รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

พัฒนาล้อยางลมเสริมชั้นโฟมยาง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่

ผศ.ดร.เจริญยุทธ เดชวายุกุล หัวหน้าโครงการ
ผศ.ดร.วิริยะ ทองเรือง ผู้ร่วมโครงการ
รศ.ดร.พิษณุ บุญนวล ผู้ร่วมโครงการ
รศ.ดร.วรวุธ วิสุทธิ์เมธางกูร ผู้ร่วมโครงการ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากเงินรายได้
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอุปกรณ์เสริมล้อยางลม (Run flat tire support ring)ที่ทำมาจากโฟมยางเริ่มจากศึกษาการขึ้นรูปยางให้เป็นโฟมยางโดยการเติมสารฟู (Blowing agent) และเพิ่มความแข็งด้วยการเติมสารตัวเติมเคลย์หรือแคลเซียมคาร์บอนเนต เพื่อให้มีคุณสมบัติเชิงกลที่สามารถรองรับน้ำหนักจากแรงกด มีความทนทานต่อการเกิดความร้อนสะสมภายใน และทนต่อการฉีกขาดจากการเจาะของตะปูเรือใบจากนั้นหาแนวโน้มและนำมาออกสูตรยางต้นแบบเพื่อนำไปขึ้นรูปเมื่อได้สูตรตามคุณสมบัติที่เหมาะสมจึงทำการออกแบบชิ้นงานอุปกรณ์เสริมล้อยางลมสร้างแม่พิมพ์เพื่ออัดขึ้นรูปและนำชิ้นงานมาติดตั้งกับกระทะล้อและล้อยางลมโดยการศึกษาอุปกรณ์จับยึดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อด้วย กาว สกรู และเข็มขัดรัดเพื่อนำไปทดสอบความคงทนของการจับยึดจากการทดสอบแบบไม่มีล้อยางลมพบว่ากาวไม่สามารถทนต่อการยึดติดได้เมื่อนำสกรูเป็นตัวจับยึดล้อสามารถวิ่งได้ระยะทาง 23 km จากนั้นใส่ล้อยางลมพบว่าล้อสามารถวิ่งได้ระยะทาง 230 kmซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อมีล้อยางลมรถเคลื่อนที่ได้ไกลกว่าที่ไม่มีล้อยางลม เพราะล้อยางลมมีความแข็งแรงบริเวณแก้มยางและเป็นตัวรองรับน้ำหนักก่อนจะถึงตัวอุปกรณ์เสริมล้อยางลมขณะที่ความเร็วต่ำรถสามารถที่จะเคลื่อนตัวไปได้จากนั้นนำล้อยางไปทดสอบตามมาตรฐานล้อยางลม มอก.367-2529 ที่ความเร็วสูง เพื่อให้ได้เงื่อนไขที่ใช้วิ่งบนท้องถนนโดยแบ่ง เป็น 2 กรณี ได้แก่ การทดสอบแบบมีลมที่ความเร็ว 60 80 และ 100 km/hrและแบบไม่มีลมทดสอบที่ความเร็ว 40 60 และ 80 km/hrผลการทดสอบพบว่าล้อทั้งเกิดการสั่นเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูง เกิดจากสาเหตุล้อไม่ได้ศูนย์ถ่วง หรือสมดุลล้อเนื่องด้วยอุปกรณ์เสริมล้อยางลมมีน้ำหนักมากและมีช่องว่างระหว่างตัวอุปกรณ์เสริมล้อยางกับกระทะล้อ จึงทำให้เกิดการสั่นภายในล้อ ซึ่งสาเหตุหลักมาจากการสัมผัสระหว่างพื้นผิวของตัวอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อจึงทำให้การทดลองไม่เป็นไปตามเป้าหมายดังนั้นจึงสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะเพื่อที่จะเป็นช่องทางเพื่อสามารถนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อไปได้ในอนาคต

ABSTRACT

This research aimed at developing a run flat tire support ring which is made from natural rubber foam. The first process was to study rubber forming to be rubber foam. The rubber foam was added blowing agents and increased hardness by adding filler kind clay or calcium carbonate to have mechanical properties that could support the weight from the pressure, to resist the heat built-up and tearing of the punctures. After that, the process was to find out the tendency and determine the formulas to build the rubber molding. When a formula based on qualifications, therefore, a run flat tire support ring was designed, and a mold was made for fitting with a wheel and pneumatic tire. Clamping tools between a run flat tire and a wheel which are glue, screws and belts were tested. The findings of a non-pneumatic tire indicated that the glue could not withstand for sticking but the clamping screw was capable of running wheel to 23 km. While testing a pneumatic tire with clamping screw, the wheel could move to 230 km. It can be seen that the pneumatic tire was moved longer than a non - pneumatic tire because the tire's rim was strong and supported the weight. Meanwhile, at low speeds it can be moved. Then, the run flat tires were tested by ISO367-2529 in Thailand for the running on the streets conditions. They were divided into two cases which were tested an air in pneumatic tire at speed 60,80 and 100 km / hr and an airless pneumatic tire at speed 40, 60 and 80 km/ hr. The results showed those both the wheels were vibrated when running at the high speed, because the center of gravity was not balanced. Due to the heavy pneumatic tire accessory, the gaps between the run flat tire and wheel accessories. This was mainly due to the contact between the surfaces of the wheel accessories and the wheel cap. As a result, the trial did not meet the target. Therefore, the problem and feedback of this research could lead to further development in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทั้งสองท่านคือผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจริญยุทธเดชวายุกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิริยะ ทองเรืองที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะที่มีประโยชน์ในการทำวิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ บุญนวล และ ดร. มานนท์ สุขละมัยที่ท่านกรุณาสละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำ ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้นขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้เงินทุนอุดหนุนการวิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้เงินทุนรายได้คณะอุดหนุนการวิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัยที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้คำแนะนำและวิธีการใช้เครื่องมือบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการประสานงานและแนะนำวิธีการใช้เครื่องมือ ขอขอบคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้องที่เป็นกำลังใจให้ตลอดมา และงานนี้จะดำเนินไปไม่ได้ถ้าไม่มีเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและภาควิชาอื่นๆ ตลอดจนทุกท่านที่มิได้กล่าวมาไว้ ณ ที่นี้ที่มีส่วนช่วยในการทำวิจัยและให้คำแนะนำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

นายธีระวัฒน์ เพชรดี

คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย เรื่อง การพัฒนาล้อยางลมเสริมชั้นโฟมยาง โดยผู้จัดทำได้เรียบเรียงจากทฤษฎีและผลการทดลอง ที่มีขั้นตอน วิธีการวิจัย และสรุปผล เพื่อให้ผู้อ่านได้รู้ถึงประโยชน์ของการนำยางธรรมชาติที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในประเทศไทย มาอัดขึ้นรูป โดยผ่านกระบวนการที่ทำให้ยางกลายเป็นโฟมยาง โดยมีน้ำหนักเบา และมีคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมเพื่อสำหรับนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์เสริมล้อยางลม โดยมีจุดมุ่งหมายเมื่อเกิดการรั่วล้อยางก็จะสามารถวิ่งต่อไปได้ด้วยระยะทางระดับหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ผู้ขับขี่สามารถหาศูนย์ล้อยางเพื่อทำการเปลี่ยนยาง และสำหรับสุภาพสตรีที่เกิดล้อยางรั่วที่บริเวณพื้นที่ที่เสี่ยงต่ออันตรายก็จะสามารถขับรถต่อไปได้ โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนล้อยางขณะนั้น ซึ่งผู้จัดทำหวังว่ารายงานฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์กับผู้อ่านไม่มากก็น้อยและสามารถนำไปพัฒนาต่อไปในอนาคต แต่ถ้ามีความผิดพลาดจากรายงานฉบับนี้ผู้จัดทำขอน้อมรับและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อการพัฒนาการวิจัยทางด้านนี้ต่อไป

ผู้จัดทำ

นายธีระวัฒน์ เพชรดี

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(5)
รายการตาราง	(7)
รายการภาพประกอบ	(8)
1. บทนำ	
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	8
1.3 วัตถุประสงค์	15
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	16
1.5 ขอบเขตการวิจัย	16
2. ทฤษฎี	
2.1 ยางธรรมชาติ	17
2.2 สารเคมีที่ใช้ในการผสมยาง	21
2.3 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง	28
2.4 คุณสมบัติเชิงกลของยาง	32
2.5 ความแข็งของยาง (Hardness)	37
2.6 วิธีการขึ้นรูปโฟมยางจากธรรมชาติ (Natural Rubber Foam)	39
3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย	
3.1 วัสดุอุปกรณ์ใช้ในงานวิจัย	42
3.2 วิธีการผสมยางคอมปาวด์	51
3.3 กรรมวิธีอัดขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์เสริมล้อยางลม	53
3.4 วิธีติดตั้งอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อและล้อยางลม	54
3.5 วิธีการติดตั้งล้อยางกับเครื่องทดสอบล้อยางตัน	55
3.6 แผนการดำเนินการ	57
3.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดลองกิจกรรมที่ 1	60
4.2 ผลการทดลองกิจกรรมที่ 2	70
4.3 ผลการทดลองกิจกรรมที่ 3	82
4.4 ผลการทดลองกิจกรรมที่ 4	89
4.5 ผลการทดลองกิจกรรมที่ 5	89
5. สรุปผลการวิจัย	
5.1 สรุปผลการวิจัย	93
5.2 ข้อเสนอแนะ	95
บรรณานุกรม	99
ภาคผนวก	102

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสมบัติที่ต้องการและปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้	21
2.2 แสดงส่วนประกอบและปริมาณของยางและสารเคมีต่างๆในสูตรยางพื้นฐาน	30
2.3 แสดงสูตรทั่วไปที่ใช้ในการทำยางคงรูปจากยางแห้ง	40
4.1 แสดงลำดับสูตรยางเพื่อดูแนวโน้มทางกายภาพของการพองตัวของสารตัวเติม	61
4.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของล้อยางแต่ละสูตร	67
4.3 การออกสูตรยางเพื่อหาคุณสมบัติที่เหมาะสมเพื่อนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์เสริมล้อยางลม	69
4.4 ผลการทดสอบค่าความแข็งของยางสูตรต่างๆ	72
4.5 พื้นที่ใต้กราฟวงรอบฮีสเทอรีซีสที่ความเครียดคงที่ (50% strain) ของล้อยางสูตรต่างๆ	73
4.6 ผลการทดสอบการยึดติดแบบไม่ติดกาว โดยการกดโหลดแบบหยุดนิ่ง	84
4.7 ผลการทดสอบการยึดติดแบบติดกาว โดยการทดสอบแบบหยุดนิ่ง และกดภาระโหลด	84
4.8 ผลการทดสอบการยึดติดแบบติดกาว โดยการทดสอบแบบสภาวะเคลื่อนที่ (Dynamic test)	86
4.9 น้ำหนักโหลดกดลงบนชิ้นงานและระยะยุบของชิ้นงาน	87
4.10 การทดสอบที่ช่วงความเร็วระหว่าง 60-100 km/hr แบบมีลม	89
4.11 การทดสอบที่ช่วงความเร็วระหว่าง 40-80 km/hr แบบไม่มีเติมลม	90

รายการภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงคนร้ายวางระเบิดและโรยตะปูเรือใบเพื่อทำการหลบหนี	1
1.2 แสดงการนำล้อยางลมมาเสริมชั้นโฟมยาง	2
1.3 แสดงล้อยางแบบ PAX SYSTEM	5
1.4 แสดงล้อยางแบบ support ring	6
1.5 แสดงล้อยางแบบยางแก้มหนา (Side wall)	7
1.6 ล้อยางของ Michelin	8
1.7 ล้อยางรถจักรยานใส่โฟมเหลวไว้ข้างใน	9
1.8 อุปกรณ์ติดรถสำหรับเก็บเรือใบและเป็นรถสำหรับเก็บเรือใบ	9
1.9 แสดงล้อยางตันของรถฟอร์คลิฟท์ใส่รถปิคอัพสำหรับวิ่งฝ่าตะปูเรือใบ	10
1.10 แสดงล้อยางแบบ Run flat assembly	11
1.11 แสดงล้อยางที่เสริมโฟมยางที่เป็นแผ่นซีสเสริมในล้อยางลม	11
1.12 แสดงชั้นโฟมยางที่มีลักษณะเป็นท่อเสริมในล้อยางลม	12
1.13 แสดงล้อยางที่เสริมโฟมยางแบบ torus-like core	13
1.14 แสดงการออกแบบตัวจับยึดระหว่างแผ่น Run - flat กับ กระทะล้อ	14
1.15 แสดงแบบจำลองการทดสอบแผ่น Run Flat Tire	15
2.1 แสดงสูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ	20
2.2 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะรูพรุนที่เกิดขึ้นภายในยาง (a) รูพรุนเปิด (b) รูพรุนปิด	28
2.3 แสดงกระบวนการผลิตยาง	29
2.4 แสดงขั้นตอนการบดผสม	32
2.5 แสดงการผิดรูปของยางภายใต้แรงกด	33
2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกดและความเครียดกด	35
2.7 วงรอบฮีสเทอรีสีส (Hyteresis loop)	36
2.8 ชิ้นทดสอบและหัวกดแบบต่างๆ สำหรับการวัดค่าความแข็ง	38
2.9 ขอบเขตของยางแข็ง-ยางนิ่ม ตามมาตรฐานสากล	39
3.1 แสดงเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง	43
3.2 แสดงเครื่องผสมยางแบบระบบปิด (Kneader)	44
3.3 แสดงเครื่องอัดยางคงรูป (Hot press)	44

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 แสดงเครื่องอัดขึ้นรูปยางแบบมีน้ำหล่อเย็นไหลผ่าน	45
3.5 แสดงแม่พิมพ์ทดสอบแรงกด (Compression test)	45
3.6 แม่พิมพ์ทดสอบฮีสเทอรีซีส	46
3.7 แสดงแม่พิมพ์อัดล้อยางตันขนาดเล็ก	46
3.8 แสดงแม่พิมพ์อุปกรณ์เสริมล้อยางลม	47
3.9 แสดงเครื่องทดสอบการกดและทดสอบฮีสเทอรีสีสชิ้นงานตัวอย่าง	47
3.10 เครื่องวัดความแข็งของพลาสติกและยาง (Hardness tester)	48
3.11 เครื่องทดสอบเวลาวัลคาไนซ์ของยาง (Moving Die Rheometer MDR 2000)	48
3.12 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิขนาดเล็กแบบอินฟาเรด	49
3.13 แสดงเครื่องทดสอบล้อยางตันขนาดเล็ก	49
3.14 เครื่องทดสอบล้อยางตัน	50
3.15 เครื่องวัดความคงทนของยาง (Endurance) วัดโดยใช้ Drum Test	51
3.16 แสดงการนำยางคอมปาวด์ชั้นในและชั้นนอกใส่ในแม่พิมพ์	53
3.17 แสดงชิ้นงานหลังจากการอัดขึ้นรูป	54
3.18 แสดงขั้นตอนและวิธีการประกอบอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อและล้อลมยาง	55
3.19 (a) แสดงตัวยึดกระทะล้อของล้อยางตัน (b) แสดงตัวยึดที่ยึดเครื่องทดสอบกับกระทะล้อรถยนต์ทั่วไป	56
3.20 แสดงการนำล้อยางลมที่เสริมด้วยอุปกรณ์เสริมติดตั้งกับเครื่องทดสอบ	56
4.1 (a) ขนาดล้อที่นำมาทดสอบ (b) เบ้าที่นำมาขึ้นรูป	61
4.2 ล้อยางหลังการอัดขึ้นรูปและลักษณะฟองอากาศภายในของสูตรยางที่ I-VI	63
4.3 แสดงภาพถ่ายลักษณะรูพรุนของสูตรยางในแต่ละสูตร โดยใช้กล้อง Magic camera ขนาดขยาย 200x	70
4.4 แสดงผลของการกดชิ้นตัวอย่างในแต่ละสูตร	71
4.5 แสดงผลของวงฮีสเทอรีสิสที่ความเครียดคงที่ (50% strain) ของยางสูตรต่างๆ	73
4.6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของแก้มยางของล้อยางสูตรต่างๆ ที่ทดสอบวิ่งบนเครื่องทดสอบล้อยางตันขนาดเล็ก ที่ระยะยุบ 40 % ของระยะยุบของล้อ และที่ความเร็ว 25 km/hr ที่เวลา 60 นาที	74

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 แสดงลักษณะของอุปกรณ์เสริมล้อยางลม	75
4.8 แสดงรูปร่างของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมแบบ RFSR1	76
4.9 แสดงรูปร่างของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมแบบ RFSR 2	77
4.10 แสดงรูปร่างของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมแบบ RFSR3	78
4.11 แสดงแม่พิมพ์ที่ทำการออกแบบจากชิ้นงานแบบ RFSR1	78
4.12 แสดงลักษณะสูตรยางที่ผสมเคลย์หลังการอัดขึ้นรูป	79
4.13 แสดงลักษณะสูตรยางที่ไม่เติมสารฟูและเคลย์ หลังการอัดขึ้นรูป	80
4.14 แสดงชิ้นงานที่ได้หลังการอัดขึ้นรูป	80
4.15 (a) แสดงแม่พิมพ์เดิม และ (b) แสดงแม่พิมพ์ที่ทำการดัดแปลง	81
4.16 แสดงการปรับแต่งแม่พิมพ์และรูล้นเพื่อทำให้ยางไหล	81
4.17 แสดงชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปหลังการดัดแปลงแม่พิมพ์	82
4.18 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับเครื่องทดสอบ	83
4.19 แสดงตารางมาตรฐานของล้อยางลม มอก.365-2529	83
4.20 แสดงตารางการใส่โหลดของเครื่องทดสอบล้อยางตัน	85
4.21 แสดงการเจาะรูชิ้นงานและยึดด้วยสกรู	87
4.22 แสดงผลการทดสอบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของล้อทดสอบที่ความเร็ว 23 km/hr	88
4.23 (a) แสดงการทดสอบที่แรงกดโหลดที่ 530 กิโลกรัม (b) แสดงการยึดติดโดยใช้กาวยึดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อ (c) แสดงการยึดติดโดยใช้เข็มขัดรัดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อ	91
5.1 แสดงช่องว่างระหว่างการอัดโหลดขณะทดสอบ	96

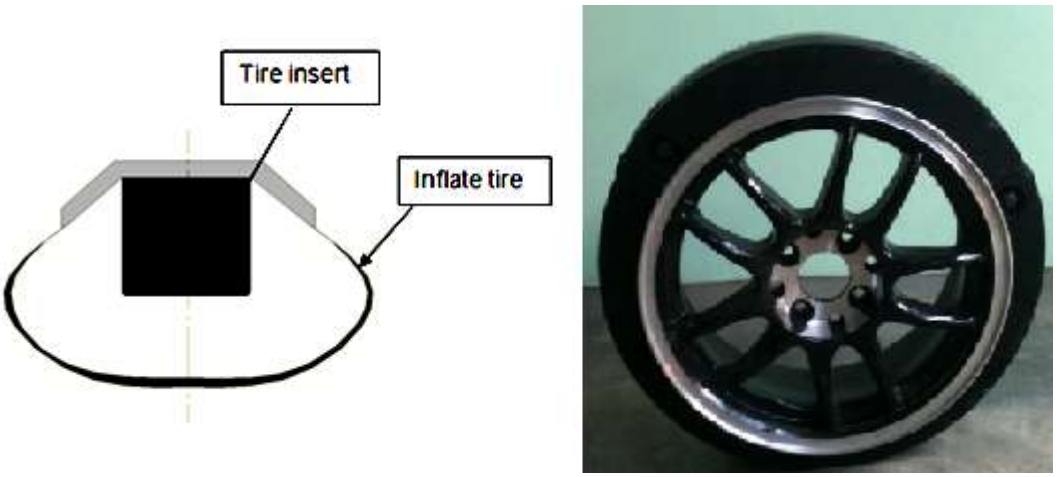
บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

สถานการณ์การก่อการร้ายในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้ได้แก่ ปัตตานี ยะลา และนราธิวาส ตั้งแต่ปี 2547 ถึงปัจจุบันส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของประเทศ ประชาชนและเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติการในพื้นที่ที่ไม่มีความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน การก่อการร้ายเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีวิธีการปฏิบัติการก่อการร้ายในหลายรูปแบบ ซึ่งรูปแบบหนึ่งที่ผู้ก่อการร้ายใช้อยู่คือการนำตะปูเรือใบโรยบนถนนให้เป็นอุปสรรคและเป็นการถ่วงเวลาในการนำรถเข้าไปถึงจุดปฏิบัติการ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 แม้ว่าขณะนี้จะมีรถเก็บกวาดแต่ต้องเสียเวลาและมีค่าใช้จ่ายสูง ต่อมาคณะผู้วิจัยนี้ได้มีการนำล้อยางตันสองชั้นที่ใช้กับรถฟอร์คลิฟท์ (Forklift) มาใช้แทนล้อยางลมในรถปิคอัพ (ธีระวัฒน์,2552) เพื่อให้สามารถนำรถวิ่งตะปูฝ่าเรือใบเข้าไปถึงจุดที่ปฏิบัติการได้โดยไม่ต้องเสียเวลาในการเก็บกวาดตะปูเรือใบ แต่พบว่าปัญหาล้อยางตันของรถฟอร์คลิฟท์ที่นำมาใส่ในรถปิคอัพนั้นมีน้ำหนักมากกว่าล้อยางลมถึง 3 เท่า และความเร็วในการขับขี่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับล้อยางลม ซึ่งสามารถขับได้ด้วยความเร็วประมาณ 20-60 km/hr และมีความยุ่งยากในการติดตั้งอีกด้วย เหล่านี้จึงส่งผลต่อความเหมาะสมทางพลศาสตร์และการขับขี่เช่น การบังคับเลี้ยว การใช้งานที่ความเร็วสูง การเบรค การยึดเกาะถนน การสิ้นเปลืองกำลัง ถ้าใช้งานเป็นเวลานานก็จะส่งผลไปถึงเพลาและช่วงล่างได้ โดยทั่วไปล้อยางตันมีลักษณะดอกยางใหญ่และหนา ร่องยางลึก (เสน่ห์,2550) และความแข็งที่ไม่สม่ำเสมอของเนื้อยางตัน

รูปที่ 1.1 แสดงคนร้ายวางระเบิดและโรยตะปูเรือใบเพื่อทำการหลบหนี
(ที่มาจาก: http://southkm.rta.mi.th/southkmblog/?cat=5-30-4-54 14/09/2555)

ล้อยางตันที่ใช้นั้นมีการดัดแปลงกระทะล้อ และการติดตั้งที่ยุ่งยาก ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะทำโครงการนี้ขึ้นมาโดยมีแนวทางคือใช้ล้อยางลมและกระทะล้อยางลมปกตินำมาเพิ่มชั้นโฟมยางที่พัฒนามาจากยางธรรมชาติซึ่งมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 1.2 โดยจะทำให้ล้อยางมีน้ำหนักเบากว่าล้อยางตัน และสะดวกต่อการติดตั้งกับรถทั่วไป เพื่อที่จะนำมาศึกษาข้อจำกัดและความเป็นไปได้ในการนำล้อยางลมเสริมชั้นโฟมยางไปวิ่งฝ่าตะปูเรือใบ



รูปที่ 1.2 แสดงการนำล้อยางลมมาเสริมชั้นโฟมยาง

ปัจจุบันยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศและชีวิตความเป็นอยู่ของประชากรทั้งประเทศ โดยปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพารากว่า 18.095 ล้านไร่ มีผลผลิตเฉลี่ย 253 กิโลกรัม/ไร่/ปี ในปี 2553-2554 ประเทศไทยมีการส่งออกวัตถุดิบยางธรรมชาติและผลิตภัณฑ์ยางไปแล้วประมาณ 3,051,000 ตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 156,311.06 ล้านบาท โดยมีตลาดส่งออกหลัก คือ จีน ญี่ปุ่น มาเลเซีย สหรัฐอเมริกา เกาหลีใต้ และสหภาพยุโรป เป็นหลัก (ข้อมูลจากสมาคมยางพาราไทย, 2555)

การนำยางธรรมชาติซึ่งเป็นทรัพยากรที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทยมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางต่างๆนั้นมีอยู่มากมายเช่น การผลิตยางรถยนต์ ผลิตภัณฑ์รองเท้า ถุงมือยาง ยางฟองน้ำ กาวยาง และเครื่องมือทางการแพทย์ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ยางโฟม (Rubber foam Products) เป็นผลิตภัณฑ์ยางอีกประเภทซึ่งใช้สารฟู (Blowing agent) เป็นองค์ประกอบเพื่อทำให้ยางมีลักษณะเป็นโฟม และเติมสารตัวเติมเพื่อเพิ่มความแข็งและค่ายังมอดูลัสของยาง เพื่อนำไปพัฒนาเป็นล้อยางลมเสริมชั้นโฟมยาง

โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ยางแห้งมาขึ้นรูปเป็นโฟม เพราะยางแห้งมีวิธีการขึ้นรูปง่ายกว่าลาเท็กซ์ ซึ่งโฟมยางจากยางแห้งมีความหนาแน่นมากกว่าโฟมยางจากลาเท็กซ์ โดยงานวิจัยนี้ต้องการโฟมยางที่มีความหนาแน่นสูง มีความแข็งและทนต่อแรงกดหรือน้ำหนักบรรทุกได้ดี การปรับปรุง

สมบัติอาจทำได้โดยการเติมสาร เช่น สารตัวเติมเคลย์หรือแร่ดินขาว เป็นสารที่มีโครงสร้างผลึกที่แผ่เป็นแผ่นหรือชิ้นเรียงซ้อนกัน ทำให้มีความยืดหยุ่นและมีความเป็นขั้วที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้กว้างขวาง เมื่อนำมาผสมสารตัวเติมเคลย์ปริมาณต่างๆ พบว่า ค่าโมดูลัสที่ระยะยืด 100 300 และ 500 เปอร์เซ็นต์ และความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางมีค่าเพิ่มขึ้น แต่สมบัติด้านความทนทานต่อแรงดึง และระยะยืดจนขาดของยางมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการผสมสารตัวเติมเคลย์ในสภาวะลาเท็กซ์และสภาวะแห้ง พบว่า การผสมในสภาวะลาเท็กซ์ทำให้ยางมีสมบัติการวัลคาไนซ์และสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับการผสมในสภาวะแห้ง โดยแปรปริมาณสารตัวเติมเคลย์ และแปรสภาวะในการผสมคือ สภาวะลาเท็กซ์และสภาวะแห้ง พบว่า ยางธรรมชาติที่ผสมสารตัวเติมเคลย์ดังกล่าวมีการกระจายตัวของสารตัวเติมเคลย์ในยางอย่างสม่ำเสมอ (สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย,2549)

แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารอนินทรีย์ที่มีขั้ว ทำให้การผสมเข้ากับยางปกติ ซึ่งไม่มีขั้วกระทำได้ยาก จึงทำให้ต้องใช้พลังงานในการผสมสูง และสารตัวเติมก็จะกระจายได้ไม่ดีในยางทำให้สมบัติของยางตกลง และเนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนต สามารถเกิดการ Aggromerate รวมตัวกันเป็นก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ง่าย ทำให้เมื่อนำไปใช้ในยาง จะทำให้สมบัติของยางตกลง และต้องใช้พลังงานในการผสมสูงขึ้นเมื่อนำมาเป็นสารตัวเติม ส่วนมากวัสดุเติมพวกอนินทรีย์ เติมลงไปในน้ำยาง มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์แข็ง แต่ไม่เพิ่มสมบัติด้านความทนแรงดึงหรือทนต่อการฉีกขาด จากข้อมูลพบว่าเคลย์มีสมบัติทางกายภาพดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต โดยเคลย์จะเพิ่มสมบัติด้านความทนแรงดึงหรือทนต่อการฉีกขาดกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต และมีราคาถูกจึงเหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในโฟมยาง

เทคโนโลยี ของยางรถยนต์ มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ไม่เพียงเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพและความทนทานเท่านั้น แต่ยังคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานด้วย จึงเป็นจุดเริ่มต้นของ Run Flat Tire วิ่งได้แม้ไร้ลมยาง รถยนต์ในยุคแรกสุดเป็นยางตัน มีความทนทานแต่ขาดความนุ่มนวลและมีน้ำหนักมาก จากนั้นจึงพัฒนาเป็นยางกลวง ที่ภายในมียางบาง ๆ ซ้อนอยู่เพื่อบรรจุลม ทำให้มีน้ำหนักเบาลง และทนทานพอสมควร ผลิตง่าย และต้นทุนต่ำ แต่ถ้าถูกของแหลมแทงทะลุยางชั้นนอก เข้าไปถึงยางชั้นใน ลมก็จะรั่วออกอย่างรวดเร็ว เพียงไม่กี่วินาทียางก็แบนสนิท หรืออาจถึงขั้นยางระเบิด ทำให้รถยนต์เสียการทรงตัวได้

เพื่อลบจุดด้อยของยางแบบมียางใน จึงมีการพัฒนาสู่ยาง Tubeless (ไม่มียางใน) ใช้ยางนอกที่มีเนื้อหนา และโครงสร้างแข็งแรงขึ้น มีขอบอัดแน่นกับขอบกระทะล้อในการเก็บลม เมื่อถูกของแหลมทิ่มแทง และรูไม่ใหญ่นัก เนื้อของยางจะพยายามบีบรูนั้นไว้ ทำให้ลมรั่วออกช้า หรือถ้าของแหลมนั้นยังปักติดกับหน้ายาง บางครั้งพบว่าผ่านไปหลายวันกว่ายางจะแบน

ยางรถยนต์ยุคใหม่นอกจากจะไม่ใช้ยางในแล้ว ยังใช้โครงสร้างแบบเรเดียลเสริมใยเหล็กแทนโครงสร้างแบบเดิมที่เป็นผ้าใบ จึงมีความแข็งแรงรักษารูปทรงได้ดีกว่า ไม่บิดเบี้ยวเมื่อหมุนด้วยความเร็วสูง และหน้ายางสัมผัสพื้นได้เต็มที่เสมอ รถยนต์รุ่นใหม่ ๆ มีสมรรถนะสูงขึ้น มีกำลังหลายร้อยแรงม้า ทำความเร็วถึง 200 km/hrได้เป็นเรื่องปกติ ยางรถยนต์จึงต้องถูกออกแบบให้รองรับสมรรถนะนั้นได้ดีด้วย เพราะยิ่งความเร็วสูงขึ้นเท่าใด ก็ยิ่งมีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่หน้ายางเพิ่มขึ้น ถ้าแตกง่ายก็อันตราย แม้ยางยุคใหม่จะแตกยาก แต่ถ้าแตกเมื่อไรก็มีโอกาสเกิดอุบัติเหตุรุนแรง เนื่องจากอัตราเร่ง และความเร็วของรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นจากยุคก่อน การเปลี่ยนยางอะไหล่อาจไม่ง่ายสำหรับบางคน หรือไม่สะดวกในบางสถานการณ์ เช่น ริมทางหลวงที่มีไหล่ทางแคบ บนไฮเวย์ที่รถยนต์คันอื่นใช้ความเร็วสูง หรือเส้นทางเปลี่ยวในเวลากลางคืน ในกรณีที่รูรั่วมีขนาดเล็ก แม้ยางรถยนต์จะแบนช้า และไม่เสียการทรงตัวในทันที แต่เมื่อแบนแล้วก็ต้องจอดเปลี่ยน เพราะถ้าฝืนขับต่อไป แก้มยางจะถูกขอบล้อบดกับพื้นถนนจนเสียหาย ต้องทิ้งทั้งเส้นหรืออาจทำให้กระทะล้อบิดเบี้ยวไปด้วย แม้มียางอะไหล่ แต่ถ้ายางแบนแล้วยังสามารถขับต่อไปได้อีกระยะหนึ่ง ย่อมดีกว่าทั้งในด้านการไม่เสียการทรงตัว หรือการขับไปเปลี่ยนยางอะไหล่ในสถานที่ปลอดภัยและสะดวก

หลายปีที่ผ่านมาบริษัทยางรถยนต์บางแห่ง ได้มีการออกแบบและผลิตยางรถยนต์แบบพิเศษ ที่เมื่อลมรั่วออกจนหมดแล้ว ก็ยังขับต่อไปได้อีกหลายสิบกิโลเมตรด้วยความเร็วพอสมควร โดยที่ยางไม่เสียหาย ในช่วงแรกยางแบบพิเศษนี้ มีจุดด้อย คือ ต้นทุนการผลิตสูงกว่ายางทั่วไป การถอดใส่ยางกับกระทะล้อต้องใช้เครื่องมือพิเศษ และต้องใช้กระทะล้อแบบเฉพาะ จึงไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร จุดเริ่มต้นของยาง Run Flat Tyre เริ่มต้นเมื่อประมาณ 5 ปีที่แล้ว ซึ่งเรียกว่า PAX SYSTEM ดังแสดงในรูปที่ 1.3 เป็นยางแบบพิเศษ ต้องใช้กับ กระทะล้อแบบเฉพาะ ไม่สามารถใส่กับกระทะล้อทั่วไปได้ ก่อนจะใส่ยางเข้าไป กระทะล้อจะถูกสวมด้วยแหวนพลาสติกแข็งและหนารัดอยู่โดยรอบ ซึ่งมีน้ำหนักไม่น้อย เป็นการเพิ่มภาระในการหมุน ถ้ายางแบนลง แหวนพลาสติกจะทรุดลงมากดด้านหลังของหน้ายาง ทำให้แก้มยางทรุดตัวลงไม่สุด ขอบกระทะล้อจึงไม่บดลงบนแก้มยาง ขอบกระทะล้อถูกออกแบบให้บีบกับขอบยางแน่นเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันยางหลุดจากกระทะล้อ เวลาขับขณะแรงดันลมยางลดลงมาก ๆ หรือไม่มีลมเลย

รูปที่ 1.3 แสดงล้อยางแบบ PAX SYSTEM
(ที่มาจาก:
http://data.thaiauto.or.th/iu3/index.php?option=com_flexicontent&view=items&cid=40:2010-11-11-11-00-15&id=137:-runflat-tyre&Itemid=101 14/09/2555)

เนื่องจากต้องใช้กระทะล้อ และยางแบบพิเศษ การผลิต และการถอดใส่จึงต้องใช้เครื่องมือเฉพาะ ซึ่งยุ่งยากและมีราคาแพง แต่ก็ทำงานได้ผลเมื่อยางแตก เพราะแก้มยางจะยุบตัวลงน้อยมาก ภาระการรับน้ำหนักเปลี่ยนไปตกอยู่ที่วงแหวนพลาสติก ผู้ผลิตระบุว่า เมื่อยางแบนจะสามารถขับต่อไปได้ด้วยความเร็ว 80 km/hr เป็นระยะทางสูงสุดถึง 200 km แต่ความนุ่มนวลจะลดลง เพราะไม่มีแรงดันลมช่วยซึมซับแรงสั่นสะเทือน มีเพียงหน้ายางที่ถูกกดโดยตรงจากแหวนพลาสติก ซึ่งหนาแข็ง และไม่มีความยืดหยุ่น สาเหตุที่ทำให้ PAX SYSTEM ไม่เป็นที่นิยมในช่วงเวลาที่ผ่านมา ก็เพราะต้องเป็นพิเศษทั้งยาง วงแหวนไส้ใน และกระทะล้อ รวมทั้งมีความยุ่งยากในการถอดใส่ ช่วงแรกจึงมีการจำหน่ายเป็นอุปกรณ์เลิกติดตั้งพิเศษในรถยนต์เพียงไม่กี่รุ่น เท่านั้น และถูกนำไปติดตั้งในรถยนต์ต้นแบบที่จัดแสดงตามมอเตอร์โชว์ต่าง ๆ มากกว่าใช้งานจริง

รูปที่ 1.4 แสดงล้อยางแบบ Support Ring
(ที่มาจาก:
http://data.thaiauto.or.th/iu3/index.php?option=com_flexicontent&view=items&cid=40:2010-11-11-11-00-15&id=137:-runflat-tyre&Itemid=101 14/09/2555)

Internal Support Run Flat System อีกเทคโนโลยีจากบริดจสโตน แนวคิดในการออกแบบคล้ายกับ PAX SYSTEM แต่เปลี่ยนจากแหวนพลาสติกหนา และแข็ง มาเป็นแหวนโลหะทรงโค้งบางโปร่ง ปลายทั้ง 2 ด้านเป็นยาง ล้อมรัดอยู่กับกระทะล้อ ดังแสดงในรูปที่ 1.4

เมื่อ ยางแบน กระทะล้อ และวงแหวนโลหะจะทรุดกดลงบนด้านหลังของหน้ายาง แก้มยางจะยุบตัวลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ขอบกระทะล้อไม่บดลงบนแก้มยาง ขับต่อได้นานโดยยางไม่เสีย และมีจุดด้อยคล้าย PAX SYSTEM คือ ยุ่งยาก และแพง ข้อดีที่เหมือนกันคือ นุ่มนวลในการใช้งานปกติ เพราะแก้มยางไม่แข็งจะเด่นกว่า PAX SYSTEM ตรงที่แหวนโลหะมีน้ำหนักเบา ล้อ และยางไม่หนักขึ้นมาก จึงไม่เป็นภาระแก่ช่วงล่างมากนัก รับน้ำหนักได้ดีกว่ายางแบบแก้มหนา ขับได้เร็วและไกลกว่า โดยไม่ทำให้ยางเสียหายเพิ่มเติมหลังจากยางแบน และเมื่อยางแบนจะนุ่มนวลกว่า PAX SYSTEM เพราะขอบยางที่รองรับแหวนโลหะอยู่นั้น สามารถยืดหยุ่นได้ ไม่แข็งตายตัวเหมือนแหวนพลาสติกของ PAX SYSTEM

PAX SYSTEM มีข้อดี คือ ถ้าแรงดันลมยางปกติหรือยางไม่แบน จะมีความนุ่มนวลเหมือนยางทั่วไป เพราะไม่ได้เสริมความหนาที่แก้มยาง PAX SYSTEM ทำงานได้ดีก็จริง แต่แพง และยุ่งยาก เพราะต้องพิเศษทั้งกระทะล้อ วงแหวนไส้ใน ยาง และอุปกรณ์สำหรับถอดใส่ด้วย จึงมีการพัฒนาสู่แนวทางอื่น ไม่ต้องมีวงแหวนรัดอยู่กับกระทะล้อ ไม่ต้องใช้ขอบยางทรงแปลก จนต้องใช้กระทะล้อแบบเฉพาะ โดยใช้วิธีง่าย และไม่ซับซ้อน คือ ออกแบบแก้มยางให้หนา และมีโครงสร้างที่แข็งแรงกว่ายางปกติ เพื่อให้เมื่อยางแบน แก้มยางจะยังดันอยู่กับขอบกระทะล้อ และสามารถ

รองรับการบดลงมาของขอบกระทะล้อได้นานดังแสดงในรูปที่ 1.5 โดยไม่เกิดความเสียหาย ที่สำคัญ คือ สามารถใช้กับกระทะล้อ และเครื่องมือถอดใส่บางแบบธรรมดาได้ ยางแก้มหนานี้ เมื่อยางแบนจะทำงานได้มีดีเท่า PAX SYSTEM เพราะไม่มีแหวนพลาสติกหนารับน้ำหนักแทนลม เป็นการรับน้ำหนักด้วยแก้มยางทั้ง 2 ข้าง แต่ก็ไม่ทำให้รถยนต์เสียการทรงตัว และสามารถขับต่อด้วยความเร็วกกว่า 50 km/hr เป็นระยะทางหลายสิบกิโลเมตร แม้แก้มยางจะถูกออกแบบให้รองรับการขับขณะยางแบนได้ แต่ก็มีขอบเขตจำกัดย่อมดีกว่าแน่ ถ้ารู้ตัวว่ายางแบนแล้ว พยายามขับให้ช้า และระยะทางสั้นที่สุด เพื่อให้แก้มยางบอบช้ำน้อยที่สุด จะได้ปะรูรั่ว แล้วนำกลับมาใช้อีกได้ ยางแบบนี้จะสามารถใช้ร่วมกับกระทะล้อทั่วไปได้ แต่ก็มีข้อเสีย คือ แก้มยางที่หนาขึ้น และถูกเสริมความแข็งแรงทำให้ดูดซับแรงสั่นสะเทือนได้น้อยลง มีความกระด้างเพิ่มขึ้นตลอดการขับ (ข้อมูลจากศูนย์สารสนเทศยานยนต์,2555)

รูปที่ 1.5 แสดงล้อยางแบบยางแก้มหนา (Side wall)

(ที่มาจาก:

http://data.thaiauto.or.th/iu3/index.php?option=com_flexicontent&view=items&cid=40:2010-11-11-11-00-15&id=137:-runflat-tyre&Itemid=101 14/09/2555)

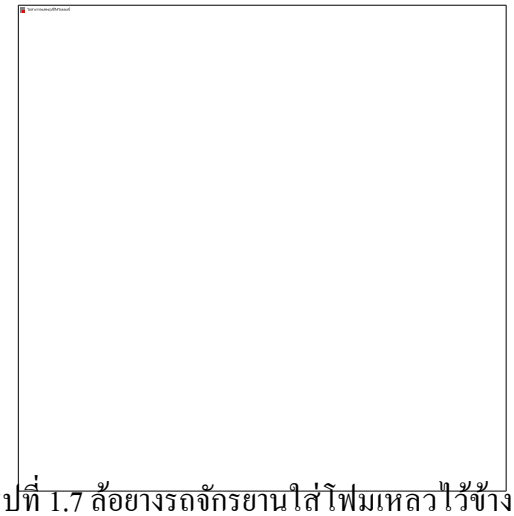
1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 งานที่เกี่ยวข้อง

(a) (b)

รูปที่ 1.6 ล้อยางของ Michelin
(ที่มาจาก: http://www.arip.co.th/tag/tweel 14/09/2555)

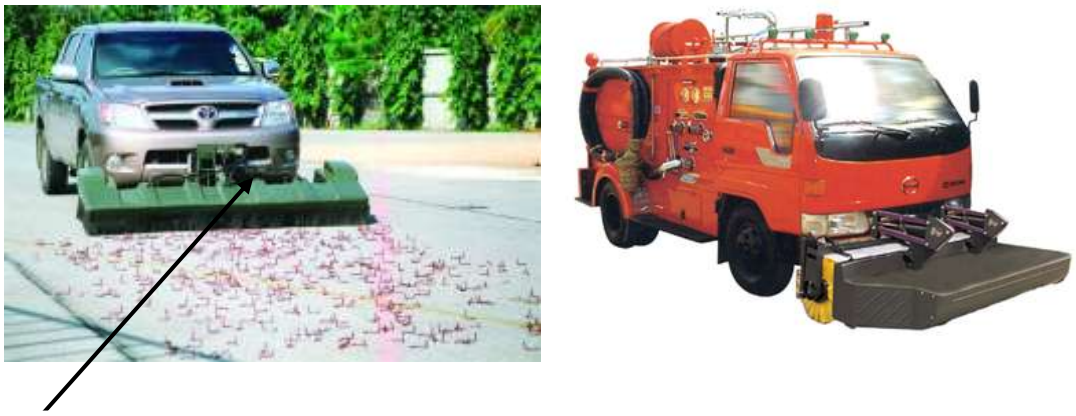
ล้อยางแบบ Tweel Tyre แบบใช้ Flexible Spoke โดยไม่ต้องใช้ลม ดังแสดงในรูปที่ 1.6 (a) ล้อยางแบบนี้สามารถวิ่งที่ความเร็วสูง และใช้งานกับสภาพถนนขรุขระ และ รับน้ำหนักบรรทุกได้มาก แต่ราคาแพง ต่อมาจึงได้มีการคิดค้นล้อยางแบบ PAX SYSTEM ของ Michelin ดังแสดงในรูปที่ 1.6 (b) ซึ่งคล้ายกับยางล้อรถยนต์แบบเติมลมทั่วไป เมื่อลมรั่วออกหรือยางแบนก็จะมีวงแหวนรองรับน้ำหนักแทนลม โดยวงแหวนรองรับน้ำหนักแทนลมทำจากโพลิเมอร์เสริมแรงภายใน เรียกลักษณะยางแบบนี้ว่า Run Flat Tyre (US 5593520,1997) ซึ่งมีราคาสูง แต่ข้อดีคือใช้กระทะล้อแบบธรรมดาทั่วไปได้โดยไม่ต้องออกแบบกระทะล้อใหม่เพียงแค่ติดตั้งแหวนวงรอบกระทะและนำยางลมแบบปกติติดตั้งลงไปก็สามารถใช้งานได้



รูปที่ 1.7 ล้อยางรถจักรยานใส่โฟมเหลวไว้ข้างใน

(ที่มาจาก: http://article.wn.com/view/2012/07/06/US_Firm_to_Put_Up_Bicycle_Tyre_Plant)

เทคโนโลยีการใส่โฟมเหลวไว้ข้างในล้อยาง ใช้ทดลองศึกษากับล้อยางขนาดเล็ก โดยที่โฟมจะแข็งทันทีที่ถูกอากาศ ซึ่งเป็นการอุดรูรั่วไปในตัว ดังแสดงในรูปที่ 1.7 แต่ส่วนใหญ่เหมาะกับล้อยางขนาดเล็ก เช่น ล้อจักรยานและมอเตอร์ไซค์และกรณีที่มีจำนวนรูเจาะน้อยๆ



รูปที่ 1.8 อุปกรณ์ติดรถสำหรับเก็บเรือใบและเป็นรถสำหรับเก็บเรือใบ

(ที่มาจาก: http://www.gunsandgames.com/smf/index.php?topic=48006.0 14/09/2555 และhttp://www.prolampac.com/products/roadsurfacing/detail/roadsurfacing_detail_10.html 14/09/2555)

การติดตั้งอุปกรณ์ติดรถสำหรับเก็บและกวาดตะปูเรือใบออกจากผิวถนน ดังแสดงในรูปที่ 1.8 (a) เป็นอุปกรณ์เพื่อป้องกันการเจาะล้อยาง จะติดตั้งอุปกรณ์นั้นบริเวณด้านหน้าของตัวรถ เมื่อติดตั้งกับรถกระบะ ตัวอุปกรณ์จะยื่นออกจากตัวรถด้านละ 20 เซนติเมตร ช่วยให้สมรรถนะในการเก็บกู้ขณะเลี้ยวรถทำได้คล่องตัว โดยประสิทธิภาพสูงสุดรองรับรถที่วิ่งด้วยความเร็ว 60 km/hr

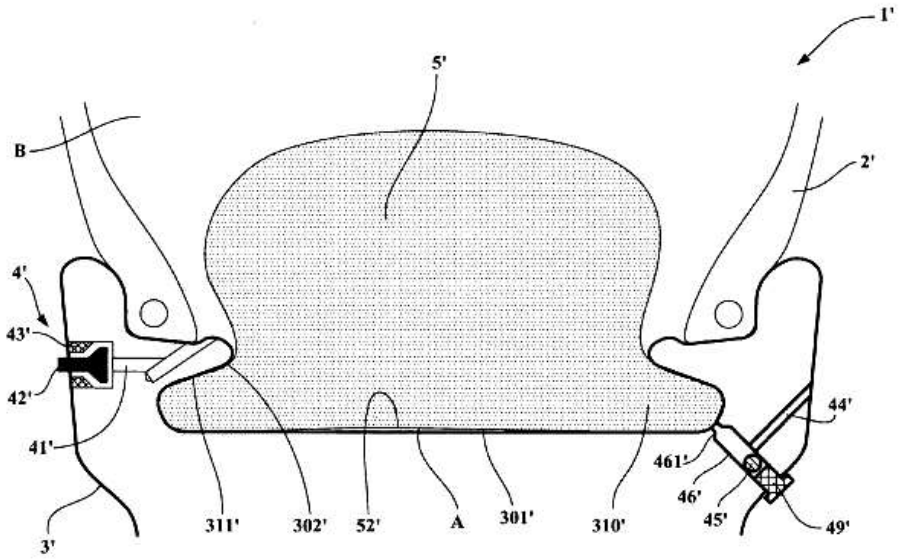
ส่วนตัวอุปกรณ์เก็บสามารถเก็บตะปูได้สูงสุด 1,000 ตัว และสามารถนำตะปูไปกำจัดในภายหลังได้ และได้ปรับแต่งให้เป็นรถกู้ภัยที่สามารถเก็บเรือใบและดับเพลิงได้ มีระบบไฮดรอลิก เพื่อยกล้อในการ ถอด เปลี่ยน ล้อ อะไหล่ มีปั๊มลมเพื่อการเติมลม และอุปกรณ์เพื่อซ่อมรอยรั่วของยาง ดังแสดงในรูปที่ 1.8 (b) ต่อมาได้มีการทดลองนำล้อยางตันของรถฟอร์คลิฟท์ขนาด 700-12 กับรถปิคอัพสำหรับวิ่งฝ่าตะปูเรือใบ ดังแสดงในรูปที่ 1.9 จากการศึกษาพบว่าล้อยางตันสามารถทนต่อการเจาะของตะปูเรือใบได้ แต่มีข้อจำกัดคือ ล้อยางน้ำหนักมาก ความเร็วในการขับขี่ต่ำขับในระยะสั้นๆการติดตั้งลำบากต้องมีการดัดแปลงกระทะล้อ และไม่สะดวกในการติดตั้งกับรถกระบะขับเคลื่อนสี่ล้อได้เนื่องจากรถมีดุมล้อใหญ่กว่ากระทะล้อของรถฟอล์คลิฟท์

รูปที่ 1.9 แสดงล้อยางตันของรถฟอร์คลิฟท์ใส่รถปิคอัพสำหรับวิ่งฝ่าตะปูเรือใบ

จากข้อจำกัดของงานที่มีอยู่และได้ศึกษาไปแล้วพบว่าสิ่งประดิษฐ์ดังกล่าวมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันไปตามราคาและคุณลักษณะการใช้งาน ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำล้อยางลมแบบปกติมาเสริมชั้นโฟมยาง และศึกษาความเป็นไปได้ของล้อยางเสริมชั้นโฟมในการวิ่งฝ่าตะปูเรือใบ โดยทำการศึกษาจากสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องดังนี้

1.2.2 การตรวจสอบเอกสารสิทธบัตร

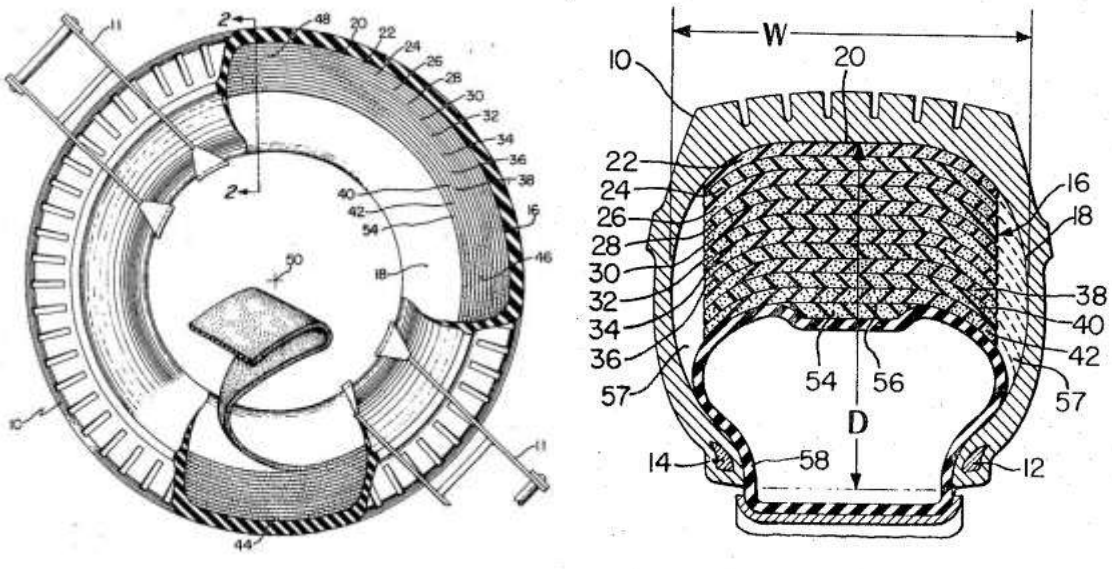
สิทธิบัตรลำดับที่ US 20070000586A1 ได้กล่าวถึงสิ่งประดิษฐ์ชิ้นนี้ว่า Run Flat Assemblies สร้างขึ้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำไปใช้ในยานพาหนะบนท้องถนน โดยมีส่วนประกอบที่เสริมเข้าไปในล้อยางซึ่งมีหัวจุกเติมลมและยางลม ส่วนประกอบทำมาจากโฟมยางชนิด Close-cell cellular rubber ดังแสดงในรูปที่ 1.10 และได้ออกแบบให้สามารถรองรับน้ำหนักของรถ เมื่อล้อยางเกิดการรั่วซึมซึ่งมีสาเหตุมาจากการเจาะของตะปูเรือใบ



รูปที่ 1.10 แสดงล้อยางแบบ Run flat assembly

(ที่มา : US 20070000586A1 Patent)

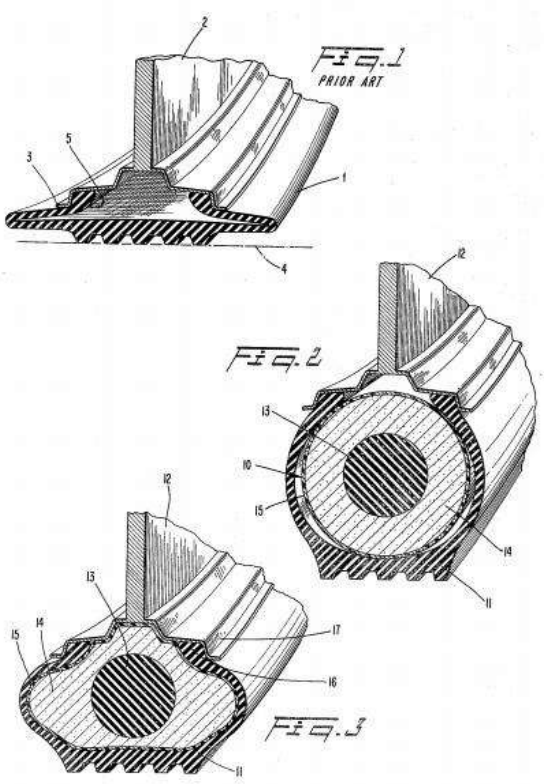
สิทธิบัตรลำดับที่ US 3,650,865 กระบวนการในการทำยางที่สามารถทนต่อการเจาะของตะปูเรือใบโดยการเสริมชั้นที่ทำมาจากวัสดุที่เรียกว่าโฟมยางซึ่งทำมาจากยางสังเคราะห์ และในส่วนของกระทะล้อได้ออกแบบให้มีลักษณะพิเศษที่จะนำแผ่นโฟมยางมาสวมใส่ และแผ่นโฟมยางที่ขึ้นรูปได้มีลักษณะเป็นแบบวงแหวนดังแสดงในรูปที่ 1.11 กระบวนการนั้นเริ่มต้นจากการนำแผ่นโฟมยางสวมใส่ในกระทะล้อ



รูปที่ 1.11 แสดงล้อยางที่เสริมโฟมยางที่เป็นแผ่นซีสเสริมในล้อยางลม

(ที่มา : US 3,650,865 Patent)

สิทธิบัตรลำดับที่ US 4,371,023 การสูญเสียความดันอากาศที่อยู่ภายในล้อยาง เพื่อป้องกันการยุบตัวของล้อยางที่เกิดจากการเจาะของตะปูเรือใบ ซึ่งจะทำให้อากาศที่อยู่ภายในล้อยางลมรั่วซึมออกมาภายนอก ในลักษณะอย่างนี้งทำการป้องกันการรั่วซึมอันเนื่องมาจากการเจาะหรือการสูญเสียแรงดันอากาศภายในล้อยางลม งานประดิษฐ์นี้จึงทำการคิดค้นและออกแบบแผ่นเสริมกระทะล้อ ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบ Tubeless เสริมข้างในล้อยางดังแสดงในรูปที่ 1.12 ซึ่งตัว Tubeless นี้ทำมาจากโฟมยาง และนำมาทดสอบการยุบตัวและสังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายในของชั้นโฟมยางด้วย

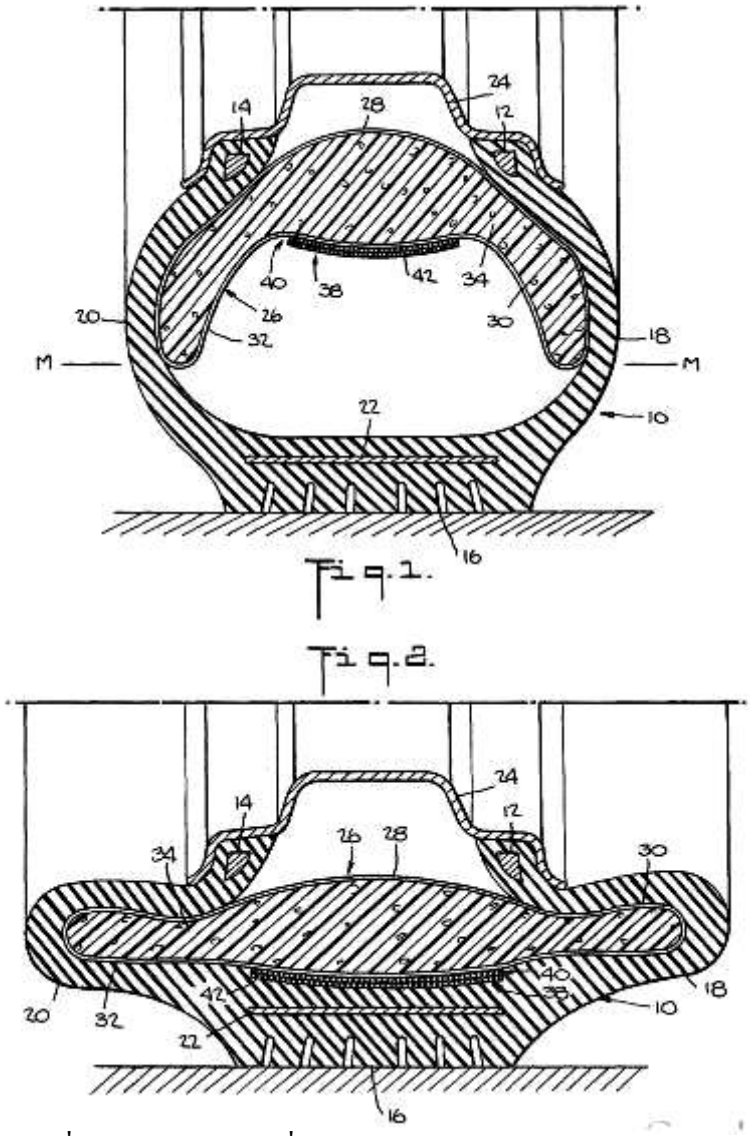


รูปที่ 1.12 แสดงชั้นโฟมยางที่มีลักษณะเป็นท่อเสริมในล้อยางลม
(ที่มา : US 4,371,023 Patent)

สิทธิบัตรลำดับที่ US 7,342,064B2 งานประดิษฐ์นี้ใช้งานเป็นส่วนประกอบหลักสำหรับการทำล้อยาง และล้อ Run Flat Tire ประกอบขึ้นเป็นชั้น โดยในปัจจุบันนี้ Run Flat Tire มีขอบที่เสริมด้วยวัสดุที่เป็นชั้น (A reinforcing layer) ซึ่งมีความแข็งและนำมาเสริมเส้นใยตรงบริเวณแก้มยาง (Side wall) และทำให้รถยนต์สามารถที่จะวิ่งได้ระยะทางระดับหนึ่งเมื่อล้อยางเกิดการรั่วเนื่องมาจากการเจาะของตะปูเรือใบ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะมียางอะไหล่เตรียมไว้ซึ่งจะทำให้รถมีน้ำหนักเบาขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม Run - flat ชนิดนี้ก็ยังมีลิมิตหรือข้อจำกัดของการใช้งานในเรื่อง

ของความเร็วและระยะทาง เมื่อล้อยางเกิดการรั่วซึมจากการโดนตะปูเรือใบ ซึ่งในอนาคตก็ทำการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเพื่อความปลอดภัยและความต้องการของผู้ที่จะนำไปใช้

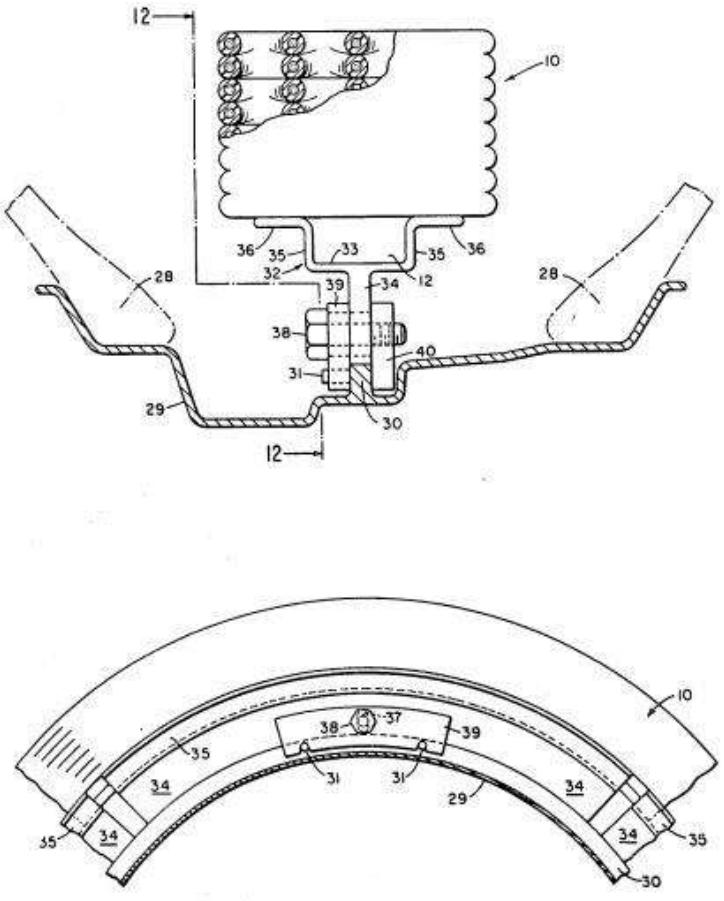
สิทธิบัตรลำดับที่ US 4,334,565 การเสริมแผ่น Run Flat Tire เป็นวงแหวนที่มีลักษณะแบบท่อในล้อยางลม ซึ่งล้อยางลมจะมีขดลวดที่ติดอยู่กับตัวโฟมยาง เรียกว่า Torus-like core ประกอบไปด้วยและจะเป็นตัวรองรับ Load bearing ซึ่งจะ Insert foam ดังแสดงในรูปที่ 1.13 โดยจะเป็นแบบ Cellular ซึ่งจะมีรูพรุนและเป็นแบบ Close – cell



รูปที่ 1.13 แสดงล้อยางที่เสริมโฟมยางแบบ torus-like core

(ที่มาจาก: US 4,334,565 Patent)

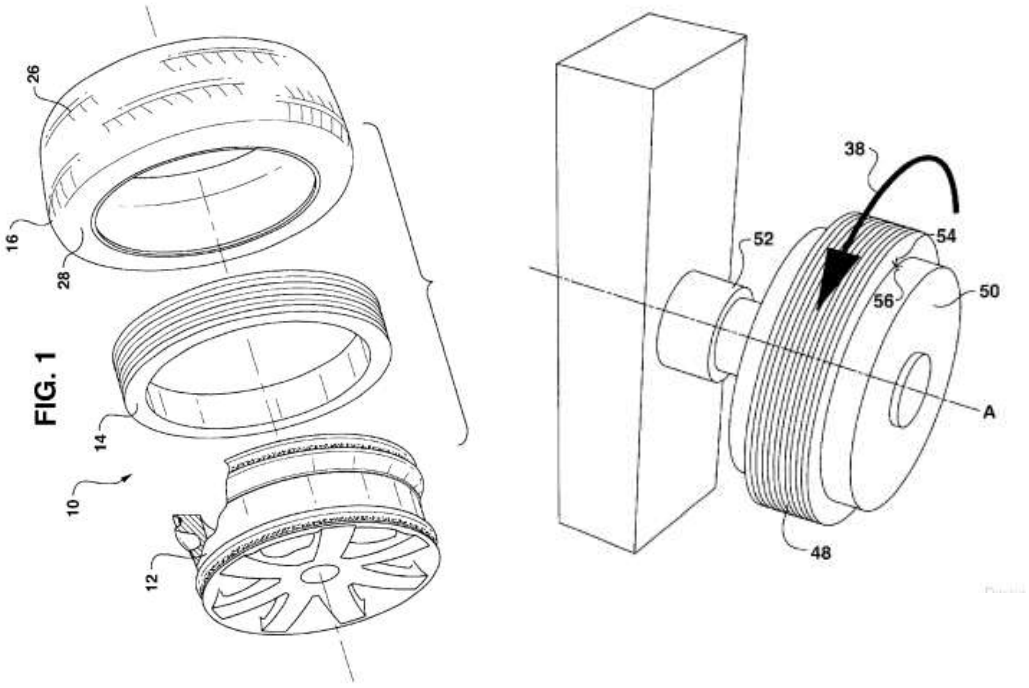
สิทธิบัตรลำดับที่ US 4,281,700 การนำแผ่น Run Flat Tire มาเสริมในล้อยางที่มีลมนั้นยางจะต้องมีความยืดหยุ่น รับแรงกด และ Run - flat จะมีลักษณะเป็นวงแหวน ซึ่งวงแหวนนี้จะต้องมีรูพรุนเป็นจำนวนมากและเรียงตัวอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งแผ่น โดยจะมีลักษณะเป็นชั้นซึ่งทำมาจากวัสดุที่เป็น Elastomeric ที่นำเส้นใยมาท่อ โดยมีช่องว่างระหว่างการท่อในแต่ละแถว ซึ่งการนำแผ่นมาเสริมนั้นสิ่งที่ต้องการคือทำให้มีน้ำหนักเบา (Lightweight) มีความยืดหยุ่น (Flexibility) และมีการกระจายของภาระโหลดได้ดี ซึ่งจะต้องนำมาใช้ได้จริง และทำการออกแบบการจับยึดระหว่างแผ่น Run Flat Tire กับกระทะล้อโดยการเชื่อมติดและยึดด้วยสกรูดังแสดงในรูปที่ 1.14โดยเงื่อนไขเหล่านี้นำมาเป็นขอบเขตที่จะนำมาออกแบบเป็นแผ่น Run Flat Tire สำหรับล้อยางลมและทำให้รูปร่างและลักษณะพิเศษ โดยแผ่นที่จะเสริมนั้นจะมีช่องว่างและการจับยึดกับล้อลมยาง โดยจะทำการลดน้ำหนักของรถและรวมไปถึงการลดความเสียหายที่เกิดจากกระทะล้อเนื่องจากการหมุนอีกด้วย



รูปที่ 1.14 แสดงการออกแบบตัวจับยึดระหว่างแผ่น Run - flat กับ กระทะล้อ

(ที่มาจาก: US 4,281,700 Patent)

สิทธิบัตรลำดับที่ US 6,776,034B2 ได้ศึกษาความคงทนของชั้นยางเสริมกระทะล้อ โดยวิธีนำชั้นยางยึดติดกับกระทะล้อ Run Flat Tire โดยเปรียบเทียบการทดลองกับการเกิดจริงโดยทดสอบบนเครื่องทดสอบดังแสดงในรูปที่ 1.15 และหาการเกิดแรงเสียดทาน ที่ผิวสัมผัสระหว่างกระทะล้อกับชั้นยางโดยใช้ความเร็วของการหมุนเป็นตัวกำหนดพบข้อเสียของล้อโดยชั้นยางเสริมในกระทะล้อเกิดการฉีกขาดที่ผิวสัมผัส เมื่อล้อรั่วยางชั้นนอกไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ นี้เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับ Run Flat Tire นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่เกิดจากตะปูเรือใบ ทำให้ยางและกระทะล้อเสียหาย



รูปที่ 1.15 แสดงแบบจำลองการทดสอบแผ่น Run Flat Tire
(ที่มาจาก : US 6,776,034B2 Patent)

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อพัฒนาล้อยางลมให้เป็นล้อยางรันแฟลตไทร์ แบบวงแหวน จากการเสริมอุปกรณ์เสริมล้อยางลมที่ทำมาจากโฟมยาง ให้ใช้ในรถทั่วไป

1.3.2 เพื่อศึกษาสมรรถณะของล้อยางรันแฟลตไทร์ แบบวงแหวน ที่พัฒนาขึ้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ล้อยางลมแบบรันแฟลตที่มีโฟมยางเสริมชั้นใน และสามารถวิ่งฝ่าตะปูเรือใบได้

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1.5.1 ขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติด้วยยางแห้งเท่านั้น

1.5.2 ปรับสมบัติความแข็งโฟมยางด้วยสารตัวเติม เช่น เคลย์หรือแคลเซียมคาร์บอเนต

1.5.3 ใช้งานหรือติดตั้งกับกระทะล้อขอบ 15 นิ้วเท่านั้น

1.5.4 การทดสอบความคงทน ความแข็ง และการทนความร้อนของโฟมยางหลังการใช้งานที่ภาระของรถจริงเทียบกับมาตราฐานล้อยางลม และความเป็นไปได้ของล้อยางลมเสริมชั้นโฟมยางในการวิ่งฝ่าตะปูเรือใบ

บทที่ 2
ทฤษฎี

บทนี้กล่าวถึง ทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องและสามารถนำมาใช้ในการทำล้อโฟมยาง เพื่อนำมาเสริมในล้อยางลม ในขณะที่ล้อยางเกิดการรั่วซึม หรือถูกเจาะด้วยตะปูเรือใบ ซึ่งทำให้รถยนต์วิ่งด้วยความเร็วต่ำ และส่งผลทำให้ล้อยางลมฉีกขาด ไม่สามรถนำไปใช้ต่อได้ เมื่อวิ่งเป็นระยะทางนานๆ และในขณะเดียวกันจะส่งผลถึงกระทะล้อ และช่วงล่างของรถยนต์นั้นด้วย

ปัจุบันนั้นประเทศไทยมีการใช้รถยนต์เป็นยานพาหนะจำนวนมาก ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นหนึ่งในนั้นก็คือปัญหาล้อยางเกิดการรั่วเมื่อถูกเจาะด้วยของแหลม ทำให้ส่งผลถึงการเปลี่ยนล้อยางอะไหล่ที่ยากลำบากสำหรับบางคน หรือไม่สะดวกในบางสถานการณ์ เช่น ริมทางหลวงที่มีไหล่ทางแคบ บนไฮเวย์ที่รถยนต์คันอื่นใช้ความเร็วสูง หรือเส้นทางเปลี่ยวในเวลากลางคืน ในกรณีที่รูรั่วมีขนาดเล็ก แม้ยางรถยนต์จะแบนช้า และไม่เสียการทรงตัวในทันที แต่เมื่อแบนแล้วก็ต้องจอดเปลี่ยน เพราะถ้าฝืนขับต่อไป แก้มยางจะถูกขอบล้อบดกับพื้นถนนจนเสียหาย ต้องทิ้งทั้งเส้นหรืออาจทำให้กระทะล้อบิดเบี้ยวไปด้วย แม้มียางอะไหล่ แต่ถ้ายางแบนแล้วยังสามารถขับต่อไปได้อีกระยะหนึ่ง ย่อมดีกว่า ทั้งในด้านการไม่เสียการทรงตัว หรือการขับไปเปลี่ยนยางอะไหล่ในสถานที่ปลอดภัยและสะดวก

ดังนั้นการทำล้อยางโฟมเพื่อเสริมในล้อยางลมขณะล้อรั่วนั้น ล้อยางโฟมเสริมจะต้องมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี เช่น การรับแรงจากภาระน้ำหนักรถจริง ตัวล้อยางโฟมจะต้องมีน้ำหนักเบาและทนทานต่อการเจาะของตะปูเรือใบ และสามารถวิ่งได้ระยะทางไกลออกไป เพื่อหาร้านเปลี่ยนยางอะไหล่ได้ ดังนั้น ในการขึ้นรูปโฟมยางจะใช้ยางแห้งแล้วนำมาผสมกับสารพองฟู (Blowing agent) เป็นวัตถุดิบหลักเพื่อทำให้เกิดเป็นโฟมยาง จากนั้นเติมเคลย์เพื่อเพิ่มความแข็ง เพื่อทำให้ชิ้นงานที่ได้ออกมามีคุณสมบัติตามที่ต้องการ

2.1 ยางธรรมชาติ (วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549)

2.1.1 ยางธรรมชาติ

1) ยางแห้ง ได้จากการนำน้ำยางสดที่กรีดได้มาเติมกรด (นิยมใช้กรดอะซิติก กรดฟอร์มิค หรือกรดซัลฟูริค) เพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งและแยกตัวออกจากน้ำ จากนั้นก็ทำการไล่ความชื้นออกจากเนื้อยางเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา โดยยางแห้งแบ่งได้ 3 ประเภทตามกรรมวิธีการผลิตคือ

1.1) ยางแบบธรรมดา ผลิตโดย Convention process ได้แก่ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง และยางเครพ

- ยางแผ่นรมควัน ทำจากน้ำยางสด โดยแยกส่วนน้ำออกให้หมด ใช้กรดฟอร์มิกเป็นตัวแยก แล้วรีดเป็นแผ่นและนำมารมควัน ยางชนิดนี้ประเทศไทยผลิตได้เป็นจำนวนทั้งสิ้นประมาณร้อยละ 70 ของจำนวนยางที่ผลิตได้ทั้งหมด

- ยางแผ่น (Rubber sheet) ได้จากการนำน้ำยางสดมาใส่ในตะกงจากนั้นจึงเติมน้ำเพื่อเจือจางน้ำยางให้มีปริมาณเนื้อยางแห้งเหลือเพียงประมาณ 12.16% ก่อนทำการเติมกรดเพื่อให้ยางจับตัวกันและแยกออกจากน้ำ หากทำการเจือจางมากก็จำเป็นต้องใช้กรดมากเช่นกัน โดยทั่วไปอนุภาคของน้ำยางจะเริ่มจับตัวกันหลังจากที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำยาง อยู่ในช่วง 5.1-4.8 เรียกจุดนี้ว่า “จุดไอโซอิเล็กทริค” (Isoelectric point) หลังจากนั้นจึงนำยางที่ได้ไปรีดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง จากนั้นนำไปล้างน้ำ แล้วจึงทำให้ยางแห้ง

- ยางเครฟ (Crepe rubber) ส่วนใหญ่เป็นยางที่ได้จากการนำเศษยาง (เช่น ยางก้นถ้วยหรือเศษยางที่ติดบนเปลือกไม้หรือติดบนดิน หรือเศษจากยางแผ่นรมควัน เป็นต้น) นำไปรีดในเครื่องเครฟ (Creping machine) พร้อมทั้งใช้น้ำทำความสะอาดเพื่อนำเอาสิ่งสกปรกต่างๆออกไปจากยางในระหว่างการรีดจากนั้นจึงนำยางแผ่นที่ได้ไปผึ่งลมให้แห้ง โดยทั่วไปยางเครฟที่ผลิตได้มีหลายรูปแบบ เช่น Brown crepe, Flat bark crepe และ Blanket crepe เป็นต้นซึ่งยางเครฟเหล่านี้มีสีค่อนข้างเข้มและมีความบริสุทธิ์ ที่แตกต่างกันมากนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตด้วย

1.2) ยางแบบระบุคุณภาพมาตรฐาน ผลิตโดยมีเงื่อนไขการระบุคุณภาพมาตรฐานตามสากล (Technically specified process) ได้แก่ยางแท่งมาตรฐาน (Standard block rubber) ซึ่งยางแท่งเป็นยางที่ผลิตขึ้นมาโดยอาศัยหลักการคร่าวๆดังนี้ เริ่มต้นนำยางมาทำให้เป็นก้อนเล็ก ๆ (เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) เพื่อให้ง่ายต่อการชำระล้างสิ่งสกปรกออกไปด้วยน้ำและง่ายต่อการทำให้แห้งในขั้นตอนถัดไปหลังจากอบยางให้แห้งที่อากาศร้อนแล้วก็จะนำยางแห้งที่เป็นก้อนเล็ก ๆเหล่านี้ไปอัดให้เป็นแท่งขนาดมาตรฐาน 330×670×170 มิลลิเมตร โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 33.33 กิโลกรัมต่อแท่ง ซึ่งวัตถุดิบของการผลิตยางแท่ง ได้แก่ น้ำยางหรือแผ่นยางทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเกรดของยางแท่งที่ต้องการผลิต เช่น ต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR XL หรือ STR 5L ซึ่งมีสีจางมาก (L ย่อมาจาก Light และ XL ย่อมาจาก Extra light) จำเป็นต้องใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบและใช้กรดฟอร์มิคในการทำให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันภายใต้ สภาวะที่มีการควบคุมอย่างดี หรือถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR 10 หรือ STR 20 ซึ่งเป็นกรดที่มีสิ่งเจือปนสูงและมีสีเข้มกว่าก็อาจใช้ยางแผ่นหรือเศษยาง ขี้ยางเป็นวัตถุดิบเป็นต้นส่วนกระบวนการผลิตยางแท่งค่อนข้างจะ

ยุ่งยากต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีราคาแพงและต้องมีการควบคุม คุณภาพอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นยางแท่งจึงมีราคาสูงกว่ายางแผ่นรมควัน

1.3) ยางแบบอื่นๆที่มีลักษณะเฉพาะตัว เพื่อให้ได้ผลผลิตเหมาะกับงานที่จะขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ หรือเพื่อวัตถุประสงค์ จะปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ ตัวอย่างยางกลุ่มนี้ได้แก่ ยางที่มีความหนืดคงที่ (Viscosity stabilised rubber)

2) น้ำยาง สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทดังนี้

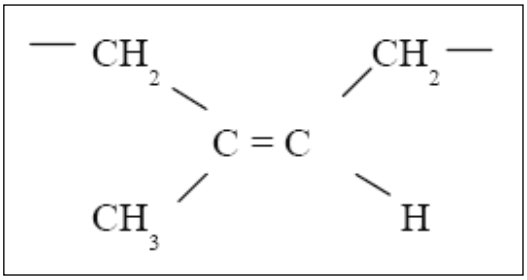
2.1) น้ำยางสด คือน้ำยางที่กรีดได้จากต้นยาง และจะคงสภาพความเป็นน้ำยางอยู่ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมง เนื่องจากแบคทีเรียในอากาศ และจากเปลือกของต้นยางขณะกรีดยางจะลงไปในน้ำยาง และกินสารอาหารที่อยู่ในน้ำยาง เช่น โปรตีน น้ำตาล ฟอสโฟไลปิด โดยแบคทีเรียจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากแบคทีเรียกินสารอาหาร คือ จะเกิดการย่อยสลายได้เป็นก๊าซชนิดต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน เริ่มเกิดการบูดเน่าและส่งกลิ่นเหม็น การที่มีกรดที่ระเหยง่ายเหล่านี้ในน้ำยางเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางเปลี่ยนแปลงลดลง ดังนั้นน้ำยางจึงเกิดการสูญเสียสภาพ ซึ่งสังเกตได้จาก น้ำยางจะค่อย ๆ หนืดขึ้น เนื่องจากอนุภาคของยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ และจับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนน้ำยางสูญเสียสภาพโดยน้ำยางจะแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง และส่วนที่เป็นเซรุ่ม ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยางไม่ให้อนุภาคของเม็ดยางเกิดการรวมตัวกันเองตามธรรมชาติ จึงมีการใส่สารเคมีลงไปในน้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยางให้คงสภาพเป็นของเหลว โดยสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางเรียกว่า สารป้องกันการจับตัว (Anticoagulant) ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟด์ ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นต้น เพื่อรักษาน้ำยางไม่ให้เสียสูญเสียสภาพ

2.2) น้ำยางข้น ทำจากน้ำยางสด โดยมีเครื่องแยกที่จะไล่น้ำออกไป ให้เหลือส่วนที่จะเป็นยางประมาณร้อยละ 60 น้ำยางจะข้นขึ้น และเอาไปใช้ทำเบาะนั่ง เบาะอิง ที่นอน ตุ๊กตา ถุงมือ ลูกโป่ง ฯลฯ วัสดุสำเร็จรูปเหล่านี้ทำได้ในประเทศไทย น้ำยางชนิดนี้ผลิตจำหน่ายเฉพาะภายในประเทศเท่านั้น ประมาณว่าปีหนึ่ง ๆ ต้องใช้ถึง 700,000-1,000,000 ลิตร ซึ่งในงานวิจัยจะใช้น้ำยางข้นในการทำโฟมยางด้วย นอกเหนือจากโฟมยางที่ทำจากยางแห้ง

โฟมยางธรรมชาติผลิตครั้งแรกใน ปี ค.ศ.1929 ทำจากน้ำยางพารา 100% โฟมยางธรรมชาติ เหนียวทนทาน ยืดหยุ่นสูงไม่มีสารเคมีที่เป็นพิษ รักษาสิ่งแวดล้อม และมีการต้านแบคทีเรียโดยธรรมชาติ ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของยางธรรมชาติที่ไม่เหมือนยางสังเคราะห์ และสามารถนำมาใช้ซ้ำได้โดยไม่ยุบตัวหรือฉีกขาด มีสปริงในตัวยางทำให้เกิดความทนทานมาก โฟมยางธรรมชาติมีโครงสร้างเป็นรูเล็กทั้งสองด้านของยางจำนวนล้านๆรู ทำให้ปรับความแข็งของยางเพื่อเพิ่มเพิ่มความสบาย และสามารถรับแรงกดหรือน้ำหนักได้ดี (ความรู้เรื่องยางธรรมชาติ, 2552)

2.1.2 สมบัติทางเคมีของยาง

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มี Isoprene $(C_5H_8)_n$ โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15-20,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้นมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงสูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ

โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด จึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (Strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (Abrasion resistance) สูง

ยางดิบจะมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงแปลงอุณหภูมิ คือยางจะอ่อนเยิ้มและเหนียวเหนอะหนะเมื่ออุณหภูมิสูง แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น ยางคอมเปานด์ (Rubber compound) คือยางที่ผ่านการบดผสมกับสารเคมี ยางที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่าวัลคาไนเซชั่น (Vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วเรียกว่า “ยางสุกหรือยางคงรูป” (Vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางจะดีขึ้น

(ที่มา : http://rubber.sc.mahidol.ac.th/rubbertech/NR.htm)

ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติดังนี้

- มีความหยืดหยุ่น (Elasticity) และการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ได้ดีซึ่งเหมาะสำหรับการผลิต ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

- มีสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ที่ดีจึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบินหรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

- มีความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูงจึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเป๋าน้ำร้อน

ยางธรรมชาติมีข้อเสียหลักคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน โดยยางจะไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิดจำพวกสารในกลุ่มของ (Antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน (ที่มา : http://rubber.sc.mahidol.ac.th/rubbertech/NR.htm)

2.1.3 ลักษณะเด่นของยาง

ลักษณะเด่นของยางธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (Elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับมันหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ด้วยสมบัติดังกล่าวจึงเหมาะที่จะนำมาทำยางปูพื้น อีกทั้งยางธรรมชาติยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (Tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (Assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

2.2 สารเคมีที่ใช้ในการผสมยาง

สารเคมีมีหน้าที่เฉพาะช่วยให้ยางมีสมบัติตามที่ต้องการ ทั้งในระหว่างการผลิต การวัลคาไนซ์ และการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน โดยปกตินิยมบอกปริมาณสารที่ใช้ในการผสมยางทุกชนิดที่ใส่เข้าไปในยางโดยเทียบกับยาง 100 ส่วน และจะมีหน่วยเป็น phr (parts per hundred of rubber) (พรพรรณ นิธิอุทัย, 2528) โดยแสดงสมบัติที่ต้องการและปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และสารเคมีที่ใช้ในการผสมยางสามารถแบ่งออกเป็น 7 ชนิด

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติที่ต้องการและปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้

สมบัติที่ต้องการ	**สารเคมี**	**ปริมาณการใช้ (phr)**
สมบัติความยืดหยุ่น (Elasticity)	สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing crosslink agents)	1-3.5
	สารกระตุ้น (Activator)	1-5

	สารเร่ง (Accelerator)	0.5-2.5
ป้องกันยางเสื่อมอันเนื่องจาก O_2 , O_3	สารป้องกันยางเสื่อม เช่น 6 PPD, Flectol H, Antioxidant 2246, Wingstay L, Vulkanox MB	1-4
เสริมความแข็งแรงให้ยาง	สารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคเล็ก เช่น เขม่าดำ (Carbon black) เขม่าขาว (Silica)	10-100
สี	สีอนินทรีย์ หรือสีอินทรีย์	ตามความเข้มที่ต้องการ
ลดต้นทุน	สารตัวเติมชนิดราคาถูก ยางรีเคลม เศษยางคงรูป	10-200 , 10-100, 5-50
ฟองพรุน (Cellular structure)	สารฟู พวกอินทรีย์สารหรืออนินทรีย์สาร	0.5-20 5-30
ลดอันตรายจากการติดไฟ (Self extinguishing)	สารลดการติดไฟ เช่น พวก Phosphates, Antimony salts, Halogenated organics, Borates (Antimonytrioxide and Chlorinated wax – มักใช้กับยางธรรมชาติ)	1-20
ฉนวนกันไฟฟ้า	สารพวกไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เช่น สารตัวเติมพวกแร่ธาตุ น้ำมัน ไฮโดรคาร์บอน	5-50
กันไฟฟ้าสถิต	สารกันไฟฟ้าสถิต เช่น พวกเอสเทอร์ที่มีขั้ว เขม่าดำ	0.1-2.0, 1-5
ตัวนำไฟฟ้า	สารตัวนำไฟฟ้า เช่น เขม่าดำ อนุภาคโลหะและเกลือโลหะ	10-50
ป้องกันแบคทีเรีย	สารป้องกันเชื้อรา เช่น สารพวก Chlorinated phenol	0.5-5.0

ที่มา : หน่วยเทคโนโลยียาง (2552)

2.2.1 สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agent)

สารที่ทำให้ยางสุกเป็นสารเคมีที่สำคัญในการเพิ่มสมบัติทางกายภาพให้แก่สินค้าที่ผลิตโดยผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) ซึ่งสมบัติทางกายภาพของยางที่เพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากการเชื่อมโยง (Crosslink) ของโมเลกุลของยางขึ้น ถ้าปราศจากสารเคมีที่ทำให้ยางสุกแล้ว การเชื่อมโยงของโมเลกุลของยางจะเกิดขึ้นไม่ได้เลย และยางคงรูปจะมีสมบัติอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับชนิดการเชื่อมโยงโมเลกุลของยาง และจำนวนที่เกิดการเชื่อมโยง ซึ่งการเชื่อมโยงนี้จะขึ้นอยู่กับ ชนิดและปริมาณของสารที่ทำให้ยางสุก โดยทั่วไปการเพิ่มปริมาณสารที่ทำให้ยางสุกจะเป็นการเพิ่ม

ความเชื่อมโยงของโมเลกุลยางด้วย โดยทำให้สมบัติของยางมีความยืดหยุ่น ความแข็ง และความต้านทานการเปลี่ยนรูป (Modulus) เพิ่มมากขึ้นด้วย แต่การยืดของยางจนขาด (Elongation at break) และระดับการบวม (Degree of swelling) ของยางจะลดลง (พรพรรณ นิธิอุทัย, 2528)

สารทำให้ยางคงรูปแบ่งเป็น 2 ระบบใหญ่ๆ ได้แก่ ระบบที่ใช้กำมะถัน (Sulphur) นิยมใช้ในยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลสูง และระบบที่ใช้เปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ซึ่งนิยมใช้ในยางที่มีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำ

2.2.1.1 ระบบเปอร์ออกไซด์ (Peroxide system)

ระบบนี้สามารถใช้ในการทำให้ยางเกือบทุกชนิดคงรูปโดยเฉพาะยางสังเคราะห์ที่ไม่มีหรือมีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำ ยางที่คงรูปด้วยระบบนี้จะมีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีนัก ต้นทุนสูงกว่าระบบการคงรูปด้วยกำมะถัน และยางคงภาพที่ได้มักมีกลิ่นของ Aetophenone ซึ่งเป็นผลพลอยได้ จากการทำปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน แต่ยางจะมีความทนทานต่อความร้อนสูง

2.2.1.2 ระบบยางคงรูปโดยกำมะถัน (Sulphur vulcanization system)

เป็นระบบที่เหมาะสำหรับการทำให้ยางที่มีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลสูงคงรูป เช่น ยางธรรมชาติหรือยาง SBR เพราะพันธะคู่คือบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันด้วยกำมะถัน การทำให้ยางคงรูปด้วยกำมะถันจะทำให้ยางที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี แต่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ระบบยางคงรูปโดยกำมะถัน โดยกำมะถันเป็นสารทำให้ยางคงรูปที่นิยมใช้กันมากที่สุดสำหรับยางธรรมชาติ ส่วนยางสังเคราะห์อื่นๆก็ใช้สารที่ทำให้ยางคงรูปแตกต่างกันตามชนิดของยาง

การทำให้ยางคงรูป เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงยางซึ่งอยู่ในสภาพไม่คงตัว ให้เป็นยางที่สามารถรักษารูปทรงไว้ได้ในลักษณะยืดหยุ่นหรือแข็งกระด้าง โดยการใช้สารที่ทำให้ยางคงรูป ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลตรงตำแหน่งที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา การทำให้ยางคงรูปจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสำคัญ 4 ประการคือ

1.) ยางเปลี่ยนโครงสร้างแบบเชิงเส้นเป็นแบบร่างแห ทำให้ยางเปลี่ยนสภาพจากพลาสติกเป็นอิลาสติกที่มีความแข็งแรงมากขึ้น

2.) ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์หลายๆชนิด

3.) ทำให้สมบัติเชิงกลเช่นสมบัติการทนแรงดึง ความต้านทานการขัดถูและความต้านทานการฉีกขาดเพิ่มขึ้น

4.) มีความต้านทานความร้อน แสงเพิ่มขึ้น สามารถใช้งานได้ในอุณหภูมิกว้างขึ้น

2.2.2 สารเร่งให้ยางคงรูป (Accelerator)

สารตัวเร่ง คือ สารที่ช่วยให้ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางเกิดเร็วขึ้นจากเดิม ชนิดของสาร

เร่ง ให้ยางคงรูป เช่นเมื่อใช้ยางและกำมะถัน จะใช้เวลาการวัลคาไนซ์นานถึง 6 ชั่วโมง แต่เมื่อมีสารตัวเร่งจะใช้เวลาสั้นลงเพียง 10-30 นาทีเป็นต้น (พรพรรณ นิธิอุทัย, 2528) สารที่ใช้ตัวเร่งใน ยางมีมากมายหลายชนิด จนกระทั่งต้องมีการจัดหมวดหมู่ขึ้น

โดยมีลำดับการเรียงจากเร็วไปช้าดังนี้

แซนแตท > ไดไธโอคาร์บาเมต > ไธยูแรม > ไธโอโซล > ซัลฟีนาไมด์ > กัวนิดีน

สารตัวเร่งที่นิยมใช้และมีการผลิตเป็นจำนวนมาก คือ สารตัวเร่งในหมู่ไธโอโซล และ ซัลฟีนาไมด์ จะทำให้ยางคงรูปเร็ว มีความปลอดภัยในกระบวนการผลิต มีความว่องไวสูง ละลายได้ดีในยาง ส่วนไธโอโซลเป็นสารตัวเร่งที่ทำให้ยางทนทานต่อการถูกออกซิไดซ์โดยความร้อนเมื่อตั้งทิ้งไว้ แต่อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้สารเร่งในการทำเป็นผลิตภัณฑ์ยางหนึ่งๆ นั้นเรามีเกณฑ์ที่จะเลือกสารตัวเร่งอย่างกว้าง ๆดังนี้

1.) เลือกตามกระบวนการผลิต

2.) เลือกตามสมบัติผลิตภัณฑ์

3.) เลือกตามการปรับอัตราการคงรูป

2.2.3 สารกระตุ้นสารเร่ง (Activator)

สารกระตุ้น คือ สารที่ช่วยเสริมให้สารตัวเร่งทำงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สารกระตุ้นอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ สารอนินทรีย์เป็นสารกระตุ้นที่สำคัญและนิยมใช้ คือ ซิงค์ออกไซด์ สารกระตุ้นที่เป็นสารอินทรีย์ที่สำคัญคือพวกกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก สารกระตุ้นมีสมบัติที่สำคัญ คือ เมื่อใส่เข้าไปในยางปริมาณเล็กน้อยจะทำให้ยางคงรูปเร็วขึ้นและมีสมบัติดีขึ้นและบางครั้งถ้าไม่มีสารกระตุ้นก็จะมีการคงรูปเกิดขึ้น ชนิดของสารกระตุ้นมีดังนี้

1.) สารกระตุ้นที่เป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic compounds) ส่วนใหญ่เป็นสารพวกออกไซด์ของโลหะ เช่น ออกไซด์ของสังกะสี (Zinc oxide) ออกไซด์ของแมกนีเซียม (Magnesium oxide) อัลคาไลด์คาร์บอเนต (Alkali carbonate) และไฮดรอกไซด์ (Hydroxide) ออกไซด์ของสังกะสีเป็นสารกระตุ้นการเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้กันมากที่สุด สารกระตุ้นเร่งปฏิกิริยาพวกอนินทรีย์จะใช้ผสมในยาง 2-5 phr

2.) สารกระตุ้นที่เป็นสารอินทรีย์ (Organic acid) มักใช้ร่วมกับออกไซด์ของโลหะซึ่งมักเป็นกรดที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง เช่น Stearic, Oleic, Palmitic, Myristic, น้ำมันจากปาล์ม โดยปริมาณที่ใช้ผสมอยู่ในช่วง 1-3 phr

3.) สารประกอบอัลคาไลด์ (Alkaline substance) ซึ่งสารประกอบอัลคาไลด์นี้จะเพิ่มความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารประกอบยาง เช่นสารประกอบพวกแอมโมเนีย (Ammonia) เอมีน

(Amine) เกลือของเอมีนกับกรดอ่อน และบางครั้งอาจจะใช้ยางที่เหลือใช้แล้ว (Reclaimed rubber) สำหรับปริมาณที่ใช้ไม่ได้กำหนดที่แน่นอนขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ผลิต

2.2.4 สารแอนตี้ออกซิแดนท์ (Antioxidant)

เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของยางทั่วไป โดยเฉพาะยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่จะมีพันธะคู่อยู่ค่อนข้างมาก ดังนั้นยางจึงมีสภาพที่อ่อนแอต่อการถูกปัจจัยต่างๆ เช่น โอโซน แสงแดด ออกซิเจนทำลายให้เสื่อมสภาพการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างของสารในกลุ่มป้องกันยางเสื่อมสภาพ ได้แก่ IPPD (N-Isopropyl-N'-phenyl-p-phenylenediamine), TMQ (2,2,4-Trimethyl-1,2-dihydroquinoline, polymerized) และ BHT (2,6-Di-tert.Butyl (-p-cresol)) เป็นต้น

เนื่องจากยางเป็นสารอินทรีย์ที่เสื่อมสลายได้เมื่อตั้งทิ้งไว้หรือขณะใช้งาน การเสื่อมสลายของยางนี้เรียกว่า “Degradation” กระบวนการเสื่อมสภาพของยางสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 6 แบบดังนี้ (พรพรรณ นิธิอุทัย, 2528)

1.) เสื่อมสลายเนื่องจากตั้งทิ้งไว้นาน
2.) ถูกออกซิไดส์เนื่องจากการกระตุ้นของโลหะแคตตาไลส์
3.) เสื่อมสลายเนื่องจากความร้อน
4.) เสื่อมสลายเนื่องจากแสง
5.) เสื่อมสลายเนื่องจากการหักงอไปมา
6.) เกิดรอยแตกเนื่องจากบรรยากาศ

2.2.5 สารตัวเติม (filler)

สารตัวเติมเป็นสารที่ใช้ผสมกับยางเพื่อช่วยเสริมแรง (Reinforcement) ให้ผลิตภัณฑ์ยาง หรือ เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต สารตัวเติมที่ช่วยเสริมแรงจะเรียกว่า สารเสริมแรง (Reinforcing filler) ซึ่งจะเป็นสารที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก (มีพื้นที่ผิวสูง) ได้แก่ ผงเขม่าดำ (Carbon black) เกรดต่างๆ และผงเขม่าขาวหรือ ซิลิกา เป็นต้น ส่วนสารตัวเติมที่ไม่ช่วยเสริมแรง (Inert filler or non-reinforcing filler) แต่นิยมใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต ได้แก่ ผงดินขาว (China clay) แคลเซียมคาร์บอเนต ผงเข่มาดำ (Carbon black) เป็นต้น และสามารถจำแนกคุณสมบัติของแต่ละตัวได้ดังนี้

- ผงดินขาว (China clay) หรือเคลย์เป็นสารอนินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีขนาดอนุภาคเล็กในระดับไมโครเมตร ภายใต้สภาวะทั่วไปเคลย์มีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่เนื่องจากเคลย์สามารถดูดซึมน้ำหรือดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้ดี ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะของเคลย์จึงเปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามระดับการดูดซึมน้ำ กล่าวคือเคลย์ที่ดูด

ซึมน้ำไว้มากจะมีค่าความถ่วงจำเพาะที่ต่ำกว่าเคลย์ที่ดูดซึมน้ำไว้น้อย เมื่อนำเคลย์ไปผสมกับน้ำเคลย์จะมีลักษณะคล้ายพลาสติกที่สามารถนำไปขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ได้

- แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) เป็นสารอนินทรีย์ที่มีขั้ว ทำให้การผสมเข้ากับยางปกติ ซึ่งไม่มีขั้ว กระทำได้ยาก จึงทำให้ต้องใช้พลังงานในการผสมสูง และสารตัวเติมก็จะกระจายได้ไม่ดีในยางทำให้สมบัติของยางตกลง และเนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนต สามารถเกิดการ aggromerate รวมตัวกันเป็นก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ง่าย ทำให้เมื่อนำไปใช้ในยาง จะทำให้สมบัติของยางตกลง และต้องใช้พลังงานในการผสมสูงขึ้นเมื่อนำมาเป็นสารตัวเติม ส่วนมากวัสดุเติมพวกอนินทรีย์ เติมลงไปในน้ำยาง มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์แข็ง แต่ไม่เพิ่มสมบัติด้านความทนแรงดึงหรือทนต่อการฉีกขาด

(ที่มา: http://www.stkc.go.th/stportalDocument/stportal_1116483224.doc)

- เขม่าดำ (Carbon black) เป็นสารตัวเติมเสริมแรงที่สำคัญในอุตสาหกรรมยาง โดยทั่วไปการเติมเขม่าดำลงไปในยาง มีจุดประสงค์หลักๆ ดังนี้

- เพื่อเสริมแรงให้แก่ยาง ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีสมบัติเชิงกลต่างๆ โดยเฉพาะความแข็งโมดุลัส ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีกขาด รวมถึงความต้านทานต่อการขัดถูสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้เขม่าดำจึงนำไปใช้เป็นสารตัวเติมเสริมแรงในอุตสาหกรรมการผลิตยางล้อ เป็นเวลานานมาแล้ว อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันได้มีความพยายามที่จะนำระบบสารตัวเติมผสมระหว่างเขม่าดำและซิลิกามาใช้ในการปรับปรุงสมบัติบางประการของยางล้อ เช่น ปรับลดความต้านทานต่อการหมุน (Rolling resistance) ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการประหยัดพลังงานที่ใช้ในระหว่างการขับขี่มากขึ้น

- เพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์ยางจากแสงแดด เพราะการเติมเขม่าดำลงไปเพียงเล็กน้อยจะช่วยป้องกันยางจากการเสื่อมสภาพ อันเนื่องมาจากรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) ได้แต่ก็มีข้อเสียคือจะทำให้ผลิตภัณฑ์ยางที่ได้มีสีดำหรือสีเทาเข้ม

- เพื่อปรับสมบัติทางไฟฟ้าหรือทางความร้อนของยาง การเติมเขม่าดำลงไปจะทำให้ยางมีค่าการนำไฟฟ้าหรือการนำความร้อนสูงขึ้น ขอบเขตของการปรับปรุงสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับทั้งชนิดและปริมาณของเขม่าดำ ทั้งนี้เขม่าดำเกรดที่มีขนาดอนุภาคปฐมภูมิเล็กและมีโครงสร้างสูง เช่น เขม่าดำเกรดที่นำไฟฟ้าได้ จะส่งผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าหรือการนำความร้อนของยางสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

- เพื่อปรับปรุงการตอบสนองต่อคลื่นไมโครเวฟ เพราะการเติมเขม่าดำลงไปในยางที่มีความเป็นขั้วต่ำจะทำให้ยางสามารถตอบสนองต่อคลื่นไมโครเวฟได้ดียิ่งขึ้น ยางจึงร้อนและเกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็ว ส่งผลทำให้ผลิตภาพการผลิตสูงขึ้นและต้นทุนต่ำลง

- เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ทั้งนี้เพราะเขม่าดำมีราคาต่ำกว่ายาง ดังนั้นการเติมเขม่าดำลงไปจึงเป็นการเจือจางเนื้อยาง ทำให้ต้นทุนทางด้านวัสดุต่อหน่วยลดลงได้

(ที่มา: www.rubbercenter.org)

สารตัวเติม อาจจะแบ่งเป็น 3 ชนิดตามตามลักษณะดังนี้

1.) สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเม็ด (Particulated filler)
   - สารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ เช่น เขม่าดำ
   - สารตัวเติมไม่เสริมประสิทธิภาพ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต
2.) สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous filler) เช่น ใยฝ้าย ใยไม้
3.) สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเรซิน (Resinous filler)

จุดมุ่งหมายของการใช้สารตัวเติมในยางมีหลายประการ คือ

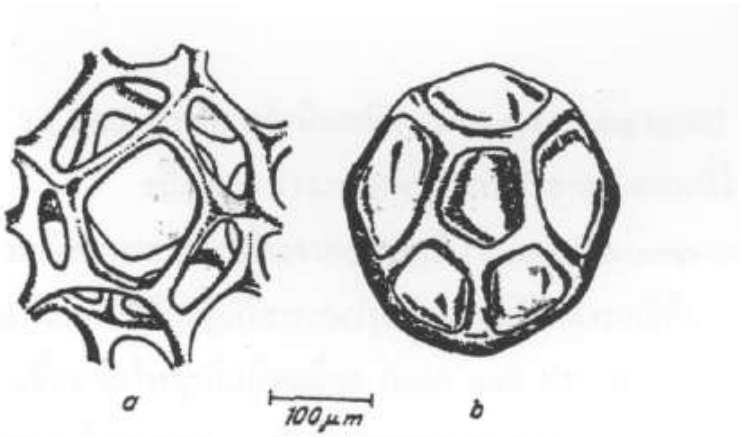
3.) เพื่อลดต้นทุน
4.) เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง
5.) เพื่อช่วยในกระบวนการผลิต
6.) เพื่อลดการพองตัวของยางในน้ำมัน
7.) เพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้า
8.) เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของยาง

2.2.6 สารฟู (Blowing agent) (Daniel Klempner and Kurt C. Frisch,1991)

สารฟูคือสารเคมีที่ให้ก๊าซเกิดขึ้นหรือเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซ เมื่อได้รับความร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงความดัน ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นจะเข้าไปแทนที่หรือแทรกตัวอยู่ในยาง ทำให้ผิวของยางเกิดรูพรุนซึ่งเรียกยางที่มีรูพรุนว่ายางโฟม (Expanded rubber) หรือยางเซลลูลาร์ (Cellular rubber) ซึ่งลักษณะการเกิดรูพรุนภายในยางสามารถเกิดได้ 2 ลักษณะ คือ

1.) ลักษณะการพรุนที่เชื่อมต่อกัน โดยมีผนังหรืออนุภาคยางขวางกั้นไว้เพียงบางส่วน ทำให้อากาศสามารถไหลเวียนเข้าออกได้ จะเรียกลักษณะรูพรุนแบบนี้ว่าแบบเปิด (Opened cell) ดังรูปที่ 2.2 (a)

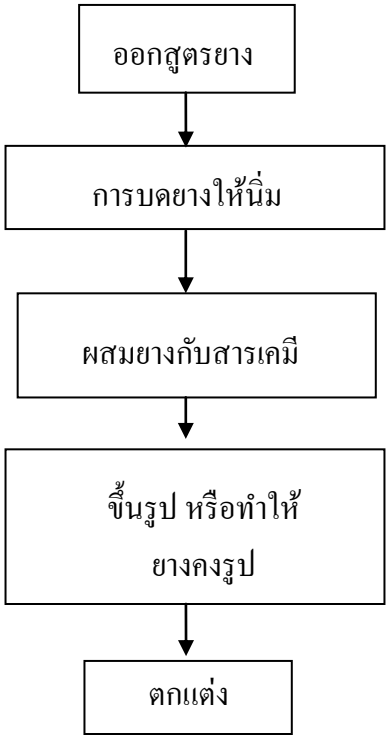
2.) ลักษณะรูพรุนที่ไม่เชื่อมต่อกัน โดยมีผนังหรืออนุภาคยางขวางกั้นไว้ทำให้ยางไหลเวียนผ่านเข้าออกไม่ได้ จะเรียกรูพรุนแบบนี้ว่ารูพรุนแบบปิด (Closed cell) ดังรูปที่ 2.2 (b)



รูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะรูพรุนที่เกิดขึ้นภายในยาง (a) รูพรุนเปิด (b) รูพรุนปิด (ที่มา: Daniel Klempner and Kurt C. Frisch ,1991)

2.3 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง (หน่วยเทคโนโลยียาง, 2552)

เนื่องจากยางดิบมีสมบัติที่ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง จำเป็นต้องมีการผสมยางดิบกับสารเคมีต่างๆ เพื่อปรับสมบัติของยางให้ได้ตามความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้นๆ และนำยางคอมพาวด์ที่ผสมได้ไปผ่านกระบวนการคงรูป (Vulcanization) ทำให้ยางมีโครงสร้างโมเลกุลแบบตาข่าย 3 มิติ (3-D network) หรือที่เรียกว่าการเกิด Crosslink ระหว่างโมเลกุลของยางโดยทั่วไป กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางพอสรุปได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการผลิตยาง (ที่มา: หน่วยเทคโนโลยียาง, 2552)

2.3.1 การออกสูตรยาง

การออกสูตรยางเป็นสิ่งที่สำคัญมากต่อคุณภาพและต้นทุนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ผู้ออกสูตรยางจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับสมบัติของยาง หน้าที่และความจำเป็นของการใช้สารเคมีผสมยาง รวมทั้งต้องพิจารณาถึงราคาของสารเคมีที่จะใช้ว่าเหมาะสมหรือคุ้มกับการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพราะต้นทุนการผลิตก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเป็นสิ่งแรกสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง

การออกสูตรยางจะต้องรู้สมบัติของยางแต่ละชนิดเป็นอย่างดี กล่าวคือต้องรู้ข้อดีและข้อเสียของยางที่จะนำมาใช้ เช่น ยางธรรมชาติมีข้อดีคือ มีความแข็งแรงของเนื้อยางล้วน (Pure gum) ดีมาก นั่นคือไม่ต้องเติมสารเสริมแรงก็สามารถให้ความแข็งแรงได้ดี ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการผสมยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์มาใช้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่ดีของยางแต่ละชนิดและยังมีผลต่อการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย โดยมีสูตรยางพื้นฐานดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบและปริมาณของยางและสารเคมีต่างๆในสูตรยางพื้นฐาน

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phr)
ยาง (ชนิดเดียว หรือ 2 ชนิดขึ้นไป) (Rubber)	100
กำมะถัน (Sulphur)	2.5-3.5
สารกระตุ้น (activator)	1-5
สารเร่งให้ยางคงรูป (ชนิดเดียว หรือ 2 ชนิดขึ้นไป) (Accelerator)	0.5-2.0
สารตัวเติม (Filler)	(ตามที่ต้องการ)
สารทำให้ยางนิ่ม (Plasticizer, Peptizer)	5-10
สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Antidegradant)	1-2

(ที่มา: หน่วยเทคโนโลยียาง, 2552)

2.3.2 การบดยางให้นิ่ม (Mastication)

เมื่อได้สูตรที่เหมาะสมแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การบดผสมสารเคมีต่างๆ ให้เข้ากับเนื้อยาง สมบัติของยางที่สำคัญสำหรับการบดผสมคือความหนืด (Viscosity) ถ้ายางมีความหนืดสูงจะทำให้การบดผสมเป็นไปได้ยากเนื่องจากสารเคมีจะเข้าผสมกับยางได้ยากและจะใช้พลังงานในการบดผสมสูง ด้วยเหตุนี้ก่อนการใส่สารเคมีลงไปจึงต้องมีการลดความหนืดโดยการบดยางให้นิ่ม (Mastication) ซึ่งภาษาชาวบ้านเรียกว่า การตียาง

2.3.3 การผสมยางกับสารเคมี (Mixing)

2.3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการบดผสม

เครื่องมือที่ใช้บดผสมยางโดยทั่วไปมี 2 ระบบ คือ เครื่องบดผสมระบบปิด (Internal mixer) เช่น เครื่องนวด (Kneader) เครื่อง Banbury เป็นต้น และเครื่องบดผสมระบบเปิด เช่น เครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

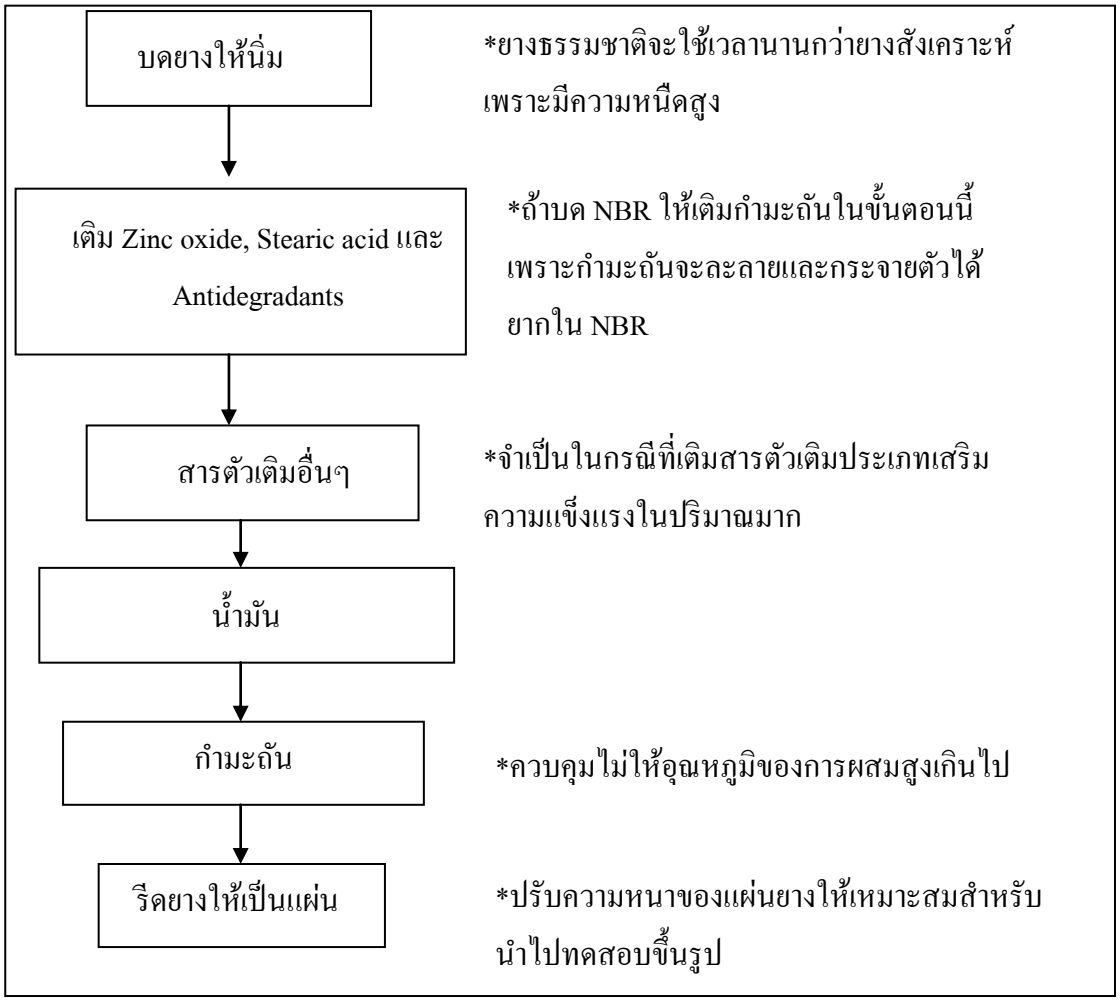
- เครื่องบดผสมระบบปิด (Internal mixer) เป็นเครื่องบดผสมที่มีประสิทธิภาพสูงในการบดผสมยาง สามารถบดผสมยางได้ ครั้งละปริมาณมาก ๆ ซึ่งเครื่องบดผสมนี้สามารถบดยางให้นิ่มได้รวดเร็วกว่าเครื่องบดผสมแบบระบบเปิด แต่ความรวดเร็วของการบดยางให้นิ่มด้วยเครื่องบดผสมระบบปิดนั้นจำกัด กล่าวคือ ต้องเสียเวลาเตรียมชิ้นยางป้อนเข้าเครื่อง ตลอดจนการขนยางที่บดแล้วออกจากเครื่อง ทั้งรูปร่างและความหนาแน่นของก้อนยางที่จะบดให้นิ่มในเครื่องบดระบบปิดมีผลต่อการบดยาง ยางธรรมชาติที่บรรจุเป็นก้อน ๆ ละ ประมาณ 35 กิโลกรัม สามารถใส่ลงในเครื่องบดผสมระบบปิด

ขนาดใหญ่ได้โดยตรง ตัวอย่าง ของเครื่องระบบปิดนี้คือเครื่องบด Banbury และ Shaw Intermix (พงษ์ธร แซ่อุย และ ชาคริต สิริสิงห, 2550)

- เครื่องบดผสมระบบเปิด (Two-roll mill) ประกอบด้วยลูกกลิ้งทำด้วยเหล็กหล่อ (Cast iron) ผิวเรียบเรียบขนานกันในแนวนอน ลูกกลิ้งลูกหน้าจะมีสกรูสำหรับปรับช่องระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองมี Guide หรือ Check สำหรับปรับปริมาณการใส่ยาง และที่สำคัญมี Safety switch หรือ Safety bar สำหรับป้องกันอุบัติเหตุ ที่อาจเกิดขึ้น และระบบติดตั้ง Cast-iron "Breaker plates" ระหว่างสกรูสำหรับปรับช่องระหว่างลูกกลิ้งกับ Bearing housing ของลูกกลิ้ง ซึ่งจะทำให้ช่องระหว่างลูกกลิ้งเปิดออกเมื่อใช้งานเกินกำลัง (พงษ์ธร แซ่อุย และ ชาคริต สิริสิงห, 2550)

2.3.3.2 ขั้นตอนการบดผสม (Mixing step)

ในการบดผสมยางอย่างมีประสิทธิภาพและบดยางให้มีความสม่ำเสมอในคุณภาพนั้น ลำดับขั้นตอนการเติมสารเคมีต่างๆ ต้องเป็นไปตามขั้นตอนอย่างถูกต้อง หลักการโดยทั่วไปคือ หลังจากการบดยางให้นิ่มก็จะเติมสารที่บดให้กระจายในเนื้อยางได้ยากก่อน เช่น ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) กรดสเตียริค (Stearic acid) ผงเขม่าดำ เพราะช่วงนี้อุณหภูมิในการบดยังต่ำ และยางมีความหนืดสูง แรงกระทำเชิงกลจึงมีมาก จากนั้นจึงเติมสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง สารอื่นๆ และน้ำมัน สารที่แนะนำให้เติมลำดับสุดท้าย คือ สารตัวเร่ง กำมะถัน และสารป้องกันยางเสื่อม ยางที่ได้หลังจากที่ผสมสารเคมีต่างๆ เรียบร้อยแล้วจะเรียกว่า ยางคอมพาวด์ (Rubber compound) ลำดับการผสมยางโดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการบดผสม (ที่มา: หน่วยเทคโนโลยียาง , 2552)

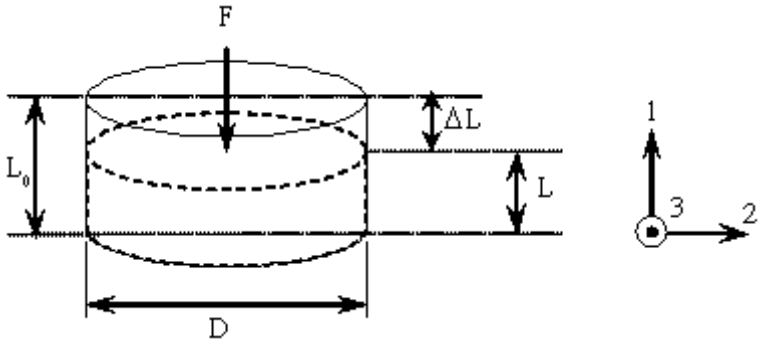
2.4 คุณสมบัติเชิงกลของยาง

2.4.1 สมบัติการรับแรงกด (Compression)

สมบัติการรับแรงกดเป็นสมบัติเชิงกลของวัสดุที่มีความสำคัญมากที่สุดเพราะเป็นสมบัติที่นิยมใช้ในการกำหนดมาตรฐานหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในสภาวะการใช้งานจริงนั้น ผลิตภัณฑ์ยางส่วนใหญ่ชิ้นงานมักได้รับแรงกดมากกว่าแรงที่เกิดจากพฤติกรรมอื่น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้งานจริงในเชิงวิศวกรรม เช่น ยางรองคอสะพาน ยางรองฐานตึก ยางลดการสั่นสะเทือน อุปกรณ์รองส้นเท้า

เป็นต้น ด้วยเหตุนี้สมบัติการรับแรงกดจึงเป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อการออกแบบหรือการใช้งานของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

การคำนวณหาค่าความเค้น (Stress, σ) และค่าความเครียด (Strain, ε) สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ เนื่องจากในระหว่างการทดสอบพื้นที่หน้าตัดของยางจะมีค่าไม่คงที่ กล่าวคือพื้นที่หน้าตัดของยางจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่ยางยุบตัว ด้วยเหตุนี้ในการทดสอบส่วนใหญ่จึงนิยมกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของยางมีค่าคงที่ตลอดการทดสอบคือมีค่าเท่ากับค่าพื้นที่หน้าตัดตั้งต้น



รูปที่ 2.5 แสดงการผิดรูปของยางภายใต้แรงกด
(ที่มา: เบญจพร, 2551)

การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและอัตราการยืดตัว (Stretch ratio) หรือความเค้นและความเครียดภายใต้แรงกดแกนเดียวดังรูปที่ 2.5 สามารถหาได้ดังสมการต่อไปนี้

ความเค้นแรงกด (Compressive Stress)
$$\sigma = \frac{F}{A_0}\ ,\ A_0 = \pi \frac{D^2}{4} \qquad (2.1)$$

ความเครียด (Strain)
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \qquad (2.2)$$

$$L = L_0\left(1+\varepsilon\right) \qquad (2.3)$$

อัตราการยืดและหดตัว (Stretch Ratio)
$$\lambda_1 = \frac{L}{L_0} = \left(1+\varepsilon\right) \qquad (2.4)$$

$$\lambda_2 = \lambda_3 = \sqrt{A / A_0} \qquad (2.5)$$

เมื่อ F แรงกดซึ่งมีค่าเป็นลบ คือ

A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบขณะที่ไม่มีแรงกระทำ

ΔL คือความสูงที่เปลี่ยนไป

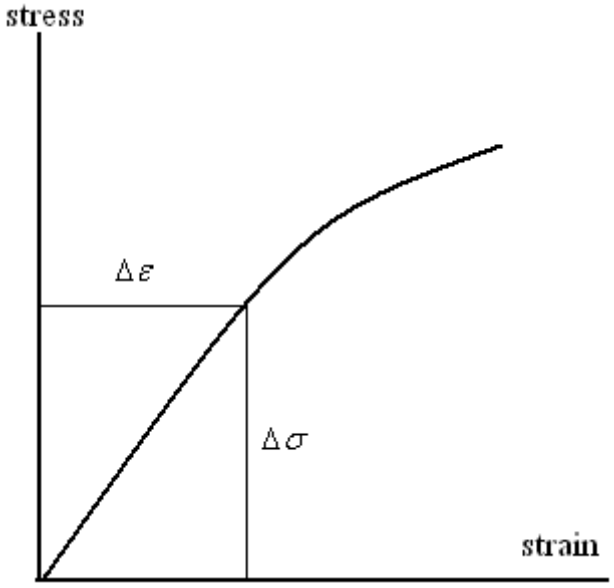
L คือความสูงขณะรับแรงกด

L_0 ขณะที่ไม่มีแรงการทำ คือความสูงเดิมของชิ้นงานทดสอบ

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ คืออัตราการยืดและหดตัวในแนวแกนใด ๆ

สำหรับการกด แรง F และ ε มีค่าเป็นลบ

สำหรับกรณีในการรับแรงแบบกดค่าโมดูลัสกดซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ส่วนใหญ่จะนิยมแสดงในรูปของค่าโมดูลัสแรงกด (Compressive Young's modulus, E) ค่าโมดูลัสแรงกดเป็นค่าที่ได้จากความชันในช่วงต้นๆ ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกดและความเครียดกดตามกฎของฮุก (Hook's Law) ดังรูปที่ 2.6 โดยปกตะใช้ค่าความเครียดในช่วง 20-50% ตามมาตราฐาน ASTM 575-91 ซึ่งหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) หรือค่าโมดูลัสของยัง (Young's modulus, E) ได้ดังสมการที่ 2.6 ซึ่งค่ายังโมดูลัสใช้แสดงความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางได้เฉพาะในช่วงความเครียดต่ำๆเท่านั้น (เฉพาะในช่วงที่ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นแรงกดและความเครียดแรงกดยังคงเป็นเส้นตรง) เนื่องจากค่าโมดูลัสจะสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยาง ดังนั้นจึงนิยมใช้ค่าโมดูลัสของยางในการบ่งชี้สมบัติความแข็งแรง และระดับของการเชื่อมโยงของยาง โดยทั่วไปค่าโมดูลัสของยางจะอยู่ในช่วง 1-13 MPa ขึ้นอยู่กับสูตรของการผสมสารเคมี
(ที่มา: อาทิตย์ สวัสดิรักษา, 2552)



รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกดและความเครียดกด

E, Young Modulus $$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \qquad (2.6)$$

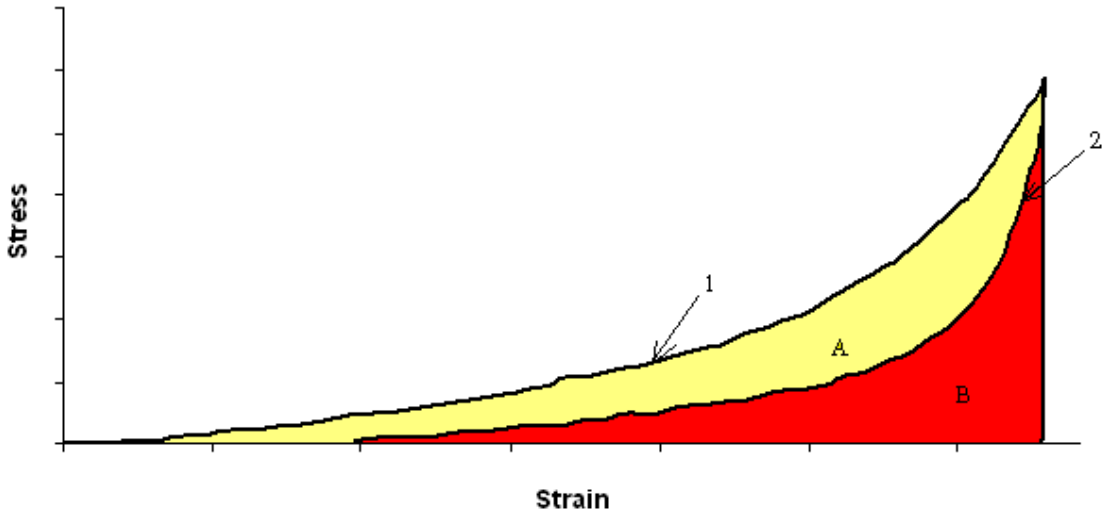
สมบัติการรับแรงกดเป็นสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบสำหรับเปรียบเทียบความแข็งตึงของการกด (Compressive stiffness) ของยางสูตรต่างๆ นักเทคโนโลยียางจึงนิยมใช้การทดสอบนี้ในการพัฒนาสูตรเคมียางสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องรับแรงกดในระหว่างการใช้งาน วิธีการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเมื่อยางได้รับการกดแบบสถิต (Static compression) ได้ระบุไว้ในมาตรฐาน ASTM D575 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบคือ เครื่องทดสอบสมบัติวัสดุเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ซึ่งมาตรฐาน ASTM ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ คือ

1.) แบบ A: การทดสอบที่กำหนดขนาดของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Compression test of specified deflection) ในกรณีนี้ ผู้ทดสอบจะทำการวัดแรงที่ใช้ในการกดเพื่อทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ตามระยะที่กำหนด (ยุบตัว)

2.) แบบ B: การทดสอบที่กำหนดแรงกด (Compression test of specified force) ในกรณีนี้ ผู้ทดสอบจะทำการวัดขนาดของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือวัดแรงกด เมื่อชิ้นทดสอบได้รับแรงกดตามค่าที่กำหนด (พงษ์ธร, 2550)

2.4.2 สมบัติฮีสเทอรีสีส (Hysteresis)

สมบัติฮีสเทอรีสีส คือพลังงานที่สะสมอยู่ภายในเนื้อของวัสดุอันเป็นสาเหตุมาจากวัสดุนั้นๆ ปล่อยพลังงานที่รับไว้กลับออกมาไม่หมดอาจเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน (Thermal energy) หรือพลังงานในรูปอื่นๆออกมาแทน ซึ่งการสูญเสียของพลังงานเกิดจากการที่ความเค้นและความเครียดไม่ดำเนินไปพร้อมกัน ดังรูปที่ 2.7(ดัดแปลงจาก วัสดุวิศวกรรมและอุตสาหกรรม, เล็ก สีคง) กราฟเส้นที่ 1 คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดการรับแรงกดพื้นที่ใต้กราฟแสดงพลังงานความเครียดที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเนื้อวัสดุ (พื้นที่ A รวมกับพื้นที่ B) กราฟเส้นที่ 2 คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในสภาวะปลดภาระ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นดำเนินไปไม่พร้อมกันจึงทำให้เกิดวงรอบฮีสเทอรีสีส (พื้นที่ A) ซึ่งเป็นพลังงานที่สะสมหรือตกค้างอยู่ภายในเนื้อวัสดุทำให้วัสดุมีสมบัติที่ต่างกัน เช่น การกระจายแรงภายในเนื้อวัสดุ การเกิดความร้อนสะสมในเนื้อยาง การรับแรงกระแทก เป็นต้น



รูปที่ 2.7 วงรอบฮีสเทอรีสีส (Hyteresis loop)

2.4.3 ความร้อนที่เกิดขึ้นในยาง (Heat generate)

สมบัติพลวัตเชิงกล (Dynamic Mechanical Property)

สมบัติพลวัติเชิงกล หมายถึง การวัดการตอบสนองแบบมีคาบของความเค้น (Stress) หรือความเครียด (Strain) นั่นเอง หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งคือ การวัดการผิดรูปของวัตถุที่เกิดจากการกระทำแบบมีคาบของแรง ถ้าแรงที่กระทำทำให้เกิดการผิดรูปไม่มาก เช่น กระทำให้ยางผิดรูปค่าหนึ่งแบบมีคาบ ยางจะมีความเค้นกระทำตอบสนองแบบมีคาบเช่นเดียวกัน ด้วยความถี่ที่เท่ากัน แตกต่างกันเฉพาะเฟสเท่านั้น ดังรูปที่ 2.7

เมื่อล้อยางถูกใช้งานในเชิงพลวัต (Dynamics) จะทำให้เกิดพลังงานความเครียดขึ้น และพลังงานความเครียดก็จะทำให้เนื้อยางสูญเสียพลังงานไปต่อหนึ่งรอบของการเปลี่ยนแปลงรูป หรือเปลี่ยนไปเป็นฮีสเตอรีซีส ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_{in} - E_{out} + E_{generate} = \Delta E_{storage} \tag{2.7}$$

เมื่อ

E_{in} คือ การนำความร้อนเข้าในยางหนึ่งหน่วย

E_{out} คือ การนำความร้อนออกจากยางหนึ่งหน่วย

$E_{generate}$ คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นและพลังงานถูกเก็บไว้ในรูปของวงจรฮีสเตอรีซีส

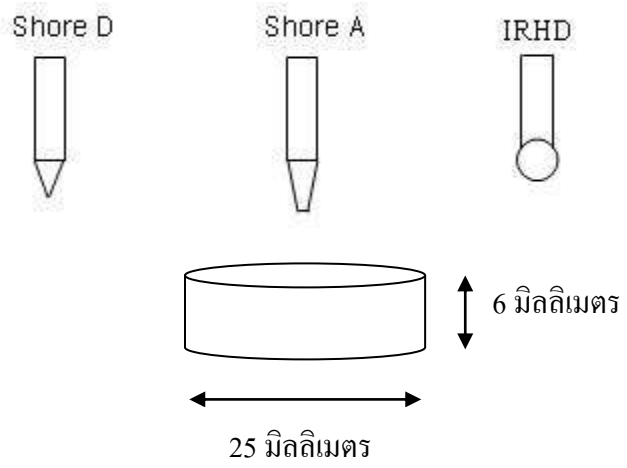
$E_{storage}$ คือ พลังงานที่ถูกเก็บไว้ในยางหนึ่งหน่วย

2.5 ความแข็งของยาง (Hardness)

ความแข็งของยาง หมายถึงความต้านทานของพื้นผิวต่อการทะลุทะลวงของตัวกดที่มีขนาดเฉพาะและภายใต้แรงกดที่กำหนด ความแข็งของยางสามารถวัดได้โดยการใช้แรงกดเข็ม หรือ ลูกโลหะกลมลงบนผิวยางและวัดรอยการยุบตัว เครื่องวัดความแข็งของยางมีหลายชนิดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกดและแรงที่ใช้กดลงบนพื้นผิว สเกลที่ใช้วัดจะเริ่มตั้งแต่ 0 (สำหรับยางที่อ่อนมาก ๆ) จนถึง100 (สำหรับยางที่แข็งมากๆ) แรงที่ใช้กดอาจมาจากน้ำหนักที่คงที่หรืออาจใช้สปริงแทนก็ได้ หน่วยที่ใช้สำหรับวัดความแข็งของยางมีอยู่ 2 หน่วยคือ IRHD (International rubber hardness degrees) และชอร์ (Shore unit) ซึ่งการวัดความแข็งในหน่วย IRHD นั้นจะใช้ลูกกลมแข็งแทนตัวกดและแรงกด

จะมาจากน้ำหนักที่คงที่ ส่วนเครื่องวัดความแข็งที่ให้หน่วยชอร์นั้นเรียกว่าเครื่องดูโรเครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer) ซึ่งมีหลายแบบ ตามแต่งานที่ใช้ เช่น

- เครื่องดูโรมิเตอร์แบบชอร์เอ (Shore A) ใช้สำหรับวัดความแข็งของยางที่อ่อนมาก ๆ จนถึงยางที่มีความแข็งค่อนข้างมาก
- เครื่องดูโรมิเตอร์แบบชอร์บี (Shore B) ใช้สำหรับยางแข็ง เช่น ยางลูกกลิ้งพิมพ์ดีด
- เครื่องดูโรมิเตอร์แบบชอร์ซี (Shore C) ใช้สำหรับยางและพลาสติกแข็งปานกลาง
- เครื่องดูโรมิเตอร์แบบชอร์ดี (Shore D) ใช้สำหรับวัดความแข็งของยางที่แข็งมากๆ (มากกว่า 90 ชอร์เอ) ตัวกดของเครื่องดูโรมิเตอร์แบบชอร์ดีจะเป็นแท่งรูปโคนที่แหลม ดังรูปที่ 2.8
- เครื่องดูโรมิเตอร์แบบชอร์โอ (Shore O) ใช้สำหรับยางนิ่มพิเศษ เช่น ยางลูกกลิ้งโรงพิมพ์
- เครื่องดูโรมิเตอร์แบบชอร์โอโอ (Shore OO) ใช้สำหรับยางฟองน้ำที่นิ่มมากๆ



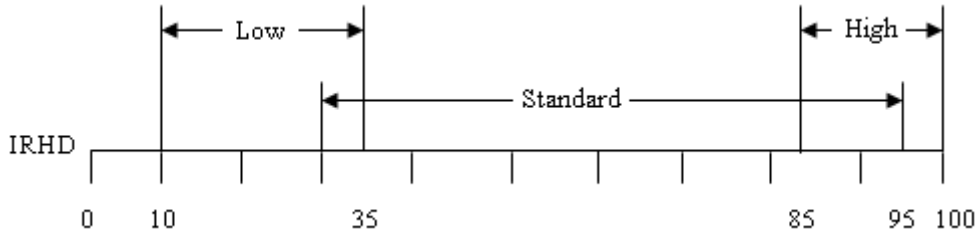
รูปที่ 2.8 ชิ้นทดสอบและหัวกดแบบต่างๆ สำหรับการวัดค่าความแข็ง
(ที่มา: คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยียาง II, 2534)

การวัดค่าความแข็งของยางในมาตรฐานสากล ISO ได้กำหนดวิธีการวัดไว้ 3 มาตรฐาน คือ

ISO 48-1979 สำหรับยางแข็งปกติ

ISO 1400-1975 สำหรับยางนิ่ม

ISO 1818-1975 สำหรับยางแข็งพิเศษ



รูปที่ 2.9 ขอบเขตของยางแข็ง-ยางนิ่ม ตามมาตรฐานสากล
(ที่มา: คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยียาง II, 2534)

2.6 วิธีการขึ้นรูปโฟมยางจากธรรมชาติ (Natural Rubber Foam)

โฟมยางที่ทำจากยางธรรมชาติ สามารถขึ้นรูปได้ 2 วิธี ดังนี้คือ

1.) การขึ้นรูปจากน้ำยาง

2.) การขึ้นรูปจากยางแห้ง

1.) การขึ้นรูปจากน้ำยาง ซึ่งโฟมยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางหรือที่เรียกว่าลาเท็กซ์โฟม (Latex foam) คือโฟมที่ทำจากน้ำยางธรรมชาติ หรือ ลาเท็กซ์ (Latex) เป็นวัสดุซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุน ดังรูปที่ 12 ระบายอากาศออกได้และสามารถกดหรือบิดได้โดยไม่เสียรูปร่างถาวร มีความยืดหยุ่นสูง ในปัจจุบันนี้มีการนำไปผลิต ผลิตภัณฑ์ จำพวกวัสดุรองกันกระแทก หมอน ฟูก บางครั้งก็ทำการผสมด้วยลาเท็กซ์สังเคราะห์ เพื่อเพิ่มความทนทาน ความสบายและความยืดหยุ่น ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเมมโมรีโฟม (Memory foam) หรือโฟมที่มีสมบัติยืดหยุ่นหนืด ซึ่งมีความกระเด้งกระดอนน้อย (Low resilience) หรือเกิดการยุบตัวตามรูปทรง (Profile) ของวัตถุที่มากดทับ เมื่อเกิดการยุบตัวของเซลล์โดยน้ำหนักของวัตถุที่มากระทำจะทำให้เกิดการยุบตัวโดยไม่คืนรูปทันทีทันใด ทำให้ลดความดันบริเวณนั้นได้ และเช่นเดียวกันเมื่อบริเวณใดมีความร้อนกระทำ ทำให้เซลล์อ่อนตัว หรือแม้กระทั่งเปิดออกทำให้รู้สึกสบายแบบเดียวกันกับกรณีมีน้ำหนักมากระทำ

การผลิตโฟมยางหรือยางฟองน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากยางธรรมชาติ มีลักษณะเป็นรูพรุน ส่วนใหญ่ใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์จำพวก เบาะนั่ง ที่นอน หมอน สื่อการสอน ตุ๊กตา และของชำร่วยต่างๆ เช่น พวงกุญแจ หลักการสำคัญของการผลิตยางฟองน้ำคือการทำให้น้ำยางเกิดฟองของอากาศหรือของแก๊สต่างๆ แล้วทำให้ฟองยางคงรูปหรือการวัลคาไนซ์ด้วยสารเคมีและความร้อน

การปรับค่าความต้านทานการเปลี่ยนรูป (Stiffness) ของฟองยางสามารถทำได้ด้วยการเติมสาร

ตัวเติมต่างๆเช่น Clay, $CaCO_3$, Silica, C-black ในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งการเติมในปริมาณที่มากเกินไปส่งผลให้ความยืดหยุ่นลดลงและยุบตัวถาวรได้ นอกจากนี้แล้วยังสามารถปรับค่า Stiffness ได้ด้วยการปรับปริมาณกำมะถันและ DPG

2.) โฟมยางที่ขึ้นรูปจากยางแห้ง โฟมยางชนิดนี้สามารถทำได้จากยางคอมปาวด์ (Rubber compound) ที่มีการเติมสารเคมีและสารตัวเติมลงไปในยางดังแสดงในตารางที่ 2.3 ทำให้ดัดแปลงสมบัติตามที่ต้องการได้แล้วนำไปวัลคาไนซ์ด้วยความร้อน จะทำให้ยางธรรมชาติคงรูปมากขึ้น เนื่องจากเกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลหรือโซ่ของ

ตารางที่ 2.3 แสดงสูตรทั่วไปที่ใช้ในการทำยางคงรูปจากยางแห้ง

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (*phr)
Natural Rubber	100
Zinc oxide	5
Stearic acid	2
Sulfur	3
Accelerators	variable
Fillers, antioxidant, etc.	variable
Rolling agent (Clay,$CaCo_3$)	variable
Blowing agent	variable

*phr (part per hundred rubber)

บทที่ 1 บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งจะมีวัตถุดิบหลักคือยางธรรมชาติชนิดยางแห้ง และมีสารเคมีต่างๆเพื่อนำมาอัดขึ้นรูป โดยวิธีการขึ้นรูปนั้นจะใช้วิธีการวัลคาไนเซชั่น ซึ่งสารเคมีที่ใช้จะประกอบไปด้วย สารตัวเร่งปฏิกิริยา สารตัวเติม สารฟู (Blowing agent) และสารทำให้ยางคงรูป นอกจากนี้ยังมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป โดยจะอยู่ในรูปของแม่พิมพ์ต่างๆ เพื่อนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบ และหาค่าคุณสมบัติที่เหมาะสมกับอุปกรณ์เสริมล้อยางลม ซึ่งอุปกรณ์เสริมล้อยางลมนั้น มีขั้นตอนและกระบวนการต่างๆ โดยกระบวนการดังกล่าวนั้นมีการศึกษาตัวแปรและองค์ประกอบหลักๆคือ การศึกษาการขึ้นรูปอุปกรณ์เสริมล้อยางลมที่ทำมาจากโฟมยางธรรมชาติ เริ่มต้นจากการเตรียมวัสดุ และปรับปรุงสูตรยาง ซึ่งจะทำยางกลายเป็นโฟมยางโดยการเติมสารฟู ต่อจากนั้นเพิ่มคุณสมบัติของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมให้มีความแข็ง สามารถรับน้ำหนักได้ดีโดยการเติมสารตัวเติมลงไป ได้แก่ ผงเขม่าดำ เคลย์ และแคลเซียมคาร์บอเนต

การอัดขึ้นรูปอุปกรณ์เสริมล้อยางลม ศึกษาการเกิดปัญหาของการพองตัวเมื่อเติมสารฟู และการไหลของโฟมยาง วิธีการอัดขึ้นรูปยาง การปรับแต่งแม่พิมพ์ เพื่อที่จะให้ชิ้นงานนั้นมีผิวและได้ขนาดตามที่ต้องการ เมื่อได้ชิ้นงานตามต้องการแล้วก็จะต้องนำมาติดตั้งเข้ากับกระทะล้อและล้อยางลม โดยมีขั้นตอนการติดตั้ง ซึ่งรายละเอียดและขั้นตอนการผสมยาง การอัดขึ้นรูปยาง และการติดตั้ง รวมไปถึงการสร้างอุปกรณ์จับยึดเข้ากับเครื่องทดสอบ และวิธีการนำล้อยางประกอบเข้ากับกระทะล้อและยางลม เพื่อที่จะนำไปทดสอบตามวิธีและขั้นตอนในการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1.วัตถุดิบและสารเคมี

1). ยางธรรมชาติชนิดยางแผ่นรมควันชั้น 3 (Rubber Smoke Sheet 3) ซึ่งในปัจจุบันยางแผ่นรมควันชั้น 3 เป□นเกรดที่ไทยผลิตได□มากที่สุดกว□าร□อยละ 80 ของผลผลิตยางแผ่นรมควันทั้งหมด จัดซื้อจากตลาดกลางยางพารา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ซึ่งราคาจะปรับเปลี่ยนและอ้างอิงตามตลาดกลางยางพารา โดยมาตรฐานของยางแผ่นรมควันชั้น 3 มีลักษณะดังนี้

1.1) มีราสนิมได้เล็กน้อย หรือมีราแห้งที่แผ่นยางที่ใช้ห่อแต่ไม่เกิน 10 % ของตัวอย่างที่ตรวจ

1.2) คุณสมบัติของแผ่นยาง

- แห้ง เนื้อแข็ง
- ไม่มีกรวดทราย
- ไม่มีสิ่งปนเปื้อน ตำหนิที่ยอมรับได้
- มีรอยด่างเล็กน้อย มีจุดดำ ของเปลือกไม้เล็กน้อย
- มีฟองอากาศขนาดเล็ก

1.3) ตำหนิที่ยอมรับไม่ได้

- ยางเหนียวเยิ้ม ยางเนื้ออ่อน
- ยางแก่ไฟ ยางไหม้
- ยางอ่อนรมควัน ยางแก่รมควัน
- ยางทึบ

(ข้อมูลจากตราดกลางยางพารา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา, 2555)

2).ชนิดสารเคมีที่ใช้

- ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (Activator) จาก ห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

- กรดสเตียริค (Stearic acid) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (Activator) เป็นสารช่วยบดย่อยยาง เพื่อให้ยางมีความนิ่มขึ้น จากบริษัท พอลิเมอร์อินโนเวชัน จำกัด

- สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Antidegradant) ใช้ Wingstay L ทำหน้าที่ป้องกันปฏิกิริยาที่เกิดจากพันธะคู่ของยางกับออกซิเจน จากบริษัท พอลิเมอร์อินโนเวชัน จำกัด

- เมอร์แคปเบนโซไทอะโซล (2-Mercaptobenzothiazole, MBT) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยา จากบริษัท พอลิเมอร์อินโนเวชัน จำกัด

- กำมะถัน (Sulphur, S) ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agent) จาก ห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

- สารฟู (Blowing agent) ไดไนโตรโซเพนธาเมทาลีนเตตระไมน์ (Dinitroso pentamethylene tetramine) และ เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide) มาจาก บริษัท เอ เอฟ กู๊ดริช เคมีเคิลส์ จำกัด

- สารเร่งให้ยางคงรูป ได้แก่ เอ็น ไซโครเฮกซิลทูเบนโซเทียซิล ซัลเพนา ไมด์ (N-Cyclohexyl-2-Benzothiazolesulfenamide) และไดฟิว กัวเอไนไดน์ (Diphenyl Guanidine) มาจากห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

- สารตัวเติม ได้แก่ ผงดินขาว (China clay) มาจากห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด ผงหินปูน ($CaCO_3$) มาจากห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด และผงเขม่าดำ (Carbon black) ชนิด N330 มาจากห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ใช้ในงานวิจัย

3.1.2.1 เครื่องบดผสมยาง

1). เครื่องบดผสมยางแบบลูกกลิ้งคู่ (Two roll mill) ผลิตโดยบริษัท Yong Fong Machinery รุ่น YFM 160B ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาว 15 นิ้ว จำนวน 2 ลูกกลิ้ง อัตราเร็วของลูกกลิ้งข้างหน้าต่อลูกกลิ้งข้างหลังเท่ากับ 1:1.22 ใช้เป็นเครื่องมือในการบดผสมและรีดยางคอมปาวด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง

2). เครื่องบดผสมยางแบบปิด (Kneader) ผลิตโดยบริษัท Yong Fong Machinery Co.,Ltd. รุ่น YFM Dispersion mixers 3 L ขนาดห้องผสมจำนวน 3 ลิตร ปริมาณความจุของยางสูงสุด 2-3 กิโลกรัม ความเร็วของลูกกลิ้งหน้า 33 เมตรต่อนาที อัตราส่วนความเร็วรอบลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลัง (Friction ratio) 1:1.2 ดังแสดงในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องผสมยางแบบระบบปิด (Kneader)

3.1.2.2 เครื่องอัดขึ้นรูปยาง (Hot press machine)

1.) เครื่องอัดขึ้นรูปยาง (Rubber compress machine) Model: SYR-20LL-1E บริษัท ลี่อี้ (ประเทศไทย) จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องอัดยางคงรูป (Hot press)

2). เครื่องอัดขึ้นรูปยางแบบมีน้ำหล่อเย็นไหลผ่าน จากกลุ่มวิจัยวิศวกรรมยางและพลาสติก ม.สงขลานครินทร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องอัดขึ้นรูปยางแบบมีน้ำหล่อเย็นไหลผ่าน

3.1.2.3 แม่พิมพ์ในการคงรูปยาง

1). แม่พิมพ์ทดสอบแรงกด (Compression test) เป็นแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานเป็นรูปทรงกระบอก เพื่อทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกดและทดสอบค่าความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D 575-91 โดยเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 28.6 ± 0.1 mm หนา 12.5 ± 0.5 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 แสดงแม่พิมพ์ทดสอบแรงกด (Compression test)

2). แม่พิมพ์ทดสอบฮีสเทอรีซีส ดังแสดงในรูปที่ 3.6โดยชิ้นงานที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูปชิ้นงานตัวอย่าง (Specimen) ตามมาตรฐาน ASTM D 623-99 ชิ้นงานอยู่ในรูปของทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17.78 ± 0.10 mm สูง 25.4 ± 0.15 mm จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติวัสดุเอนกประสงค์ นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และหาค่าวงฮีสเทอรีสีส

รูปที่ 3.6 แม่พิมพ์ทดสอบฮีสเทอรีซีส

3). แม่พิมพ์ล้อยางขนาดเล็ก จะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นวงล้อ และมีขนาด หนา 40 mm เส้นผ่านศูนย์กลางวงนอก 165 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางวงใน 125 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 แสดงแม่พิมพ์อัดล้อยางตันขนาดเล็ก

4). แม่พิมพ์อุปกรณ์เสริมล้อยางลม ซึ่งจะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะเป็น 1 ส่วน 3 ของวงล้อ ทำมาจากเหล็กชุบแข็งกลึงและกัดด้วยเครื่อง CNC แบบ 5 Degree of Freedom มีน้ำหนัก 140 กิโลกรัม มีขนาด 24.5 cm x 51 cm x17.8 cm ราคารวมภาษี 32,100 บาท จากห้างหุ่นส่วนจำกัด กิ๊บบอส เอ็นจิเนียริ่งดังแสดงในรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 แสดงแม่พิมพ์อุปกรณ์เสริมล้อยางลม

3.1.2.4 อุปกรณ์การวิเคราะห์และการทดสอบ

1). เครื่องทดสอบสมบัติวัสดุเอนกประสงค์ (Universal testing machine) ผลิตโดย Instron รุ่น 8878 Load cell 25 kN โดยใช้ทดสอบหาค่าความสัมพันธ์ของชิ้นยางทดสอบ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด และนำข้อมูลไปหาค่าคุณสมบัติของวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 แสดงเครื่องทดสอบการกดและทดสอบฮีสเทอรีสีสชิ้นงานตัวอย่าง

2). เครื่องวัดความแข็งของพลาสติกและยาง (Hardness tester) ผลิตโดยบริษัท Zwick GmbH & Co. KG Roell รุ่น 3100 ใช้หาค่าความแข็งของยาง ดังแสดงในรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 เครื่องวัดความแข็งของพลาสติกและยาง (Hardness tester)

3). เครื่องทดสอบหาเวลาวัลคาไนซ์ของยาง (Moving Die Rheometer MDR 2000) ผลิตโดยบริษัท Alpha Technologies Service Inc รุ่น 36 AIG 2953 ใช้หาเวลาวัลคาไนซ์ (Cure time) ของยางคอมปาวด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบเวลาวัลคาไนซ์ของยาง (Moving Die Rheometer MDR 2000)

4). เครื่องวัดอุณหภูมิขนาดเล็กแบบอินฟาเรต (Mini Thermocouple Infrared) ดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิขนาดเล็กแบบอินฟาเรด

5). เครื่องทดสอบล้อยางตันขนาดเล็ก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดรัม 400 mm ความเร็วสูงสุด 25 km/hr ทดสอบกับล้อยางตันขนาดเล็กโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอก 165 mm และวงใน 120 mm มีความหนา 40 mm มีระบบไฮดรอลิกเป็นตัวกดน้ำหนัก โดยระยะยุบจะวัดที่ความลึก 40% ของความหนาล้อยาง ดังแสดงในรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 แสดงเครื่องทดสอบล้อยางตันขนาดเล็ก

6). เครื่องทดสอบล้อยางด้วยถนนจำลองแบบลูกกลิ้ง (Test Drum) โดยมีแรงอัดกระทำต่อล้อยางและหมุนไปตามความเร็วที่ต้องการทดสอบ ซึ่งเหมือนการทดสอบการใช้งานล้อยางขณะรับภาระจริง ฐานของเครื่องทดสอบมีลักษณะเป็นกล่องขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 1250 × 2500 × 690 mm ทำจากเหล็กแผ่นหนา 19 mm บนฐานติดตั้งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญสองส่วน ได้แก่ ส่วนลูกกลิ้งและส่วนติดตั้งล้อทดสอบ ส่วนลูกกลิ้งประกอบด้วย ลูกกลิ้งโลหะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 89 cm โดยลูกกลิ้งติดกับเพลาเหล็กขนาด 4 นิ้ว ด้วยลิ่มและยึดด้วยสเปนเซอร์ทั้งสองด้าน เพื่อป้องกันการลื่นตัวในแนวแกนเพลาของลูกกลิ้ง ปลายเพลาทั้งสองด้านติดตั้งบนโรลเลอร์แบริ่งและยึดติดกับฐาน ปลายเพลาข้างหนึ่งต่อกับเกียร์ทดเพื่อหมุนลูกกลิ้งดังแสดงในรูปที่ 3.14 ใช้มอเตอร์แบบ AC Motor Gear ขนาด 10 แรงม้า ความเร็วรอบสูงสุด 1450 รอบต่อนาที ขับผ่านเกียร์ทดอัตรา 1:10 ผ่านชุดพูเล่สายพานไปยังล้อขับ สามารถปรับความเร็วรอบการหมุนของดรัมได้ (วีระชัย,2552)

รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบล้อยางตัน

7). เครื่องวัดความคงทนของยาง (Endurance) วัดโดยใช้ Drum Test เป็นเครื่องวัดอายุการใช้งานยางล้อแบบวิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบที่ใช้เป็นของบริษัท KAYTON มีเครื่องทดสอบทั้งหมด 3 รุ่น ดังนี้ 2.1 เครื่องสำหรับทดสอบยางรถจักรยานยนต์และรถยนต์ รุ่น DTM-350MS ดังแสดงในรูปที่ มีรายละเอียดต่างๆ ของเครื่องดังนี้

- เครื่องทดสอบเป็นแบบชนิดการทำงานในแนวตั้งสามารถทดสอบได้ครั้งละ 2 ตำแหน่ง
- เครื่องทดสอบมีความเร็วในการใช้งานที่ 35 ถึง 350 km/hr

- เครื่องทดสอบมีแรงที่ใช้ในการกดยางล้อ 0.8 ถึง 29 กิโลนิวตัน - ขนาดยางล้อที่สามารถใช้กับเครื่องทดสอบคือขนาด 12 นิ้ว ถึง
24 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 350 ถึง 700 mm และ ความกว้าง 60 ถึง 150 mm)

- ความแม่นยำของความเร็วเท่ากับ $\pm$0 ถึง 2 km/hr (แสดงผลค่าต่ำสุดได้ 1 km/hr)

- ความแม่นยำของแรงที่ใช้กดยางล้อเท่ากับ $\pm$ 0.5% (แสดงผลค่าต่ำสุดได้ 0.1 kN)

- มีระบบควบคุมอุณหภูมิภายในห้องทดสอบยางล้อโดยมีการ ติดตั้งพัดลม และ ฮีตเตอร์ สำหรับควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติบริเวณ รอบๆ ยางล้อที่ทดสอบ
(ที่มาจากข้อมูล: ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุสาหกรรมยางไทย ม.มหิดล ศาลายา 2555)

รูปที่ 3.15 เครื่องวัดความคงทนของยาง (Endurance) วัดโดยใช้ Drum Test

3.2 วิธีการผสมยางคอมปาวด์

3.2.1 การผสมยางแบบมาสเตอร์แบทซ์

เริ่มด้วยการอุ่นเครื่องโดยนำยางแห้งหรือเศษยาง อย่างน้อย 1 กิโลกรัม ใส่ลงไปในเครื่องผสมยางระบบปิดและบดเป็นเวลา 15-20 นาที จนอุณหภูมิภายในของห้องผสมยางมีอุณหภูมิ 80-82 องศาเซลเซียส จากนั้นนำยางแห้งหรือเศษยางดังกล่าวออกจากเครื่องผสมเพื่อนำไปล้างเครื่องครั้งต่อไป ต่อมานำยางแผ่นรมควันชั้น 3 จำนวน 60 phr ใส่ในเครื่องผสมยางแบบปิด บด 2-4 นาที จนอุณหภูมิของห้องผสมยางภายในถึง 80 องศาเซลเซียส จากนั้นใช้ผงเขม่าดำ จำนวน 40 phr โดยแบ่งผงเขม่าดำออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 20 phr เทผงเขม่าดำ ส่วนแรก 20 phr เทลงในเครื่องผสม

ยางแบบปิดและบด 4-6 นาที จนอุณหภูมิภายในห้องผสมอยู่ที่ 80-82 องศาเซลเซียส จากนั้นเทผงเขม่าดำ ส่วนที่สอง 20 phr เทลงในเครื่องผสมยางแบบปิดและบด 4-6 นาที จนอุณหภูมิห้องผสมเพิ่มขึ้นจนถึง 80-82 องศาเซลเซียส และบดให้เนื้อยางกับผงเขม่าดำรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ในขั้นตอนการเทผงเขม่าดำให้ปิดฝาครอบลงทุกครั้งเพื่อไม่ให้ผงเขม่าดำฟุ้งกระจาย จากขั้นตอนนี้จะได้ยางผสมแบบมาสเตอร์แบทช์ ที่จะสามารถเก็บไว้ได้นาน และนำมาบดผสมได้คราวละมากๆ กับสารเคมีเพื่อประหยัดพลังงานและเวลาในการบดแต่ละครั้ง แล้วจึงนำมาบดเป็นยางคอมปาวด์ 2 ส่วนดังนี้

3.2.1.1 การทำยางคอมปาวด์ชั้นใน

ใส่ยางผสมแบบมาสเตอร์แบทช์จำนวน 100 phr ลงในเครื่องผสมยางแบบปิด บดจนได้อุณหภูมิ 80-82 องศาเซลเซียส โดยที่ยางคอมปาวด์จะมีลักษณะจับตัวเป็นก้อน จากนั้นเติมสารซิงค์อ๊อกไซด์ จำนวน 4 phr ใส่ลงไปในเครื่องผสมยางแบบปิด และบด 2-4 นาที จนได้อุณหภูมิ 75-80 องศาเซลเซียส ต่อไปเติมสารสเตียริก แอซิด จำนวน 2 phr เทลงในเครื่องผสมยางแบบปิด และบด 2-4 นาที จนได้อุณหภูมิ 78-83 องศาเซลเซียส ต่อไปเติมสารฟู ชนิดเอโซไดคาร์โบนาไมด์ จำนวน 1-5 phr เทลงในเครื่องผสมยางแบบปิด และบด 2-4 นาที จนได้อุณหภูมิ 78-80 องศาเซลเซียส ต่อไปเติมสารเอ็น ไซโครเฮกซิลทูเบนโซเทียซิล ซัลเพนาไมด์ จำนวน 1.5 phr เทลงในเครื่องผสมยางแบบปิดและบด 2-4 นาที จนได้อุณหภูมิ 78-80 องศาเซลเซียส ต่อไปเติมสารไดฟิว กัวเอไนไดน์ จำนวน 0.5 phr เทลงในเครื่องผสมยางแบบปิดและบด 2-4 นาที จนได้อุณหภูมิ 78-80 องศาเซลเซียส ต่อไปเติมไซน่าเคลย์ จำนวน 5-15 phr เทลงในเครื่องผสมยางแบบปิดและบด 5-10 นาที จนได้อุณหภูมิ 75-80 องศาเซลเซียส แล้วนำยางที่บดผสมกับสารเคมีดังกล่าวออกจากเครื่องผสมยางแบบระบบปิด สุดท้ายเติมสารซัลเฟอร์ จำนวน 2.5 phr นำมาผสมในเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้งและบด 1-3 นาที แล้วนำยางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง โดยยางที่ผสมกับสารเคมีดังกล่าวจะได้ยางคอมปาวด์ชั้นใน

3.2.1.2 การทำยางคอมปาวด์ชั้นนอก

ใส่ยางผสมแบบมาสเตอร์แบทช์จำนวน 100 phr ลงในเครื่องผสมยางแบบปิด บดจนได้อุณหภูมิ 80-82 องศาเซลเซียส โดยที่ยางคอมปาวด์จะมีลักษณะจับตัวเป็นก้อน จากนั้นเติมสารซิงค์อ๊อกไซด์ จำนวน 4 phr ใส่ลงไปในเครื่องผสมยางแบบปิด และบด 2-4 นาที จนได้อุณหภูมิ 75-80 องศาเซลเซียส ต่อไปเติมสารสเตียริก แอซิด จำนวน 2 phr เทลงในเครื่องผสมยางแบบปิด และบด 2-4 นาที จนได้อุณหภูมิ 78-83 องศาเซลเซียส ต่อไปเติมสารเอ็นไซโครเฮกซิลทูเบนโซเทียซิล ซัลเพนาไมด์ จำนวน 1.5 phr เทลงในเครื่องผสมยางแบบปิดและบด 2-4 นาที จนได้อุณหภูมิ 78-80 องศาเซลเซียส ต่อไปเติมสารไดฟิว กัวเอไนไดน์ จำนวน 0.5 phr เทลงในเครื่อง

ผสมยางแบบปิดและบด 2-4 นาที จนได้อุณหภูมิ 78-80 องศาเซลเซียส แล้วนำยางที่บดผสมกับสารเคมีดังกล่าวออกจากเครื่องผสมยางแบบระบบปิด สุดท้ายเติมสารซัลเฟอร์ จำนวน 2.5 phr นำมาผสมในเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้งและบด 1-3 นาที แล้วนำยางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง โดยยางที่ผสมกับสารเคมีดังกล่าวจะได้ยางคอมปาวด์ชั้นนอก

3.3 กรรมวิธีอัดขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์เสริมล้อยางลม

นำยางคอมปาวด์ชั้นในและยางคอมปาวด์ชั้นนอกตามขั้นตอนที่ 2 มาอัดขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้ยางคอมปาวด์ชั้นในจำนวน 85-90%โดยปริมาตรของแม่พิมพ์ และยางคอมปาวด์ชั้นนอกจำนวน 10-15%โดยปริมาตรของแม่พิมพ์ แล้วนำยางคอมปาวด์ทั้งสองมารีดกับเครื่องบดยางแบบสองลูกกลิ้ง จากนั้นม้วนยางคอมปาวด์ชั้นในให้เป็นก้อนลักษณะคล้ายชิ้นงาน และนำยางคอมปาวด์ชั้นนอกพันล้อมรอบ ต่อไปนำยางคอมปาวด์ทั้งสองใส่ในแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 แสดงการนำยางคอมปาวด์ชั้นในและชั้นนอกใส่ในแม่พิมพ์

โดยอุณหภูมิของแม่พิมพ์ในการอัดขึ้นรูปอยู่ในช่วง 120-150 องศาเซลเซียส แล้วทำการอัดย้ำ 2-3 ครั้ง จากนั้นอัดยางต่อ 30-50 นาที จากนั้นนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ซึ่งจะได้ชิ้นงานที่เป็นอุปกรณ์เสริมล้อยางลม จำนวน 1 ชิ้นดังแสดงในรูปที่ 3.17 ทำการอัดขึ้นรูปโดยวิธีดังกล่าวอีก 2 ชิ้น โดยอุปกรณ์เสริมล้อยางลมจะใช้ชิ้นงานทั้งหมด 3 ชิ้น

รูปที่ 3.17 (a) แสดงชิ้นงานหลังจากการอัดขึ้นรูป
(b) แสดงภาพตัด Section ของชิ้นงานหลังจากการอัดขึ้นรูป

3.4 วิธีติดตั้งอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อและล้อยางลม

การติดตั้งอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับล้อยางลมมีวิธีการดังแสดงในรูปที่ 3.18

1. เริ่มจากนำอุปกรณ์เสริมล้อยางลมที่อัดขึ้นรูปได้มาประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งอุปกรณ์เสริมล้อยางลมจะมีลักษณะเป็น 1 ชิ้น นำมาประกอบรวมกัน 3 ชิ้นจะได้เป็น 1 ล้อ ดังแสดงในรูปซ้ายมือ

2. จากนั้นนำอุปกรณ์เสริมล้อยางลม กระทะล้อขนาดขอบ 15 นิ้ว ล้อยางขนาด 195/60R15 และสกรูมาประกอบเข้ากับกระทะล้อ และล้อลมยาง ดังแสดงในรูปซ้ายมือ

3. นำกระทะล้อมาติดตั้งกับล้อยางลมบนเครื่องเปลี่ยนใส่ยาง ดังแสดงในรูปซ้ายมือ

4. จากนั้น นำอุปกรณ์เสริมล้อยางลม มาใส่เข้าไปภายในกระทะล้อกับล้อยางลม และยึดด้วยสกรู เข้าระหว่างข้อต่อแต่ละชิ้น ดังแสดงในรูปซ้ายมือ

5. นำจุกเติมลมใส่เข้าไปเพื่อทำการเติมลมที่ความดันมาตราฐาน 250 kPa ดังแสดงในรูปซ้ายมือ แล้วจึงนำไปทดสอบต่อไป

รูปที่ 3.18 แสดงขั้นตอนและวิธีการประกอบอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อและล้อลมยาง

3.5 วิธีการติดตั้งล้อยางกับเครื่องทดสอบล้อยางตัน

1. สร้างตัวจับยึดกับกระทะล้อ เนื่องจากเครื่องทดสอบล้อยางตันนั้นมีกระทะล้อที่ไม่เหมือนกับกระทะล้อของล้อรถยนต์ทั่วไปดังนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.19 (a) ดังนั้นจึงต้องทำการออกแบบอุปกรณ์จับยึด (Adapter) ระหว่างกระทะล้อของล้อรถยนต์กับตัวเครื่องทดสอบล้อยางตัน ซึ่งตัวจับยึดจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.19 (b)

(a) (b)

รูปที่ 3.19 (a) แสดงตัวยึดกระทะล้อของล้อยางตัน (b) แสดงอุปกรณ์จับยึดเครื่องทดสอบกับกระทะล้อรถยนต์ทั่วไป

2. จากนั้นนำอุปกรณ์จับยึดเครื่องทดสอบกับกระทะล้อรถยนต์ทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 3.19 (b) มาสวมเข้ากับตัวยึดกระทะล้อของล้อยางตันดังแสดงในรูปที่ 3.19 (a)

3. นำล้อยางที่ทำการทดสอบสวมเข้ากับอุปกรณ์จับยึดเครื่องทดสอบกับกระทะล้อรถยนต์ทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 3.20

รูปที่ 3.20 แสดงการนำล้อยางลมที่เสริมด้วยอุปกรณ์เสริมติดตั้งกับเครื่องทดสอบ

3.6 แผนการดำเนินการ

3.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

กิจกรรมที่ 1 คือ ศึกษาสูตรยางและวิธีการเตรียมโฟมยางที่ทำมาจากยางแห้ง โดยในการเตรียมยางให้เป็นโฟมยางนั้นจะต้องเติมสารตัวเติมประเภทสารฟู และปรับโฟมยางให้มีความแข็งโดยเติมสารตัวเติม จากนั้นนำมาบดผสมกันตามขั้นตอนการผสม ดังตารางที่เรียกว่า ยางคอมปาวด์ ขั้นตอนต่อไปนำยางคอมปาวด์มาหาค่าเวลาวัลคาไนซ์ (Cure time) หรือเวลาที่ยางสุกของยางคอมปาวด์แต่ละสูตร จากนั้นจึงทำการอัดขึ้นรูปโดยวิธีการวัลคาไนซ์เซชั่น ซึ่งในแต่ละสูตรนั้นจะเปรียบเทียบความแข็งระหว่างสูตรที่ไม่เติมสารตัวเติมกับสูตรที่เติมสารตัวเติม แล้วจึงนำมาอัดขึ้นรูปกับแม่พิมพ์ต่างๆ ได้แก่ แม่พิมพ์ทดสอบการกด แม่พิมพ์ทดสอบฮีสเทอรีซีส และแม่พิมพ์ล้อยางตันขนาดเล็ก เมื่ออัดขึ้นรูปเสร็จแล้วจะได้ชิ้นงานตามลักษณะของแม่พิมพ์ จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากการอัดในแม่พิมพ์ต่างๆมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การหดตัวและการยุบตัวเนื่องจากการอัดตัวหรือการรับน้ำหนัก ความหนาแน่นของชิ้นงาน ความแข็งของชิ้นงาน และความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน ซึ่งในกิจกรรมนี้จะนำสูตรยางแต่ละสูตรมาวิเคราะห์และนำมาสรุปเป็นสูตรยางเพื่อนำไปขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์เสริมล้อยางลมในกิจกรรมถัดไป

1.1) นำยางคอมปาวด์ตามสูตรต่างๆ มาอัดขึ้นรูปกับแม่พิมพ์ทดสอบการกด โดยชิ้นงานที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูปชิ้นตัวอย่าง (Specimen) ตามมาตรฐาน ASTM D 575-91 โดยชิ้นงานมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 28.6 mm และหนา 12.5 mm จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติวัสดุเอนกประสงค์ เพื่อวิเคราะห์การหดตัวและการยุบตัวเนื่องจากการอัดตัวหรือการรับน้ำหนักของยางแต่ละสูตร

1.2) นำยางคอมปาวด์ตามสูตรต่างๆ มาอัดขึ้นรูปกับแม่พิมพ์ทดสอบฮีสเทอรีซีส โดยชิ้นงานที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูปชิ้นตัวอย่าง (Specimen) ตามมาตรฐาน ASTM D 623-99 ชิ้นงานอยู่ในรูปของทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17.78 $\pm$ 0.10 mm สูง 25.4 $\pm$ 0.15 mm จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติวัสดุเอนกประสงค์ นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และหาค่าวงฮีสเตอรีซีส เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าพลังงานความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานของยางสูตรต่างๆ

1.3) นำยางคอมปาวด์ตามสูตรต่างๆ มาอัดขึ้นรูปกับแม่พิมพ์ล้อยางตันขนาดเล็ก จะได้ชิ้นงานมีลักษณะเป็นล้อยางขนาดหน้ายางกว้าง 40 mm ขอบยางลึก 40 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางยาว 160 mm จากนั้นนำไปทดสอบกับเครื่องทดสอบล้อยางตันขนาดเล็ก โดยทดสอบที่แรงกดสูงสุด สังเกตุระยะยุบ ที่ความเร็ว 25 km/hr จนล้อเกิดการระเบิด บันทึกค่าเวลาและอุณหภูมิ จนล้อยางเกิดการระเบิด

1.4) นำยางแต่ละสูตรมาวิเคราะห์เพื่อหาสูตรเหมาะสม ที่จะนำไปอัดขึ้นรูปเป็นต้นแบบอุปกรณ์เสริมล้อยางลม

กิจกรรมที่ 2 คือ ออกแบบอุปกรณ์เสริมล้อยางลม และสร้างแม่พิมพ์

กิจกรรมที่ 3 คือ ศึกษาการจับยึดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อ โดยใช้กาวเข็มขัดรัด และสกรูยึดติด แล้วนำมาทดสอบความทนทานกับเครื่องทดสอบล้อยางตัน Drum test ในกิจกรรมนี้ยังไม่มีการใช้ล้อยางลม แต่เป็นการทดสอบเฉพาะอุปกรณ์เสริมล้อยางลมเท่านั้นทั้งนี้เพื่อ ดูลักษณะการจับยึดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อโดยการทดสอบที่รอบความเร็ว ระยะทาง และเวลา ที่ทำให้อุปกรณ์เสริมล้อยางลมหลุดจากกระทะล้อ รวมถึงความทนทานต่อความร้อนของอุปกรณ์เสริมล้อยางลม โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

3.1) ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบอยู่ในช่วง 10- 25 km/hr ดูการฉีกขาดและหลุดจากกระทะล้อของอุปกรณ์เสริมล้อยางลม

3.2) เวลาที่ทำให้อุปกรณ์เสริมล้อยางลมฉีกขาดและหลุดจากกระทะล้อ

3.3) ระยะทางที่ทำให้อุปกรณ์เสริมล้อยางลมฉีกขาดและหลุดจากกระทะล้อ

กิจกรรมที่ 4 นำอุปกรณ์เสริมล้อยางลมใส่ในล้อยางลม แล้วทดสอบกับเครื่อง Drum test ดูการเปลี่ยนแปลงของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมภายในล้อยางลม โดยการทดสอบกดที่น้ำหนักเท่ากับรถจริง ทดสอบที่ความเร็ว 23 km/hr (Maximum) ที่เวลา 10 ชั่วโมง เป็นระยะทาง 230 km จากนั้นทดสอบโดยเจาะล้อยางลม สังเกตดูการเปลี่ยนแปลงของล้อยาง

กิจกรรมที่ 5 คือ เมื่อรู้แนวโน้มจากกิจกรรมที่ 4 จากนั้นนำอุปกรณ์เสริมล้อยางลมไปใส่ข้างในล้อยางลมและนำไปทดสอบกับเครื่องวัดความคงทนของยาง (Endurance) โดยมีเงื่อนไขการทดสอบดังนี้

5.1) ล้อทดสอบจำนวน 3 ล้อ และเติมลมในล้อยางที่มีอุปกรณ์เสริมล้อยางลมอยู่ภายใน เพื่อทดสอบสภาพคงทนของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมที่ความเร็วในช่วง 60 80 และ100 km/hr เพื่อสังเกตดูข้อจำกัดของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมขณะมีลมอยู่ข้างในล้อ

5.2) ล้อทดสอบจำนวน 3 ล้อเจาะรูเพื่อให้ลมภายในออก และนำทดสอบสภาพคงทนของอุปกรณ์เสริมล้อยางลม ที่ความเร็วในช่วง 40 60 และ 80 km/hr เพื่อสังเกตดูสมรรณะของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมขณะไม่มีลมอยู่ข้างในล้อ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการทดลองกิจกรรมที่ 1 การศึกษาการทำโฟมยางจากยางแห้ง

เริ่มจากการศึกษาสูตรยางธรรมชาติทั่วไป โดยการขึ้นรูปด้วยกระบวนการการวัลคาร์ไนเซชั่น จากนั้นนำสารตัวเติมชนิดสารฟูมาผสมกับสูตรยางธรรมชาติทั่วไปเพื่อทำให้ยางเปลี่ยนสภาพเป็นโฟมยาง ซึ่งในการศึกษานั้นจะต้องเติมสารฟู (Blowing agent) เพื่อทำให้เกิดการพองตัว ซึ่งมีข้อดีคือทำให้ยางมีน้ำหนักเบา จากนั้นทำการปรับคุณสมบัติของโฟมยางให้มีความแข็งโดยการใช้สารตัวเติมเพื่อเพิ่มความแข็งให้กับโฟมยาง ซึ่งในการศึกษาก็จะมีขั้นตอนและวิธีการดังนี้

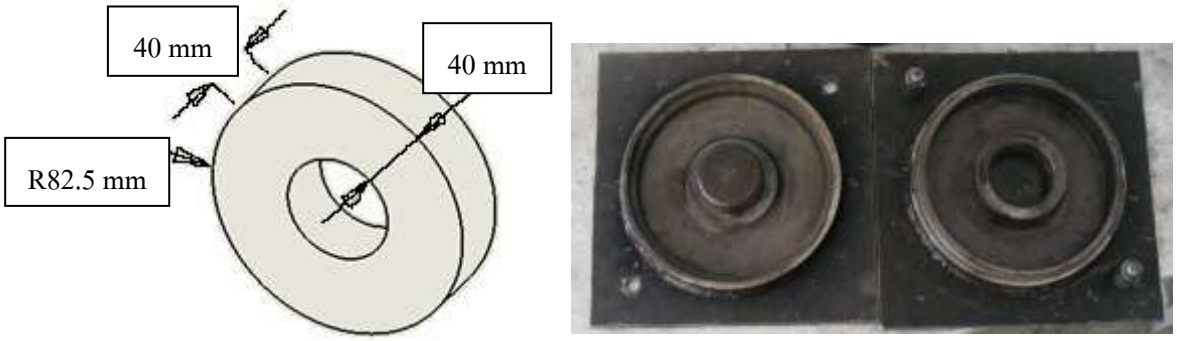
1). เตรียมยางและสารเคมี ซึ่งในการเตรียมยางนั้นจะใช้ยางที่เกรดต่ำเพื่อต้องการลดต้นทุนในการนำมาผลิต ยางที่ใช้ได้แก่ ยางสกิม และยางแผ่นรมควันชั้น 3 เป็นต้น

2). นำยางและสารเคมีตามสูตรต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ไปบดกับเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) หรือเครื่องบดแบบระบบปิด (Internal mixer) เป็นเวลา 10-20 นาที เพื่อให้ยางกับสารเคมีผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งยางที่บดผสมสารเคมีเสร็จแล้วเรียกว่า ยางคอมปาวด์

3). ตั้งยางคอมปาวด์ทิ้งไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ยางเกิดการเซ็ตตัวก่อนที่จะนำมาอัดขึ้นรูป

4). นำมาวัลคาร์ไนซ์หรืออัดขึ้นรูปในแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (a) กับเครื่องอัดขึ้นรูป (Hot press machine) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และได้ชิ้นเป็นล้อยางดังรูป 4.1 (b) ในงานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการศึกษาสูตรยางของล้อยางในสูตรแรกก่อนแล้วทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทำการปรับเปลี่ยนในส่วนของสารเคมีและยาง ซึ่งจากผลการทดลองของยางเมื่อทำการปรับเปลี่ยนแล้วมีทั้งหมด 6 สูตร ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งแต่ละสูตรก็จะมีคุณสมบัติและรูปร่างแตกต่างกันออกไป ซึ่งผลการทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆดังต่อไปนี้ แล้วนำไปออกสูตรยางและทำการอัดขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์เสริมล้อยางลมต่อไป

- ศึกษาการพองตัว และการแข็งตัวของล้อยางที่เติมสารฟู และสารตัวเติมเพื่อเพิ่มความแข็ง
- ศึกษาผิวของชิ้นงาน ความหนาแน่น ความแข็ง น้ำหนักของล้อยางแต่ละสูตร



รูปที่ 4.1 (a) ขนาดล้อที่นำมาทดสอบ (b) เบ้าที่นำมาขึ้นรูป

ตารางที่ 4.1 ลำดับสูตรยางเพื่อดูแนวโน้มทางกายภาพของการพองตัวของสารตัวเติม

No.	Ingredient	Formula (*phr)					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Skim	100	100	-	-	-	-
2	RSS3	-	-	100	-	-	-
3	RSS3 mixed Carbon black	-	-	-	100	100	100
4	ZnO	3	3	3	3	3	3
5	Stearic acid	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
6	Supercell DPT	10	5	5	5	3	1
7	Wing l	1	1	1	1	1	1
8	MBT	1	1	1	1	1	1
9	S	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
10	Oil	-	-	2	-	-	-

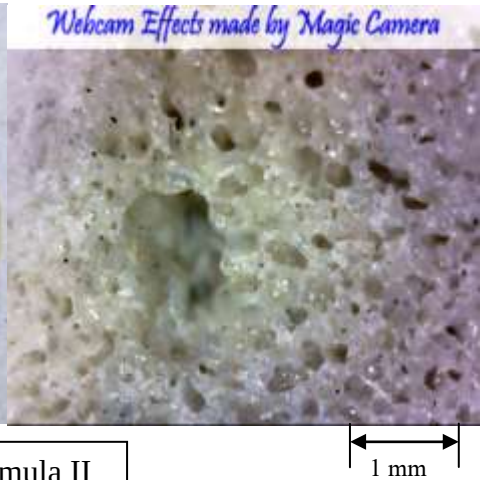
*phr (part per hundred rubber)

หมายเหตุ ตารางที่ 4.1 เป็นตารางสูตรที่ศึกษาข้างต้นเพื่อที่จะได้แนวโน้มนำไปวิเคราะห์ตัวแปรที่เหมาะสมกับลักษณะและคุณสมบัติของอุปกรณ์เสริมล้อยางลม จากนั้นก็จะทำการออกสูตรยางและทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพในกิจกรรมต่อไป

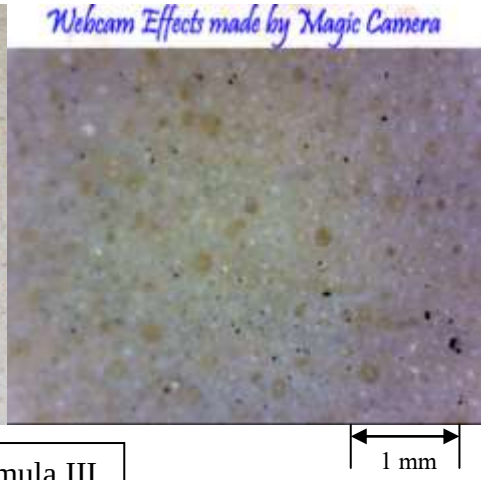
ผลการทดลองการอัดขึ้นรูปชิ้นงานตามสูตรต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เพื่อทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.2

Non picture

(a) Formula I



(b) Formula II



(c) Formula III

(d) Formula IV

(e) Formula V

(f) Formula VI

รูปที่ 4.2 ล้อยางหลังการอัดขึ้นรูปและลักษณะฟองอากาศภายในของสูตรยางที่ I-VI

ผลการทดลองสูตรที่ I ใช้ยางสกิมจำนวน 100 phr และสารฟู จำนวน 10 phr จากนั้นนำไปผสมกับเครื่องผสมยางแบบระบบปิด บดยางก่อนจนอุณหภูมิของยางถึง 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 10 นาที แล้วเติมสารเคมีที่เตรียมไว้ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.1 เป็นเวลา 10 นาที จะได้ยางคอมปาวด์และนำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำยางคอมปาวด์ไปหาค่าการวัลคาร์ไนซ์ (ค่าความสุกของยาง) กับเครื่อง (Moving Die Rheometer MDR 2000 ทำเหมือนกันทุกการทดลอง) พบว่ายางสุกที่เวลา 15 นาที ต่อมานำยางคอมปาวด์มาอัดขึ้นรูปกับเครื่องอัดขึ้นรูปยาง ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที โดยจะใส่จำนวนยางคอมปาวด์ในแม่พิมพ์ขึ้นรูปประมาณ 100 %ของปริมาตรแม่พิมพ์ (ใส่เต็มแม่พิมพ์) ซึ่งจากการทดลองพบว่ายางมีลักษณะไม่สุก มีกลิ่นเหม็นมาก ผิวยางไม่เรียบ เนื้อยางไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน และยางข้างในมีลักษณะเหลว จึงไม่มีการกระจายของรูพรุนเพราะยางไม่สุก ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (a) ซึ่งปัญหาที่พบจากการทดลอง เนื่องจากยางไม่สุกนั้นมีสาเหตุมาจากการควบคุมอุณหภูมิในการใส่ซัลเฟอร์ในเครื่องบดแบบระบบปิด ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ในตอนผสมที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้ยางเกิดการสก๊อตหรือวัลคาร์ไนซ์ไปแล้ว ดังนั้นในการผสมจะต้องนำซัลเฟอร์บดกับเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้งเพื่อลดอุณหภูมิในการเกิดการวัลคาร์ไนซ์ ส่วนยางที่มีกลิ่นเหม็นนั้นเนื่องมาจากยางสกิมเพราะยางสกิมทำมาจากหางน้ำยางและมีโมเลกุลต่ำเมื่ออัดขึ้นรูปด้วยความร้อนจะทำให้ยางมีกลิ่นเหม็น และผิวของล้อยางไม่เรียบเกิดจากการไหลของยางที่ยังไหลในแม่พิมพ์ขึ้นรูปไม่ดี

ผลการทดลองสูตรที่ II ใช้ยางสกิมจำนวน 100 phr และลดจำนวนสารฟูเหลือจำนวน 5 phr ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากนั้นนำไปผสมกับเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง ปรับลูกกลิ้งประมาณ 1 mm เพื่อให้ยางเกิดแรงเฉือนมากขึ้น ใช้เวลาบดประมาณ 5 นาที จึงนำสารเคมีที่เตรียมไว้เติมลงไปตามลำดับประมาณ 10 นาที จะได้ยางคอมปาวด์ นำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำยางคอมปาวด์มาอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาทีกับเครื่องอัดขึ้นรูปยาง โดยจะใส่จำนวนยางคอมปาวด์ในแม่พิมพ์ประมาณ 100 % (ใส่เต็มแม่พิมพ์ขึ้นรูป) เพื่อสังเกตดูการพองตัวของสารฟู ซึ่งจากการทดลองพบว่ายางสูตร II มีลักษณะพองตัวโดยยางล้นออกจากแม่พิมพ์จากความหนาเดิมจาก 40 mm เป็น 60 mm เพิ่มขึ้นเป็น 50% และความกว้างเดิม 40 mm เป็น 50 mm เพิ่มขึ้น 25% บริเวณผิวล้อยางมีรอยฉีกขาด ไม่เรียบ และเนื้อยางไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ยางมีลักษณะอ่อนนุ่มไม่แข็ง และมีกลิ่นเหม็น แต่มีข้อดีคือล้อยางมีน้ำหนักเบา และบริเวณภายในมีการกระจายของรูพรุนอย่างสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (b) สาเหตุที่ยางพองตัวโดยล้นออกจากแม่พิมพ์นั้นมีสาเหตุมาจากการเติมสารตัวเติมสารฟูผสมในยาง แล้วใส่ยางคอมปาวด์ในเต็มแม่พิมพ์ ซึ่งสารฟูมีคุณสมบัติทำให้ยางกลายเป็นโฟมยาง มีน้ำเบา และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นการพองตัวจะเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังนั้นต้องลดปริมาณของยางคอมปาวด์เพื่อให้พองตัวเท่ากับ

ขนาดและรูปร่างของแม่พิมพ์ และต้องใช้ยางที่มีโมเลกุลดีกว่ายางสกิม ซึ่งจะต้องมีราคาถูกเพื่อลดต้นทุน

ผลการทดลองสูตรที่ III ใช้ยางแผ่นรมควันชั้น 3 จำนวน 100 phr และลดจำนวนสารฟูเหลือจำนวน 5 phr และผสมน้ำมัน (Oil) 2 phr ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากนั้นนำไปบดผสมกับเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง ปรับลูกกลิ้งประมาณ 1 mm เพื่อให้ยางเกิดแรงเฉือนมากขึ้น ใช้เวลาบดประมาณ 5 นาที จึงนำสารเคมีที่เตรียมไว้เติมลงไปตามลำดับประมาณ 10 นาที จะได้ยางคอมปาวด์นำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำยางคอมปาวด์มาอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาทีกับเครื่องอัดขึ้นรูปยาง โดยจะใส่จำนวนยางคอมปาวด์ในแม่พิมพ์ประมาณ 70 % ของปริมาตรแม่พิมพ์ขึ้นรูป เพื่อเพิ่มการพองตัวให้ได้ขนาดและรูปร่างชิ้นงานตามแบบแม่พิมพ์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อผสมน้ำมันกับยางแผ่นรมควันชั้น 3 จะทำให้ผิวของล้อยางมันวาว และช่วยเพิ่มการไหล ลักษณะล้อยางจะล้นออกจากแม่พิมพ์จากความหนาเดิม 40 mm เป็น 50 mm เพิ่มขึ้นเป็น 25% และความกว้าง 40 mm เป็น 50 mm เพิ่มขึ้นเป็น 25% จากนั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 ชั่วโมงพบว่ายางลดรูปและหดตัวลง แต่จะหดตัวไม่ถึง 100% บริเวณผิวล้อยางไม่เรียบเนื่องมาจากการพองตัวเพียงอย่างเดียว ยางมีลักษณะอ่อนนุ่มไม่แข็ง เนื่องจากการผสมน้ำมัน มีกลิ่นเหม็นน้อยกว่ายางสกิมเพราะเป็นยางเกรดสูงกว่ายางสกิม ล้อยางมีน้ำหนักเบาจากการเติมสารฟูและมีรูพรุนกระจายอย่างสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (c) ซึ่งในการทดลองต่อไปจะต้องศึกษาตัวแปรที่ทำให้ยางเกิดความแข็ง โดยในที่นี้จะผสมผงเขม่าดำกับยาง

ผลการทดลองสูตรที่ IV ใช้ยางแผ่นรมควันจำนวน 100 phr ผสมสารตัวเติมผงเขม่าดำ 10 phr เพื่อเพิ่มความแข็ง และสารฟูจำนวน 5 phr ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากนั้นนำไปผสมกับเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง ปรับลูกกลิ้งประมาณ 1 mm เพื่อให้ยางเกิดแรงเฉือนมากขึ้น ใช้เวลาบดประมาณ 5 นาที นำสารเคมีที่เตรียมไว้เติมลงไปตามลำดับประมาณ 10 นาที ได้ยางคอมปาวด์ นำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำยางคอมปาวด์มาอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาทีกับเครื่องอัดขึ้นรูปยาง โดยจะใส่จำนวนยางคอมปาวด์ในแม่พิมพ์ประมาณ 70 % ของปริมาตรแม่พิมพ์ขึ้นรูป ซึ่งจากการทดลองพบว่าแผ่นยางที่ได้มีความแข็งจากการเติมผงเขม่าดำ มีน้ำหนักเบา และพองตัวโดยยางล้นออกจากแม่พิมพ์จากความหนาเดิม 40 mm เป็น 60 mm เพิ่มขึ้นเป็น 50% และความกว้างเดิม 40 mm เป็น 50 mm เพิ่มขึ้น 25% บริเวณผิวล้อยางไม่มีรอยฉีกขาด แต่ผิวของล้อยางยังไม่เรียบเนื่องมาจากยางเกิดการพองตัวเพียงอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (d) ซึ่งสาเหตุของการพองตัวนั้นเนื่องมาจากการเติมสารตัวเติมสารฟูในอัตราส่วนมาก ดังนั้นต้องลดจำนวนการเติมสารฟูลงในการทดลองครั้งต่อไป

ผลการทดลองสูตรที่ V ใช้ยางแผ่นรมควันจำนวน 100 phr ผสมสารตัวเติมผงเขม่าดำ 30 phr เพื่อเพิ่มความแข็ง และลดจำนวนสารฟูเหลือจำนวน 3 phr ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากนั้นนำไปผสมที่เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง ปรับลูกกลิ้งประมาณ 1 mm เพื่อให้ยางเกิดแรงเฉือนมากขึ้น ใช้เวลาบดประมาณ 5 นาที จึงนำสารเคมีที่เตรียมไว้เติมลงไปตามลำดับประมาณ 10 นาที จากนั้นนำยางคอมปาวด์เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำยางคอมปาวด์มาอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาทีกับเครื่องอัดขึ้นรูปยาง โดยจะใส่จำนวนยางคอมปาวด์ในแม่พิมพ์ประมาณ 100% ของปริมาตรแม่พิมพ์ขึ้นรูปเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของการพองตัวเมื่อลดจำนวนการเติมสารฟู เทียบกับสูตรที่ II ซึ่งจากการทดลองพบว่าล้อยางมีความแข็งเพิ่มมากขึ้น น้ำหนักเบา และพองตัวโดยยางล้นออกจากแม่พิมพ์จำนวนมาก จากความหนาเดิม 40 mm เป็น 50 mm เพิ่มขึ้นเป็น 25% และความกว้างเดิม 40 mm เป็น 50 mm เพิ่มขึ้น 25% บริเวณผิวล้อยางไม่มีรอยฉีกขาด แต่ผิวของล้อยางยังไม่เรียบเนื่องมาจากยางเกิดการพองตัวเพียงอย่างเดียว และรูพรุนมีขนาดเล็กกว่าสูตรที่ II และสูตรที่ IV ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (e)

ผลการทดลองสูตรที่ VI ใช้ยางแผ่นรมควันจำนวน 100 phr ผสมสารตัวเติมผงเขม่าดำ 30 phr และลดจำนวนสารฟูเหลือจำนวน 1 phr ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากนั้นนำไปผสมกับเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง ปรับลูกกลิ้งประมาณ 1 mm เพื่อให้ยางเกิดแรงเฉือนมากขึ้น บดประมาณ 5 นาที จึงนำสารเคมีที่เตรียมไว้เติมลงไปตามลำดับประมาณ 10 นาที จากนั้นนำยางคอมปาวด์เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำยางคอมปาวด์มาอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาทีกับเครื่องอัดขึ้นรูปยาง โดยจะใส่จำนวนยางคอมปาวด์ในแม่พิมพ์ขึ้นรูปประมาณ 70 % ของปริมาตรแม่พิมพ์ขึ้นรูป ซึ่งจากการทดลองพบว่าล้อยางที่ได้มีความแข็ง น้ำหนักเบา และะพองตัวโดยยางล้นออกจากแม่พิมพ์จากความหนาเดิม 40 mm เป็น 60 mm เพิ่มขึ้นเป็น 50% และความกว้างเดิม 40 mm เป็น 50 mm เพิ่มขึ้น 25% จากนั้นเมื่อตั้งยางทิ้งไว้ให้เย็นตัวยางจะเกิดการหดตัวเท่ากับขนาดชิ้นงานของล้อยาง มีรูพรุนกระจายอย่างสม่ำเสมอและมีช่องว่างบางช่องของฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุน ยางมีการไหลของดี ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (f)

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของล้อยางแต่ละสูตร

Formula	rubber	Supercell DPT (*phr)	Carbon black (*phr)	Oil (*phr)	Weight (g)	Volume (cm^3)	Density (g/cm^3)
I	skim	10	-	-	642	628	1.02
II	skim	5	-	-	642	1366	0.5
III	RSS3	5	-	2	450	644	0.7
IV	RSS3	5	10	-	450	650	0.7
V	RSS3	3	30	-	642	1100	0.6
VI	RSS3	1	30	-	450	630	0.7
Small wheel	-	-	-	-	670	-	-

*phr (part per hundred rubber)

หมายเหตุ ยางสูตรที่ I ยางเกิดการสก๊อตที่อุณหภูมิสูงภายในเครื่องบดยางแบบระบบปิด

จากสูตร I พบว่าการผสมยางกับเครื่องผสมยางแบบปิด จะต้องควบคุมอุณหภูมิในห้องผสมไม่ให้อุณหภูมิสูงจนเกินไปในการเติมสารเคมี เพราะสารเคมีบางชนิด เมื่อผสมกับยางที่อุณหภูมิสูงแล้วจะทำให้ยางเกิดการสก๊อตหรือเกิดการวัลคาร์ไนซ์ซึ่งจะทำให้ยางนั้นสุกก่อนที่จะนำไปอัดขึ้นรูป และเมื่อนำมาอัดขึ้นรูปยางจะมีกลิ่นเหม็นมาก และนำข้อมูลที่ได้ออกแบบการทดลองสูตรที่ II ในการทดลองนี้จะใช้เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้งเพื่อใช้อุณหภูมิในการบดที่ต่ำและเหมาะกับการบดยางที่มีปริมาณน้อยๆ ซึ่งผลการทดลองหลังการอัดขึ้นรูปพบว่าการเติมสารฟูเพื่อให้ยางกลายเป็นโฟมยางนั้น ทำให้ยางเกิดการพองตัวมากขึ้นจากเดิมทั้งสามทิศทาง ยางมีรอยฉีกขาดที่บริเวณผิวยาง และยางมีกลิ่นเหม็นมากเนื่องจากยางสกิม เพราะยางสกิมทำมาจากหางน้ำยางและมีโมเลกุลต่ำ ซึ่งจากตารางที่ 4.2 พบว่ามีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับล้อยางตันขนาดเล็ก มีปริมาตรมากเนื่องจากการพองตัว และมีความหนาแน่นน้อย ในการทดลองสูตรต่อไปก็จะลดการพองตัวโดยจะใส่สารฟูปริมาณเท่าเดิม แต่จะลดปริมาณยางคอมปาวด์โดยจะใส่ที่ 70% เพื่อจะสังเกตดูการพองตัวให้ได้ขนาดชิ้นงานตามแม่พิมพ์ และจะใช้ยางแผ่นรมควันชั้น3 ที่มีโมเลกุลดีกว่ายางสกิมและราคาไม่สูงมากนัก และเติมน้ำมันเพื่อให้ผิวเรียบและมีการไหลที่ดีขึ้น ซึ่งจากการทดลองในสูตรที่ III พบว่ายางมีกลิ่นเหม็นน้อยลง มีผิวเรียบ และมีการพองตัวที่ใกล้เคียงกับชิ้นงาน

จริง แต่ยางมีลักษณะอ่อนนุ่ม การกระจายของรูพรุนสม่ำเสมอ มีน้ำหนักเบากว่าสูตร I และ II ดังตารางที่ 4.2 เพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์ให้ยางมีความแข็งดังนั้นในการทดลองในสูตร IV จึงเติมผงเขม่าดำผสมกับยางโดยซ้ำจำนวนสารฟูและจำนวนยางคอมปาวด์เท่ากับการทดลองที่ III พบว่ายางมีความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ผิวล้อยางไม่ค่อยเรียบ มีน้ำหนักและความหนาแน่นใกล้เคียงกับสูตรที่ III ดังตารางที่ 4.2 แต่ขนาดของรูพรุนมีขนาดใหญ่นั่นหมายถึงจะส่งผลไปยังความแข็งและการรับน้ำหนักของล้อยางด้วย ดังนั้นในการทดลองสูตร V จึงทำการลดจำนวนสารฟูและเพิ่มความแข็งโดยเติมผงเขม่าดำให้มากขึ้น และใส่ยางคอมปาวด์ที่ 100% โดยเทียบการพองตัวกับสูตร II ว่าถ้าลดจำนวนสารฟูแล้วจะมีการพองตัวเพิ่มขึ้นหรือไม่ จากผลการทดลองพบว่ามีการพองตัวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้ก็จะเกิดการหดตัวลง ซึ่งจะมีขนาดใหญ่กว่าชิ้นงานจริง มีน้ำหนักมากกว่าสูตร II และ III มีความแข็งเพิ่มขึ้นมากกว่าและขนาดของรูพรุนมีขนาดเล็กกว่าสูตร IV แต่ก็ยังมีประเด็นในส่วนของการพองตัวของสายฟู ดังนั้นจึงทำการลดสารฟูเพื่อให้มีขนาดของรูพรุนเล็กลง ซึ่งจะส่งผลไปยังการรับน้ำหนักได้ดี มีการพองตัวน้อย และใส่ยางคอมปาวด์ที่ 70% เพื่อให้พองตัวและมีขนาดใกล้เคียงกับล้อยางจริง จากการทดลองสูตร VI จะพบว่าล้อยางมีน้ำหนักเบา และมีการพองตัวน้อยเมื่อเทียบกับสูตร III และ IV ที่ใส่ยางคอมปาวด์ที่ 70% เท่ากัน มีขนาดของรูพรุนที่เล็กลง มีความแข็งด้วยการเติมผงเขม่าดำที่ 30 phr

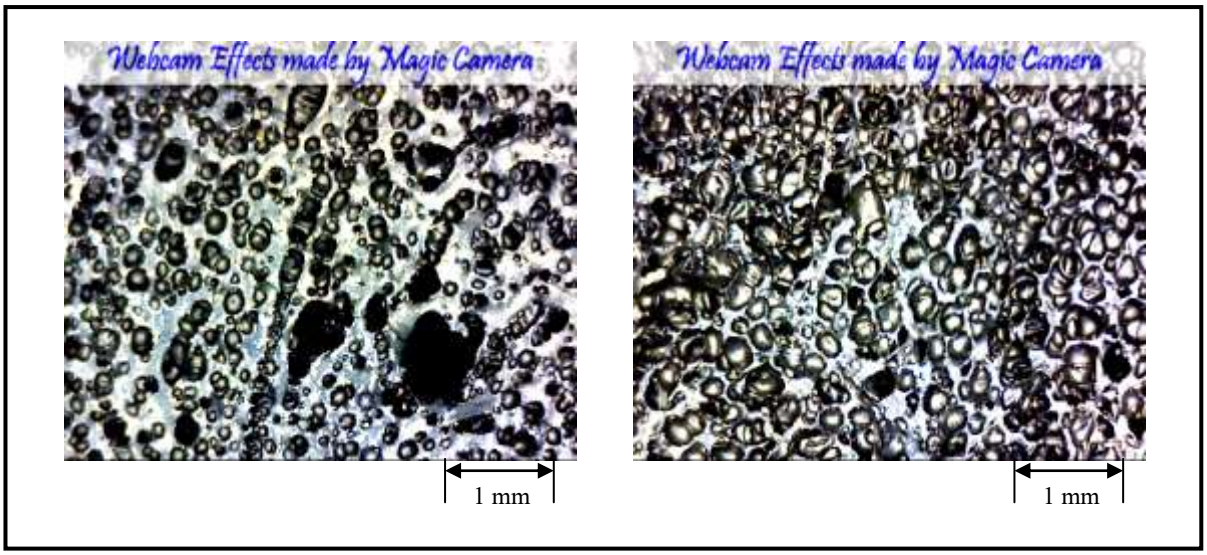
ดังนั้นในการศึกษาการขึ้นรูปโฟมยางในเบื้องต้นสามารถรู้แนวทางในการทำโฟมยางจากและข้อจำกัดของการขึ้นรูปในสูตร I-VI โดยจะยึดหลักและข้อมูลในสูตร VI เพื่อใช้เป็นแนวทางให้ได้ตามจุดประสงค์ที่ทำให้ยางมีความแข็ง น้ำหนังเบา สามารถรับโหลดได้ดี จากนั้นจึงนำไปกำหนดสูตร ดังแสดงในตารางที่ 4.3 เพื่อใช้สารตัวเติมคือสารฟู (Blowing agent) ที่ทำให้เกิดการพองตัว และสารตัวเติมเคลย์และแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มความแข็งเพื่อลดต้นทุนในการผลิต แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกลต่อไป

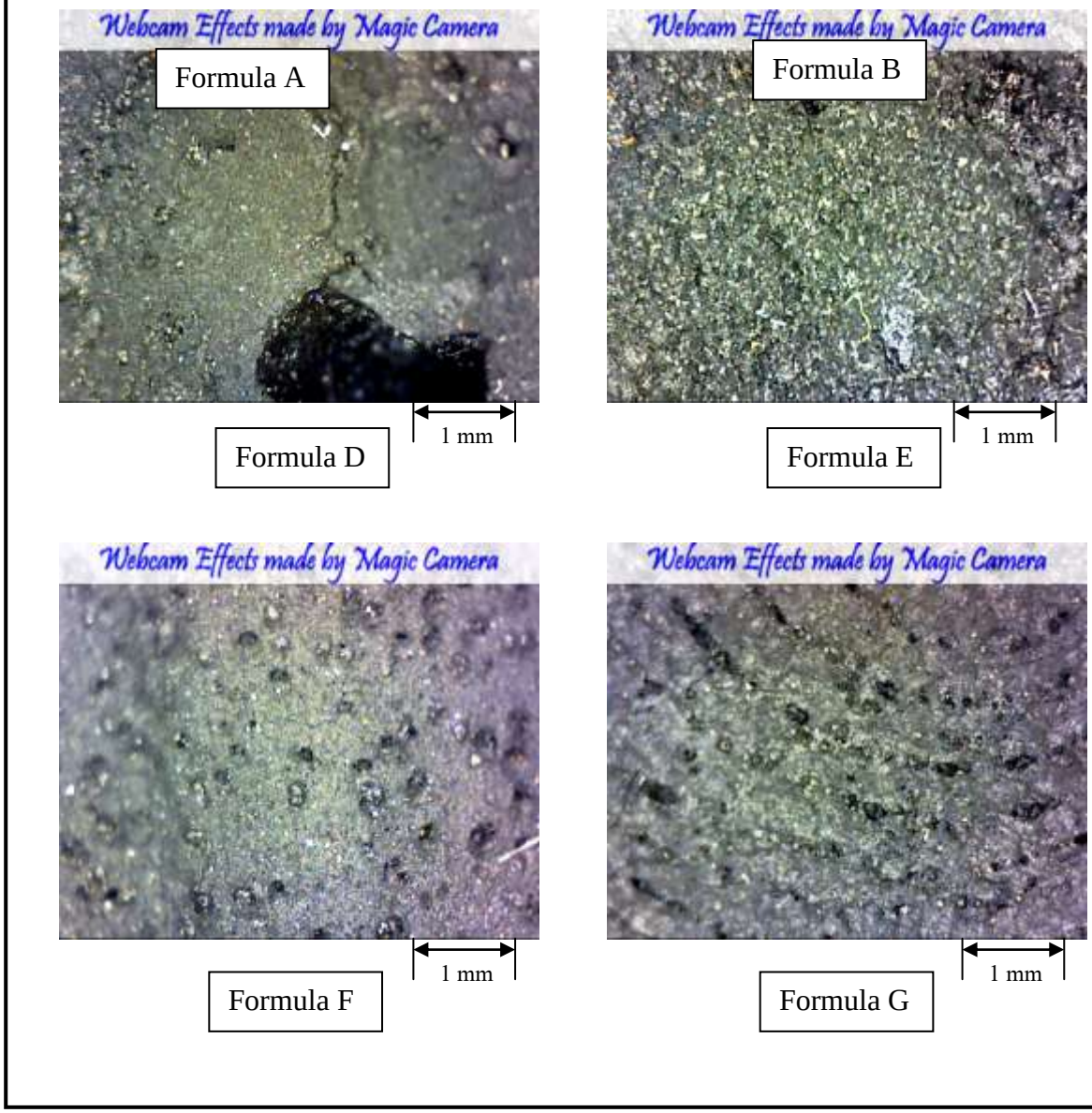
ตารางที่ 4.3 แสดงการออกสูตรยางเพื่อหาคุณสมบัติที่เหมาะสมเพื่อนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์เสริมล้อยางลม

No.	Ingredients	Formula (*phr)						
		A	B	C	D	E	F	G
1	Rubber smoked sheet (RSS#3)	100	100	100	100	100	100	100
2	Zinc Oxide	4	4	4	4	4	4	4
3	Stearic acid	2	2	2	2	2	2	2
4	Blowing agent (ADC)	-	3	-	3	3	-	-
5	Blowing agent (DPT)	1	-	-	-	-	1	1
6	CBS	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
7	DPG	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
8	Sulfur	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
9	Carbon black NR 330	40	40	40	40	40	40	40
10	China clay	-	-	-	5	-	5	-
11	$CaCO_3$	-	-	-	-	5	-	5

*phr (part per hundred rubber)

การขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง (Specimen) ตามสูตรต่างๆจะต้องสังเกตดูขนาดและการกระจายรูพรุนภายในชิ้นงานเพื่อนำมาวิเคราะห์จำนวนในการเติมสารฟูและเซลล์ที่อยู่ภายในระหว่างเซลล์แบบเปิด (Open-cell) กับเซลล์แบบปิด (Close-cell) จะส่งผลต่อค่าความแข็ง การถ่ายเทความร้อนสะสมและการรับโหลด โดยสังเกตดูลักษณะทางกายภาพของแต่ละสูตรจากการถ่ายภาพที่มีกำลังขยาย 200x ดังแสดงในรูปที่ 4.3



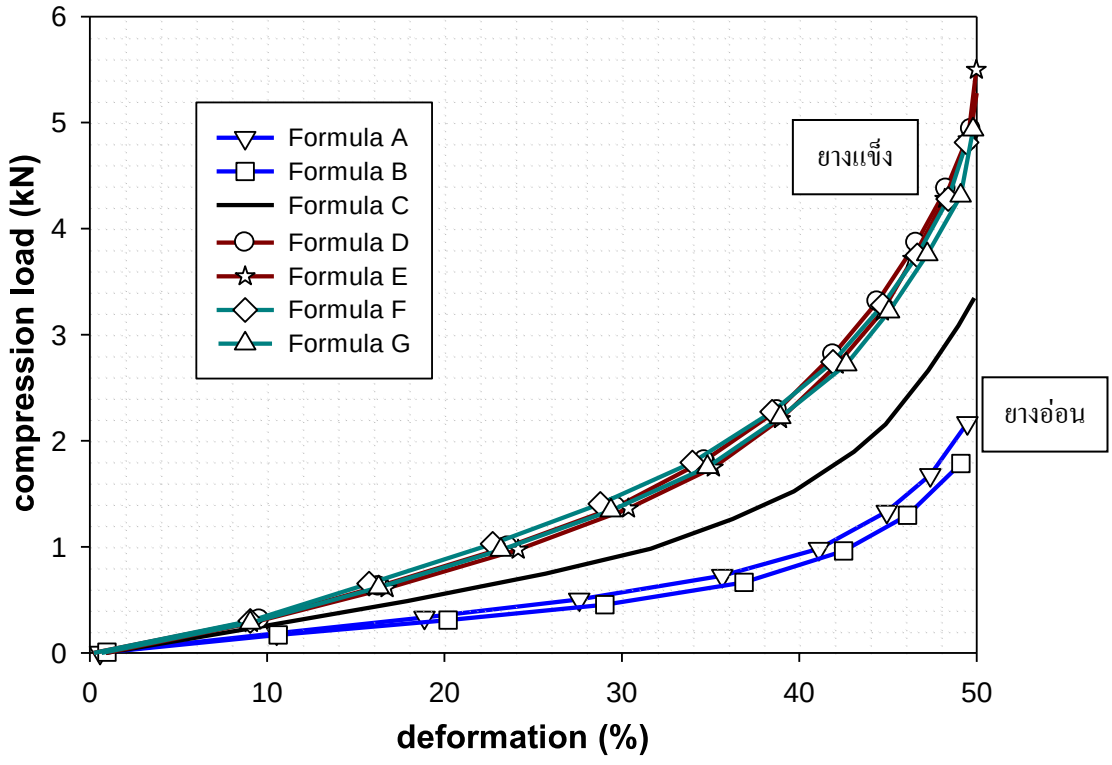


รูปที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายลักษณะรูพรุนของสูตรยางในแต่ละสูตร โดยใช้กล้อง Magic camera ขนาดขยาย 200x

4.1.1 ผลการทดลองกิจกรรมที่ 1.1 นำยางคอมปาวด์ตามสูตรต่างๆ มาอัดขึ้นรูปกับแม่พิมพ์ทดสอบการกด (Compressive test) โดยชิ้นงานที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูปชิ้นงานตัวอย่าง (Specimen) ตามมาตรฐาน ASTM D 575-91 โดยชิ้นงานมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 28.6 mm และหนา 12.5 mm จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติวัสดุเอนกประสงค์ที่ความเร็วในการกด 12 mm/min เพื่อวิเคราะห์การยุบตัวเนื่องการรับโหลด ผลดังแสดงในรูปที่ 4.4 และความสามารถของวัสดุในการต้านทานต่อการกด (Compressive load) ซึ่งสำหรับยางจะนิยมทดสอบแบบ Durometer มีหน่วยความแข็งเป็น Shore A (ASTM D 2240) หรือการทดสอบแบบ IRHD มีหน่วยความแข็งเป็น IRHD

(ISO 48) โดยปกติยางธรรมชาติที่ยังไม่ผ่านการบดมีค่าความแข็งประมาณ 40 Shore A และการทดสอบค่าความแข็งทำโดยการนำชิ้นงานตัวอย่าง (Specimen) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28.5 mm หนา 12.5 mm ของยางแต่ละสูตรไปวัดกับเครื่องวัดความแข็งของพลาสติกและยาง (Hardness tester) ในการเก็บข้อมูลทำโดยการนำชิ้นทดสอบแต่ละสูตรมาอย่างละ 3 ชิ้นแล้วนำผลการกดของชิ้นทดสอบมาเฉลี่ย แสดงในตารางที่ 4.4

จากผลการทดลองพบว่า ยางสูตร B (1.92 kN) มีค่าการรับโหลดน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตร A (2.22 kN) ส่วนสูตร C (3.34 kN) มีค่าการรับโหลดปานกลาง และสูตร E (5.75 kN) มีค่าการรับโหลดสูงที่สุด โดยมีค่าใกล้เคียงกับสูตร D ,สูตร F และสูตร G ซึ่งสามารถเรียงจากน้อยไปมากตามลำดับได้ดังนี้ สูตร B < สูตร A < สูตร C < สูตร G < สูตร F < สูตร D < สูตร E



รูปที่ 4.4 แสดงผลของการกดชิ้นตัวอย่างในแต่ละสูตร

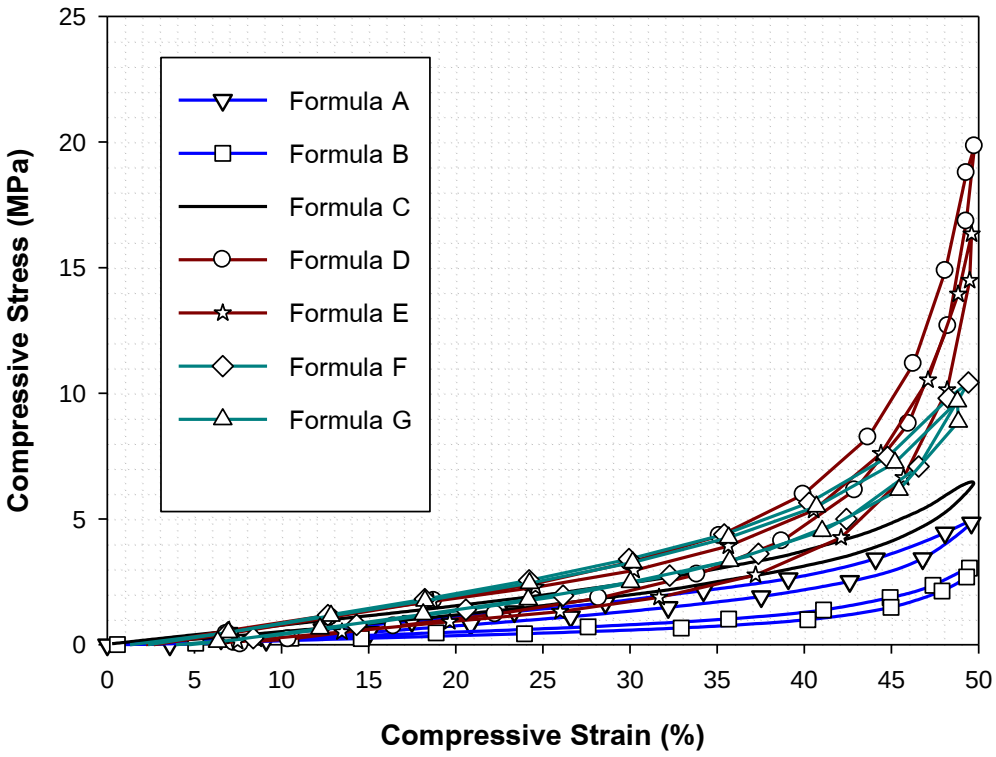
จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าการรับโหลดที่ต่ำของสูตร A และสูตร B นั้นเนื่องมาจากการที่ไม่ได้เติมสารตัวเติมเคลย์ และแคลเซียมคาร์บอเนต เพื่อทำให้โฟมยางมีความแข็ง รวมทั้งสูตรยางทั้งสองนั้นเป็นโฟมยางซึ่งมีความยืดหยุ่นสูงจึงส่งผลไปถึงการรับโหลดหรือน้ำหนักน้อยกว่าสูตร C ซึ่งเป็นยางทั่วไปที่ไม่เติมสารฟู ในทางตรงกันข้ามสูตร D, สูตร E,สูตร F และสูตร G นั้นเติมสารที่เพิ่ม

ความแข็งคือสารตัวเติมเคลย์ และแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งจะทำให้มีการรับโหลดได้ดีโดยสารตัวเติมทั้งสองนั้นมีคุณสมบัติเพิ่มความแข็งได้ดี และในการทดสอบค่าความแข็งของสูตรยางต่างๆ ตามหน่วยความแข็งเป็น Shore A (ASTM D 2240) นั้นก็มีความสอดคล้องกันดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งของยางสูตรต่างๆ

No.	ค่าความแข็งเฉลี่ย (Shore A)	%การเพิ่มขึ้นของค่าความแข็ง
ยางธรรมชาติ	40±0.0	0.0
A	54±0.3	35
B	50±0.4	25
C	63±0.6	57.5
D	65.6±0.3	64
E	66.2±0.4	65.5
F	65.1±0	62.7
G	64±0.5	60

4.1.2 ผลการทดลองกิจกรรมที่ 1.2 นำยางคอมปาวด์ตามสูตรต่างๆ มาอัดขึ้นรูปกับแม่พิมพ์ทดสอบฮีสเทอรีซีส โดยชิ้นงานจะมีลักษณะเป็นรูป Specimen ตามมาตรฐาน ASTM D 623-99 ชิ้นงานอยู่ในรูปของทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17.78 ± 0.10 mm สูง 25.4 ± 0.15 mm จากนั้นนำชิ้นงานมาทดสอบการกดและปล่อยให้คืนรูปอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราเร็วในการกด 12 mm/min ที่ความเครียด 50% การเก็บข้อมูลทำได้โดยการนำชิ้นทดสอบแต่ละสูตรมาอย่างละ 3 ชิ้น แล้วนำผลของวงฮีสเทอรีสิสมาเฉลี่ยและคำนวณหาค่าพื้นที่ข้างในวงรอบฮีสเทอรีสิสเพื่อนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานของยางสูตรต่างๆดังแสดงในรูปที่ 4.5 และดังแสดงในตารางที่ 4.5 จากผลการทดสอบพบว่าสูตรยาง B จะมีพื้นที่ใต้กราฟมีค่าต่ำสุด และสูตรยาง D (ซึ่งจะใกล้เคียงกับยางสูตร F) จะมีพื้นที่ใต้กราฟสูงสุด ซึ่งพื้นที่ใต้กราฟที่มากจะบ่งบอกถึงการดูดซับพลังงานของวัสดุที่มากหรือมีการสะสมความร้อนที่มากด้วยนั้นเอง ในที่นี่สามารถเรียงค่าพื้นที่ใต้กราฟจากน้อยไปมากตามลำดับได้ดังนี้ สูตร B < สูตร A < สูตร C < สูตร G < สูตร E < สูตร D < สูตร F

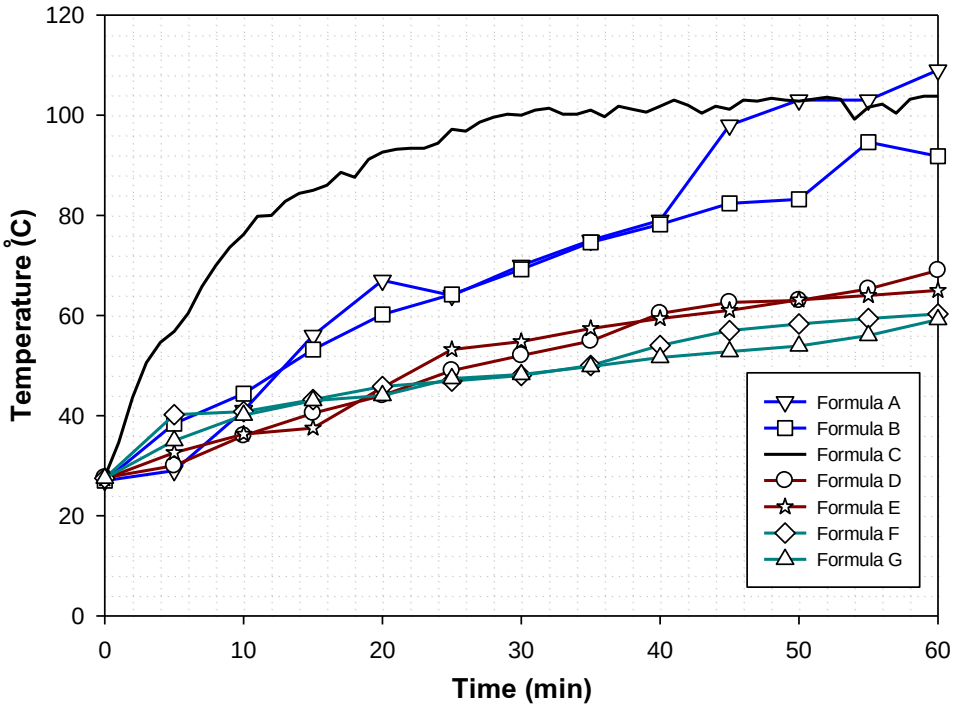


รูปที่ 4.5 แสดงผลของวงฮีสเทอรีสิสที่ความเครียดคงที่ (50% strain) ของยางสูตรต่างๆ

ตารางที่ 4.5 แสดงพื้นที่ใต้กราฟวงรอบฮีสเทอรีซีสที่ความเครียดคงที่ (50% strain) ของล้อยางสูตรต่างๆ

Formula	Area (MPa)	STDEV
A	0.234	0.009
B	0.125	0.005
C	0.260	0.012
D	0.436	0.016
E	0.414	0.011
F	0.425	0.017
G	0.409	0.015

4.1.3 ผลการทดลองกิจกรรมที่ 1.3 นำยางคอมปาวด์ตามสูตรต่างๆ มาอัดขึ้นรูปกับแม่พิมพ์ล้อยางตันขนาดเล็ก จะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นล้อยางขนาดหน้ายางกว้าง 40 mm ขอบยางลึก 40 mm และเส้นผ่านศูนย์กลาง 160 mm จากนั้นนำไปทดสอบกับเครื่องทดสอบล้อยางตันขนาดเล็ก โดยทดสอบที่แรงกดสูงสุด สังเกตุระยะยุบที่ 40% ของระยะยุบของล้อ ที่ความเร็วรอบของเพลา 830 rpm หรือ ที่ความเร็ว 25 km/hr จนล้อเกิดการระเบิด บันทึกค่าเวลาและอุณหภูมิ



รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของแก้มยางของล้อยางสูตรต่างๆ ที่ทดสอบวิ่งบนเครื่องทดสอบล้อยางตันขนาดเล็ก ที่ระยะยุบ 40 % ของระยะยุบของล้อ และความเร็ว 25 km/hr ที่เวลา 60 นาที

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่าล้อยางสูตร A อุณหภูมิเพิ่มขึ้นแบบไม่คงที่ (Transient) จนถึง 109 องศาเซลเซียส ที่นาทีที่ 60 แสดงว่าความร้อนที่สะสมภายในล้อยางสูตร A นั้นน่าจะมีผลมาจากการผสมสารฟูที่เป็นตัวทำให้ยางเกิดการถ่ายเทความร้อนหรือเกิดการระบายความร้อนออกภายนอกได้ดีนั้นเอง ในทางเดียวกันล้อยางสูตร B อุณหภูมิก็เพิ่มขึ้นแบบไม่คงที่จนถึงนาทีที่ 57 เป็นจุดอุณหภูมิสูงสุดที่ 96 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิเริ่มคงที่ (Steady state) ที่ 91 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับล้อยางสูตร A พบว่าล้อยางสูตร B มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่ำกว่าล้อยางสูตร A ซึ่งหมายความว่าจำนวนสารฟูที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้การถ่ายเทความ

ร้อนดีขึ้น น้ำหนักเบา และมีความหนาแน่นน้อย ส่วนล้อยางสูตร C อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงนาทีที่ 35 อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส จากนั้นก็เริ่มคงที่ ในล้อยางสูตร C นั้นเมื่อเปรียบเทียบกับล้อยางสูตร A และ สูตร B อุณหภูมิของล้อยางสูตร C จะเกิดขึ้นสูงกว่าสูตร A และ สูตร B แสดงว่าล้อยางที่ผสมสารฟูจะมีแนวโน้มของการเกิดความร้อนสะสมภายในช้ากว่าล้อยางสูตร C ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งจะส่งผลไปถึงความคงทนและการระเบิดของล้อยาง ในทำนองเดียวกันเมื่อเติมสารตัวเติมเพื่อเพิ่มความแข็งให้กับโฟมยางจากการทดลองพบว่า ล้อยางสูตร D E F และ G มีการเริ่มต้นของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแบบไม่คงที่ ซึ่งมีความสอดคล้องกับการทดลองการเกิดฮีสเทอรีสิส และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตร A B และ C แล้วสูตร D E F G มีความร้อนที่สะสมอยู่ภายในเนื้อโฟมยางน้อยกว่า หรือมีการถ่ายเทความร้อนออกดีกว่า ซึ่งก็หมายความว่ามีการเก็บและก็ปล่อยอย่างรวดเร็ว อีกอย่างที่ส่งผลต่อการเกิดความร้อนในการทดลองนี้ก็คือค่าความแข็ง ซึ่งมีความสอดคล้องกันในสูตรต่างๆ โดยอาจจะส่งผลถึงการเกิดความยืดหยุ่น (Stiffness) ภายในเนื้อยางและความสัมพันธ์ของการเกิดความร้อนสะสมภายในด้วย

4.2 ผลการทดลองกิจกรรมที่ 2 คือ ออกแบบอุปกรณ์เสริมล้อยางลม และสร้างแม่พิมพ์

4.2.1 ต้นแบบอุปกรณ์เสริมล้อยางลม

ในงานวิจัยนี้อุปกรณ์เสริมล้อยางลมทำมาจากโฟมยางดังแสดงในรูปที่ 4.7 โดยการออกแบบอุปกรณ์เสริมล้อยางลมนั้น จะขึ้นรูปจากสูตรล้อยางที่ดีที่สุดจากกิจกรรมที่ 4.1 และอุปกรณ์เสริมล้อยางลมจะต้องมีความโค้งและมุมเอียงให้เข้ากับรูปร่างของกระทะล้อ น้ำหนักเบา มีความแข็งสามารถรับโหลดจริงได้ และมีการยึดติดกับกระทะล้อได้ดี ในส่วนของการยึดติดนั้นจะใช้กาว เข็มขัดรัด และสกรูเป็นหลัก และการออกแบบจะรวมไปถึงความทนทานในการเจาะของตะปูเรือใบที่จะส่งผลไปยังกระทะล้อและล้อยางลมด้วย ปัจจัยที่ส่งผลถึงการออกแบบชิ้นงานมีดังนี้

รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะของอุปกรณ์เสริมล้อยางลม

ขอบเขตและปัจจัยที่ส่งผลถึงการออกแบบ มีดังนี้

1). เครื่องอัดขึ้นรูปยาง (Hot press machine) ที่มีขนาด 60cm x 60cm จึงต้องทำให้ชิ้นงานนั้นมีความกว้างและความยาวให้เท่ากับขนาดของเครื่องอัดขึ้นรูปยาง ซึ่งในที่นี้จะต้องแบ่งชิ้นงานออกเป็น 3 ชิ้น แล้วนำมาประกอบกันเป็นล้อ 1 ล้อ ดังแสดงในรูปที่ 4.7

2). ชิ้นงานจะต้องไม่มีลักษณะที่ซับซ้อนมากจนเกินไป เพราะจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการสร้างแม่พิมพ์มีราคาสูง

3). จะต้องมีความสะดวกในการติดตั้งบนแท่นอัดขึ้นรูปยาง และเครื่องทดสอบ

4). สามารถนำไปใช้กับกระทะล้อยี่ห้อไหนก็ได้ แต่ขนาดของขอบกระทะล้อจะต้องมีขนาด 15 นิ้ว เท่านั้น

การออกแบบอุปกรณ์เสริมล้อยางลมมี 3 แบบดังนี้

1). รูปแบบของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมแบบที่ 1 หรือเรียกว่า RFSR1 (Run Flat Tire Support Ring 1)

แบบ RFSR 1 มี 3 ชิ้น ประกอบเข้าด้วยกันรอบกระทะล้อเป็นจำนวน 1 ล้อ ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนดังแสงในรูปที่ 4.8 ในการออกแบบนั้น จะมีลักษณะตามแนวโค้งของกระทะล้อซึ่งกระทะล้อมีมุม 360 องศา โดยจะแบ่งอุปกรณ์เสริมล้อยางลมเป็น 3 ชิ้น แต่ละชิ้นจะทำมุม 120 องศา กับกระทะล้อ ตัวชิ้นงาน ผิวล่างสามารถยึดติดได้โดยใช้กาว และส่วนข้อต่อระหว่างแผ่นใช้น๊อตและสกรูเป็นตัวยึด ตัวชิ้นงานมีความกว้าง 4.5 นิ้ว และหนาโผ่ออกมาจากกระทะล้อ 2 นิ้ว เพื่อรับน้ำหนักจากภาระโหลดของรถ

รูปที่ 4.8 แสดงรูปร่างของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมแบบ RFSR1

2). รูปแบบของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมแบบที่ 2 หรือเรียกว่า RFSR2 (Run Flat Tire Support Ring 2)

แบบ RFSR2 มี 3 ชิ้น ประกอบเข้าด้วยกันรอบกระทะล้อเป็นจำนวน 1 ล้อ ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนดังแสดงในรูปที่ 4.9 ในการออกแบบนั้นจะมีร่องตรงกลางลึก 0.5 นิ้ว ของชิ้นงานเพื่อทำการยึดด้วยเข็มขัดรัด และมีลักษณะตามแนวโค้งของกระทะล้อซึ่งกระทะล้อมีมุม 360 องศา โดยจะแบ่งอุปกรณ์เสริมล้อยางลมเป็น 3 ชิ้น แต่ละชิ้นจะทำมุม 120 องศา กับกระทะล้อ ตัวชิ้นงาน ผิวล่างสามารถยึดติดได้โดยใช้กาว และส่วนข้อต่อระหว่างแผ่นใช้น๊อตและสกรูเป็นตัวยึด ตัวชิ้นงานมีความกว้าง 4.5 นิ้ว และหนาโผ่ออกมาจากกระทะล้อ 2 นิ้ว เพื่อรับน้ำหนักจากโหลดของรถ

รูปที่ 4.9 แสดงรูปร่างของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมแบบ RFSR 2

3). รูปแบบของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมแบบที่ 3 หรือเรียกว่า RFSR3 (Run Flat Tire Support Ring 3)

แบบที่ RFSR3 มี 3 ชิ้น ประกอบเข้าด้วยกันรอบกระทะล้อเป็นจำนวน 1 ล้อ ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนดังแสงในรูปที่ 4.10 ในการออกแบบนั้นตรงผิวขอบจะมีลักษณะเป็นผิวโค้งซึ่งจะสามารถลดแรงสัมผัสระหว่างล้อยางลมกับอุปกรณ์เสริมล้อยางลม โดยจะมีลักษณะตามแนวโค้งของกระทะล้อซึ่งกระทะล้อมีมุม 360 องศา โดยจะแบ่งอุปกรณ์เสริมล้อยางลมเป็น 3 ชิ้น แต่ละชิ้นจะทำมุม 120 องศา กับกระทะล้อ ตัวชิ้นงาน ผิวล่างสามารถยึดติดได้โดยใช้กาว และส่วนข้อต่อระหว่างแผ่นใช้น๊อตและสกรูเป็นตัวยึด ตัวชิ้นงานมีความกว้าง 4.5 นิ้ว และหนาโผ่ออกมาจากกระทะล้อ 2 นิ้ว เพื่อรับน้ำหนักจากโหลดของรถ

รูปที่ 4.10 แสดงรูปร่างของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมแบบ RFSR3

ผลของการออกแบบและเลือกชิ้นของอุปกรณ์เสริมล้อยางลม จากการพิจารณาพบว่ามีเงื่อนไขหลายอย่างในการสั่งทำแม่พิมพ์ ซึ่งจากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้วว่าขอบเขตและปัจจัยที่ส่งผลถึงการออกแบบ นั้นเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการออกแบบ ซึ่งจากขอบเขตข้อที่ 1 และข้อที่ 2 ข้างบน จึงตัดสินใจเลือกแบบที่ 1 คือ RFSR1 เหตุผลเพราะชิ้นงานมีลักษณะที่ไม่ซับซ้อน ค่าใช้จ่ายในการทำแม่พิมพ์น้อยกว่า RFSR2 และ RFSR3 ถึง 2-3 เท่า จึงนำแบบ RFSR1 มาศึกษาข้อจำกัดและสมรรถนะเพื่อหาแนวโน้มต่อไป

4.2.2 กิจกรรมที่ 2.2 สร้างแม่พิมพ์

แม่พิมพ์ทำมาจากเหล็กชุบแข็งกลึงและกัดด้วยเครื่อง CNC แบบ 5 Degree of Freedom มีน้ำหนัก 140 กิโลกรัม มีขนาด 24.5 cm x 51 cm x17.8 cm ราคารวมภาษี 32,100 บาท จากห้างหุ้นส่วนจำกัด กิ๊บบอส เอ็นจิเนียริ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.11

รูปที่ 4.11 แสดงแม่พิมพ์ที่ทำการออกแบบจากชิ้นงานแบบ RFSR1

ผลการอัดขึ้นรูปอุปกรณ์เสริมล้อยางลมในแม่พิมพ์พบปัญหาเกิดขึ้นดังนี้

1).การอัดขึ้นรูปชิ้นงานเนื่องจากยางคอมปาวด์ไหลไม่สม่ำเสมอเมื่อนำชิ้นงานออกมาจากแม่พิมพ์ พบว่ายางมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.12 โดยมีลักษณะเป็นรอยขรุขระผิวไม่เรียบและมีกลิ่นเหม็น ซึ่งปัญหานี้น่าจะมาจากยางคอมปาวด์ที่ผสมกับเคลย์ จึงทำให้ยางเกิดการพองตัวอย่างเดียว เมื่อนำยางชนิดดังกล่าวไปอัดขึ้นรูปเป็นแบบมาตราฐาน Specimen D 575-91 โดยใส่ยางที่ 90% โดยปริมาตรของแม่พิมพ์ Specimen ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที พบว่ายางมีผิวไม่เรียบ และมีลักษณะการไหลที่ไม่สม่ำเสมอแต่มีข้อดีคือยางที่ผสมเคลย์จะแข็งมากกว่ายางสูตรอื่นๆ

รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะสูตรยางที่ผสมเคลย์หลังการอัดขึ้นรูป

2). ทดลองการไหลของยางคอมปาวด์ โดยใช้ยางของสูตรที่ไม่เติมสารฟูและเคลย์นำมาอัดขึ้นรูปในแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที โดยใส่จำนวนของยางคอมปาวด์ในแม่พิมพ์ประมาณ 2.8 กิโลกรัม หรือ 100% ของปริมาตรแม่พิมพ์ ผลปรากฏว่ายางที่ได้มีลักษณะผิวขรุขระ เป็นหลุมคล้ายฟองอากาศ และมีลักษณะการไหลที่ไม่สม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งอาจจะเป็นไปได้เกี่ยวกับกระบวนการในการพันยางคอมปาวด์ใส่ลงในแม่พิมพ์หรือรูล้นที่ไล่อากาศเพื่อให้ยางเกิดการไหลออกมาได้ดี เกิดเป็นฟองอากาศน้อยลง และผิวเรียบสวย

รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะสูตรยางที่ไม่เติมสารฟูและเคลย์ หลังการอัดขึ้นรูป

3). เมื่ออัดชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว ปัญหาอีกอย่างที่เกิดขึ้น คือการนำโฟมยางออกจากแม่พิมพ์ ซึ่งเมื่อโฟมยางสุก โฟมยางก็จะเกิดการขยายตัว จึงทำให้ไม่สามารถนำชิ้นงานออกได้อย่างง่ายและรวดเร็ว ดังนั้นจะต้องคิดหาวิธีนำยางออกมา และทำให้ชิ้นงานไม่เกิดความเสียหายด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งยางที่อัดขึ้นรูปเสร็จแล้วแต่ไม่สามารถนำยางออกจากแม่พิมพ์ได้ ดังนี้นจึงใช้การงัดออก จึงทำให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาด

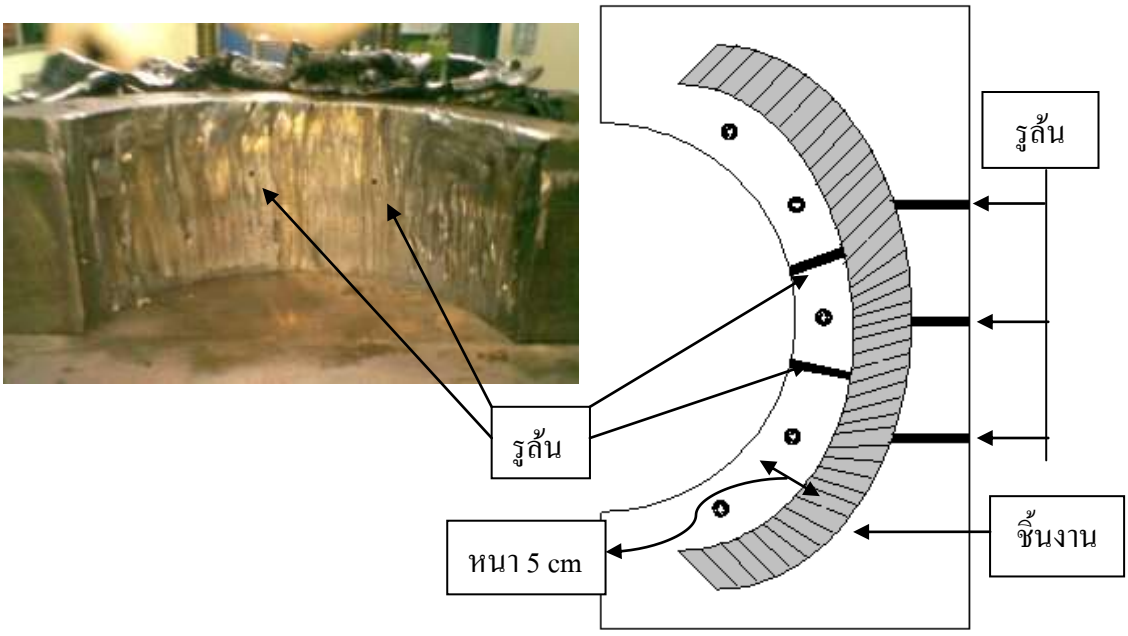
รูปที่ 4.14 แสดงชิ้นงานที่ได้หลังการอัดขึ้นรูป

ดังนั้นจากการทดลองดังกล่าวพบว่าไม่สามารถอัดขึ้นรูปชิ้นงานได้ เนื่องจากชิ้นงานหลังการอัดขึ้นรูปแล้วมีลักษณะผิวขรุขระ จึงไม่สามารถนำชิ้นงานไปติดตั้งกับกระทะล้อและทำการทดสอบได้ จึงต้องทำการปรับแต่งแม่พิมพ์เพื่อจะทำให้ชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปแล้ว ให้มีลักษณะผิวที่เรียบขึ้นและสามารถนำไปติดตั้งกับกระทะล้อเพื่อนำไปทดสอบกับเครื่องทดสอบล้อยางตันต่อไป ในการปรับแต่งแม่พิมพ์จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.15

(a) (b)

รูปที่ 4.15 (a) แสดงแม่พิมพ์เดิม และ (b) แสดงแม่พิมพ์ที่ทำการดัดแปลง

ในการปรับแต่งนั้นจะตัดเอาเหล็กส่วนที่หนาออกไปดังแสดงในรูปที่ 4.15 (b) เพื่อที่จะทำให้สามารถเจาะรูล้นเพื่อให้ยางสามารถไหลออกมาได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีการกัดชิ้นงานเป็นลักษณะเว้าเข้าไปโดยมีความหนาจากขอบชิ้นงานประมาณ 5 cm และเจาะรูล้นจำนวน 5 รู ให้อากาศออก เพื่อจะทำให้ยางมีลักษณะการไหลที่ดีขึ้น ดังแสดงโมเดลการเจาะดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงการปรับแต่งแม่พิมพ์และรูล้นเพื่อทำให้ยางไหลดีขึ้น

ในส่วนของแม่พิมพ์ที่ตัดออกไปนั้นน้ำหนักประมาณ 40 กิโลกรัม จึงทำให้แม่พิมพ์มีน้ำหนักเหลือเพียง 100 กิโลกรัม จากน้ำหนักเดิม 140 กิโลกรัม ซึ่งจะส่งผลถึงการถ่ายเทความร้อนในการอัดขึ้น

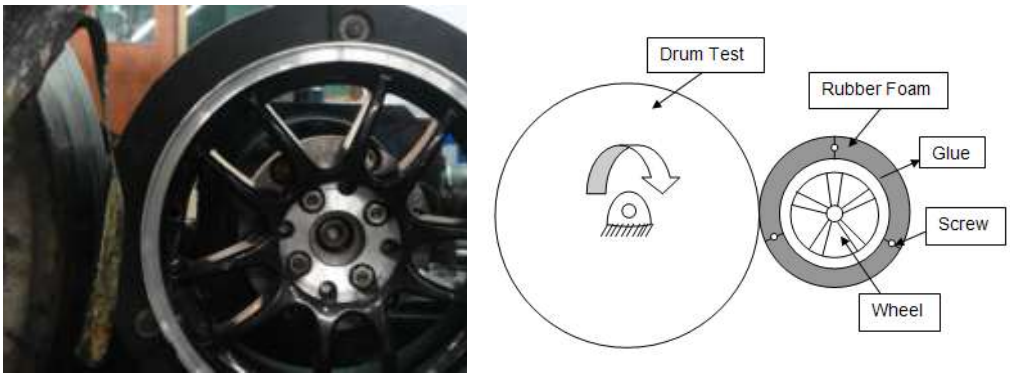
รูปได้ดีขึ้นด้วย เพราะเมื่อเปิดเครื่องอัดขึ้นรูปปรากฏว่าแม่พิมพ์ที่มีความหนามากและมีน้ำหนักมากจะมีการถ่ายเทความร้อนได้ช้ากว่าแม่พิมพ์ที่มีความหนาน้อยกับมีน้ำหนักน้อย ซึ่งจะส่งผลต่อการคงที่ของอุณภูมิในการอัดขึ้นรูปด้วย

เมื่อทำการปรับแต่งเสร็จแล้ว จากนั้นนำยางคอมปาวด์มาอัดขึ้นรูปชิ้นงานในแม่พิมพ์ที่ได้ทำการปรับแต่ง และชิ้นงานที่ได้จากการอัดจะมีลักษณะดังแสดงดังรูปที่ 4.17

รูปที่ 4.17 แสดงชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปหลังการดัดแปลงแม่พิมพ์

ผลที่ได้จากการปรับแต่งแม่พิมพ์ พบว่าชิ้นงานมีลักษณะผิวเรียบขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปกับแม่พิมพ์เดิม และเกิดเป็นฟองอากาศน้อย จากนั้นทำการอัดชิ้นงานทั้งหมด 3 ชิ้น แล้วนำชิ้นงานไปทำการจับยึดเพื่อที่จะนำไปทดสอบกับเครื่องทดสอบล้อยางตันในกิจกรรมต่อไป

4.3 ผลการทดลองกิจกรรมที่ 3 คือ ศึกษาการจับยึดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อโดยใช้กาว และสกรูยึดติด แล้วนำมาทดสอบความทนทานกับเครื่องทดสอบ Drum test ดังแสดงในรูปที่ 4.18 ในกิจกรรมนี้ยังไม่มีการใช้ล้อยางลม แต่เป็นการทดสอบเฉพาะอุปกรณ์เสริมล้อยางลมเท่านั้นทั้งนี้เพื่อ ดูลักษณะการจับยึดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อโดยการทดสอบที่ความเร็ว ระยะทาง และเวลา เพื่อสังเกตดูประสิทธิภาพในการยึดติดของกาวระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมหลุดจากกระทะล้อโดยมีวิธีการทดสอบดังนี้



รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับเครื่องทดสอบ

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1). การทดสอบหาระยะยุบตัวโดยการกดโหลดที่สภาพหยุดนิ่ง (Static test) โดยทดสอบการกดเพื่อหาระยะยุบของชิ้นงานโดยใช้โหลดตามมาตรฐานล้อยางลม มอก.367-2529 ซึ่งล้อยางมีขนาด 195/60R15 และมีประสิทธิภาพในการรับโหลดสูงสุดที่ 530 กิโลกรัมต่อจำนวน 1 ล้อ ดังแสดงในรูปที่ 4.19

ขนาดยางรถยนต์ (1)	ความกว้างวงล้อ มิลลิเมตร (นิ้ว)	ความกว้างเปิดเสร็จของยาง มิลลิเมตร	เส้นผ่านศูนย์กลางเปิดเสร็จของยาง มิลลิเมตร	ความลึกร่องยางต่ำสุด มิลลิเมตร	ประสิทธิภาพการใช้งาน		พลังงานทำลายต่ำสุด นิวตันเมตร
					ความดันลม กิโลปาสกาล	การรับน้ำหนัก กิโลกรัม	
165/60 R 12	114.3(4.5)	158–172	497–513	5.2	240	335	225.0
165/60 R 13	114.3(4.5)	158–172	522–538	5.2	240	335	225.0
165/60 R 14	114.3(4.5)	158–172	548–564	5.2	240	375	225.0
175/60 R 13	127.0(5.0)	170–184	534–551	5.4	250	400	300.0
175/60 R 14	127.0(5.0)	170–184	560–577	5.4	250	425	300.0
185/60 R 13	127.0(5.0)	177–191	545–563	5.6	250	450	300.0
185/60 R 14	127.0(5.0)	177–191	571–589	5.6	250	475	300.0
185/60 R 15	127.0(5.0)	177–191	596–614	5.6	250	500	300.0
195/60 R 13	139.7(5.5)	188–204	557–576	5.8	250	485	300.0
195/60 R 14	139.7(5.5)	188–204	583–602	5.8	250	515	300.0
195/60 R 15	139.7(5.5)	188–204	608–627	5.8	250	530	300.0
205/60 R 13	139.7(5.5)	195–211	566–585	6.0	250	515	300.0
205/60 R 14	139.7(5.5)	195–211	592–614	6.0	250	545	300.0
205/60 R 15	139.7(5.5)	195–211	620–639	6.0	250	580	300.0
205/60 R 16	139.7(5.5)	195–211	645–664	6.0	250	615	300.0
215/60 R 13	152.4(6.0)	207–225	580–601	6.0	250	560	300.0
215/60 R 14	152.4(6.0)	207–225	606–627	6.0	250	580	300.0
215/60 R 15	152.4(6.0)	207–225	631–652	6.0	250	600	300.0
215/60 R 16	152.4(6.0)	207–225	656–677	6.0	250	630	300.0

ขนาดของล้อยางทดสอบ

รูปที่ 4.19 แสดงตารางมาตรฐานของล้อยางลม มอก.365-2529

วิธีการทดสอบมี 2 แบบ คือ แบบไม่ติดกาว และแบบติดกาว

ผลการทดลองแบบไม่ติดกาว

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบการยึดติดแบบไม่ติดกาว โดยการกดโหลดแบบหยุดนิ่ง

Load (kN)	Displacement(mm)
2	6.1
3	7.7
4	12.4
5	14.1
6	15.2
7	16.2

จากผลการทดสอบพบว่าระยะยุบตัวของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมสามารถยุบตัวที่น้ำหนักสูงสุดของการรับน้ำหนักได้ของยางลมดังแสดงในตารางที่ 4.6 ตามมาตรฐานล้อยางลม มอก.367-2529 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักสูงสุดที่ 530 กิโลกรัม หรือ 5.3 kN โดยอุปกรณ์เสริมล้อยางลมมีความแข็งที่จะสามารถรับน้ำหนักได้

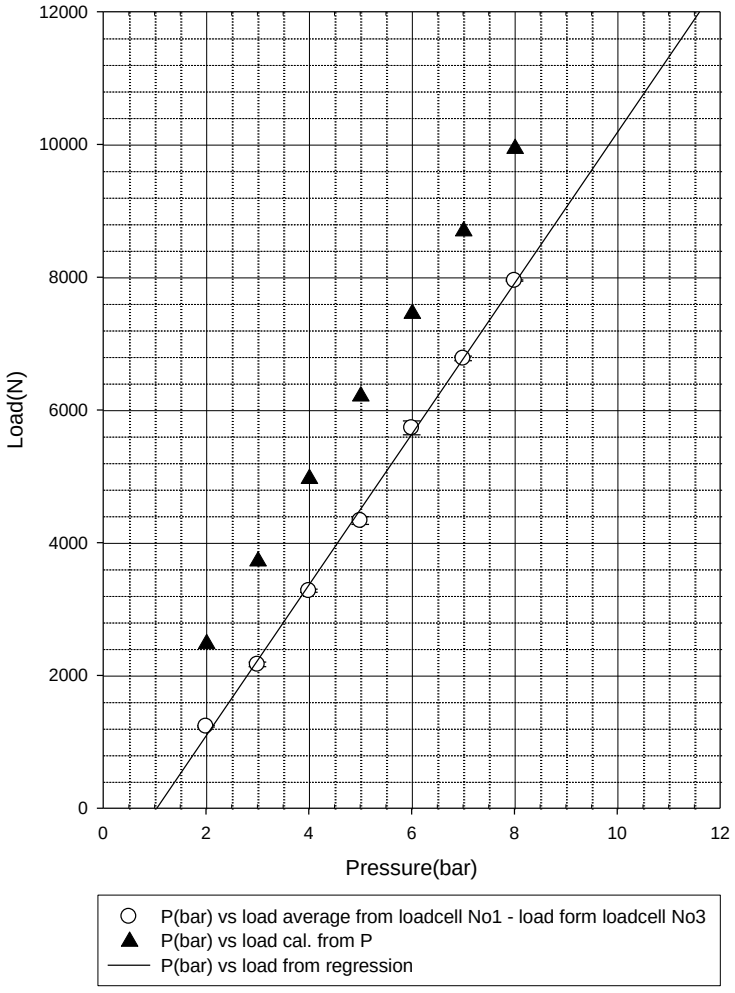
ผลการทดลองแบบติดกาว

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบการยึดติดแบบติดกาว โดยการกดโหลดแบบหยุดนิ่ง

Load (kN)	Displacement(mm)
2	1.7
3	2.8
4	4.5
5	6
6	7.3
7	8.8

จากผลการทดสอบโดยการยึดติดด้วยกาว ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าระยะยุบตัวแบบยึดติดกาวกับอุปกรณ์เสริมล้อยางลมจะมีค่าการยุบตัวน้อยลงเมื่อเทียบกับแบบไม่ยึดติดกาวดังแสดงในตารางที่ 4.6 เนื่องจากกาวเมื่อโดนอากาศจะเกิดการแข็งตัวและทำหน้าที่ไปอุดช่องว่างระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อทำให้ไม่มีช่องว่าง เมื่อกดโหลดจะเกิดการยุบตัวเฉพาะยาง แต่เมื่อไม่มีกาวก็จะมีช่องว่างบริเวณระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อ เมื่อกดโหลดเข้าไปยางก็จะยุบตัวเข้าไปตรงบริเวณช่องว่างด้วย

2). การทดสอบหาระยะยุบตัวโดยการกดโหลดที่สภาวะเคลื่อนที่ (Dynamic test) โดยการทดสอบการกดเพื่อหาระยะยุบของชิ้นงานโดยใช้โหลดของล้อยางลม ตามมาตรฐานล้อยางลม มอก.367-2529 ซึ่งล้อยางลมมีขนาด 195/60R15 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักสูงสุดที่ 530 กิโลกรัม หรือ 5.3 kN และที่ความเร็ว 23 km/hr โหลดที่ใช้ในการทดสอบบนเครื่องทดสอบประมาณ 6 bar หรือ 530 กิโลกรัมดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงตารางการใส่โหลดของเครื่องทดสอบล้อยางตัน

วิธีการทดสอบมี 2 แบบ คือ แบบไม่ติดกาว และแบบติดกาว

ผลการทดลองแบบไม่ติดกาว

ผลการทดลองพบว่าอุปกรณ์เสริมล้อยางลมเกิดการลื่นไถลกับกระทะล้อ โดยที่อุปกรณ์เสริมล้อยางลมหมุนแต่กระทะล้อไม่หมุน

ผลการทดลองแบบติดกาว

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบการยึดติดแบบติดกาว โดยการทดสอบแบบสภาวะเคลื่อนที่ (Dynamic test)

Load (kN)	Displacement (mm)
2	5.6
3	9.1
4	-
5	-
6	-
7	-

จากผลการทดสอบพบว่าที่ระยะ 4 kN ดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่าชั้นกาวไม่ยึดติดกับอุปกรณ์เสริมล้อยางลมแล้ว จึงทำให้อุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อไม่ติดกัน และส่งผลให้เกิดการลื่นไถล โดยที่อุปกรณ์เสริมล้อยางลมหมุนเพียงอย่างเดียวและกระทะล้อไม่หมุน ดังนั้นการทดสอบจึงสรุปได้ว่าการยึดติดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อด้วยกาวจึงไม่สามารถนำมาใช้ยึดกันได้ เพราะความเร็วของล้อที่หมุนทำให้เกิดแรงเฉือนที่บริเวณอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อจึงทำให้อุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกะทะล้อหลุดออกจากกัน นอกจากนั้นในส่วนของบริเวณยึดติดด้วยกาวก็ยังไม่สามารถยึดติดได้ทั้งหมดซึ่งจะมีช่องว่างระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการปรับแต่งแม่พิมพ์ที่ทำให้เหล็กเกิดการขยายตัวเนื่องจากการตัดด้วยความร้อน จึงทำให้กาวหลุดออกจากชิ้นงานได้ง่าย เนื่องจากในการทดสอบชั้นกาวไม่สามารถยึดติดกันระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อได้ ดังนั้นจึงมีการหาวิธียึดติดแบบใหม่ เพื่อทำให้เกิดความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นจึงมองว่าน่าจะนำสกรูมายึดติดโดยทำการเจาะรูของกระทะล้อ และเจาะรูชิ้นงานของอุปกรณ์เสริมล้อยางลม ดังแสดง

ในรูปที่ 4.21 โดยทำการออกแบบและคำนวณ ซึ่งนำสกรูขนาด M10 ที่ทำมาจาก Stainless Steel จำนวน 1 ตัวมายึดติดกับอุปกรณ์เสริมล้อยางลม 1 ชิ้น รวมทั้งหมด 3 ตัว จากนั้นนำมายึดติดกันและนำมาทดสอบดังนี้

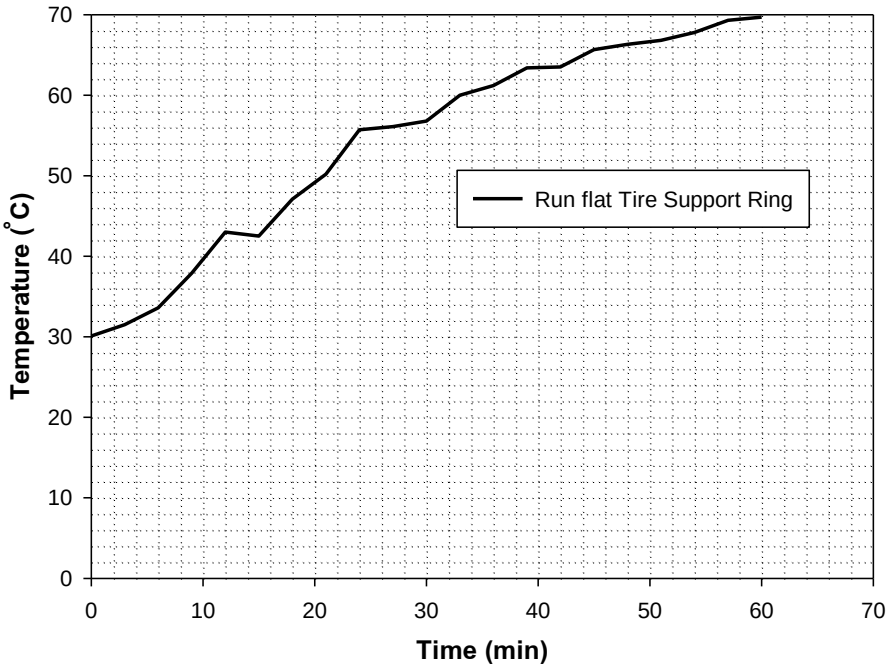
รูปที่ 4.21 แสดงการเจาะรูชิ้นงานและยึดด้วยสกรู

3). การทดสอบการยึดด้วยสกรูเพื่อหาระยะยุบตัวด้วยการกดโหลดที่สภาพหยุดนิ่ง (Static) โดยการทดสอบเพื่อหาระยะยุบของชิ้นงานโดยใช้โหลด ตามมาตราฐานล้อยางลม มอก.367-2529 ล้อยางมีขนาด 195/60R15 โดยมีประสิทธิภาพของการใช้งาน และการรับน้ำหนักสูงสุด 530 กิโลกรัมหรือ 5.3 kN ต่อล้อ ซึ่งมีผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงโหลดที่กดลงบนชิ้นงานและระยะยุบของชิ้นงาน

Load(kN)	**Displacement(mm)**
1	6.1
2	7.7
3	12.4
4	14.1
5	15.2
6	16.2
7	17.6

4). การทดสอบการยึดด้วยสกรูแบบ (Dynamic test) โดยการทดสอบการกดเพื่อหาระยะยุบของชิ้นงานโดยใช้โหลดของล้อยางลม ตามมาตรฐานล้อยางลม มอก.367-2529 ซึ่งล้อยางลมมีขนาด 195/60R15 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักสูงสุดที่ 530 กิโลกรัม หรือ 5.3 kN และที่ความเร็ว 23 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ความเร็วรอบของเพลา 1450 rpm ซึ่งโหลดที่ใช้ในการทดสอบบนเครื่องทดสอบที่ประมาณ 6 bar หรือ 530 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.22 แสดงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของล้อทดสอบที่ความเร็ว 23 km/hr

จากผลการทดสอบพบว่า ล้อยางวิ่งด้วยความเร็ว 23 km/hrที่เวลา 60 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.22 อุณหภูมิที่แก้มยางนั้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 69.3 องศาเซลเซียสจากนั้นสกรูก็เริ่มคลายตัวจนทำให้เกิดเสียงดัง โดยที่อุปกรณเสริมล้อยางลมไม่เกิดการระเบิด จึงปิดเครื่อง และสังเกตว่าสาเหตุที่เกิดขึ้นนั้นมาจากการเกิดแรงกด (Compression) และแรงดึง (Tensile) ของอุปกรณ์เสริมล้อยางลม จึงทำให้โฟมยางเกิดการยืดตัวและหดตัวทำให้สกรูที่ยึดระหว่างกระทะล้อกับโฟมยางนั้นเกิดช่องว่างและทำให้มีเสียงดัง จึงทำให้สกรูนั้นเริ่มคลายตัวออกมา

4.4 ผลการทดลองกิจกรรมที่ 4 นำอุปกรณ์เสริมล้อยางลมใส่ในล้อยางลม โดยที่ยังไม่มีการเติมลม แล้วทดสอบกับเครื่องล้อยางตัน Drum test ดูการเปลี่ยนแปลงของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมภายในล้อยางลม โดยการทดสอบแรงกดที่ตามมาตราฐานล้อยางลม มอก.367-2529 ล้อยางมีขนาด 195/60R15 โดยมีประสิทธิภาพของการใช้งาน และการรับน้ำหนักสูงสุด 530 กิโลกรัมหรือ 5.3 kN ต่อล้อ ทดสอบที่ความเร็ว 23 km/hr (Maximum) ที่เวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นทดสอบโดยเจาะล้อยางลม สังเกตดูสมรรถณะและประสิมธิภาพของล้อยาง

ผลการทดสอบล้อสามารถวิ่งได้ระยะทางประมาณ 230 km โดยที่อุณหภูมิภายนอกของล้อยางลมสูงสุดอยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส และเมื่อนำอุปกรณ์เสริมล้อยางลมออกมาพบว่าไม่มีการฉีกขาดระหว่างสกรูกับอุปกรณ์เสริมล้อยางลม ซึ่งอาจจะเป็นได้ว่าเมื่อวิ่งแบบมียางนอกด้วยนั้น ยางนอกสามารถที่จะรับน้ำหนักจากการกดของโหลด โดยจะช่วยลดการรับโหลดแบบเต็มๆของอุปกรณ์เสริมล้อยางลม เพราะว่ายางนอกมีแก้มยางที่แข็ง และช่วยรองรับโหลดส่วนหนึ่งไว้ก่อนจะถึงอุปกรณ์เสริมล้อยางลม ซึ่งปัจจุบันนี้ล้อยางลมที่นิยมใช้กันก็คือยางเรเดียล เพราะมีคุณสมบัติที่แข็งโดยมีโครงสร้างแข็งแรงสามารถรองรับน้ำหนักได้ดี

4.5 ผลการทดลองกิจกรรมที่ 5 คือ เมื่อรู้แนวโน้มจากกิจกรรมที่ 4 แล้วจากนั้นนำอุปกรณ์เสริมล้อยางลมไปใส่ข้างในล้อยางลมและนำไปทดสอบกับเครื่องวัดความคงทนของยาง (Endurance) โดยมีเงื่อนไขการทดสอบดังนี้

5.1) ล้อทดสอบจำนวน 3 ล้อ และเติมลมในล้อยางที่มีอุปกรณ์เสริมล้อยางลมอยู่ภายใน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมที่ความเร็วในช่วง 60 80 และ100 km/hr โดยทำการทดสอบที่ล้อละ 8 ชั่วโมงเพื่อสังเกตดูข้อจำกัดของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมขณะมีลมอยู่ข้างในล้อ มีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงการทดสอบที่ช่วงความเร็วระหว่าง 60-100 km/hr แบบมีลม

ความเร็ว (km/hr)	เวลา (นาที)	ระยะทาง (km)	ผลที่ได้
60	30	30	Fail
80	20	27	Fail
100	-	-	Fail

5.2) ล้อทดสอบจำนวน 3 ล้อ ปล่อยหรือเจาะรูเพื่อให้ลมภายในออกให้หมด และนำไปทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะของอุปกรณ์เสริมล้อยางลม ที่ความเร็วในช่วง 40 60 และ 80 km/hr เพื่อสังเกตดูข้อจำกัดของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมขณะไม่มีลมอยู่ข้างในล้อ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงการทดสอบที่ช่วงความเร็วระหว่าง 40-80 km/hr แบบไม่มีเติมลม

ความเร็ว (km/hr)	เวลา (นาที)	ระยะทาง (km)	ผลที่ได้
40	15	10	Fail
60	5	5	Fail
80	-	-	Fail

จากผลการทดลองพบว่าล้อยางที่มีการเติมลม ต้องมีการถ่วงศูนย์ล้อก่อนจะทำการทดสอบ ซึ่งล้อยางที่เตรียมไปนั้น มีอุปกรณ์เสริมล้อยางลมที่อยู่ข้างในและน้ำหนักมาก จึงทำให้การถ่วงศูนย์ล้อไม่เกิดการสมดุล ดังนั้นเมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องวัดความคงทนของยาง (Endurance) โดยกดน้ำหนักโหลดตามมาตรฐานของล้อยางลม มอก.367-2529 ซึ่งล้อยางมีขนาด 195/60R15 โดยมีประสิทธิภาพของการใช้งาน และการรับน้ำหนักสูงสุด 530 กิโลกรัมล้อ ดังแสดงในรูปที่ 4.23 (a) เมื่อทำการทดสอบที่ความเร็ว 60 km/hr จะเกิดการสั้นแต่สั้นไม่มาก และเมื่อเวลาผ่านไปที่ 30 นาที จึงเพิ่มความเร็วเป็น 80 km/hr จะสังเกตเห็นล้อเกิดการสั่นและมีเสียงดังเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะทดสอบต่อไปได้ จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่า มีการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เสริมล้อยางลม เพราะมีช่องว่างระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อ ในการแก้ปัญหาเบื้องต้น จะทำโดยการใช้กาวยึดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อเพื่อไม่ให้อุปกรณ์เสริมล้อยางลมเกิดการเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.23 (b) แต่จะมีปัญหาในการนำเอายางลมมาสวมใส่ ต่อมาจึงได้นำเอาเข็มขัดรัด ดังแสดงในรูปที่4.23(c) มารัดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อ เมื่อนำไปถ่วงศูนย์ล้อพบว่าล้อไม่ได้สมดุล เพราะเข็มขัดรัดจะมีส่วนที่เป็นเหล็ก จึงทำให้ไม่เกิดการสมดุล จึงทำให้ไม่สามารถทดลองต่อไปยังเป้าหมายได้

จากผลการทดลองพบว่าล้อยางที่ไม่มีลม หรือเสมือนสภาวะโดนของแหลมทิ่มแทง และนำไปทดสอบกับเครื่องวัดความคงทนของยาง (Endurance) โดยกดโหลดตามมาตรฐาน

ของล้อยางลม มอก.367-2529 ซึ่งล้อยางมีขนาด 195/60R15 โดยมีประสิทธิภาพของการใช้งาน และการรับน้ำหนักสูงสุด 530 กิโลกรัมล้อ ทดสอบที่ความเร็ว 40 km/hr พบว่าล้อสามารถวิ่งต่อไปได้ที่เวลา 15 นาที เป็นระยะทาง 10 km ล้อเกิดการสะบัด และมีเสียงดัง เนื่องจากอุปกรณ์เสริมล้อยางลมเกิดการกด (Compression) และปล่อย (Tension) จึงทำให้ล้อเกิดการสะบัด จนต้องทำการหยุดเครื่องแล้วนำมาตรวจสอบพบว่าล้อยางเกิดการขยายตัวและมีความร้อนเกิดขึ้น เช่นเดียวกันกับการทดสอบที่ความเร็ว 60 km/hr

(a)

(b)

(c)

รูปที่ 4.23 (a) แสดงการทดสอบที่แรงกดโหลดที่ 530 กิโลกรัม
(b) แสดงการยึดติดโดยใช้กาวยึดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อ
(c) แสดงการยึดติดโดยใช้เข็มขัดรัดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อ

จากผลการทดลองน่าจะสรุปได้ว่าส่วนที่สำคัญที่สุดที่จะทำให้ล้อสามารถวิ่งได้โดยสภาพมีลมยางและไม่มีลมนั้น จะต้องมีการจับยึดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อให้แน่น และในส่วนของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมนั้นจะต้องมีน้ำหนักเบาเพื่อที่จะทำให้เกิดสมดุลล้อ ซึ่งจะแบ่งออกเป็นสองทาง คือ ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ใหม่ หรือปรับแต่งแม่พิมพ์ และอีกทางคือออกแบบกระทะล้อเพื่อให้มีการจับยึดกันระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อมีความมั่นคง และยึดติดกันแน่น

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. ยางที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือยางแผ่นรมควันชั้น 3 เนื่องจากยางแผ่นรมควันจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารฟูได้ดีกว่ายางสกิมซึ่งเป็นยางที่มีโมเลกุลต่ำ มีกลิ่นเหม็น และมีผิวไม่เรียบ ดังนั้นยางแผ่นรมควันชั้น 3 จึงเหมาะที่จะนำมาขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์เสริมล้อยางลม ซึ่งยางดังกล่าวจะมีราคาถูก เพราะเป็นยางเกรดต่ำ และเป็นยางที่มีการผลิตมากที่สุดในประเทศไทยและเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมการผลิตล้อยาง ซึ่งจะเห็นได้จากสมบัติทางกายภาพการทดลองที่ 4.1 จากสูตร I , II ,III , IV ,V และ VI ตามลำดับโดยการเติมสารฟูจะมีผลต่อการพองตัว ความหนาแน่นปริมาตร ขนาดของรูพรุน และน้ำหนักของล้อยางโฟมขนาดเล็กของแต่ละสูตร ถ้าเติมสารฟูจำนวนมากจะทำให้ความหนาแน่นของล้อยางโฟมน้อย และทำให้มีน้ำหนักเบาซึ่งเหมาะสำหรับการนำมาขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์เสริมล้อยางลม แต่ถ้าเติมสารฟูจำนวนมากเกินไปก็จะส่งผลทำให้ยางเกิดการพองตัวเพิ่มมากขึ้น เพราะเซลล์ที่อยู่ภายในโฟมยางนั้นมีขนาดกว้างขึ้น ซึ่งจะส่งผลไปยังน้ำหนักของโฟมยาง

2. การพองตัวจากการใส่ปริมาณยางคอมปาวด์ที่ผสมสารฟู เมื่อใส่ยางคอมปาวด์ที่ปริมาณ 70%โดยปริมาตรของแม่พิมพ์ เปรียบเทียบกับใส่ยางคอมปาวด์ที่ปริมาณ 90% เพื่อเผื่อให้ยางพองตัวเท่ากับขนาดของชิ้นงานจริง พบว่ายางที่ใส่ 70%โดยปริมาตรของแม่พิมพ์จะมีขนาดของรูพรุนที่ใหญ่กว่าที่ 90% โดยปริมาตรของแม่พิมพ์ แต่การใส่ยางคอมปาวด์ที่ปริมาณ 70%โดยปริมาตรของแม่พิมพ์ นั้นจะมีน้ำหนักน้อยกว่าที่ 90%โดยปริมาตรของแม่พิมพ์ แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อต้องการยางที่มีความแข็งที่จะรับน้ำหนักจากการกดของโหลด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วปริมาณยางคอมปาวด์ที่ 90% โดยปริมาตรของแม่พิมพ์ จะมีความแข็งมากกว่า ปริมาณยางคอมปาวด์ที่ 70% โดยปริมาตรของแม่พิมพ์ ดังนั้นจึงเลือกใส่ปริมาณยางคอมปาวด์ที่ 90%โดยปริมาตรของแม่พิมพ์ ซึ่งจะทำให้ยางมีความหนาแน่นน้อยและรับน้ำหนักได้ดี

3. ความแตกต่างของการเติมสารฟูชนิด (DPT) Open-cell กับ (ADC) Close-cell ซึ่งจะมีการกระจายของเซลล์ที่แตกต่างกัน โดยจะส่งผลไปยังการรับโหลดและความร้อนสะสมใน ในการทดลองที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าสารที่เติมสารฟูชนิด (DPT) นั้นจะรับโหลดได้น้อยกว่าสารฟูชนิด (ADC) มีสาเหตุมาจากโครงสร้างภายในของสารฟู และการพองตัวของสารฟูชนิด DPT จะมีการพองตัวทั้งสามทิศทาง ส่วน ADC นั้นจะมีการพองตัวเพียงสองทิศทาง

4. การปรับค่าความแข็งของโฟมยาง โดยใช้สารตัวเติมชนิดผงดินขาว (China clay) และ ผงหินปูน (Calcium carbonate) พบว่าโฟมยางมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และสามารถรับแรงกดได้มากกว่าโฟมยางที่ไม่ได้เติมสารตัวเติม ซึ่งจะส่งผลถึงความแข็งแรงต่อการรับแรงกด และความทนทานต่อการฉีกขาด โดยที่สารตัวเติมชนิดผงดินขาวจะมีค่าความแข็งและการรับแรงกดมากกว่าสารตัวเติมผงหินปูนเพียงเล็กน้อย ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ผงดินขาวเป็นหลัก เพราะจะมีราคาถูกกว่าผงหินปูนเพื่อลดต้นทุนในการผลิตอุปกรณ์เสริมล้อยางลม จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการเติมสารตัวเติมยังส่งผลถึงการเกิดความร้อนสะสมภายในของล้อโฟมยางขนาดเล็กได้ดีกว่าสูตรที่ไม่ได้เติมสารตัวเติม โดยการเติมสารตัวเติมนั้นจะมีพลังงานสะสมที่ดีกว่าสูตรที่ไม่ได้เติมสารตัวเติม

5. คุณสมบัติของโฟมยางที่เหมาะสมเพื่อนำมาขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์เสริมล้อยางลมนั้นจะต้องมีความแข็ง มีความทนทานต่อการรับโหลด มีน้ำหนักเบา มีความคงทนต่อความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นภายในโฟมยางและคงทนจากการทิ่มแทงด้วยของแหลม ซึ่งจากการทดลองพบว่าสูตรยางที่เติมสารตัวเติมและสารฟูนั้นมีค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นและมีคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนได้ดีเมื่อเทียบกับสารที่ไม่ได้เติมสารตัวเติม จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และทำการออกแบบชิ้นงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกแบบที่ 1 โดยการออกแบบนั้นจะออกแบบชิ้นงานเพื่ออัดขึ้นรูปเป็นจำนวน 1 ชิ้นแล้วนำมาประกอบกันเป็นจำนวน 3 ชิ้น ซึ่งจะได้เป็นอุปกรณ์เสริมล้อยางลมจำนวน 1 ล้อ เหตุผลเพราะชิ้นงานจไม่มีลักษณะที่ซับซ้อน สามารถขึ้นรูปได้ง่าย และมีข้อจำกัดของการออกแบบซึ่งจะอธิบายอยู่ในรายละเอียดของข้อเสนอแนะ

6. การศึกษาการยึดติดนั้นเป็นสิ่งสำคัญในงานวิจัยหลักในครั้งนี้ เพราะเป็นตัวแปรสำคัญที่จะทำให้อุปกรณ์เสริมล้อยางลมสามารถวิ่งได้ความเร็วและระยะทางตามที่ต้องการ เพื่อที่จะนำไปสู่เป้าหมายที่ตั้งไว้ จากผลการทดลองน่าจะสรุปได้ว่าส่วนที่สำคัญที่สุดที่จะทำให้ล้อสามารถวิ่งได้โดยสภาพมีลมยางและไม่มีลมนั้น จะต้องมีการจับยึดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อให้แน่น และในส่วนของอุปกรณ์เสริมล้อยางลมนั้นจะต้องมีน้ำหนักเบาเพื่อที่จะทำให้เกิดสมดุลล้อ ซึ่งจะแบ่งออกเป็นสองทาง คือ ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ใหม่ หรือปรับแต่งแม่พิมพ์ และอีกทางคือออกแบบกระทะล้อเพื่อให้มีการจับยึดกันระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อมีความคงทน และยึดติดกันแน่น ซึ่งรายละเอียดในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น จะแสดงในส่วนของหัวข้อข้อเสนอแนะ

5.2 ข้อเสนอแนะ

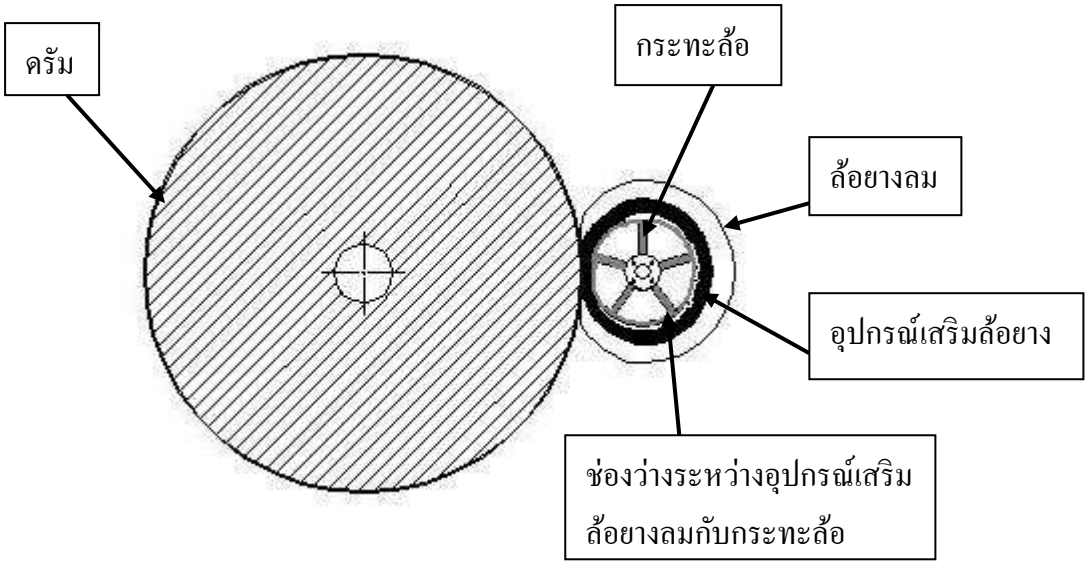
1. กระบวนการในการอัดขึ้นรูปโฟมยางนั้น จะเป็นกระบวนการที่ตรงข้ามกับการอัดขึ้นรูปยาง เพราะโฟมยางเกิดการขยายตัวเนื่องจากสารฟู แต่ยางนั้นจะเกิดการล้นออก ดังนั้นในการควบคุมผิวของโฟมยางในการอัดขึ้นนั้นทำได้ยาก ซึ่งในงานวิจัยนี้ก็จะใช้ทั้งโฟมยางเป็นชั้นยางในและยางเป็นชั้นยางนอก โดยจะใส่ยางคอมปาวด์ที่ยางชั้นใน 85-90% และยางคอมปาวด์ชั้นนอก 10-15% เพื่อควบคุมผิวของชิ้นงานให้มีผิวที่เรียบตามที่ต้องการ

2. ปัจจัยที่ช่วยในการออกแบบชิ้นงานก็จะเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ได้ชิ้นงานออกมาใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีขอบเขตและข้อจำกัดดังนี้ คือ เครื่องอัดขึ้นรูปยาง (Hot press machine) ที่มีขนาด 60cm x 60cm จึงจะต้องทำให้ชิ้นงานนั้นมีขนาดความกว้าง ความยาวและความหนาให้เท่ากับขนาดของเครื่องอัดขึ้นรูปยาง ซึ่งในที่นี้จะต้องแบ่งชิ้นงานออกเป็น 3 ชิ้น ซึ่งในการยึดกันระหว่าง 3 ชิ้นจะยากกว่าสองชิ้น

3. การปรับแต่งแม่พิมพ์โดยการตัดด้วยความร้อนนั้นจะทำให้เหล็กเกิดการขยายตัว ดังนั้นจึงทำให้ชิ้นงานที่ได้หลังการอัดขึ้นรูปมีลักษณะที่ผิดรูปออกไปจากเดิม ซึ่งเป็นรายละเอียดที่สำคัญที่จะส่งผลไปถึงชิ้นงานและการทดสอบด้วย

4. การทำอุปกรณ์เสริมล้อยางลมนั้นจะต้องคำนึงถึงการใช้งานเป็นสำคัญ โดยปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการใช้งาน คือ ความแข็งของชิ้นงาน น้ำหนักเบา สามารถรับการกดของภาระโหลดได้ดี มีการยึดติดอยากคงทนและแข็งแรงเพื่อทำให้การถ่วงล้อมีความสมดุล ชิ้นงานสามารถนำมาติดตั้งภายในล้อยางลมได้อย่างสะดวกด้วย

5.การเกิดการสั่นของล้อยางจากการทดสอบ เนื่องมาจากสาเหตุ คือ อุปกรณ์เสริมล้อยางลมมีน้ำหนักมาก และมีช่องว่างระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อ ดังแสดงในรูปที่ 5.1 เมื่อนำล้อยางไปทำการถ่วงศูนย์ล้อ พบว่าล้อยางไม่ได้สมดุล เมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องทดสอบความทนทาน โดยทดสอบที่ความเร็ว 20-100 km/hr พบว่าทดสอบที่ความเร็วต่ำๆ ช่วง 20-60 km/hr เกิดการสั่นน้อยมาก แต่เมื่อเพิ่มความเร็วที่ 80-100 km/hr พบว่าเกิดการสั้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นเพื่อทำการลดปัญหาการสั่นจะต้องหาวิธีการยึดติดระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อ เพื่อลดช่องว่าง



รูปที่ 5.1 แสดงช่องว่างระหว่างการอัดโหลดขณะทดสอบ

6.การออกแบบชิ้นงานให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งจะต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง โดยในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในการออกแบบ ดังนี้

1). เครื่องอัดขึ้นรูปยาง (Hot press machine) ที่มีขนาด 60cm x 60cm จึงต้องทำให้ชิ้นงานนั้นมีความกว้างและความยาวให้เท่ากับขนาดของเครื่องอัดขึ้นรูปยาง ซึ่งในที่นี้จะต้องแบ่งชิ้นงานออกเป็น 3 ชิ้น แล้วนำมาประกอบกันเป็นล้อ 1 ล้อ

2). ชิ้นงานจะต้องไม่มีลักษณะที่ซับซ้อนมากจนเกินไป เพราะจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการสร้างแม่พิมพ์นั้นมีราคาสูง

3). จะต้องมีความสะดวกในการติดตั้งบนแท่นอัดขึ้นรูปยาง และเครื่องทดสอบ

4). สามารถนำไปใช้กับกระทะล้อยี่ห้อไหนก็ได้ แต่ขนาดของขอบกระทะล้อจะต้องมีขนาด 15 นิ้ว เท่านั้น

แต่ถ้าจะนำไปใช้พัฒนาต่อไปในอนาคต ควรจะต้องลดจำนวนชิ้นให้เหลือ 1 ชิ้น หรือ 2 ชิ้น เพื่อจะทำให้ชิ้นโฟมยางนั้นสามารถรัดติดกันให้แน่นรอบกระทะล้อ เพื่อการลดช่องว่างและเกิดการสั่นที่เกิดขึ้นเนื่องจากล้อไม่ได้ศูนย์ล้อหรือการสมดุลล้อ และใช้ตัวยึดกันระหว่างแผ่นให้น้อยที่สุด เพื่อไม่ให้ล้อยางวิ่งบนท้องถนนนั้นเกิดการกระเด้งกระดอนเนื่องมาจากตัวจับยึด

7.การจับยึดชิ้นโฟมยางเข้าด้วยกันเป็นส่วนที่สำคัญ เนื่องจากการยึดจับใช้สกรูเป็นตัวยึดจับนั้นมีความแข็งเพราะว่าเป็นวัสดุที่ทำมาจากสแตนเลส เมื่อล้อยางเกิดการหมุนบนดรัมทดสอบพบว่าบริเวณที่เชื่อมที่เป็นสกรูนั้น เกิดการกระเด้งกระดอน เหมือนรถวิ่งผ่านพื้นถนนที่ขรุขระ

8.งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้กับงานที่ความเร็วไม่สูงมากนัก ซึ่งในงานทางทหารก็จะสามารถนำไปใช้ในรถกู้ภัยเพื่อช่วยเหลือผู้บาดเจ็บให้ปลอดภัย เพราะรถสามารถเข้าไปถึงพื้นที่เกิดเหตุก่อน เมื่อโจรก่อการร้ายมีการวางระเบิดและตะปูเรือใบ เพื่อไม่ให้เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานเข้าถึงที่เกิดเหตุ

9.การยึดติดพื้นผิวระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อโดยใช้ Flat Surface ที่มีความแตกต่างกัน จะส่งผลไปถึงการยึดติดที่ดี เนื่องมาจากการเกิดการสั่นของล้อที่ไม่ได้สมดุล จึงทำให้ล้อยางไม่สามารถวิ่งที่ความเร็วสูงๆได้ ดังนั้นการยึดติดกันระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมจะต้องทำให้พื้นที่ผิวของชิ้นงานหรือพื้นที่ผิวของกระทะล้อให้มีผิวที่ขรุขระ ซึ่งจะช่วยการยึดติดโดยใช้กาวได้ดียิ่งขึ้น รวมไปถึงตัวอุปกรณ์เสริมล้อยางลมจะต้องมีการออกแบบให้มีมุมเอียงที่เพิ่มผิวสัมผัสให้กับกระทะล้อได้มากขึ้น เพื่อจะได้มีการยึดติดที่ดีและล้อยางจะไม่เกิดการลื่นไถล (Roll without slip) ซึ่งจะส่งผลไปถึงการสั่นสะเทือนหรือสมดุลล้อให้น้อยลงได้

10.แนวทางในการพัฒนางานต่อไปในอนาคต แบ่งออกเป็น 3 แนวทางดังนี้

10.1 ออกแบบชิ้นงานใหม่ ให้มีลักษณะของการจับยึดกันระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อ โดยการรัดกันให้แน่น เพื่อลดช่องว่างระหว่างชิ้นงาน อันจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ล้อยางเกิดการลื่นไถลขณะวิ่ง และทำให้ล้อยางเกิดการไม่ได้สมดุลล้อ ซึ่งจะทำให้รถไม่สามารถขับที่ความเร็วสูงๆได้ ในการออกแบบนั้นจะต้องคำนึงถึงจำนวนชิ้นโฟมยางที่นำมายึดติดกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ชิ้นงานทั้งหมด 3 ชิ้นมาประกอบกันให้เป็นจำนวน 1 ล้อ จะเห็นได้ว่ามีรอยยึดเชื่อมต่อกันอยู่ 3 จุด โดยทั้งสามจุดนี้จะใช้สกรูเป็นตัวยึด ซึ่งจะเกิดปัญหาตรงบริเวณนี้ เมื่อล้อเกิดการหมุนจุดตรงปริเวณรอยเชื่อมจะมีความแข็งดังนั้นจะเกิดการกระดอน เหมือนกับการวิ่งบนพื้นถนนขรุขระ สาเหตุที่ทำการออกแบบชิ้นโฟมยางเป็นำนวน 3 ชิ้นนั้นเพราะว่าเครื่องอัดยางมีขนาดเพลทที่เล็ก แต่ถ้ามีเครื่องอัดอย่างที่มีขนาดใหญ่ก็ควรที่จะลดจำนวนชิ้นโฟมยางลง เพื่อทำให้ลดจุดที่เชื่อมต่อให้น้อยที่สุด ถ้าเป็นไปได้ควรสร้างชิ้นโฟมยางเป็นชิ้นเดียวแล้วทำการรัดด้วยสายรัดเพื่อให้เกิดการแน่นเข้าด้วยกันระหว่างอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อ

10.2 ออกแบบกระทะล้อเป็นแบบสองชั้น ชั้นในล๊อคตัวอุปกรณ์เสริมล้อยางลมเข้าด้วยกันและติดด้วยกาวเพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ ส่วนชั้นนอกก็ยึดติดกับดุมล้อเพื่อใส่ล้อยางลมเข้าไป แต่อย่างไรก็ตามก็มีข้อเสียใส่วนของราคาสูง และเหมาะสำหรับกระทะล้อเพียงชนิดเดียว

10.3 ออกแบบตัวอุปกรณ์เพื่อใส่ล้อยางลมนอกเข้าในอุปกรณ์เสริมล้อยางลมกับกระทะล้อให้มีความสะดวกและรวดเร็วในการติดตั้ง ซึ่งในงานวิจัยนี้ค่อนข้างเป็นอุปสรรคในการติดตั้งเพราะใช้เวลานาน ซึ่งถ้ามีตัวอุปกรณ์ดังกล่าวก็จะสามารถใส่ล้อยางลมนอกได้อย่างรวดเร็ว

ปัญหาดังกล่าวข้างต้นจะต้องย้อนไปถึงในส่วนของการออกแบบชิ้นงานด้วย เพราะชิ้นงานมีความหนาจึงใส่ยางลมนอกเข้าลำบาก ดั้งนั้นในส่วนของการออกแบบจะต้องคำนึงถึงในส่วนนี้ด้วย

บรรณานุกรม

Daniel K. and Kurt C.F. 1991. Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology, New York, Hanser, pp. 17-45, 375-408

Patent US 2007/0000586 A1(2007) - Foam insert designed to incorporated into an assembly for running at reduced pressure.

Patent US 3,650,865 (1972) - Method of inflating tires with foamable material.

Patent US 7,342,064B2 (2008) Rubber composite for tire and run flat tire having reinforcing layer composing the same.

Patent US 6,776,034 B2 (2004) - Run-flat tire component.

Patent US 4,281,700 (1981) - Run-flat vehicle tire.

Patent US 4,334,565 (1982) -Tire Insert.

Patent US 4,371,023 (1983) - Tubeless tire with insert for preventing collapse in the event of air pressure.

กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยแม่พิมพ์ (ออนไลน์). 2553. สืบค้นจาก: http://www.bloggang.com (30 มีนาคม 2553)

กระบวนการผลิต (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://rubber.sc.mahidol.ac.th/rubbertech/process.htm (30 พฤศจิกายน 2551)

การทดสอบสมบัติเชิงกล (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.rmutphysics.com (9 มกราคม 2553)

ข้อมูลของโฟมยางพาราธรรมชาติ (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.excellamattress.com (9 มกราคม 2552)

ข้อมูลจากตราดกลางยางพารา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา (ออนไลน์).สืบค้นจาก: http://www.rubber.co.th วันที่ 5 พฤษภาคม 2555

ความรู้เรื่องยางธรรมชาติ (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://cid 08e3577cc41b412d.spaces.live.com (9 มกราคม 2552)

ธีระวัฒน์ เพชรดี, เจริญยุทธ เดชวายุกุล, พิษณุ บุญนวล, วิริยะ ทองเรือง, “การศึกษาการนำล้อยางตันรถฟอร์คลิฟท์ใช้กับรถปิคอัพสำหรับวิ่งฝ่าตะปูเรือใบ”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 21-22 พฤษภาคม 2552

เบญจพร 2551. วัสดุผสมสามองค์ประกอบทำจากยางธรรมชาติและตัวเติมนาโนเป็นตัวตรวจรู้ทาง

อิเล็กทรอนิกส์.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บุญธรรม นิธิอุทัย และปรีชา ป้องภัย 2534. คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยียาง II หน้า 38-53 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประวิทย์ จงนิมิตรสถาพร.2547. เครื่องวัดความแข็งของยาง(Durometer) โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม.(ออนไลน์). สืบค้นจาก:
http://www.dss.go.th (30 มีนาคม 2553)

พงษ์ธร แซ่อุย,“สารเคมียาง”,ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ,2548

พงษ์ธร แซ่อุย และ ชาคริต สิริสิงห 2550. กระบวนการผลิตและการทดสอบ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ .กรุงเทพฯ.

พรพรรณ นิธิอุทัย สารเคมีสำหรับยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี . มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2528.

เล็ก สีคง.2543. วัสดุวิศวกรรมและอุตสาหกรรม พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 112-114. หน่วยโสตทัศนศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วีระชัย 2552. การสั่นสะเทือนของล้อยางตันสองชั้น.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วราภรณ์ ขจรไชยกูล และคณะ. 2539. สูตรและวิธีการผลิตยางรองรับแท่นเครื่อง. ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ยาง สถาบันวิจัยยาง. กรุงเทพฯ.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2549. ยางธรรมชาติการผลิตและการใช้งาน สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัดซีโนดีไซน์.กรุงเทพฯ.

ศูนย์สารสนเทศยานยนต์. ทำความรู้จัก Run Flat tyre (ออนไลน์).สืบค้นจาก:
http://automobile.mweb.co.th/news/วันที่ 20 พฤษภาคม 2555

ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุสาหกรรมยางไทยม.มหิดล ศาลายา(ออนไลน์).สืบค้นจาก:
http://www.rubbercenter.org/index.php/tyre-test/6-tyre-lab วันที่ 4 เมษายน 2555

หน่วยเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (ศาลายา) จังหวัดนครปฐม. 2552.

เสน่ห์ รักเกื้อ, เจริญยุทธ เดชวายุกุล, วิริยะ ทองเรือง,คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์,พฤทธิกร สมิตไมตรี “สมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตันสองชั้น ”, การประชุม วิชาการเครือข่ายเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, จังหวัดนครราชสีมา, ประเทศไทย

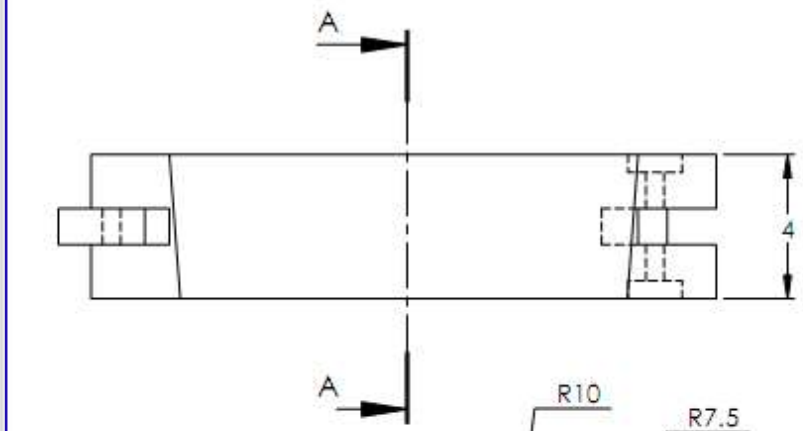
สมาคมยางพาราไทย (ออนไลน์). สืบค้นจาก:
http://www.thainr.com/th/index.php วันที่ 4 เมษายน 2555

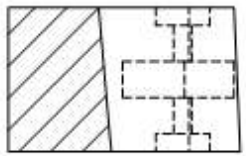
สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (ออนไลน์).สืบค้นจาก:
http://research.trf.or.th/node/1444 วันที่ 4 เมษายน 2555

ภาคผนวก

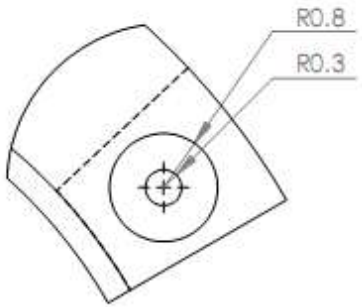
ภาคผนวก ก

แบบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสำหรับงานวิจัย

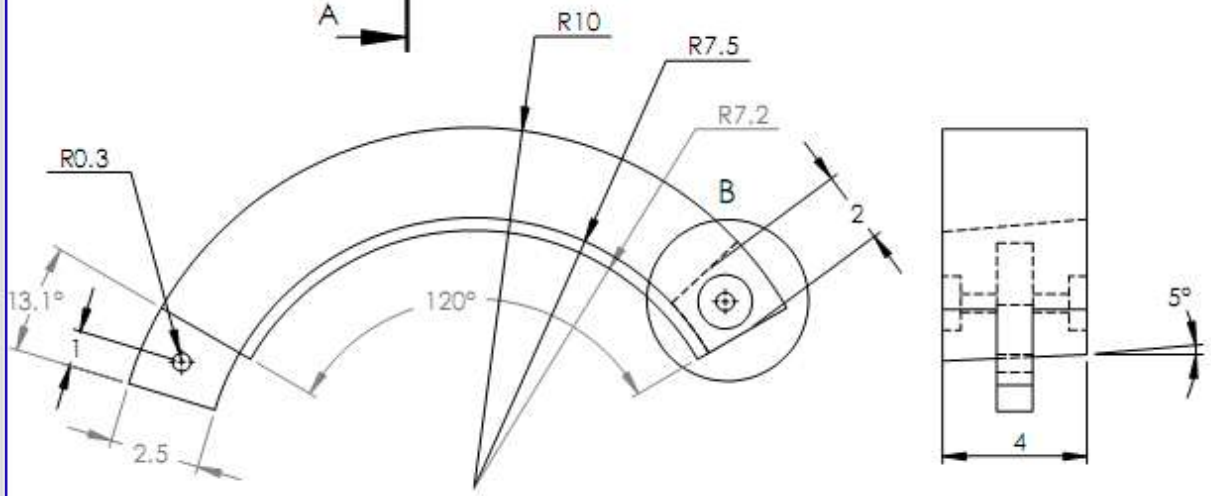




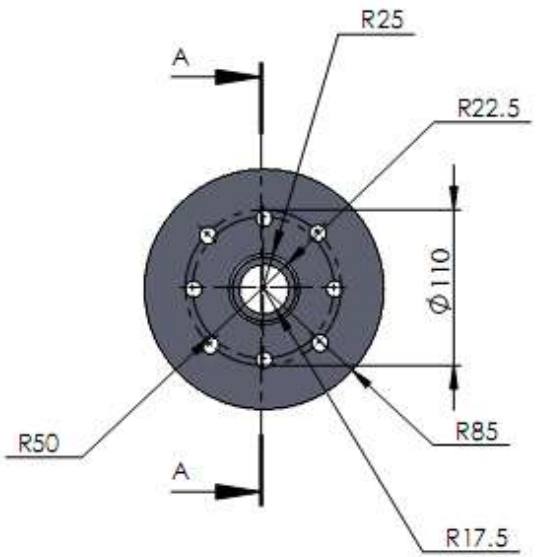
SECTION A-A

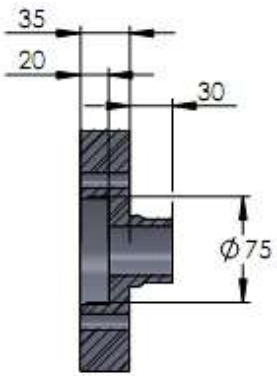


DETAIL B
SCALE 2 : 5

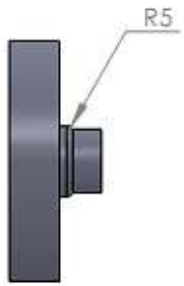


	NAME	DATE	
DRAWN	MR.THEERAWAT PETDEE		Prince of Songkla University Department of Mechanical Engineering
DESIGNER			
APPROVED			TITLE: Run flat tire
MATERIAL :			
SCALE: 1 : 5	WEIGHT:	SIZE: A4	UNITS: INCH / SHEET: 1 OF 4

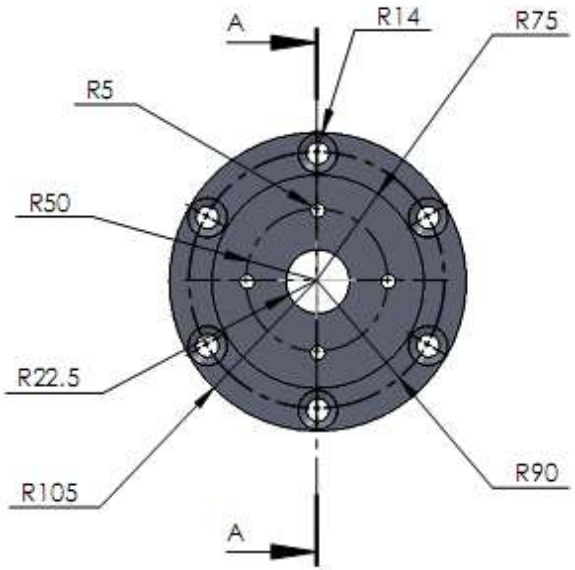


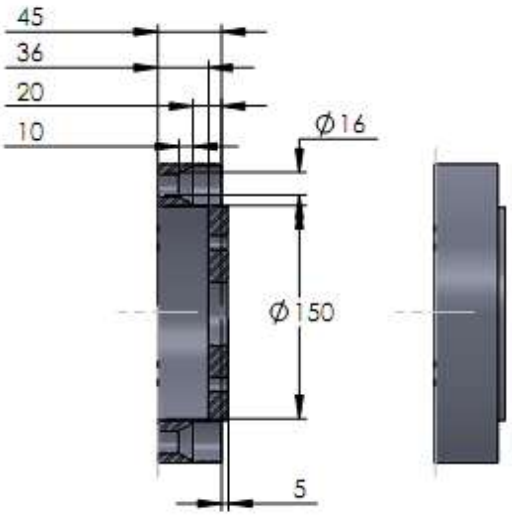


SECTION A-A



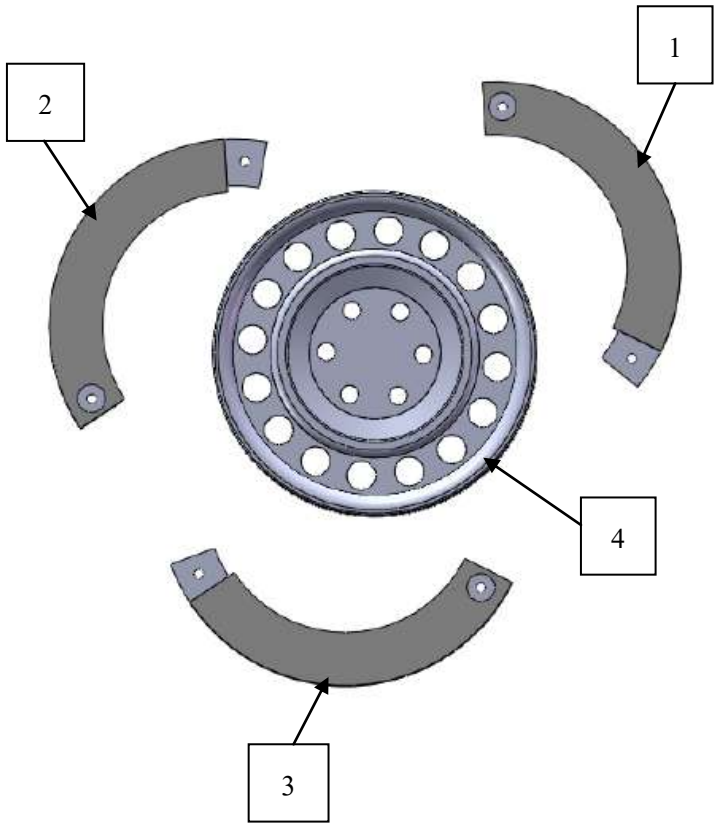
	NAME	DATE	
DRAWN	MR.THEERAWAT PETDEE		Prince of Songkla University Department of Mechanical Engineering
DESIGNER			
APPROVED			TITLE: Adapter I
MATERIAL :			
SCALE: 1 : 5	WEIGHT:	SIZE: A4	UNITS: MILLIMETER / SHEET: 2 OF 4





SECTION A-A

	NAME	DATE	
DRAWN	MR.THEERAWAT PETDEE		Prince of Songkla University Department of Mechanical Engineering
DESIGNER			
APPROVED			TITLE: Adapter II
MATERIAL :			
SCALE: 1 : 5	WEIGHT:	SIZE: A4	UNITS: MILLIMETER SHEET: 3 OF 4



1	Run flat tire piece 1
2	Run flat tire piece 2
3	Run flat tire piece 3
4	Wheel size 15 inch
5	Screw M10 3 pieces

	NAME	DATE	
DRAWN	MR.THEERAWAT PETDEE		Prince of Songkla University Department of Mechanical Engineering
DESIGNER			
APPROVED			TITLE: Run flat tire assembly
MATERIAL :			
SCALE:	WEIGHT:	SIZE: A4	UNITS: MILLIMETER / SHEET: 4 OF 4

ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์สูตรต่างๆ

ตารางที่ 1 สมบัติการรับแรงกดของยางสูตร A

Deformation (%)	Comp. load (N)
0.6	3.3
5.6	85.7
10.5	184.1
15.0	264.9
20.1	357.2
25.9	466.4
30.3	568.9
35.7	726.9
40.5	955.5
45.3	1373.5
49.9	2216.3

ตารางที่ 2 สมบัติการรับแรงกดของยางสูตร B

Deformation (%)	Comp. load (N)
1.0	5.9
5.1	74.2
10.6	168.3
15.5	245.3
20.2	309.4
25.5	388.5
29.6	453.6
35.8	624.0
40.2	812.4
45.2	1209.3
49.9	1924.2

ตารางที่ 3 สมบัติการรับแรงกดของยางสูตร C

Deformation (%)	Comp. load (N)
0.9	-1.7
5.6	124.1
10.2	257.8
15.5	413.0
20.2	561.4
25.7	747.3
30.6	940.8
35.2	1179.4
40.1	1541.2
45.1	2206.5
49.9	3333.3

ตารางที่ 4 สมบัติการรับแรงกดของยางสูตร D

Deformation (%)	Comp. load (N)
-0.2	-14.0
5.0	69.6
10.9	374.9
16.0	601.7
20.0	810.4
25.7	1119.2
30.4	1437.2
35.3	1876.5
40.1	2500.3
45.2	3434.0
50.3	5562.1

ตารางที่ 5 สมบัติการรับแรงกดของยางสูตร E

Deformation (%)	Comp. load (N)
-0.2	-39.2
5.7	120.8
10.2	329.7
15.1	536.3
20.7	793.2
25.6	1057.2
30.4	1361.4
35.2	1748.1
40.3	2404.1
45.2	3404.4
50.6	5748.0

ตารางที่ 6 สมบัติการรับแรงกดของยางสูตร F

Deformation (%)	Comp. load (N)
-0.2	-15.1
5.7	108.3
10.3	367.9
15.7	652.2
20.6	903.9
25.0	1153.0
30.5	1519.6
35.3	1931.5
40.2	2507.3
45.0	3342.5
50.7	5309.0

ตารางที่ 7 สมบัติการรับแรงกดของยางสูตร G

Deformation (%)	Comp. load (N)
-0.2	-28.4
5.8	122.9
10.4	342.4
15.6	594.4
20.6	840.6
25.3	1090.3
30.3	1383.2
35.4	1798.6
40.1	2340.0
45.1	3218.3
50.0	4999.1

ตารางที่ 1 ความเค้นและความเครียดของสมบัติการเกิดฮีสเตอรีสิสของยางสูตร A

Comp. strain	Comp. stress
0.00	0.00
5.36	0.16
10.34	0.48
15.03	0.77
20.15	1.11
25.41	1.46
30.73	1.85
35.27	2.25
40.48	2.83
45.03	3.59
49.43	4.67
49.14	4.46
45.57	3.08
40.72	2.26
35.94	1.76
30.51	1.36
25.96	1.08
20.85	0.79
15.59	0.50
10.04	0.24
5.86	0.03
0.20	0.00

ตารางที่ 2 ความเค้นและความเครียดของสมบัติการเกิดฮีสเตอรีสิสของยางสูตร B

Comp. strain	Comp. stress
0.58	0.00
5.59	0.12
10.55	0.26
15.03	0.37
20.07	0.50
25.88	0.66
30.29	0.80
35.66	1.02
40.48	1.34
45.28	1.93
49.13	2.62
49.10	2.63
45.83	1.62
40.69	1.04
35.95	0.76
30.57	0.59
20.33	0.37
15.40	0.26
10.38	0.16
5.98	0.07
0.50	0.00
0.00	0.00

ตารางที่ 3 ความเค้นและความเครียดของสมบัติการเกิดฮีสเตอรีสิสของยางสูตร C

Comp. strain	Comp. stress
0.28	0.04
5.67	0.45
10.21	0.79
15.21	1.16
20.59	1.61
25.01	1.97
30.52	2.52
35.15	3.05
40.31	3.81
45.62	5.03
49.83	6.61
49.71	6.39
45.81	4.35
40.82	3.23
35.87	2.57
30.53	2.03
25.57	1.61
20.96	1.25
15.47	0.86
10.32	0.54
5.78	0.27
0.53	0.02

ตารางที่ 4 ความเค้นและความเครียดของสมบัติการเกิดฮีสเตอรีสิสของยางสูตร D

Comp. strain	Comp. stress
0.41	-0.23
5.69	0.28
10.35	0.83
15.45	1.39
20.24	1.92
25.45	2.56
30.44	3.35
35.13	4.33
40.29	6.13
45.14	9.60
49.78	19.83
49.48	18.42
45.98	8.79
40.97	5.04
35.76	3.20
30.95	2.25
25.88	1.59
20.56	1.06
15.42	0.62
10.75	0.24
5.63	-0.16
0.96	-0.34

ตารางที่ 5 ความเค้นและความเครียดของสมบัติการเกิดฮีสเตอรีสิสของยางสูตร E

Comp. strain	Comp. stress
0.46	-0.21
5.64	0.40
10.28	0.92
15.59	1.45
20.32	1.86
25.28	2.37
30.23	2.95
35.37	3.90
40.28	5.37
45.13	8.28
49.66	15.74
49.64	15.37
45.70	6.64
40.68	3.70
35.67	2.42
30.99	1.79
25.98	1.32
20.96	1.00
15.80	0.65
10.91	0.34
6.00	0.05
0.56	-0.28

ตารางที่ 6 ความเค้นและความเครียดของสมบัติการเกิดฮีสเตอรีสิสของยางสูตร F

Comp. strain	Comp. stress
0.50	-0.07
5.58	0.32
10.20	0.89
15.53	1.50
20.13	2.04
25.34	2.71
30.32	3.45
35.41	4.38
40.03	5.57
45.19	7.68
50.01	11.68
49.98	11.40
45.73	6.52
40.61	4.38
35.85	3.32
30.86	2.54
25.77	1.92
20.89	1.40
15.91	0.95
10.80	0.47
5.50	0.01
0.99	-0.10

ตารางที่ 7 ความเค้นและความเครียดของสมบัติการเกิดฮีสเตอรีสิสของยางสูตร G

Comp. strain	Comp. stress
0.50	-0.20
5.07	0.27
10.21	0.85
15.72	1.46
20.27	1.97
25.02	2.56
30.16	3.27
35.66	4.26
40.06	5.30
45.20	7.24
49.88	10.68
49.87	10.48
45.71	6.29
40.56	4.38
35.72	3.33
30.03	2.49
25.55	1.95
20.87	1.47
15.99	1.00
10.60	0.50
5.68	0.04
0.83	-0.26