



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ รองเท้าวิ่งจากยางธรรมชาติ

โดย อีรสุดา ประเสริฐ และคณะ

ธันวาคม 2550

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการ รองเท้าแว้วจากยางธรรมชาติ

คณะผู้วิจัย

ธีรสุดา ประเสริฐ

นายพีรพงษ์ ลิขนะนันท์

สังกัด

ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์(ปัตตานี) อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000

ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์(ปัตตานี) อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000

ชุดโครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความคิดเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) รองเท้าวัวจากยางธรรมชาติ

(ภาษาอังกฤษ) Natural Rubber Shoe for Treatment of Lameness

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail

ชื่อ-สกุล ชีรสุดา ประเสริฐ

หน่วยงาน ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่อยู่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์(ปัตตานี) อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000

โทรศัพท์/โทรสาร 073-312-213/ 073-331-099 E-mail pthirasu@bunga.pn.psu.ac.th

นักศึกษาผู้ร่วมวิจัย นายพิรพงษ์ ลิขะนันท์

งบประมาณทั้งโครงการ 89,000 บาท

ระยะเวลาดำเนินงาน 15 เดือน ตั้งแต่วันที่ 30 กันยายน 2549 ถึงวันที่ 30 ธันวาคม 2550

ปัญหาและความสำคัญของโครงการ

ผลิตภัณฑ์รองเท้าวัวเป็นวัสดุที่ใช้ในทางการแพทย์เพื่อสวมใส่ให้วัวเมื่อวัวเกิดการบาดเจ็บที่กีบเท้า โดยการยกขึ้นของกีบเท้าข้างที่ไม่บาดเจ็บด้วยรองเท้าเพื่อป้องกันการสัมผัสของบาดแผลกับพื้น ในประเทศไทยนั้น สัตวแพทย์นิยมใช้รองเท้าวัวที่ทำจากไม้เนื่องจากมีราคาถูกและหาซื้อง่าย แต่มีความแข็งแรงกระด้างไม่ยืดหยุ่นและไม่สามารถตัดแต่งให้เข้ากับกีบเท้าวัวที่มีหลากหลายขนาดได้ และรองเท้าวัวที่ทำจากพลาสติก PVC แต่มีราคาต่อชิ้นสูงมาก (1500 บาท) เนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศเท่านั้น งานวิจัยนี้มุ่งที่จะผลิตต้นแบบของผลิตภัณฑ์รองเท้าวัวจากยางธรรมชาติ เพื่อพัฒนาให้ได้รองเท้ายางวัวที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงหรือดีกว่ารองเท้าวัวที่มีอยู่ในท้องตลาด และสามารถนำไปทดลองใช้จริงได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบแบบพิมพ์เพื่อใช้ขึ้นรูปรองเท้ายางที่มีรูปแบบตรงตามจุดประสงค์การใช้งาน
2. เพื่อออกสูตรยางธรรมชาติให้มีคุณสมบัติที่จะใช้เป็นรองเท้าวัวได้
3. เพื่อศึกษาผลของชนิดสารตัวเติมและปริมาณของสารตัวเติมต่อความแข็งแรงของยาง
4. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนยางธรรมชาติต่อยางลดต้นทุนต่อสมบัติที่จำเป็นของรองเท้าวัว
5. เพื่อหาสูตรยางที่มีสมบัติการแปรรูปและสมบัติทางฟิสิกส์ที่เหมาะสมเพื่อทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบรองเท้าวัว
6. เพื่อศึกษาการออกแบบรองเท้าวัวแบบสองความแข็งแรงต่อการกระจายแรงกดทับ
7. เพื่อประเมินงานเบื้องต้นของต้นแบบผลิตภัณฑ์รองเท้าวัวจากยางธรรมชาติที่ผลิตได้

ผลการดำเนินการ

แนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์รองเท้าวัวจากยางธรรมชาติเพื่อใช้รักษาอาการบาดเจ็บที่กีบเท้าวัว เริ่มจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของรองเท้าวัวพบว่าจำเป็นต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศเท่านั้นและในขณะนี้ไม่มีการนำเข้า

รองเท้าวิ่งเนื่องจากบริษัทจะนำเข้าก็ต่อเมื่อมีการสั่งเป็นจำนวนมากเท่านั้น ตอกย้ำถึงความจำเป็นที่ต้องเร่งผลิตรองเท้าวิ่งเพื่อใช้ในประเทศ จากการศึกษาลักษณะและขนาดของรองเท้าวิ่ง พบว่ารูปร่างและขนาดของรองเท้าวิ่งที่มีจำหน่ายมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับกรอบแบบของแต่ละบริษัทที่ทำการผลิต ในการออกแบบเข้าพิมพ์เพื่อใช้อัดยางด้วยเครื่องอัดยางให้คงรูปร่างนั้นใช้ขนาดและรูปทรงที่ใกล้เคียงกับสรีระก้นเท้าวิ่งที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากรองเท้าจากยางสามารถตัดแต่งขนาดให้เล็กลงได้ ซึ่งในส่วนพื้นรองเท้าถูกออกแบบให้มีแนวสันแบบทแยงเพื่อถ่วงการลื่นไถล

ข้อมูลทางการสัณฐานวิทยาเกี่ยวกับสรีระและการถ่ายเทน้ำหนักของเท้า พบว่าวิ่งมีการถ่ายเทน้ำหนักตัวโดยมากที่ส่วนสันของก้นเท้า ในการออกแบบจะคำนึงถึงการรับน้ำหนักของส่วนสันก้นเท้าให้มากกว่าส่วนปลายเท้า เพื่อให้การถ่ายเทน้ำหนักเป็นไปโดยธรรมชาติมากที่สุด โดยออกแบบโครงสร้างของรองเท้าวิ่งให้เป็น dual hardness ใช้ยางที่มีความแข็งมากกว่าในส่วนสันก้นเท้า การออกแบบสูตรให้ยางทั้งสองส่วนมีเวลาและอัตราในการวัลคาไนซ์ในระดับเดียวกันเพื่อที่จะทำการอัดเข้ายางสองส่วนภายใต้สภาวะเดียวกัน

การออกแบบสูตรพัฒนาจากสูตรยางพื้นฐานที่ใช้ทำพื้นรองเท้า ในการประเมินหาสูตรยางที่ให้คุณสมบัติที่ดีที่สุดเพื่อใช้ทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบรองเท้าวิ่งนั้นพิจารณาเน้นหนักจากสมบัติ compression strength และ hardness เนื่องจากรองเท้าจะต้องมีความสามารถที่จะรับน้ำหนักตัวได้โดยไม่เกิดการแตกหักและมีความแข็งแรงมากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการยุบตัวเมื่อรับน้ำหนักของเท้า ตามลำดับ ส่วนสมบัติทางด้าน tensile strength, elongation at break, abrasion resistance และ aging resistance นั้นจะนำมาพิจารณาในลำดับรอง เนื่องจากสมบัติเหล่านี้มีผลต่อการใช้งานไม่มาก ระยะเวลาเฉลี่ยในการใช้งานรองเท้าเพียง 2 สัปดาห์และโดยปกติจะใช้งานแล้วทิ้ง ทั้งนี้สมบัติ tensile strength ถูกนำมาพิจารณาในช่วงต้นเพื่อใช้ในการประเมินสมบัติรองเท้าวิ่งให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

เพื่อให้ได้ยางที่มีความแข็งแรงและความสามารถในการรับแรงกดสูง ทำได้โดยทำการแปรชนิดและปริมาณของสารตัวเติม 5 ชนิด ได้แก่ ไฮดรอกซีไตรเรซิน, เขม่าดำ, ซิลิกา, เส้นใยสั้น และแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งยางธรรมชาติที่เลือกใช้คือยางแท่ง STR 5L วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันแบบปกติ คือใช้ กำมะถัน 3 phr ร่วมกับ CBS 0.5 phr ผลจากการทดลองพบว่า ไฮดรอกซีไตรเรซินจะให้ค่าความแข็งแรงและความต้านทานต่อแรงกดสูงสุด รองลงมาคือ เขม่าดำ เส้นใยสั้น ซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเรซินมากกว่า 20 phr จะทำให้ความต้านทานต่อแรงกดและความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง จากการศึกษาการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นสารตัวเติมลดต้นทุนร่วมกับเรซินและเขม่าดำพบว่าเมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 80 phr จะช่วยให้ค่าความแข็งแรงและความต้านทานต่อแรงกดเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้เขม่าดำหรือเรซินในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียว

เมื่อศึกษาการใช้เรซินร่วมกับสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ คือ เขม่าดำ ซิลิกา และเส้นใยสั้น พบว่า การใช้เขม่าดำร่วมกับเรซินให้ความแข็งแรงและความต้านทานต่อแรงกดสูงสุด รองลงมาคือเส้นใยสั้นและซิลิกา ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มปริมาณเรซินจะทำให้ความแข็งแรงและความต้านทานต่อแรงกดเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนเดียวกันไม่ว่าจะใช้สารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพประเภทใด แสดงให้เห็นว่าไม่มีอันตรกิริยาระหว่างเรซินและสารตัวเติมเสริมแรงที่ใช้ แต่ซิลิกามีลักษณะของการวัลคาไนซ์ที่แตกต่างจากการวัลคาไนซ์ของเส้นใยสั้นและเขม่าดำ ซึ่งจะมีผลต่อการทำชิ้นงานสองส่วนในลำดับต่อไป จากนั้นศึกษาเปรียบเทียบการใช้เขม่าดำร่วมกับเรซินและเขม่าดำร่วมกับเส้นใยสั้นพบว่าทั้งสองสูตรให้ค่าความแข็งแรงและความต้านทานต่อแรงกดสูงขึ้น ในขณะที่ความต้านทานต่อแรงดึงลดลงเมื่อใช้ปริมาณสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้น โดยสูตรที่ใช้เขม่าดำและเรซินจะให้ค่าความแข็งแรงและความต้านทานต่อแรงกดสูงกว่าสูตรที่ใช้เขม่าดำร่วมกับเส้นใยสั้น

การศึกษาการกระจายแรงกดทับบนพื้นพบว่ายังที่มีความแข็งแรงสูงกว่า จะช่วยให้แรงกดทับเพิ่มขึ้นต่อพื้นมีปริมาณลดลง เมื่อใช้ยางแบบความแข็งแรงสองส่วนพบว่าที่ความแข็งแรงระดับเดียวกันมีแรงกดทับเพิ่มขึ้นสูงปรากฏอยู่ แต่เมื่อใช้ยางที่มีความแข็งแรงมากขึ้นมารองรับแรงในส่วนที่มีการกดทับสูงส่งผลให้แรงกดทับเพิ่มขึ้นมีค่าลดลง เมื่อความแข็งแรงมีค่าสูงกว่า 80 Shore A แรงกดทับเพิ่มขึ้นไม่ปรากฏให้สังเกตได้ เมื่อนำรองเท้าวิ่งไปทดสอบการใช้งานเบื้องต้นโดยได้รับความร่วมมือจากภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่า สูตรที่ใช้เรซินร่วมกับเขม่าดำจะใช้งานได้ดีกว่า สูตรที่ใช้เส้นใยเส้นร่วมกับเขม่าดำ โดยรองเท้ายางวิ่งสามารถรับแรงกดกระแทกซึ่งเกิดจากน้ำหนักตัวของวิ่งได้ และมีความคงตัวสูง การประเมินการใช้ต้นแบบของผลิตภัณฑ์รองเท้าวิ่งยางธรรมชาติเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานโดยสัตวแพทย์พบว่ารองเท้ายางวิ่งมีลักษณะเด่นคือการใช้งานที่สามารถดัดแปลงขนาดรองเท้าให้เข้ากับกับเท้าวิ่งแต่ละตัวได้โดยใช้มีดตัดแต่งกับ สามารถใช้แบบตอกหมุดแต่วิธีการนี้จำเป็นที่จะต้องผู้ใช้ผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น แต่มีข้อด้อยในเรื่องของการยึดติดด้วยกาว ลักษณะการขึ้นของวิ่งบนรองเท้า จึงมีการปรับปรุงพื้นผิว พบว่าทำให้รองเท้ายางวิ่งเกิดยึดติดดีมากขึ้น แต่ทั้งนี้จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมอย่างเป็นระบบในจุดนี้

สรุปผลการวิจัย

ข้อเสนอแนะที่คิดว่าควรวิจัยเพิ่มเติมและวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

4

รหัสโครงการ: RGD4950121
ชื่อโครงการ: รองเท้าวิ่งจากยางธรรมชาติ
ชื่อนักวิจัย: ชีรสุดา ประเสริฐ
สังกัด: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
โทรศัพท์: 073-313930-50 ต่อ 1862
E-mail: pthirasu@bunga.pn.psu.ac.th
ระยะเวลาโครงการ: 30 กันยายน 2549 ถึง 30 ธันวาคม 2550

บทคัดย่อ

การทำรองเท้าวิ่งเพื่อใช้รักษาอาการบาดเจ็บที่ก้นเท้า ทำได้โดยการออกสูตรยางเพื่อให้ได้สมบัติผ่านตามเกณฑ์สมบัติรองเท้าวิ่งทางการค้า นอกจากนี้ยังออกแบบรองเท้าให้เข้ากับสรีระของก้นเท้าเพื่อการถ่ายเทน้ำหนักของก้นเท้าเป็นไปอย่างเป็นธรรมชาติ ยางธรรมชาติที่เลือกใช้คือ ยางแท่ง STR 5L และมีการแปรชนิดและปริมาณของสารตัวเติม 5 ชนิด ได้แก่ ไฮ-สไตรีนเรซิน, เขม่าดำ, ซิลิกา, เส้นใยสั้น และแคลเซียมคาร์บอเนต วัดค่าในแง่ด้วยระบบกัมมันตภาพรังสี พบว่าสูตรที่ใช้ไฮ-สไตรีนเรซินให้ความแข็งแรงและความต้านทานต่อแรงกดสูงสุด รองลงมาคือ เขม่าดำ เส้นใยสั้น ซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ เมื่อศึกษาการใช้เรซินร่วมกับสารตัวเติมเสริมแรง โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 80 phr พบว่าสูตรที่ใช้เรซินร่วมกับเขม่าดำมีความแข็งแรงและความต้านทานต่อแรงกดสูงกว่าสูตรที่ใช้เรซินร่วมกับเส้นใยสั้น และซิลิกา ตามลำดับ เมื่อผสมยางรีเคลมกับยางธรรมชาติพบว่าเมื่อปริมาณยางรีเคลมเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความแข็งแรงและความต้านทานต่อแรงกดเพิ่มขึ้นในขณะที่มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงทั้งสูตรยางที่ใช้เขม่าดำร่วมกับเรซินและเขม่าดำร่วมกับเส้นใยสั้น แต่ที่ปริมาณยางรีเคลมเกินกว่า 20 phr จะทำให้ยางมีลักษณะพื้นผิวที่แฉะและความต้านทานต่อแรงกดมีแนวโน้มลดลง สูตรที่ใช้เรซิน 20 phr มีความแข็งแรงเท่ากับ 83 Shore A และค่าการรับแรงกดเท่ากับ 23.59 MPa และสูตรที่ใช้เส้นใยสั้น 30 phr มีความแข็งแรงเท่ากับ 80 Shore A และค่าการรับแรงกดเท่ากับ 22.34 MPa ผ่านตามเกณฑ์รองเท้าวิ่งที่กำหนด การทดสอบการกดทับพบว่ายางที่มีความแข็งแรงสูงกว่า 80 Shore A จะช่วยให้แรงกดเพิ่มขึ้นบนพื้นผิวลดปริมาณลง และเมื่อใช้ยางสองความแข็งแรงพบว่าแรงกดเพิ่มขึ้นมีปริมาณลดน้อยลงเมื่อยางสองส่วนมีความความแข็งแรงแตกต่างกัน 6 Shore A การทดสอบการใช้งานเบื้องต้นโดยภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่า สูตรที่ใช้เรซินร่วมกับเขม่าดำจะมีการยึดติดได้ดีกว่าสูตรที่ใช้สูตรที่ใช้เส้นใยสั้นร่วมกับเขม่าดำเนื่องมาจากการดูดซับน้ำของเส้นใยสั้นที่ก่อเกิดจุดอ่อนแอ โดยรองเท้ายางวิ่งสามารถคงตัวเพื่อรับแรงกดซึ่งเกิดจากน้ำหนักตัวของวิ่งได้ แต่ยังมีข้อด้วยเรื่องของการยึดติด

คำสำคัญ: รองเท้าวิ่ง, เขม่าดำ, เส้นใยสั้น, รีเคลม, ความต้านทานต่อแรงกด

Project code: RGD4950121
Project title: Natural Rubber Shoe for Treatment of Lameness in Dairy Cattle
Investigator: Thirasuda Prasert
Telephone number: 073-313930-50 ext 1862
E-mail: pthirasu@bunpa.pn.psu.ac.th
Project duration: 30 September 2006 to 30 December 2007

Abstract

The research aims to design natural rubber compound formulation for developing orthopedic shoe as an aid in the treatment of lameness in dairy cattle. Cow shoe was designed to anatomically shape to fit a claw, thus walking feeling of the cow will not be influenced. Reinforcement of natural rubber with various fillers to meet standard requirements of cow shoe was investigated. High styrene resin(RS), silica, carbon black(CB), short fiber(SF) and calcium carbonate were added and varied from 0 to 60 phr with STR 5L as base elastomer using conventional vulcanization system. Tensile strength, abrasion resistance, tear strength, hardness, and density were determined. Vulcanizates containing 50 phr of high styrene resin gave highest hardness and compression strength as compared to vulcanizates containing silica and short fiber, respectively. Combination of CB/RS and CB/SF fillers using 80 phr of calcium carbonate were effective in improving hardness and compression strength with a reduction in tensile strength. With incorporation of reclaimed rubber (RR) in different proportions, keeping fixed total rubber quantity in the recipe, hardness and compression strength of CB/RS and CB/SF compounds with the increment of RR were enhanced, while tensile strength was adversely affected. The results revealed that vulcanizates containing 50 phr of CB with 20 phr of RS and 50 phr of CB with 30 phr of SF exhibited overall properties to pass cow shoe standard. Local pressure concentration exerted to the contact area became reduced to acceptable limit as hardness of cow shoe was increased. The pressure distribution was unevenly distributed over a contact area in a way depends on the hardness of the shoe. Natural rubber cow shoe were evaluated by specialized veterinarian. Cow shoe made with a CB/RS exhibited the best overall performance with regard to adhesion to claw and shape retention supporting cow weight.

Keyword: orthopedic shoe, lameness, carbon black, short fiber, reclaimed rubber

ความสำคัญของโครงการ

ผลิตภัณฑ์รองเท้าวัว(cow shoe)เป็นวัสดุทางการแพทย์ที่ใช้สวมใส่ให้วัวเมื่อวัวเกิดอาการบาดเจ็บที่กีบเท้า (foot lameness or sole injuries)ซึ่งมักเกิดขึ้นกับวัวที่เลี้ยงในฟาร์มโคนมที่ต้องยืนอยู่บนพื้นซีเมนต์เป็นเวลานาน สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการกดทับของกีบเท้าที่งอกขึ้นใหม่กับพื้นซีเมนต์ที่มีความแข็งกระด้างสูง และปัจจัยอื่นๆ เช่น การติดเชื้อ(infection), ความบกพร่องทางโภชนาการ (nutritional deficiency), หรือระบบการย่อยอาหารที่ถูกรบกวน(metabolic disturbances) เป็นต้น [1] แม้วัวที่มีอาการบาดเจ็บที่เท้ามักมีภาวะความเครียดที่เกิดจากความเจ็บปวดภายในเนื้อเยื่อกีบส่งผลทำให้ไม่ยอมกินอาหารและผลิตน้ำนมลดลง [1] ก่อให้เกิดการสูญเสียผลผลิตน้ำนมโดยรวม (milk production losses) ต่อวันของฟาร์มโคนมเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายที่จะต้องใช้ในการจัดการฟาร์มเพื่อแยกวัวป่วยและรักษาอาการบาดเจ็บอีกด้วย

การรักษาอาการบาดเจ็บที่กีบเท้าวัวอาศัยการใช้ยาปฏิชีวนะร่วมการยกขึ้นของกีบเท้าข้างที่ไม่บาดเจ็บด้วย รองเท้าวัว เพื่อช่วยในการพยุงตัววัวลดปัญหาแรงกดทับบนบาดแผลเนื่องจากน้ำหนักวัว(weightbearing forces) ซึ่งอาจมีน้ำหนักมากถึง 600 กิโลกรัม ส่งเสริมการหายของบาดแผล ป้องกันการสัมผัสของบาดแผลกับพื้นและยังลดความเจ็บปวดที่เกิดขึ้นภายในกีบเท้าอีกด้วย ผลิตภัณฑ์รองเท้าวัวที่ใช้ในทางการแพทย์มีลักษณะเป็นบล็อก มีรูปร่างเลียนแบบคล้ายกีบเท้าของวัว วัสดุที่นิยมใช้มีด้วยกัน 2 แบบทั้งที่เป็นแบบพลาสติกซึ่งมีจำหน่ายทางการค้า คือ Cowslips®, Demotec, และ Super Cow Clog 30 และแบบไม้(wooden block) รองเท้าวัวที่ทำจากไม้ได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานสูงเนื่องจากหาซื้อง่ายและมีราคาถูกแต่มีความแข็งกระด้างไม่ยืดหยุ่น วัวไม่มีความสุขเมื่อถูกสวมใส่ อาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้วัวไม่ยอมกินอาหารและลดการให้น้ำนม [2] ส่วนรองเท้าวัวที่ทำจากพลาสติกที่ผลิตจากพลาสติก PVC (polyvinyl chloride) นั้นถึงแม้มีความนิ่มและยืดหยุ่นที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดความสบายเมื่อสวมใส่(wear comfort) ทำให้อัตราการหายจากอาการบาดเจ็บ (recovery rate) สูงกว่ารองเท้าไม้ [2] แต่มีมีราคาต่อชิ้นสูงเนื่องจากจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศเท่านั้น เจ้าของฟาร์มโคนมหรือเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมรายย่อยของไทยยังขาดงบประมาณในการจัดซื้อ และเนื่องจากที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศยังส่งผลให้การสั่งซื้อทำได้ค่อนข้างยากจึงไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้งานมากนัก และถึงแม้ว่าพลาสติก PVC มีความสามารถในการยืดหดสูงและสามารถปรับความนิ่มได้ง่าย แต่มีสมบัติเชิงฟิสิกส์และความยืดหยุ่นไม่ดีเท่ากับยางธรรมชาติ อีกทั้งก๊าซที่ปลดปล่อยในระหว่างกระบวนการผลิตและสารเคมีที่ใช้ในการปรับความนิ่มมีความเป็นพิษสูงก่อให้เกิดปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักที่จะพัฒนาวัสดุเพื่อใช้ทดแทนรองเท้าวัวที่ผู้ประกอบการฟาร์มโคนมไทยต้องเสียจากการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศและส่งเสริมให้มีความตระหนักในการใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศคือยางพาราให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติแปรรูปขึ้นดิน อาทิ ยางแผ่น ยางแท่ง ยางเครพ น้ำยางข้น ส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของโลก แต่มีการนำไปใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ยางเพื่อใช้ในประเทศและมีการส่งออกในรูปผลิตภัณฑ์ยางเพียงแค่ 10 % ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อเป็นการสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการใช้ยางธรรมชาติในประเทศเพิ่มมากขึ้น จึงมีความสนใจในการนำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ คือ รองเท้าวัวจากยางธรรมชาติที่ใช้รักษาโคนมที่มีอาการบาดเจ็บที่กีบเท้า ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีการผลิตในประเทศไทย ต้องนำเข้าจากต่างประเทศด้วยราคาต่อชิ้นค่อนข้างสูง การใช้งานจะใช้เพียงครั้งเดียวและไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ฉะนั้นถ้าสามารถผลิตได้ในโรงงานในประเทศก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง เพราะสามารถลดการสั่งซื้อจากต่างประเทศ และหากมีกำลังการผลิตมากเพียงพอ อาจทำการผลิตเพื่อส่งออกสินค้ารายได้เข้าประเทศ น่าจะเป็นแนวทางหนึ่งใน

การเพิ่มมูลค่า ประหยัดรายจ่ายการนำเข้าและการนำทรัพยากรที่มีมากในประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และยังเป็น การช่วยส่งเสริมให้เกษตรกรผู้เลี้ยง ไก่ของ ไทย ได้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในประเทศซึ่งมีคุณภาพทัดเทียมกับ ผลิตภัณฑ์นำเข้าจากต่างประเทศได้อีกทางหนึ่ง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการหาแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์รองเท้าจากยางธรรมชาติเพื่อใช้รักษาอาการบาดเจ็บที่ก้นเท้าในทางการสัตวแพทย์ โดยการออกแบบสูตร, ผลิต, และทดสอบสมบัติ เพื่อให้ได้ต้นแบบของผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานและนำไปทดลองใช้จริงในวันมที่โรงพยาบาลสัตว์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พร้อมทั้งใช้เพื่อเป็นข้อมูลในถ่ายทอดเทคนิคและเทคโนโลยีการผลิตรองเท้าจากยางธรรมชาติสู่โรงงานอุตสาหกรรมยางที่สนใจผลิตเป็นการค้าต่อไป

ทางเลือกและแนวทางการแก้ปัญหา

รองเท้าต้องสามารถรับแรงกดกระแทกซึ่งเกิดจากน้ำหนักตัวของวัวได้โดยไม่เสียรูปทรง มีความยืดหยุ่นเพียงพอเพื่อให้เกิดความสบายในการสวมใส่ กล่าวคือมีความยืดหยุ่นและคงตัวสูงเมื่อต้องรับน้ำหนักมาก ๆ อีกทั้งยังต้องมีความสามารถในการยืดเกาะพื้นได้ดีในระหว่างการล้างทำความสะอาดมูลวัวบริเวณพื้นโรงเลี้ยงที่ต้องกระทำเป็นประจำทุกวัน มีความคงทนต่อการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างพื้นรองเท้าและพื้นซีเมนต์ ยางธรรมชาติถือเป็นวัสดุที่เหมาะสมควรมากในการนำมาผลิตรองเท้าเนื่องจากมีสมบัติการคืนตัวเกือบร้อยเปอร์เซ็นต์เมื่อปล่อยแรงกด มีความยืดหยุ่นสูง รับแรงเฉือนและแรงสั่นสะเทือนได้ดี สามารถปรับความแข็งแรงของยางให้รับน้ำหนักที่แตกต่างกันได้ มีความคงทนต่อการสึกหรอและฉีกขาดได้ดี [4] และเนื่องจากรองเท้าดังกล่าวนี้ใช้สวมใส่ชั่วคราวเมื่อวัวมีอาการบาดเจ็บเท่านั้นจึงมีแนวความคิดที่จะใช้ยางธรรมชาติร่วมกับยางรีเคลมที่มีราคาไม่สูงมากนักแต่มีความแข็งแรงมากกว่ายางธรรมชาติ เพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิตโดยยังคงสมบัติเด่นผ่านตามาตรฐานผลิตภัณฑ์รองเท้าวัวไว้ได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะผลิตต้นแบบของผลิตภัณฑ์รองเท้าจากยางธรรมชาติร่วมกับยางรีเคลมและสารตัวเติม เพื่อพัฒนาให้ได้อะไหล่ยางวัวที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงหรือดีกว่ารองเท้าวัวที่มีอยู่ในท้องตลาด

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการหาแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์รองเท้าจากยางธรรมชาติเพื่อใช้รักษาอาการบาดเจ็บที่ก้นเท้าในทางการสัตวแพทย์ โดยการออกแบบสูตร, ผลิต, และทดสอบสมบัติ เพื่อให้ได้ต้นแบบของผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งาน โดยจะทำการผลิตจากยางธรรมชาติชนิดแห้งร่วมกับสารตัวเติมและยางรีเคลม ใช้กระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด (compression mold) และพัฒนาสูตรยางจากสูตรยางพื้นฐานที่ใช้ทำพื้นรองเท้า (sole formulation) [5-6] โดยจะทำการศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมที่ใช้ต่อสมบัติทางฟิสิกส์ เช่น hardness, compression strength, tensile properties, density, abrasion และ aging resistance เป็นต้น เพื่อหาสูตรยางที่ให้คุณสมบัติที่ดีที่สุดเพื่อใช้ทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ และทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานจริงโดยทีมสัตวแพทย์ การศึกษาวิจัยนอกจากจะคำนึงถึงคุณภาพและประสิทธิภาพในการใช้งานแล้ว ยังจะคำนึงถึงการออกแบบรองเท้าเพื่อให้เข้ากับสรีระของเท้าวัว โดยจะคำนึงถึงการถ่ายเทน้ำหนักบนก้นเท้าอย่างเป็นธรรมชาติเพื่อให้มีผลกระทบต่อการใช้งานของวัวน้อยที่สุด ทั้งนี้ในการออกแบบแบบพิมพ์เพื่อทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบจะทำงานร่วมกับสัตวแพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านโคนมใน ผลสำเร็จของงานวิจัยจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการถ่ายทอดเทคนิคและเทคโนโลยีให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมยางที่สนใจจะทำการผลิตเพื่อเป็นการค้าต่อไป

วิธีการดำเนินการ

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ยางธรรมชาติ (NR เกรด STR 5L) ผลิตโดยบริษัท ถาวรอุตสาหกรรมยางแท่ง จำกัด สารตัวเติมเสริมแรงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เขม่าดำ (Carbon Black) ชนิด high abrasion furnace black (HAF N-330) มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 84 m²/g ขนาดอนุภาค 28–36 nm ผลิตโดยบริษัท เพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด ซิลิกา (Silica) เกรด Perkasil KS 404 มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 160 m²/g nm ขนาดอนุภาค 20 nm โดยบริษัท โอเรียนตัลสยาม จำกัด เส้นใยสั้น (Short Fibre) เกรด SANTOWEB D ผลิตโดยบริษัท รีไลแอนท์เทคโนโลยี (Flexsys) จำกัด ไฮสไตรีนเรซิน (High-Styrene Resin) เกรด SS260 มีสัดส่วนไฮสไตรีนต่อบิวทาไดอีน 82.5/17.5 ผลิตโดยบริษัท Polysar จำกัด แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) ชนิด ground-calcium carbonate ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 10 µm ผลิตโดยบริษัท เพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด สารเคมีชนิดอื่นๆ ที่ใช้เป็นองค์ประกอบในการผสมเคมียาง ได้แก่ กรดสเตียริก (Stearic acid) ผลิตโดยบริษัท อิมพีเรียล อินดัสทรีเคมีคอล ประเทศไทย จำกัด ซิงค์ออกไซด์ (ZnO), กำมะถัน (Sulphur, S₈), เอ็น1,3-ไดเมทิลบิวทิล-(เอ็น-เฟนิล-พี-เฟนิลีนไดอามีน (N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine, 6PPD), และ ไดเอทิลีนไกลคอล (DEG) ผลิตโดยบริษัท เพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด เอนไซโคลเฮกซิล-2-เบนโซไทอาซัลฟีนาไมด์ (N-cyclohexyl-2-benzothiazyl sulphenamide, CBS) ผลิตโดยบริษัท รีไลแอนท์ เทคโนโลยี (Flexsys) จำกัด และยางรีเคลม ผลิตโดยบริษัท ยูเนียนคอมเมอร์เชียล ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด มีปริมาณเขม่าดำ 24% สารเคมีทุกตัวถูกนำไปใช้ตามที่ได้รับมา

การเตรียมยางคอมปาวด์และยางวัลคาไนซ์

ตารางที่ 1 แสดงสูตรการผสมสารเคมีที่ใช้เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมในงานวิจัยนี้ โดยใช้ระบบการวัลคาไนซ์แบบปกติ ทำการแปรชนิดและปริมาณของสารตัวเติม 5 ชนิด ได้แก่ ไฮสไตรีนเรซิน, เขม่าดำ, ซิลิกา, เส้นใยสั้น และแคลเซียมคาร์บอเนต ยางคอมปาวด์ที่ใช้เพื่อศึกษาการผสมยางรีเคลม ทำได้โดยใช้สูตรส่วนผสมต่างๆ ดังตารางที่ 1 (reclaim) โดยปริมาณของยางธรรมชาติและยางรีเคลมมีปริมาณรวมกันเท่ากับ 100 phr การผสมยางทำในเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง อุณหภูมิเริ่มต้น 70 °C ระยะเวลาในการผสม 25 นาที ทำการปรับความหนืดให้ยางธรรมชาติผ่านลูกกลิ้ง 10 ครั้ง จากนั้นให้ยางพันลูกกลิ้งต่อเป็นเวลา 2 นาทีโดยไม่กรีด ทำการเติมกรดสเตียริกและซิงค์ออกไซด์และบดผสมต่อเป็นเวลา 3 นาที เติมสารตัวเร่ง CBS และ 6PPD เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นทำการเติมสารตัวเติมและบดผสมเป็นเวลา 15 นาที สุดท้ายทำการเติมกำมะถัน สำหรับสูตรที่ใช้ ไฮสไตรีนเรซินจะทำการบดผสมเรซินกับยางธรรมชาติเป็นเวลา 3.5 นาที ก่อนขึ้นตอนการเติมกรดสเตียริก นำยางคอมปาวด์ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก compression moulding ที่ 150 °C ความดันยางเท่ากับ 500 psi โดยใช้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์คือ T₉₀ หาได้จากเวลาเป็นนาทีที่ค่าแรงบิดเพิ่มขึ้น 90% ของค่าแรงบิดที่เพิ่มขึ้นจาก cure curve ที่วัดจากเครื่องรีโอมิเตอร์ ดังข้างทั้งไว้ 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบสมบัติของยางคงรูป

ตารางที่ 1 สูตรการผสมสารเคมี

สารเคมี	ปริมาณ (phr)		
	Basic	Silica	Reclaim
STR 5L	100	100	100, 90, 80, 70, 60
ZnO	5	5	5
Stearic acid	2	2	2
CBS	0.5	0.5	0.5
6PPD	1	1	1
S	3	3	3
DEG	-	3	-
RR	-	-	0, 10, 20, 30,40
filler	variable	variable	variable

การทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์

การทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ (Cure Property) ทำการทดสอบด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบแผ่นหมุน (Oscillating Disk Rheometer, Monsanto รุ่น 2000) ทำมุม 1 องศา ด้วยความเร็ว 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 2084 โดยได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิด (torque) และ เวลา (time) เรียกว่า cure curve บันทึกค่าระยะเวลาในการคงรูปที่เหมาะสม (optimum cure time, t_{c90}) ค่าระยะเวลาการสกอรัช (scorch time, t_{s2}) ค่าแรงบิดต่ำสุด (minimum torque, ML) และค่าแรงบิดสูงสุด (maximum torque, MH)

การทดสอบสมบัติของยางคงรูป

การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile properties) ตามมาตรฐาน ASTM D412 (2000) ด้วยเครื่อง Hounfield Tensometer (model H 10KS) ที่อัตราการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที ชิ้นทดสอบมีรูปร่างเป็นรูปดัมเบลล์ (type C) ที่มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร

การทดสอบสมบัติการกด (Compression Strength) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 575 – 91 ใช้แรงในการกด 3 ± 12 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวอย่างยางทดสอบมีความกว้าง 0.1 ± 28.6 มิลลิเมตร และความหนา 0.5 ± 12.5 มิลลิเมตร

การทดสอบสมบัติความแข็งโดยใช้ระบบวัดความแข็ง Durometer แบบ Shore A ตามมาตรฐาน ASTM D2240 โดยใช้หัวกดรูปกรวย มีน้ำหนักกด 822 กรัม ด้วยเครื่อง Wallace Shore A durometer ตัวอย่างชิ้นทดสอบมีความหนา 8 มิลลิเมตร กว้างไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร กดให้เป็นของเครื่องทดสอบสัมผัสกับหน้ายาง ทำการวัด 5 จุด ใช้ค่ากลางเป็นค่าความแข็งของยางชิ้นทดสอบ

การทดสอบความทนทานต่อการสึกหรอแบบ taber (OGAWA SEKI) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3389 ใช้หินขัดเบอร์ H 18 มีความเร็วในการหมุน 70 รอบต่อนาที โดยมีน้ำหนักกดรวม 1000 กรัม ทำการทดสอบโดยหมุน 1000 รอบ 2 ครั้ง ชิ้นตัวอย่างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 114 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 6 มิลลิเมตร ไว้ตรงกลาง

การทดสอบการทดสอบความต้านทานต่อการบ่มเร่งโดยการนำชิ้นตัวอย่างรูปดัมเบลล์ ไปบ่มเร่งในตู้อบอากาศร้อน (Tabai Espec รุ่น GPHH-200) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำยางออกจากรูบเป็นเวลา 16 ชั่วโมงก่อนทำการทดสอบสมบัติแรงดึงหลังการบ่มเร่ง

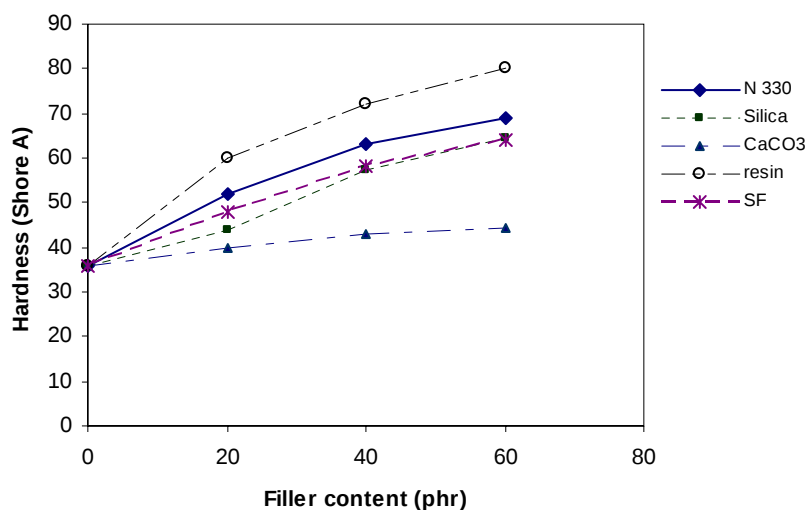
การทดสอบการกระจายแรงกดของชิ้นตัวอย่างยางบนพื้นใช้เครื่อง tekscan KS85 ที่มีการต่อเชื่อมต่อกับ Mat scan sensor รุ่น 5033 ขนาด 150 mm × 250 mm โดยมีความสามารถในการแจกแจงรายละเอียด 2.6 sensor/cm² ทดสอบที่ 250 Hz แสดงผลเป็น pressure distribution mapping สีแสดงน้ำหนักกดจากต่ำสุดคือ ฟ้า (blue) 1-15 N/cm² และสูงสุดคือ แดง (red) 60-75 N/cm²

การทดสอบการใช้งานเบื้องต้นของรองเท้ายางต้นแบบเพื่อใช้งานเพื่อรักษาอาการบาดเจ็บที่ก้นเท้าโคนม เน้นการยึดติดของก้นเท้ากับกาวที่ใช้ การคงความสามารถในยึดติดกับก้นเท้าตลอดเวลารักษา และการคงรูปของรองเท้าเมื่อมีแรงกดจากน้ำหนักของวัวเพื่อให้สามารถยังก้นเท้าที่บาดเจ็บสูงจากพื้น โดยสัตวแพทย์ผู้ชำนาญในเรื่องโคนม คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

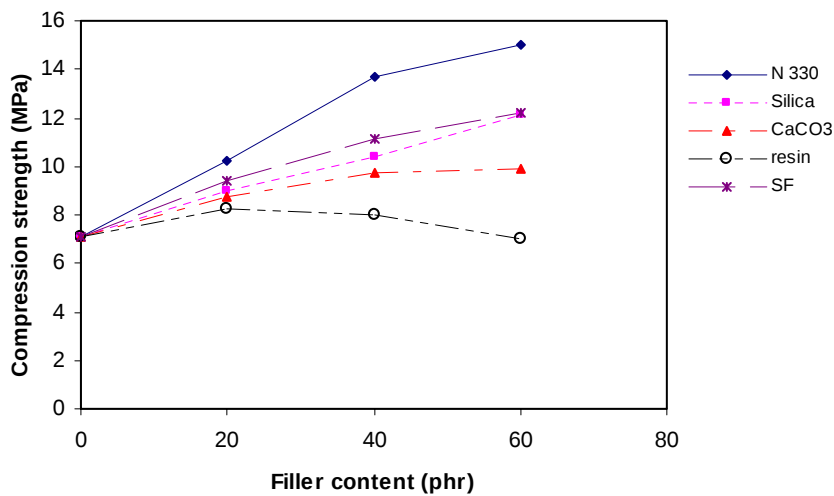
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมในยางธรรมชาติต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์

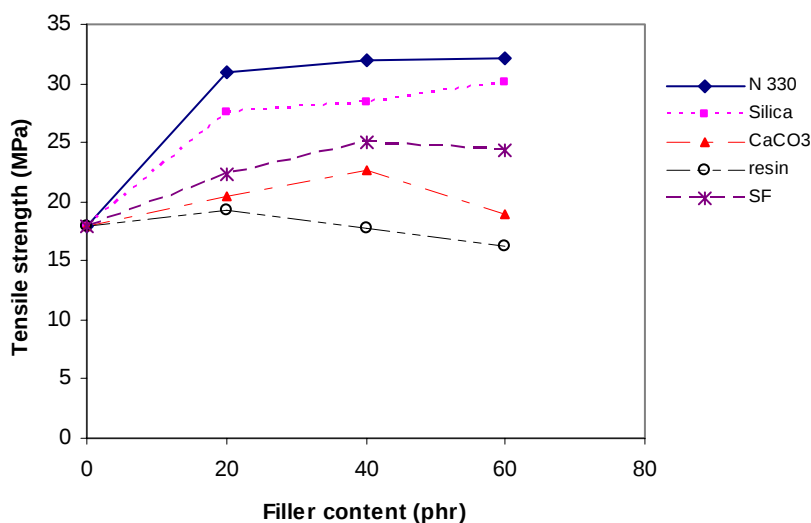
เตรียมยางคอมปาวด์โดยใช้สารตัวเติมชนิดต่างๆ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ซิลิกา เหมดำ เส้นใยสั้นไฮสไตรีน เรซิน โดยแปรปริมาณสารตัวเติมที่ระดับ 0, 20, 40, และ 60 phr โดยใช้สูตรในการทดลองตามตารางที่ 1 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อความแข็ง ความต้านทานต่อแรงกด และความต้านทานต่อแรงดึง ได้แสดงดังรูปที่ 1-3



รูปที่ 1 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อความแข็งของยางวัลคาไนซ์



รูปที่ 2 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อความต้านทานต่อแรงกดของยางวัลคาไนซ์



รูปที่ 3 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมต่อความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์

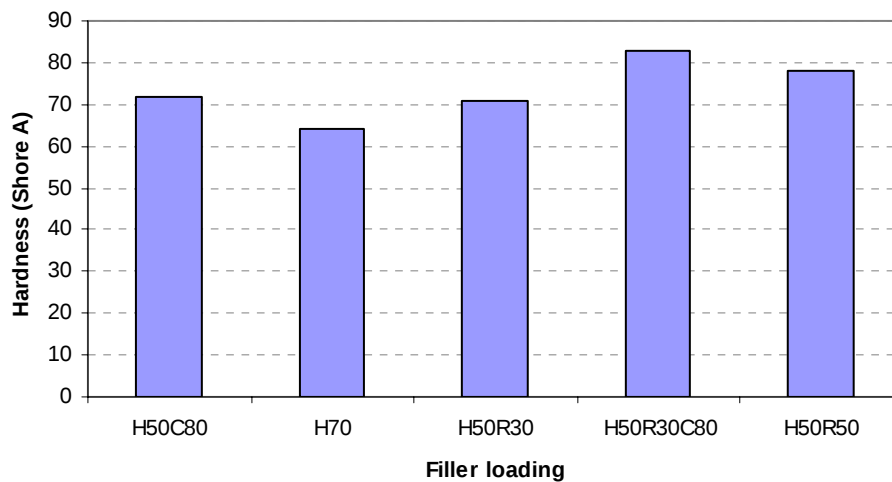
จากรูปที่ 1 พบว่าเมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้นจะทำให้ยางมีค่าความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นแต่อัตราการเพิ่มของปริมาณสารตัวเติมแต่ละชนิดต่อค่าความแข็งแรงของยางจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสารตัวเติม เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารตัวเติมที่ปริมาณสารตัวเติมที่เท่ากัน พบว่าสูตรที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตมีความแข็งแรงต่ำที่สุด ในขณะที่การใช้เส้นใยสั้น ซิลิกา และเขม่าดำจะให้ความแข็งแรงมากกว่าและมีค่าความแข็งแรงที่ใกล้เคียงกัน โดยสารตัวเติมที่ให้อัตราการเพิ่มของค่าความแข็งแรงสูงสุดคือไฮสไตรีนเรซิน รองลงมาคือ เขม่าดำ เส้นใยสั้น และซิลิกา ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากขนาดอนุภาคที่เล็กของซิลิกาและเขม่าดำที่เสริมความแข็งแรงได้มากกว่า[7] มีแรงต้านต่อการกดมากกว่า เช่นเดียวกันกับเส้นใยสั้นที่ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมเสริมแรงและมีค่าโมดูลัสสูงที่ส่งเสริมให้ค่าโมดูลัสและค่าความแข็งแรงของยาง

เพิ่มสูงขึ้น[8] และการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงได้มากขึ้น ทำให้มีแรงต้านต่อการกดมากขึ้น ถึงแม้ว่าไฮสไตรีนเรซินจะทำให้ยางมีความแข็งแรงสูง แต่จะมีสมบัติทางกายภาพต่ำโดยเฉพาะความต้านทานต่อแรงกดและแรงดึงที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเพิ่มสูงกว่า 20 phr ดังรูปที่ เนื่องจากไฮสไตรีนเรซินเป็นสารตัวเติมประเภทเรซินที่ใช้เพื่อเสริมสมบัติด้านความแข็งแรงแต่จะส่งผลให้สมบัติทางกายภาพ เช่น ความต้านทานต่อแรงดึงลดลง ในการออกสูตรยางที่ใช้เรซินเป็นตัวเสริมความแข็งแรงจึงจำเป็นต้องมีการใส่สารตัวเติมเสริมแรงเข้าไปด้วย

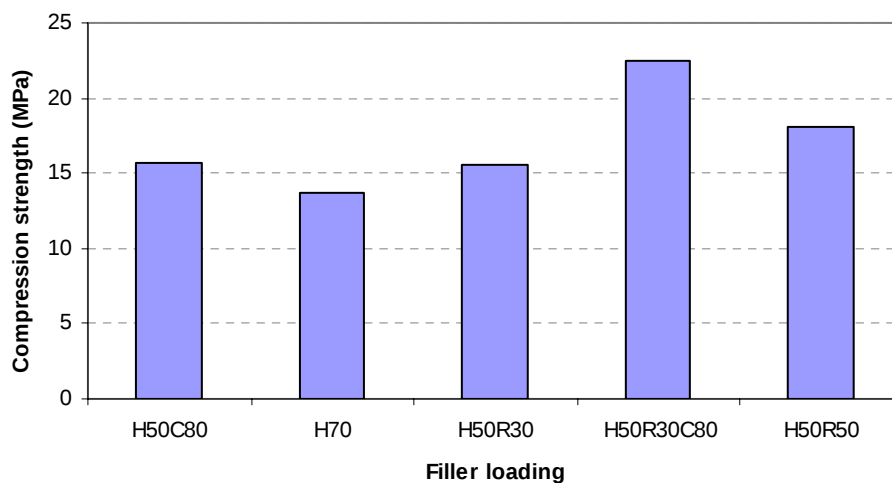
จากรูปที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารตัวเติมพบว่าสูตรที่ใช้ซิลิกาและเส้นใยสั้นมีค่าความต้านทานต่อแรงกดใกล้เคียงกันแต่ต่ำกว่าสูตรที่ใช้เขม่าดำ ทั้งนี้เพราะเขม่าดำมีขนาดอนุภาคเล็กและเป็นสารอินทรีย์ เมื่อผสมเข้าไปในยางจะกระจายตัวในเนื้อยางได้ดีกว่า[9] เป็นการช่วยเสริมความแข็งแรงในยางได้ดีกว่า และเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อแรงกดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ ยกเว้นแคลเซียมคาร์บอเนตและเรซินที่เมื่อเพิ่มปริมาณสูงกว่า 20 phr จะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงกดมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการขาดอันตรกิริยาที่ดีระหว่างสารตัวเติมไม่เสริมแรงและยางธรรมชาติ

จากรูปที่ 3 พบว่าสูตรที่ใช้เขม่าดำ ซิลิกาและเส้นใยสั้น มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าสูตรที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตและเรซิน ทั้งนี้เป็นผลมาจากขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าของซิลิกาและเขม่าดำ ทำให้มีผิวสัมผัสกับเนื้อยางได้มากกว่า แต่ที่เขม่าดำมีความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าซิลิกาเพราะเขม่าดำมีโครงสร้างเป็นสารอินทรีย์ จึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวกับเนื้อยางมากกว่า[8] เส้นใยสั้นเป็นสารตัวเติมที่เสริมความต้านทานต่อแรงดึงรองลงมาจากซิลิกา อาจเนื่องมาจากการควบคุมทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยสั้นในกระบวนการผสมเป็นไปได้ยากซึ่งอาจมีเส้นใยสั้นที่จัดเรียงตัวในแนวด้านการดึงมากทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงไม่สูงมาก[10] เมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความต้านทานต่อแรงดึงของยางเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าเมื่อความแข็งของยางเพิ่มขึ้นจาก 45 ถึง 75 Shore A ปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง ปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้นทำให้สมบัติการยืดของยางลดลงเพราะสารตัวเติมที่ใส่ลงไปจะไปแทรกกระหว่างโมเลกุลยางและอาจเกิดพันธะขึ้นทำให้ความยืดหยุ่นของยางลดลง

แต่สูตรยางที่ใช้สารตัวเติมชนิดเดียวนั้นไม่สามารถทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นถึงค่าความแข็งที่กำหนดได้ อีกทั้งการใส่สารตัวเติมปริมาณมากจนเกินไปจะทำให้ยางไหลยากและส่งผลให้สมบัติความเป็นยางหมดไป จำเป็นต้องใช้สารตัวเติมร่วมเพื่อเสริมความแข็งแรงให้เพิ่มขึ้น แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมราคาถูกทำให้สามารถลดราคาของยางคอมปาวด์ไปได้อีกทางหนึ่ง จึงทำการศึกษาผลของการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตร่วมกับสารตัวเติมเสริมแรงชนิดเขม่าดำและสารตัวเติมเสริมแรงชนิดเขม่าดำร่วมกับสารตัวเติมเพิ่มความแข็งแรงคือสไตรีนเรซิน



รูปที่ 4 ผลการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตร่วมกับกับเขม่าดำและเรซินที่ปริมาณต่างๆ ต่อความแข็งของยางวัลคาไนซ์ H คือ เขม่าดำ C คือ แคลเซียมคาร์บอเนต R คือเรซินและ ตัวเลขคือปริมาณในสูตรยางเป็น phr



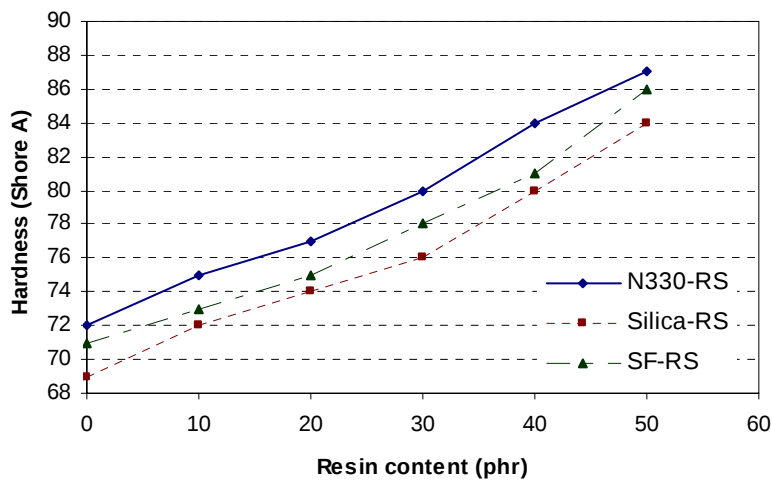
รูปที่ 5 ผลการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตร่วมกับกับเขม่าดำและเรซินที่ปริมาณต่างๆ ต่อความต้านทานต่อแรงกดของยางวัลคาไนซ์ H คือ เขม่าดำ C คือ แคลเซียมคาร์บอเนต R คือเรซินและ ตัวเลขคือปริมาณในสูตรยางเป็น phr

จากรูปที่ 4-5 จะเห็นว่าแคลเซียมคาร์บอเนตจะส่งผลให้ยางมีความแข็งและความต้านทานต่อแรงกดเพิ่มสูงขึ้นแต่ยังคงสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ได้ เมื่อทำการทดลองการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตร่วมกับเขม่าดำ จะเห็นว่าสามารถเพิ่มความแข็งของยางได้โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณ 80 phr ร่วมกับเขม่าดำหรือเพิ่มปริมาณเขม่าดำในสูตรยางในระดับความแข็งที่ใกล้เคียงกันคือ 72 Shore A และหากใช้เขม่าดำร่วมกับเรซินเมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณ 80 phr จะทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งจากรูปที่ 4 จะเห็นว่า การเพิ่มปริมาณเรซินโดยไม่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจะทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการใช้เรซินร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต โดยที่การเพิ่ม

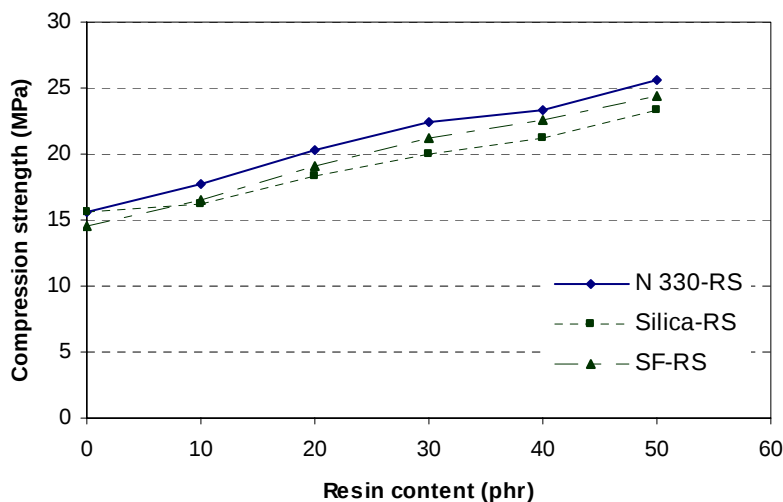
ปริมาณเรซินเป็น 50 phr จะให้ค่าความแข็งและความต้านทานต่อแรงกดน้อยกว่า ทั้งนี้เป็นผลมาจากการใช้สารตัวเติมร่วมที่มีการส่งเสริมสมบัติซึ่งกันและกันส่งผลให้คุณสมบัติโดยรวมของยางวัลคาไนซ์ดีขึ้น

ผลของการใช้เรซินร่วมกับสารตัวเติมเสริมแรงชนิดต่างๆต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์

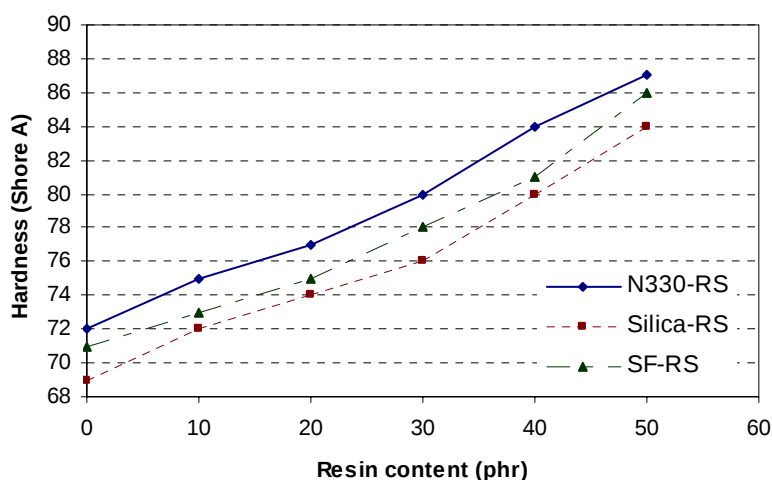
เตรียมยางคอมปาวด์โดยใช้สูตรในการทดลองตามตารางที่ 1 ใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 80 phr ร่วมกับสารตัวเติมเสริมแรงชนิดต่างๆ ได้แก่ ซิลิกา เหมำดำ และเส้นใยสั้น ที่ปริมาณ 50 phr โดยแปรปริมาณเรซินที่ระดับ 10, 20, 30, 40, 50 phr



รูปที่ 6 ผลของปริมาณเรซินที่ใช้ร่วมกับเหมำดำ ซิลิกา และ เส้นใยสั้น ต่อความแข็งของยางวัลคาไนซ์

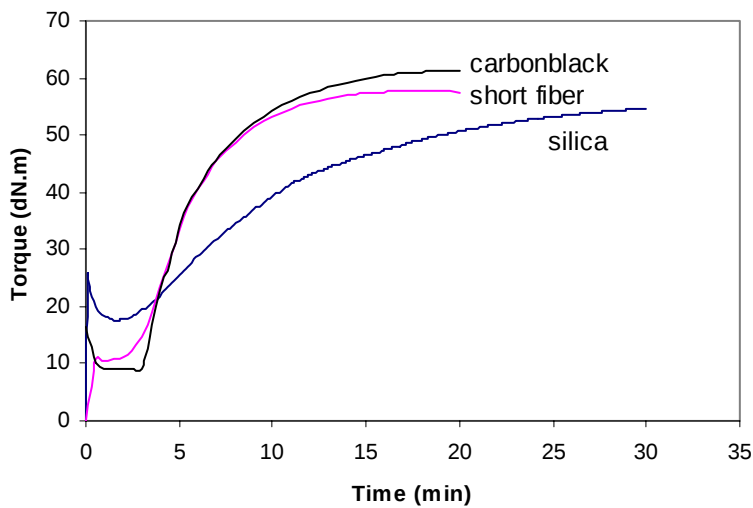


รูปที่ 7 ผลของปริมาณเรซินที่ใช้ร่วมกับเหมำดำ ซิลิกา และ เส้นใยสั้น ต่อความต้านทานต่อแรงกดของยางวัลคาไนซ์



รูปที่ 8 ผลของปริมาณเรซินที่ใช้ร่วมกับเขม่าดำ ซิลิกา และ เส้นใยสั้น ต่อความต้านทานต่อความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 6-8 พบว่าสูตรที่ใช้เรซินร่วมกับเขม่าดำมีค่าความแข็งและความต้านทานต่อแรงกดสูงกว่าสูตรที่ใช้เรซินร่วมกับเส้นใยสั้นและซิลิกา ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มปริมาณเรซินจะทำให้ความแข็งและค่าความต้านทานต่อแรงกดเพิ่มขึ้นในทุกชนิดของสารตัวเติม แต่ความต้านทานต่อแรงดึงจะลดลงเมื่อปริมาณเรซินเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเรซินเป็นสารเติมที่ให้ความแข็งแต่มีสมบัติด้านการเสริมแรงน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณในสูตรยางจะทำให้สมบัติความเป็นยางลดน้อยลง ความแข็งและความต้านทานต่อแรงกดที่แตกต่างกันในช่วงเริ่มต้นเป็นผลมาจากความแตกต่างของชนิดของสารตัวเติมเสริมแรง เมื่อเพิ่มปริมาณเรซินแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของความแข็งและความต้านทานต่อแรงกดเป็นผลมาจากความแข็งของเรซินและอันตรกิริยาระหว่างเรซินและสารตัวเติมร่วม[11] จะเห็นว่าไม่มีความแตกต่างของแนวโน้มซึ่งหมายถึงการใช้เรซินไม่มีอันตรกิริยาร่วมกับสารตัวเติมเสริมแรงที่ใช้ในการเสริมความแข็งหรือความต้านทานต่อแรงกดของยางวัลคาไนซ์

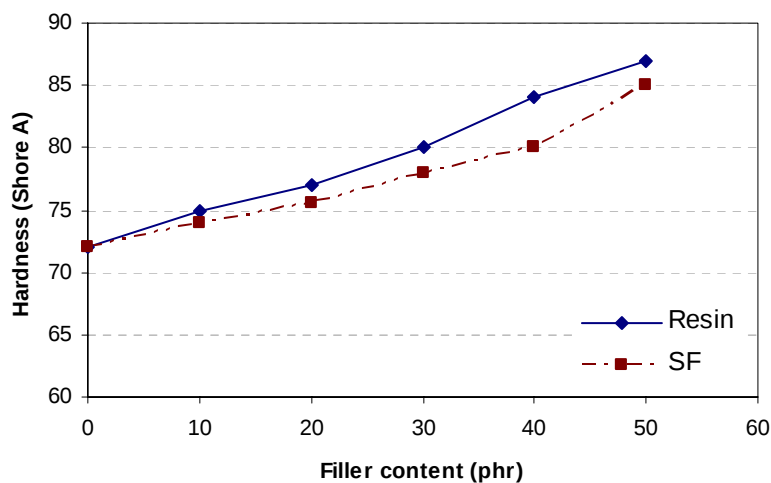


รูปที่ 9 ผลของการใช้เรซินร่วมกับสารตัวเติมเสริมแรงชนิดต่างๆต่อลักษณะการวัลคาไนซ์ ที่ค่าความแข็ง 75 shore A

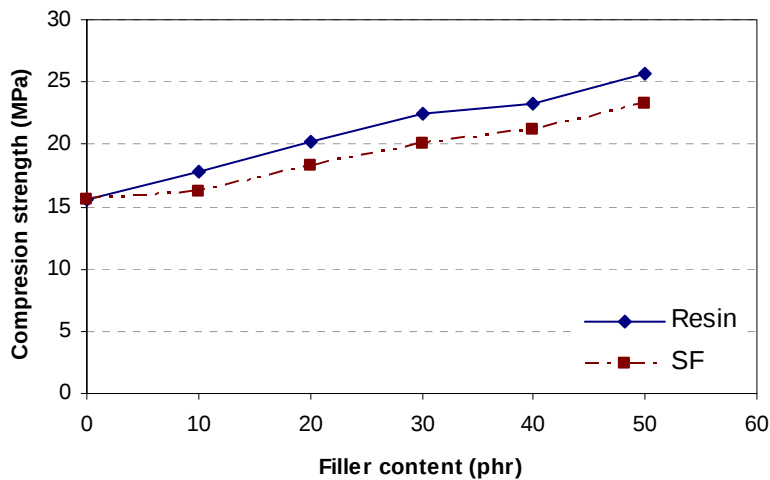
เมื่อพิจารณาลักษณะการวัลคาไนซ์ดังรูปที่ 9 ที่ค่าความแข็ง 75 Shore A พบว่าสูตรที่ใช้ซิลิการ่วมกับเรซินมีช่วงการเวลาในการวัลคาไนซ์ ค่าทอร์คต่ำสุดและเวลาที่ี่ยงเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลสูงกว่าสูตรที่ใช้เรซินร่วมกับเขม่าดำและเส้นใยสั้น อีกทั้งยังมีความยุ่งยากในการผสมมากกว่าการใช้เขม่าดำและเส้นใยสั้น ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงสูตรเพื่อให้ยางมีระดับการวัลคาไนซ์ที่ใกล้เคียงกันได้ ในลำดับต่อไป

ผลของการใช้เส้นใยสั้นร่วมกับเขม่าดำและเรซินร่วมกับเขม่าดำ

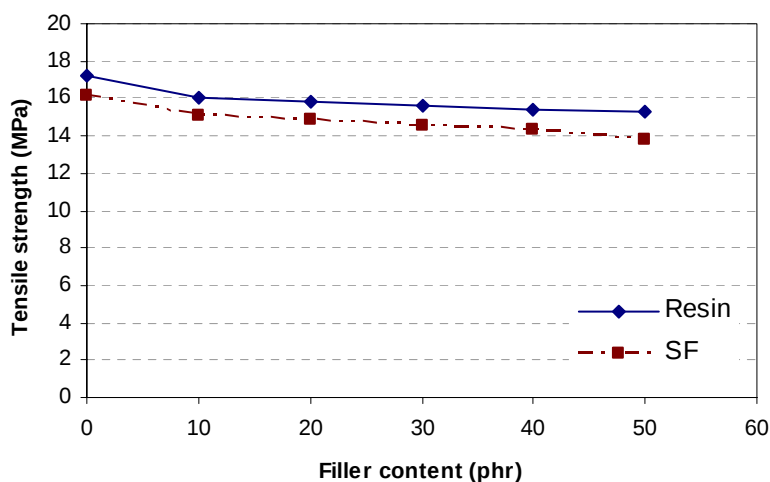
เตรียมยางคอมปาวด์โดยใช้สูตรในการทดลองตามตารางที่ 1 ใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 80 phr โดยใช้สารตัวเติมเขม่าดำที่ปริมาณ 50 phr ร่วมกับเรซินและเส้นใยสั้น โดยแปรปริมาณเรซินและเส้นใยสั้นที่ระดับ 10, 20, 30, 40, 50 phr



รูปที่ 10 ผลของปริมาณเรซินและเส้นใยสั้นที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับเขม่าดำ ต่อความแข็งของยางวัลคาไนซ์



รูปที่ 11 ผลของปริมาณเรซินและเส้นใยสั้นที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับเขม่าดำ ต่อความต้านทานต่อแรงกดของยางวัลคาไนซ์



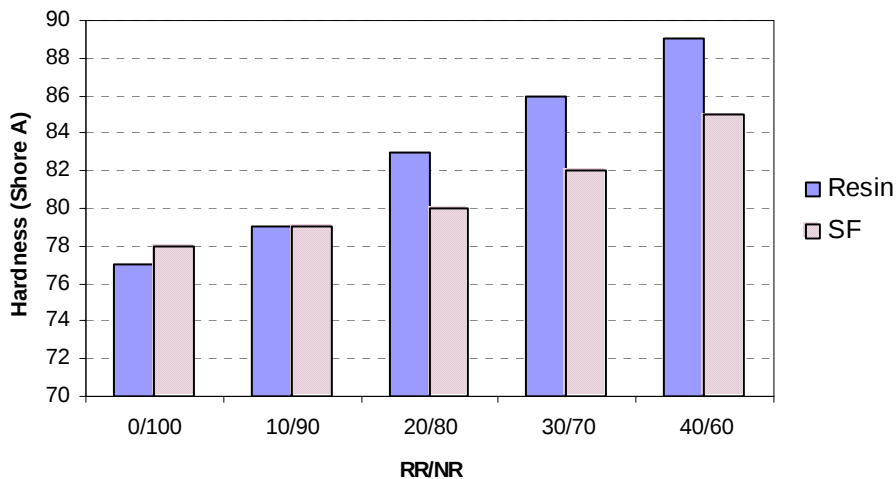
รูปที่ 12 ผลของปริมาณเรซินและเส้นใยสั้นที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับเขม่าดำ ต่อความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 10-12 พบว่าผลของการใช้เรซินร่วมกับเขม่าดำมีค่าความแข็งแรง ความต้านทานต่อแรงกด และความต้านทานต่อแรงดึงใกล้เคียงกับการใช้เส้นใยสั้นร่วมกับเขม่าดำ โดยการใส่เส้นใยสั้นร่วมกับเขม่าดำมีค่าความแข็งแรง ความต้านทานต่อแรงกดและความต้านทานต่อแรงดึงน้อยกว่าการใช้เรซินร่วมกับเขม่าดำ ทั้งนี้จะเห็นว่าการใช้เรซินร่วมกับเขม่าดำจะให้ผลในเรื่องการส่งเสริมซึ่งและกันมากกว่าการใช้เส้นใยสั้นร่วมกับเขม่าดำ อาจเป็นผลมาจากการใช้ปริมาณเส้นใยสั้นที่มากขึ้นในระดับหนึ่งจะทำให้เส้นใยเกิดการเกาะกลุ่มกัน โดยจะมีผลต่อการจัดเรียงตัวของเส้นใยสั้นในเฟสของยางขึ้นได้ซึ่งอาจส่งผลในทางลบแก่สมบัติของยางวัลคาไนซ์ได้[12] แต่การผสมเส้นใยสั้นในยางคอม

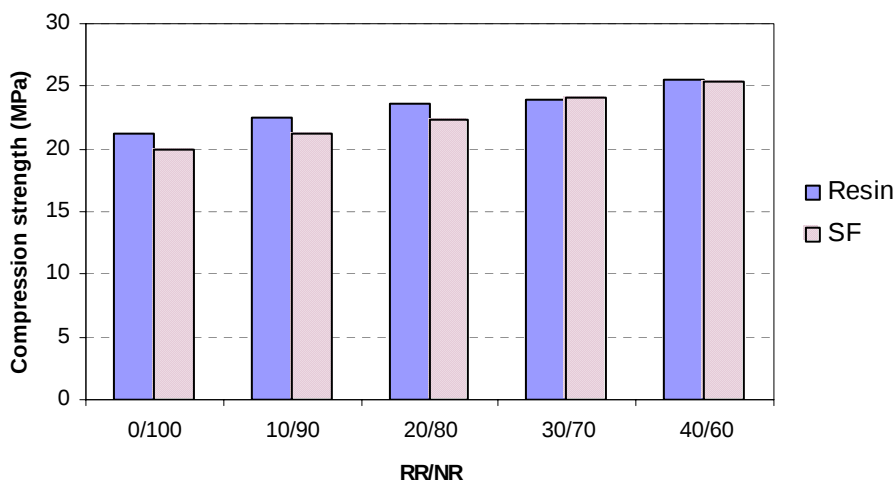
เปาว์ทำได้ง่าย มีราคาถูก และเมื่อเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะ พบว่าสูตรที่ใช้เขม่าดำและเส้นใยสั้นมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าสูตรที่ใช้เขม่าดำและเรซิน ทั้งนี้เพราะว่าเรซินมีความถ่วงจำเพาะที่สูงกว่าเมื่อใส่ไปในปริมาณมากกว่าจึงทำให้ความถ่วงจำเพาะเพิ่มมากขึ้น (ตารางที่2)

ผลของการใช้ยางรีเคลมร่วมกับยางธรรมชาติของสูตรที่ใช้เส้นใยสั้นร่วมกับเขม่าดำและเรซินร่วมกับเขม่าดำ

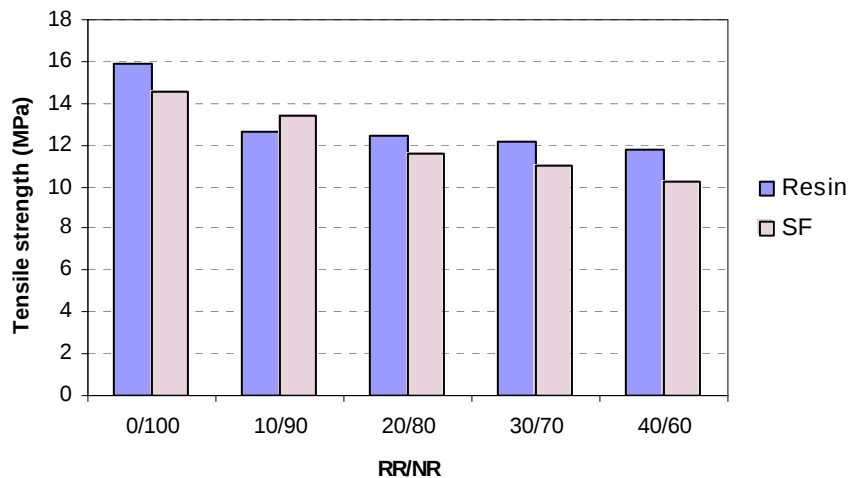
เตรียมยางคอมเปาต์ โดยใช้สูตรในการทดลองตามตารางที่ 1 ใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 80 phr โดยใช้สารตัวเติมร่วม ได้แก่ เขม่าดำร่วมเส้นใยสั้น (N-330 50 phr, short fiber 30 phr) และเขม่าดำร่วมเรซิน (N-330 50 phr, resin 20 phr) โดยแปรปริมาณยางรีเคลมที่ 10, 20, 30, 40, 50 phr โดยที่ปริมาณยางที่ใช้ทั้งหมดในสูตรจะเท่ากับ 100 phr



รูปที่ 13 ความแข็งของยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณยางรีเคลมที่แตกต่างกันของสูตรยางที่ใช้เขม่าดำร่วมกับเรซิน และเขม่าดำร่วมกับเส้นใยสั้น

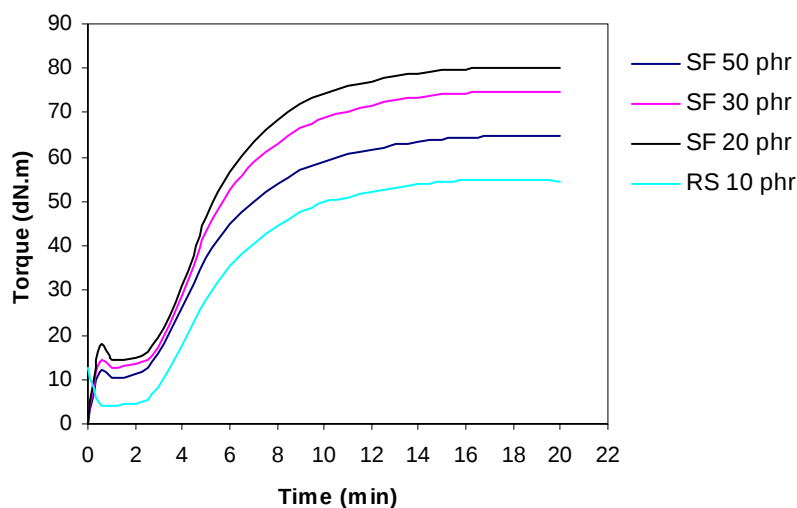


รูปที่ 14 ความต้านทานต่อแรงกดของยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณยางรีเคลมที่แตกต่างกัน ของสูตรยางที่ใช้เขม่าดำร่วมกับเรซิน และเขม่าดำร่วมกับเส้นใยสั้น



รูปที่ 15 ความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณยางรีเคลมที่แตกต่างกัน ของสูตรยางที่ใช้เขม่าดำร่วมกับเรซิน และเขม่าดำร่วมกับเส้นใยสั้น

จากการศึกษาการใช้ยางรีเคลมร่วมกับยางธรรมชาติ ดังรูปที่ 13-15 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณยางรีเคลมทำให้ความแข็งแรงและความต้านทานต่อแรงกดเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดจนขาดมีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากยางรีเคลมมีปริมาณของเขม่าดำและปริมาณการวัลคาไนซ์ที่สูงกว่าจึงทำให้มีความแข็งแรงสูงและความต้านทานต่อแรงกดมากขึ้น[13] และการที่ความต้านทานต่อแรงดึงลดลงเนื่องมาจากการเกิดเจลจากส่วนของยางรีเคลมในยางเบลดก็ก่อให้เกิดเป็นจุดอ่อนแอที่เกิดความเครียดในชิ้นงานได้[14-15] และยังพบว่าการใช้เขม่าดำร่วมกับเรซินจะให้สมบัติดีกว่าการใช้เขม่าดำร่วมกับเส้นใยสั้นแต่มีความแตกต่างที่ไม่มากนัก ซึ่งมีเหตุผลเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในส่วนก่อนหน้านี้ แต่การใช้ยางรีเคลมเกินกว่า 20 phr จะทำให้ผิวของชิ้นตัวอย่างไม่เรียบซึ่งอาจเกิดเป็นจุดอ่อนแอในชิ้นงานได้ และจากรูปที่ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณยางรีเคลมเกินกว่า 30 phr จะทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของความต้านทานต่อแรงกดมีแนวโน้มลดลง



รูปที่ 16 ผลของสารตัวเติมต่อเวลาการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์

การทดสอบเวลาวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR 2000 ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส กราฟการวัลคาไนซ์แสดงถึงพฤติกรรมการวัลคาไนซ์แบบปกติ เวลาในการสก๊อชของแต่ละสูตรมีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ที่ประมาณ 3 นาที และเวลาในการวัลคาไนซ์มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักโดยมีเวลาในการวัลคาไนซ์อยู่ในช่วง 14 นาที แต่ค่าทอร์คสูงสุดจะขึ้นอยู่กับปริมาณการวัลคาไนซ์ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของยางที่ต้องการ โดยค่าทอร์คสูงสุดจะเพิ่มขึ้นตามความแข็งแรงของยางซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารตัวเติมที่ใส่ จากกราฟการวัลคาไนซ์ดังรูปที่ 16 เมื่อพิจารณาสมบัติการวัลคาไนซ์พบว่าสูตรที่ใช้เส้นใยสั้นร่วมกับเขม่าดำและสูตรที่ใช้เรซินร่วมกับเขม่าดำมีเวลาในการวัลคาไนซ์และเวลาการสก๊อชที่ใกล้เคียงกัน เมื่อทดสอบลักษณะของยางหลังการการอบสุกด้วยการอัดเบ้า ชิ้นงานมีลักษณะรวมเป็นชิ้นเดียวกันโดยไม่มีการแยกส่วนอย่างเห็นได้ชัด

จากการศึกษาสมบัติอื่นๆ ได้แก่ ความต้านทานต่อการสึกหรอ ความต้านทานต่อแรงดึง และความต้านทานต่อการบ่มเร่ง พบว่าสูตรที่ใช้เส้นใยสั้นและเขม่าดำที่ปริมาณเขม่าดำ 50 phr และเส้นใยสั้น 30 phr และสูตรที่ใช้เขม่าดำ 50 phr และเรซิน 20 phr มีสมบัติผ่านเกณฑ์รองเท้าวิ่งดังตารางที่ 2

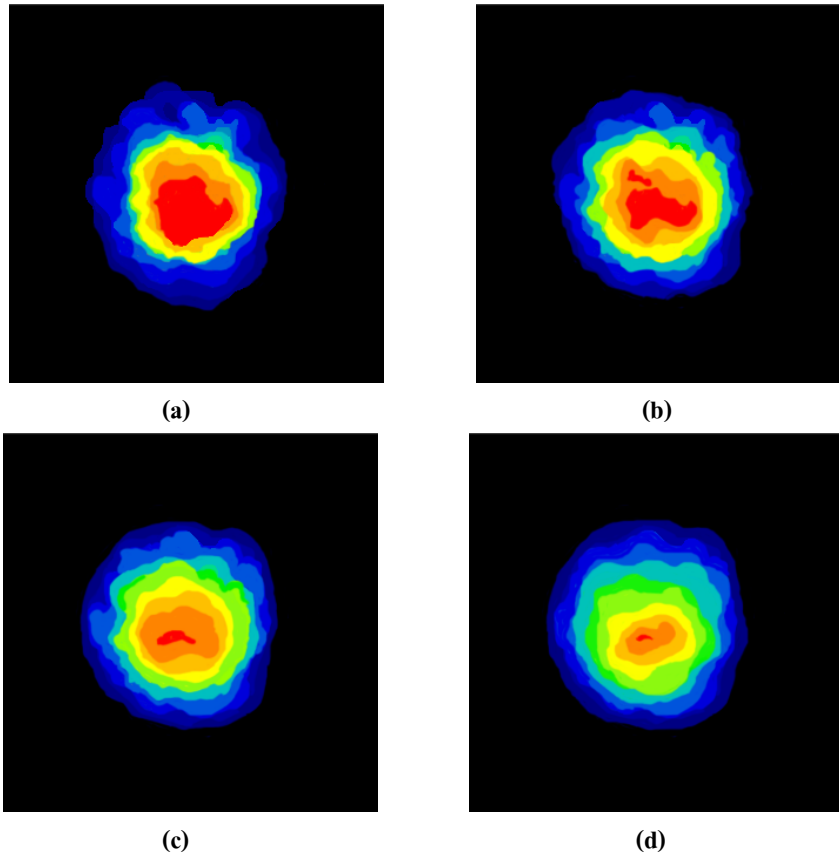
ตารางที่ 2 สมบัติยางวัลคาไนซ์เมื่อเทียบกับมาตรฐาน

Properties	Standard ^a	Resin	Short fiber
Specific gravity	1.35	1.2	1.14
Hardness (Shore A)	80	83	80
Compression strength (MPa)	20	23.59	22.34
Tensile strength (MPa)	10	12.43	11.63
Elongation at break (%)	200	322	246
Tensile strength after aging (MPa)	7.5	14.03	9.25
Elongation at break after aging (%)	150	300	219
Abrasion resistance (cm ³ / 2000 cycles)	2	1.49	1.69

^a สมบัติอ้างอิงจากสมบัติของรองเท้าวิ่งทางการค้า EASY BLOC ผลิตโดยบริษัท Demotec Siegfried Demel จำกัด, Germany

ผลของความแข็งต่อการกระจายแรงกดทับ

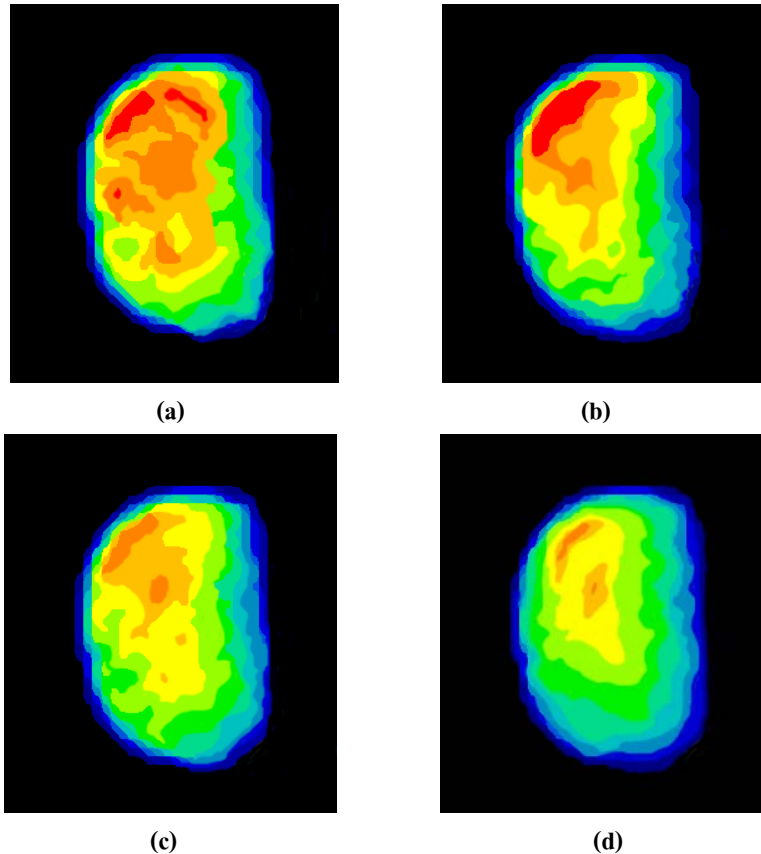
เพื่อให้การกระจายน้ำหนักของรองเท้าวิ่งเมื่อน้ำหนักกดทับเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมีการวัดการกระจายแรงกดโดยใช้ยางที่มีความแข็งแตกต่างกัน ได้แก่ 77, 80, 83, และ 87 Shore A โดยใช้เครื่อง tekscan ที่มีการต่อเชื่อมกับ Mat sensor ขนาด $150\text{ mm} \times 250\text{ mm}$ ที่ 250 Hz แรงกดที่เกิดขึ้นจากแรงกดน้ำหนักจะถูกบันทึกเป็นแผนที่การกระจายแรงกดที่จุดต่างๆ แบบฮอตสปอต



รูปที่ 17 การกระจายแรงกดจากการใช้น้ำหนักกดที่เท่ากัน สีบ่งบอกถึงปริมาณแรงกดที่เกิดขึ้นบริเวณที่มีการสัมผัส

ในหน่วย N/cm^2 : blue = 1-15, light blue = 15-30, green = 30-45, yellow = 45-60, red = 60-75 a) 77, b) 80, c) 83, d) 87 Shore A

จากรูปที่ 17 a-d พบว่าความแข็งสูงขึ้นทำให้การกระจายแรงกดทับดีขึ้นเนื่องจากแรงที่กดทับไปกดลงสู่พื้นถูกดูดซับไปบนชั้นตัวอย่างบางแทนที่จะกดลงไปที่พื้นโดยตรง โดยยางที่มีความแข็งเกินกว่า 80 Shore A จะทำให้แรงกดความเข้มสูงที่แสดงด้วยสีแดงมีปริมาณลดน้อยลงจนกลายเป็นสีเขียวอมส้มซึ่งแสดงถึงแรงกดทับที่มีค่าต่ำกว่าอีกระดับหนึ่ง เมื่อยางมีความแข็งเพิ่มเป็น 87 Shore A แรงที่กดทับสีเขียวอมส้มลดปริมาณลงเป็นพื้นที่สีเขียวเข้มมากขึ้นซึ่งแสดงถึงการกดทับสู่พื้นที่น้อยลง

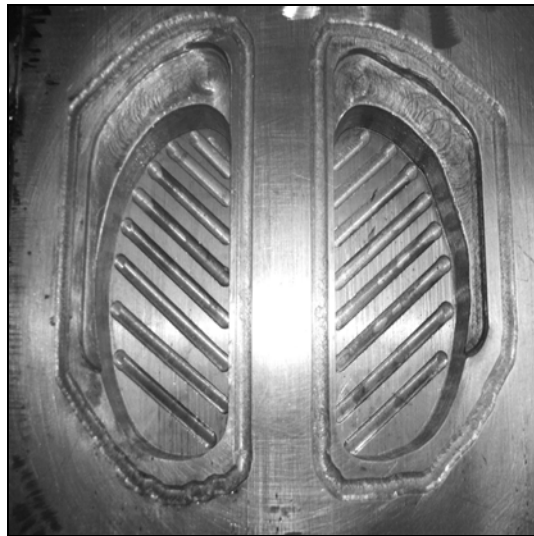


รูปที่ 18 การกระจายแรงกดจากการใช้น้ำหนักกดที่ครั้งบนมากกว่าครั้งล่าง a) 77/77, b) 77/80, c) 77/83 และ d) 77/87
Shore A สีนํบอถึงปริมาณแรงกดที่เกิดขึ้นบริเวณที่มีการสัมผัส ในหน่วย N/cm^2 : blue = 1-15, light blue = 15-30, green = 30-45, yellow = 45-60, red = 60-75

เมื่อทำการทดสอบการกระจายแรงกดโดยมีแรงกดที่สั้นมากกว่าส่วนปลายกิบโดยส่วนสั้นคือส่วนครึ่งบนของแผนที่การกระจายแรง ดังแสดงในรูปที่ 18 a-d พบว่าร่องเท้าที่ใช้สูตรที่มีความแข็งส่วนสั้นสูงกว่าส่วนปลายกิบทำให้มีการกระจายแรงที่ดีมากขึ้น เมื่อเพิ่มความแตกต่างของความแข็งมากขึ้นจะทำให้แรงกดที่แสดงด้วยสีแดงซึ่งเป็นแรงกดที่มีความเข้มข้นสูงมีปริมาณลดน้อยลงและเปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองถึงเขียว แต่ความสามารถในการกระจายแรงนั้นจะไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนเมื่อความแข็งมีความแตกต่างมากกว่า 6 Shore A

การออกแบบเบ้า

เบ้ามีขนาด เท่ากับ 20x25x6.5 เซนติเมตรและมีลักษณะดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 ลักษณะของเบ้ารองเท้ายางวู้

เบ้าพิมพ์รองเท้าวู้ต้นแบบถูกออกแบบให้มีขนาดและรูปทรงใกล้เคียงกับสรีระของกีบเท้าวู้ซึ่งสามารถสวมใส่ได้ทั้งกีบเท้าหน้าและกีบเท้าหลัง ในหนึ่งเบ้าพิมพ์จะมีสองกีบซึ่งสามารถสวมเข้าได้ทั้งกีบซ้ายและกีบขวา ขนาดของรองเท้าถูกออกแบบให้มีขนาดพอเหมาะกับกีบเท้าขนาดใหญ่เนื่องจากรองเท้ายางนั้นสามารถนำมาตัดแต่งหรือลดขนาดได้เมื่อใช้งาน ส่วนพื้นรองเท้าถูกออกแบบให้มีแนวสันทแยงเพื่อป้องกันการลื่นไถล

การทดสอบการใช้งานเบื้องต้น

เลือกรองเท้ายางที่เตรียมได้จากการทดลองที่มีสมบัติด้านการแปรรูปและสมบัติทางกายภาพที่ผ่านมาตรฐานที่กำหนด รวมทั้งมีลักษณะที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ทำงานจริง รองเท้ายางเตรียมโดยใช้สูตรคอมปาวด์ ดังนี้

- 1 สูตรที่ใช้ High-styrene resin 20 phr
- 2 สูตรที่ใช้ Short fiber 30 phr
- 3 สูตรที่ใช้ High-styrene resin เพื่อปรับระดับความแข็งสองส่วนเท่ากับ 80/83 Shore A

โดยทั้งสามสูตรใช้ยางธรรมชาติ 80 phr ผสมยางรีเคลม 20 phr โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนต 80 phr และ เชม่าดำ 50 phr

จากการทดสอบการใช้งานเบื้องต้นของสัตว์แพทย์จากคณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นและสัตวแพทย์ประจำ เคเคเค แครี่ฟาร์ม โดยมีวู้ที่ใช้ทดสอบ 15-20 ตัว มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 400-550 กิโลกรัม พื้นโรงเลี้ยงแบบซีเมนต์ มีการปล่อยให้เดินในทุ่งหญ้าที่มีโคลนบางส่วน และแบบพื้นดินอัดแข็งในกรณีที่วู้มีอาการเจ็บเท้าและอาการป่วยอื่นร่วมด้วย ผลการสังเกตการทดสอบโดยสรุปแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดสอบการใช้งานเบื้องต้น

การทดสอบ	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
1. ลักษณะของผลิตภัณฑ์ รองเท้าก่อนการใช้งาน	มีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ง่าย แก่การใช้งาน คงทนและ สะดวกในการจัดเก็บ	มีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ง่าย แก่การใช้งาน คงทนและ สะดวกในการจัดเก็บ	มีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ง่ายแก่ การใช้งาน คงทนและสะดวกใน การจัดเก็บ
2. การใช้งานรองเท้าไว้ใน แต่ละสูตร	ลักษณะของรองเท้ามีความ แข็งแรงพอเหมาะสามารถตัดแต่ง รูปร่างด้วยมีดตามขนาดกึ่งเท้า ไว้ได้	รองเท้ามีความแข็งแรงน้อยกว่า สูตรที่ 1 สามารถตัดแต่ง รูปร่างได้	รองเท้ามีความแข็งแรงเท่ากับสูตรที่ 1 ตัดแต่งรูปร่างได้
3. การยึดติดของรองเท้าไว้ กับกึ่งเท้าหลังจากการแห้ง ทันที	รองเท้าสามารถยึดติดกับกึ่ง เท้าได้ดี ไม่มีการหลุดลอกของ รองเท้าออกจากกึ่งเท้า	รองเท้าสามารถยึดติดกับกึ่ง เท้าไว้ได้ แต่จำเป็นต้องใช้กาว ในปริมาณสูงกว่าเพื่อการยึด ติดรองเท้า	สามารถยึดติดกับกึ่งเท้าไว้ได้ แต่ มีบางส่วนที่มีการยึดติดไม่สนิท ในส่วนปลายกึ่งเท้า ต้องทำการแกะ และยึดติดใหม่อีกครั้งโดยใช้กาว มากขึ้น
4. การคงรูปของรองเท้าไว้ ตลอดการใช้งานที่ยึดติดกับ กึ่งเท้า	รองเท้ายังคงสามารถคง รูป และความหนาไว้ได้เมื่อมีแรง กดจากน้ำหนักตัวไว้	รองเท้ายังคงสามารถคง รูป และความหนาไว้ได้เมื่อมีแรง กดจากน้ำหนักตัวไว้	รองเท้ายังคงสามารถคง รูปและ ความหนาไว้ได้เมื่อมีแรงกดจาก น้ำหนักตัวไว้
5. ลักษณะของกึ่งเท้าไว้ เมื่อสวมรองเท้า	กึ่งเท้าจะตั้งตรงและขนานกับ ทิศทางของแรงกดที่เกิดจาก น้ำหนักตัวไว้ แม้ไว้ยังสามารถ ยืนตรงได้	กึ่งเท้าทำองศากับทิศทางแรง กดเล็กน้อยแต่แม้ไว้ยังสามารถ ยืนตรงได้	กึ่งเท้าเอียงทำให้แนวทิศทางของ แรงกดที่เกิดจากน้ำหนักตัวไว้ผิด ไปจากปกติเล็กน้อย
6. การยึดติดของรองเท้าไว้ กับกึ่งเท้าตลอดอายุการใ้ งาน 2 สัปดาห์	รองเท้ายังคงสามารถยึดติดกับ กึ่งเท้าได้ดีตลอดการใช้งาน สามารถแะรองเท้าออก หลังจากใช้งานได้ง่าย	รองเท้าเกิดการหลุดออกจาก การยึดติดจากกึ่งเท้าแต่สามารถ ยึดติดกับกึ่งเท้าไว้ได้ใน ระยะเวลา 1 สัปดาห์ เกิดการ หลุดออกในทั้งชิ้น	รองเท้าสามารถยึดติดกับกึ่งเท้า ไว้ได้ดีตลอดการใช้งาน
7. การหายจากอาการ บาดเจ็บ	แผลแห้งลงเมื่อสิ้นสุดการ ทดสอบ	แผลยังไม่แห้งเมื่อรองเท้าหลุด จากกึ่งเท้า	แผลแห้งเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ
8. การระคายเคืองของแผล	ไม่พบอาการระคายเคืองของ แผลจากการสวมรองเท้า	ไม่พบอาการระคายเคืองของ แผลจากการสวมรองเท้า	ไม่พบอาการระคายเคืองของแผล จากการสวมรองเท้า
9. ลักษณะการเดิน	การเดินของโคมี่ลักษณะผิดปกติเล็กน้อย มีอาการเกร็งขาเล็กน้อยในโคมี่บางตัว ซึ่งเป็นสิ่งที่ สามารถพบเห็นทั่วไปในวันที่มีการสวมรองเท้า และอาการเกร็งอาจเกิดจากการเจ็บปวดแผล		



รูปที่ 20 การทดสอบการสวมรองเท้าบนกีบวัวที่มีการตัดแต่งกีบ

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่ารองเท้าที่ผลิตทั้งสามสูตรให้ผลการใช้งานที่เหมือนกันในเรื่องของการใช้งานเบื้องต้นที่ไม่มีความแตกต่างมากนัก โดยการใช้งานของรองเท้ายางธรรมชาติมีความสามารถในการตัดแต่งด้วยมีดตัดแต่งที่ดี่ เนื่องจากวัลแต่ละตัวมีขนาดกิบเท้าที่ไม่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่ารองเท้ายางธรรมชาตินั้นมีลักษณะเด่นที่ไม่จำเป็นต้องทำหลากหลายขนาดเหมือนเช่นรองเท้าจากไม้หรือจากพีวีซี ในเรื่องการรองรับน้ำหนักของวัลโดยไม่มีการเสีรูปร่างของรองเท้าสามารถผ่านการประเมินได้ทั้งสามสูตร แต่รองเท้ายางยังมีข้อด้อยในเรื่องของการยึดติด โดยสูตรที่ใช้สไตรีนเรซินร่วมกับเขม่าดำมีการยึดติดที่ดีที่สุด และสูตรที่ใช้เส้นใยสั้นร่วมกับเขม่าดำจะส่งผลให้รองเท้าหลุดจากกิบเท้าได้ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากหลายประการ คือ ในการทดสอบการใช้นั้นวัลมีการเดินออกไปในทุ่งหญ้าบางช่วงเวลา ที่อาจมีการดูดซับน้ำจากดินโคลนได้ การใช้เส้นใยสั้นในยางคอมเปาว์ดจะมีผลต่อการดูดซับน้ำได้มากกว่าสูตรที่ใช้สารตัวเติมที่เป็นเรซินที่มีความเป็นไฮโดรโฟบิกคือไม่ชอบน้ำ การดูดซับน้ำของยางที่ใช้เส้นใยสั้นนี้อาจส่งผลให้กาวที่ติดรองเท้าเกิดจุดอ่อนแอและหลุดลอกได้ สูตรที่ใช้ความแข็งสองส่วนนั้นไม่มีความแตกต่างในเรื่องของการใช้งานเมื่อเทียบกับสูตรที่ใช้ความแข็งเดียว ในการออกแบบรองเท้าวัลในงานวิจัยนี้จะใช้ผลของการกระจายแรงกดทับบนพื้นมาเป็นส่วนในการประเมินว่าวัลที่สวมใส่รองเท้าจะมีความสบายในการยืนมากยิ่งขึ้น แต่ไม่สามารถประเมินความพึงพอใจของวัลตามจริงได้

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ราคาต่อชิ้นของรองเท้ายางธรรมชาติ

Raw materials	phr	Price baht/kg
STR 5L	80	87
Reclaim rubber	20	16
Carbon black N330	50	36.21
Stearic acid	2	30
ZnO	5	133
Santoflex 6 PPD	1	190
CBS	0.5	150
Sulfur	3	10
CaCO ₃	80	16
High-styrene resin	20	150
Short fiber	30	100
Item	Resin	SF
raw material	134	112
loss 3%	4.02	3.36
mixing fee	12	12
packing	1	1
transportation cost	1	1
profit 8%	10.72	8.96
total cost	162.74	138.32

จากผลการวิเคราะห์ราคาตามตารางที่ 4 พบว่าสูตรยางที่ใช้เขม่าดำร่วมกับเรซินมีราคาต่อชิ้นถูกกว่าสูตรยางที่ใช้เขม่าร่วมกับเส้นใยสั้น และเมื่อเทียบราคากับรองเท้าพีวีซีพบว่ารองเท้ายางธรรมชาตินั้นมีราคาถูกกว่ารองเท้าพีวีซีถึงเกือบ 10 เท่าตัว (รองเท้าพีวีซีมีราคา 1500 บาท)

สรุปผล

สูตรคอมปาวด์ยางธรรมชาติใช้ระบบการวัลคาไนซ์แบบปกติ ที่ผ่านมาตรฐานรองเท้าวัว คือ ใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 80 phr เขม่าดำ 50 phr ร่วมกับ เรซิน 20 phr และ เขม่าดำ 50 phr ร่วมกับเส้นใยสั้น 30 phr โดยสามารถใช้ยางรีเคลมในสัดส่วน 20 phr ของปริมาณยางทั้งหมด การใช้งานผ่านการประเมินในด้านความคงรูปร่างจากแรงกดและความง่ายในการตัดแต่งแต่มีข้อด้อยในเรื่องของการยืดติด

ข้อเสนอแนะ

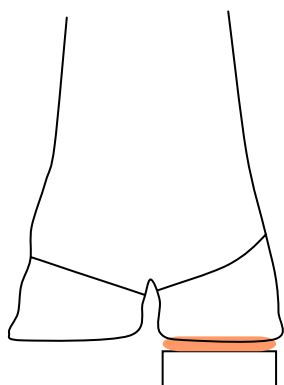
ควรมีการศึกษาเรื่องการยืดติดและการออกแบบรองเท้าให้เข้ากับวัสดุที่เป็นยางธรรมชาติ

เอกสารอ้างอิง

1. Blowey RW.1994. Interdigital causes of lameness. International conference on bovine lameness, June 26-30, p. 142-153
2. Pyman MF, 1997. Comparison of bandaging and elevation of the claw for the treatment of foot lameness in dairy cows, *Aust Vet J.*,75(2):132-5
3. Blowey RW., 1992. Diseases of the bovine digit. Part 2. Hoof care and factors influencing the incidence of lameness. *In Practice*; 14:118-124.
4. Blow C. M. ; Hepburn C. (1982). Rubber Technology and Manufacture. London : Butterworth.
5. Ciesielski, Andrew (1999). Introduction to Rubber Technology. Rapra.
6. Ciullo, P.A.; Hewitt, N. (1999). Rubber Formulary. William Andrew Publishing/Plastics Design Library.
7. W.H. Waddell, L.R. Evans, Rubber Chem. Technol. 69 (1996) 377.
8. A.S. Hashim, B. Azahari, Y. Ikelda, S. Kohjiya, Rubber Chem. Technol. 71 (1998) 289.
9. Clarke J., Harris J., Plast. Rubber Comp., 30 (2001) 406-415.
10. H. Dalvag, C. Klason and H.E. Stromwall, Int J Polym Mater 11 (1985) 9.
11. M. N. Belgacem, P. Bataille and S. Sapieha, J Appl Polym Sci 53 (1994) 397.
12. Kim K. J Appl Polym Sci 61 (1996) 431-438.
13. Yasuyanagi F., Suziki N., Ito M., Kaidou H., Polymer 42 (2001) 9523-9529.
14. C. Jacob, P.P. De, A.K. Bhowmick, S.K. De, J Appl. Polym. Sci. 82 (2001) 3293.
15. A.N. Theodore, R.A. Pett, D. Jackson, Rubb. World 218 (1998) 23.

ภาคผนวก 1

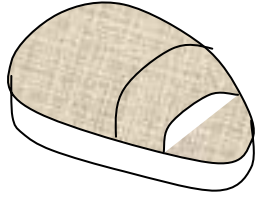
ข้อเสนอแนะ



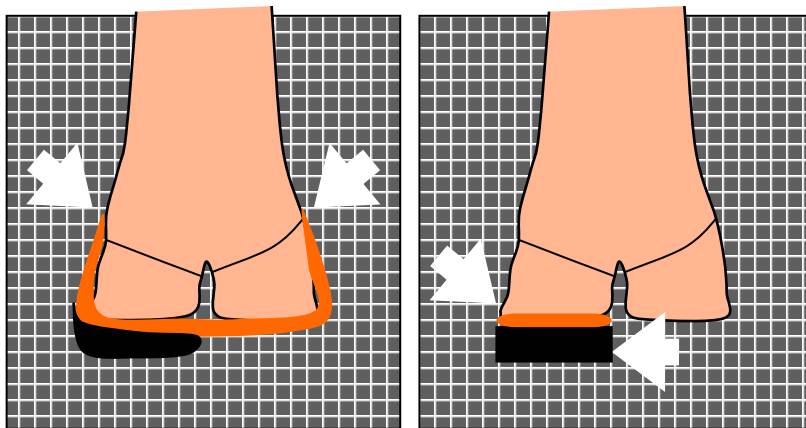
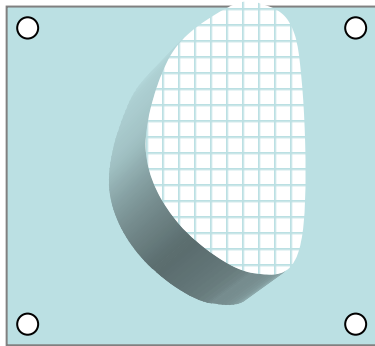
เมื่อนักวิจัยได้ทำการผลิตต้นแบบของผลิตภัณฑ์รองเท้าวัวในรูปแบบบล็อกและทดสอบการใช้งานเบื้องต้นร่วมกับสัตวแพทย์ พบว่าสามารถนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบรองเท้าวัวที่ผลิตได้ไปใช้งานได้ สัตวแพทย์ให้ความเห็นว่าสามารถนำมาสวมใส่ให้วัวได้และมีข้อดีเหนือกว่ารองเท้าแบบไม้หรือแบบพลาสติกคือรองเท้ายางนั้นสามารถตัดแต่งด้วยมีดตัดแต่งกบให้เข้ากับสรีระกับเท้าวัวได้ ส่วนรองเท้าไม้และรองเท้าพลาสติกไม่สามารถตัดแต่งได้ จึงต้องทำการผลิตขึ้นหลายขนาด แต่ยังพบปัญหาบางประการ คือ รองเท้ายางธรรมชาตินั้นจำเป็นต้องมีเทคนิคในการยึดติดก็ต้องขัดผิวยางก่อนจึงจะสามารถยึดติดได้ด้วยกาวที่ใช้ยึดติดรองเท้ากับกีบวัวซึ่งเป็นกาวประเภทอะคริลิก) มีชุดการทดลองการยึดติดด้วยกาวประเภทต่างๆ พบว่ากาวอะคริลิกให้การยึดติดดีที่สุด (การยึดติดด้วยกาวอะคริลิกจะเกิดได้ดีมากขึ้นเมื่อมีการปรับปรุงผิวของรองเท้ายางด้วยสารเคมีบางตัว (3% trichloroisocyanuric acid, TCICA) ซึ่งเป็นสารปรับปรุงพื้นผิว แต่ยางที่ปรับสภาพผิวสามารถที่จะรักษาสภาพการยึดติดได้เพียง 1-2 อาทิตย์เท่านั้น หรืออีกวิธีการหนึ่งคือการตอกหมุดซึ่งเมื่อทดลองใช้แล้วได้ผลการติดดีแต่วิธีนี้จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านการตัดแต่งกีบวัวเท่านั้น ดังแสดงในรูป



นักวิจัยมีความประสงค์ที่จะส่งเสริมให้เกษตรกรรายย่อยหรือผู้ประกอบการฟาร์มโคนมสามารถนำผลิตภัณฑ์รองเท้าวัวนี้ไปใช้งานได้โดยไม่ต้องพึ่งพาผู้เชี่ยวชาญ โดยทีมสัตวแพทย์แนะนำการออกแบบรองเท้ายางให้มีรูปแบบรองเท้าให้มีการใช้งานได้ดีมากยิ่งขึ้น เกิดการใช้งานที่ง่ายมากขึ้น และทำให้มีรองเท้ายางหลากหลายรูปแบบมากขึ้น ในรูปแบบ block นั้น นักวิจัยมีแนวความคิดที่จะเพิ่มส่วนการยึดรองเท้าให้เข้ากับกีบเท้ามากขึ้นโดยเพิ่มส่วนผ้าใบครอบกีบเท้าดังรูปวาด เพื่อเพิ่มส่วนรัดรองเท้าให้ติดกับกีบเท้าได้ดียิ่งขึ้น ทั้งยังเป็นส่วนช่วยพยุงรองเท้าให้ติดกับกีบในช่วงเวลาการรอการแหว่งได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย



การรักษาเท้าที่เจ็บนั้นสามารถทำได้หลากหลายวิธีขึ้นอยู่กับความชำนาญและการวินิจฉัยของสัตวแพทย์ที่ทำการรักษา โดยแบบหนึ่งนั้นสามารถทำให้เป็นแบบ boot หุ้มดังรูปวาด) แสดงให้เห็นส่วนสั้น (ซึ่งประกอบด้วยยางพื้นลื่นที่มียางแผ่นบางประกบอยู่ในส่วนด้านบน ในส่วนแผ่นยางหุ้มนั้นสามารถดัดแปลงแบบให้เข้ากับสรีระเท้าโดยการตัดแต่งแบบได้ เพราะเป็นส่วนที่มีบางและมีความยืดหยุ่น แบบการรักษานี้จะมีส่วนหุ้มบาดแผลเพิ่มเข้ามาในรองเท้าที่จะสามารถป้องกันบาดแผลจากสิ่งสกปรกและน้ำได้อีกทางหนึ่งและรูปแบบรองเท้ารูปแบบแบบนี้ไม่จำเป็นต้องใช้สารยึดติด สามารถที่สวมใส่เข้ากับเท้าได้เลย โดยการคล้องเชือกรัดในส่วนยางหุ้มที่จะเจาะรูไว้ทั้ง 4 มุมและติดทับด้วยเทปกาวเพื่อความแข็งแรงอีกทางหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้รองเท้ารูปแบบนี้ยึดติดกับเท้าได้โดยไม่ใช้กาว คือ การลดความสูงของส่วนยางที่ยกขึ้นจากพื้นให้น้อยลงและออกแบบให้ชิ้นงานเบามากขึ้น การใช้รูปแบบนี้ก็ยังจะช่วยพุงกับเท้าส่วนบนให้แนวแรงน้ำหนักที่กดอยู่ในแนวตรงอีกด้วย



นักวิจัยมีความเห็นว่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งหากมีการสนับสนุนให้มีการศึกษาวิจัยต่อยอดในเรื่องรูปแบบ เบ้า แต่การศึกษาวิจัยในส่วนนี้ทำได้ยาก ต้องใช้การลงทุนและมีความเสี่ยงสูงเพราะการเปลี่ยนแบบเบ้าต้องใช้เวลา และต้องพึ่งช่างกลึงโลหะซึ่งการหาบุคลากรที่จะมาทำในส่วนนี้เป็นเรื่องยาก และหากการเปลี่ยนแบบไม่ประสบผลก็จะเป็นการยากที่จะเปลี่ยนกลับไปเป็นแบบเดิม แต่นักวิจัยมีความเชื่อว่าผลสำเร็จของงานวิจัยนี้จะเป็นผลงานที่เป็นประโยชน์แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม ผู้ประกอบการฟาร์มโคนม และสัตวแพทย์ในประเทศไทยที่เป็นรูปธรรม ให้ได้มี รongเท้าวัวไว้ใช้เองในประเทศ เพราะจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น พบว่าการหาซื้อรongเท้าวัวนั้นยากมากจนแทบจะ เป็นไปไม่ได้ บริษัทจะไม่ทำการจำหน่ายรongเท้าวัวขายหากไม่มีการสั่งซื้อเป็นจำนวนมาก อีกทั้งราคาที่แพงมากเกินไป เนื่องจากต้องเสียค่าภาษีและค่านำเข้าในราคาสูง

เพื่อนำไปสู่การใช้งานจริงนักวิจัยมีข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยอย่างเป็นระบบในเรื่องของการนำไป ทดสอบใช้งานทางคลินิก ซึ่งนักวิจัยไม่มีความเชี่ยวชาญที่จะทำงานวิจัยในเรื่องนี้ ต้องอาศัยความร่วมมือจากส่วนภาค อื่น เช่น คณะสัตวแพทยศาสตร์ และฟาร์มโคนมขนาดใหญ่ที่มีปริมาณวัวที่เจ็บกีบเท้ามากพอที่จะทำการทดลอง และสรุปผลการใช้งานในเชิงวิชาการได้ ซึ่งจะต้องทำการศึกษาสภาวะและปัจจัยต่างๆที่จะมีผลกับการใช้งานของ รongเท้า เช่น สภาพโรงเลี้ยงที่แตกต่างกัน ลักษณะบาดแผลและอาการเจ็บกีบที่แตกต่างกันตามแต่กรณี เป็นต้น อีกทั้ง ยังควรศึกษาความแตกต่างของการให้ปริมาณน้ำนมของแม่วัวที่มีการสวมรongเท้าและไม่สวมรongเท้าในกรณีที่มีอาการ เจ็บกีบเท้า และการศึกษาจำเป็นต้องมีปริมาณวัวที่มีมากพอที่จะสามารถแสดงผลในเชิงสถิติได้ เพื่อเป็นการยืนยัน ความสำเร็จของการพัฒนาผลิตภัณฑ์รongเท้าวัว

จากประสบการณ์การทำงานในงานวิจัยนี้พบว่า ในการศึกษาความพึงพอใจของวัวจากการใช้ผลิตภัณฑ์นั้น ทำได้ยาก เนื่องจากวัวไม่สามารถแสดงความรู้สึก การประเมินการใช้งานจะเป็นการประเมินจากสัตวแพทย์ ซึ่งจะ สังเกตจากลักษณะการเดิน ลักษณะการยืน การหายจากบาดแผล ซึ่งวัวแต่ละตัวจะมีพฤติกรรมตอบสนองที่ต่างกัน โดยจะเห็นว่าเป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยาก และสิ่งเหล่านี้เป็นเพียงผลทางอ้อมที่สามารถนำมาประเมินเท่านั้น หากนักวิจัย ต้องการศึกษาค้นหาความหนาและความนุ่มของรongเท้าที่เหมาะสม คงทำได้เพียงแค่การประเมินการยืนของวัวแต่ไม่สามารถ ทราบถึงความพึงพอใจของวัวที่แท้จริงได้ จึงทำให้มีปัญหาในการหาวิธีที่จะทำการประเมินเพื่อปรับปรุงแบบให้ เหมาะสมกับรongเท้าวัวที่ทำจากยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นงานวิจัยที่นักวิจัยมีความเห็นว่ามีคามจำเป็นหากต้องการต่อยอด เพื่อทำการจดสิทธิบัตร นอกจากรongเท้าจะออกแบบให้มีสมบัติที่สามารถรองรับน้ำหนักของวัวและใช้ร่วมรักษา อาการเจ็บกีบเท้าของวัวได้แล้ว ยังคงต้องมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความโดดเด่นที่จะแสดงลักษณะและสมบัติเฉพาะ ของยางธรรมชาติเพื่อให้มีความแตกต่างจากรongเท้าวัวที่มีจำหน่ายทางการค้าที่ใช้วัสดุที่แตกต่างกันตามการวิจัยและ พัฒนาของแต่ละบริษัทผู้ผลิต

ภาคผนวก 2

ข้อคิดเห็นของนักวิจัยต่อข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ

1. ตรวจสอบความถูกต้องของการพิมพ์
 - ได้ทำการแก้ไขเรียบร้อยแล้ว
2. ควรมีหน่วยกำกับความแข็งแรงทุกครั้ง
 - ได้ทำการเพิ่มหน่วยความแข็งแรงที่ไม่ได้ระบุทั้งหมดแล้ว
3. ให้ระบุมาตรฐานรองเท้าว่าอ้างอิง
 - ได้ระบุมาตรฐานรองเท้าไว้ในตารางที่ 2 หน้า 17 เรียบร้อยแล้ว
4. ไม่จำเป็นต้องใช้ยาง STR5L เพราะผลิตภัณฑ์ไม่จำเป็นต้องใส่สีหรือมีสีขาว หากใช้ยาง STR20 ยางแผ่นรมควันหรือยางเครพจะลดต้นทุนลงได้อีก ควรเขียนรายละเอียดของสารตัวเติมที่ใช้และสูตรที่ใช้ silica ได้เดิม DEG หรือไม่
 - รองเท้าเป็นสินค้าที่ใช้ในทางการแพทย์และถือเป็นสินค้าที่มีราคาสูง (1500 บาท ต่อชิ้น) จึงไม่จำเป็นต้องลดต้นทุนมากนัก และจะเห็นได้ว่าถึงแม้จะใช้ยางแท่ง STR 5L ก็ยังสามารถผลิตรองเท้าที่มีราคาถูกกว่ารองเท้าที่นำเข้าถึง 10 เท่า ไม่จำเป็นต้องใช้ยางเครพที่มีราคาถูก และหากจะใช้ยางแผ่นรมควันหรือยางแท่ง STR 20 ในเรื่องของสมบัติคงไม่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด และราคาต่อชิ้นหากจะมีส่วนต่างเนื่องจากชนิดของยางธรรมชาติที่ใช้ก็คงไม่มาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฝ่ายโรงงานอุตสาหกรรมที่สนใจนำไปต่อยอดในเชิงพาณิชย์ว่าจะใช้ยางธรรมชาติเกรดใดในการผลิต และในงานวิจัยนี้ได้ทำการลดต้นทุนของสินค้าด้วยการผสมยางรีเคลมที่สามารถลดต้นทุนได้ในระดับหนึ่งอยู่แล้ว นักวิจัยได้ระบุรายละเอียดของสารตัวเติมทุกตัวที่ใช้ในหัวข้อของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ในรายงานหน้า 5 และสูตรที่ใช้ซิลิกานั้นมีการเติม DEG ในสูตรยางดังที่ระบุเพิ่มเติมไว้ในตารางที่ 1 ในรายงานหน้า 6
5. ระบุรายละเอียดการวัด *tabor* ว่าเป็นแบบไหน ระบุขนาด
 - ได้ระบุรายละเอียดการทดสอบการสึกหรอแบบ *tabor* พร้อมทั้งมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ ในหัวข้อการทดสอบสมบัติยางคงรูป ในรายงานหน้า 7
6. การทดสอบความแข็งของยางตามมาตรฐาน *Shore A* ไม่ถูกต้อง
 - ได้ทำการแก้ไขให้ถูกต้องแล้ว ในหัวข้อการทดสอบสมบัติยางคงรูป ในรายงานหน้า 6

7. จากการที่นักวิจัยระบุว่า การใช้ยางรีเคลมเกินกว่า 20 phr จะทำให้ผิวของยางไม่เรียบ ไม่น่าจะมีผลต่อชิ้นงาน เมื่อเพิ่มปริมาณเกิน 30 phr ทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของความต้านทานต่อแรงกดลดน้อยลง แต่ค่ายังเกินมาตรฐานในตารางที่ 2
- ในการใช้ยางรีเคลมผสมร่วมกับยางธรรมชาติ STR 5L เกินกว่า 20 phr นั้นจะทำให้ผิวชิ้นงานไม่เรียบ ในมุมมองของผู้ประเมินเห็นว่าอาจไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์มากนักนั้น นักวิจัยมีความคิดเห็นว่าร่องเท้าว่าเป็นร่องเท้าที่สวมใส่ให้วูเมื่อเกิดการบาดเจ็บของกีบเท้า ถือเป็นวัสดุทางการแพทย์อย่างหนึ่ง ซึ่งหากจะทำการผลิตก็ควรจะผลิตให้อยู่ในเกณฑ์ของสินค้าเกรด A การที่สินค้ามีรอยตำหนิที่มีสาเหตุเกิดขึ้นได้จากการบวนการผลิตนั้นเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง ทั้งในเรื่องของการควบคุมคุณภาพของสินค้าเมื่อทำการผลิตออกเป็นสินค้าจริงๆ และการยกระดับสินค้าให้สามารถแข่งขันกับสินค้าต่างประเทศได้เมื่อมีการผลิตออกขายในเชิงพาณิชย์
- เมื่อเพิ่มปริมาณยางรีเคลมเกิน 30 phr ทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของความต้านทานต่อแรงกดลดน้อยลง แต่ค่ายังเกินมาตรฐานในตารางที่ 2 ในการเลือกสูตรยางธรรมชาติที่ผสมยางรีเคลม โดยเลือกใช้สูตรที่ใช้ยางรีเคลมไม่เกิน 20 phr นั้น เนื่องมาจากว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้เป็นเพียงสมบัติของร่องเท้าว่าอ้างอิงทางการค้า เนื่องจากการใส่ยางหรือสารลดต้นทุนในยางจะทำให้สมบัติบางอย่างของยางตกลงจึงเลือกใช้สูตรยางที่มีเกณฑ์ใกล้เคียงถึงมากกว่ามาตรฐาน และหากเป็นไปได้ไม่ควรลดสมบัติลงมาก เนื่องจากมาตรฐานที่นักวิจัยใช้เป็นสมบัติของร่องเท้าอ้างอิงที่มีขายทางการค้า มาตรฐานของร่องเท้าว่านั้นยังไม่มีกำหนดเนื่องจากมีผู้ผลิตร่องเท้าในเชิงพาณิชย์เพียงไม่กี่ราย ซึ่งสมบัติของร่องเท้าว่าที่ผลิตจากแต่ละบริษัทนั้นยังเป็นความลับของบริษัทผู้ผลิตในแต่ละราย ดังนั้นข้อมูลสมบัติของร่องเท้าว่าในทางการค้าจึงเป็นเพียงสมบัติขั้นต่ำที่ผู้ผลิตตั้งเกณฑ์ไว้ หากคู่แข่งสามารถที่จะผลิตสินค้าที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าแต่ยังคงราคาที่ถูกกว่าได้ก็จะเป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัยชิ้นนี้นักวิจัยมีเป้าหมายที่จะศึกษาการผลิตร่องเท้าว่าในรูปแบบหนึ่ง คือ แบบยกกีบซึ่งมีใช้กันโดยมาก เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำงานวิจัยต่อยอดซึ่งยังคงต้องทำการศึกษาในการหาแบบร่องเท้าที่เหมาะสมที่จะใช้ยางธรรมชาติเป็นวัสดุต่อไป นักวิจัยมีความคิดเห็นว่าหากประเทศไทยต้องการที่จะเพิ่มมูลค่ายางธรรมชาติในเชิงเศรษฐกิจ จำเป็นต้องส่งเสริมการคิดค้นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่ว่านี้ควรผลิตขึ้นเพื่อขายในตลาดระดับกลางถึงระดับบน การผลิตสินค้าสู่ตลาดระดับล่างนั้นสินค้าของไทยยังสู้ราคาสินค้าจากจีนและเวียดนามไม่ได้ อีกทั้งเกษตรกรโคนมไทยควรได้รับการยกระดับในการบริโภคสินค้าที่ดีมีคุณภาพ แต่ราคาไม่สูงเกินไปนัก ในงานวิจัยนี้จึงเลือกสูตรที่เหมาะสมจากพื้นฐานความคิดที่จะสร้างความสมดุลระหว่างการลดต้นทุนและยกระดับคุณภาพไว้ในระดับหนึ่ง
8. หัวข้อการทดสอบการใช้งานเบื้องต้น
- 8.1 สูตรที่ใช้ 1 และ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานในตารางที่ 2 ทั้ง 2 สูตรผ่านตามมาตรฐานหรือไม่
- สูตรยางที่ใช้ในการทดสอบสมบัติการใช้งานเบื้องต้น 1 และ 2 นั้นเป็นสูตรที่ผ่านตามาตรฐานตามตารางที่ 2 ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้ เชม์ดำ 50 phr + เรซิน 20 phr และเชม์ดำ 50 phr + เส้นใยสั้น 30 phr ซึ่งเป็นสูตรที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยทั้งสองสูตรมีการใช้ยางรีเคลมผสมร่วมกับยางธรรมชาติใน

อัตราส่วน 20/80 ของปริมาณยางทั้งหมด 100 phr ของสูตรยางที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งในการเขียนอธิบายในหัวข้อนี้จะระบุแค่ปริมาณสารตัวเติมที่ใช้ต่างชนิดกัน คือ ปริมาณของเรซิน และปริมาณของเส้นใยสั้น เนื่องจากการใช้เขม่าดำเท่ากันทั้งสองสูตรคือ 50 phr จึงไม่ได้ระบุไว้ อาจทำให้ผู้ทรงคุณวุฒิเกิดความสับสน ทั้งนี้ได้ระบุข้อมูลเพิ่มเติมดังที่อธิบายในข้างต้นไว้แล้วในรายงานหน้า 20

8.2 ทำไมนักวิจัยไม่เลือกใช้สูตรที่มีสมบัติมาตรฐานตามตารางที่ 2 คือ เขม่าดำ 50 phr + เรซิน 30 phr และเขม่าดำ 50 phr + เส้นใยสั้น 40 phr

- นักวิจัยได้เลือกใช้สูตรที่ เขม่าดำ 50 phr + เรซิน 20 phr และเขม่าดำ 50 phr + เส้นใยสั้น 30 phr ที่มีการผสมยางรีเคลมในสูตร ซึ่งเป็นสูตรที่ผ่านมาตรฐานตามตารางที่ 2 เนื่องจากมีข้อผิดพลาดในการพิมพ์ข้อมูล จึงทำให้ผู้ประเมินเกิดความเข้าใจผิดในสูตรที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งได้ทำการแก้ไขข้อผิดพลาดด้านการพิมพ์แล้วในหน้า 17 ทั้งนี้ นักวิจัยได้ทำการทดสอบการใช้งานเบื้องต้นของสูตรยางที่ผ่านมาตรฐานแต่ไม่ได้ผสมยางรีเคลม คือ เขม่าดำ 50 phr + เรซิน 30 phr และเขม่าดำ 50 phr + เส้นใยสั้น 40 phr พบว่าไม่มีความแตกต่างด้านการใช้งานเบื้องต้นที่ทำการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากต้องการลดต้นทุนสินค้าจึงเลือกใช้และเสนอผลแก่ในส่วนของการท้าวางดันแบบที่ใช้สูตรที่มียางรีเคลมผสมด้วยเท่านั้น

8.3 ทำไมไม่ใช้สูตรยางรีเคลมด้วย เพราะค่าที่ได้ยังอยู่ในมาตรฐานของตารางที่ 2 ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนด้วย

- สูตรยางที่ใช้ในการทดสอบเป็นสูตรที่มียางรีเคลมผสมอยู่ด้วย เนื่องจากได้ระบุข้อมูลไม่ชัดเจน ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในข้างต้น ได้ทำการแก้ไขโดยการเพิ่มรายละเอียดสูตรยางที่ใช้ให้ชัดเจนในหน้า 20 แล้ว

9. ตารางที่ 3 น่าจะเป็นการสังเกต มากกว่าการทดลอง หากมีการทดสอบน่าจะมีรายละเอียดการทดสอบด้วย

- ข้อมูลในตารางที่ 3 เป็นบทสรุปของการใช้งานเบื้องต้นของรองเท้าดันแบบที่ผลิตจากยางธรรมชาติซึ่งมีคำอธิบายการทดสอบในหัวข้อการทดสอบสมบัติของยางคงรูปในหน้า 7

10. การทดสอบการใช้งานเบื้องต้น

10.1 การใช้กาวติดมีผลกับบาดแผลของนิ้วหรือไม้และรองเท้ามีผลต่อการรักษาแผลหรือไม่

- การใช้กาวยึดติดรองเท้าเป็นสิ่งที่สะดวกแพทย์กระทำโดยทั่วไปเมื่อต้องใส่รองเท้าแบบยกก๊อบในการรักษาอาการเจ็บเท้าของนิ้ว กาวนั้นจะไม่มีผลต่อการรักษาแผลหรือหากมีผลก็จะเกิดข้างเคียงน้อย เพราะการใช้การรักษาแบบรองเท้ายกก๊อบมักจะใช้กับอาการเจ็บเท้าที่เกิดกับนิ้ว รองเท้าแบบยกก๊อบจะถูกสวมใส่ให้นิ้วในเท้าที่ไม่มีอาการบาดเจ็บเพื่อที่จะทำการยกก๊อบเท้าข้างที่เจ็บให้สูงจากพื้นเพื่อไม่ให้เท้าที่เจ็บสัมผัสพื้นที่จะมีน้ำหนักกดบนแผลซึ่งจะทำให้เกิดการเจ็บปวดได้

10.2 ลักษณะร่องเท้าจะเป็นการสวมและสามารถถอดเข้าออกได้เพื่อสะดวกในการรักษาบาดแผล

- รองเท้าที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นรองเท้าแบบขกึบ ไม่สามารถถอดแบบให้มีการสวมถอดได้ เนื่องจากจำเป็นต้องมีการติดกาแบบกึ่งถาวรกับเท้าเพื่อใช้เป็นตัวยึดกับเท้าในระหว่างการรักษา ซึ่งจะมีลักษณะการใช้งานคล้ายกับการสวมเฟือก คือ จะต้องสวมไว้ถาวรในช่วงการรักษาเพื่อเป็นตัวยึดให้กระดูกอยู่กับที่ให้มากที่สุด เช่นเดียวกัน หากไม่มีการยึดติดรองเท้ากับเท้าจะทำให้รองเท้าไม่สามารถจะทำงานตามฟังก์ชันที่แท้จริงของรองเท้าแบบขกึบได้ รองเท้าแบบขกึบนั้นทำหน้าที่ในการขกึบเท้าช่วงที่ไม่มีบาดแผลหรืออาการบาดเจ็บเพื่อช่วยพยุงหรือขกึบเท้าช่วงที่เจ็บให้สูงขึ้นจากพื้น ลดแรงกดที่เกิดจากน้ำหนักตัวที่จะทำให้เท้ารู้สึกเจ็บแปลทำให้เท้ารู้สึกไม่สบายและอาจส่งผลให้การให้น้ำนมลดลง อีกทั้งยังช่วยขกึบบาดแผลให้พ้นห่างจากพื้นเพื่อหลีกเลี่ยงอาการติดเชื้อเพิ่มเติมได้

10.3 ทำไมไม่ทำบ้ายางออกมาคล้ายแบบบูต เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ใช้ได้ผลดีที่สุด

- ในการรักษาอาการบาดเจ็บของกีบกีบนั้นสามารถทำได้หลากหลายวิธีขึ้นอยู่กับความชำนาญของสัตวแพทย์และลักษณะของอาการที่ปรากฏ รองเท้าในแต่ละแบบมีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกันไป การที่นักวิจัยมีความสนใจรองเท้าแบบขกึบ เนื่องจากเป็นแบบที่สัตวแพทย์ประจำฟาร์มโคนมที่ร่วมมือในงานวิจัยนี้(เคเคเค แครี่ ฟาร์ม, สระบุรี)ใช้ในการรักษา มีแบบและตัวอย่างของจริงให้นักวิจัยได้นำมาศึกษาในการออกแบบรองเท้า แต่ตัวอย่างรองเท้าแบบบูตนั้นนักวิจัยไม่สามารถหาซื้อได้ในประเทศ อีกทั้งรองเท้าแบบบูตนั้นทำมาจากพอลิยูรีเทน ซึ่งมีสมบัติทางฟิสิกส์และทางกายภาพที่สูงกว่ายางธรรมชาติมาก การที่จะออกสูตรยางธรรมชาติให้มีสมบัติเท่าเทียมกับพอลิยูรีเทนนั้นเป็นไปได้ยาก โดยเฉพาะในเรื่องของการทนทานต่อการเสื่อมจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและการสึกหรอ รองเท้าแบบบูตนี้จึงสามารถนำมาใช้งานซ้ำๆได้เป็นเวลานาน การจะทำงานวิจัยรองเท้าโคแบบบูตจำเป็นต้องออกแบบงานวิจัยที่แตกต่างจากรองเท้าแบบขกึบที่สามารถใช้สารตัวเติมลดต้นทุนบางส่วนได้ โดยในการออกแบบสูตรให้ได้เท่าเทียมกับรองเท้าแบบบูตทางการค้าจะต้องออกแบบสูตรให้แข็งแรงมากและอาจใช้สารลดต้นทุนไม่ได้เลย ทั้งนี้เมื่อนักวิจัยได้ทำวิจัยจนถึงขั้นตอนของการทดลองใช้ ได้พบว่ารองเท้ายางธรรมชาตินั้นมีข้อด้อยในเรื่องของการยึดติดกับเท้าที่ใช้ จึงมีความเห็นให้ลองปรับเปลี่ยนแบบให้มีลักษณะคล้ายกับแบบบูตซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้กาวยึดติด ซึ่งอาจมีความเป็นไปได้ในการผลิต แต่ประสิทธิภาพของการใช้งานจริงนี้นักวิจัยไม่สามารถทราบได้ขณะที่ยังไม่มีการทดลองอย่างเป็นระบบ และในเรื่องของสมบัติของยางนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาอย่างละเอียด ข้อมูลสมบัติของรองเท้าทางการค้านั้นยังเป็นความลับของบริษัทที่ทำการผลิต นักวิจัยมีความเห็นว่าควรให้มีการออกแบบรองเท้าที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของยางธรรมชาติ ทั้งนี้จะต้องมีการศึกษาและทำวิจัยเพิ่มเติมอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะเรื่องของสรีระกีบเท้าและการถ่ายเทแรง ซึ่งในประเทศไทยยังไม่มีเครื่องมือและเงินทุนที่จะทำการศึกษาในจุดนี้ได้ จึงจำเป็นต้องหาทางแก้ปัญหาที่เหมาะสมเพื่อต่อยอดงานวิจัยต่อไป

11. ลักษณะของรองเท้าที่ทำออกมาคล้ายกับ the lift ซึ่งแตกต่างจาก the lift ของต่างประเทศอย่างไร

- รองเท้าวิ่งจากยางธรรมชาติที่ทำการผลิตเป็นต้นแบบรองเท้าวิ่งในงานวิจัยนี้มีลักษณะการทำงานเหมือนกับ the lift คือ เป็นรองเท้าวิ่งประเภทยกก้นยกเท้าซึ่งจะทำหน้าที่ในการยกเท้าวิ่งขึ้นที่ไม่มีบาดแผลหรืออาการบาดเจ็บเพื่อช่วยพยุงหรือยกเท้าขึ้นที่เจ็บให้สูงขึ้นจากพื้น จึงทำให้มีรูปแบบของรองเท้าที่คล้ายคลึงกัน คือ คล้ายกับส้นรองเท้า แต่จะมีข้อแตกต่างของรายละเอียดการออกแบบ the lift นั้นจะมีการออกแบบโดยมีร่องพื้นกันลื่นที่เป็นแบบตาราง ร่องรอบสันขอบรองเท้าเพื่อใช้เป็นแนวยึดถ่วงร่องพื้นเพื่อออกแบบให้เหมือนกันทั้งสองด้าน ถ้าวางแบบแผ่นฟองน้ำที่อัดติดมากับรองเท้า อีกทั้ง the lift นั้นจะทำจากวัสดุที่เป็นไม้ ซึ่งจะแตกต่างจากยางธรรมชาติอย่างสิ้นเชิง ทั้งในเรื่องของความแข็งแรงของวัสดุ และความสามารถในการตัดแต่งด้วยมีดแต่งเท้าให้เข้ากับเท้าวิ่งที่มีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งเหล่านี้เป็นข้อดีของรองเท้าวิ่งจากยางธรรมชาติเมื่อเทียบกับรองเท้าไม้ และในงานวิจัยนี้ได้นำแนวคิดที่การออกแบบรองเท้าให้มีสองความแข็ง (dual hardness) ในหนึ่งข้าง เพื่อช่วยให้เกิดการกระจายแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอของเท้าวิ่งบนพื้นที่ดีมากขึ้น ซึ่งรองเท้าไม้นั้นไม่สามารถที่จะผลิตขึ้นในรูปแบบนี้ได้

12. การลงรายละเอียดในโคน่าจะเพิ่มมากกว่า

- รายละเอียดในโคนที่ใช้ในงานวิจัยนี้นั้นไม่สามารถที่จะสรุปผลทางวิชาการในเชิงสถิติได้ ซึ่งขอบเขตของงานในการลงรายละเอียดของโคนนั้นเกินกว่าขอบเขตของงานวิจัยขึ้นนี้ วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการออกสูตรและผลิตต้นแบบรองเท้าวิ่งที่สามารถใช้งานได้จริง ในการทดสอบสมบัติของรองเท้าวิ่งนักวิจัยไม่มีความเชี่ยวชาญและต้องอาศัยความร่วมมือของภาคส่วนที่เกี่ยวข้องในทางปศุสัตว์ และต้องมีฟาร์มโคนมขนาดใหญ่ที่มีปริมาณวัวมากพอที่จะทำการทดสอบในเชิงสถิติที่จะสามารถควบคุมตัวแปรต่างๆได้ ซึ่งจะต้องทำการขยายผลต่อไป ในส่วนที่นักวิจัยได้ทำการทดลองนั้นได้ทำการทดสอบรองเท้าในวัวหลากหลายประเภท โดยได้ส่งรองเท้าบางส่วนไปทำการทดสอบที่ฟาร์มโคนม และอีกส่วนที่โรงพยาบาลสัตว์คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วัวที่ได้รับการทดสอบนั้นมีทั้งวัวนมหรือวัวเนื้อ ในบางกรณีจะเป็นวัวที่ไม่ได้มีอาการเจ็บเท้าแต่ได้ทำการทดสอบในเรื่องของการยึดติดกับเท้า

งานวิจัยนี้จะเน้นในเรื่องของการออกสูตรยางให้ได้สมบัติใกล้เคียงกับเกณฑ์ของรองเท้าวิ่งที่มีขายทางการค้าในเรื่องของการทดลองใช้งานจริงนั้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของงานวิจัย และเป็นเพียงการใช้งานเบื้องต้น ซึ่งนักวิจัยจะทำการประเมินจากเท้าที่เจ็บในการทดสอบการหายจากบาดแผลและเท้าที่ไม่เจ็บก้นในกรณีทดสอบการยึดติดเนื่องจากปริมาณของเท้าที่เจ็บก้นมีไม่เพียงพอในระยะเวลาของการทำงานวิจัย ดังนั้นความหลากหลายของอาการเจ็บก้นจึงมีให้ศึกษาได้ไม่มากนัก ฟาร์มโคนมที่ให้ความอนุเคราะห์ทำการทดสอบให้โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายทางคลินิก ซึ่งลดค่าใช้จ่ายไปได้บางส่วน บุคลากรที่ให้ความร่วมมือจากคณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ต้องทำการทดสอบกับวัวที่มารักษาอาการป่วยอื่นๆ ในบางครั้ง โดยต้องขออนุญาตเจ้าของวัวเป็นรายๆ ไป เนื่องจากวัวแต่ละตัวมีราคาสูงและผู้เลี้ยงบางรายไม่ยอมให้ทดลอง หากจะศึกษาข้อมูลทางการปศุสัตว์และทางการแพทย์ให้ละเอียด ในรายละเอียดของ

ลักษณะแผลและอาการหายจากบาดแผล จำนวนโคที่ใช้ ลักษณะที่แตกต่างของโรงเลี้ยง จำเป็นต้องขยายระยะเวลาโครงการ และทำการศึกษาอย่างเป็นระบบในงานวิจัยชิ้นเดียว ด้วยโครงการที่มีขนาดใหญ่กว่านี้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีขอบเขตเกินกว่า scope ของงานวิจัยนี้

13. ใช้โคกี่ตัวและ โคอยู่ในสภาพคอกอย่างไร พื้นที่คอกมีผลต่อรองเท้าที่ใส่ รวมทั้งการที่โคใส่รองเท้าตลอด 14 วัน แผลที่สัมผัสจะระคายเคืองหรือไม่

- โคที่ใช้ทดสอบนั้นมีประมาณ 20-30 ตัวซึ่งมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยที่ 400-500 kg พื้นที่คอกเป็นพื้นคอนกรีตซึ่งมีการปล่อยโคให้เดินในทุ่งหญ้าวันละ 1-2 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่โคใส่รองเท้าตลอด 14 วันนั้น ไม่มีผลต่อแผลที่สัมผัส ในบางกรณีอาจมีการถอดรองเท้าให้โคก่อน 14 วันหากแผลที่เกิดขึ้นที่กีบหยักก่อน 14 วัน

14. ลักษณะการเดินของโคเป็นอย่างไรหลังการใส่รองเท้า อาการเจ็บกีบนอกกีบในนั้นเกิดอาการสูงต่ำไม่เท่ากัน

- ลักษณะการเดินของโคหลังการใส่รองเท้าดูผิดปกติจากที่ไม่ใส่รองเท้า แต่โคยังสามารถที่จะเดินในคอกได้ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการเจ็บปวดที่บาดแผลที่กีบเท้าร่วมด้วย ในกรณีที่ทดสอบในโคไม่มีอาการบาดเจ็บโคมีการเดินที่ผิดปกติจากปกติเนื่องจากรองเท้าที่สวมใส่จะทำให้กีบเท้าถูกยกสูงขึ้นจากพื้นหนึ่งข้างจึงเกิดความไม่สมดุลของน้ำหนักที่ถ่ายเทลงพื้น แต่ได้มีการทดลองปรับแต่งความสูงของรองเท้าออกจากที่ออกแบบไว้ 2/8 นิ้ว ผลจากการสังเกตพบว่าโคสามารถที่จะเดินได้ปกติมากขึ้นแต่กีบข้างที่ไม่ได้สวมรองเท้าจะมีการสัมผัสกับพื้นบ้างในบางอิริยาบถของโค ซึ่งอาจมีผลให้บาดแผลเกิดการระคายเคืองได้ ทั้งนี้ยังคงต้องวิจัยในส่วนนี้เพิ่มเติมเพื่อให้สามารถสรุปผลในทางวิชาการได้ นักวิจัยได้ทำการทดสอบการใช้งานของรองเท้าทั้งกับกีบนอกและกีบในแต่ผลการทดสอบจากการสวมรองเท้าว่าที่ได้ไม่เห็นความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งลักษณะการเดินหรือการทรงตัวของโคในอาการเจ็บกีบนอกกีบในที่แตกต่างนั้นน่าจะเป็นผลมาจากลักษณะที่แตกต่างทางสรีระวิทยาและธรรมชาติของการถ่ายเทน้ำหนักของกีบนอกกีบในมากกว่าจากการสวมรองเท้า

ข้อคิดเห็นของนักวิจัยต่อข้อสังเกต/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ

1. ทำงานได้ปริมาณมาก มีผลงานดี
2. ผู้ประเมินเคยพบการเคลื่อนย้ายวัวข้ามภูเขา ซึ่งอาจจะเกิดปัญหาแผลที่เท้าระหว่างการเดินทาง ซึ่งชาวบ้านได้นำรองเท้าแตะฟองน้ำตัดหุออกแล้วพันหุ้มที่เท้าวัว และใช้เชือกมัด จากการสอบถามชาวบ้านพบว่าใช้ดีมาก ซึ่งถ้าผู้วิจัยดำเนินการต่อ น่าจะนำความคิดนี้ไปใช้ อาจทดลองออกสูตรยางที่เป็นรองเท้าฟองน้ำมาทดลอง อาจได้ผลดีในการระบายอากาศ อีกทั้งยังสวมถอดออกได้ตลอด และทำให้การดูแลรักษาแผลดีขึ้นด้วย
- ตามที่ผู้ประเมินเสนอแนะว่าให้นำภูมิปัญญาชาวบ้านในการนำเศษรองเท้าฟองน้ำหุ้มกีบเท้าวัวนั้นเป็นข้อเสนอแนะที่ดี แต่การทำรองเท้าฟองน้ำยังเป็นที่ต้องใช้เครื่องอัดเข้าในการผลิต ซึ่งก็จำเป็นต้องทำเข้าพิมพ์ที่มีราคาแพงและใช้เวลาในการทำนานเหมือนแบบที่นักวิจัยได้ทำงานวิจัยมา เพียงแค่จะต้องใส่สารฟลูในกระบวนการผลิต และในการใช้ฟองน้ำสวมนั้นเป็นแค่การลดแรงกดในช่วงเวลาการขนย้ายซึ่งคงจะไม่

ใช้เวลานานเท่าการรักษาอาการบาดเจ็บ การใช้ฟองน้ำนั้นอาจเกิดผลดีในด้านความยืดหยุ่น แต่นักวิจัยไม่ทราบว่า การที่น้ำซึมผ่านฟองน้ำได้จะทำให้แผลเปื่อยและจะทำให้หายช้ามากกว่าเดิมหรือไม่ ซึ่งน่าจะมีความเป็นไปได้ในแบบที่สวมถอดได้ แต่ไม่ใช่กับแบบยกก๊อบเนื่องจากข้อกำหนดเรื่องความแข็งแรงและการติดกาวดังที่กล่าวมาแล้ว

3. ตามข้อเสนอแนะของนักวิจัยในเรื่องการยึดติดระหว่างรองเท้ากับก๊อบเท้าว่า นักวิจัยน่าจะพิจารณาว่า การใช้รองเท้าชนิดพีวีซี มีการยึดติดอย่างไร เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนารองเท้าจากยางธรรมชาติ
 - กาวที่ใช้ยึดติดกับรองเท้าแบบยกก๊อบนั้นเป็นกาวอะคริลิกซึ่งมีความเป็นขี้ผึ้ง พีวีซีมีสูตรโครงสร้างทางเคมีที่มีหมู่คลอรีนอยู่ในโครงสร้างซึ่งเป็นตัวที่มีความเป็นขี้ผึ้งในโครงสร้างส่งผลให้รองเท้าพีวีซีมีการยึดติดกับกาวอะคริลิกได้ดี ในทางตรงกันข้าม ยางธรรมชาติมีโครงสร้างทางเคมีที่ประกอบจากไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด ส่งผลให้ยางธรรมชาติมีสภาพไม่มีขี้ผึ้ง ทำให้การยึดติดเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่ากับวัสดุที่ทำจากพีวีซี การใช้ยางธรรมชาติดัดแปลงโมเลกุลที่เสริมความเป็นขี้ผึ้งให้ยางธรรมชาติเป็นสิ่งที่ไม่คุ้มค่ากับการลงทุนในขณะนี้
4. ถ้าออกสูตรยางแข็งให้ยืดหยุ่นได้บ้างเล็กน้อย จะช่วยยึดก๊อบเท้าได้หรือไม่
 - การออกสูตรยางให้มีความยืดหยุ่นเพื่อผลิตรองเท้าแบบยกก๊อบนั้นเป็นสิ่งที่ทำไม่ได้ ในการออกแบบสูตรยางให้ยางมีความแข็งในระดับหนึ่งนั้น เนื่องจากในการใช้งานรองเท้าแบบยกก๊อบจำเป็นต้องใช้กาวในการยึดติด กาวที่ใช้เป็นกาวอะคริลิก ซึ่งเมื่อกาวฟอร์มตัวจะมีความแข็งแรงสูงมาก อีกทั้งก๊อบเท้าของตัวเองก็มีความแข็งในระดับหนึ่ง หากยางไม่แข็งแรงพอจะส่งผลให้เกิดการยึดติดที่ไม่ดี เนื่องจากเกิดการกระจายแรงที่ไม่สม่ำเสมอบริเวณรอยต่อของวัสดุที่มีความแข็งที่แตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดความเครียดสะสมขึ้นบริเวณรอยต่อของก๊อบและรองเท้าและจะทำให้เกิดการล้มเหลวของรอยยึดติดได้ง่าย
5. นักวิจัยควรเสนอว่าจะต้องวิจัยเพิ่มเติมอย่างไร เพื่อการนำไปสู่การใช้งานได้จริง
 - ได้นำเสนอไว้ในภาคผนวก 1 ในรายงานแล้ว
6. ลักษณะการติดรองเท้ากับพื้นก๊อบ จะมีปัญหาในเรื่องของพื้นคอกที่แตกต่างกัน ซึ่งน่าจะขยายผลในฟาร์มเกษตรกรที่มีลักษณะพื้นคอกที่แตกต่างกัน เพื่อการปรับปรุงคุณภาพรองเท้าให้ดียิ่งขึ้น การติดกาวที่พื้นก๊อบอาจหลุด ถ้าอยู่ในสภาพพื้นอื่นๆ นอกเหนือจากในรายงาน
 - ในการต่อขยายผลงานวิจัยนี้จำเป็นต้องมีการศึกษาการใช้งานจริงของรองเท้าว่าเป็นระบบ ซึ่งการศึกษาเรื่องความแตกต่างของพื้นคอกนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็น เพราะพื้นคอกที่เป็นคอนกรีตนั้นอาจทำให้การหลุดลอกของรองเท้าเกิดขึ้นได้ยากกว่าพื้นคอกที่เป็นดินอัดแข็งหรือพื้นที่เป็นทุ่งหญ้าที่อาจมีโคลนตม ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการใช้งานอย่างแน่นอน ซึ่งจะต้องทำการขยายผลต่อไป

7. จำนวนโคที่ใช้ทดลองน่าจะช่วยสร้างความมั่นใจให้นักวิจัยได้
 - จำนวนโคที่ใช้ทดลองในงานวิจัยนี้คือ 30 ตัว แต่หากต้องการปริมาณที่มากกว่านี้คงต้องอาศัยความร่วมมือจากฟาร์มโคนมขนาดใหญ่ที่จะมีวัวให้ทดสอบโดยเฉพาะวัวที่มีอาการเจ็บกีบทำให้เกิดความเชื่อถือน่าขึ้น
8. การตอกหมุดโค ไม่ควรทำ จะเป็นการทรมานสัตว์ โคเกิดบาดแผลที่พื้นกีบแล้ว การตอกหมุดที่กีบอีกจะชักนำให้เกิดการติดเชื้อที่ตัวกีบเพิ่มอีก
 - นักวิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาของการตอกหมุดกับรองเท้า อีกทั้งการตอกหมุดนั้นจะต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการทำเท่านั้น สัตว์แพทย์ทางโคนมส่วนใหญ่ยังไม่มีความเชี่ยวชาญในด้านนี้มากนัก แต่การตอกหมุดเป็นเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขเรื่องการยึดรองเท้าเข้ากับโคเท่านั้น ทั้งนี้ นักวิจัยได้เลือกทำการปรับปรุงผิวของยางธรรมชาติเพื่อส่งเสริมความเป็นขี้ด้วยโดยใช้ 3% trichloroisocyanuric acid (TCICA) ซึ่งเป็นสารปรับปรุงพื้นผิว ให้ยางมีคลอรีนในโครงสร้างเคมีของพื้นผิวมากขึ้น ทำให้การยึดติดเกิดได้ดียิ่งขึ้น แต่ยางที่ปรับปรุงผิวสามารถที่จะรักษาสภาพการยึดติดที่ดีมากขึ้นได้เพียง 1-2 อาทิตย์เท่านั้น
9. รูปแบบรองเท้ายี่ห้อ SHOOF จะไม่ต้องแปะกาว แต่ใช้เชือกผูก สามารถดัดแปลงการผูกได้ เพื่อให้เกิดความแตกต่าง
 - ได้ทำการร่างการออกแบบและเสนอแนะไว้แล้วในข้อเสนอแนะ ภาคผนวก 1
10. รองเท้ากีบขาหน้า ทำการวิจัยด้วยหรือไม่ น่าจะทำต่อเพราะ โคเจ็บได้ทุกขา
 - รองเท้าวัวยางธรรมชาติที่ออกแบบนั้น ได้มีการทดสอบในกีบขาหน้า ซึ่งสามารถสวมใส่และใช้งานเบื้องต้นกับกีบขาหน้าอย่างไม่มีข้อแตกต่างจากกีบขาหลัง ซึ่งการออกแบบรองเท้านั้นได้คำนึงถึงการสวมใส่ทั้งกับกีบขาหน้าและขาหลังไว้แล้ว จะเห็นได้จากการออกแบบเข้าพิมพ์ในงานวิจัยนี้
11. ถ้ามีการจดสิทธิบัตรหลังการทำวิจัยนี้จะไปซ้ำซ้อนกับต่างประเทศหรือไม่
 - ขอบเขตของงานวิจัยนี้ยังไม่ได้ตั้งเป้าเพื่อไปถึงการจดสิทธิบัตร เป็นเพียงจุดเริ่มต้นที่จะพัฒนางานวิจัยให้เกิดเป็นองค์ความรู้เพื่อนำไปสู่การผลิตสินค้าในเชิงพาณิชย์ ที่จะส่งเสริมให้ยางธรรมชาติมีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยไม่ใช่เป็นแค่เพียงวัตถุดิบ ในการจดสิทธิบัตรจำเป็นต้องขยายผลงานวิจัยนี้ในส่วนของกรออกแบบให้เหมาะสมและเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของยางธรรมชาติที่มีความโดดเด่นต่างจากกรองเท้าวัวที่ผลิตจากวัสดุชนิดอื่นๆ ซึ่งองค์ความรู้ ปัญหาและอุปสรรคจากงานวิจัยนี้จะเป็เพียงจุดเริ่มต้นให้เกิดการพัฒนาไปถึงระดับนั้น อีกทั้งยังต้องมีการขยายผลและปรับปรุงในส่วนของการใช้งานเบื้องต้น เพื่อให้การทดสอบมีประสิทธิภาพและมีผลที่น่าเชื่อถือมากขึ้น ซึ่งหากมีการสนับสนุนอย่างเหมาะสม รองเท้าวัวจากยางธรรมชาติที่คิดค้น โดยคนไทยจะไม่ซ้ำซ้อนกับในต่างประเทศอย่างแน่นอน