

การศึกษาการทำให้ midsole และ outsole ยึดติดกันโดยไม่อาศัยกาวและพัฒนาปรับปรุงสภาวะ

การผลิตและสูตรคอมพาวด์ midsole และคอมพาวด์ outsole

(Study of adhesive-free bonding of shoe mid-soleing and out-soleing materials aiming for the improved manufacturing method and the new materials compounding)

นายนิรพงษ์ โชติวิทยพร น.ส.นิลบล เจียมประสูตร นายสุรวุฒิ ช่างโชติ อ.ดร.ณัฐกาญจน์ หงส์ศรีพันธ์
และ อ.ดร.จันทร์ฉาย ทองปิ่น *

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร * Email : chanchai@su.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำให้พื้นรองเท้าส่วนที่เป็นโฟม (midsole) ยึดติดกับยาง (outsole) โดยไม่อาศัยกาวและลดขั้นตอนการยึดติดของพื้นรองเท้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน แนวทางการยึดติดกันอาศัยการทำให้เกิดสายโซ่เชื่อมโยงด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต (UV-curing) โดยใช้ Curing agent เป็น Trimethylolpropane mercapto propionate และใช้ Photoinitiator เป็น 2,4,6-Trimethyl benzoyldiphenylphosphine oxide ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย การตรวจสอบคุณสมบัติของ midsole และ outsole ในปัจจุบัน การพัฒนาสูตรคอมพาวด์ การศึกษาผลของการใส่สารเคมีที่ใช้ในระบบ UV Cure ลงในคอมพาวด์ และสุดท้ายทดสอบผลการยึดติดโฟมกับยางด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตและให้ความร้อน จากการทดลองพบว่าระบบ UV Cure สามารถทำให้โฟมและยางยึดติดกันโดยไม่อาศัยกาวและช่วยลดขั้นตอนการผลิตพื้นรองเท้าในกระบวนการทั่วไปได้

คำสำคัญ : โฟม, ยาง, สูตรคอมพาวด์, การเชื่อมติดระหว่างผิว, UV Curing

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตรองเท้าผ้าใบในปัจจุบัน นิยมผลิตพื้นรองเท้าจากการประกบกันของโฟมและยาง หรือที่เรียกว่า midsole และ outsole ตามลำดับ ในส่วนของ outsole นั้นจะใช้ทำส่วนล่างสุดของพื้นรองเท้า เพื่อให้มีความแข็งแรงและเพิ่มแรงเสียดทานของรองเท้ากับพื้นในขณะใช้งาน ส่วน midsole นิยมผลิตมาจากโฟม เพราะสามารถรับแรงกดอัดได้ดี ไม่เสียรูป ไม่แข็งจนเกินไปจนทำให้รู้สึกปวดเมื่อยในขณะสวมใส่ และที่สำคัญคือ มีน้ำหนักเบา สามารถหาได้ง่าย และมีราคาไม่แพง

การทำให้ midsole และ outsole ยึดติดกันนั้น เดิมใช้กาวที่มีส่วนผสมของตัวทำละลายระเหยง่าย ซึ่งมักกลิ่นเหม็น อีกทั้งยังเป็นอันตรายต่อพนักงานผู้สูดดม เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีการพัฒนาเพื่อใช้กาวที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายแทนการใช้กาวที่มีตัวทำละลายระเหยง่าย แต่การใช้กาวชนิดนี้พบว่าการยึดติดยังไม่ดี

เท่าที่ควรจึงมีการศึกษากระบวนการปรับปรุงผิววัสดุ ก่อนการยึดติดเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

Pastor-Blas และคณะ (1997) ได้ศึกษาการทำให้ Chlorination ของยาง SBS โดยการจุ่มยาง SBS ในสารละลายกรด trichloroisocyanuric (TCI) เพื่อปรับปรุงผิวก่อนทาด้วยกาวประเภทพอลิยูรีเทนที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย พบว่าการทำ Chlorination จะช่วยให้การยึดติดของยางดีขึ้น

Romero-Sánchez และคณะ (2001) พบว่าระยะเวลาในการสัมผัสกันของยาง SBS กับสารละลาย TCI มากขึ้นจะทำให้การเชื่อมติดดีขึ้น แต่ถ้าเวลาเกิน 48 ชั่วโมงจะทำให้การเชื่อมติดน้อยลงเพราะกรดไปละลายสารเติมแต่งประเภท wax ใน SBS ออกมาที่ผิว และพบว่าตัวทำละลายกรด TCI ที่ระเหยยากช่วยปรับปรุงผิวของยาง SBS ได้มาก แต่ก็สามารถละลายสารประเภท wax ใน SBS ออกมาที่ผิวของยางได้เช่นกัน

Abbott และคณะ (2003) พบว่าการเชื่อมติดของวัสดุที่ใช้ในการผลิตรองเท้า สามารถยึดติดกันได้โดยการปรับปรุงผิววัสดุได้หลายวิธีแล้วนำไปทาการประเภทพอลิยูรีเทนที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ในการปรับปรุงผิววัสดุก่อนใช้กาวนั้นอาจทำได้โดยวิธีการขัดผิว (Scouring) วิธีการจุ่มวัสดุลงในสารละลายที่ให้คลอรีน วิธีการทางไฟฟ้าเคมี วิธีการพ่นผงคาร์บอนไดออกไซด์แล้วอัดด้วยความดัน (Cryoblasting) หรืออาจใช้วิธีการจุ่มวัสดุลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก็ได้

จากการศึกษาต่างๆ ข้างต้นจะเห็นได้ว่าการใช้กาที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายจะช่วยเพิ่มความปลอดภัยต่อพนักงานผู้ทำงานได้ แต่ขั้นตอนในการผลิตพื้นรองเท้ากลับมีมากขึ้น แนวคิดในการหาวิธีเชื่อมติดกันของ midsole กับ outsole โดยหลีกเลี่ยงการใช้กาและลดขั้นตอนการยึดติดวัสดุเข้าด้วยกันเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงเกิดขึ้น

Decker และ Nguyen Thi Viet (2000) ได้ศึกษาและค้นพบว่าสามารถใช้รังสี Ultraviolet ในการทำให้เกิดสายโซ่เชื่อมโยงในยาง Styrene Butadiene Styrene Copolymer (SBS) ได้ ทางคณะผู้วิจัยจึงได้นำแนวความคิดนี้มาประยุกต์ในการทำให้ midsole และ outsole ยึดติดกันโดยการทำให้เกิดสายโซ่เชื่อมโยงโดยใช้รังสี Ultraviolet แทนการใช้กา ซึ่งคาดว่าจะสามารถลดขั้นตอนในการผลิตรองเท้าในปัจจุบันได้ และยังเป็น การช่วยเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของอุตสาหกรรมรองเท้าของไทยในปัจจุบันอีกด้วย

2. สารเคมีและวิธีการทดลอง

2.1 สารเคมีที่ใช้ในยาง

ยาง outsole มีส่วนประกอบของพอลิเมอร์ 4 ชนิด คือ ยางธรรมชาติ (NR, TTR-5L) ยางสไตรีน-บิวตะไดอิน (SBR, BSTE SBR 1502) ยางพอลิบิวตะไดอิน (BR, BSTE BR 1220) และ ยางไนไตรล์ (NBR, JSR N230 SH) เพื่อให้ได้สมบัติที่ดีของ outsole และราคาของวัตถุดิบที่ไม่สูงจนเกินไป

การทำให้เกิดการเชื่อมโยงใน outsole ใช้ระบบ Sulphur cure โดยสารเคมีที่ใช้ในยางประกอบด้วยสารตัวเติม (Filler) คือ Silica (WL 180 หรือ Tokusil URT) สารที่ช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น (Processing aid) คือ Paraffinic oil (PS 32T) สารป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant) คือ Lowinox CPL และ Antilux 654 สาร Compatibilizer คือ Struktol 60 NS สาร Coupling agent คือ SI 69 สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activator) คือ Polyethylene glycol (PEG 4000 N) Stearic acid และ ZnO Active สารเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) คือ Mercaptobenzothiazole disulfide (MBTS) และ Tetramethylthiurammonosulfide (TMTM) และสุดท้ายสารที่ทำให้เกิดสายโซ่เชื่อมโยง (Curing Agent) คือ กำมะถัน (S-Powder)

2.2 สารเคมีที่ใช้ในโฟม

โฟม midsole มีส่วนประกอบของพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ เอธิลีนไวน์ลอะซิเตต (EVA, Elvax 462) และยางสไตรีน-บิวตะไดอิน (SBR, BSTE SBR 1502)

การทำให้เกิดการเชื่อมโยงใน midsole ใช้ระบบ Peroxide cure โดยสารเคมีที่ใช้ในโฟมประกอบด้วยสารตัวเติม (Filler) คือ Calcium carbonate (CaCO₃ Q-Min) และ Silica (WL 180 หรือ Tokusil URT) สารที่ช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น (Processing aid) คือ Stearic acid และ Zn stearate สารที่ช่วยคุณสมบัติ Compression set ของโฟม คือ Co-agent (SR 350) สารที่ทำให้เกิดเป็นโฟม (Blowing Agent) คือ Cellcom AC 3000F สารที่กระตุ้นการเกิดเป็นโฟม (Kicker) คือ ZnO Active สารที่ทำให้เกิดสายโซ่เชื่อมโยง (Curing Agent) คือ Dicumyl peroxide (DCP 98%)

2.3 สารเคมีที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต

การเชื่อมโยงด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตจะเกิดในส่วน ของยางที่มีพันธะคู่ในสายโซ่ คือ ยาง SBR โดยใช้สารที่ทำให้เกิดสายโซ่เชื่อมโยงด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต (Curing Agent) เป็น Trimethylolpropane Mercaptopropionate (TRIS) และใช้ photoinitiator เป็น 2,4,6 - Trimethylbenzoyldiphenylphosphine oxide (Lucirin

TPO) ปฏิกริยาการเกิดสายโซ่เชื่อมโยงจะเกิดเป็นผ่านกลไกที่เรียกว่า Thiol-ene Photopolymerization ระหว่างหมู่ thiol ใน TRIS กับพันธะคู่ในยาง SBR

2.4 วิธีการประกบติดโฟมกับยาง

นำยางมารีดด้วยเครื่องบดยางแบบลูกกลิ้งแล้วตัดให้ได้รูปพื้นรองเท้า ส่วนโฟมนำไปเปิดผิว ตัดให้ได้ขนาดและขัดผิวให้ได้รูปทรงพื้นรองเท้า

การประกบติดเริ่มจากการนำโฟมและยางด้านที่ต้องประกบติดไปฉายรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีพลังงาน 0.5 J/cm² เป็นเวลา 20 วินาที แล้วนำยางไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัดเข้าแม่พิมพ์ (Compression Molding) ที่อุณหภูมิ 140 °C จากนั้นเปิดแม่พิมพ์และดึงส่วนกันแม่พิมพ์ออกเพื่อให้แม่พิมพ์ตัวกลางเกิดช่องว่าง วางโฟมในช่องว่างนั้น จากนั้นปิดแม่พิมพ์แล้วให้ความดันพร้อมทั้งเพิ่มอุณหภูมิอีกครั้งจนอุณหภูมิสูงถึง 170 °C เป็นเวลา 7 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงจนเหลือประมาณ 10 °C สุดท้ายเปิดแม่พิมพ์ก็จะได้ชิ้นงานโฟมและยางที่ยึดติดกันโดยไม่มีอากาศ

2.5 ขั้นตอนการทดลอง

เริ่มจากการตรวจสอบคุณสมบัติของ midsole และ outsole ที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น ความแข็ง (Hardness) การทนทานต่อแรงดึงยึด (Tensile strength) การทนทานต่อแรงฉีกขาด (Tear strength) และการทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) เป็นต้น จากนั้นผสมและขึ้นรูปยาง outsole และโฟม midsole นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติเพื่อหาปริมาณของสารเคมีที่เหมาะสมที่ทำให้ได้คุณสมบัติตรงตามความต้องการในปัจจุบัน จากนั้นผสมสารเคมีที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตและทดสอบการประกบติด โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 วิธีการ คือ การทดลองแรกเป็นการประกบติดของยางกับโฟมที่ไม่มีสารเคมีที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตในแต่ละส่วน แต่มีชั้นยาง SBR ที่มีสารเคมีดังกล่าวอยู่ตรงกลาง กับอีกการทดลองเป็นการประกบติดของยางกับโฟมที่มีสารเคมีที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตอยู่ในแต่ละส่วนอยู่แล้ว

จากนั้นนำไปทดสอบความแข็งแรงในการยึดติด ด้วย T - peel test

3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

3.1 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติของ midsole และ outsole ที่ใช้ในปัจจุบัน

จากการศึกษาพบว่าคุณสมบัติของพื้นรองเท้าส่วน midsole และ outsole ที่ใช้ในปัจจุบัน มีค่าดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติที่ต้องการในยาง outsole และ โฟม midsole

Properties	Midsole	Outsole
Hardness (Shore A) [ASTM D-2240]	-	55-61
Hardness (Shore C) Skin on [ASTM D-2240]	60-65	-
Tensile Stress at break (Kg/cm ²) [ASTM D-412]	> 50	> 90
Elongation at break (%) [ASTM D-412]	200-400	425-625
Trouser Tear (Kg/cm)	> 6.5	> 14
S.G. [ASTM D-297]	< 0.81	1.06-1.10
Compression Set (%)	< 50	-
Shrinkage (%)	< 2	-
Abrasion (DIN)	-	< 100

ที่มา : บริษัท พี ไอ อินดัสทรี (2546)

3.2 การพัฒนาสูตรคอมพาวด์ outsole และ midsole เพื่อหาสูตรคอมพาวด์ที่เหมาะสม

3.2.1 สูตรเริ่มต้น

สูตรเริ่มต้นของ outsole และ midsole (บริษัท พี.ไอ. อินดัสทรี จำกัด) คือ สูตรที่ 1 ในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

3.2.2 ผลการพัฒนาสูตร outsole

ผลการพัฒนาสูตร outsole แสดงได้ดังตารางที่ 2 จากการทดสอบสมบัติของ outsole สูตรเริ่มต้นพบว่ายางที่ได้มีค่า Hardness ต่ำเกินไป จึงปรับปรุงสูตรเป็นสูตรที่ 2 โดยการปรับปริมาณยางและเพิ่มปริมาณ filler

ผลการทดสอบปรากฏว่าค่า Hardness ได้ตามที่ ต้องการแต่ได้ค่า S.G. สูงเกินไปและค่าความทนทาน ต่อการขัดถูต่ำเกินไปจึงปรับปรุงโดยการเพิ่มยาง BR เพื่อเพิ่มค่าความทนทานต่อการขัดถู ลดปริมาณ filler ลง และปรับสัดส่วนของตัวเร่งกับกำมะถันเพื่อหาสูตรที่ ให้เวลาในการ cure น้อยที่สุดดังสูตรที่ 3 4 และ 5 เพราะในกระบวนการผลิตจริงต้องการให้ยางขึ้นรูปได้ เร็วเพื่อที่จะผลิตได้ในปริมาณมาก จากการทดสอบ พบว่าสูตรที่ 3 และ 4 ได้เวลาในการขึ้นรูปใกล้เคียงกัน แต่สูตรที่ 3 มีปริมาณกำมะถันน้อยกว่า ปัญหาการ แพร่ของกำมะถันมาที่ผิว (Blooming) มีโอกาสเกิดน้อยกว่า จึงเลือกสูตรที่ 3 เป็นสูตรคอมพาวด์ outsole

3.2.3 ผลการพัฒนาสูตร midsole

ผลการพัฒนาสูตร midsole แสดงได้ดังตารางที่ 3 จากการทดสอบสมบัติของ midsole พบว่าสูตรเริ่มต้นใช้ พอลิเมอร์เป็น EVA เพียงอย่างเดียวทำให้ค่า Hardness ต่ำเกินไปและคุณสมบัติอื่นๆ ยังไม่ได้ตามที่ต้องการ จึง ปรับปรุงเป็นสูตรที่ 2 และ 3 ที่มีการเติมยาง SBR ลงไป ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน การเติมยาง SBR ลงไปจะ เป็นการเพิ่มส่วนที่มีพันธะคู่ในโพลีเมอร์เพื่อให้โพลีเมอร์ สามารถเกิดการยึดติดกับยางด้วยกลไกของ UV Cure ได้ จาก การทดสอบพบว่าการใช้ SBR ผสมลงไป 10 Phr และ ใช้เวลาการ cure เท่ากับ cure time จะทำให้ได้ คุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับสมบัติที่ต้องการมากที่สุด (ถ้า ใช้เวลาขึ้นรูปเกิน cure time จะทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อ โพลีเมอร์ เพราะความแข็งแรงของผนังเซลล์โพลีเมอร์ไม่สามารถ ทนแรงดันที่เกิดจากการแตกตัวของ Blowing agent ได้) จึงนำสูตรคอมพาวด์ที่ SBR ผสมอยู่ 10 Phr มา ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Curing agent และ Blowing agent ดังสูตรที่ 4-9 พบว่าสูตรที่ 5 ได้ คุณสมบัติใกล้เคียงกับความต้องการมากที่สุด แต่ว่าค่า Compression Set ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญในพื้นที่รองเท้ามี ค่าสูง แสดงว่าเมื่อได้รับแรงกดจะคงสภาพไม่คืนตัวสู่ รูปร่างเดิม

การปรับปรุงให้ค่า Compression Set ดีขึ้น ทำได้ โดยการเติมสารที่มีหมู่ฟังก์ชันเหมาะสม (Co-agent) ลง ไปในคอมพาวด์ เมื่อเกิดการ cure ด้วย peroxide แล้ว

Co-agent จะไปแทรกกระหว่างพันธะของคาร์บอน- คาร์บอน ทำให้พันธะที่ได้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น จาก การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Co-agent กับ Curing agent ดังสูตรที่ 10-12 พบว่าทั้ง 3 สูตรให้ค่า Compression Set ที่ดีขึ้น แต่ทำให้ Hardness ของโพลีเมอร์สูงเกินไป สูตรที่ให้คุณสมบัติใกล้เคียงกับที่ต้องการมากที่สุดคือ สูตรที่ 11 เพื่อให้ได้ค่า Hardness และ Compression Set ที่เหมาะสม จึงปรับปรุงสูตรโดยการลดปริมาณ Co-agent กับ Curing agent ลง ดังสูตรที่ 13-15 โดย ในแต่ละสูตรทดลองลดเวลาในการขึ้นรูปลง 1 นาที พบว่าสูตรที่ 15 ที่ใช้เวลาขึ้นรูปเท่ากับ Cure time ให้ คุณสมบัติของโพลีเมอร์ตามที่ต้องการ จึงใช้สูตรนี้เป็นสูตร คอมพาวด์ midsole

3.2.4 สูตรคอมพาวด์ยางตัวกลาง

ยางตัวกลางใช้สำหรับการทดลองการประกบติด ของ midsole และ outsole โดยอาศัย UV Cure ซึ่งมี สูตรของคอมพาวด์ดังสูตรที่ 14 ในตารางที่ 2

เหตุที่ใช้พอลิเมอร์เป็น SBR เพียงอย่างเดียว เนื่องจากว่า SBR มีพันธะคู่ซึ่งเหมาะกับการทำให้เกิด สายโซ่เชื่อมโยงด้วยระบบ UV Cure อีกทั้งในโพลีเมอร์ และ ยางก็มี SBR เป็นส่วนประกอบจึงเชื่อว่าจะทำให้เกิดการ ยึดติดกันได้

3.3 ผลของการใส่สารช่วยให้เกิดสายโซ่เชื่อมโยง ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต

จากการทดลองเติมสารช่วยให้เกิดสายโซ่เชื่อมโยง ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตในคอมพาวด์ outsole ดังสูตรที่ 6 ตารางที่ 2 พบว่าการเติมสารดังกล่าวมีผลต่อระบบ การ cure คือ scorch time และ cure time สั้นลงเป็นผล เนื่องมาจากการที่สารช่วยให้เกิดสายโซ่เชื่อมโยงด้วย รังสีอัลตราไวโอเลตมีองค์ประกอบของกำมะถันอยู่ใน โมเลกุลซึ่งอาจรบกวนระบบ sulphur cure ได้ จึงทำ การปรับสัดส่วนของตัวเร่งกับกำมะถันดังสูตรที่ 7-13 จากการทดสอบคุณสมบัติของคอมพาวด์ สูตรที่ 13 ให้ คุณสมบัติด้านการ cure และสมบัติเชิงกลที่เหมาะสม

ส่วนการเติมสารช่วยให้เกิดสายโซ่เชื่อมโยงด้วย รังสีอัลตราไวโอเลตในคอมพาวด์ midsole ดังสูตรที่ 16

ตารางที่ 3 พบว่าการเติมสารดังกล่าวไม่มีผลใดๆ กับ การขึ้นรูปและคุณสมบัติของ midsole

3.4 ผลการยึดติด midsole กับ outsole โดยไม่ อาศัยการ

จากการทดสอบการยึดติดโฟมกับยาง 2 วิธีการ คือ การยึดติดแบบมียางตัวกลางที่ใส่สารช่วยให้เกิด UV Cure กับการยึดติดแบบไม่อาศัยยางตัวกลางแต่ใส่สาร UV Cure ในโฟมและยางโดยตรง พบว่าการยึดติดโฟม และยางโดยไม่ใช้กาวทั้งสองวิธีนี้สามารถทำให้โฟมและ ยางยึดติดกันได้ แต่วิธีแบบไม่อาศัยยางตัวกลางจะมี การเชื่อมติดที่ดีกว่าซึ่งดูได้จากรอยเชื่อมติดที่สนิททั้ง ชิ้นงานแตกต่างจากอีกวิธีที่มีรอยแยกของผิวบริเวณ ขอบพื้นรองเท้า

การทดสอบแรงในการยึดติดของโฟมและยางโดยใช้ วิธี T-peel test พบว่าชิ้นงานที่ใช้ตัวกลางมีค่าความ แข็งแรงของการยึดติดเฉลี่ยเท่ากับ 0.86 Kg/cm มี ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.7 Kg/cm ในขณะที่ชิ้นงานที่ยึดติด แบบไม่อาศัยตัวกลางมีค่าความแข็งแรงของการยึดติด เฉลี่ยเท่ากับ 0.91 Kg/cm มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.3 Kg/cm ซึ่งจะเห็นว่าชิ้นงานที่ยึดติดแบบไม่อาศัยตัวกลางมี ความแข็งแรงในการยึดติดสูงกว่าและบางส่วนของ ชิ้นงานมีค่าความแข็งแรงของการยึดติดใกล้เคียงกับ มาตรฐานทั่วไปของพื้นรองเท้า (2.5 Kg/cm)

เหตุที่ชิ้นงานที่ใช้ตัวกลางมีค่าความแข็งแรงของการ ยึดติดต่ำเป็นผลเนื่องมาจากยางตัวกลางมี Scorch time สั้นเกินไป และชั้นยางตัวกลางหดตัวหลังจากตัดเพื่อขึ้น รูป

การเพิ่มแรงยึดติดของโฟมและยางโดยไม่อาศัยการ ตามวิธีในงานวิจัยนี้สามารถทำได้โดยลดค่า Hardness ของโฟมลง และทำให้ส่วนของยางที่จะติดกับโฟมมีค่า Scorch time ยาวขึ้น เพราะเมื่อได้รับความร้อนโฟมและ ยางจะนิ่มขึ้นและมีโอกาสสัมผัสกันได้มากขึ้น

4. สรุปผลการทดลอง

การทำให้โฟมและยางยึดติดกันโดยไม่อาศัยการ สามารถทำได้โดยใช้ระบบ UV Cure ซึ่งสามารถลด ขั้นตอนการผลิตพื้นรองเท้าในกระบวนการทั่วไปได้

โดยมีวิธีการยึดติด 2 วิธี คือการยึดติดแบบมียาง ตัวกลางที่ใส่สารช่วยให้เกิด UV Cure กับการยึดติด แบบไม่อาศัยยางตัวกลางแต่ใส่สาร UV Cure ในโฟม และยางโดยตรง จากการทดลองพบว่าการยึดติดแบบ ไม่อาศัยยางตัวกลางให้ผลการยึดติดดีที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

1. งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักงาน กองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการ โครงการงานอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2546

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย ได้รับการ อนุเคราะห์จาก บริษัท พี ไอ อินดัสทรี จำกัด กรุงเทพฯ

3. สถานที่ทำการทดสอบการประกบติดโฟมและ ยาง คือ โรงงานของ บริษัท รังสิต ฟุตแวร์ จำกัด จ.พระนครศรีอยุธยา

เอกสารอ้างอิง

- Decker, C.; Nguyen Thi Viet, T. Polymer 41(2000): 3905-3912.
- Pastor-Blas, M. M.; Torregrosa-Macia, R.; Martinez, J. M.; Dillard, J. G. Inter national Journal of Adhesion & Adhesive 17(1997): 133-141.
- Romero-Sánchez, M. D.; Pastor-Blas, M. M.; Ferrándiz-Gómez, T. P.; Marín-Martínez, J. M. International Journal of Adhesion & Adhesive 21(2001): 101-106.
- Abbott, S. G.; Brewis, D. M.; Manley, N. E.; Mathieson, I.; Oliver, N. E. International Journal of Adhesion & Adhesive 23(2003): 225-230.

ตารางที่ 2 การพัฒนาสูตรคอมพาวด์ยาง outsole (หน่วยเป็น Phr)

ส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
BSTE SBR 1502	30	40	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	100
BSTE BR 1220	30	30	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	-
TTR 5L	30	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-
JSR N230 SH	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	-
Silica Tokusil URT	34	44	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
PS 32 T	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ZnO Active	3	3	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Lowinox CPL	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Antilux 654	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Stearic acid	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PEG 4000 N	2.5	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Strukiol 60 NS	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SI 69	-	1.5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Lucilin TPO (UV Initiator)	-	-	-	-	-	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%
TRIS	-	-	-	-	-	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
MBTS	1	1	1	1	1.2	1.0	1.0	1.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2
TMTM	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.2	-	0.1	0.1	0.1	0.1
S-powder	1.7	1.8	1.8	2	2	1.8	1.8	1.8	1.5	1.8	1.8	1.5	1.5	1.5

ตารางที่ 3 การพัฒนาสูตรคอมพาวด์โฟม midsole (หน่วยเป็น Phr)

ส่วนผสม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Elvax 462	100	90	80	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
BSTE SBR 1502	-	10	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
CaCO ₃ Q-Min	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Silica Tokusil URT	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
ZnO Active	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Zn stearate	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Stearic acid	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
SR 350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1.5	2	1	0.8	0.8	0.8
Lucilin TPO (UV Initiator)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01%
TRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1%
Cellcom AC 3000F	3	3	3	3	3	2.5	2.5	2	2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
DCP 98%	1	2.5	2.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5	1.5	1	1	1	1	0.8	0.8