



CS RUBBER INDUSTRY CO., LTD



ศึกษาสาเหตุและวิธีป้องกันการเกิดปัญหาในยางคอมพาวด์
Learn about the causes and methods of preventing problems
in the rubber compound

จัดทำโดย

นางสาวฉัตรธิดา ฉัตรประเทืองกุล รหัสนิสิต 602091015

สถานประกอบการสหกิจศึกษา
บริษัท ซี เอส รับเบอร์ อินดัสทรี จำกัด

โครงการวิชา (1002403) สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมยางและพอลิเมอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

ปีการศึกษา 2563

บริษัท ซี เอส รับเบอร์ อินดัสทรี จำกัด
เลขที่ 199/20 หมู่ 3 ถนนพานทอง - บ้านบึง
ตำบลบ้านบึง อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี 20170

19 มีนาคม 2564

เรื่อง ขอส่งรายงานสหกิจศึกษา

เรียน อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมยางและพอลิเมอร์

ตามที่ข้าพเจ้า นางสาวฉัตรธิดา ฉัตรประเทืองกุล นิสิตหลักสูตรวิศวกรรมยางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ได้ฝึกงานสหกิจศึกษา ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน 2563 – 19 มีนาคม 2564 ในตำแหน่ง นิสิตฝึกงานแผนกวิศวกรรมกระบวนการ บริษัท ซี เอส รับเบอร์ อินดัสทรี จำกัด บัดนี้การฝึกสหกิจศึกษาได้สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์แล้ว ข้าพเจ้า จึงขอส่งรายงานสหกิจศึกษาดังกล่าว พร้อมกันนี้ 1 เล่ม เพื่อขอคำปรึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(นางสาวฉัตรธิดา ฉัตรประเทืองกุล)
นิสิตหลักสูตรวิศวกรรมยางและพอลิเมอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

| | |
|---------------------|---|
| ชื่องานวิจัย | ศึกษาสาเหตุและวิธีป้องกันการเกิดปัญหาในยางคอมพาวด์ Learn about the causes and methods of preventing problems in the rubber compound |
| ผู้วิจัย | นางสาวฉัตรธิดา ฉัตรประเทืองกุล |
| หลักสูตร | วิศวกรรมยางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| ปีการศึกษา | 2563 |

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดจุดฟ้าในยางสี ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ต่ำลง และปัจจัยที่ส่งผลให้ยางคอมพาวด์สีเปลี่ยน ซึ่งในการหาปัจจัยที่ทำให้เกิดจุดฟ้าในยางสี ด้วยการผสมยางคอมพาวด์ตามสูตรมาตรฐาน และทดสอบโดยการเปลี่ยนสารกระตุ้นปฏิกิริยา พร้อมทั้งตรวจสอบสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ในการผสม พบว่าไม่มีผลต่อการเกิดจุดฟ้า จึงทำการตรวจสอบส่วนประกอบของยาง Masticate จะเห็นได้ว่า จุดฟ้ามาจากการปนเปื้อนของยาง STR 5L สำหรับการหาปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ต่ำลง ด้วยการกำหนดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นแตกต่างกัน พบว่าส่งผลต่อค่าความหนืดของยาง หากอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูง อุณหภูมิลูกกลิ้งจะสูงตามไปด้วย ส่งผลให้ค่า M_H ต่ำลง แต่หากอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นต่ำ ค่า M_H จะสูงขึ้น และการหาปัจจัยที่ส่งผลให้ยางคอมพาวด์สีเปลี่ยน ด้วยการเปรียบเทียบสีของแผ่น Slab เมื่อใช้ระยะเวลาในการอบแตกต่างกัน และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด (Extruder) ด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่าระยะเวลาและอุณหภูมิในการขึ้นรูป ส่งผลต่อสีของยางคอมพาวด์ หากใช้ระยะเวลามากขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้น จะยังทำให้สีของยางเข้มขึ้น

คำสำคัญ : ยางคอมพาวด์, ยางธรรมชาติ, ยางสังเคราะห์, แรงบิด, สารเคมี

ประกาศคุณูปการ

ข้าพเจ้า นางสาวฉัตรธิดา ฉัตรประเทืองกุล นิสิตหลักสูตรวิศวกรรมยางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ได้ฝึกงานสหกิจศึกษา ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน 2563 – 19 มีนาคม 2564 พร้อมทั้งจัดทำโครงการสหกิจศึกษานับนี้ขึ้น โดยมีอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. อนิตา เพ็ชรแก้ว และ อาจารย์ ดร. กรกนก อุบลชลเขต

ขอขอบพระคุณที่กรุณาเป็นที่ปรึกษา โดยให้คำปรึกษามาตลอดการปฏิบัติสหกิจศึกษา ซึ่งการปฏิบัติงาน และการทำโครงการในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความร่วมมือ และได้รับการสนับสนุนจากบุคคล ดังนี้

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1. คุณฉิน ชี ถง | ผู้บริหาร |
| 2. คุณวีรวัฒน์ วงษ์เจริญสิน | ผู้บริหาร |
| 3. คุณไพรินทร์ ไสขาว | ผู้จัดการโรงงาน |
| 4. คุณประวิทย์ ปิ่นหอม | หัวหน้าแผนกวิศวกรรมกระบวนการ |
| 5. คุณชนิศร์ แก้ววิเศษ | เจ้าหน้าที่แผนกวิศวกรรมกระบวนการ |
| 6. คุณนุรฮา แจ๊ะแวง | เจ้าหน้าที่แผนกวิศวกรรมกระบวนการ |
| 7. หัวหน้าแผนกและพนักงานบริษัท ซี เอส รับเบอร์ อินดัสทรี จำกัด | |

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ทั้งคณาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมยางและพอลิเมอร์ ที่ปรึกษาในการทำโครงการ ตลอดจนให้การดูแลและมอบความรู้ความเข้าใจในการทำโครงการฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่มีส่วนร่วมในการติดต่อสื่อสารกับบริษัท ขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้จัดทำ

สารบัญ

| | หน้า |
|--|----------|
| จดหมายส่งรายงาน | ก |
| บทคัดย่อ | ข |
| ประกาศนุญปกการ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญรูปภาพ | ช |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 2 |
| 1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| 1.6 สถานที่วิจัย | 4 |
| 1.7 ระยะเวลาปฏิบัติงาน | 4 |
| | |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 5 |
| 2.1 ยาง | 5 |
| 2.1.1 ยางธรรมชาติ (natural rubber ; NR) | 5 |
| 2.1.2 ยางสังเคราะห์ (synthetic rubber ; SR) | 5 |
| 2.1.2.1 ยางโพลีไอโซพรีน (cis - 1, 4 - polyisoprene ; IR) | 5 |
| 2.1.2.2 ยางสไตรีนบิวทาไดอีน (styrene - butadiene rubber ; SBR) | 5 |
| 2.1.2.3 ยางไนไตรล์ (nitrile or acrylonitrile-butadiene rubber ; NBR) | 6 |
| 2.1.2.4 ยางคลอโรพรีน (chloroprene rubber ; CR) | 6 |
| 2.1.2.5 ยางบิวไทล์ (butyl rubber ; IIR) | 6 |
| 2.1.2.6 ยางบิวทาไดอีน (butadiene rubber; BR) | 7 |
| 2.1.2.7 ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน (ethylene propylene diene rubber ; EPDM) | 7 |
| 2.1.2.8 ยางซิลิโคน (silicone rubber ; Q) | 7 |
| 2.1.2.9 ยางฟลูออโรคาร์บอน (fluorocarbon rubber ; FKM) | 7 |
| 2.2 ยางคอมพาวด์ (Rubber Compound) | 8 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.3 สารเคมี | 9 |
| 2.3.1 สารวัลคาไนซ์ (vulcanizing agent) | 9 |
| 2.3.1.1 กำมะถัน (sulfur) | 9 |
| 2.3.1.2 เพอร์ออกไซด์(peroxide) | 9 |
| 2.3.1.3 สารเคมีอื่นๆ | 10 |
| 2.3.2 สารตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerators) | 10 |
| 2.3.2.1 เมอร์แคปโต (mercapto) | 10 |
| 2.3.2.2 เบนโซไทอะโซลซัลฟีนามิด (benzothiazole sulfenamide) | 10 |
| 2.3.2.3 ไดไทโอคาร์บาเมต (dithiocarbamates) | 10 |
| 2.3.2.4 ไทยูแรม (thiurams) | 11 |
| 2.3.2.5 กัวนิติน (guanidines) | 11 |
| 2.3.3 สารกระตุ้นและสารหน่วงปฏิกิริยา (activators and retarders) | 11 |
| 2.3.3.1 สารกระตุ้นปฏิกิริยา (activators) | 11 |
| 2.3.3.2 สารหน่วงปฏิกิริยา (retarders) | 11 |
| 2.3.4 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (antidegradants) | 12 |
| 2.3.5 สารตัวเติม (fillers) | 12 |
| 2.3.5.1 เขม่าดำ (carbon black) | 12 |
| 2.3.5.2 ซิลิกา (silica) | 12 |
| 2.3.6 สารตัวเติมอื่นๆ | 13 |
| 2.3.7 สารทำให้ยางนิ่ม (synthetic plasticizers) | 13 |
| 2.3.8 สารช่วยในกระบวนการผลิต (processing aids) | 13 |
| 2.3.9 สารอื่นๆ | 13 |
| 2.4 เครื่องผสมยาง | 14 |
| 2.4.1 เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill) | 15 |
| 2.4.2 เครื่องผสมระบบปิดแบบบูรี (Banbury internal mixer) | 15 |
| 2.4.3 เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มิกซ์ (Intermix internal mixer) | 16 |
| 2.4.4 เครื่องผสมระบบปิดแบบที่ปรับระยะห่างระหว่างโรเตอร์ได้ (variable | 17 |
| Intermeshing | |
| 2.4.5 เครื่องนวดยางหรือนีดเดอร์ (kneader) | 17 |
| 2.4.6 เครื่องผสมยางแบบต่อเนื่อง (continuous mixer) | 17 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.5 การตรวจสอบคุณภาพของยางคอมพาวด์เบื้องต้น | 18 |
| 2.5.1 ความหนืดมูนี (Mooney viscosity) | 18 |
| 2.5.2 ลักษณะการวัลคาไนซ์ (cure characteristics) | 19 |
| บทที่ 3 วัสดุ และวิธีการทดลอง | |
| 3.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดจุดฟ้าในยางสี | 21 |
| 3.1.1 วัสดุ | 21 |
| 3.1.2 อุปกรณ์ | 22 |
| 3.1.3 วิธีการทดลอง | 22 |
| 3.2 ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงบิด (M_H) ต่ำลง | 23 |
| 3.2.1 วัสดุ | 23 |
| 3.2.2 อุปกรณ์ | 23 |
| 3.2.3 วิธีการทดลอง | 24 |
| 3.3 ปัจจัยที่ส่งผลให้ยางคอมพาวด์สีเปลี่ยน | 24 |
| 3.3.1 วัสดุ | 24 |
| 3.3.2 อุปกรณ์ | 24 |
| 3.3.3 วิธีการทดลอง | 24 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผล | |
| 4.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดจุดฟ้าในยางสี | 26 |
| 4.1.1 ผสมยางคอมพาวด์ตามสูตรมาตรฐาน | 26 |
| 4.1.2 การผสมยางคอมพาวด์สูตรมาตรฐานโดยเปลี่ยนสารกระตุ้นปฏิกิริยา (โดยใช้สารเคมีลือตที่เกิดปัญหา) | 27 |
| 4.1.3 การตรวจสอบการปนเปื้อนจากสารเคมี | 27 |
| 4.1.4 การตรวจสอบการปนเปื้อนของพอลิเมอร์ | 29 |
| 4.2 ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ต่ำลง | 29 |
| 4.2.1 เปิด Vale น้ำหล่อเย็นสุด | 29 |
| 4.2.2 เปิด Vale น้ำหล่อเย็น 45 °C | 30 |
| 4.2.3 ปิด Vale น้ำหล่อเย็น | 31 |
| 4.3 ปัจจัยที่ส่งผลให้ยางคอมพาวด์สีเปลี่ยน | 32 |
| 4.3.1 การเปรียบเทียบสีของแผ่น Slab เมื่อใช้ระยะเวลาในการอบแตกต่างกัน | 32 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 4.3.2 เปรียบเทียบสี เมื่อขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด (Extruder) เมื่อใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน | 32 |
| 4.3.3 การเปรียบเทียบชิ้นงานเมื่อตั้งไว้ที่สภาพอากาศแตกต่างกัน | 33 |
| 4.3.4 การเปลี่ยนสีของสารเคมี | 34 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง | |
| 5.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดจุดฟ้า | 38 |
| 5.2 ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ต่ำลง | 38 |
| 5.3 ปัจจัยที่ส่งผลให้ยางคอมพาวด์สีเปลี่ยน | 39 |
| บรรณานุกรม | 40 |
| ภาคผนวก | 41 |

สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดสำหรับปัจจัยที่ทำให้เกิดจุดฟ้าในยางสี | 2 |
| ภาพที่ 1.2 กรอบแนวคิดสำหรับปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ต่ำลง | 3 |
| ภาพที่ 1.3 กรอบแนวคิดสำหรับปัจจัยที่ทำให้ยางคอมพาวด์สีเปลี่ยน | 3 |
| ภาพที่ 2.1 เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two - roll mill) | 15 |
| ภาพที่ 2.2 เครื่องผสมระบบปิดแบนบูรี (Banbury internal mixer) | 16 |
| ภาพที่ 2.3 เครื่องผสมระบบปิดแบนบูรี (Banbury internal mixer) | 16 |
| ภาพที่ 2.4 เครื่องนวดยางหรือนีดเดอร์ (kneader) | 17 |
| ภาพที่ 2.5 เครื่องมูนนี่วิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer) | 18 |
| ภาพที่ 2.6 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่ (Moving die rheometer; MDR) | 20 |
| ภาพที่ 3.1 ลักษณะจุดฟ้าเมื่อมองด้วยตาเปล่า | 21 |
| ภาพที่ 3.2 ลักษณะจุดฟ้าเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ | 21 |
| ภาพที่ 4.1 แผ่น Slab สูตรมาตรฐานที่พบจุดฟ้า | 26 |
| ภาพที่ 4.2 ลักษณะจุดฟ้าเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ | 26 |
| ภาพที่ 4.3 แผ่น Slab สูตรที่มีการเปลี่ยนสารกระตุ้นปฏิกิริยา | 27 |
| ภาพที่ 4.4 สารเคมีแต่ละชนิดที่พบจุดฟ้า | 28 |
| ภาพที่ 4.5 ตรวจสอบการปนเปื้อนของพอลิเมอร์ | 29 |
| ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่าสมบัติการคงรูปของยางเมื่อทำการเปิด Vale น้ำหล่อเย็นสุด | 30 |
| ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงค่าสมบัติการคงรูปของยางเมื่อทำการเปิด Vale น้ำหล่อเย็น 45 °C | 31 |
| ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่าสมบัติการคงรูปของยางเมื่อทำการปิด Vale น้ำหล่อเย็น | 31 |
| ภาพที่ 4.9 สีของแผ่น Slab ที่อบในระยะเวลาต่างๆ | 32 |
| ภาพที่ 4.10 สีของยางที่ขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน | 33 |
| ภาพที่ 4.11 PEG 4000 | 35 |
| ภาพที่ 4.12 MBTS | 35 |
| ภาพที่ 4.13 VANILLIN | 35 |
| ภาพที่ 4.14 NAUGARD 445 | 35 |
| ภาพที่ 4.15 VANILLIN + MBTS | 36 |
| ภาพที่ 4.16 NAUGARD 445 + PEG 4000 | 36 |
| ภาพที่ 4.17 VANILLIN + PEG 4000 | 36 |
| ภาพที่ 4.18 NAUGARD 445 + VANILLIN | 37 |
| ภาพที่ 4.19 การจับตัวกันเป็นผลึกของสารเคมี NAUGARD 445 + VANILLIN | 37 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบและปริมาณของยางและสารเคมีต่างๆ ในสูตรยางพื้นฐาน | 9 |
| ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของยางคอมพาวด์ | 22 |
| ตารางที่ 3.2 การทดสอบชิ้นตัวอย่างยางคอมพาวด์ที่สภาพอากาศต่างๆ | 25 |
| ตารางที่ 4.1 สมบัติการคงรูปของยางเมื่อทำการเปิด Vale น้ำหล่อเย็นสุด | 29 |
| ตารางที่ 4.2 สมบัติการคงรูปของยางเมื่อทำการเปิด Vale น้ำหล่อเย็น 45 °C | 30 |
| ตารางที่ 4.3 สมบัติการคงรูปของยางเมื่อทำการปิด Vale น้ำหล่อเย็น | 31 |
| ตารางที่ 4.4 สีของชิ้นงานที่วางไว้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน | 33 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นประเทศอุตสาหกรรมใหม่บนพื้นฐานเกษตรกรรม พืชเศรษฐกิจหลายชนิด จึงมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาประเทศ โดยในปี 2563 ช่วงเดือนมกราคม – กันยายน ที่ผ่านมา ไทยสามารถผลิตยางพาราได้กว่า 4.9 ล้านตัน มีมูลค่าการส่งออกโดยรวมประมาณ 2.69 แสนล้านบาท จึงนับได้ว่ายางพาราหรือยางธรรมชาติ (Natural Rubber) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย ปัจจุบันยางธรรมชาติสามารถนำมาแปรรูปได้หลายรูปแบบ เพื่อให้ตรงกับความต้องการในการใช้งาน และสามารถใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติได้อย่างกว้างขวาง ทั้งในด้านการแพทย์ วิทยาศาสตร์ การก่อสร้าง การสื่อสาร การขนส่ง ตลอดจนผลิตเป็นของใช้ต่างๆ ภายในครัวเรือน เนื่องจากยางธรรมชาติมีราคาต้นทุนต่ำ ประกอบกับมีคุณสมบัติที่สามารถปรับปรุงได้อย่างกว้างขวาง

โดยทั่วไปการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติสามารถทำได้หลายวิธี หนึ่งในนั้นคือการทำยางคอมพาวด์ (Rubber Compound) ยางคอมพาวด์ คือยางที่มีการผสมสารเคมีต่างๆ เช่น สารวัลคาไนซ์ สารตัวเร่ง ปฏิกิริยา สารตัวเติม เป็นต้น พร้อมทั้งจะนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ยางล้อ ยางมือยาง ยางยานยนต์ ยางรองคอสพาน ท่อ ยาง ยางรัดของ เป็นต้น ซึ่งการผลิตยางคอมพาวด์ ต้องอาศัยเทคโนโลยีต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการออกสูตรเคมียาง และการผสมยาง เพื่อให้ได้ยางคอมพาวด์ ที่นำไปขึ้นรูปและคงรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเป็นไปตามความต้องการ

บริษัท ซี เอส รับเบอร์ อินดัสทรี จำกัด ในเครือกลุ่มอุตสาหกรรมเจริญสิน เป็นหนึ่งในบริษัทที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านการผลิตยางคอมพาวด์ โดยมีผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคนิคที่สามารถให้คำปรึกษาและพัฒนาสูตรยาง จัดหาวัตถุดิบและยางชนิดต่างๆ เพื่อให้ได้สูตรยางที่ตรงตามความต้องการ และมีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามในยางคอมพาวด์บางสูตรยังคงประสบปัญหาทางด้านคุณภาพหลังการผลิต เช่น สารเคมีไม่แตกตัว สีของยาง ค่าความแข็ง ค่าความหนาแน่น และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เป็นต้น สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละสูตร จำเป็นต้องมีกระบวนการแก้ไข เพื่อให้ได้สูตรที่ตรงตามความต้องการของลูกค้า ดังนั้นการลดปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาจึงมีความจำเป็นอย่างมาก เพื่อลดของเสียที่จะเกิดขึ้น ลดภาระพนักงาน ลดรายจ่าย ลดระยะเวลา รวมไปถึงช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นให้แก่บริษัท

ดังนั้น งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสีย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้น และการกำหนดแนวทางในการป้องกันได้อย่างเหมาะสม โดยจะมุ่งเน้นไปที่

1. ปัจจัยที่ทำให้เกิดจุดฟ้าในยางสี
2. ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ต่ำลง
3. ปัจจัยที่ส่งผลให้ยางคอมพาวด์สีเปลี่ยน

1.2 วัตถุประสงค์

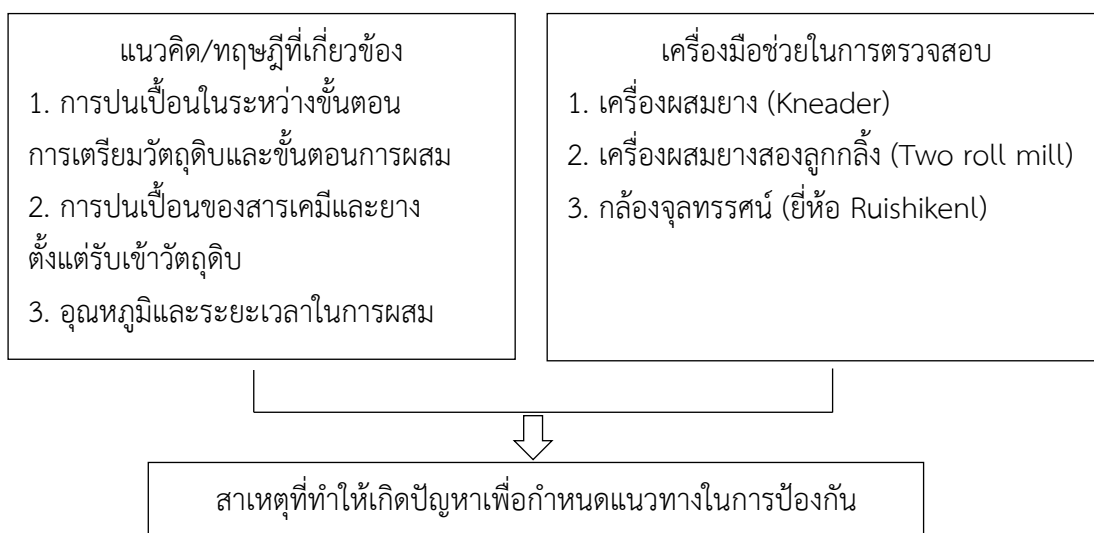
1. ปัจจัยที่ทำให้เกิดจุดฟ้าในยางสี
 - เพื่อหาสาเหตุการเกิดจุดฟ้าในยาง
 - เพื่อหาแนวทางในการป้องกันการเกิดจุดฟ้าบนยางสี
 - เพื่อป้องกันการเกิดของเสียและการ Claim สินค้า
2. ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงบิดสูงสุด (MH) ต่ำลง
 - ศึกษาลักษณะของชิ้นงานที่ผิดปกติ
 - เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา
 - เพื่อกำหนดแนวทางการป้องกันและแก้ไขปัญหาในกรณีที่ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ต่ำลงอย่างผิดปกติ
3. ปัจจัยที่ส่งผลให้ยางคอมพาวด์สีเปลี่ยน
 - ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลให้ยางคอมพาวด์สีเปลี่ยน
 - ศึกษาการเปลี่ยนสีของยางที่สภาพอากาศต่างกัน อุณหภูมิต่างกัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาปัจจัยในการเกิดจุดฟ้าในยางสี และปัจจัยส่งผลให้ค่าแรงบิดสูงสุด (MH) ต่ำอย่างผิดปกติ โดยทำการทดลอง วิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดปัญหา ผลกระทบ วิธีการแก้ไข การทดสอบ ติดตามเก็บข้อมูลและสรุปผล เพื่อหาแนวทางในการป้องกันการเกิดของเสีย

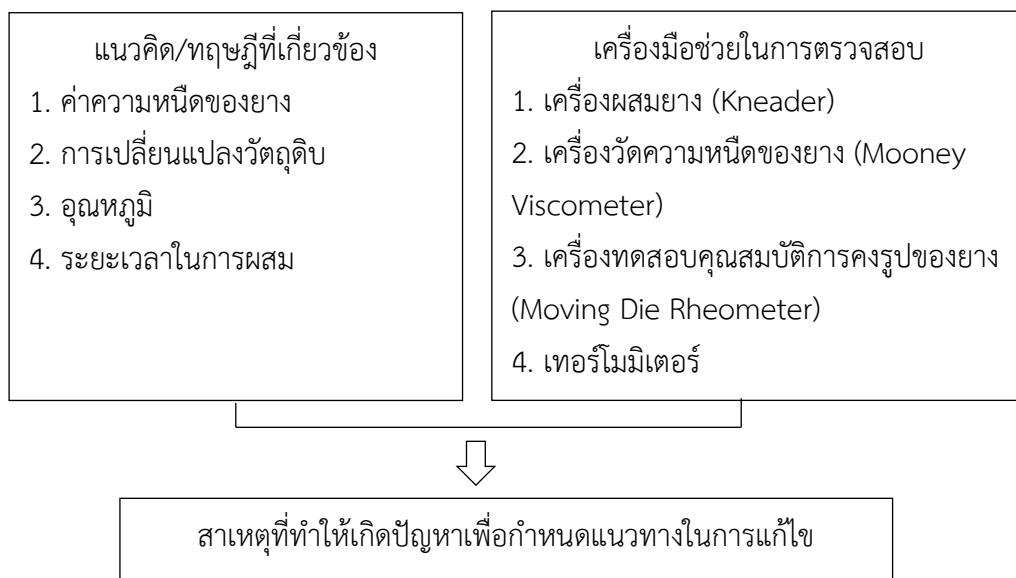
1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

1.4.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดจุดฟ้าในยางสี



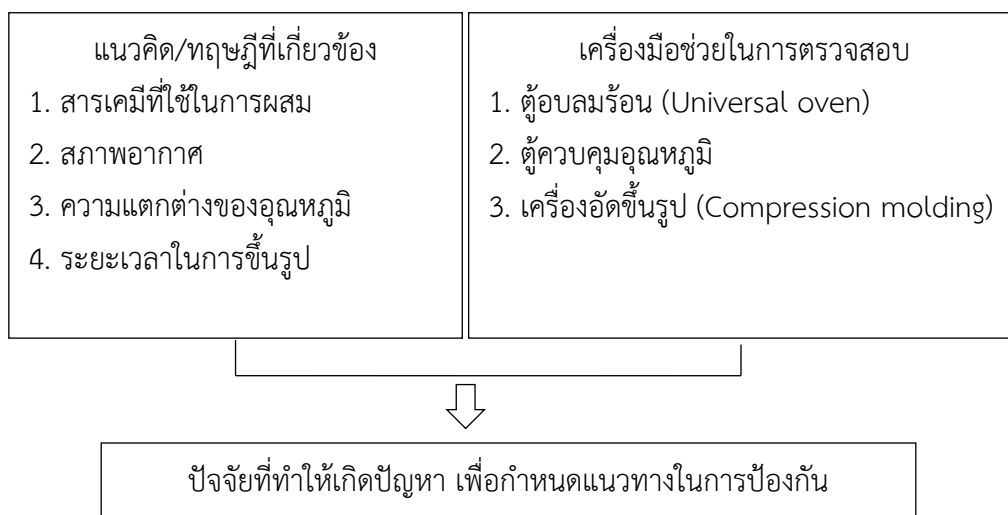
ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดสำหรับปัจจัยที่ทำให้เกิดจุดฟ้าในยางสี

1.4.2 ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ต่ำลง



ภาพที่ 1.2 กรอบแนวคิดสำหรับปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ต่ำลง

1.4.3 ปัจจัยที่ทำให้ยางคอมพาวด์ส์เปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 1.3 กรอบแนวคิดสำหรับปัจจัยที่ทำให้ยางคอมพาวด์ส์เปลี่ยนแปลง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

รู้และเข้าใจความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้อง ทราบถึงที่มาของปัญหา และสามารถเสนอแนวทางในการป้องกันให้แก่ผู้บริหารเพื่อลดปัญหาในการเกิดของเสียได้ต่อไป

1.6 สถานที่วิจัย

บริษัท ซี เอส รับเบอร์ อินดัสทรี จำกัด

1.7 ระยะเวลาปฏิบัติงาน

30 พฤศจิกายน 2563 ถึง 19 มีนาคม 2564

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยาง

ยางแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ได้แก่

2.1.1 ยางธรรมชาติ (natural rubber; NR)

ยางธรรมชาติมีสมบัติเด่น คือมีความยืดหยุ่น (elasticity) สูง ทั้งที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิต่ำ มีความเหนียวติดกัน (tack) ในสภาพที่ยังไม่คงรูปดีเยี่ยม มีความทนต่อแรงดึง (tensile strength) สูงมาก โดยไม่ต้องเติมสารตัวเติมเสริมแรง มีความทนต่อการฉีกขาด (tear strength) สูง ทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง มีสมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties) ที่ดี มีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำระหว่างการใช้งาน มีความต้านทานต่อการล้าตัว (fatigue resistance) ที่สูงมาก มีความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) สูง แต่ยังคงน้อยกว่ายาง SBR ยาง NR จัดเป็นยางอเนกประสงค์ที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ลูกโป่ง ยางรัดของ ท่อยาง สายพานลำเลียง กระจ่างน้ำร้อน ยางล้อรถบรรทุก ยางล้อรถยก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางล้อรถยนต์ เป็นต้น สำหรับข้อดีของยางธรรมชาติ คือไม่ทนต่อโอโซน ความร้อน แสงแดด น้ำมัน (ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน โทลูอีน) และสารเคมีอื่น ๆ

2.1.2 ยางสังเคราะห์ (synthetic rubber ; SR)

ยางสังเคราะห์ ผลิตขึ้นมาเพื่อทดแทนยางธรรมชาติที่มีข้อด้อยต่างๆ คือไม่ทนต่อโอโซน ความร้อน แสงแดด น้ำมัน และสารเคมี โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายชนิด ตามชนิดของโมโนเมอร์ที่เข้ามาทำปฏิกิริยากัน ตัวอย่างเช่น ยางสังเคราะห์ที่มีการใช้งานค่อนข้างมากในอุตสาหกรรม ได้แก่

2.1.2.1 ยางโพลิไอโซพรีน (cis - 1, 4 - polyisoprene ; IR)

ยาง IR เป็นยางที่เกิดจากความพยายามในการสังเคราะห์ยางที่มีโครงสร้างทางเคมีและมีสมบัติเหมือนกับยางธรรมชาติ ดังนั้นจึงสามารถใช้ยาง IR แทนยางธรรมชาติในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติแล้ว ยาง IR มีสมบัติเชิงกลด้านความทนต่อแรงดึงและความทนต่อการฉีกขาดต่ำกว่ายางธรรมชาติเล็กน้อย และมีราคาสูงกว่ายางธรรมชาติอีกด้วย แต่ยาง IR มีข้อดีที่เหนือกว่ายางธรรมชาติ คือยางมีคุณภาพสม่ำเสมอ มีสิ่งเจือปนน้อยกว่า และมีสีขาวสวย บางครั้งจึงนิยมใช้ยาง IR แทนยางธรรมชาติในการผลิตลูกบวมยาง และอุปกรณ์การแพทย์บางชนิด

2.1.2.2 ยางสไตรีนบิวทาไดอีน (styrene - butadiene rubber ; SBR)

ยาง SBR เป็นยางที่สังเคราะห์จากโมโนเมอร์ของสไตรีนและบิวทาไดอีน จัดเป็นยางสังเคราะห์อเนกประสงค์ที่สำคัญ และนิยมใช้งานมากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นยางที่ใช้งานได้ทั่วไปเช่นเดียวกับยางธรรมชาติ และยาง IR สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง มีคุณภาพสม่ำเสมอและราคาค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ข้อดีของยาง SBR

ที่เหนือกว่ายางธรรมชาติ คือมีกระบวนการแปรรูปที่ง่ายกว่า ทำให้ประหยัดทั้งกำลังงานและเวลาตลอดจนต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ยาง SBR ยังมีความต้านทานต่อการขีดถูสูงกว่ายาง NR เล็กน้อย ยาง SBR เป็นยางที่มีสมบัติเหนียวติดต่ำ ทำให้เมื่อผ่านการวัลคาไนซ์แล้ว จะมีความทนต่อแรงดึงและความทนต่อการฉีกขาดค่อนข้างต่ำ จำเป็นต้องเสริมแรงด้วยสารตัวเติมเสริมแรง เช่น เชม่าดำ หรือซิลิกา ยาง SBR มีการกระด้างกระดอนหรือความยืดหยุ่นต่ำกว่ายาง NR มาก เมื่อถูกใช้งานในเชิงพลวัต ยาง SBR จึงมีความร้อนสะสมสูงกว่า ด้วยเหตุนี้ ยาง SBR จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการผลิตยางล้อรถบรรทุกที่มีขนาดใหญ่เพราะความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นอาจสูงมากพอที่จะทำให้ยางเกิดการระเบิดได้ ยาง SBR เป็นยางที่มีความเป็นฉนวนสูง ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมและตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนต่ำ เสื่อมสภาพจากความร้อน ออกซิเจน และโอโซนได้ง่าย เช่นเดียวกับยาง NR ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากยาง SBR ได้แก่ สายพาน พื้นรองเท้า ฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อยาง ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ บรรจุภัณฑ์อาหาร รวมถึงดอกยางล้อรถยนต์โดยสาร เป็นต้น

2.1.2.3 ยางไนไตรล์ (nitrile or acrylonitrile-butadiene rubber ; NBR)

ยาง NBR เป็นยางที่สังเคราะห์จากโมโนเมอร์ของอะครีโลไนไตรล์และบิวทาไดอีน ยาง NBR มีสมบัติเด่น คือทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ ได้ดี ทนต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อน ออกซิเจน และโอโซนสูงกว่ายาง NR และ SBR และเป็นยางที่มีความต้านทานต่อการขีดถูที่สูงมาก แต่ยังมีข้อด้อย คือเป็นยางที่มีสมบัติความเหนียวติดต่ำ เมื่อผ่านการวัลคาไนซ์ ยางจะมีความยืดหยุ่น ความทนทานต่อแรงดึง และความทนทานต่อการฉีกขาดค่อนข้างต่ำ หากต้องการนำไปใช้งานในทางวิศวกรรม ก็จำเป็นต้องเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย ยาง NBR ส่วนใหญ่นิยมนำไปใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ทนน้ำมัน เช่น ปะเก็นน้ำมัน ยางโอริง ยางซีล ยางเชื่อมข้อต่อ สายพานลำเลียง ท่อดูดหรือส่งน้ำมัน ท่อยางเสริมแรง ยางบุภาชนะ ยางเคลือบลูกกลิ้ง รองเท้าบูท พื้นและส้นรองเท้า เป็นต้น

2.1.2.4 ยางคลอโรพรีน (chloroprene rubber ; CR)

ยาง CR เป็นยางที่สังเคราะห์จากโมโนเมอร์ของคลอโรพรีน มีสมบัติความเหนียวติดที่ดี ยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้ว มีความทนทานต่อแรงดึงและความทนทานต่อการฉีกขาดสูง โดยที่ไม่ต้องเติมสารตัวเติมเสริมแรง (แต่ยังคงต่ำกว่ายาง NR เล็กน้อย) มีความต้านทานการขีดถูสูง สามารถทนต่อน้ำมันหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วได้ในระดับปานกลางถึงดี มีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน ออกซิเจน และโอโซนสูงกว่ายางไดอีนอื่นๆ ไป และยังไม่ลามไฟอีกด้วย แต่แม้ว่ายาง CR เป็นยางที่มีสมบัติโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่มีราคาค่อนข้างสูง จึงนิยมนำไปใช้ในการผลิตแผ่นยางรองรางรถไฟ ยางซีล ท่อยางเสริมแรง สายพานลำเลียง สายพานรูปตัววี ยางรองคอสพาน ยางบุผนังพื้นรองเท้า ยางขอบหน้าต่าง และยางขอบหลังคา เป็นต้น

2.1.2.5 ยางบิวไทล์ (butyl rubber ; IIR)

ยาง IIR เป็นยางที่สังเคราะห์จากโมโนเมอร์ของไอโซพรีนและไอโซบิวทิลีน สมบัติเด่นของยางชนิดนี้ คือความสามารถในการเก็บกักก๊าซได้ดีเยี่ยม (มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซต่ำกว่ายาง NR ประมาณ 8 - 10 เท่า) มีความทนทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการขีดถูอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และสามารถทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจาก สารเคมี ออกซิเจน โอโซน ใต้น้ำ ความร้อน และสภาพอากาศได้อย่างดีเยี่ยมอีกด้วย แต่ยาง IIR มีข้อด้อย คือความยืดหยุ่นค่อนข้างต่ำ

จึงนิยมใช้ในการผลิตยางโอริงหรือปะเก็นยางชนิดที่ต้องทนต่อสารเคมี ท่อไอน้ำ ยางใน รถบรรทุก ยางบุด้านในของยางล้อแบบไม่มียางใน สายพาน ยางบุต่างๆ รวมถึงจุกปิดขวดยา เป็นต้น

2.1.2.6 ยางบิวทาไดอีน (butadiene rubber ; BR)

ยาง BR มีสมบัติเด่น คือ เมื่อผ่านการวัลคาไนซ์แล้วยางจะมีความยืดหยุ่น และความต้านทานต่อการขีดถูสูงที่สุด มีความเป็นฉนวนสูงและมีสมบัติการหักงอที่อุณหภูมิต่ำตีมาก อย่างไรก็ตาม ยางชนิดนี้มีความทนต่อแรงดึงต่ำ ไม่ทนต่อน้ำมันหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วเช่นเดียวกับยาง NR รวมทั้งยังมีการเสื่อมสภาพได้เร็วเหมือนยางที่ไม่อิมิตัวชนิดอื่นๆ และยางยังมีสมบัติเหนียวติดต่ำอีกด้วย ส่วนใหญ่นิยมนำยาง BR ไปใช้ในการผลิตดอกยางล้อรถยนต์ ใส่ในลูกกอล์ฟ ลูกฟุตบอล ยางพื้นรองเท้า สายพานลำเลียง ยางกันกระแทก สายพานส่งกำลัง และยางกันสะเทือน เป็นต้น

2.1.2.7 ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน (ethylene propylene diene rubber ; EPDM)

ยาง EPDM เป็นยางที่สังเคราะห์จากโมโนเมอร์ของเอทิลีน โพรพิลีน และไดอีน มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อน ออกซิเจน โอโซน และสารเคมี เป็นยางที่มีความยืดหยุ่น มีความเป็นฉนวน และมีความต้านทานต่อการล้าตัวค่อนข้างสูง สามารถนำไปใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 150°C จึงนิยมใช้ในการผลิตท่อเครื่องซักผ้า ยางหุ้มท่อแอร์ สายพานลำเลียง แผ่นยางกันน้ำ แผ่นยางมุงหลังคา ฉนวน หุ้มสายเคเบิล รวมถึงชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น ยางขอบหน้าต่าง ยางขอบประตู แก้มยาง ท่อยางหม้อน้ำ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ยาง EPDM เป็นยางที่มีสมบัติเหนียวติด ความทนต่อแรงดึงติดต่ำ และไม่ทนน้ำมัน หรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว

2.1.2.8 ยางซิลิโคน (silicone rubber ; Q)

ยาง Q จัดเป็นยางชนิดพิเศษที่มีสมบัติเด่น คือมีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ เนื่องจากความร้อน ออกซิเจนและโอโซนสูงมาก จึงสามารถใช้งานในที่ที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำมากๆ ได้ ยาง Q มีแรงดึงดูระหว่างโมเลกุลต่ำ ส่วนใหญ่จึงอยู่ในรูปของเหลวที่มีความหนืดสูงหรืออยู่ในรูปของแข็งที่มีความหนืดต่ำ มีความสามารถในการอัดตัวได้มาก (highly compressible) และยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ง่าย นอกจากนี้ยางชนิดนี้ต้องวัลคาไนซ์ด้วยระบบเพอร์ออกไซด์ จึงทำให้ยางมีความทนต่อแรงดึง ทนต่อการฉีกขาดและต้านทานต่อการขีดถูต่ำมาก ทนน้ำมันได้ในระดับปานกลาง ยาง Q มีหลายชนิด เช่น MQ (ไดเมทิลซิลิโคน) VMQ (ไดเมทิลไวนิลซิลิโคน) PMQ (ไดเมทิลฟีนิล ซิลิโคน) PVMQ (ไดเมทิลไวนิลฟีนิลซิลิโคน) รวมถึงยางฟลูออโรซิลิโคนหรือ FVMQ ซึ่งเป็นยางที่มีทั้งหมู่ไวนิล เมทิล และหมู่ที่มีธาตุฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่นิยมใช้ในการผลิตยางที่เป็นชิ้นส่วนของยานอวกาศ เครื่องบิน รถยนต์ ใช้ทำฉนวนหุ้ม สายเคเบิล ยางโอริง หน้ากากออกซิเจน และใช้ในงานทางการแพทย์ และเภสัชกรรม รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ต้อง สัมผัสกับอาหาร

2.1.2.9 ยางฟลูออโรคาร์บอน (fluorocarbon rubber ; FKM)

ยาง FKM เป็นยางที่มีฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูง มีสมบัติเด่น คือมีความเป็นขั้วและความเสถียรสูงมาก จึงทนน้ำมันและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วได้ดีเยี่ยม ทนต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจาก ความร้อน ออกซิเจน โอโซน เปลวไฟ และสารเคมีต่างๆ ได้อย่างดีเยี่ยมด้วย (ทนความร้อนได้สูงที่สุดในบรรดายางทั้งหมด) นอกจากนี้ยังมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซที่ต่ำมากอีกด้วย อย่างไรก็ตาม ยางชนิดนี้ก็มีราคาที่สูงมาก และเป็นยางที่มีความยืดหยุ่นและมีสมบัติเชิงกลที่ด้อยกว่ายางไดอีนชนิดอื่นๆ ยาง FKM สามารถใช้ผลิตปลอกหุ้มสายไฟหรือสายเคเบิล

ในกรณีที่ต้องการความทนต่อความร้อน โอโซน สารเคมีและเปลวไฟสูงเป็นพิเศษ นอกจากนี้ยังใช้ ในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยเฉพาะชิ้นส่วนยานยนต์รวมถึงชิ้นส่วนของเครื่องบินและจรวด ได้แก่ ท่อน้ำมันเชื้อเพลิง ยางโอริง ปะเก็น ยางซีล เป็นต้น (พงษ์ธร แซ่อู๋, 2548)³

2.2 ยางคอมพาวด์ (Rubber Compound)

ยางคอมพาวด์ คือยางที่มีการผสมสารเคมีต่างๆ เช่น สารวัลคาไนซ์ สารตัวเร่งปฏิกิริยา สารตัวเติม เป็นต้น ซึ่งพร้อมที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ การผลิตยางคอมพาวด์ ต้องอาศัยเทคโนโลยีต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการออกสูตรเคมียางและการผสมยาง เพื่อให้ได้ยางคอมพาวด์ ที่นำไปขึ้นรูปและคงรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตามที่ต้องการ

การออกสูตรเคมียางให้เหมาะสมนั้น นับเป็นขั้นตอนแรกที่มีความสำคัญอย่างมาก ในกระบวนการผลิต เนื่องจากจะส่งผลต่อสมบัติหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การออกสูตรเคมียางที่ดี ต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับสมบัติและการใช้งานของยางแต่ละชนิดโดยละเอียด หน้าที่กลไกการทำงานของสารเคมีต่างๆ รวมทั้งความรู้เกี่ยวกับเครื่องจักรในการผสมและการแปรรูป

จุดประสงค์หลักของการออกสูตรเคมียาง ได้แก่

1. เพื่อให้สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ (processability)
2. เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีสมบัติตามที่ต้องการ (properties)
3. เพื่อควบคุมต้นทุน/ราคาตามที่ต้องการ (price)

โดยทั่วไปส่วนประกอบต่างๆ ในสูตรเคมียาง ประกอบด้วย

1. ยางธรรมชาติ (natural rubber ; NR) ยางสังเคราะห์ (synthetic rubber ; SR) ยางผสม (blends) หรือยางเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic elastomer ; TPE)
2. สารวัลคาไนซ์ (vulcanizing agent)
3. สารตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator)
4. สารกระตุ้นปฏิกิริยา (activator)
5. สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (antidegradants)
6. สารตัวเติม (fillers)
7. สารทำให้ยางนิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต (plasticizers and processing aids)
8. สารอื่นๆ เช่น สี (pigments) สารทำให้เกิดฟอง (blowing agents) และสารหน่วงการติดไฟ (flame retardants) เป็นต้น (พรพรรณ นิธิอุทัย, 2535)²

โดยในแต่ละกลุ่มอาจจะมีการใช้สารเคมีมากกว่าหนึ่งตัว เช่น สารตัวเร่งปฏิกิริยาอาจใช้ สองตัวร่วมกัน หรือสีอาจใช้สามหรือสี่ชนิดรวมกัน เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบและปริมาณของยางและสารเคมีต่างๆ ในสูตรยางพื้นฐาน

| ส่วนประกอบ | ปริมาณ (phr) |
|---|---------------|
| ยาง (Rubber) | 100 |
| กำมะถัน (Sulphur) | 2.5 - 3.5 |
| สารกระตุ้น (Activator) | 1 - 5 |
| สารเร่งให้คงรูป (Accelerator) | 0.5 - 2.0 |
| สารตัวเติม (Filler) | ตามที่ต้องการ |
| สารทำให้ยางนิ่ม (Plasticizer) | 5 - 10 |
| สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradant) | ตามที่ต้องการ |
| สารทำให้เกิดฟอง (Blowing agent) | ตามที่ต้องการ |

(ที่มา : หน่วยเทคโนโลยี, 2552)

2.3 สารเคมี

2.3.1 สารวัลคาไนซ์ (vulcanizing agent)

สารวัลคาไนซ์ คือสารที่ทำให้โมเลกุลยางเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ผ่านปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า ปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เซชัน ยางวัลคาไนซ์ที่ได้ มีความยืดหยุ่นสูง และมีสมบัติที่เสถียรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก การวัลคาไนซ์ยางที่นิยมใช้กันมากในกลุ่มอุตสาหกรรม สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบใหญ่ๆ ได้แก่ ระบบกำมะถัน ระบบเพอร์ออกไซด์ และระบบที่ใช้สารเคมีอื่นๆ

2.3.1.1 กำมะถัน (sulfur)

กำมะถันเป็นสารวัลคาไนซ์ที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมยางเพราะเป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ ปฏิกิริยาวัลคาไนซ์สามารถเกิดขึ้นได้เร็ว และยางวัลคาไนซ์ที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี ระบบนี้นิยมใช้กับยางทุกชนิดที่มีพันธะคู่ อยู่ในโมเลกุล โดยเฉพาะยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ เช่น SBR, IR, BR, NBR เป็นต้น อย่างไรก็ตามระบบนี้ก็มีข้อจำกัดหลัก คือไม่สามารถใช้วัลคาไนซ์ยางที่ไม่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล เช่น ยางซิลิโคน หรือ ยาง EPM ได้

2.3.1.2 เพอร์ออกไซด์(peroxide)

แม้ว่าการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์จะสามารถใช้ได้กับยางส่วนใหญ่ (ทั้งที่มีพันธะคู่และไม่มีพันธะคู่ ในโมเลกุล) แต่เนื่องจากระบบนี้มีต้นทุนสูงกว่าระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน และยางวัลคาไนซ์ที่มีสมบัติทั้งเชิงกลและเชิงพลวัตต่ำกว่ายางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน ประกอบกับเพอร์ออกไซด์จัดเป็นสารเคมีที่ค่อนข้างอันตราย การขนย้ายและการเก็บรักษาต้องทำด้วยความระมัดระวัง ดังนั้น การวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์นั้น จึงนิยมใช้กับยางที่ไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุล (เช่น EPM, EVA, CPE หรือ Q เป็นต้น) หรือยางที่มีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำมากเท่านั้น (เช่น HNBR, EPDM) สำหรับยางอื่นๆ นิยมวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน มากกว่า ยกเว้นกรณีที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทนต่อความร้อนได้ดีหรือมีค่าการเสีรูปถาวรหลังกด (compression set) ต่ำเท่านั้น

2.3.1.3 สารเคมีอื่นๆ

นอกจากระบบหลักๆ 2 ระบบดังที่กล่าว ยังมีการนำสารวัลคาไนซ์ชนิดอื่นๆ มาใช้ในการคงรูปด้วยเช่นกัน แต่มีการใช้น้อยหรือใช้ในกรณีที่จำเป็น เช่น การใช้โลหะออกไซด์ (แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับซิงก์ ออกไซด์) ในการคงรูปของยางคลอโรพรีน (chloroprene; CR) หรือการใช้สารประกอบในกลุ่มควิโนนไดออกโซนิมใช้ในการวัลคาไนซ์ยาง IIR เป็นต้น

2.3.2 สารตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerators)

สารตัวเร่งปฏิกิริยา คือสารเคมีที่เติมลงไปในยางปริมาณเล็กน้อย เพื่อเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้ยางวัลคาไนซ์เร็วขึ้น ทำให้ลดเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ลง ทำให้ยางวัลคาไนซ์มีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น ซึ่งการใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยานี้เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน ปัจจุบันสามารถแบ่งกลุ่มของสารตัวเร่งปฏิกิริยาออกได้เป็นหลายกลุ่ม ดังนี้

2.3.2.1 เมอร์แคปโต (mercapto)

สารตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มนี้ ใช้ได้กับยางเกือบทุกประเภท ทำให้ยางมีระยะเวลาการสกอรัซสั้นและมีอัตราเร็วในการวัลคาไนซ์ปานกลาง ยางวัลคาไนซ์ที่ได้จะมีสมบัติเชิงกลที่ดีและมีความทนทานต่อความร้อนสูง ตัวอย่างสำคัญของสารตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มเมอร์แคปโตนี้ได้แก่ เมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล (2 – mercaptobenzothiazole ; MBT) และไดเบนโซไทอะซิดไดซัลไฟด์ (dibenzothiazyl disulfide ; MBTS)

2.3.2.2 เบนโซไทอะโซลซัลฟิनाไมด์ (benzothiazole sulfenamide)

สารตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มนี้ทำให้ยางมีระยะเวลาสกอรัซที่ยาวขึ้น แต่ให้อัตราเร็วในการวัลคาไนซ์ที่สูง และให้ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูง ดังนั้นยางวัลคาไนซ์ที่ได้ จึงมีความแข็งแรงสูง มีความยืดหยุ่นดี และมีความต้านทานต่อการล้าตัวสูง ตัวอย่างที่สำคัญของสารเคมีในกลุ่มนี้ ได้แก่ ไซโคลเฮกซิลเบนโซไทอะโซลซัลฟิनाไมด์ (N – cyclohexyl – 2 – benzothiazole sulfonamide ; CBS) เทิร์ตบิวทิลเบนโซไทอะโซลซัลฟิनाไมด์ (N – tert.butyl – 2 – benzothiazole sulfonamide ; TBBS) ไดไซโคลเฮกซิลเบนโซไทอะโซลซัลฟิनाไมด์ (N, N' – dicyclohexyl – 2 – benzothiazole sulfonamide ; DCBS) และมอร์โฟลิโนไรโอเบนโซไทอะโซล (2 – (4 – morpholiniothio) benzothiazole ; MBS) เป็นต้น

2.3.2.3 ไดไทโอคาร์บาเมต (dithiocarbamates)

สารตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มนี้ มีประสิทธิภาพสูงมากในการเร่งอัตราการวัลคาไนซ์ ทำให้ยางมีระยะเวลาสกอรัซสั้นและเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย เมื่อได้รับการวัลคาไนซ์ที่นานเกินไป ยางวัลคาไนซ์ที่ได้มีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมากและไม่ทำให้สีของยางเปลี่ยนแปลงไป จึงสามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้อย่างหลากหลาย รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานในทางการแพทย์ เกษษกรรมหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหาร ตัวอย่างของสารเคมีในกลุ่มนี้ได้แก่ ซิงก์ไดเมทิลไดไทโอคาร์บาเมต (zinc dimethyldithiocarbamate ; ZDMC) ซิงก์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (zinc diethyldithiocarbamate ; ZDEC) เป็นต้น

2.3.2.4 ไทยูแรม (thiurams)

สารตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มไทยูแรม มีประสิทธิภาพในการเร่งอัตราเร็วในการวัลคาไนซ์ที่สูงมาก ในขณะที่ให้ระยะเวลาสกรอซที่ยาวกว่าสารตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมตเล็กน้อย ตัวอย่างที่สำคัญของสารตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มนี้ ได้แก่ เทตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (tetramethylthiuram disulfide ; TMTD) เทตระเมทิลไทยูแรมโมนอสัลไฟด์ (tetramethylthiuram monosulfide ; TMTM) และเทตระเบนซิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (tetrabenzylthiuram disulfide ; TBzTD) เป็นต้น

2.3.2.5 กัวนิดีน (guanidines)

สารตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มนี้ มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ จึงไม่นิยมนำไปใช้เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาปฐมภูมิ แต่จะนำไปใช้เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาทุติยภูมิร่วมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยาปฐมภูมิในกลุ่มอื่นๆ ตัวอย่างที่สำคัญของสารตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มนี้ ได้แก่ ไดฟีนิลกัวนิดีน (diphenylguanidine ; DPG) ไดโทลิลกัวนิดีน (dio - tolylguanidine ; DOTG) และโทลิลไบกัวไนด์ (o - tolylbiguanide ; OTBG) อย่างไรก็ตาม ผู้ออกสูตรเคมีบางส่วนใหญ่มักใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิดหรือมากกว่าเพื่อให้สารตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดทำงานแบบเสริมกัน (synergistic effect) ซึ่งจะส่งผลทำให้ยางมีอัตราเร็วในการวัลคาไนซ์สูงขึ้น เรียกสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณมากกว่า “สารตัวเร่งปฏิกิริยาปฐมภูมิ (primary accelerator)” และเรียกสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณน้อยกว่าว่า “สารตัวเร่งปฏิกิริยาทุติยภูมิ (secondary accelerator)”

2.3.3 สารกระตุ้นและสารหน่วงปฏิกิริยา (activators and retarders)

2.3.3.1 สารกระตุ้นปฏิกิริยา (activators)

สารกระตุ้นปฏิกิริยา คือสารเคมีที่ทำหน้าที่กระตุ้นให้สารตัวเร่งปฏิกิริยาทำงานได้ดียิ่งขึ้น สารกระตุ้นปฏิกิริยาสำหรับการวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ ซิงก์ออกไซด์ และกรดสเตียริก โดยทั่วไปนิยมใช้ซิงก์ออกไซด์ในปริมาณ 2-5 phr ร่วมกับกรดสเตียริกในปริมาณ 1-2 phr

2.3.3.2 สารหน่วงปฏิกิริยา (retarders)

สารหน่วงปฏิกิริยา คือสารเคมีที่เติมลงไปในยางเพื่อยืดระยะเวลาสกรอซ ทำให้ลดโอกาสของการเกิดยางตายทั้งในระหว่างการเก็บรักษาอย่างคอมพาวด์และในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป ตัวอย่างของสารหน่วงปฏิกิริยา ได้แก่

- 1) สารหน่วงปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น พะทาลิกแอนไฮไดรด์ (phthalic anhydride) กรดซาลิไซลิก (salicylic acid) กรดเบนโซอิก (benzoic acid) และกรดมาลิก (maleic acid)
- 2) ไซโคลเฮกซิลไทโอพะทาลิไมด์ (cyclohexyl - N - thiophthalimide ; CTP) หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า PVI (pre - vulcanization inhibitor) สารหน่วงชนิดนี้เป็นสารหน่วงที่เพิ่มระยะเวลาสกรอซของยางคอมพาวด์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราเร็วของการวัลคาไนซ์ ซึ่งต่างจากสารหน่วงปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นกรด

2.3.4 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (antidegradants)

สารป้องกันการเสื่อมสภาพ เป็นสารเคมีที่เติมลงไปในสูตรเคมีเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่นิยมเติมลงไปเป็นปริมาณ 1 - 3 phr สารป้องกันการเสื่อมสภาพมีหลายชนิด ทั้งที่เปลี่ยนสียาง เช่น กลุ่มอนุพันธ์ของเอมีน (amine derivatives) และไม่เปลี่ยนสียาง เช่น กลุ่มอนุพันธ์ของฟีนอล (phenol derivatives) โดยทั่วไป สารป้องกันการเสื่อมสภาพที่เปลี่ยนสียางอย่างรุนแรง จะมีประสิทธิภาพในการปกป้องยางสูงกว่าสารป้องกันการเสื่อมสภาพที่ไม่เปลี่ยนสียาง ตัวอย่างที่สำคัญของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ ได้แก่ ไอโซโพรพิลพินิลพินิลลีนไดเอมีน (N - Isopropyl - N' - phenyl - p-phenylenediamine ; IPPD) ไดมethylบิวทิล ฟีนิลฟีนิลลีนไดเอมีน (N - (1, 3 - dimethylbutyl) - N' - phenyl - p - phenylenediamine ; 6PPD) พอลิเมอร์ของไตรเมทิลไดไฮโดรควิโนลีน (2, 2, 4 - Trimethyl - 1, 2 - dihydroquinoline ; TMO) ไดบิวทิลครีโซล (2, 6 - Ditert.butyl - p - cresol ; BHT) และสไตรีนตฟีนอล (Styrenated phenol ; SPH) เป็นต้น

2.3.5 สารตัวเติม (fillers)

สารตัวเติม คือองค์ประกอบที่เติมเข้าไปในยางเพื่อจุดประสงค์หลายอย่าง เช่น เสริมแรงให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น เพื่อให้ยางคอมพาวด์มีสมบัติเฉพาะที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตหรือเพื่อลดต้นทุน สารตัวเติมที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกตามประสิทธิภาพของการเสริมแรงได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือสารตัวเติมเสริมแรง ได้แก่ เขม่าดำและซิลิกา สารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง ได้แก่ ดินขาว ทัลคัม และแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น

2.3.5.1 เขม่าดำ (carbon black)

เขม่าดำเป็นสารตัวเติมเสริมแรงที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมยาง มีหลายเกรด โดยแต่ละเกรดจะมีสมบัติพื้นฐานโดยเฉพาะขนาดของอนุภาคปฐมภูมิ พื้นที่ผิวและโครงสร้างที่แตกต่างกัน ดังนั้นเขม่าดำแต่ละเกรดจึงมีความสามารถในการเสริมแรงได้ไม่เท่ากัน การเลือกใช้เกรดของเขม่าดำให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตและชนิดของผลิตภัณฑ์จึงเป็นเรื่องที่สำคัญ

2.3.5.2 ซิลิกา (silica)

ซิลิกาเป็นสารตัวเติมอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมยาง โดยเฉพาะในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีสีหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความโปร่งแสงและมีสมบัติเชิงกลที่ดี เช่น ยางพื้นรองเท้า เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากบนพื้นผิวของซิลิกามีหมู่ไฮดรอกซิล (หมู่ - OH) หรือหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในปริมาณมาก ทำให้มีความเป็นขี้ผึ้ง ซิลิกาจึงแตกตัวและเข้ากับยางที่ไม่มีขี้ผึ้งได้ยาก นอกจากนี้หมู่ไฮดรอกซิลดังกล่าวยังสามารถดูดซับสารกระตุ้นปฏิกิริยา ทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ได้ช้าลง และมีระดับของการวัลคาไนซ์ต่ำลง ดังนั้นจึงต้องแก้ปัญหาด้วยการเติมสารเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ง่ายกับหมู่ไฮดรอกซิล เช่น ไดเอทิลีนไกลคอล (DEG) โพลีเอทิลีนไกล คอล (PEG) ไตรเอทานอลามีน (triethanolamine) หรือเฮกซะเมทิลีนเททระมีน (hexamethylene tetramine, HEXA) รวมถึงการเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น DPG หรือ DOTG ลงในสูตรเคมียางด้วย นอกจากนี้ยังต้องมีการเติมสารเคมีที่เรียกว่า สารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent) ลงไปเพื่อเพิ่มอันตรกิริยาระหว่างยางกับซิลิกา ทำให้ซิลิกาแตกตัวและกระจายตัวในยางได้ง่ายยิ่งขึ้น กระบวนการผลิต

เป็นไปได้ง่ายยิ่งขึ้น และยางวัลคาไนซ์มีสมบัติเชิงกลและพลวัตดีขึ้น ตัวอย่าง ได้แก่ ไทรเอทอกซีไซลิล โพรพิลเททระซัลไฟด์ (bis - (3 - triethoxysilylpropyl) - tetrasulfide ; Si - 69) เมอร์แคปโตโพรพิล ไทรเมทอกซีไซเลน (mercaptopropyltrimethoxysilane ; A - 189) ไทโอไซยาเนโตโพรพิลไทรเอทอกซีไซเลน (3 - thiocyanato - propyltriethoxysilane ; Si - 264) เป็นต้น

2.3.6 สารตัวเติมอื่นๆ

สารตัวเติมอื่นๆ นอกเหนือจากเขม่าดำและซิลิกา ได้แก่ ดินขาวหรือเคลล์ (clay) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ทัลคัม (talcum) ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารไม่เสริมแรงจนถึงเสริมแรงได้ปานกลางขึ้นกับขนาดของอนุภาค แต่จะช่วยลดต้นทุนและทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้โดยง่าย

2.3.7 สารทำให้ยางนิ่ม (synthetic plasticizers)

สารกลุ่มนี้นิยมใช้น้อย เพราะมีราคาค่อนข้างสูง จึงนำไปใช้กับยางบางประเภทที่ไม่สามารถเข้ากันได้ หรือเข้ากันได้เล็กน้อยกับน้ำมันมิเนอร์ล สารทำให้ยางนิ่มสังเคราะห์ นอกจากจะทำให้ความหนืดของยางลดลงแล้ว ยังช่วยปรับปรุงสมบัติความเหนียวติดและไม่ทำให้ยางเปลี่ยนสี โดยส่วนใหญ่จะทำให้ยางวัลคาไนซ์มีความแข็งแรงลดลงและมีสมบัติแรงดึงที่ด้อยลง (ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ใช้) แต่ก็ทำให้ยางวัลคาไนซ์มีสมบัติการกระเด็ง กระดอน และสมบัติการหักงอที่อุณหภูมิต่ำดีขึ้น ตัวอย่างที่สำคัญของสารทำให้ยางนิ่มสังเคราะห์ ได้แก่ คลอรีเนตพาราฟิน (chlorinated paraffins) ไทโอบิวไทริกเอซิด บิวทิลเอสเทอร์ (thiobutyric acid butylester) ไดออกทิลพทาเลต (dioctylphthalate ; DOP) ไดไอโซออกทิลพทาเลต (diisooctylphthalate ; DIOP) และ ไดไอโซโนนิลพทาเลต (diisononylphthalate ; DINP)

2.3.8 สารช่วยในกระบวนการผลิต (processing aids)

สารช่วยในกระบวนการผลิต คือสารเคมีที่เติมเข้าไปในยางเพื่อช่วยให้การผสมหรือการขึ้นรูปเป็นไปได้ง่ายยิ่งขึ้น เนื่องจากสารเคมีในกลุ่มนี้จะช่วยลดพลังงานที่ใช้ในการผลิต สารทำให้ยางนิ่ม จึงถือเป็นส่วนหนึ่งของสารช่วยในกระบวนการผลิตด้วย แต่นอกจากสารทำให้ยางนิ่มแล้ว ยังมีสารช่วยในกระบวนการผลิตอื่นๆ ที่เติมลงไปในยางเพื่อจุดประสงค์เฉพาะบางอย่างที่ทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้ง่ายยิ่งขึ้น

2.3.9 สารอื่นๆ

1) สี (pigments) ที่นิยมใช้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ สีอินทรีย์และสีอนินทรีย์ สีอินทรีย์ให้สีที่มีความสว่างสดใสน้อยกว่าสีอนินทรีย์ แต่มีความทนทานต่อสภาพอากาศและสารเคมีสูงกว่าสีอนินทรีย์มาก และยังมีราคาถูกกว่าอีกด้วย ตัวอย่างของสีอินทรีย์ที่ใช้กันมาก ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide, TiO_2) ให้สีขาวสว่าง เหล็กออกไซด์ (iron oxides) ให้สีโทนแดง โครเมียมออกไซด์ (chromium oxide) ให้สีโทนเขียวและเหลือง - เขียว แคดเมียมซัลไฟด์ (cadmium sulfide) ให้สีโทนเหลือง ส้ม และแดง สีอินทรีย์แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพสูงและให้สีที่สว่างสดใสกว่า อนินทรีย์ แต่มีข้อเสียหลัก คือไม่ทนต่อความร้อน ไขมัน กรด และด่าง มีราคาแพง และสีบางตัว

ยังอาจก่อให้เกิดปัญหาการบลูมได้อีกด้วย ตัวอย่างของสีอินทรีย์ที่นิยมใช้ ได้แก่ azodyes (สีโทนส้ม) และ phthalocyanide dyes (สีโทนน้ำเงินและเขียว)

2) สารทำให้เกิดฟอง (blowing agents) คือสารที่มีความเสถียรที่อุณหภูมิห้อง แต่จะสลายตัวที่อุณหภูมิสูง และปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในช่วงก่อนหรือในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาคัลคานาชัน ก๊าซที่ปล่อยออกมาจะทำให้ยางมีรูพรุนหรือมีฟองกระจายอยู่ทั่วไป เรียกว่ายางฟองน้ำ (sponge) ตัวอย่างของสารทำให้เกิดฟอง ได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) เอโซไดคาร์บอนาไมด์ (azodicarbonamide ; ADC) เบนซีนซัลโฟไฮไดรไรด์ (benzenesulfohydrazide ; BSH) เบนซีนไดซัลโฟไฮไดรไรด์ (benzene - 1, 3 - disulfohydrazide) และไดไนโตรโซเพนตะเมทิลลีนเททระมีน (N, N' - dinitrosopentamethylenetetramine ; DNPT)

3) สารหน่วงไฟ เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อช่วยหน่วงการติดไฟของผลิตภัณฑ์ โดยสารเคมีนี้จะสลายตัวให้แก๊สหรือสารที่ไม่ติดไฟเมื่อได้รับความร้อน ตัวอย่างสารหน่วงการติดไฟ ได้แก่ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_3$) และแอนติโมนีออกไซด์ (Sb_2O_3)

4) สารดูดความชื้น คือสารที่เติมลงไปเพื่อกำจัดความชื้นที่มีอยู่ในยางให้หมดไปก่อนการวัลคานาชัน ทั้งนี้เมื่อยางคอมพาวด์ได้รับความร้อนสูงๆ ความชื้นที่มีอยู่ในยางจะระเหยกลายเป็นไอ ทำให้เกิดรูพรุนหรือฟองอากาศขึ้น โดยเฉพาะที่ขึ้นรูปด้วยวิธีเอ็กสทรูด ซึ่งยางมักจะวัลคานาชันด้วยการใช้อุโมงค์ลมร้อน (hot air tunnel) หรืออ่างเกลือหลอม (salt bath) ตัวอย่างสารดูดความชื้น เช่น แคลเซียมออกไซด์ (CaO)

2.4 เครื่องผสมยาง

การผสมยาง โดยใช้เครื่องผสมอาจจะเป็นเครื่องผสมระบบปิดหรือระบบเปิด โดยยางที่ผ่านการผสมสารเคมีแล้วจะเรียกว่า “ยางคอมพาวด์ (rubber compound)” ซึ่งการผสมยางเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจาก หากสารเคมีที่เติมลงไป ในยางกระจายตัว (distribution) หรือแตกตัว (dispersion) ได้ไม่ดี จะส่งผลโดยตรงต่อความสม่ำเสมอของคุณภาพผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการใช้กระบวนการผสมที่แตกต่างกัน เช่น การใช้เครื่องผสมคนละชนิดกัน การใช้สภาวะการผสมที่แตกต่างกัน หรือแม้แต่การจัดลำดับการเติมสารเคมีลงไป ในเครื่องผสมที่แตกต่างกัน ก็ย่อมจะส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติที่แตกต่างกันด้วย แม้ว่าจะ เป็นยางสูตรเดียวกันก็ตาม

เครื่องผสมยาง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

- 1) เครื่องผสมยางแบบไม่ต่อเนื่องหรือแบบแบตช์ (batch mixer) ซึ่งได้เป็น 2 ระบบ ได้แก่
 - 1.1) ระบบเปิด ได้แก่ เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill)
 - 1.2) ระบบปิด แบ่งตามลักษณะของโรเตอร์ออกเป็น 4 แบบ ได้แก่
 - เครื่องผสมระบบปิดแบบบูรี (Banbury internal mixer)
 - เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเทอร์มิกซ์ (Intermix internal mixer)

- เครื่องผสมระบบปิดแบบที่ปรับระยะห่างระหว่างโรเตอร์ได้ (variable intermeshing clearance internal mixer)

- เครื่องผสมระบบปิดอื่นๆ ได้แก่ เครื่องนวดยางหรือนีตเตอร์ (kneader)

2) เครื่องผสมแบบต่อเนื่อง (continuous mixer) ได้แก่ เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (single screw), เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่ (twin screw)

2.4.1 เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill)

เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งเป็นเครื่องผสมระบบเปิด ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก เรียงตัวในแนวขนานกัน หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วต่างกัน ทำให้เกิดแรงเฉือนที่จำเป็นต่อการบดผสมยางกับสารเคมี ในการผสมยางกับสารเคมียางจะใส่ยางลงช่องระหว่างลูกกลิ้ง ยางจะถูกรีดออกมาเป็นแผ่นรอบลูกกลิ้งด้านหน้า จากนั้นจึงเติมสารเคมียาง โดยผู้ผสมต้องทำการกรีดยางแผ่น และพับไปมาในขณะที่เติมสารเคมีลงไปในยาง ซึ่งยางที่ถูกตัดพับจะถูกใส่กลับไปช่องระหว่างลูกกลิ้ง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะช่วยให้สารเคมีต่างๆ กระจายตัวเข้ากับเนื้อยางได้ดี เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ใช้ผสมยางในปริมาณไม่มาก เนื่องจากต้องใช้ความชำนาญและกำลังคนในการผสม



ภาพที่ 2.1 เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two - roll mill)
(ที่มา: หน่วยเทคโนโลยียาง, 2552)

2.4.2 เครื่องผสมระบบปิดแบบบูรี (Banbury internal mixer)

โดยทั่วไปเครื่องผสมระบบปิด มีองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน ได้แก่ ห้องผสม (chamber) ตัวบดผสมหรือโรเตอร์ (rotor) แท่งกดหรือแรม (ram) และระบบหล่อเย็น (cooling system) เครื่องผสมระบบปิดให้ประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการผสมมากกว่าการใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เพราะสารเคมีไม่ฟุ้งกระจายระหว่างการผสม ลดการสูญเสียสารเคมีขณะผสม และลดการผิดพลาด เนื่องจากการใช้แรงงานคนในการผสม สามารถผสมยางกับสารเคมีได้ในปริมาณสูง เช่น 50 - 100 กิโลกรัม โรเตอร์ทั้งสองของเครื่องผสมระบบปิดแบบบูรีจะเป็นแบบไม่คาบเกี่ยวกัน หรือที่เรียกว่า “noninterlocking หรือ non - intermeshing” หมุนด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกันขึ้นกับรุ่นของเครื่อง การทำงานของเครื่องผสมเพื่อให้เกิดการผสมคลุกเคล้าของยางกับสารเคมี ส่วนใหญ่จะมาจากแรงเฉือน

ที่เกิดขึ้น ระหว่างปีกของโรเตอร์กับผนังของห้องผสม ยางและสารเคมีจะถูกบีบอัดผสมกัน ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิของห้องผสมอย่างเหมาะสม ทำให้สารเคมีต่าง ๆ กระจายตัวในยางได้ดีขึ้น



ภาพที่ 2.2 เครื่องผสมระบบปิดแบบบูรี (Banbury internal mixer)

ที่มา : <https://www.indiamart.com>

2.4.3 เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มีกซ์ (Intermix internal mixer)

เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มีกซ์มีองค์ประกอบสำคัญเหมือนกับเครื่องผสมระบบปิดแบบบูรี แต่โรเตอร์ทั้งสองของเครื่องผสมนี้จะเป็นแบบคาบเกี่ยวกันหรือที่เรียกว่า “intermeshing” หมุนด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน แรงเฉือนจะเกิดขึ้นที่บริเวณช่องว่างระหว่างปีกของโรเตอร์ยางและสารเคมีจะถูกบีบอัดผสมคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิของห้องผสมและโรเตอร์ได้ดีกว่าเครื่องผสมระบบปิดแบบบูรี จึงมีประสิทธิภาพการผสมที่สูงมาก สารตัวเติมสามารถแตกตัวและกระจายตัวในยางได้ดี แต่อย่างไรก็ตามโรเตอร์แบบ “intermeshing” นี้ มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ทำให้ยางคอมพาวด์ที่ได้จากการผสมในแต่ละครั้งมีปริมาณค่อนข้างน้อยจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยม



ภาพที่ 2.3 เครื่องผสมระบบปิดแบบบูรี (Banbury internal mixer)

ที่มา : <https://www.indiamart.com>

2.4.4 เครื่องผสมระบบปิดแบบที่ปรับระยะห่างระหว่างโรเตอร์ได้ (variable intermeshing clearance internal mixer)

เครื่องผสมแบบนี้ มีโรเตอร์เหมือนเครื่องผสมระบบปิดแบบอินเทอร์มิกซ์ แต่ผู้ผสมสามารถปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างโรเตอร์ทั้งสองระหว่างการผสมได้ เช่น ในช่วงแรกของการผสมตั้งระยะห่างระหว่างโรเตอร์ไว้ให้มาก จะทำให้ป้อนยางและสารเคมีเข้าไปในเครื่องได้ง่าย จากนั้นปรับลดระยะห่างระหว่างโรเตอร์ เพื่อให้มีแรงเฉือนสูงขึ้นจะทำให้สารตัวเติมแตกตัวได้ดีขึ้น

2.4.5 เครื่องนวดยางหรือนีดเดอร์ (kneader)

เครื่องนวดยางหรือนีดเดอร์ เป็นเครื่องผสมระบบปิดชนิดอื่นๆ ที่มีการจำหน่ายในเชิงการค้า และมีการผลิตในประเทศแถบเอเชีย แม้ว่าหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรี แต่รูปแบบของโรเตอร์ แตกต่างจากโรเตอร์ของเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรีมาก ทำให้ประสิทธิภาพในการผสมต่ำกว่าเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรีมาก อย่างไรก็ตามเครื่องนวดยางมีราคาต่ำกว่าเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรีมาก จึงเป็นที่นิยมในปัจจุบันสำหรับอุตสาหกรรมยางภายในประเทศไทย



ภาพที่ 2.4 เครื่องนวดยางหรือนีดเดอร์ (kneader)

ที่มา : <http://thai.rubbertestingmachine.com/sale-11899161-rubber-laboratory-internal-banbury-mixer-machine-plastic-kneader-equipment.html>

2.4.6 เครื่องผสมยางแบบต่อเนื่อง (continuous mixer)

เครื่องผสมยางแบบต่อเนื่อง (continuous mixer) ได้แก่ เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (single screw) เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่ (twin screw) ตัวเครื่องสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 บริเวณใหญ่ ได้แก่ บริเวณที่ป้อนสาร (feed zone) ซึ่งจะประกอบด้วย ถังป้อนสารที่มีลักษณะคล้ายกรวย (hopper) บริเวณที่เกิดการผสม (mixing zone) คล้ายห้องผสมในเครื่องผสมระบบปิด บริเวณที่ปล่อยยางออกจากเครื่อง (discharge zone)

ทั้งนี้ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น อัตรากำลังการผลิต ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนวัตถุดิบเข้าไปในเครื่อง การเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบจะทำให้ระยะเวลาที่ยางคอมพาวด์อยู่ในเครื่องผสมสั้นลง ทำให้ประสิทธิภาพในการผสมลดลง ยางคอมพาวด์ที่ได้จะมีระดับการกระจายตัวและการแตกตัวของสารตัวเติมที่ต่ำลง ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.5 การตรวจสอบคุณภาพของยางคอมพาวด์เบื้องต้น

ภายหลังจากการผสมยางคอมพาวด์เสร็จสิ้น ผู้ผลิตควรตรวจสอบคุณภาพของยางคอมพาวด์เบื้องต้น เพื่อให้แน่ใจได้ว่ายางคอมพาวด์ที่ผลิตได้มีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดด้านคุณภาพ ตามที่ลูกค้าต้องการ นอกจากนี้การตรวจสอบคุณภาพของยางคอมพาวด์อย่างสม่ำเสมอยังเป็นการช่วยควบคุมความสม่ำเสมอทางคุณภาพของการผลิตอีกด้วย โดยทั่วไปควรมีตรวจสอบสมบัติพื้นฐาน ดังนี้

2.5.1 ความหนืดมูนี (Mooney viscosity)

ความหนืดมูนี เป็นหนึ่งในสมบัติที่สำคัญที่สุดของยางคอมพาวด์ที่ต้องตรวจสอบ เพราะเป็นสมบัติที่บ่งชี้ ความสามารถในการไหล หรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางคอมพาวด์ยางที่มีความหนืดต่ำจะไหลได้ง่าย ทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้โดยง่ายด้วยเช่นกัน การวัดค่าความหนืดมูนี สามารถทำได้โดยใช้เครื่องทดสอบที่เรียกว่า “เครื่องมูนีวิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer)”



ภาพที่ 2.5 เครื่องมูนีวิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer)

ที่มา : <https://www.worldoftest.com/mooney-viscometer>

ตัวเครื่องทดสอบประกอบด้วยโรเตอร์ที่วางอยู่ภายในช่องว่างระหว่างตาย 2 อัน คือ ตายบน (upper die) และตายล่าง (lower die) โดยโรเตอร์มี 2 ขนาดให้เลือกใช้ตามระดับความหนืดของยาง กล่าวคือถ้ายางที่ทดสอบมีความหนืดสูง ก็ใช้โรเตอร์ขนาดเล็ก แต่ถ้ายางที่ทดสอบมีความหนืดปานกลางหรือต่ำ ก็ใช้โรเตอร์ขนาดใหญ่ ใส่ยางเข้าไปในช่องว่างระหว่างตายบนและตายล่าง ให้ความร้อนแก่ยาง (preheat time) 1 นาที เพื่อให้ยางมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่จะทดสอบ จากนั้นโรเตอร์จะเริ่มหมุนด้วยความเร็วประมาณ 2 รอบต่อนาทีทำให้เกิดแรงเฉือนระหว่างพื้นผิวของโรเตอร์และพื้นผิวของตาย แรงที่ใช้ในการหมุนโรเตอร์จะสัมพันธ์โดยตรงกับความหนืดของยางคอมพาวด์ เครื่องจะบันทึกแรงบิดที่ต้องใช้ในการหมุนโรเตอร์ตามเวลาและแปลงค่าที่ได้ให้อยู่ในรูปของ “Mooney units (MU) หรือ Mooney viscosity (MV) scale” โดยส่วนใหญ่นิยมอ่านค่าความหนืดของยางหลังจากที่โรเตอร์หมุนไป 4 นาที ยกเว้นในกรณีของยางบิวไทล์ (IIR) และยางฮาโลบิวไทล์ (XIIR) ซึ่งจะอ่านค่าความหนืดของยางหลังจากที่โรเตอร์หมุนไป 8 นาที

2.5.2 ลักษณะการวัลคาไนซ์ (cure characteristics)

นอกจากสมบัติการไหลแล้ว ลักษณะการวัลคาไนซ์ เช่น ระยะเวลาสกอร์ช (scorch time) และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ (curing time) ก็จัดเป็นสมบัติสำคัญของยางคอมพาวด์ที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิต เพราะถ้ายางเกิดการวัลคาไนซ์เร็วเกินไปหรือมีระยะเวลาสกอร์ชที่สั้นเกินไปก็อาจก่อให้เกิดปัญหาในระหว่างการไหลขึ้นรูปได้ เช่น ยางไหลได้ไม่เต็มแม่พิมพ์ ดังนั้น ในการออกสูตรเคมียาง จึงต้องออกสูตรให้ยางคอมพาวด์มีระยะเวลาสกอร์ชที่ยาวเพียงพอ ที่จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิต และยางคอมพาวด์ก็ควรจะมีระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ที่สั้นเพื่อทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงและเพิ่มผลผลิตการผลิต การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยาง ยังเป็นหนึ่งในขั้นตอนของการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตอีกด้วย เช่น หากมีการชั่งน้ำหนักของสารเคมีในกลุ่มที่ทำให้ยางวัลคาไนซ์ผิดหรืออาจเติมสารเคมีดังกล่าวผิดขั้นตอน ก็จะส่งผลทำให้ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางผิดปกติได้ ปัจจุบัน เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางมี 3 ชนิด ได้แก่ เครื่องมูนนี่วิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer) เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง (Oscillating disc rheometer ; ODR) และเครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่ (Moving die rheometer ; MDR)

การทดสอบด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่ (Moving die rheometer ; MDR) ปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาเครื่องมือทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางอย่างต่อเนื่อง จนได้เป็นเครื่องมือทดสอบ ชนิดที่ไม่มีโรเตอร์เรียกว่า “rotorless curemeter” ตัวอย่างที่สำคัญของเครื่องมือวัดชนิดนี้ได้แก่ เครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่หรือเครื่อง MDR โดยทั่วไป เครื่อง MDR มีหลักการทำงานและวิธีการทดสอบเหมือนกับเครื่อง ODR ยกเว้นเครื่อง MDR จะไม่มีโรเตอร์ (มีเพียงตายบนและตาย ล่าง) เมื่อเริ่มการทดสอบ ตายล่างจะแกว่งไป - มา เป็นมุมแคบๆ (ส่วนใหญ่จะตั้งไว้ที่ 0.5° ซึ่งต่ำกว่าเครื่อง ODR) ด้วยความถี่ 1.7 Hz จากนั้นเครื่องก็จะเริ่มบันทึกค่าแรงบิดที่เปลี่ยนไปตามเวลา ผลการทดสอบที่ได้จึงมีลักษณะเช่นเดียวกับผลการทดสอบที่ได้จากเครื่อง ODR แต่ค่าระยะเวลาสกอร์ชที่วัดได้จากเครื่อง MDR คือระยะเวลาที่ทำให้ค่าแรงบิดสูงกว่าจุดต่ำสุด 1 เดซินิวตัน - เมตร โดยไม่ขึ้นอยู่กับมุมแกว่งของเครื่อง



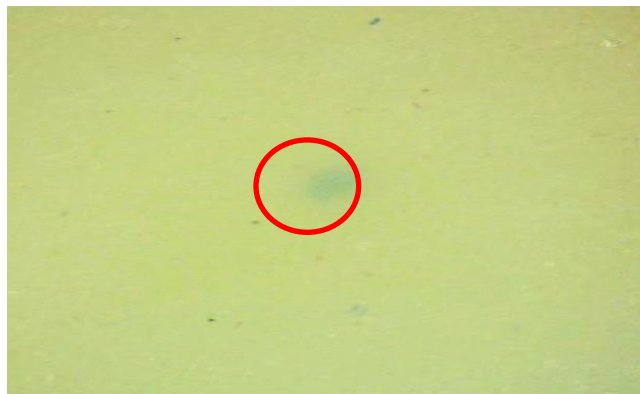
ภาพที่ 2.6 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่ (Moving die rheometer; MDR)
ที่มา : <http://tsen.in.th/moving-die-rheometer/>

บทที่ 3

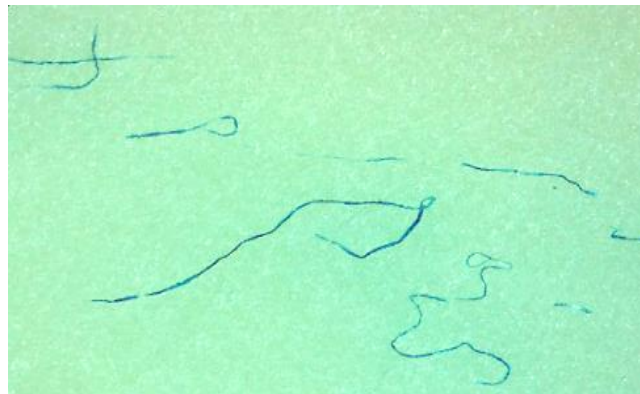
วัสดุ และวิธีการทดลอง

3.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดจุดฟ้าในยางสี

จากข้อมูลจุดสีฟ้าพบในยางคอมพาวด์ที่ผ่านการอัดแผ่น Slab โดยส่วนใหญ่มักพบในยางคอมพาวด์ที่เป็นสีกัม (สีธรรมชาติ)



ภาพที่ 3.1 ลักษณะจุดฟ้าเมื่อมองด้วยตาเปล่า



ภาพที่ 3.2 ลักษณะจุดฟ้าเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

3.1.1 วัสดุ

- ยางคอมพาวด์
- สารเคมีที่ใช้ในการผสมยาง

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของยางคอมพาวด์

| ลำดับ | ส่วนผสม |
|-------|--------------------|
| 1 | ยางแท่ง STR 5L |
| 2 | ยางคลอโรพรีน (CR) |
| 3 | ยางบิวตาไดอีน (BR) |
| 4 | ยางไนไตรล์ (NBR) |
| 5 | Zinc Oxide |
| 6 | Stearic acid |
| 7 | PEG 4000 |
| 8 | สาร Antioxidants |
| 9 | สาร Antiozonants |

3.1.2 อุปกรณ์

- จุลทรรศน์
- ตู้อบลมร้อน
- เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two - roll mill)
- เครื่องผสมแบบปิด (kneader)
- เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

3.1.3 วิธีการทดลอง

1) ผสมยางคอมพาวด์ตามสูตรมาตรฐาน

เตรียมส่วนผสมยางและสารเคมีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.1 ทำการผสมยางคอมพาวด์ด้วยเครื่องผสมแบบปิด (kneader) จากนั้นนำยางคอมพาวด์ที่ได้ผสมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยาและสารวัลคาไนซ์ เพื่อช่วยให้พร้อมสำหรับการคงรูป การคงรูปจะทำโดยการอัดแผ่น Slab ที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 8 นาที ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) จากนั้นนำแผ่น Slab ที่ได้ไปส่งกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูลักษณะจุดฟ้าที่เกิดขึ้น

2) ผสมยางตามสูตรมาตรฐานโดยเปลี่ยนสารกระตุ้นปฏิกิริยา (โดยใช้สารเคมีลือตที่พบปัญหา) ทำการผสมยางคอมพาวด์จากสูตรมาตรฐาน แต่เปลี่ยนสารกระตุ้นปฏิกิริยา โดยจากเดิมใช้สารกระตุ้นปฏิกิริยา คือ Zinc Oxide (White Seal) เป็น Zinc Transparent Conductive Oxide จากนั้นใส่สารตัวเร่งปฏิกิริยาและสารวัลคาไนซ์ ทำการขึ้นรูปโดยการอัดแผ่น Slab ที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา นาทีก่อน 8 นำแผ่น Slab ที่ได้ไปส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูลักษณะจุดฟ้าที่เกิดขึ้น

3) การตรวจสอบการปนเปื้อนจากสารเคมี

นำยางคอมพาวด์ที่พบปัญหาจุดฟ้าผสมให้เข้ากันกับสารเคมีแต่ละชนิดในสูตรมาตรฐาน โดยใช้เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two - roll mill) จากนั้นนำยางคอมพาวด์ที่ผสมสารเคมีแต่ละชนิดไปรีดบางและนำไปอบที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา นาทีก่อน หลังจากนั้นนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ 10 เพื่อตรวจสอบว่าสารเคมีชนิดใดที่ทำให้เกิดปัญหาจุดฟ้าในยาง

4) ตรวจสอบการปนเปื้อนของพอลิเมอร์

เตรียมยางแต่ละชนิด จากยาง Masticate ซึ่งประกอบไปด้วย ยางแห่ง STR 5L, ยางคลอโรพรีน (CR), ยางบิวตาไดอีน (BR) และยางไนไตรล์ (NBR) ที่พบปัญหาจุดฟ้า จากนั้นนำยางแต่ละชนิดไปรีดบางด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two - roll mill) นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C 20 นาทีก่อน และนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของยางแต่ละชนิดก่อนนำมาบดผสมเป็นยาง Masticate

3.2 ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงบิด (M_H) ต่ำลง

จากข้อมูลของแผนกประกันคุณภาพ พบว่าสูตรยางฟองน้ำของลูกค้า มีลักษณะบวมฟูและนิ่ม ซึ่งส่งผลกระทบต่อการขึ้นรูป เมื่อทำการตรวจสอบปัญหาพบค่า M_H ที่ต่ำลงอย่างผิดปกติ จากข้อมูลในการผสมยางคอมพาวด์ พบว่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นภายในห้องผสม มีค่าต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลเก่า จึงทำการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่มีการตั้งค่าไว้ 3 ระดับ เพื่อเปรียบเทียบและตรวจสอบว่าน้ำหล่อเย็นส่งผลให้ค่า M_H จริงหรือไม่

3.2.1 วัสดุ

- ยาง
- สารเคมีที่ใช้ในการผสม

3.2.2 อุปกรณ์

- เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)
- เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two - roll mill)
- เครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่ (Moving die rheometer ; MDR)

3.2.3 วิธีการทดลอง

ทำการทดลองโดยการผสมยางคอมพาวด์ 3 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะทำการตั้งค่า Vale น้ำหล่อเย็นของเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two - roll mill) ดังนี้

- 1) เปิด Vale น้ำหล่อเย็นสุด
- 2) เปิด Vale น้ำหล่อเย็น 45 °C
- 3) ปิด Vale น้ำหล่อเย็น

เมื่อทำการตั้งค่า Vale น้ำหล่อเย็นแล้ว ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) วัดอุณหภูมิหน้าลูกกลิ้ง จากนั้นทำการผสมยางคอมพาวด์ตามสูตรที่กำหนด ต่อมาให้ นำยางคอมพาวด์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติการคงรูปของยางด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่ (Moving die rheometer ; MDR) เพื่อเปรียบเทียบค่า M_H ที่อุณหภูมิต่างๆ ว่าตรงไปตามข้อมูลที่ว่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นส่งผลให้ค่า M_H ต่ำลงจริงหรือไม่ และทำการทดสอบซ้ำเพื่อยืนยันความถูกต้อง

3.3 ปัจจัยที่ส่งผลให้ยางคอมพาวด์สีเปลี่ยน

จากข้อมูลปัญหาการเปลี่ยนสีของยาง พบว่าโดยปกติเมื่อผสมยางคอมพาวด์ตามสูตรมาตรฐานและนำไปอัดแผ่น Slab แผ่นยางจะมีสีขาวออกเหลือง แต่ปัจจุบันพบว่ายางเปลี่ยนสีจากสีขาวออกเหลืองเป็นสีชมพู

3.3.1 วัสดุ

- ยางและสารเคมีที่ใช้ในการผสมยางคอมพาวด์ตามสูตร
- สารตัวเร่ง
- สารวัลคาไนซ์

3.3.2 อุปกรณ์

- เครื่องผสมแบบปิด (kneader)
- เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)
- เครื่องอัดรีด (Extruder)
- ตู้ควบคุมอุณหภูมิ
- ตู้อบลมร้อน

3.3.3 วิธีการทดลอง

1) ทำการผสมยางคอมพาวด์ตามสูตรที่กำหนด และนำยางคอมพาวด์ที่ได้ไปขึ้นรูป โดยการอัดแผ่น Slab ที่อุณหภูมิและเวลา ดังนี้

- 160°C x 4 min
- 160°C x 8 min
- 160°C x 16 min
- 160°C x 32 min

จากนั้นนำแผ่น Slab มาเปรียบเทียบสีที่เกิดขึ้น เมื่อใช้ระยะเวลาในการอบแตกต่างกัน
 2) นำยางคอมพาวด์ที่ได้จากการผสมในข้อที่ 1) ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด (Extruder) โดยไม่ผ่านสายพาน ที่อุณหภูมิและเวลาดังนี้

- 150°C x 5 min

- 170°C x 5 min

- 200°C x 5 min

จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาเปรียบเทียบสีที่เกิดขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปแตกต่างกัน
 3) ทดสอบชิ้นตัวอย่างยางคอมพาวด์ที่ได้จากข้อ 1) เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่สภาพอากาศต่างๆ เป็นระยะเวลา 3 วัน โดยแบ่งชิ้นยางคอมพาวด์ดังนี้

ตารางที่ 3.2 การทดสอบชิ้นตัวอย่างยางคอมพาวด์ที่สภาพอากาศต่าง ๆ

| ตัวอย่างที่ | การจัดเก็บ |
|-------------|--|
| 1 | ใส่ถุงสีขาวและจัดเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิ (25°C) |
| 2 | ใส่ถุงสีขาวและจัดเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องปกติ |
| 3 | ใส่ถุงสีใสและจัดเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิ (25°C) |
| 4 | ใส่ถุงสีใสและจัดเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องปกติ |

เมื่อครบ 3 วัน ให้นำยางคอมพาวด์มาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเมื่อวางตั้งไว้ในอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้องปกติ โดยใช้ทั้งถุงสีขาวและถุงสีใส

4) ทดสอบการเปลี่ยนสีของสารเคมีแต่ละชนิดในสูตรมาตรฐาน โดยทำการอบสารเคมีด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 2นาที่ 0 จากนั้นดูการเปลี่ยนสีของสารเคมี หากยังไม่พบสารที่ให้สีชมพู ให้นำสารเคมีที่เปลี่ยนสีมาจับคู่และนำไปอบดั้งเดิม สังเกตดูสีที่เปลี่ยนว่ามีสารเคมีคู่ใดเมื่อรวมกันจะให้สีชมพู

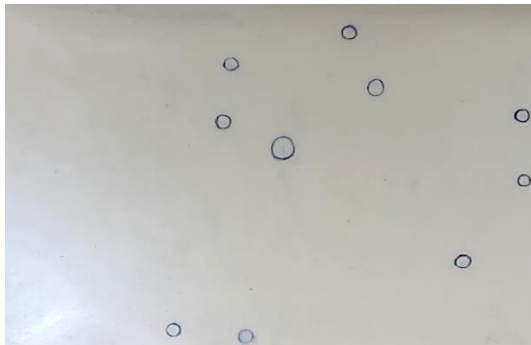
บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

4.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดจุดฟ้าในยางสี

4.1.1 ผสมยางคอมพาวด์ตามสูตรมาตรฐาน

เมื่อทำการผสมยางคอมพาวด์ตามสูตรมาตรฐานโดยใช้ยางและสารเคมีลีดที่พบปัญหาเมื่อได้ยางคอมพาวด์ต่อมาทำการใส่สารตัวเร่งปฏิกิริยาและสารวัลคาไนซ์เพื่อเตรียมพร้อมที่จะนำไปขึ้นรูปโดยการอัดแผ่น Slab หลังจากนั้นนำแผ่น Slab ที่ได้ไปส่องกล้องจุลทรรศน์



ภาพที่ 4.1 แผ่น Slab สูตรมาตรฐานที่พบจุดฟ้า

จากภาพที่ 4.1 พบว่ายางคอมพาวด์ที่ใช้ส่วนผสมของยางและสารเคมีในลีดที่พบปัญหาเกิดจุดฟ้าขึ้นจริง ซึ่งพบลักษณะเป็นจุดสีฟ้าทั่วแผ่น Slab

ลักษณะของจุดสีฟ้าที่พบ เมื่อมองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นเพียงจุดเล็กๆ สีฟ้า แต่หากนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นได้ว่าจุดสีฟ้ามีลักษณะเป็นเส้นสีฟ้ายาวๆ ขดไปมา ดังแสดงในภาพที่ 4.2 ลักษณะจุดฟ้าเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์



ภาพที่ 4.2 ลักษณะจุดฟ้าเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

4.1.2 การผสมยางคอมพาวด์สูตรมาตรฐานโดยเปลี่ยนสารกระตุ้นปฏิกิริยา (โดยใช้สารเคมี ลีตที่เกิดปัญหา)

เปลี่ยนสารกระตุ้นปฏิกิริยา โดยจากเดิมใช้สารกระตุ้นปฏิกิริยาคือ Zinc Oxide (White Seal) ที่จะทำให้สีธรรมชาติของยางคอมพาวด์เป็นสีชุ่น ไปเป็น Zinc Transparent Conductive Oxide ซึ่งจะทำให้สีของยางเป็นสีใส

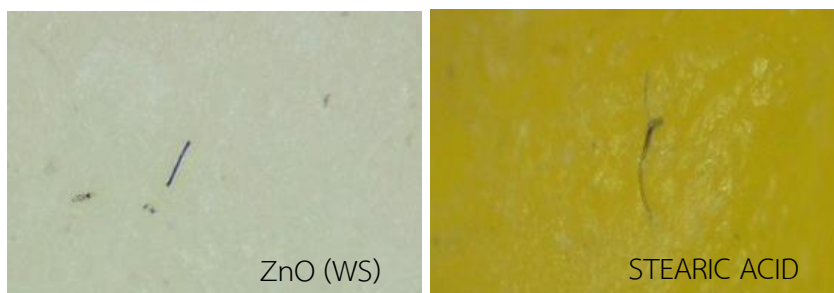


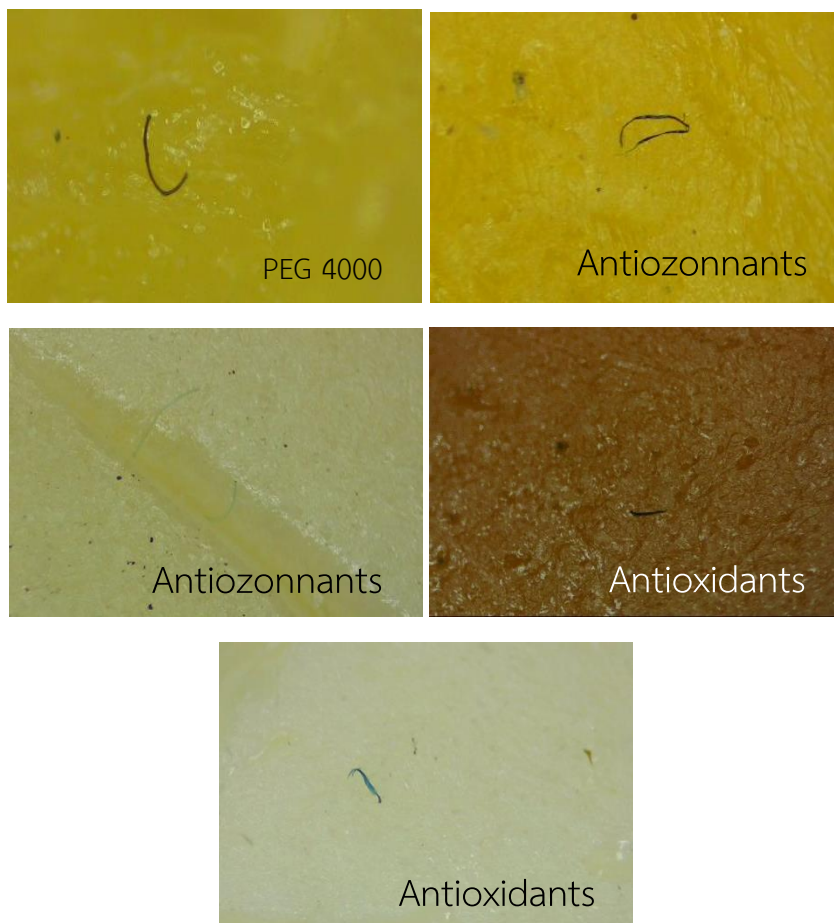
ภาพที่ 4.3 แผ่น Slab สูตรที่มีการเปลี่ยนสารกระตุ้นปฏิกิริยา

จากภาพที่ 4.3 พบว่าสารกระตุ้นปฏิกิริยาไม่มีผลต่อการเกิดปัญหาจุดฟ้า เนื่องจากยังคงพบจุดฟ้าอยู่เล็กน้อยบนแผ่น Slab

4.1.3 การตรวจสอบการปนเปื้อนจากสารเคมี

ทำโดยนำยาง masticate ลีตที่พบปัญหาผสมกับสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ในสูตรมาตรฐาน



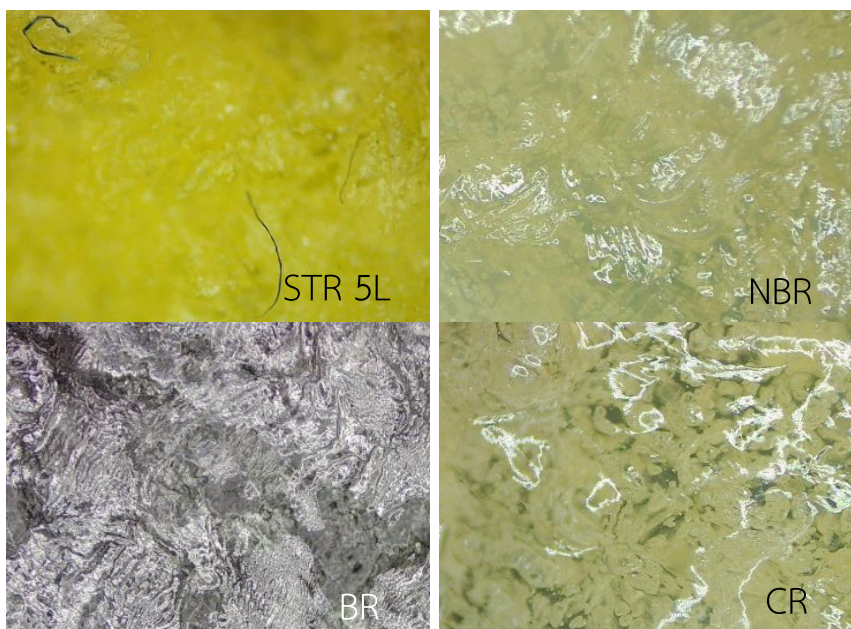


ภาพที่ 4.4 สารเคมีแต่ละชนิดที่พบจุดฝ้า

การผสมยาง Masticate เข้ากับสารเคมีแต่ละชนิดตามสูตรมาตรฐาน เมื่อนำยางคอมพาวด์ที่ผสมสารเคมีแต่ละชนิดไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า สารเคมีไม่มีผลต่อการเกิดปัญหาจุดฝ้า เนื่องจากยังคงพบจุดฝ้าในสารเคมีทุกชนิด ซึ่งทำให้ทราบได้ว่าจุดฝ้าที่เกิดขึ้นไม่ได้มาจากสารเคมีตัวใดตัวหนึ่ง

4.1.4 การตรวจสอบการปนเปื้อนของพอลิเมอร์

ตรวจสอบการปนเปื้อนของยาง Masticate ประกอบไปด้วย ยางแท่ง STR 5L, ยางคลอโรพรีน (CR), ยางบิวตาไดอีน (BR) และยางไนไตรล์ (NBR)



ภาพที่ 4.5 ตรวจสอบการปนเปื้อนของพอลิเมอร์

จากการทดลอง พบว่าจุดฟ้าที่ปนเปื้อนมาจากการปนเปื้อนของยาง STR 5L ซึ่งทำให้เมื่อ masticate ยางและนำยางไปใช้ในการผลิตคอมพาวด์ จึงพบปัญหาดังกล่าว จากนั้นทำการตรวจสอบยาง STR 5L ในลีดปัจจุบันพบว่า ในปัจจุบันไม่พบการปนเปื้อนของจุดฟ้า อีกทั้งยังไม่พบปัญหาการเกิดจุดฟ้าบน Slab อีกเช่นกัน

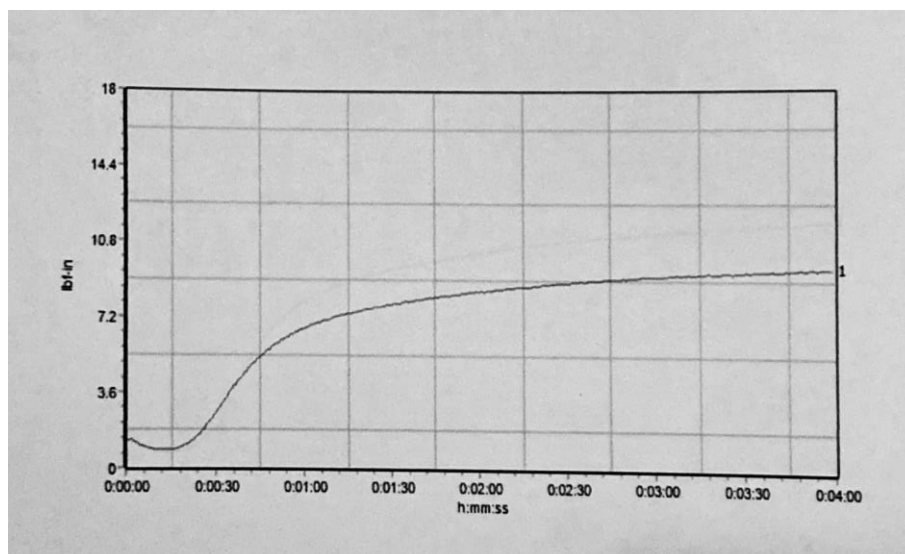
4.2 ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ต่ำลง

4.2.1 เปิด Vale น้ำหล่อเย็นสุด

ตารางที่ 4.1 สมบัติการคงรูปของยางเมื่อทำการเปิด Vale น้ำหล่อเย็นสุด

| Temp roll (°C) | M_L (ibf-In) | M_H (ibf-In) | M_H-M_L (ibf-In) | Temp Cure |
|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|----------------|
| 26 | 0.857 | 9.595 | 8.738 | 180 °C x 4 min |

เมื่อทำการเปิด Vale น้ำหล่อเย็นสุด พบว่าอุณหภูมิของลูกกลิ้งจะต่ำอยู่ที่ 26 °C ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) เท่ากับ 9.595



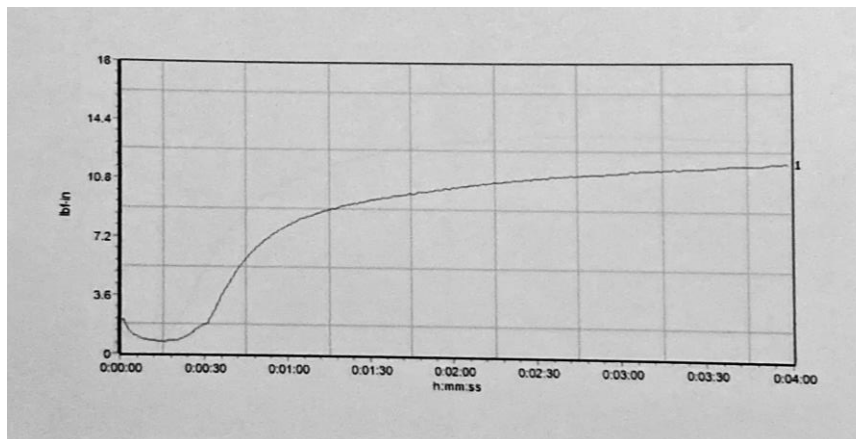
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่าสมบัติการคงรูปของยางเมื่อทำการเปิด Vale น้ำหล่อเย็นสุด

4.2.2 เปิด Vale น้ำหล่อเย็น 45°C

ตารางที่ 4.2 สมบัติการคงรูปของยางเมื่อทำการเปิด Vale น้ำหล่อเย็น 45 °C

| Temp roll (°C) | M_L (ibf-In) | M_H (ibf-In) | M_H-M_L (ibf-In) | Temp Cure |
|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|----------------|
| 29 | 0.775 | 11.940 | 11.165 | 180 °C x 4 min |

เมื่อทำการเปิด Vale น้ำหล่อเย็น 45 °C พบว่าอุณหภูมิของลูกกลิ้งอยู่ที่ 29 °C ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) เท่ากับ 11.940



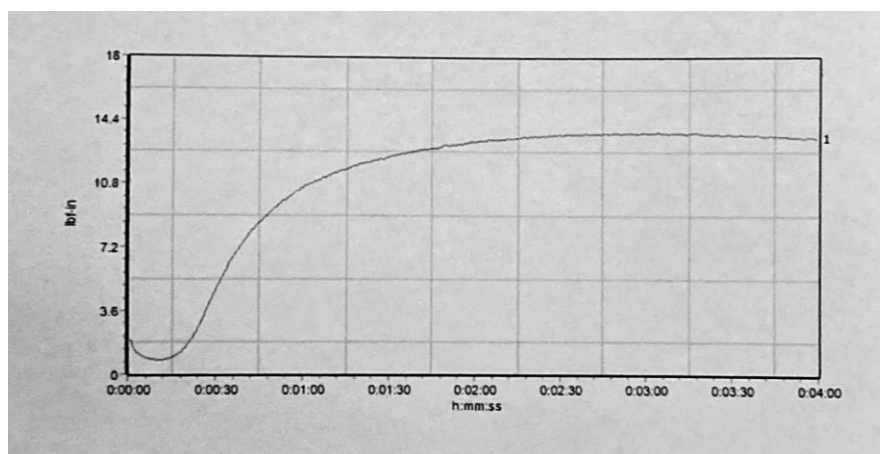
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงค่าสมบัติการคงรูปของยางเมื่อทำการเปิด Valve น้ำหล่อเย็น 45°C

4.2.3 ปิด Valve น้ำหล่อเย็น

ตารางที่ 4.3 สมบัติการคงรูปของยางเมื่อทำการปิด Valve น้ำหล่อเย็น

| Temp roll (°C) | M _L (ibf-In) | M _H (ibf-In) | M _H -M _L (ibf-In) | Temp Cure |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|--|----------------|
| 33 | 0.837 | 13.775 | 12.938 | 180 °C x 4 min |

เมื่อทำการปิด Valve น้ำหล่อเย็น พบว่าอุณหภูมิของลูกกลิ้งสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเปิดน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิอยู่ที่ 33 °C ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) เท่ากับ 12.938



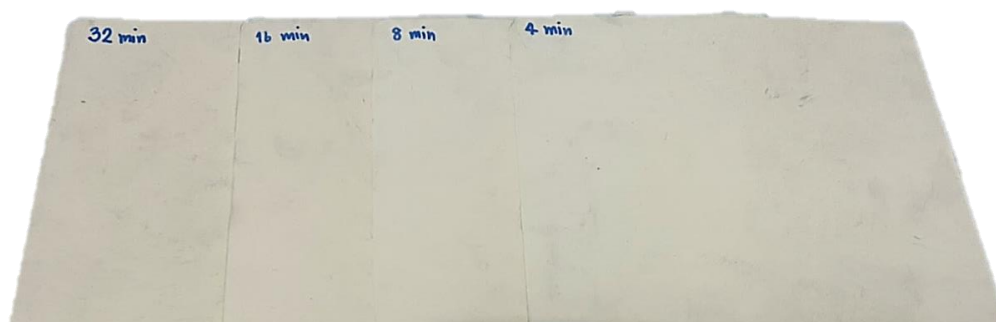
ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่าสมบัติการคงรูปของยางเมื่อทำการปิด Valve น้ำหล่อเย็น

จากการทดลองทั้ง 3 วิธี พบว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นมีผลต่อค่าความหนืดของยางโดยหากอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูง (เปิด Valve น้ำหล่อเย็นสุด) อุณหภูมิลูกกึ่งจะสูงตามไปด้วย ส่งผลให้ค่า M_H มีค่าต่ำลง ดังนั้นจากสมมติฐานที่ตั้งไว้ หากอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นต่ำลงมีผลทำให้ค่า M_H ต่ำ จึงไม่เป็นจริงเนื่องจากค่า M_H จะมีค่าต่ำ เมื่อมีอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นสูง

4.3 ปัจจัยที่ส่งผลให้ยางคอมพาวด์สีเปลี่ยน

4.3.1 การเปรียบเทียบสีของแผ่น Slab เมื่อใช้ระยะเวลาในการอบแตกต่างกัน ดังนี้

- 1) 160°C x 4 min
- 2) 160°C x 8 min
- 3) 160°C x 16 min
- 4) 160°C x 32 min



ภาพที่ 4.9 สีของแผ่น Slab ที่อบในระยะเวลาต่าง ๆ

แผ่น Slab อัดด้วยอุณหภูมิ 160 °C ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าระยะเวลาในการอัดมีผลต่อสีของยาง โดยหากใช้เวลานานขึ้นจะยิ่งทำให้สีของยางเข้มขึ้นยางจะมีออกซิมพูที่ชัดเจนตามไปด้วย

4.3.2 เปรียบเทียบสี เมื่อขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด (Extruder) เมื่อใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนี้

- 1) 150°C x 5 min
- 2) 170°C x 5 min
- 3) 200°C x 5 min




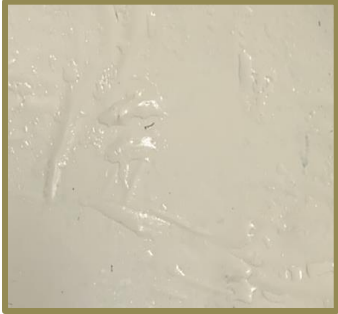


ภาพที่ 4.10 สีของยางที่ขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

จากการทดลองเมื่อขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด (Extruder) โดยใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่าที่อุณหภูมิต่างๆ มีผลทำให้สีของยางออกชมพูเช่นกัน โดยเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงจะยิ่งทำให้สีของยางเข้มขึ้นและเห็นสีชมพูชัดขึ้นด้วย

4.3.3 การเปรียบเทียบชิ้นงานเมื่อตั้งไว้ในสภาพอากาศแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.4 สีของชิ้นงานที่วางไว้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

| ชิ้นตัวอย่าง | การจัดเก็บ |
|---|--|
|  | ใส่ถุงสีชาและจัดเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิ (25 °C) |

| ชิ้นตัวอย่าง | การจัดเก็บ |
|---|---|
|  | ใส่ถุงสีขาและจัดเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องปกติ |
|  | ใส่ถุงสีใสและจัดเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิ (25°C) |
|  | ใส่ถุงสีใสและจัดเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องปกติ |

4.3.4 การเปลี่ยนสีของสารเคมี

ทดสอบการเปลี่ยนสีของสารเคมีที่ อุณหภูมิ 200°C เป็นเวลา นานที่ 20 พบว่าสารเคมีในสูตรมาตรฐานที่มีการเปลี่ยนสี มีดังนี้

1) PEG 4000



ภาพที่ 4.11 PEG 4000

2) MBTS



ภาพที่ 4.12 MBTS

3) VANILLIN



ภาพที่ 4.13 VANILLIN

4) NAUGARD 445



ภาพที่ 4.14 NAUGARD 445

จากการเปรียบเทียบพบว่าสารเคมีที่เปลี่ยนสียังไม่พบสารเคมีชนิดใดที่ให้สีชมพู ดังนั้น จึงทำการทดสอบโดยการนำสารเคมีผสมกันและนำไปอบที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา นาที 20

1) VANILLIN + MBTS



ภาพที่ 4.15 VANILLIN + MBTS

2) NAUGARD 445 + PEG 4000



ภาพที่ 4.16 NAUGARD 445 + PEG 4000

3) VANILLIN + PEG 4000



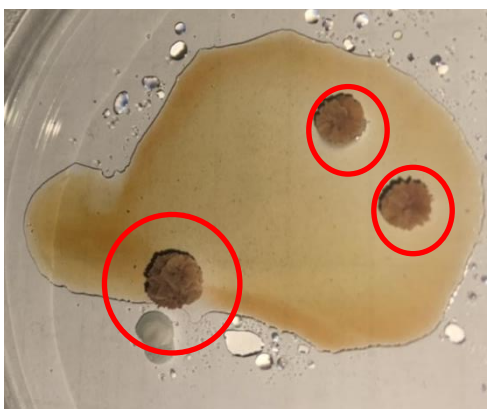
ภาพที่ 4.17 VANILLIN + PEG 4000

4) NAUGARD 445 + VANILLIN



ภาพที่ 4.18 NAUGARD 445 + VANILLIN

จากการทดสอบการเปลี่ยนสีของสารเคมี เมื่อนำสารเคมีที่มีการเปลี่ยนสีมาจับคู่กัน และอบที่อุณหภูมิ 200°C เป็นเวลา นานที่ พบว่าสารเคมี 20NAUGARD 445 + VANILLIN มีสีออกชมพูมากที่สุด อีกทั้ง เมื่อวางทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 คืน พบว่าสารเคมี NAUGARD 445 + VANILLIN มีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อนแข็งสีชมพู ดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 การจับตัวกันเป็นผลึกของสารเคมี NAUGARD 445 + VANILLIN

การทดลองปัจจัยที่ส่งผลให้ยางคอมพาวด์สีเปลี่ยน พบว่าสีของยางคอมพาวด์ที่เปลี่ยนแปลงไปหรือมีลักษณะเข้มขึ้น จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการขึ้นรูป หากมีอุณหภูมิสูงและระยะเวลาที่นาน จะทำให้สีของยางคอมพาวด์เข้มขึ้นตามไปด้วย

ปัญหาสีของยางคอมพาวด์ เมื่อนำไปอัดแผ่น Slab และมีสีเปลี่ยนแปลงจากปกติเป็นสีชมพู พบว่าในการทดลองสีชมพูที่เกิดขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากการใช้สารเคมีที่ทำให้เกิดสีชมพู คือ NAUGARD 445 + VANILLIN ซึ่งสาร 2 ชนิดนี้นอกจากจะมีสีชมพูแล้ว เมื่ออบและวางทิ้งไว้จะเกิดการจับตัวเป็นก้อนแข็ง ซึ่งอาจส่งผลต่อทำให้เกิดการ Blooming บนผิวหน้ายางได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทำการทดลองเพื่อศึกษาสาเหตุและวิธีป้องกันการเกิดปัญหาในยางคอมพาวด์ ในทั้ง 3 หัวข้อ ดังนี้

5.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดจุดฟ้า

จากผลการทดลอง โดยการผสมยางคอมพาวด์ตามสูตรมาตรฐานที่พบปัญหาจุดฟ้า พบว่า มีจุดฟ้าเกิดขึ้นจริง ในสูตรคอมพาวด์ เมื่อทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนสารกระตุ้นปฏิกิริยา เนื่องจากเป็นสารที่ทำให้ยางธรรมชาติเปลี่ยนแปลง ยังคงพบว่า สารกระตุ้นปฏิกิริยาไม่มีผลต่อการเกิดจุดฟ้าในยางเช่นกัน และเมื่อทำการตรวจสอบสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ในการผสม พบว่าไม่มีสารเคมีชนิดใดที่มีการปนเปื้อนหรือเป็นสาเหตุในการเกิดจุดฟ้าในยาง ดังนั้นจึงทำการตรวจสอบส่วนประกอบของยาง Masticate พบว่าจุดฟ้ามาจากการปนเปื้อนของยาง STR 5L ซึ่งทำให้เมื่อ Masticate ยางและนำยางไปใช้ในการผลิตยางคอมพาวด์ จึงพบปัญหาจุดฟ้า

ข้อเสนอแนะ : ควรมีการสุ่มตรวจยาง STR 5L ในแต่ละล็อต โดยนำยางไปรีดบาง อบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา นาที้ และส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อน รวมไปถึง 10 ป้องกันปัญหาการเกิดจุดฟ้าในยางคอมพาวด์

5.2 ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ต่ำลง

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ต่ำลง พบว่าเมื่อทำการผสมยางคอมพาวด์ที่มีการกำหนดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นแตกต่างกัน ดังนี้

- 1) เปิด Vale น้ำหล่อเย็นสุด
- 2) เปิด Vale น้ำหล่อเย็น 45°C
- 3) ปิด Vale น้ำหล่อเย็น

เมื่อทำการปรับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น จะส่งผลต่อค่าความหนืดของยาง โดยหากอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูง (เปิด Vale น้ำหล่อเย็นสุด) อุณหภูมิลูกกลิ้งจะสูงตามไปด้วย ส่งผลให้ค่า M_H มีค่าต่ำลง แต่หากอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นต่ำ (ปิดน้ำหล่อเย็น) ค่า M_H จะมีค่าสูง ดังนั้นจากสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่า หากอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นต่ำลงมีผลทำให้ค่า M_H ต่ำ จึงไม่เป็นจริง เนื่องจากค่า M_H จะมีค่าต่ำลง เมื่อมีอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นสูง

ข้อเสนอแนะ : ควรมีการทดสอบเพื่อหาแนวทางการป้องกันต่อไป เนื่องจากค่า (M_H) ที่เปลี่ยนแปลงจากปัจจัยในหลายด้าน จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ข้อมูลผิดปกติ เพื่อเป็นแนวทางในการทดลอง และป้องกันปัญหาที่จะเกิดในยางคอมพาวด์ ป้องกันความเสียหายและลดปัญหาการเคลมสินค้า

5.3 ปัจจัยที่ส่งผลให้ยางคอมพาวด์สีเปลี่ยน

การทดลองปัจจัยที่ส่งผลให้ยางคอมพาวด์สีเปลี่ยน โดยการหาปัจจัยที่ส่งผลในการเปลี่ยนสีของยางคอมพาวด์ จากการทดลองเปรียบเทียบสีของแผ่น Slab เมื่อใช้ระยะเวลาในการอบแตกต่างกันและการเปรียบเทียบสี เมื่อขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด (Extruder) โดยใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่าระยะเวลาและอุณหภูมิในการขึ้นรูป ส่งผลต่อสีของยางคอมพาวด์ หากใช้ระยะเวลานานขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้นจะยิ่งทำให้สีของยางเข้มขึ้น จะค่อนข้างเป็นสีชมพูชัดขึ้นตามไปด้วย ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดสีชมพูนั้น จากการทดสอบสารเคมี พบว่าการเปลี่ยนสีของสารเคมี NAUGARD 445 + VANILLIN ภายหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 200°C เป็นเวลา นานที่ 20 มีลักษณะสีเป็นสีชมพูและเมื่อวางทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 คืน จะเกิดการจับตัวเป็นผลึก ซึ่งอาจทำให้ส่งผลต่อการเกิดปัญหาในภายหลัง เช่น การ Blooming ของสารเคมีขึ้นมาบนผิวหน้ายางได้

ข้อเสนอแนะ : ควรมีการทดลองเพิ่มเติม โดยการตรวจสอบสีของยางที่ใช้ในการผสม เนื่องจากสีของยางในแต่ละล็อต มีสีที่แตกต่างกัน หากนำมาใช้ในการผสมยางคอมพาวด์อาจทำให้ยางคอมพาวด์ที่ได้มีสีที่เปลี่ยนแปลงไปหรือมีสีที่ไม่เหมือนกัน เช่น หากยางมีสีที่เข้มอยู่แล้ว และมีการผสมที่อุณหภูมิสูงอีก สีของยางจะเข้มขึ้นไปอีก เป็นต้น

จากการทดลองทั้ง 3 หัวข้อ พบว่าการป้องกันการเกิดปัญหาในยางคอมพาวด์ไม่ว่าจะเป็นยางคอมพาวด์สี หรือยางคอมพาวด์ดำ จำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบวัตถุดิบอย่างละเอียดเพื่อลดการปนเปื้อนของสารเคมี รวมไปถึงตรวจสอบการใช้งานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ให้มีความพร้อมอยู่เสมอ การทำการทดลอง โดยการผสมในเครื่องผสมขนาดเล็ก ก่อนที่จะนำไปผสมจริง จะสามารถช่วยลดการเกิดปัญหาในยางคอมพาวด์ได้ เพื่อป้องกันการเกิดงานเคลมหรือการแก้ไขปัญหาที่ทำให้ต้องเสียเวลาและเสียกำลังคนได้อีกทั้งยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่บริษัทอีกด้วย

บรรณานุกรม

- ชินรัตน์ ลาภพูลธนะอนันต์. (2558). การวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์จากยาง. สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2564, จาก <http://www.mahidolrubber.org>
- นิตยา รัตน์โสม. (2548). เทคโนโลยียางพื้นฐาน : เทคโนโลยีการออกสูตรยาง. มหาวิทยาลัยมหิดล (ศาลายา). น. 39 - 81
- พรพรรณ นิธิอุทัย, “เอกสารประกอบการอบรมเทคโนโลยียางระยะสั้น เรื่อง เทคนิคการออกสูตรยาง”, 29 เมษายน ถึง 1 พฤษภาคม 2535
- พงษ์ธร แซ่ฮุย, “ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน”, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, พิมพ์ครั้งที่ 2 มิถุนายน 2548.
- พงษ์ธร แซ่ฮุย, “สารเคมียาง”, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, พิมพ์ครั้งที่ 1 มิถุนายน 2548.
- พงษ์ธร แซ่ฮุย. (2547). ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). ปทุมธานี.
- โพลีเทค อินดัสทรี. ยางคอมพาวด์. สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2564, จาก <https://www.polytechindustry.co.th>
- ภัณฑิลา ภูมิระเบียบ. (2556). สารเคมีสำหรับยาง. สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2564, จาก <http://www.dss.go.th>
- มารีสา คุณธนวงศ์. ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์. สืบค้นเมื่อ 31 มีนาคม 2564, จาก <https://www.mtec.or.th/post-knowledges>
- สถาบันพลาสติก. เทคโนโลยีการผลิตยางคอมพาวด์. สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2564, จาก <http://rubber.oie.go.th>
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. เทคโนโลยีการผสมยาง (Mixing). สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2564, จาก <http://rubber.oie.go.th>
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรมร่วมกับสถาบันพลาสติก. (2563). รายงานสภาวะอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางและไม้ยางพาราของไทย.
- ลียานา บินมะยะโกะ. (2560). สมบัติเชิงความร้อนของยางธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วราภรณ์ ขจรไชยกุล. (2552). สารเคมีสำหรับยาง และกระบวนการและเทคโนโลยีการผลิตยาง. กรุงเทพมหานคร.

ภาคผนวก

