สีน้ำเงิน บ่งบอกถึงแรงกดที่น้อยที่สุดของฝ่าเท้า



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า

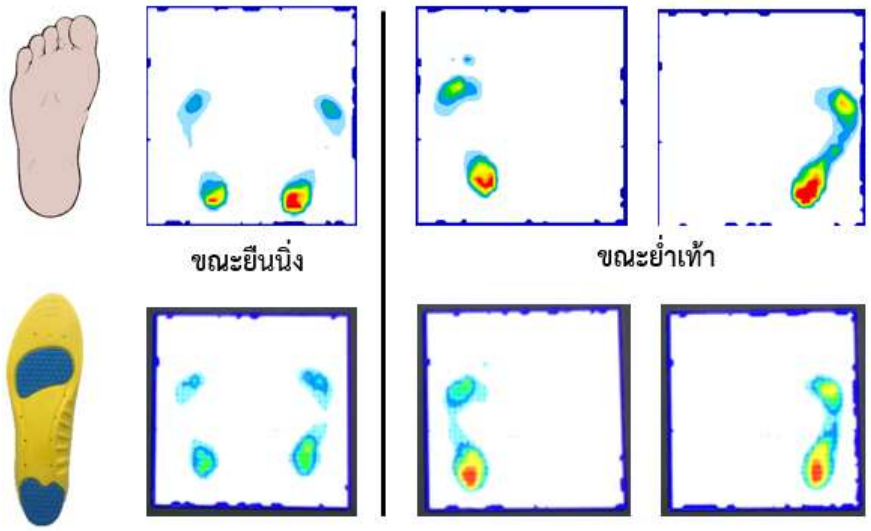
4.1.2.1 ทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้าของเท้าเปล่า



รูปที่ 4.4 ผลที่ได้จากเครื่องกดใต้ฝ่าเท้าของเท้าเปล่า

จากรูปที่ 4.4 การทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้าของเท้าเปล่า พบว่าในขณะที่ยืนตรงไม่มีการเคลื่อนที่ น้ำหนักที่กดลงที่ฝ่าเท้าจะมีการกระจายแรงกด แต่เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนไหวจะเห็นได้ว่ามีการทิ้งน้ำหนักกดบริเวณส้นเท้าและบริเวณปลายเท้ามากกว่าจุดอื่นๆ ทำให้ไม่มีการต้านทางแรงกด เพราะว่าเป็นการทดสอบโดยการใช้เท้าเปล่าไม่มีตัวมารองรับต้านทานแรงกด

4.1.2.2 ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 1

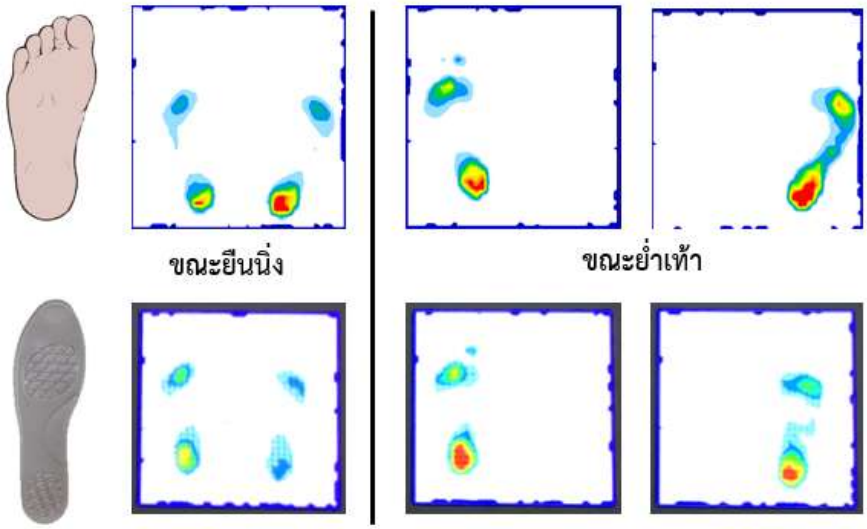


รูปที่ 4.5 ผลที่ได้จากเครื่องกดใต้ฝ่าเท้าของตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 1

จากรูปที่ 4.5 การทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้าของตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 1 พบว่าในขณะที่ยืนตรงไม่มีการเคลื่อนที่ น้ำหนักที่กดลงที่ฝ่าเท้าจะมีการกระจายแรงกด แต่เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนไหวจะ

เห็นได้ว่ามีการทิ้งน้ำหนักกดบริเวณส้นเท้าและบริเวณปลายเท้ามากกว่าจุดอื่นๆ เมื่อนำมาเทียบกับเท้าเปล่าพบว่าแรงกดใต้ฝ่าเท้าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากตัวอย่างแผ่นรองเท้านี้มีความนุ่มที่มาก ทำให้เกิดความสบายเพียงอย่างเดียว ไม่มีการรับแรงและต้านทานแรง

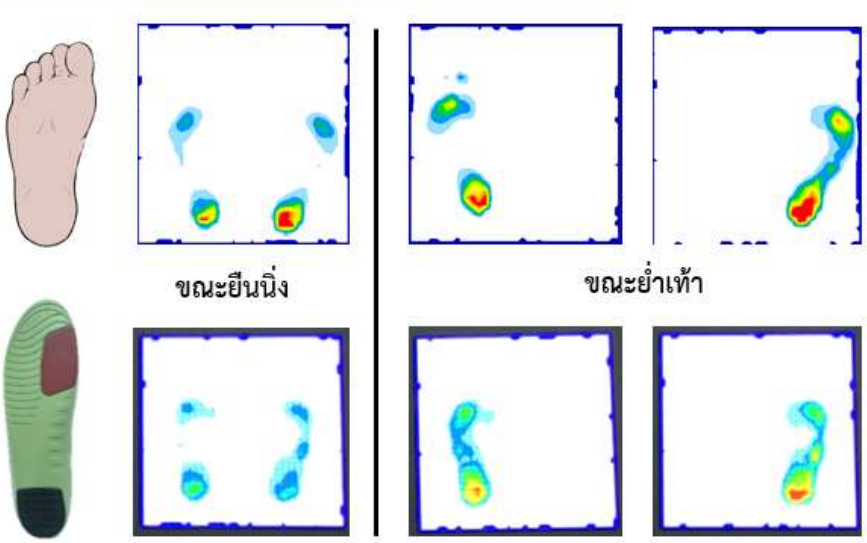
4.1.2.3 ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 2



รูปที่ 4.6 ผลที่ได้จากเครื่องกดใต้ฝ่าเท้าของตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 2

จากรูปที่ 4.6 การทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้าของตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 2 พบว่าในขณะที่ยืนตรงไม่มีการเคลื่อนที่ น้ำหนักที่กดลงที่ฝ่าเท้าจะมีการกระจายแรงกด แต่เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนไหวจะเห็นได้ว่ามีการทิ้งน้ำหนักกดบริเวณส้นเท้าและบริเวณปลายเท้ามากกว่าจุดอื่นๆ เมื่อนำมาเทียบกับเท้าเปล่าพบว่าแรงกดใต้ฝ่าเท้าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากตัวอย่างแผ่นรองเท้านี้มีความนุ่มที่มาก ทำให้เกิดความสบายเพียงอย่างเดียว ไม่มีการรับแรงและต้านทานแรง

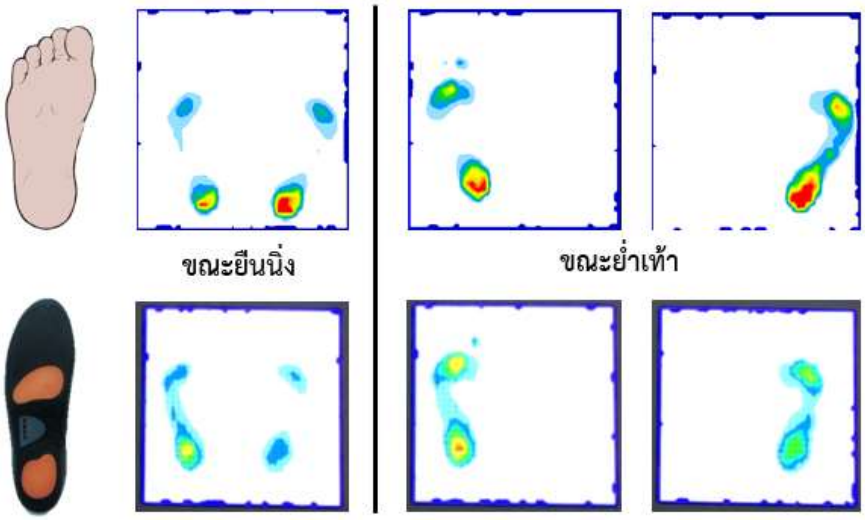
4.1.2.4 ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3



รูปที่ 4.7 ผลที่ได้จากเครื่องกดใต้ฝ่าเท้าของตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3

จากรูปที่ 4.7 การทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้าของตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3 พบว่าในขณะที่ยืนตรงไม่มีการเคลื่อนที่ น้ำหนักที่กดลงที่ฝ่าเท้าจะมีการกระจายแรงกด แต่เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนไหวจะเห็นได้ว่ามีการทิ้งน้ำหนักกดบริเวณส้นเท้ามากกว่าจุดอื่นๆ เมื่อนำมาเทียบกับเท้าเปล่าพบว่าแรงกดใต้ฝ่าเท้าลดลงโดยเฉพาะบริเวณส้นเท้า และมีการรองรับแรงในส่วนบริเวณอุ้งเท้ามากขึ้น เนื่องจากตัวอย่างแผ่นรองเท้านี้มีส่วนที่ช่วยพยุงบริเวณอุ้งเท้า ทำให้เกิดความสบายและเกิดความกระชับเมื่อสวมใส่

4.1.2.5 ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 4



รูปที่ 4.8 ผลที่ได้จากเครื่องกดใต้ฝ่าเท้าของตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 4

จากรูปที่ 4.8 การทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้าของตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 4 พบว่าในขณะที่ยืนตรงไม่มีการเคลื่อนที่ น้ำหนักที่กดลงที่ฝ่าเท้าจะมีการกระจายแรงกด แต่เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนไหวจะเห็นได้ว่ามีการทิ้งน้ำหนักกดบริเวณส้นเท้าและบริเวณปลายเท้าได้ดี เมื่อนำมาเทียบกับเท้าเปล่าพบว่าแรงกดใต้ฝ่าเท้าลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากตัวอย่างแผ่นรองเท้านี้มีความแข็ง ทำให้เกิดความมีการรับแรงและต้านทานแรงที่ดี

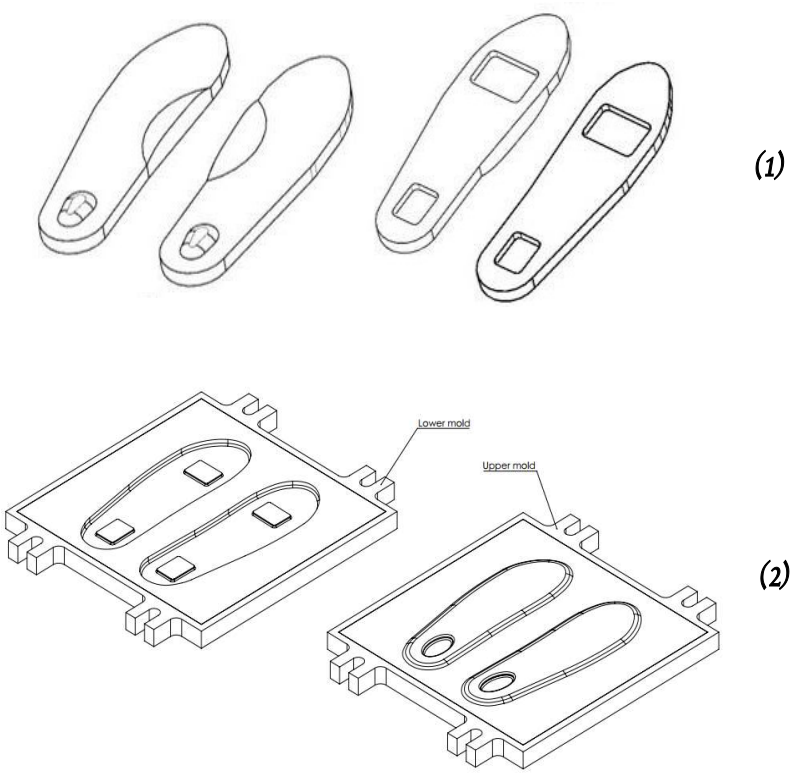
จากการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้าของตัวอย่างแผ่นรองเท้าเทียบกับเท้าเปล่าสามารถสรุปได้ว่า

- เท้าเปล่า คนที่มีลักษณะเท้าปกติ ส่วนมากจะลงน้ำหนักที่ส้นเท้าประมาณ 50%
- ตัวอย่างแผ่นรองท้าที่ 1 มีปุ่มนูนตรงส้นเท้า เพื่อเพิ่มความสบายให้กับผู้สวมใส่ แต่แผ่นรองเท้านั้นมีความนิ่มเกินไป ทำให้ไม่สามารถรับแรงและกระจายแรงได้ดี เราจึงนำบริเวณส้นเท้าในส่วนนี้มาพัฒนาและปรังปรุงใช้ใหม่ เพื่อเพิ่มความสบายให้กับแผ่นรองเท้า
- ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 2 แผ่นรองเท้ามีความนิ่มเกินไป ทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกสบาย ไม่สามารถรับแรงและกระจายแรงได้ดี ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะนำมาพัฒนาและปรับปรุง
- ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3 มี arch ช่วยรับน้ำหนักกดและกระจายน้ำหนักได้ดี มีการเติมเต็มการรับแรงบริเวณอุ้งเท้ามากขึ้น ดังนั้นแผ่นรองเท้าที่เราจะทำขึ้น จึงจะนำ arch มาทำการพัฒนาและปรับปรุงใช้ใหม่
- ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 4 มี arch ที่ต่ำ แต่ความแข็งของแผ่นรองเท้ามีความแข็งที่พอดี สามารถรับแรงได้ดี ดังนั้นเราจึงสนใจที่จำนำความแข็งของพื้นรองท้านี้มาพัฒนาและปรับปรุงใช้ใหม่

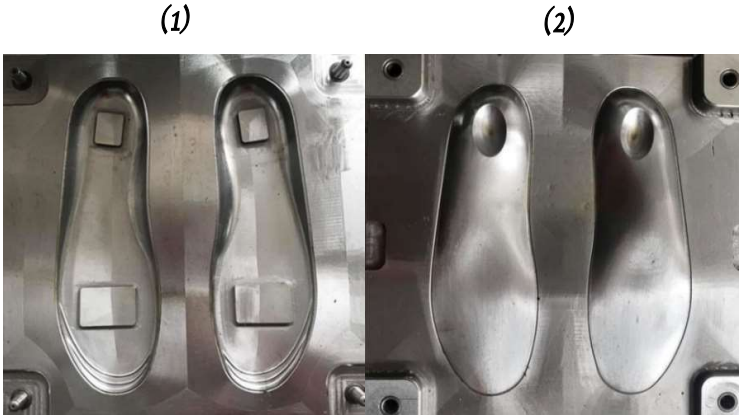
ตอนที่ 2 ออกแบบแผ่นรองเท้าและความแข็งของแผ่นรองเท้าในแต่ละส่วน

4.2 ออกแบบแผ่นรองเท้าและวิเคราะห์ความแข็งของแผ่นรองเท้าในแต่ละส่วน

4.2.1 ออกแบบแม่พิมพ์แผ่นรองเท้า



รูปที่ 4.9 (1) แบบแผ่นรองเท้า และ (2) แบบแม่พิมพ์แผ่นรองเท้า

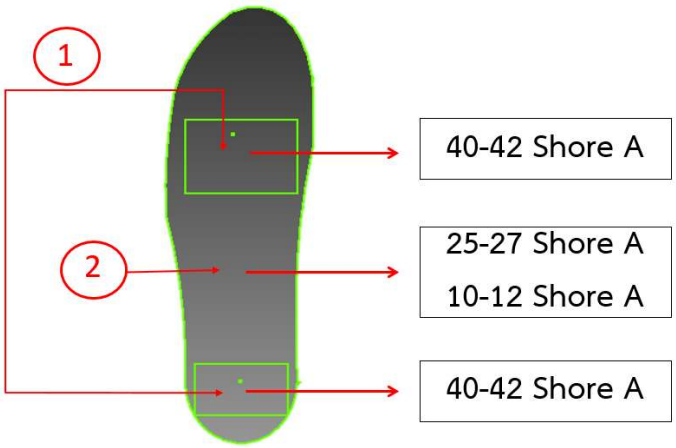


รูปที่ 4.10 แม่พิมพ์แผ่นรองเท้า (1) แผ่นรองเท้าด้านล่าง และ (2) แผ่นรองเท้าด้านบน



รูปที่ 4.11 แม่พิมพ์สำหรับประกอบด้านล่างแผ่นรองเท้าในรูปที่ 4.10 (1)

4.2.2 ความแข็งของแผ่นรองเทาในแต่ละส่วน



รูปที่ 4.12 ความแข็งของแผ่นรองเท้าในแต่ละส่วน

จากรูปที่ 4.12 ในส่วนที่ 1 และ 3 นั้นจะเป็นความแข็งของแผ่นรองเท้าทั้งแผ่น เพราะเราต้องการให้แผ่นรองเท้ามีความนุ่ม ความแข็งในส่วนนี้จะให้อยู่ช่วงระหว่าง 25-27 Shore A , 10-12 Shore A และในส่วนที่ 2 และ 4 นั้นจะเป็นส่วนที่รับแรงกดจากฝ่าเท้ามากที่สุด ยางในส่วนนี้จะถูกประกอบไว้ด้านล่างของแผ่นรองเท้า เพื่อที่จะให้ในส่วนนี้รับแรงและกระจายแรงกดได้ดี ความแข็งในส่วนนี้จะให้อยู่ช่วงระหว่าง 40-42 Shore A

ตอนที่ 3 แนวทางการศึกษาและพัฒนาสูตรยาง

4.3 แนวทางที่ 1 ปรับความแข็งให้อยู่ในช่วง 40-42 Shore A โดยใช้ $CaCO_3$

4.3.1 ศึกษาสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

ตารางที่ 4.2 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

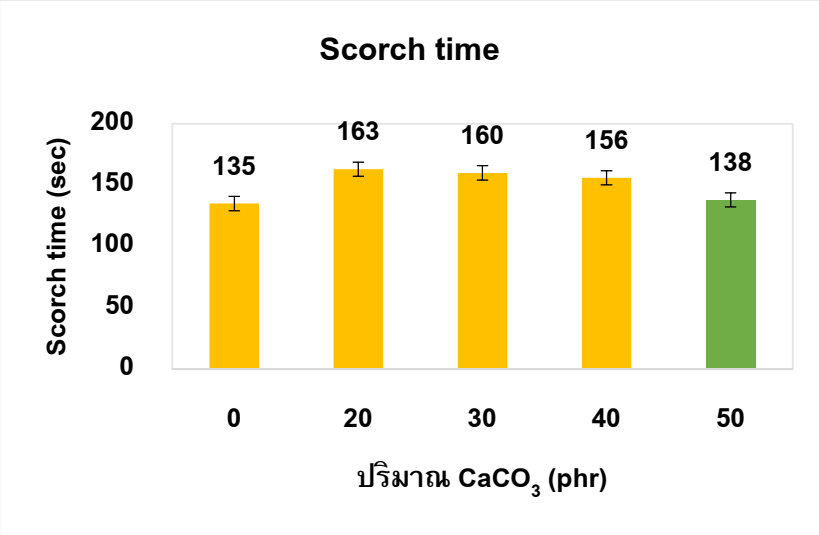
ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)			
STR5L	100			
Stearic Acid	2			
ZnO	3			
$CaCO_3$	20	30	40	50
TMTD	1			
TBBS	0.5			
Sulfur	1			

ระยะเวลายางเริ่มคงรูป (Scorch time)

ระยะเวลาที่ยางเริ่มจะเกิดการคงรูป หรือระยะเวลาที่ยางสามารถไหลได้ในขณะผลิตก่อนเกิดการคงรูป สามารถวัดได้โดย เครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	Scorch time (sec)
$CaCO_3$	0	135
	20	163
	30	160
	40	156
	50	138



รูปที่ 4.13 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต

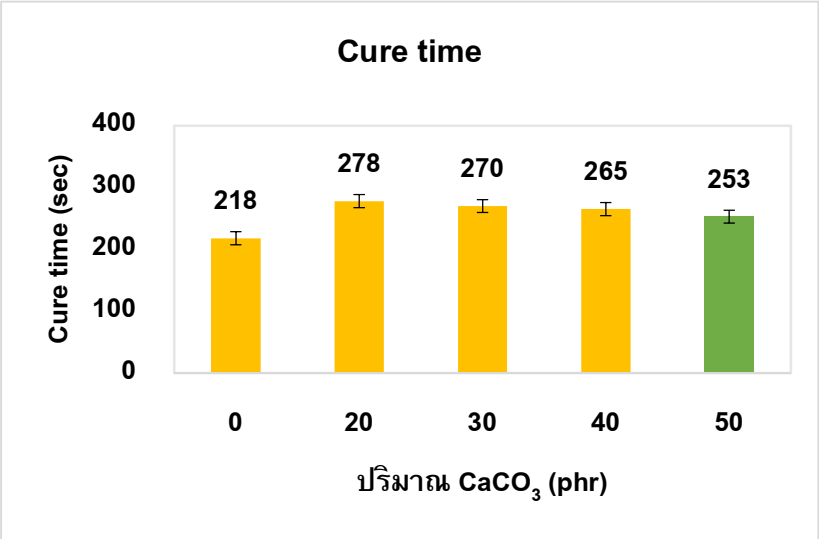
จากตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.13 พบว่าเวลายางเริ่มคงรูปของยางธรรมชาติที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต จากการทดลองพบว่าเวลายางเริ่มคงรูปจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 20 phr แต่เมื่อเติมคาร์บอเนตมากกว่า 30 phr ขึ้นไปกลับพบว่าทำให้เวลายางเริ่มคงรูปยิ่งลดลง

ระยะเวลาในการคงรูป (Cure time)

ก่อนที่จะนำยางคอมพาวด์ไปทำการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression molding ยางคอมพาวด์จะถูกนำมาทดสอบหาเวลาในการคงรูปด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	Cure time (sec)
$CaCO_3$	0	218
	20	278
	30	270
	40	265
	50	253



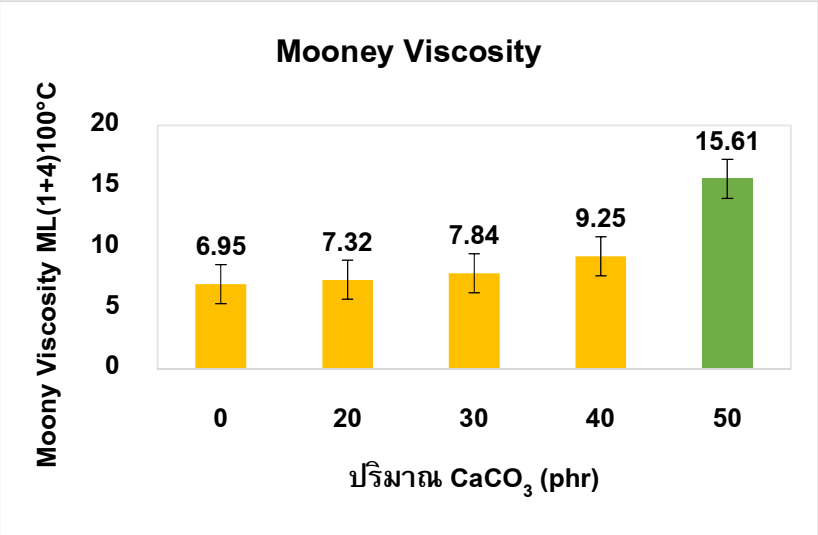
รูปที่ 4.14 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต

จากตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.14 พบว่าเวลาในการคงรูปของยางธรรมชาติที่มีการเติมแคลเซียม จากการทดลองพบว่าเวลาในการคงรูปจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 20 phr แต่เมื่อเติมคาร์บอเนตมากกว่า 30 phr ขึ้นไปกลับพบว่าทำให้เวลาในการคงรูปยิ่งลดลง

ความหนืด (Mooney Viscosity)

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	ค่าความหนืด ML(1+4)100°C
$CaCO_3$	0	6.95
	20	7.32
	30	7.84
	40	9.25
	50	15.61



รูปที่ 4.15 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต

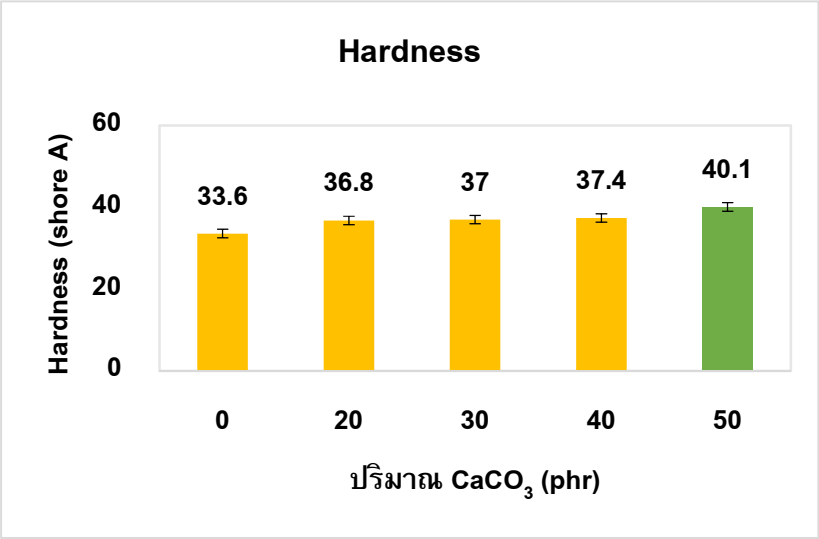
จากตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.15 พบว่าความหนืดของยางธรรมชาติที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตจะเพิ่มขึ้น เมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณที่มากขึ้น

การทดสอบความแข็งของยาง (Hardness)

วัดได้จากการนำยางที่ผ่านการขึ้นรูป ไปทำการทดสอบความแข็งของยาง โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง Durometer (shore A) แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	Hardness (shore A)
$CaCO_3$	0	33.6
	20	36.8
	30	37.0
	40	37.4
	50	40.1



รูปที่ 4.16 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต

จากตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.16 พบว่าความแข็งของยางธรรมชาติที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต จะมีค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณที่ทำการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อเติมที่แคลเซียม คาร์บอเนตที่ปริมาณ 50 phr ความแข็งจะอยู่ที่ประมาณ 40 ซึ่งอยู่ในช่วงความแข็งที่ต้องการ

4.4 แนวทางที่ 2 ปรับความแข็งให้อยู่ในช่วง 40-42 Shore A โดยใช้ Carbon Black

4.3.2 ศึกษาสมบัติของคาร์บอนแบล็คที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

ตารางที่ 4.7 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของคาร์บอนแบล็คที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

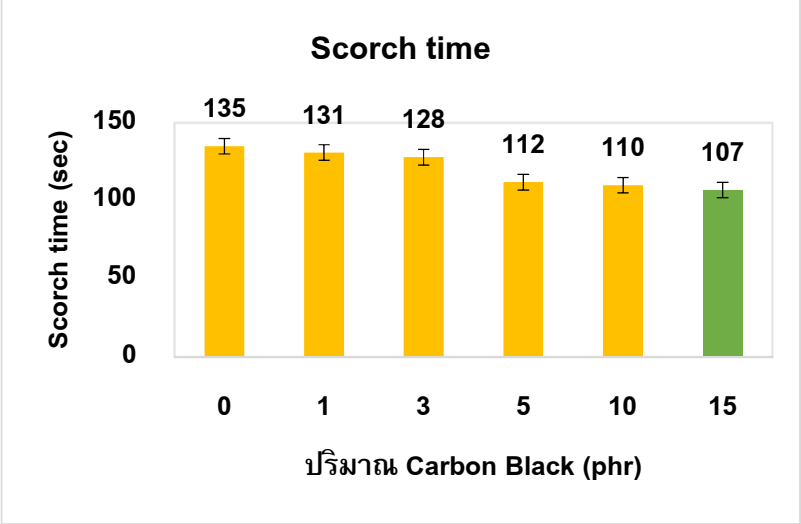
ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)				
STR5L	100				
Stearic Acid	2				
ZnO	3				
Carbon Black	1	3	5	10	15
TMTD	1				
TBBS	0.5				
Sulfur	1				

ระยะเวลายางเริ่มคงรูป (Scorch time)

ระยะเวลาที่ยางเริ่มจะเกิดการคงรูป หรือระยะเวลาที่ยางสามารถไหลได้ในขณะผลิตก่อนเกิดการคงรูป สามารถวัดได้โดย เครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	Scorch time (sec)
Carbon Black	0	135
	1	131
	3	128
	5	112
	10	110
	15	107



รูปที่ 4.17 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค

จากตารางที่ 4.8 และ รูปที่ 4.17 พบว่าเวลายางเริ่มคงรูปของยางธรรมชาติที่มีการเติมคาร์บอนแบล็ค จากการทดลองพบว่าเวลายางเริ่มคงรูปจะลดลงตามปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็คในค่าที่ไม่ห่างกันมาก การเติมที่ปริมารสารที่เพิ่มมากขึ้นเวลายางเริ่มคงรูปยิ่งลดลง

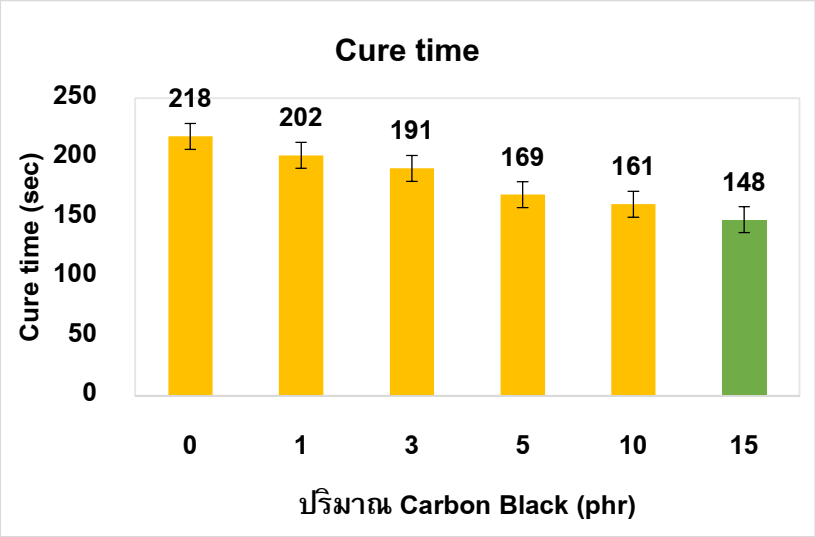
ระยะเวลาในการคงรูป (Cure time)

ก่อนที่จะนำยางคอมพาวด์ไปทำการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression molding

ยางคอมพาวด์จะถูกนำมาทดสอบหาเวลาในการคงรูปด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	Cure time (sec)
Carbon Black	0	218
	1	202
	3	191
	5	169
	10	161
	15	148



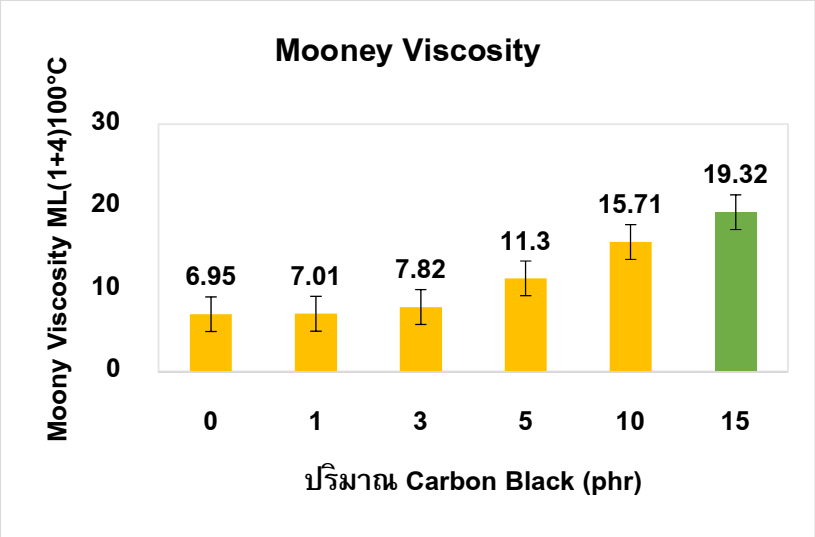
รูปที่ 4.18 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค

จากตารางที่ 4.9 และ รูปที่ 4.18 พบว่าเวลาในการคงรูปของยางธรรมชาติที่มีการเติมคาร์บอนแบล็คจากการทดลองพบว่าเวลาการคงรูปของยางลดลงตามปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็ค ยิ่งการเติมที่ปริมารสารที่เพิ่มมากขึ้นเวลาในการคงรูปของยางยิ่งลดลง

ความหนืด (Mooney Viscosity)

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	ค่าความหนืด ML(1+4)100°C
Carbon Black	0	6.95
	1	7.01
	3	7.82
	5	11.30
	10	15.71
	15	19.32



รูปที่ 4.19 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค

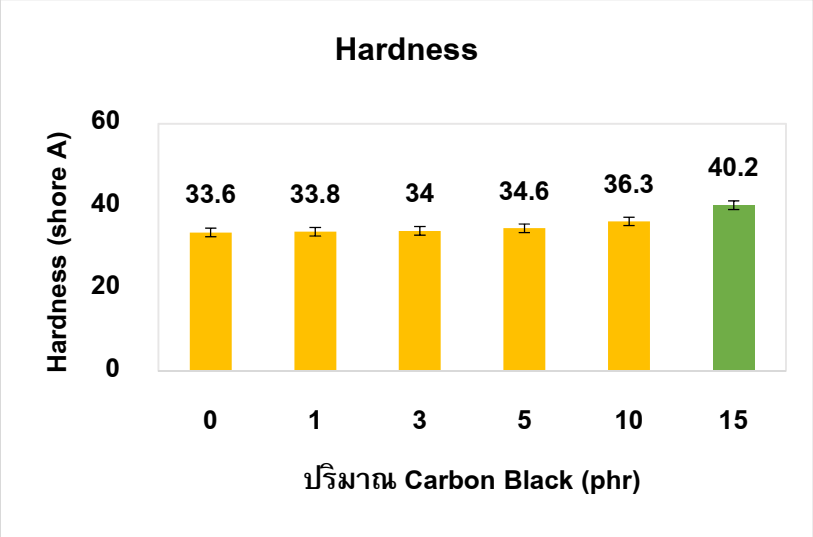
จากตารางที่ 4.10 และ รูปที่ 4.19 พบว่าความหนืดของยางธรรมชาติที่มีการเติมคาร์บอนแบล็คที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดนั้นเพิ่มขึ้น ตามปริมาณคาร์บอนแบล็คที่เพิ่มขึ้น

การทดสอบความแข็งของยาง (Hardness)

วัดได้จากการนำยางที่ผ่านการขึ้นรูป ไปทำการทดสอบความแข็งของยาง โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง Durometer (Shore A) แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	Hardness (shore A)
Carbon Black	0	33.6
	1	33.8
	3	34.0
	5	34.6
	10	36.3
	15	40.2



รูปที่ 4.20 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็ค

จากตารางที่ 4.11 และ รูปที่ 4.20 พบว่าความแข็งของยางธรรมชาติที่มีการเติมคาร์บอนแบล็คจะมีค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณที่ทำการเติมคาร์บอนแบล็ค เมื่อเติมที่คาร์บอนแบล็คที่ปริมาณ 15 phr ความแข็งจะอยู่ที่ประมาณ 40 ซึ่งอยู่ในช่วงความแข็งที่ต้องการ

4.5 แนวทางที่ 3 ปรับความแข็งให้อยู่ในช่วง 25-27 Shore A และ 10-12 Shore A โดยใช้ Plasticizer

4.3.3 ศึกษาสมบัติของพลาสติไซเซอร์ที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

ตารางที่ 4.12 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของพลาสติไซเซอร์ที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

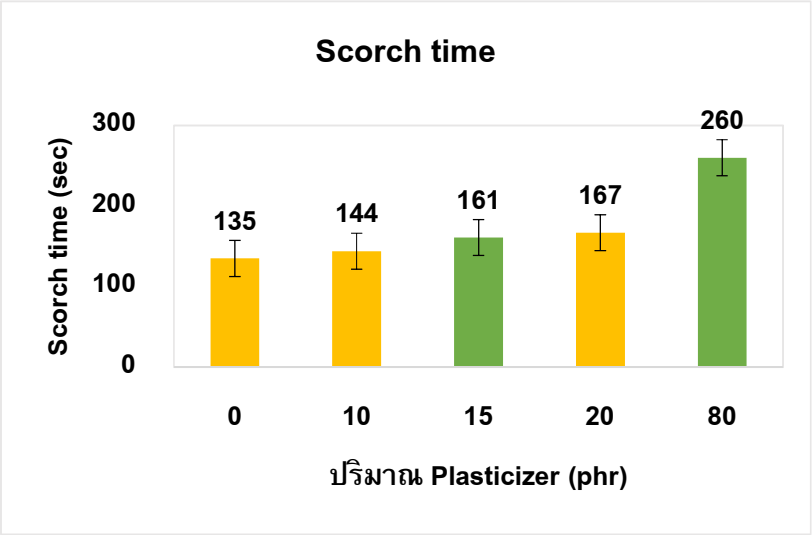
ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)			
STR 5L	100			
Stearic Acid	2			
ZnO	3			
TMTD	1			
TBBS	0.5			
Sulfur	1			
Plasticizer	5	10	15	80

ระยะเวลายางเริ่มคงรูป (Scorch time)

ระยะเวลาที่ยางเริ่มจะเกิดการคงรูป หรือระยะเวลาที่ยางสามารถไหลได้ในขณะผลิตก่อนเกิดการคงรูป สามารถวัดได้โดย เครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) แสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	Scorch time (sec)
Plasticizer	0	135
	10	144
	15	161
	20	167
	80	260



รูปที่ 4.21 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์

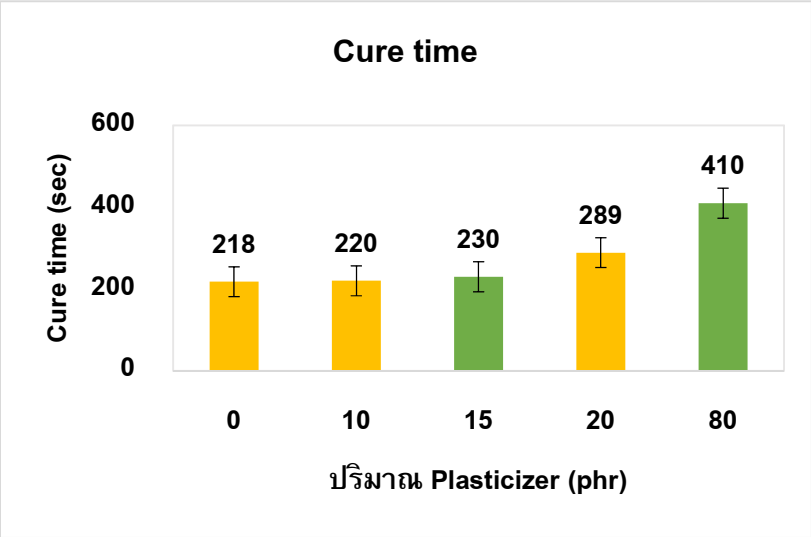
จากตารางที่ 4.13 และ รูปที่ 4.21 พบว่าเวลายางเริ่มคงรูปของยางธรรมชาติที่มีการเติมพลาสติไซเซอร์จากการทดลองพบว่าเวลายางเริ่มคงรูปเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมพลาสติไซเซอร์ การเติมที่ปริมารสารที่เพิ่มมากขึ้นเวลายางเริ่มคงรูปยิ่งเพิ่มขึ้น

ระยะเวลาในการคงรูป (Cure time)

ก่อนที่จะนำยางคอมพาวด์ไปทำการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression molding ยางคอมพาวด์จะถูกนำมาทดสอบหาเวลาในการคงรูปด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) แสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	Cure time (sec)
Plasticizer	0	218
	10	220
	15	230
	20	289
	80	410



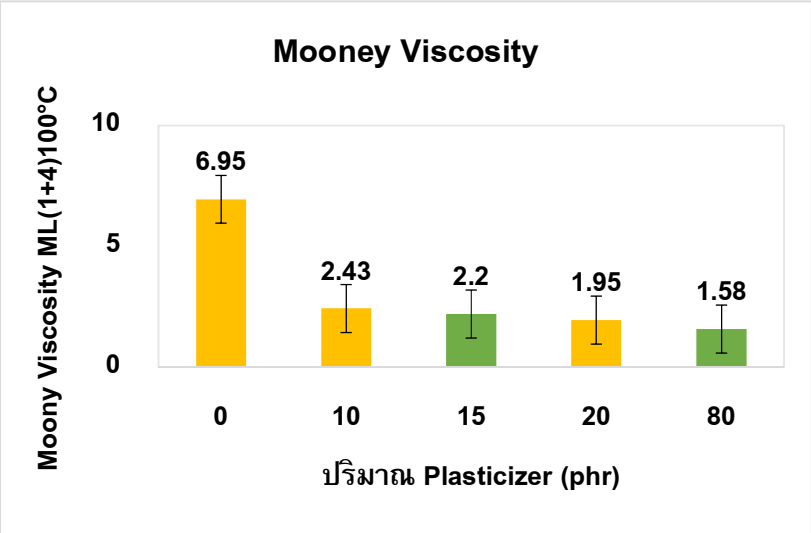
รูปที่ 4.22 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์

จากตารางที่ 4.14 และ รูปที่ 4.22 พบว่าเวลาในการคงรูปของยางธรรมชาติที่มีการเติมพลาสติไซเซอร์ จากการทดลองพบว่าเวลาการคงรูปของยางเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมพลาสติไซเซอร์ยิ่งการเติมที่ปริมารสารที่เพิ่มมากขึ้นเวลาในการคงรูปของยางยิ่งเพิ่มขึ้น

ความหนืด (Mooney Viscosity)

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	ค่าความหนืด ML(1+4)100°C
Plasticizer	0	6.95
	10	2.43
	15	2.20
	20	1.95
	80	1.58



รูปที่ 4.23 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์

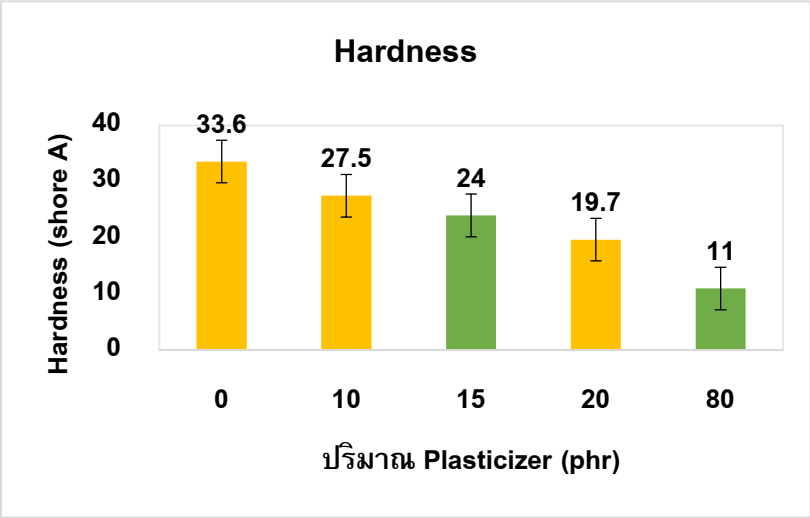
จากตารางที่ 4.15 และ รูปที่ 4.23 พบว่าความหนืดของยางธรรมชาติที่มีการเติมพลาสติไซเซอร์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดนั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด จะเห็นได้ว่ายิ่งมีการเติมพลาสติไซเซอร์มากขึ้นจะทำให้ค่าความหนืดของยางนั้นลดลง เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมพลาสติไซเซอร์

การทดสอบความแข็งของยาง (Hardness)

วัดได้จากการนำยางที่ผ่านการขึ้นรูป ไปทำการทดสอบความแข็งของยาง โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง Durometer (Shore A) แสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	Hardness (shore A)
Plasticizer	0	33.6
	10	27.5
	15	24.0
	20	19.7
	80	11.0



รูปที่ 4.24 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมพลาสติไซเซอร์

จากตารางที่ 4.16 และ รูปที่ 4.24 พบว่าความแข็งของยางธรรมชาติที่มีการเติมพลาสติไซเซอร์จะมีค่าความแข็งที่ลดลงตามปริมาณที่ทำการเติมพลาสติไซเซอร์ เมื่อเติมพลาสติไซเซอร์ที่ปริมาณ 15 phr ความแข็งจะอยู่ที่ประมาณ 24 ซึ่งอยู่ในช่วงความแข็งที่ต้องการ

4.6 แนวทางที่ 4 ปรับความแข็งให้อยู่ในช่วง 25-27 Shore A โดยใช้ Peptizer

4.3.4 ศึกษาสมบัติของสารเคมีย่อยยางที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

ตารางที่ 4.17 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองยางคอมพาวด์ เพื่อศึกษาสมบัติของสารเคมีย่อยยางที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

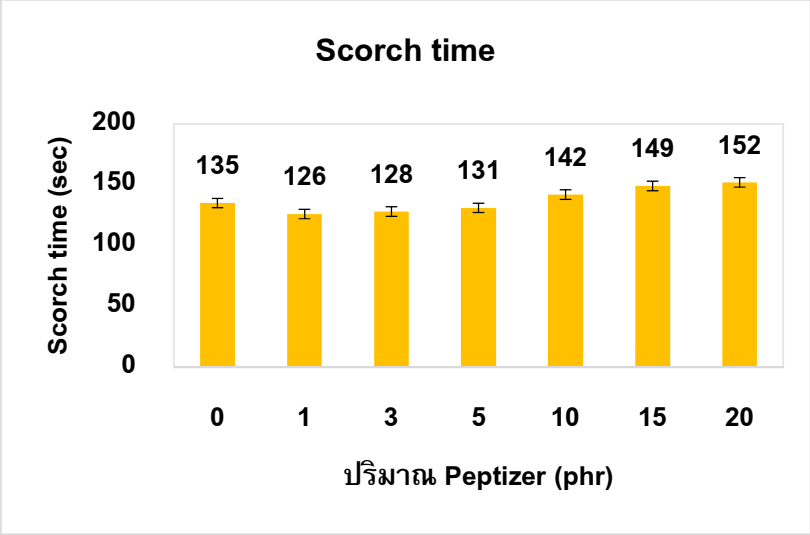
ยางและสารเคมี	ปริมาณ(phr)					
STR5L	100					
Peptizer	1	3	5	10	15	20
Stearic Acid	2					
ZnO	3					
TMTD	1					
TBBS	0.5					
Sulfur	1					

ระยะเวลายางเริ่มคงรูป (Scorch time)

ระยะเวลาที่ยางเริ่มจะเกิดการคงรูป หรือระยะเวลาที่ยางสามารถไหลได้ในขณะผลิตก่อนเกิดการคงรูป สามารถวัดได้โดย เครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) แสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	Scorch time (sec)
Peptizer	0	135
	1	126
	3	128
	5	131
	10	142
	15	149
	20	152



รูปที่ 4.25 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง

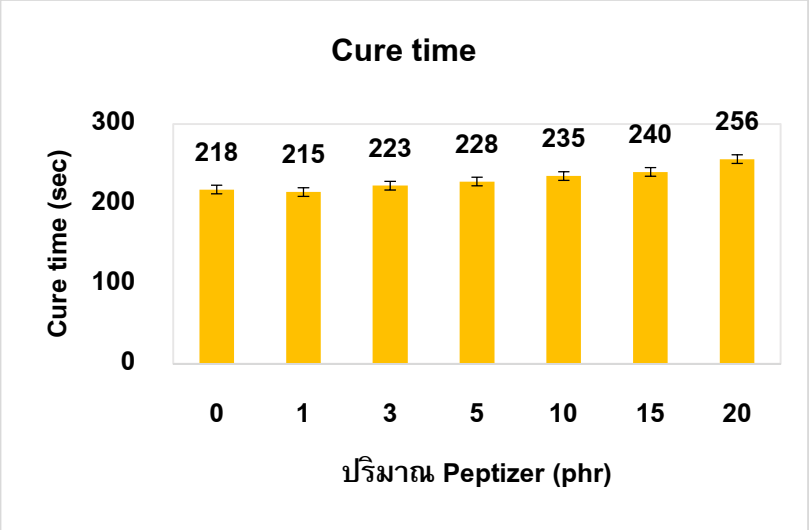
จากตารางที่ 4.18 และ รูปที่ 4.25 พบว่าเวลายางเริ่มคงรูปของยางธรรมชาติที่มีการเติมสารเคมีย่อยยาง จากการทดลองพบว่าเวลายางเริ่มคงรูปจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมสารเคมีย่อยยางในค่าที่ไม่ห่างกันมาก การเติมที่ปริมารสารที่เพิ่มมากขึ้นเวลายางเริ่มคงรูปยิ่งเพิ่มขึ้น

ระยะเวลาในการคงรูป (Cure time)

ก่อนที่จะนำยางคอมพาวด์ไปทำการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression molding ยางคอมพาวด์จะถูกนำมาทดสอบหาเวลาในการคงรูปด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) แสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	Cure time (sec)
Peptizer	0	218
	1	215
	3	223
	5	228
	10	235
	15	240
	20	256



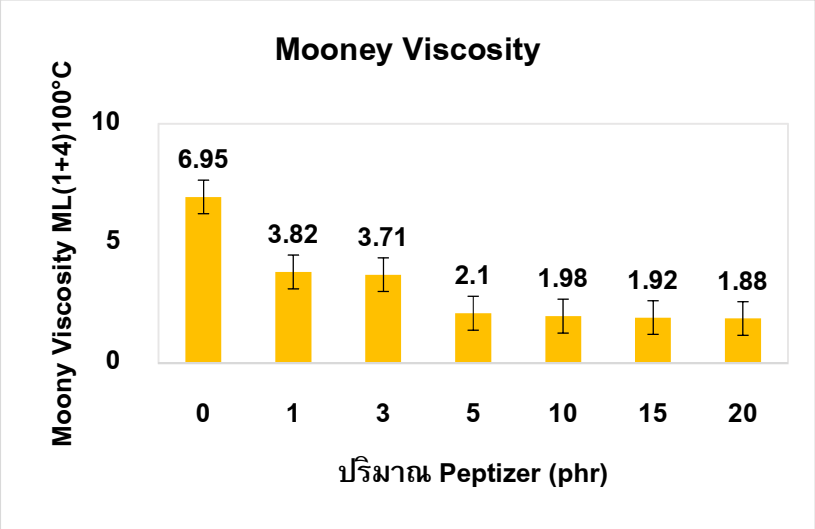
รูปที่ 4.26 แสดงค่าระยะเวลาในการคงรูป ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง

จากตารางที่ 4.19 และ รูปที่ 4.26 พบว่าเวลาในการคงรูปของยางธรรมชาติที่มีการเติมสารเคมีย่อยยาง จากการทดลองพบว่าเวลาการคงรูปของยางเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมสารเคมีย่อยยางยิ่งการเติมที่ปริมารสารที่เพิ่มมากขึ้นเวลาในการคงรูปของยางยิ่งเพิ่มขึ้น

ความหนืด (Mooney Viscosity)

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	ค่าความหนืด ML(1+4)100°C
Peptizer	0	6.95
	1	3.82
	3	3.71
	5	2.10
	10	1.98
	15	1.92
	20	1.88



รูปที่ 4.27 แสดงค่าความหนืด ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง

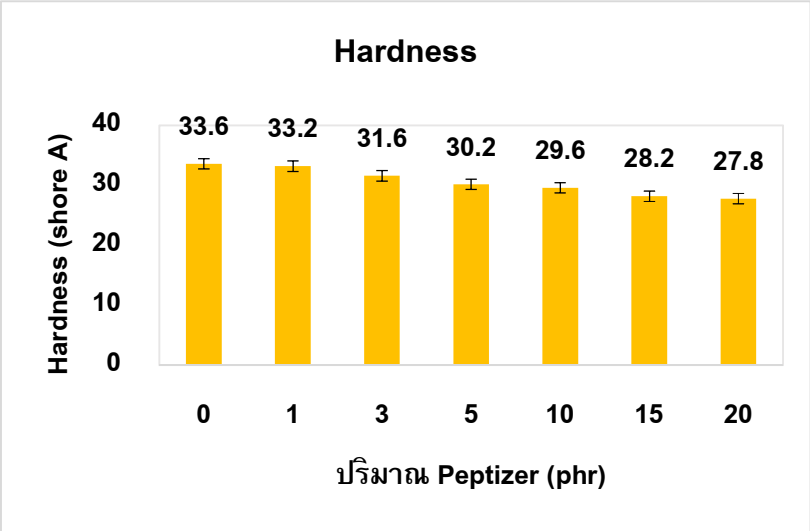
จากตารางที่ 4.20 และ รูปที่ 4.27 พบว่าความหนืดของยางธรรมชาติที่มีการสารเคมีย่อยยางที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดนั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด จะเห็นได้ว่ายิ่งมีการสารเคมีย่อยยางมากขึ้นจะทำให้ค่าความหนืดของยางนั้นลดลง เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติที่สารเคมีย่อยยาง

การทดสอบความแข็งของยาง (Hardness)

วัดได้จากการนำยางที่ผ่านการขึ้นรูป ไปทำการทดสอบความแข็งของยาง โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง Durometer (Shore A) แสดงดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)	Hardness (shore A)
Peptizer	0	33.6
	1	33.2
	3	31.6
	5	30.2
	10	29.6
	15	28.2
	20	27.8



รูปที่ 4.28 แสดงค่าความแข็ง ของยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีย่อยยาง

จากตารางที่ 4.21 และ รูปที่ 4.28 พบว่าความแข็งของยางธรรมชาติที่มีการเติมสารเคมีย่อยยางจะมีค่าความแข็งที่ลดลงตามปริมาณที่ทำการเติมสารเคมีย่อยยาง ถ้าเติมในปริมาณที่มากขึ้นเรื่อยๆความแข็งนั้นก็จะอยู่ในช่วงที่ต้องการ แต่สังเกตได้ว่าในการเติมในปริมาณที่ต่างกันความแข็งที่ได้ไม่ต่างกันมากอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นจึงไม่ได้นำสูตรยางนี้มาใช้ในการทดลองผลิตแผ่นรองเท้า

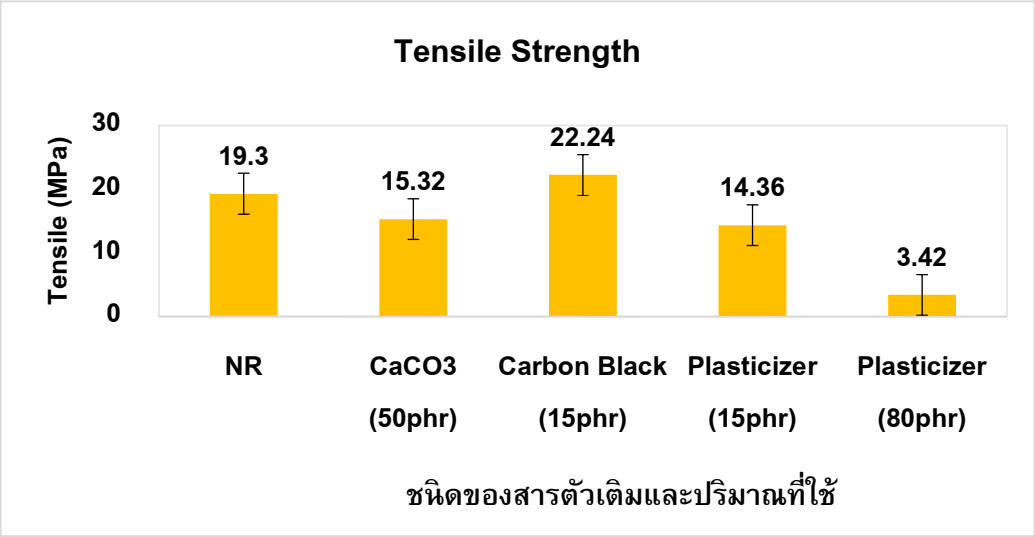
จากการพัฒนาสูตรยาง จะนำสูตรยางที่มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 25-27 Shore A ที่ทำการเติม Platicsizer 15 phr , ช่วง 10-12 Shore A ที่ทำการเติม Platicsizer 80 phr และช่วง 40-42 Shore A ที่ทำการเติม Carbon Black 15 phr , $CaCO_3$ 50 phr มาใช้ในการทำแผ่นรองเท้าเพื่อสุขภาพ โดยในส่วนของสูตรยางที่ทำให้ยางมีความแข็งในช่วงของ 10-12 Shore A และช่วง 25-25 Shore A จะใช้ในการขึ้นรูปเป็นตัวแผ่นรองเท้าหลัก และในส่วนของสูตรยางที่ทำให้ยางมีความแข็งในช่วง 40-42 Shore A จะใช้ในการขึ้นรูปเป็นตัวรับแรงกดบริเวณฝ่าเท้า และส้นเท้า

ตอนที่ 3.2 การทดสอบแรงดึง (Tensile strength)

การทดลองการทนต่อแรงดึงและระยะยืดตัว ณ จุดขาดของยางธรรมชาติที่เติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าการเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆในยางธรรมชาติ มีผลทำให้ค่าการทนต่อแรงดึง และระยะการยืดตัว ณ จุดขาดของยางธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลง

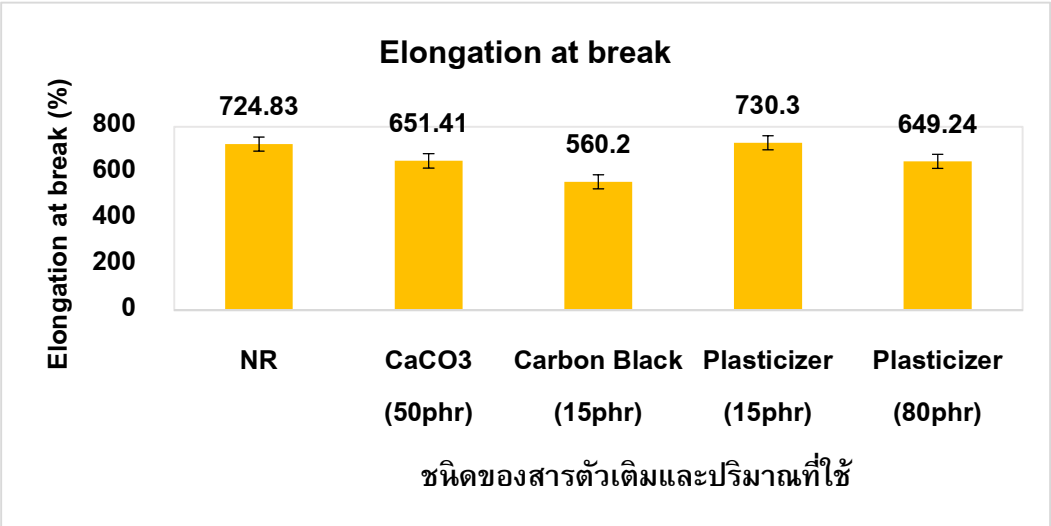
ตารางที่ 4.22 แสดงค่าแรงดึง Tensile (MPa) ของยางธรรมชาติ ที่เติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ

สารเคมี	ปริมาณสารเติมแต่ง (phr)	Tensile (MPa)	Elongation at break (%)	100% modulus (MPa)
NR	0	19.30	724.83	8.04
$CaCO_3$	50	15.32	651.41	10.95
Carbon Black	15	22.24	560.20	22.5
Plasticizer	15	14.36	730.30	9.38
Plasticizer	80	3.42	649.24	1.48



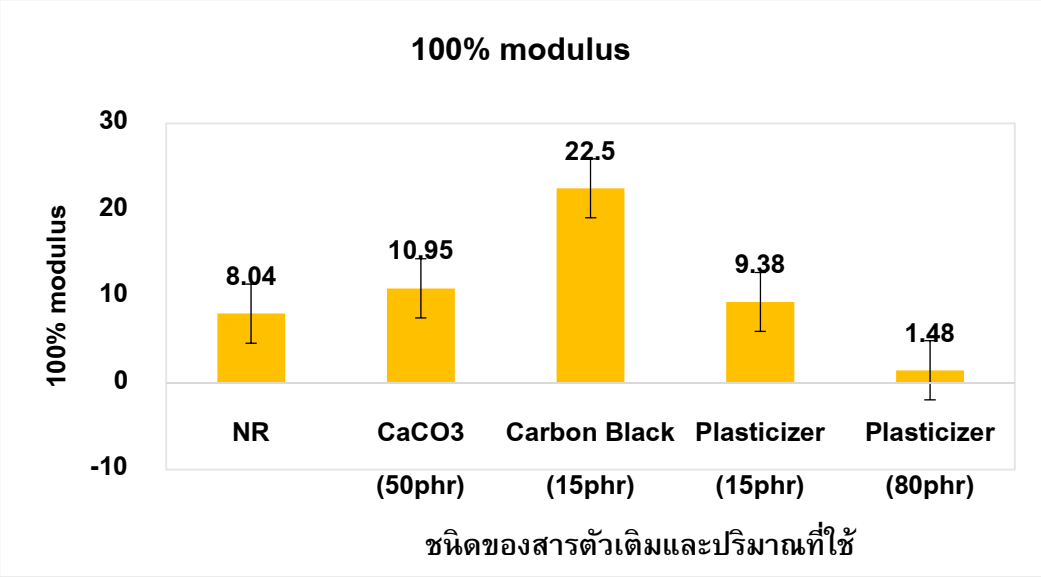
รูปที่ 4.29 แสดงค่าแรงดึง Tensile (MPa) ของยางธรรมชาติ ที่เติมสารตัวเติมชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.29 จะเห็นได้ว่าสารตัวเติม Carbon Black 15 phr จะมีค่าทนต่อแรงดึงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก Carbon Black เป็นสารเสริมแรงที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นและเพิ่มความแข็งของยางแต่ในการเติม $CaCO_3$ 50 phr จะมีค่าทนต่อแรงดึงที่ลดลง เพราะว่าสารชนิดนี้เป็นสารกึ่งเสริมแรงถ้าเติมในปริมาณมากๆจะช่วยเรื่องของการเพิ่มเนื้อและความแข็ง ในส่วนของการเติม Plasticizer ลงไปนั้นในปริมาณมากๆจะทำให้การทนต่อแรงดึงยิ่งลดลง เนื่องจากสารชนิดนี้จะช่วยในเรื่องของการขยับตัวของสายโซ่ได้ง่ายขึ้น ทำให้ใช้แรงที่ดึงนั้นน้อยเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติที่ไม่เติมสารตัวเติม



รูปที่ 4.30 แสดงค่า Elongation at break (%) ของยางธรรมชาติ ที่เติมสารตัวเติมชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.30 จะเห็นได้ว่าค่าการยืดตัว ณ จุดขาด Elongation at break(%) ในการเติมสารเสริมแรง Carbon Black (15phr) จะทำให้ค่าการยืดตัวของยางนั้นลดลงอย่างชัดและในการเติม $CaCO_3$ 50 phr และ Plasticizer 80 phr นั้นจะมีค่าการยืดตัวที่ลดลงเช่นกันแต่ลดลงไม่มาก ส่วนในการเติม Plasticizer 15 phr หรือในปริมาณที่น้อยจะไม่ส่งผลต่อค่าการยืดตัวหรือส่งผลเล็กน้อยเพียงเท่านั้นเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติที่ไม่เติมสารตัวเติม



รูปที่ 4.31 แสดงค่า 100 % modulus ของยางธรรมชาติ ที่เติมสารตัวเติมชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.31 จะเห็นได้ว่าค่า 100 % modulus ที่ใช้แรงที่มากขึ้นคือการเติม $CaCO_3$ และ Carbon Black เนื่องจากสารทั้งสองตัวนี้จะมีผลให้ยางนั้นมีความแข็งที่เพิ่มขึ้นการใช้แรงในการดึงที่ 100% ก็จะใช้มากขึ้นเมื่อความแข็งของยางเท่ากันจะเห็นได้ว่าสารเติมตัวที่เติม Carbon Blackนั้นจะเห็นค่าที่เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเพราะว่าสารชนิดนี้เป็นสารเสริมแรง และในส่วนของการเติม Plasticizer นั้นในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ยางนั้นนิ่มขึ้น ทำให้การดึงนั้นขาดง่ายอันเนื่องมาจากในการเติม Plasticizer นั้นจะทำให้สายโซ่ของยางขยับง่ายทำให้ยืดตัวได้ดีแต่ใช้แรงที่น้อย

ตอนที่ 4 ทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า

4.7 ทดสอบแรงกดใต้ฝ่าด้วยยางที่ขึ้นรูปเป็นแผ่นรองเท้า

จากการนำยางธรรมชาติ ที่เติมสารเคมีต่างๆตามสูตรยางที่ออกแบบไว้ ทำการทดสอบหาค่าความแข็ง จะได้สูตรยางที่เติมสารเคมีที่ได้ความแข็งตามที่ต้องการ เพื่อที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นรองเท้า ดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ยางธรรมชาติที่เติมสารตัวเติมชนิดต่างๆ ที่นำมาใช้ขึ้นรูปแผ่นรองเท้า

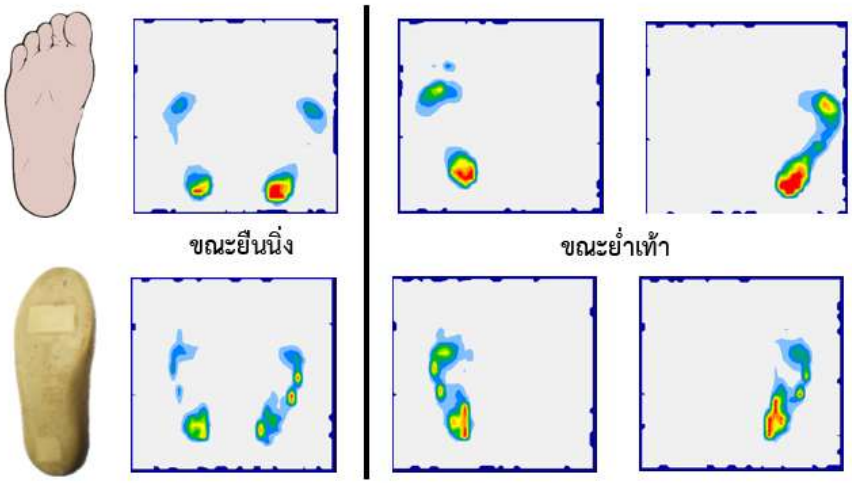
สารเคมี	ปริมาณ(phr)	
NR	0	
$CaCO_3$	50	
Carbon Black	15	
Plasticizer	15	80

4.7.1 แผ่นรองเท้าที่ 1

ในส่วนของแผ่นรองเท้าที่ 1 จะประกอบด้วยยางธรรมชาติที่แข็งทั้งหมดของแผ่นรองเท้าโดยเติม $CaCO_3$ 50 phr ลักษณะของแผ่นรองเท้าแสดงดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 1



รูปที่ 4.33 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 1

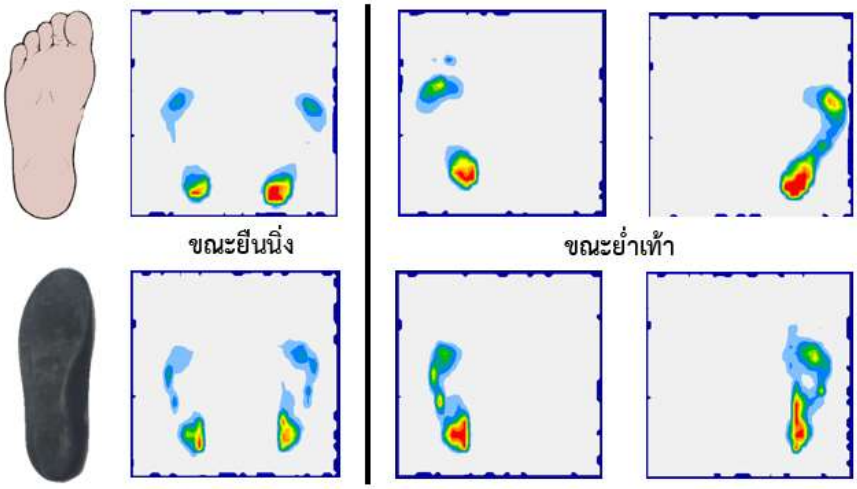
จากรูปที่ 4.33 แรงกดที่ได้จากแผ่นรองเท้าที่เติมสารตัวเติม $CaCO_3$ 50 phr เมื่อเรานำมาเปรียบเทียบกับแรงกดใต้ฝ่าเท้าระหว่างเท้าเปล่า กับ แผ่นรองเท้าที่ 1 นี้ จะเห็นได้ว่าเท้าเปล่านั้นจะมีแรงกดที่มีค่าที่มากตรงส้นเท้าในระหว่างยืนและเคลื่อนที่ ส่วนแผ่นรองเท้าที่ 1 แรงกดใต้ฝ่าเท้าจะมีค่าทีน้อยลงในขณะยืนและเคลื่อนที่ สามารถลดแรงกดใต้ฝ่าเท้าขณะยืนและเคลื่อนที่ได้ แต่แผ่นรองเท้าที่ 1 นี้เนื่องจากมีค่าความแข็งทำให้ไม่มีความสบายขณะใช้งาน และ มีอาการปวดบริเวณส้นเท้าขณะยืนและเคลื่อนที่เวลานานๆ

4.7.2 แผ่นรองเท้าที่ 2

ในส่วนของแผ่นรองเท้าที่ 2 จะประกอบด้วยยางธรรมชาติที่แข็งทั้งหมดของแผ่นรองเท้าโดยเติม Carbon Black 15 phr ลักษณะของแผ่นรองเท้าแสดงดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 2



รูปที่ 4.35 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 2

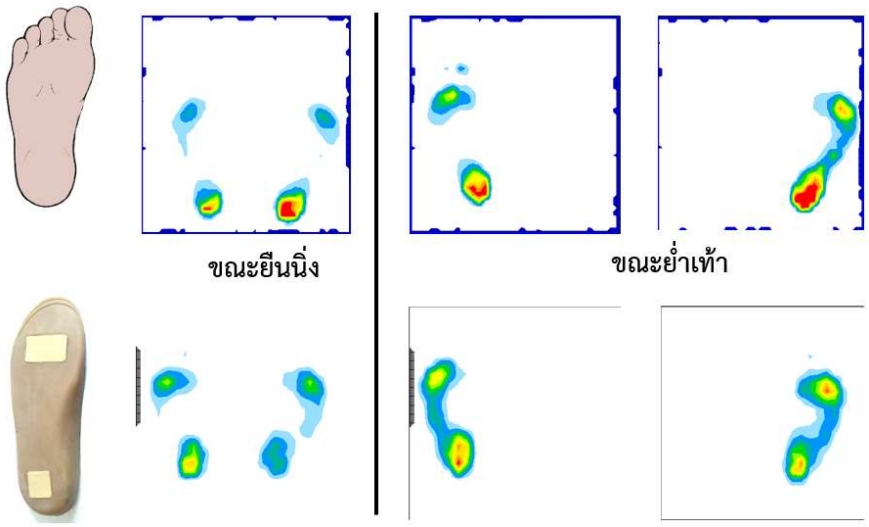
จากรูปที่ 4.35 แรงกดที่ได้จากแผ่นรองเท้าที่เติมสารตัวเติม Carbon Black 15 phr เมื่อเรานำมาเปรียบเทียบกับแรงกดใต้ฝ่าเท้าระหว่างเท้าเปล่า กับ แผ่นรองเท้าที่ 2 นี้ จะเห็นได้ว่าเท้าเปล่านั้นจะมีแรงกดที่มีค่าที่มากตรงส้นเท้าในระหว่างยืนและเคลื่อนที่ ส่วนแผ่นรองเท้าที่ 2 แรงกดใต้ฝ่าเท้าจะมีค่าทีน้อยลงในขณะยืนและในขณะเคลื่อนที่นั้นจะเห็นได้ว่ามีค่าแรงกดใต้ฝ่าเท้าที่มีค่าที่ลดลงเพียงลดน้อยเมื่อเราเทียบกับเท้าเปล่า แผ่นรองเท้าที่ 2 นี้เนื่องจากมีค่าความแข็งทำให้ไม่มีความสบายขณะใช้งาน และ มีอาการปวดบริเวณส้นเท้าขณะยืนและเคลื่อนที่เวลานานๆ

4.7.3 แผ่นรองเท้าที่ 3

ในส่วนของแผ่นรองเท้าที่ 3 นั้นจะประกอบด้วยยางธรรมชาติอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือส่วนที่ใช้ยางที่แข็งโดยเติม $CaCO_3$ 50 phr และอีกส่วนใช้ยางที่นิ่มโดยเติม Plasticizer 15 phr ลักษณะของแผ่นรองเท้าแสดงดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 3



รูปที่ 4.37 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 3

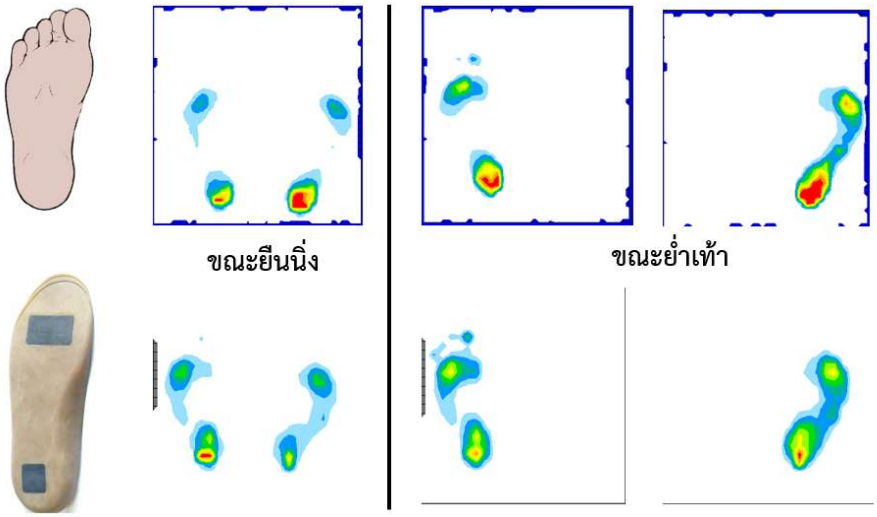
จากรูปที่ 4.36 แผ่นรองเท้าที่ 3 นี้จะมียางทั้ง 2 ส่วนด้วยกันคือส่วนที่นิ่มอยู่ด้านบนเป็นตัวทำให้เกิดความสบายระหว่างการใช้งาน และอีกส่วนจะอยู่ด้านล่างตรงส้นเท้าและปลายเท้าระหว่างนิ้วเท้า จากรูปที่ 4.37 แรงกดที่ได้จากแผ่นรองเท้าที่เติมสารตัวเติม Plasticizer 15 phr และ $CaCO_3$ 50 phr เมื่อเรานำมาเปรียบเทียบกับแรงกดใต้ฝ่าเท้าระหว่างเท้าเปล่า กับ แผ่นรองเท้าที่ 3 นี้ จะเห็นได้ว่าเท้าเปล่านั้นจะมีแรงกดที่มีค่าที่มากตรงส้นเท้าในระหว่างยืนและเคลื่อนที่ ส่วนแผ่นรองเท้าที่ 3 แรงกดใต้ฝ่าเท้าจะมีค่าทีน้อยลงในขณะยืนและในขณะเคลื่อนที่นั้นจะเห็นได้ว่ามีค่าแรงกดใต้ฝ่าเท้าที่มีค่าที่ลดลงเพียงลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเราเทียบกับเท้าเปล่า แต่แผ่นรองเท้าที่ 3 ตรงส้นเท้านั้นยางที่ใช้ด้านบนยังมีความนิ่มที่ไม่เพียงพอ รวมกับส่วนด้านล่างที่มีความแข็งที่มาก ทำให้อาการปวดตรงส้นเท้าระหว่างการใช้งานเป็นเวลานานๆ และยังไม่มีความบายขณะใช้งาน

4.7.4 แผ่นรองเท้าที่ 4

ในส่วนของแผ่นรองเท้าที่ 4 นั้นจะประกอบด้วยยางธรรมชาติอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือส่วนที่ใช้ยางที่แข็งโดยเติม Carbon Black 15 phr และอีกส่วนใช้ยางที่นิ่มโดยเติม Plasticizer 15 phr ลักษณะของแผ่นรองเท้าแสดงดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 4



รูปที่ 4.39 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 4

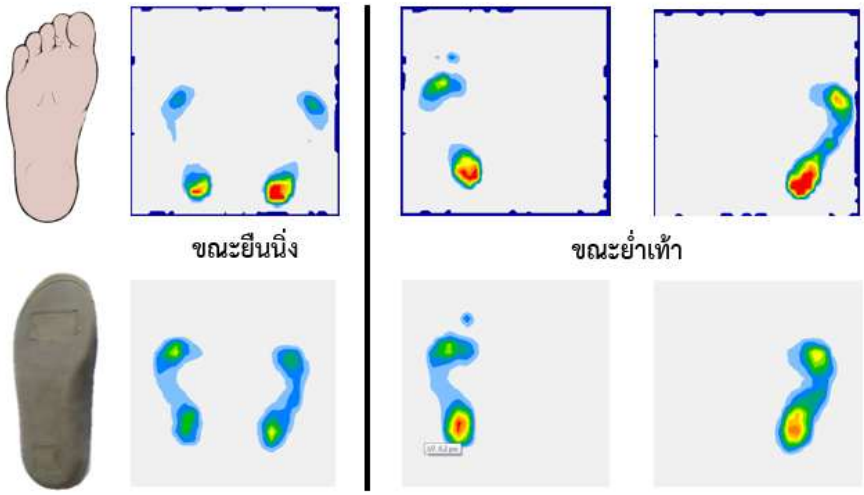
จากรูปที่ 4.38 แผ่นรองเท้าที่ 4 นี้จะมียางทั้ง 2 ส่วนด้วยกันคือส่วนที่นิ่มอยู่ด้านบนเป็นตัวทำให้เกิดความสบายระหว่างการใช้งาน และอีกส่วนจะอยู่ด้านล่างตรงส้นเท้าและปลายเท้าระหว่างนิ้วเท้า จากรูปที่ 4.39 แรงกดที่ได้จากแผ่นรองเท้าที่เติมสารตัวเติม Plasticizer 15 phr และ Carbon Black 15 phr เมื่อเรานำมาเปรียบเทียบกับแรงกดใต้ฝ่าเท้าระหว่างเท้าเปล่า กับ แผ่นรองเท้าที่ 4 นี้ จะเห็นได้ว่าเท้าเปล่านั้นจะมีแรงกดที่มีค่าที่มากตรงส้นเท้าในระหว่างยืนและเคลื่อนที่ ส่วนแผ่นรองเท้าที่ 4 แรงกดใต้ฝ่าเท้าจะมีค่าทีน้อยลงในขณะยืนและในขณะเคลื่อนที่นั้นจะเห็นได้ว่ามีค่าแรงกดใต้ฝ่าเท้าที่มีค่าที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเราเทียบกับเท้าเปล่า แต่แผ่นรองเท้าที่ 4 ตรงส้นเท้านั้น ยางที่ใช้ด้านบนยังมีความนิ่มที่ไม่เพียงพอ รวมกับส่วนด้านล่างที่มีความแข็งที่มาก ทำให้อาการปวดตรงส้นเท้าระหว่างการใช้งานเป็นเวลานานๆ และยังไม่มีความบายขณะใช้งาน

4.7.5 แผ่นรองเท้าที่ 5

ในส่วนของแผ่นรองเท้าที่ 5 จะประกอบด้วยยางธรรมชาติที่นิ่มทั้งหมดของแผ่นรองเท้าโดยเติม Plasticizer 80 phr ลักษณะของแผ่นรองเท้าแสดงดังรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 5



รูปที่ 4.41 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 5

จากรูปที่ 4.40 แผ่นรองเท้าที่ 5 ที่ทำการเติมสารตัวเติม Plasticizer 80 phr ให้พื้นรองเท้านั้นมีความนิ่มเพิ่มมากขึ้น เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาจากแผ่นรองเท้าที่มีความแข็งใส่แล้วเกิดการเจ็บ ไม่สบายของเท้าขณะเคลื่อนที่ จากรูปที่ 4.41 การทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 5 จะเห็นได้ว่าในขณะที่ยืนอยู่กับที่จะได้รับแรงกดที่น้อยเมื่อเทียบกับเท้าเปล่า ส่วนในขณะเคลื่อนที่จะเห็นได้ว่ามีการรับแรงกดที่เพิ่มมากขึ้นกว่าตอนอยู่กับที่ มีการรับแรงที่น้อยเนื่องมาจากยางมีความนิ่มแต่ถ้าเทียบกับเท้าเปล่านั้น แรงกดใต้ฝ่าเท้าของแผ่นรองเท้าที่ 5 จะมีค่าที่น้อยกว่าเท้าเปล่ามีการลดแรงกดอย่างเห็นได้ชัดในขณะยืนอยู่กับที่และเคลื่อนที่ และ แผ่นรองเท้าที่ 5 นี้ มีความนิ่มสบายขณะใช้งาน ไม่มีอาการเจ็บปวดบริเวณส้นเท้าหรือมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นขณะใช้งานในเวลานาน

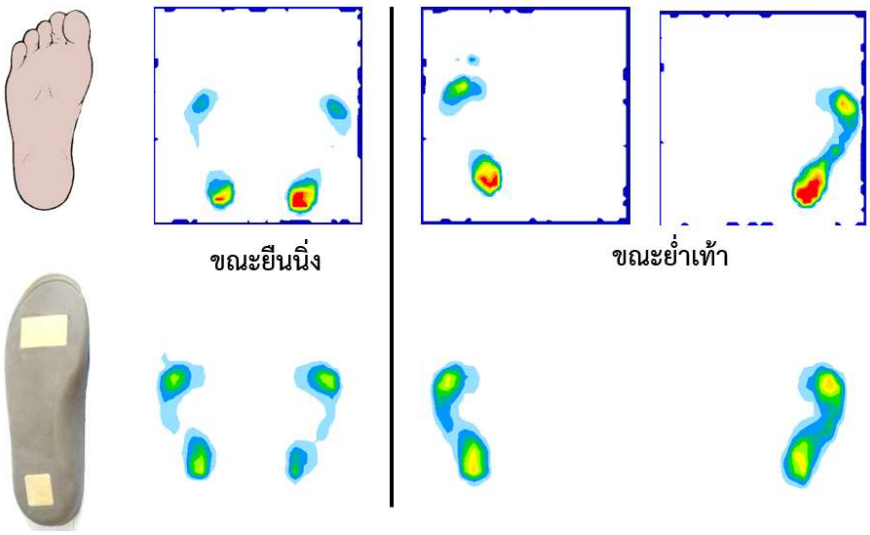
4.7.6 แผ่นรองเท้าที่ 6

ในส่วนของแผ่นรองเท้าที่ 6 นั้นจะประกอบด้วยยางธรรมชาติอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือส่วนที่ใช้

ยางที่แข็งโดยเติม $CaCO_3$ 50 phr และอีกส่วนใช้ยางที่นิ่มโดยเติม Plasticizer 80 phr ลักษณะของแผ่นรองเท้าแสดงดังรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 6



รูปที่ 4.43 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 6

จากรูปที่ 4.42 แผ่นรองเท้าที่ 6 นี้จะมียางทั้ง 2 ส่วนด้วยกันคือส่วนที่นิ่มอยู่ด้านบนเป็นตัวทำให้เกิดความสบายระหว่างการใช้งาน และอีกส่วนจะอยู่ด้านล่างตรงส้นเท้าและปลายเท้าระหว่างนิ้วเท้า แผ่นรองเท้าที่ 6 จะเติมสารตัวเติม Plasticizer 80 phr และ เติม $CaCO_3$ 50 phr โดยการปรับปรุงให้แผ่นรองเท้านั้นมีความที่นิ้มที่เพิ่มขึ้นเพื่อที่จะให้ใส่สบายและลดการเจ็บระหว่างใช้งาน

จากรูปที่ 4.43 เมื่อเรานำมาเปรียบเทียบกับแรงกดใต้ฝ่าเท้าระหว่างเท้าเปล่า กับ แผ่นรองเท้าที่ 6 นี้ จะเห็นได้ว่าเท้าเปล่านั้นจะมีแรงกดที่มีค่าที่มากตรงส้นเท้าในระหว่างยืนและเคลื่อนที่ ส่วนแผ่นรองเท้าที่ 6 แรงกดใต้ฝ่าเท้าจะมีค่าทีน้อยลงในขณะยืนและในขณะเคลื่อนที่นั้นจะเห็นได้ว่ามี

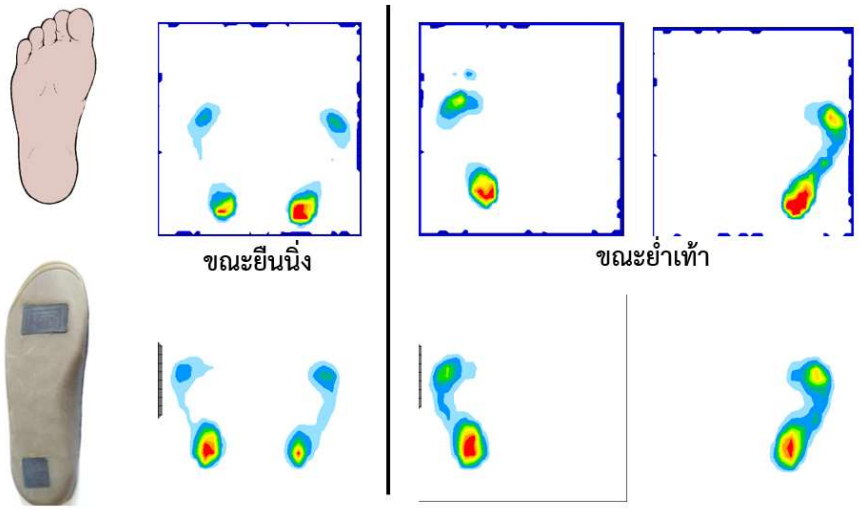
ค่าแรงกดใต้ฝ่าเท้าที่มีค่าที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเราเทียบกับเท้า และแผ่นรองเท้าที่ 6 นี้ มีความนิ่มสบายขณะใช้งาน ไม่มีอาการเจ็บปวดบริเวณส้นเท้าหรือมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นขณะใช้งานในเวลานาน

4.7.7 แผ่นรองเท้าที่ 7

ในส่วนของแผ่นรองเท้าที่ 7 นั้นจะประกอบด้วยยางธรรมชาติอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือส่วนที่ใช้ยางที่แข็งโดยเติม Carbon Black 15 phr และอีกส่วนใช้ยางที่นิ่มโดยเติม Plasticizer 80 phr ลักษณะของแผ่นรองเท้าแสดงดังรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 7



รูปที่ 4.45 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 7

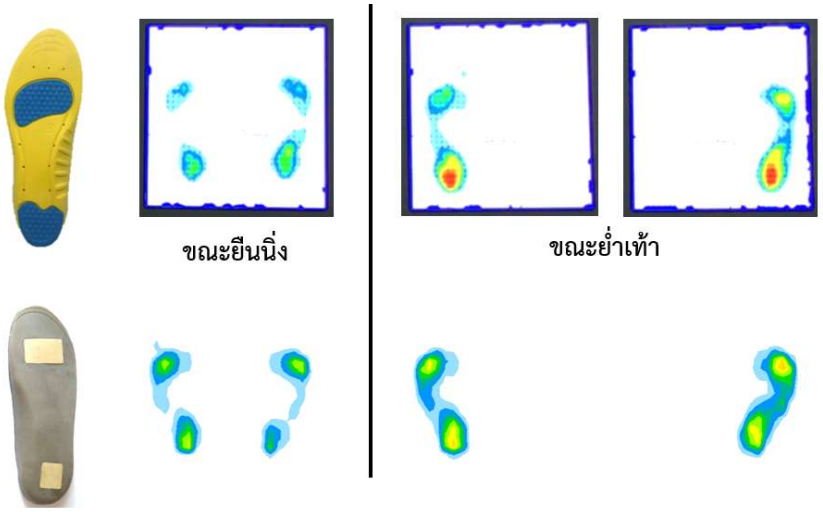
จากรูปที่ 4.44 แผ่นรองเท้าที่ 7 นี้จะมียางทั้ง 2 ส่วนด้วยกันคือส่วนที่นิ่มอยู่ด้านบนเป็นตัวทำให้เกิดความสบายระหว่างการใช้งาน และอีกส่วนจะอยู่ด้านล่างตรงส้นเท้าและปลายเท้าระหว่างนิ้วเท้า แผ่นรองเท้าที่ 7 จะเติมสารตัวเติม Plasticizer 80 phr และ เติม Carbon Black 15 phr

โดยการปรับปรุงให้แผ่นรองเท้านั้นมีความที่นิ่มที่เพิ่มขึ้นเพื่อที่จะให้ใส่สบายและลดการเจ็บระหว่างใช้งาน จากรูปที่ 4.45 เมื่อเรานำมาเปรียบเทียบกับแรงกดใต้ฝ่าเท้าระหว่างเท้าเปล่า กับ แผ่นรองเท้าที่ 7 นี้ จะเห็นได้ว่าเท้าเปล่านั้นจะมีแรงกดที่มีค่าที่มากตรงส้นเท้าในระหว่างยืนและเคลื่อนที่ ส่วนแผ่นรองเท้าที่ 7 แรงกดใต้ฝ่าเท้าในขณะยืนอยู่กับที่ยังมีค่าที่มาก แต่น้อยกว่าเท้าเปล่าส่วนในขณะที่เคลื่อนที่จะเห็นได้ว่าแรงกดใต้ฝ่าเท้านั้นยังมีแรงกดที่มาก หรือลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในขณะที่เทียบกับเท้าเปล่า แต่แผ่นรองเท้าที่ 7 นี้ ยังคงมีความนิ่มสบายที่เพิ่มขึ้นกว่าแผ่นรองเท้าที่เติม Plasticizer 15 phr และลดการเจ็บส้นเท้าในขณะใช้งาน

จากการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ของแผ่นรองเท้าในแต่ละแบบสามารถสรุปได้ว่า แผ่นรองเท้าที่ 3 และ 4 นั้นมีการรับแรงกดใต้ฝ่าเท้าที่ลดลงจากเดิมเมื่อเทียบกับเท้าเปล่า ดังรูปที่ 4.36 และ 4.38 จะเห็นได้ว่ามีแรงกดใต้ฝ่าเท้าที่ลดลง แต่เมื่อมีการใช้งาน และทดสอบ จะเกิดอาการเจ็บบริเวณปุ่มนูนที่ส้นเท้า ทำให้ไม่เกิดความสบายต่อการใช้งาน จึงได้พัฒนาแผ่นรองเท้าให้มีความแข็งที่ลดลง จะได้แผ่นรองเท้าที่ 6 และ 7 จะเป็นแผ่นรองเท้าที่มีความแข็งที่ลดลงจากเดิม จากการทดลองแรงกดใต้ฝ่าเท้านั้นเราจะเห็นได้ว่า แผ่นรองเท้าที่ 6 นั้นสามารถรับแรงกดได้ดีกว่าแผ่นรองเท้าที่ 7 ดังรูปที่ 4.42 และ 4.44 อาการเจ็บในขณะใช้งานก็ลดลง เราจึงได้แผ่นรองเท้าที่มีผลที่ดีที่สุดในโครงการคือแผ่นรองเท้าที่ 6 เพื่อที่จะนำไปทดสอบเปรียบเทียบกับแผ่นรองเท้าที่มีจำหน่ายทั่วไป และประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน

4.8 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้าระหว่างแผ่นรองเท้าที่มีจำหน่ายทั่วไป กับแผ่นรองเท้าที่ 6

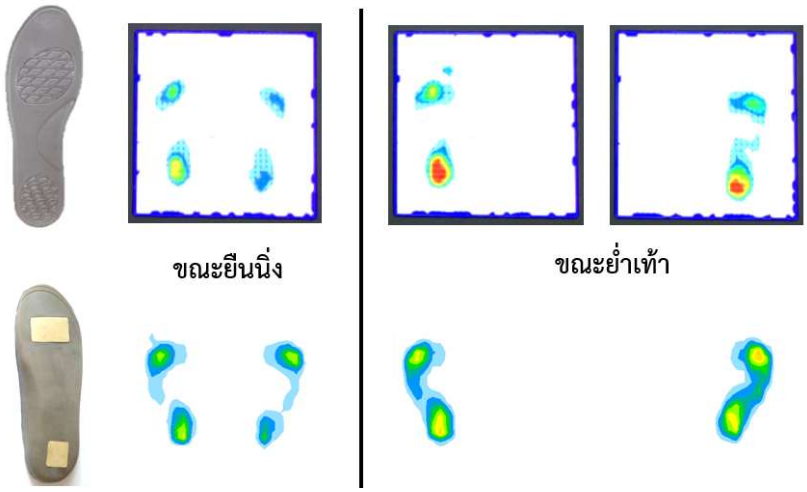
4.8.1 ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 1 กับแผ่นรองเท้าที่ 6



รูปที่ 4.46 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 1 กับแผ่นรองเท้าที่ 6

จากรูปที่ 4.46 เมื่อเปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้าพบว่า ในขณะที่ยืนตรงไม่มีการเคลื่อนไหว น้ำหนักที่กดลงที่ฝ่าเท้าจะมีการกระจายแรงกด แต่เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนไหวจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่า แผ่นรองท้าที่ 6 นั้นมีการลดแรงกดบริเวณส้นเท้าได้ดีกว่าตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 1 และมีส่วนที่ช่วยในการรับแรงบริเวณอุ้งเท้าที่มากกว่า

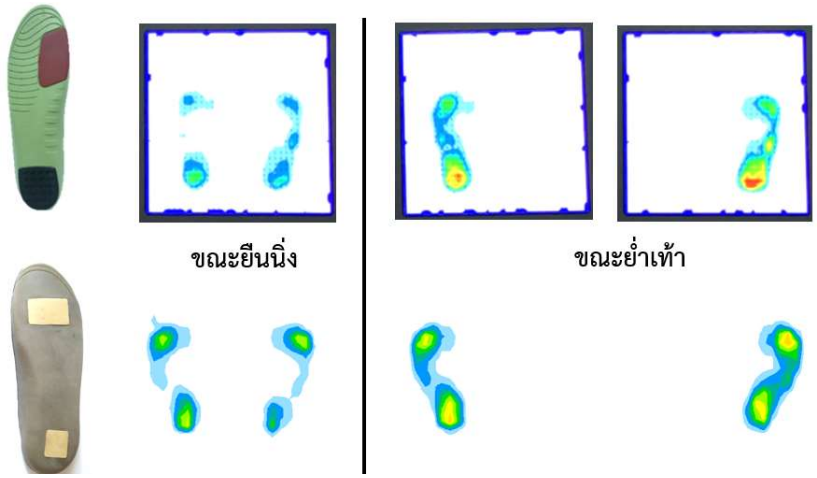
4.8.2 ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 2 กับแผ่นรองเท้าที่ 6



รูปที่ 4.47 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 2 กับแผ่นรองเท้าที่ 6

จากรูปที่ 4.47 เมื่อเปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้าพบว่า ในขณะที่ยืนตรงไม่มีการเคลื่อนไหว น้ำหนักที่กดลงที่ฝ่าเท้าจะมีการกระจายแรงกด แต่เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนไหวจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่า แผ่นรองท้าที่ 6 นั้นมีการลดแรงกดบริเวณส้นเท้าได้ดีกว่าตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 2 และมีส่วนที่ช่วยในการรับแรงบริเวณอุ้งเท้าที่มากกว่า

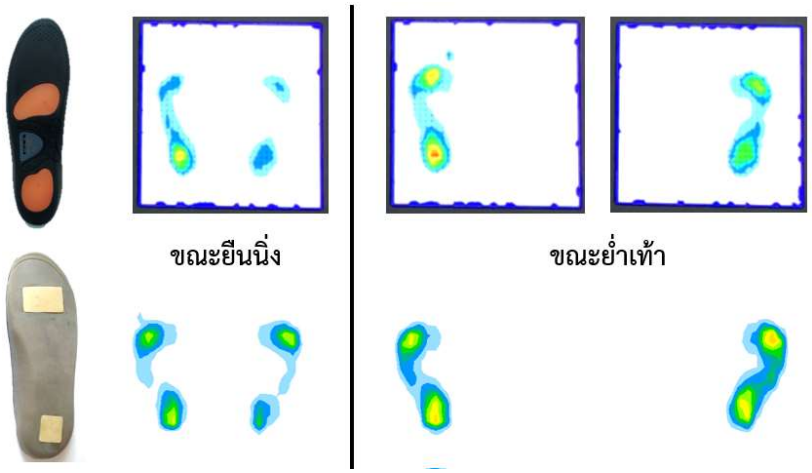
4.8.3 ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3 กับแผ่นรองเท้าที่ 6



รูปที่ 4.48 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3 กับแผ่นรองเท้าที่ 6

จากรูปที่ 4.48 เมื่อเปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้าพบว่า ในขณะที่ยืนตรงไม่มีการเคลื่อนไหว น้ำหนักที่กดลงที่ฝ่าเท้าจะมีการกระจายแรงกด แต่เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนไหวจะสามารถเห็นได้ว่า แผ่นรองท้าที่ 6 นั้นมีการลดแรงกดบริเวณส้นเท้าได้ดีกว่าตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3 เพียงเล็กน้อย และมีส่วนที่ช่วยในการรับแรงบริเวณอุ้งเท้าที่ดีเทียบเท่ากับตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3

4.8.4 ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 4 กับแผ่นรองเท้าที่ 6



รูปที่ 4.49 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 4 กับแผ่นรองเท้าที่ 6

จากรูปที่ 4.49 เมื่อเปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้าพบว่า ในขณะที่ยืนตรงไม่มีการเคลื่อนไหว น้ำหนักที่กดลงที่ฝ่าเท้าจะมีการกระจายแรงกด แต่เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนไหวจะสามารถเห็นได้อย่าง

ชัดเจนว่า แผ่นรองท้าที่ 6 และตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 4 นั้นมีการลดแรงกดบริเวณฝ่าเท้า อุ้งท้า และส้นเท้าได้ดีพอๆกัน

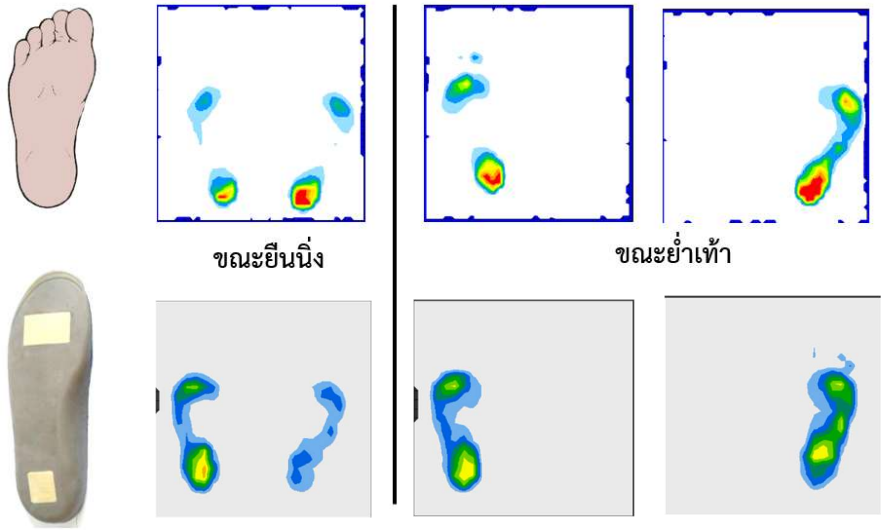
4.9 แผ่นรองเท้าที่ทำการแก้ไขรูปแบบแผ่นรองเท้า

4.9.1แผ่นรองเท้าแบบที่ 8

ในส่วนของแผ่นรองเท้าที่ 8 นั้นจะเป็นแผ่นรองเท้าที่ทำแก้ไขรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 6 โดยจะเอาส่วนของปุ่มนูนบริเวณส้นเท้านั้นออก เพื่อแก้ไขการปวดส้นเท้าจากแผ่นรองเท้าแบบเก่า และแผ่นรองเท้านี้จะประกอบด้วยยางธรรมชาติอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือส่วนที่ใช้ ยางที่แข็งโดยเติม $CaCO_3$ 15 phr และอีกส่วนใช้ยางที่นิ่มโดยเติม Plasticizer 80 phr ลักษณะของแผ่นรองเท้าแสดงดังรูปที่ 4.50



รูปที่ 4.50 ลักษณะรูปแบบของแผ่นรองเท้าที่ 8



รูปที่ 4.51 ผลการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า เท้าเปล่าเทียบกับแผ่นรองเท้าที่ 8

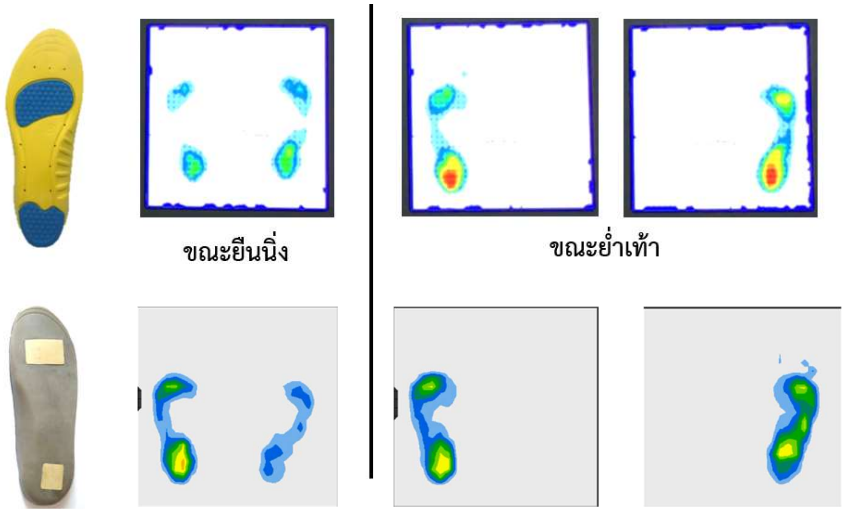
จากรูปที่ 4.50 แผ่นรองเท้าที่ 8 นี้จะมียางทั้ง 2 ส่วนด้วยกันคือส่วนที่นิ่มอยู่ด้านบนเป็นตัวทำให้เกิดความสบายระหว่างการใช้งาน และอีกส่วนจะอยู่ด้านล่างตรงส้นเท้าและปลายเท้าระหว่าง

นิ้วเท้า แผ่นรองเท้าที่ 8 จะเติมสารตัวเติม Plasticizer 80 phr และ เติม $CaCO_3$ 50 phr โดยการปรับปรุงให้แผ่นรองเท้านั้นมีความที่นิ้มที่เพิ่มขึ้นเพื่อที่จะให้ใส่สบายและลดการเจ็บระหว่างใช้งาน

จากรูปที่ 4.51 เมื่อเรานำมาเปรียบเทียบกับแรงกดใต้ฝ่าเท้าระหว่างเท้าเปล่า กับ แผ่นรองเท้าที่ 8 นี้ จะเห็นได้ว่าเท้าเปล่านั้นจะมีแรงกดที่มีค่าที่มากตรงส้นเท้าในระหว่างยืนและเคลื่อนที่ ส่วนแผ่นรองเท้าที่ 8 แรงกดใต้ฝ่าเท้าจะมีค่าทีน้อยลงในขณะยืนและในขณะเคลื่อนที่นั้นจะเห็นได้ว่ามีค่าแรงกดใต้ฝ่าเท้าที่มีค่าที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเราเทียบกับเท้าเปล่า และแผ่นรองเท้าที่ 8 นี้ มีความนิ่มสบายขณะใช้งาน ในส่วนของส้นเท้าไม่มีการปวดและลำคานขณะใช้งาน

4.9.2 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้าระหว่างแผ่นรองเท้าที่มีจำหน่ายทั่วไป กับแผ่นรองเท้าที่ 8

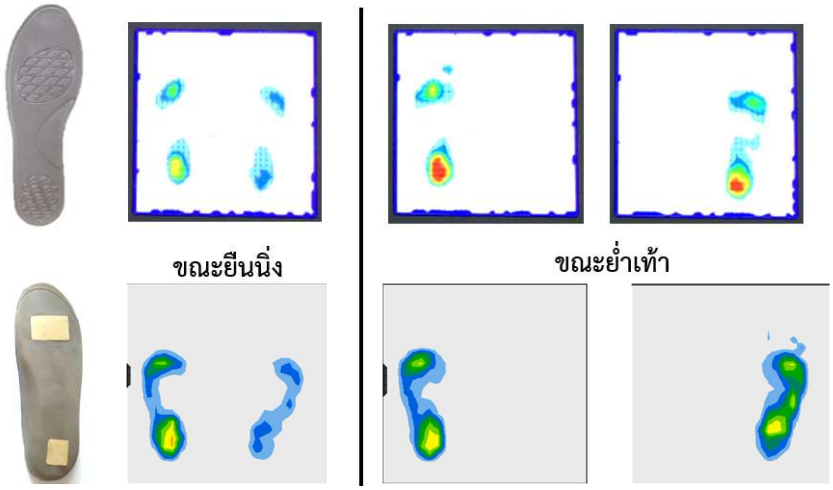
- ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 1 กับแผ่นรองเท้าที่ 8



รูปที่ 4.52 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 1 กับแผ่นรองเท้าที่ 8

จากรูปที่ 4.52 เมื่อเปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้าพบว่า ในขณะที่ยืนตรงไม่มีการเคลื่อนไหว น้ำหนักที่กดลงที่ฝ่าเท้าจะมีการกระจายแรงกด แต่เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนไหวจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่า แผ่นรองท้าที่ 8 นั้นมีการลดแรงกดบริเวณส้นเท้าได้ดีกว่าตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 1 และมีส่วนที่ช่วยในการรับแรงบริเวณอุ้งเท้าที่มากกว่า

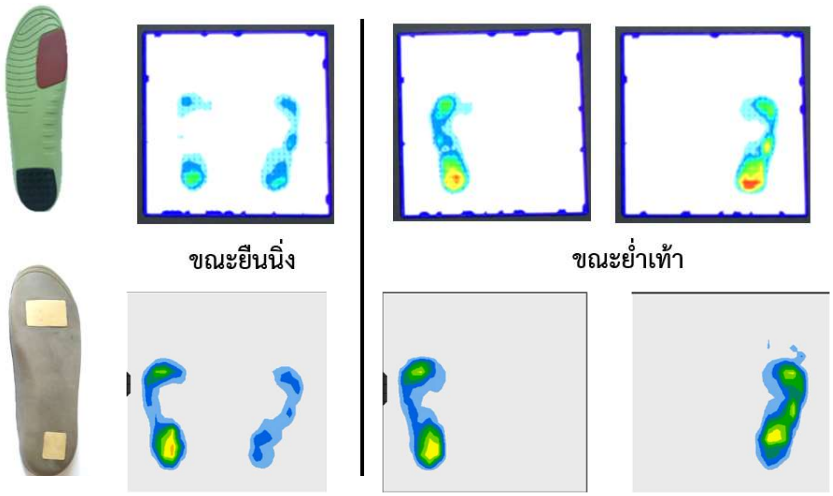
- ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 2 กับแผ่นรองเท้าที่ 8



รูปที่ 4.53 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 2 กับแผ่นรองเท้าที่ 8

จากรูปที่ 4.53 เมื่อเปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้าพบว่า ในขณะที่ยืนตรงไม่มีการเคลื่อนไหว น้ำหนักที่กดลงที่ฝ่าเท้าจะมีการกระจายแรงกด แต่เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนไหวจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่า แผ่นรองท้าที่ 8 นั้นมีการลดแรงกดบริเวณส้นเท้าได้ดีกว่าตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 2 และมีส่วนที่ช่วยในการรับแรงบริเวณอุ้งเท้าที่มากกว่า

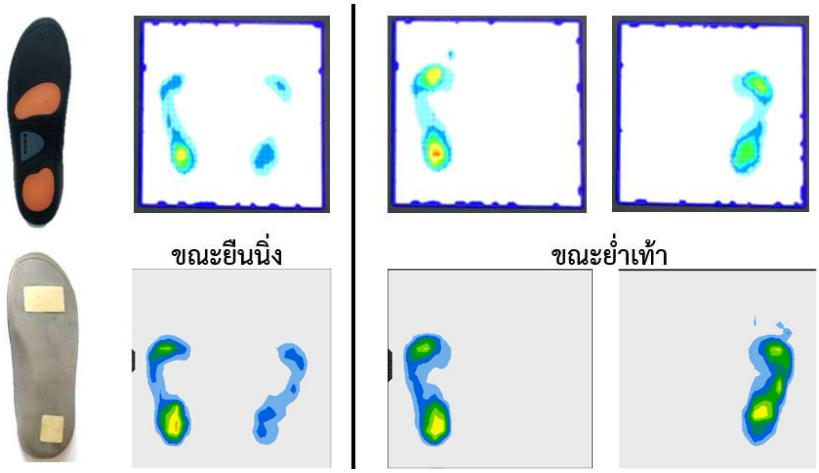
- ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3 กับแผ่นรองเท้าที่ 8



รูปที่ 4.54 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3 กับแผ่นรองเท้าที่ 8

จากรูปที่ 4.54 เมื่อเปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้าพบว่า ในขณะที่ยืนตรงไม่มีการเคลื่อนไหว น้ำหนักที่กดลงที่ฝ่าเท้าจะมีการกระจายแรงกด แต่เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนไหวจะสามารถเห็นได้ว่า แผ่นรองท้าที่ 8 นั้นมีการลดแรงกดบริเวณส้นเท้าได้ดีกว่าตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3 เพียงเล็กน้อย และมีส่วนที่ช่วยในการรับแรงบริเวณอุ้งเท้าที่ดีเทียบเท่ากับตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 3

- ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 4 กับแผ่นรองเท้าที่ 8



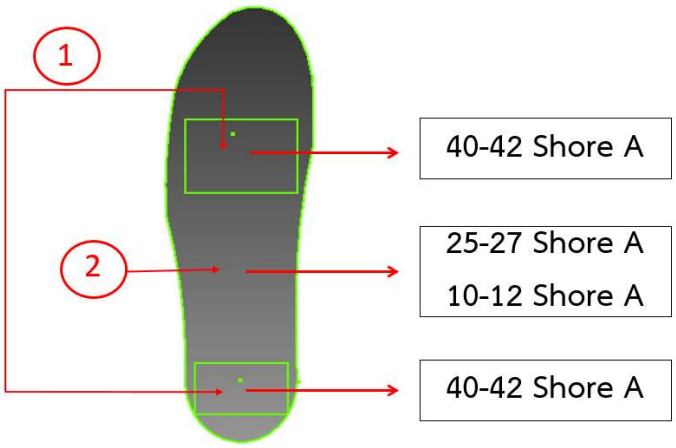
รูปที่ 4.55 เปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้า ตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 4 กับแผ่นรองเท้าที่ 8

จากรูปที่ 4.55เมื่อเปรียบเทียบแรงกดใต้ฝ่าเท้าพบว่า ในขณะที่ยืนตรงไม่มีการเคลื่อนไหว น้ำหนักที่กดลงที่ฝ่าเท้าจะมีการกระจายแรงกด แต่เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนไหวจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่า แผ่นรองท้าที่ 8 และตัวอย่างแผ่นรองเท้าที่ 4 นั้นมีการลดแรงกดบริเวณฝ่าเท้า อุ้งท้า และส้นเท้าได้ดีพอๆกัน

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้พบว่าในการพัฒนาสูตรยางในการผลิตแผ่นรองเท้าเพื่อสุขภาพโดยใช้ยางธรรมชาตินั้นต้องคำนึงถึงส่วนของสูตรยางของแผ่นรองเท้าที่ช่วยในเรื่องของการรับแรง และ ส่วนของสูตรยางที่คำนึงถึงความสบาย ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะทำให้ความแข็งของยางแตกต่างกัน โดยใช้สารตัวเติม $CaCO_3$ ในปริมาณที่ทำให้ได้ความแข็งตามที่ต้องการ โดยส่วนนี้จะเป็นส่วนของการรับแรงของแผ่นรองเท้า โดยใช้ยางที่มีค่าความแข็งประมาณ 40 Shore A และอีกส่วนจะใช้สารตัวเติม Plasticizer โดยส่วนนี้จะเป็นยางที่มีความนิ่มประมาณ 11 Shore A จะช่วยในเรื่องของความนุ่มสบาย

ในการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้าของแผ่นรองเท้าในแต่ละสูตรนั้นพบว่า แผ่นรองเท้าที่ลดแรงกดใต้ฝ่าเท้าได้ดีที่สุดคือ สูตรยางที่ทำการเติมสารตัวเติม $CaCO_3$ 50 phr ในการผลิตชิ้นส่วนของแผนรองเท้าในส่วนที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และ Plasticizer 80 phr ในการผลิตชิ้นส่วนของแผนรองเท้าในส่วนที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ผลที่ออกมาพบว่าแรงกดใต้ฝ่าเท้าที่วัดได้นั้น มีค่าแรงกดใต้ฝ่าเท้าที่ลดน้อยลงเมื่อเทียบกับเท้าเปล่าอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 5.1 ความแข็งของแผ่นรองเท้าในแต่ละส่วน

ตารางที่ 5.1 สูตรยางที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนแผ่นรองเท้าส่วนที่ 1

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)
STR5L	100
Stearic Acid	2
ZnO	3
$CaCO_3$	50
TMTD	1
TBBS	0.5
Sulfur	1

ตารางที่ 5.2 สูตรยางที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนแผ่นรองเท้าส่วนที่ 2

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)
STR5L	100
Stearic Acid	2
ZnO	3
TMTD	1
TBBS	0.5
Sulfur	1
Plasticizer	80

ในการผลิตแผ่นรองเท้าเพื่อสุขภาพในงานวิจัยนี้นั้นใช้วัตถุดิบที่ผลิตได้ภายในประเทศ และใช้ยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศ ต้นทุนการผลิตที่ใช้ในเรื่องของวัตถุดิบในการผลิตแผ่นรองเท้าในงานวิจัยนี้จึงมีมูลค่าโดยประมาณ 40 บาท ต่อแผ่นรองเท้า 1 คู่ (ราคาเปลี่ยนแปลงตามราคาของวัตถุดิบในช่วงเวลาของการผลิต)

ในเรื่องของการออกแบบแผ่นรองเท้าที่เหมาะสมนั้น ควรเป็นแผ่นรองเท่าที่มีการกระจายในการรับแรงกดที่ดี ไม่มีสะสมแรงกดทับในบริเวณใดบริเวณหนึ่งมากเกินไป ในการทดลองพบว่าแรงกดทับขณะยืนและเดินจะเกิดได้มากในบริเวณส้นเท้า ซึ่งสูตรยางที่เหมาะสมที่ได้จาการทดลองนี้จะช่วยให้มีการกระจายแรงกดทับในบริเวรดังกล่าวได้ดี ช่วยลดแรงกดทับในบริเวณส้นเท้าได้มากขึ้นทั้งในขณะเดินและเคลื่อนไหว และควรมีการออกแบบให้มีส่วนโค้งที่รองรับบริเวณอุ้งเท้า (arch) ซึ่งผู้สูงอายุนั้นจะมีแนวโน้มสูญเสียไขมันในบริเวรดังกล่าวมากขึ้น ฝ่าเท้าจะแบบลง ส่งผลให้เกิดความเจ็บปวดเมื่อยืนหรือเดินเป็นเวลานานๆได้มากขึ้น การออกแบบแผ่นรองเท้าให้มีส่วนโค้งที่รองรับ

บริเวณอุ้งเท้า (arch) นั้นจะช่วยให้เกิดการกระจายแรงกดทับขณะยืนหรือเคลื่อนได้ดี ช่วยให้ผู้สวมใส่มีความสบายมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

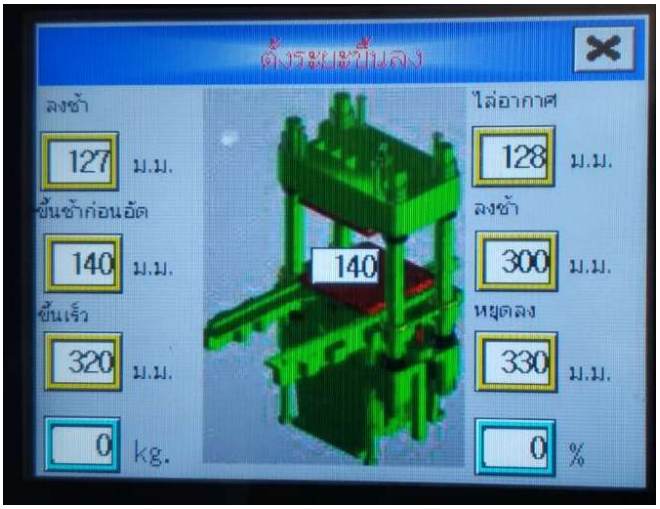
[1] **“โครงสร้างของเท้า”** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.valorfootcare.com/article/7/โครงสร้างของเท้า-ที่คุณควรรู้-เมื่อมีอาการบาดเจ็บ [สืบค้นเมื่อ 21 กรกฎาคม 2561]
[2] **“โครงสร้างของเท้า”** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.healthyfootefx.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=539522802&Ntype=8 [สืบค้นเมื่อ 21 กรกฎาคม 2561]
[3] **“อุ้งเท้า”** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://kminsole.co.th/อุ้งเท้า-arch/ [สืบค้นเมื่อ 21 กรกฎาคม 2561]
[4] **“การเลือกซื้อรองเท้า”** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.si.mahidol.ac.th/th/department/rehabilitation/dept_article_detail.asp?a_id=390 [สืบค้นเมื่อ 21 กรกฎาคม 2561]
[5] **“ปวดรองช้ำ”** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: https://www.honestdocs.co/plantar-fasciitis-symptom [สืบค้นเมื่อ 21 กรกฎาคม 2561]
[6] **“ยางธรรมชาติ”** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.electron.rmutphysics.com/science-, http://www.news/index.php?option=com_content&task=view&id=141&Itemid=0 [สืบค้นเมื่อ 21 กรกฎาคม 2561]
[7] พงษ์ธร แซ่อุย, **สารเคมียาง**, พิมพ์ครั้งที่ 2 ปทุมธานี : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค),2548
[8] ดุจใจ ชัยวานิชศิริ , ศิริพร จันทร์ฉาย และ ณัฏฐิยา ตันติศิริวัฒน์ , **เรื่องปัญหาสุขภาพเท้าและรองเท้าสำหรับผู้สูงอายุ** , รายงานวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนวิจัยสู่ชุมชน กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช , มกราคม 2552
[9] พงษ์ธร แซ่อุย, **ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน**, พิมพ์ครั้งที่ 2, ปทุมธานี : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค), 2548
[10] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตต์**, เทคโนโลยียาง**, กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542 [11] ภัณฑิลา ภูมิระเบียบ**, “สารเคมีสำหรับยาง”** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.dss.go.th/images/st-article/pep-8-2556-afr.pdf [สืบค้นเมื่อ 21 กรกฎาคม 2561]
[12] **“สารเคมียาง”** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://rubber.oie.go.th/box/Article/25239/เทคโนโลยีการผลิตยางคอมพาวด์.pdf[สืบค้นเมื่อ 21 กรกฎาคม 2561]
[13] **“สารเคมียาง”** เข้าถึงได้จาก http://rubber.oie.go.th/box/Article/25239/เทคโนโลยีการผลิตยางคอมพาวด์.pdf [สืบค้นเมื่อ 7 สิงหาคม 2561]
[14] **“มาตรฐานยางแท่งไทย”** สถาบันยางกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เข้าถึงได้จาก: http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2033/2/299622_app.pdf [สืบค้นเมื่อ 21 กรกฎาคม 2561]
[15] พิชญา พิศสุวรรณ **, เรื่องสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นรองเท้าและพื้นเดินภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่าง** , คณะวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและ

ระบบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ , 2553
[16] ดุจใจ ชัยวานิชศิริ , ศิริพร จันทร์ฉาย และ ณัฏฐิยา ตันติศิริวัฒน์ , **เรื่องปัญหาสุขภาพเท้าและรองเท้าสำหรับผู้สูงอายุ** , รายงานวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนวิจัยสู่ชุมชน กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช , มกราคม 2552
[17] จิรายุ วงษ์ปัญญา **, เรื่องการศึกษาลักษณะส้นของรองเท้าสตรีวัยทำงานที่มีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อขา แรงกดใต้ฝ่าเท้าและแรงปฏิกริยาจากพื้นในขณะเดิน** , คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2558

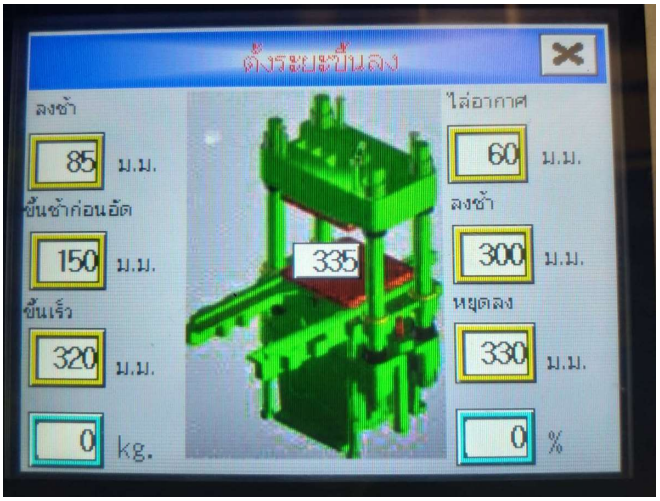
ภาคผนวก ก.
การตั้งค่าเครื่อง Compression molding

การตั้งค่าระยะขึ้นลงของแม่พิมพ์เครื่อง Compression molding

1.แม่พิมพ์แผ่นรองเท้า



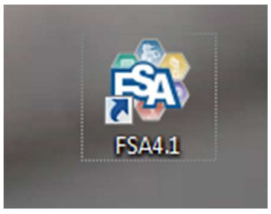
2.แม่พิมพ์แผ่นสี่เหลี่ยมแปะแผ่นรองเท้า

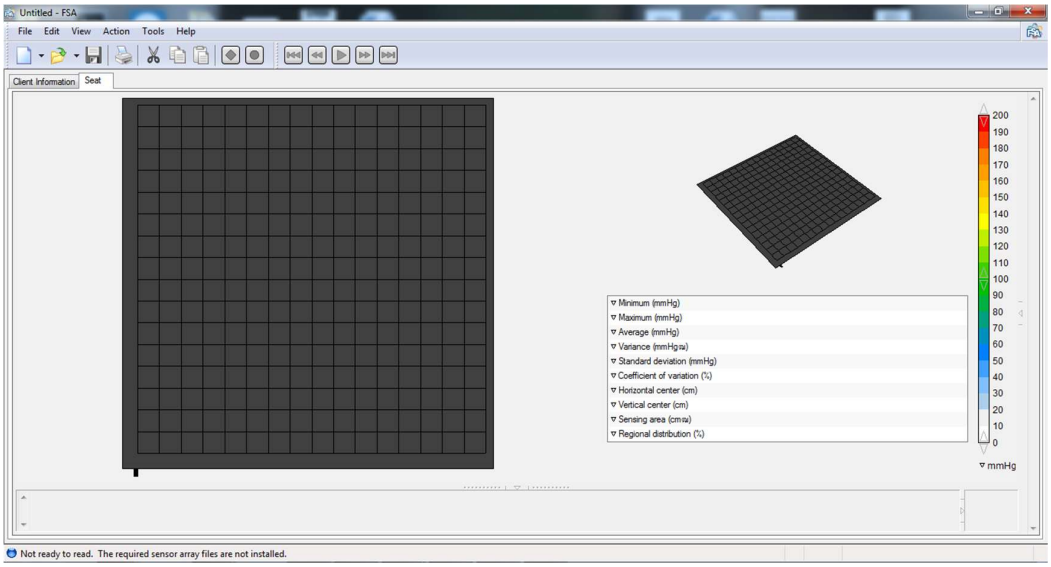


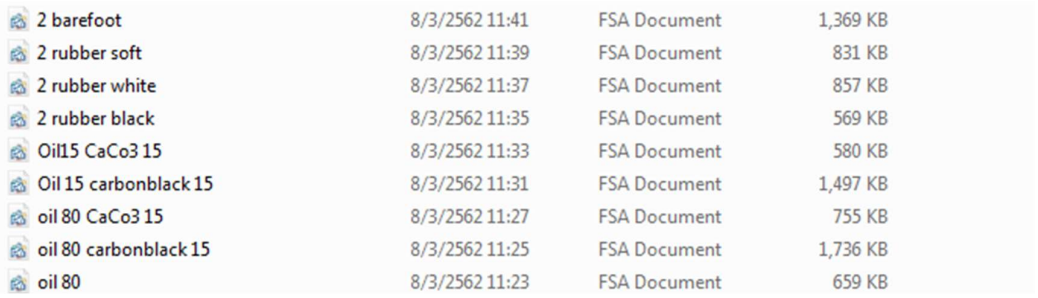
ภาคผนวก ข.
โปรแกรมที่ใช้ดูค่าทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า

โปรแกรมดูค่าแรงกดใต้ฝ่าเท้า FSA 4

- โปรแกรมไว้สำหรับเปิดไฟล์ที่ได้จากเครื่องการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้าเท่านั้น







รูปแบบไฟล์ที่โปรแกรม FSA 4 เปิดได้ ที่ได้จากเครื่องทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้า

ภาคผนวก ค.
ราคาต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้

ราคาสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแผ่นรองเท้า

สารเคมี	ราคา/kg	ปริมาณสารเคมี (phr)	ราคา
STR 5 L	52.66	100	16.32
Stearic	28	2	0.12
ZnO	90.25	3	0.82
$CaCO_3$	9	50	1.35
TMTD	93	1	0.28
TBBS	185	0.5	0.28
Sulfur	15	1	0.1
Paraffin oil	68.50	80	16.32
ราคารวมต่อคู่			38.59

ภาคผนวก ง.
ผลการสำรวจจากผู้ทดสอบ

ผลการสำรวจความพึงพอใจของผู้ทดสอบ





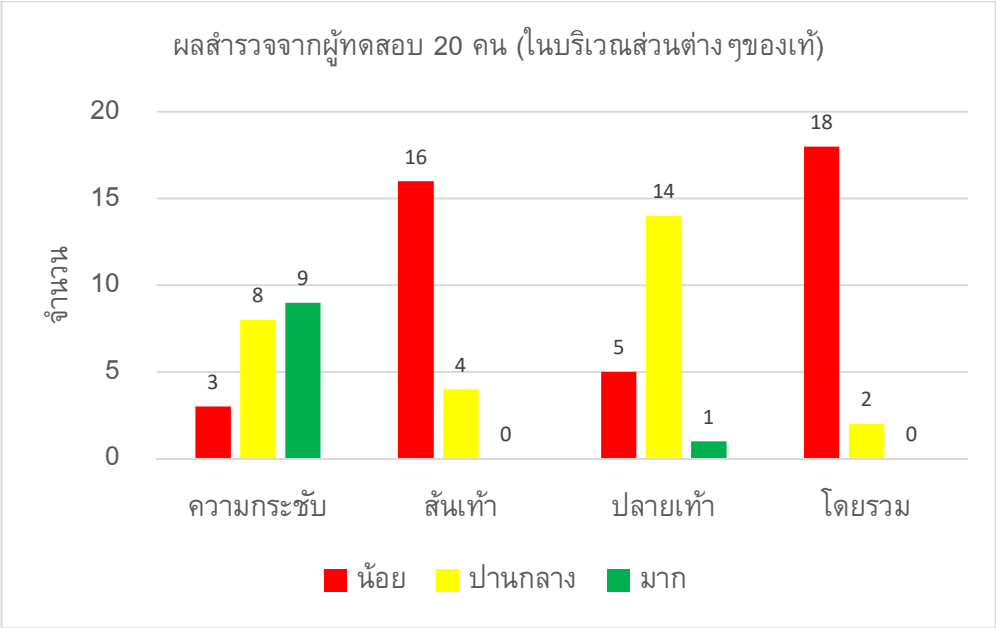


จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1.แผ่นรองที่มีปุ่มนูน 2.แผ่นรองเท้าที่ไม่มีปุ่มนูน

1.แผ่นรองเท้าแบบที่ 6 (มีปุ่มนูนบริเวณส้นเท้า)

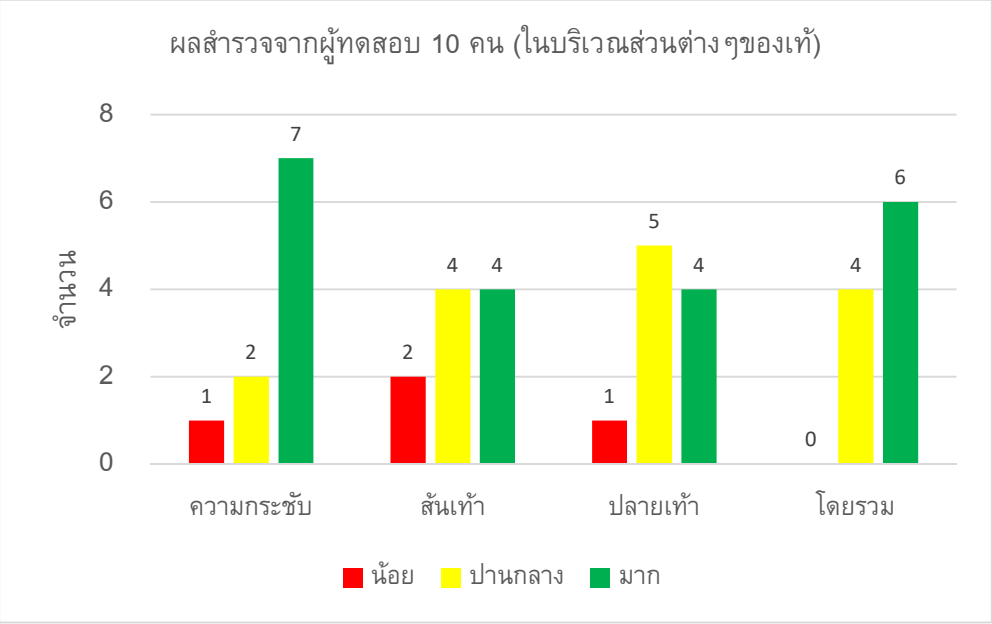
อายุและเพศของตัวอย่างผู้ทดสอบ

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
อายุ/เพศ	64/ญ	50/ช	53/ญ	27/ช	61/ช	59/ช	58/ช	64/ญ	58/ช	63/ช
ลำดับ	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
อายุ/เพศ	55/ช	62/ญ	55/ญ	64/ญ	52/ช	66/ช	58/ช	60/ช	57/ญ	58/ช


ผลสำรวจจากผู้ทดสอบ 20 คน (ในบริเวณส่วนต่าง ๆของเท้า)
จำนวน
20
15
10
5
0
3
8
9
16
4
0
5
14
1
18
2
0
ความกระชับ
ส้นเท้า
ปลายเท้า
โดยรวม
น้อย
ปานกลาง
มาก

2.แผ่นรองเท้าแบบที่ 8 (ไม่มีมีปุ่มนูนบริเวณส้นเท้า)

อายุ	เพศ	ความรู้สึกจากการประเมินจากผู้ทดลองใช้
62	ชาย	รู้สึกตะแคงออกนอก นุ่มสบาย ลื่น
58	หญิง	นิ่มแต่รู้สึกยังแข็งอยู่
55	ชาย	นิ่มเกินไป
55	ชาย	ส้นเท้ามีความแข็งกว่าส่วนอื่น ส่วนอื่นโอเค
63	ชาย	นิ่มสบาย ส้นเท้ามีความแข็ง
64	ชาย	นิ่ม
61	ชาย	สบายดี
60	ชาย	นิ่มมาก รู้สึกแผ่นรองเท้าปลิ้นออกข้าง
58	ชาย	นิ่ม รู้สึกเอียงออกด้านนอก สบายดี
58	ชาย	นิ่มสบาย ใส่แล้วรู้สึกแผ่นรองเท้าแบะออก



แบบประเมินความพึงพอใจ
แผ่นรองเท้าเพื่อสุขภาพผู้สูงอายุ (Health Insoles for Elderly persons)

คำชี้แจง 1. โปรดทำเครื่องหมาย / ลงในช่องว่างที่ตรงกับความพึงพอใจของท่าน
2. ระดับความพึงพอใจ 3 หมายถึง พึงพอใจมาก
2 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง
1 หมายถึง พึงพอใจน้อย

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ทำแบบประเมินความพึงพอใจ

1. เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง
2. อายุ ..... ปี

ตอนที่ 2 ความพึงพอใจของผู้ทดลองใช้งานแผ่นรองเท้าเพื่อสุขภาพผู้สูงอายุ

รายการประเมินความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ			หมายเหตุ
	มาก (3)	ปานกลาง (2)	น้อย (1)	
1. ลักษณะรูปร่างของแผ่นรองเท้า				
2. ความกระชับขณะใช้งาน				
3. ความสบายขณะใช้งาน				
• บริเวณปลายเท้า				
• บริเวณอุ้งเท้า				
• บริเวณส้นเท้า				
4. ความง่ายในการใช้งาน				
5. ราคาของแผ่นรองเท้า				

ข้อเสนอแนะอื่นๆโปรดระบุ

.....

.....

.....

แบบสรุปผู้บริหาร
[Executive Summary]

---

1. รายละเอียดเกี่ยวกับแผนงานวิจัย / โครงการวิจัย

1.1 ชื่อเรื่อง

(ภาษาไทย) แผ่นรองเท้าสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพเท้าผู้สูงอายุ

(ภาษาอังกฤษ) Prefabricated Insole for Elderly Foot Health

1.2 ชื่อคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ชื่อ – สกุล ผศ.ดร.ฉันท์ทิพ สกุลเขมฤทัย

หน่วยงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ที่อยู่ 39 หมู่ 1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12150

โทรศัพท์ 02-549-3486 มือถือ 094-451-4953

E-mail chuntip.s@en.rmutt.ac.th

ผู้ร่วมงานวิจัย

1) ชื่อ – สกุล ผศ.ดร.สิงห์โต สกุลเขมฤทัย

หน่วยงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ที่อยู่ 39 หมู่ 1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12150

โทรศัพท์ 02-549-4685 มือถือ 084-611-7881

E-mail singto@rmutt.ac.th

2) ชื่อ – สกุล นาย อโณทัย ผลสุวรรณ

หน่วยงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ที่อยู่ 39 หมู่ 1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12150

โทรศัพท์ 02-549-3486 มือถือ 086-779-6209

E-mail anothai.p@en.rmutt.ac.th

3) ชื่อ-สกุล นายปืนไทย เทพมณฑา

ตำแหน่งนายแพทย์ชำนาญการ

หน่วยงาน สถาบันสิรินธรเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพทางการแพทย์แห่งชาติ

สถานที่ติดต่อ 88/26 ซอยบำราศนราดูร (ติวานนนท์14) ถนนติวานนท์ ตำบลตลาดขวัญ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี

โทรศัพท์ 02-591 5455 ต่อ 6734 มือถือ 089-7813522

E-mail puenthai25@gmail.com

4) ชื่อ-สกุล นางสาววาวแวว ว่องเอกลักษณ์
ตำแหน่งนักกายอุปกรณ์ชำนาญการ
หน่วยงาน สถาบันสิรินธรเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพทางการแพทย์แห่งชาติ
สถานที่ติดต่อ 88/26 ซอยบำราศนราดูร (ติวานนนท์14) ถนนติวานนท์ ตำบลตลาดขวัญ
อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี
โทรศัพท์ 02-591 5455 ต่อ 6774 มือถือ 080-118-3180
E-mail wowwaew9@gmail.com

1.3 งบประมาณและระยะเวลาทำวิจัย

ได้รับงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 งบประมาณที่ได้รับ 850,000 บาท

2 สรุปโครงการวิจัย เขียนภาพรวมโครงการในลักษณะย่อและกะทัดรัดที่สามารถใช้ในการเผยแพร่ผลงานวิจัยได้ โดยแสดงถึงความสำคัญและที่มาของปัญหาในการวิจัย สรุปวัตถุประสงค์ของการวิจัยและระเบียบวิธีการวิจัย ผลการวิจัย คุณสมบัติ/จุดเด่นของผลิตภัณฑ์หรือเทคโนโลยีที่ได้รับ กลุ่มเป้าหมายและประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ การนำไปใช้ประโยชน์ และข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย (ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการ ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ประโยชน์)

เนื่องจากปัจจุบันสัดส่วนผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้น ผู้สูงอายุไทยร้อยละ 80 มีปัญหาเรื่องสุขภาพของเท้า ที่เมื่อเริ่มมีอายุมากขึ้น กล้ามเนื้อ และเส้นเอ็น แม้แต่กระดูกบริเวณเท้าก็เปลี่ยนไป ทำให้เกิดปัญหาด้านการเคลื่อนไหวร่างกาย การเสียการทรงตัว ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการบาดเจ็บได้ ทำให้แผ่นรองเท้าเพื่อสุขภาพเริ่มเข้ามาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผู้สูงอายุสามารถเลือกใช้ได้ แต่เนื่องจากแผ่นรองเท้าเพื่อสุขภาพนั้นมีราคาที่ค่อนข้างสูง จึงทำให้มีผู้สูงอายุอีกจำนวนหนึ่งที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ นอกจากนี้ยางธรรมชาติซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ มีสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาเป็นวัสดุในการผลิตแผ่นรองเท้า แต่มีราคาตกต่ำ ดังนั้นคณะคณะผู้วิจัยมีความตั้งใจในการที่จะเพิ่มมูลค่าให้แก่ยางธรรมชาติ โดยการนำมาวิจัยและพัฒนามาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ ซึ่งเป็นตลาดผู้บริโภคที่มีแนวโน้มมีปริมาณความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต ผู้วิจัยได้ศึกษาการออกแบบแผ่นรองเท้าและการพัฒนาออกสูตยางเพื่อที่จะนำไปใช้ในการจัดทำแผ่นรองเท้าจากยางธรรมชาตินี้ขึ้น โดยจะมีการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้าของแผ่นรองเท้าที่จัดทำขึ้น เทียบกับแผ่นรองเท้าที่มีจำหน่ายทั่วไป ว่ามีคุณสมบัติที่ดีกว่าหรือเทียบเท่ากัน และแผ่นรองเท้าจากยางธรรมชาติที่จะผลิตขึ้นนี้ สามารถช่วยลดอาการเจ็บปวดของเท้า และทำให้เกิดความสบายต่อการใช้งานได้ จากผลการทดลองพบว่าแผ่นรองเท้าที่ผลิตขึ้นสามารถลดแรงกดทับและกระจายแรงกดทับที่เท้าได้ดี แผ่นรองเท้าที่ผลิตขึ้นมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ และใช้วัตถุดิบหลักคือยางธรรมชาติอันเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ

3 บทคัดย่อภาษาไทยและบทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและจัดสร้างแผ่นรองเท้าเพื่อสุขภาพผู้สูงอายุ โดยใช้วัสดุหลักจากยางธรรมชาติ ในงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาสูตรผสมยางธรรมชาติ และออกแบบแผ่นรองเท้า จากนั้นทำการผลิตแผนรองเท้าด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป จากงานวิจัยนี้พบว่าในการผลิตแผ่นรองเท้าสุขภาพนั้นต้องใช้สูตรยางในการผลิตที่แตกต่างกัน เพื่อให้เกิดผลในการกระจายแรงกดที่ดี ช่วยลดแรงกดทับของฝ่าเท้าทั้งในขณะเดินและเคลื่อนไหว ซึ่งทั้งยางสองส่วนนี้จะมีความแข็งของยางแตกต่างกัน ในการผลิตแผ่นรองเท้าเพื่อสุขภาพในงานวิจัยนี้นั้นใช้วัตถุดิบที่ผลิตได้ภายในประเทศ และใช้ยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศ ต้นทุนการผลิตที่ใช้ในเรื่องของวัตถุดิบในการผลิตแผ่นรองเท้าในงานวิจัยนี้จึงมีมูลค่าโดยประมาณ 40 บาท ต่อแผ่นรองเท้า 1 คู่ (ราคาเปลี่ยนแปลงตามราคาของวัตถุดิบในช่วงเวลาของการผลิต) ในเรื่องของการออกแบบแผ่นรองเท้าที่เหมาะสมนั้นควรเป็นแผ่นรองเท่าที่มีการกระจายในการรับแรงกดที่ดี ไม่มีสะสมแรงกดทับในบริเวณใดบริเวณหนึ่งมากเกินไป และควรมีการออกแบบให้มีส่วนโค้งที่รองรับบริเวณอุ้งเท้า (arch) ซึ่งผู้สูงอายุนั้นจะมีแนวโน้มสูญเสียไขมันในบริเวรดังกล่าวมากขึ้น ฝ่าเท้าจะแบบลง ส่งผลให้เกิดความเจ็บปวดเมื่อยืนหรือเดินเป็นเวลานานๆได้มากขึ้น การออกแบบแผ่นรองเท้าให้มีส่วนโค้งที่รองรับบริเวณอุ้งเท้า (arch) นั้นจะช่วยให้เกิดการกระจายแรงกดทับขณะยืนหรือเคลื่อนได้ดี ช่วยให้ผู้สวมใส่มีความสบายมากยิ่งขึ้น

Abstract

This research aims to design and create a prefabricated insole for elderly foot health by using natural rubber as raw materials. In this research, the formulation of natural rubber blends and design of footwear is created. The prefabricated insole was produced by compression molding process. This research has been found to require a different production of rubber formulations to achieve good pressure distribution, it reduces the pressure of both the soles while walking and moving. Both parts of the rubber formulation must have different vulcanite hardness. In the production of the prefabricated insole for elderly foot health in this research, it uses domestically produced raw materials and uses natural rubber, a major agricultural product in the country. The cost of production used in the production of the insole in this research is approximately 40 Baht per pair of insoles (the price changes according to the price of raw materials at the time of production). In terms of designing the insole, It should be distributed in good pressure, which is not too much pressure accumulated in any area. The insole should be designed to have a curved section that supports the arch, where the elderly is more likely to lose fat in such a way. This results in more pain when standing or walking for a long time. The design of the shoe plate to

have a curved section that supports the arch allows to spread pressure while standing or moving well and helps the wearer be more comfortable

This research aims to design and create a prefabricated insole for elderly foot health by using natural rubber as raw materials. In this research, the formulation of natural rubber blends and design of footwear is created. The prefabricated insole was produced by compression molding process. The resulted suggested that it is possible to reduce pressure and spread the foot pressure well.

แบบฟอร์มการจัดทำสรุปแผนงาน/โครงการ
สำหรับการประชาสัมพันธ์

ชื่อแผนงาน/โครงการย่อย แผ่นรองเท้าสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพเท้าผู้สูงอายุ

ชื่อนักวิจัย ผศ.ดร.ฉันท์ทิพ สกุลเขมฤทัย

หน่วยงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2560

เบอร์ติดต่อ โทรศัพท์ 02-549-3486 มือถือ 094-451-4953

ประเด็นปัญหาก่อนการวิจัย

เนื่องจากปัจจุบันสัดส่วนผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้น ผู้สูงอายุไทยร้อยละ 80 มีปัญหาเรื่องสุขภาพของเท้า ที่เมื่อเริ่มมีอายุมากขึ้น กล้ามเนื้อ และเส้นเอ็น แม้แต่กระดูกบริเวณเท้าก็เปลี่ยนไป ทำให้เกิดปัญหาด้านการเคลื่อนไหวร่างกาย การเสียการทรงตัว ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการบาดเจ็บได้ ทำให้แผ่นรองเท้าเพื่อสุขภาพเริ่มเข้ามาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผู้สูงอายุสามารถเลือกใช้ได้ แต่เนื่องจากแผ่นรองเท้าเพื่อสุขภาพนั้นมีราคาที่ค่อนข้างสูง จึงทำให้มีผู้สูงอายุอีกจำนวนหนึ่งที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ นอกจากนี้ยางธรรมชาติซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ มีสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาเป็นวัสดุในการผลิตแผ่นรองเท้า แต่มีราคาตกต่ำ

การแก้ปัญหาโดยใช้ผลงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ศึกษาการออกแบบแผ่นรองเท้าและการพัฒนาออกสูตยางเพื่อที่จะนำไปใช้ในการจัดทำแผ่นรองเท้าจากยางธรรมชาตินี้ขึ้น โดยจะมีการทดสอบแรงกดใต้ฝ่าเท้าของแผ่นรองเท้าที่จัดทำขึ้น เทียบกับแผ่นรองเท้าที่มีจำหน่ายทั่วไป ว่ามีคุณสมบัติที่ดีกว่าหรือเทียบเท่ากัน และแผ่นรองเท้าจากยางธรรมชาติที่จะผลิตขึ้นนี้ สามารถช่วยลดอาการเจ็บปวดของเท้า และทำให้เกิดความสบายต่อการใช้งานได้ จากผลการทดลองพบว่าแผ่นรองเท้าที่ผลิตขึ้นสามารถลดแรงกดทับและกระจายแรงกดทับที่เท้าได้ดี

รูปภาพประกอบ

ขอดิจิตอลไฟล์แยกต่างหาก ขนาดไม่เกิน 10 MB

หมายเหตุ : *การจัดทำข้อมูลสรุปโครงการสำหรับการประชาสัมพันธ์โครงการวิจัยให้ทำข้อมูลไม่เกิน 1 หน้ากระดาษพิมพ์ ขนาด A4 โดยต้องจัดทำทั้งในส่วนของแผนงาน และโครงการย่อย และเขียนเป็นภาษาที่อ่านง่าย*

แบบฟอร์มการจัดทำสรุปแผนงาน/โครงการ (5 บรรทัด)

ชื่อโครงการ แผ่นรองเท้าสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพเท้าผู้สูงอายุ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและจัดสร้างแผ่นรองเท้าเพื่อสุขภาพผู้สูงอายุ โดยใช้วัสดุหลักจากยางธรรมชาติ ในงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาสูตรผสมยางธรรมชาติ และออกแบบแผ่นรองเท้า จากนั้นทำการผลิตแผนรองเท้าด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป จากผลการทดลองพบว่าแผ่นรองเท้าที่ผลิตขึ้นสามารถลดแรงกดทับและกระจายแรงกดทับที่เท้าได้ดี

หมายเหตุ : *สรุปโดยย่อ ซึ่งครอบคลุมถึงวัตถุประสงค์ กระบวนการหรือวิธีการของการวิจัย ผลลัพธ์/ ผลผลิต ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ*