สัญญาเลขที่ RDG 5750093

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ การปรับปรุงสมบัติเชิงกลในยางคงรูปลดกลิ่นใช้สารตัวเติมผสม

คณะผู้วิจัย	**สังกัดมหาวิทยาลัยแม่โจ้**
1.ผศ.ดร.ฐิตินันท์ รัตนพรหม	คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร
2.ดร.วรวรรณ เพชรอุไร	คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร
3.ดร. นภัสถ์ จันทร์มี	คณะวิทยาศาสตร์

“’งานวิจัยยังไม่เสร็จสมบูรณ์ โปรดอย่านำไปใช้อ้างอิง”

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	1
การทบทวนวรณกรรม	2
วิธีทดลอง	5
ผลการทดลองและวจารณ์	8
สรุป	22
แหล่งอ้างอิง	23

แบบสรุปปิดโครงการวิจัย *(จัดทำแยกต่างหากจากรายงานฉบับสมบูรณ์)*

สัญญาเลขที่..RDG5750093.**ชื่อโครงการ** การปรับปรุงสมบัติเชิงกลในยางคงรูปลดกลิ่นโดยใช้สารตัวเติมผสม

หัวหน้าโครงการ ผศ.ดร. ฐิตินันท์ รัตนพรหม **หน่วยงาน** คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร ม.แม่โจ้

โทรศัพท์ 053-875-864.. **โทรสาร**..053-878113....**อีเมล์** tithinun@mju.ac.th

ความสำคัญ / ความเป็นมา

. จากผลการวิจัยโครงการ “การใช้เพอร์ไลต์เป็นสารตัวเติมชนิดดูดซับกลิ่นในยางคงรูป” พบว่า การผสมเพอร์ไลต์ทำให้กลิ่นเจือจางซึ่งยืนยันจากการทดทดสอบโดยการดมกลิ่น นั่นคือปริมาณเพอร์ไลต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้กลิ่นไม่พึงประสงค์ลดลง ดังนั้นการเติมเพอร์ไลต์ปริมาณ 30 phr จะทำให้กลิ่นไม่พึงประสงค์เจือจางที่สุด และจากการทดสอบโดยเทคนิค GC- MS พบว่าการเติมเพอร์ไลต์ทำให้พื้นที่พีคขององค์ประกอบกลิ่นที่สำคัญลดลง เช่น Thiourea และ Benzothiazole โดยเฉพาะการเติมเพอร์ไลต์ปริมาณ 30phr เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลแช่นความทนแรงดึง และค่าความแข็ง พบว่าการเติมเพอร์ไลต์ทำให้ความทนแรงดึง และค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าความทนแรงดึงของยางคงรูปผสมเพอร์ไลต์ใกล้เคียงกับเคลย์ แต่ด้อยกว่าเขม่าดำ ส่วนเรื่องราคานั้นราคาของเพอร์ไลต์ถูกกว่าเคลย์ และเขม่าดำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดเติมปรับปรุงให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นจากการเติมเพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียวด้วยการเติมสารตัวเติมเขม่าดำร่วมด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1) เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลของยางคงรูปลดกลิ่นโดยการใช้สารตัวเติมผสม
2) เพื่อลดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ของยางธรรมชาติโดยใช้เพอร์ไลต์และสารตัวเติมผสม
3) เพื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลตามมารตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก 947-2533 และราคากับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาด

ผลการวิจัย *(สั้น ๆ ที่บ่งชี้ประเด็นข้อค้นพบ กระบวนการ ผลผลิต และการเรียนรู้)*

- การใส่สารตัวเติมทำให้ค่าความแข็ง และความทนแรงดึงเพิ่มขึ้น โดยที่เพอร์ไลต์มีอิทธิพลการเสริมแรงน้อยกว่าเขม่าดำ เพราะเพอร์ไลต์มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่าเขม่าดำ ส่วนการใส่สารตัวเติมทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดลดลง แต่เพอร์ไลต์ยังคงทำให้ยางคงรูปคงสภาพความยืดหยุ่นแบบยางได้ดีกว่าเขม่าดำ
- สูตรที่ใส่สารตัวเติมผสมจะมีค่าความแข็ง ความทนแรงดึง และความทนทานต่อการฉีกขาด สูงกว่าที่ใส่เพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียว
- เมื่อยางคงรูปผ่านการบ่มเร่งที่ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าค่าความแข็ง และมอดุลัสที่ 100% เพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณเพอร์ไลต์สูงถึง 30phr ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่มอดุลัสที่ 100% ลดลง และยางคงรูปทุกสูตรมีค่าความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด และความทนทานต่อการฉีกขาดลดลง เมื่อผ่านการบ่มเร่ง
- การเติมสารตัวเติมทำให้ความทนทานต่อการสึกหรอลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติมเพอร์ไลต์
- เมื่อแปรชนิดยางเป็นยางแผ่นรมควันชั้นที่ 3 และยางสกิมบล็อค พบว่าสูตรยางคงรูป HP30 จาก ยางธรรมชาติ STR20 และ RSS3 ที่ผ่าน มอก.947-2533 นั่นคือสูตรที่มีการเติมสารตัวเติมผสมเพอร์ไลต์ 30phr เขม่าดำ 30phr

- จากการทดสอบประสิทธิภาพการลดกลิ่นด้วยการดมกลิ่นพบว่าการใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้กลิ่นเจือจางลง และจากการทดสอบโดยเทคนิค GC-MS พบว่าการใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้พื้นที่พีคสัมพัทธ์ขององค์ประกอบกลิ่นที่สำคัญอย่าง Bensothiazole ลดลง
- เมื่อคำนวณราคาสูตรที่ผ่าน มอก. 947-2533 พบว่ายางสูตร STR20-HP30 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ 80.68 บาทส่วนยางสูตร RSS3-HP30 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ 85.46 บาท และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการกับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาดพบว่ามีสูตร STR20-HP30 และ RSS3-HP30 ที่ผ่าน มอก. 947-2533

คำสืบค้น

ยางธรรมชาติ เพอร์ไลต์ เขม่าดำ สมบัติเชิงกล การลดกลิ่น.

Keywords natural rubber, perlite, carbon black, mechanical properties, odor reduction

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ *(ดูคำจำกัดความ และตัวอย่างด้านหลังแบบฟอร์ม)*

☐ **ด้านนโยบาย** **โดยใคร** *(กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)*.....**มีการนำไปใช้อย่างไร**

☐ **ด้านสาธารณะ** **โดยใคร** *(กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)*

มีการนำไปใช้อย่างไร .....

☐ **ด้านชุมชนและพื้นที่** **โดยใคร** *(กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)*

มีการนำไปใช้อย่างไร .....

☐ **ด้านพาณิชย์** **โดยใคร** *(กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)* .....

มีการนำไปใช้อย่างไร .....

☐ **ด้านวิชาการ** **โดยใคร** *(กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)*

มีการนำไปใช้อย่างไร *(กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)* เผยแพร่งานวิจัยให้แก่กลุ่มสหกรณ์ฝาง เชียงใหม่

☐ **ยังไม่มีการนำไปใช้** (โปรดกรอกในกรอบถัดไป)

(กรณีที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์) **ผลงานวิจัยมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์**

☐ **ด้านนโยบาย** ☐ **ด้านสาธารณะ** ☐ **ด้านชุมชนและพื้นที่** ☐**X** **ด้านพาณิชย์** ☐ **ด้านวิชาการ**

ข้อเสนอแนะเพื่อให้ผลงานถูกนำไปใช้ประโยชน์

นำเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมในการลดกลิ่นในยางธรรมชาติ

การเผยแพร่/ประชาสัมพันธ์ *(กรุณาให้รายละเอียด พร้อมแนบหลักฐาน)*

1. สิ่งพิมพ์ หรือสื่อทั่วไป

   ☐ **หนังสือพิมพ์** ☐ **วารสาร** ☐ **โทรทัศน์** ☐ **วิทยุ** ☐ **เว็บไซต์** ☐x **คู่มือ/แผ่นพับ** ☐ x**จัดประชุม/อบรม** ☐ **อื่น ๆ**

   จัดประชุมอบรมให้แก่ชุมชนสหกรณ์กองทุนสวนยางเวียงฝางจำกัด อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ ในวันที่ 29 กุมภาพันธ์ 2559

2. สิ่งพิมพ์ทางวิชาการ *(วารสาร, การประชุม ให้ระบุรายละเอียดแบบการเขียนเอกสารอ้างอิง เพื่อการค้นหาซึ่งควรประกอบด้วยชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง แหล่งพิมพ์ ปี พ.ศ. (ค.ศ.) ฉบับที่ หน้า)*

<u>คำอธิบายและตัวอย่างการนำไปใช้ประโยชน์ในแต่ละด้าน</u>

1. **การใช้ประโยชน์ด้านนโยบาย**

คำจำกัดความ : การนำความรู้จากงานวิจัยไปใช้ในกระบวนการกำหนดนโยบาย ซึ่งนโยบายหมายถึง หลักการ แนวทาง กลยุทธ์ ในการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ อาจเป็นนโยบายระดับประเทศ ระดับภูมิภาค ระดับจังหวัด ระดับท้องถิ่น หรือระดับหน่วยงาน นโยบายที่ดีจะต้องประกอบด้วยวัตถุประสงค์ แนวทาง และกลไกในการดำเนินงานที่ชัดเจน สอดคล้องกับปัญหาและความต้องการ การใช้ประโยชน์ด้านนโยบายจะรวมทั้งการนำองค์ความรู้ไปสังเคราะห์เป็นนโยบายหรือทางเลือกเชิงนโยบาย (policy options) แล้วนำนโยบายนั้นไปสู่ผู้ใช้ประโยชน์

2. **การใช้ประโยชน์ด้านสาธารณะ**

คำจำกัดความ : การดำเนินงานเพื่อนำผลงานวิจัยและนวัตกรรม ไปใช้ในวงกว้างเพื่อประโยชน์ของสังคม และประชาชนทั่วไป ให้มีความรู้ความเข้าใจ เกิดความตระหนัก รู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลง ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนวิธีคิด พฤติกรรม เพื่อเพิ่มคุณภาพชีวิตของประชาชน สร้างสังคมคุณภาพ และส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

3. **การใช้ประโยชน์ด้านพาณิชย์**

คำจำกัดความ : การนำนวัตกรรม เทคโนโลยี ผลิตภัณฑ์ใหม่ พันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ ไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ การสร้างมูลค่าเพิ่มของผลิตภัณฑ์ การแปรรูป การสร้างตราสินค้า การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต และการลดต้นทุนการผลิต การสร้างอาชีพ และทางเลือกให้กับผู้ประกอบการเกษตรกรหรือผู้ประกอบอาชีพอื่น ๆ

4. **การใช้ประโยชน์ด้านชุมชนและพื้นที่**

คำจำกัดความ : การนำกระบวนการ วิธีการ องค์ความรู้ การเปลี่ยนแปลง การเสริมพลัง อันเป็นผลกระทบ ที่เกิดจากการวิจัยและพัฒนาชุมชน ท้องถิ่น พื้นที่ ไปใช้ให้เกิดประโยชน์การขยายผลต่อชุมชนท้องถิ่นและสังคมอื่น

5. **การใช้ประโยชน์ด้านวิชาการ**

คำจำกัดความ : การนำองค์ความรู้จากผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ผลงานตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ ระดับชาติ หนังสือ ตำรา บทเรียน ไปเป็นประโยชน์ด้านวิชาการ การเรียนรู้ การเรียนการสอน ในวงนักวิชาการและผู้สนใจด้านวิชาการ รวมถึงการนำผลงานวิจัยไปวิจัยต่อยอด หรือการนำไปสู่ product และ process ไปใช้ในการเสริมสร้างนวัตกรรม และเทคโนโลยี

บทคัดย่อ

การปรับปรุงสมบัติเชิงกลในยางคงรูปลดกลิ่นใช้สารตัวเติมผสม

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ปรับปรุงสมบัติเชิงกลยางคงรูปที่มีกลิ่นเจือจาง โดยใช้สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำ งานวิจัยนี้มีการแปรอัตราส่วนเพอร์ไลต์ และเขม่าดำโดยที่ปริมาณสารตัวเติมผสมทั้งหมดมี 60phr สมบัติเชิงกลที่ศึกษาได้แก่ความแข็ง ความทนแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด ความทนทานต่อการสึกหรอ ความทนทานต่อการบ่มเร่งที่อุณหภูมิสูง งานวิจัยนี้มุ่งเป้าผลิตยางปูพื้นรถยนต์กลิ่นเจือจางจึงต้องทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน มอก. 947-2533 การดมกลิ่นโดยใช้การดมกลิ่น และทดสอบองค์ประกอบกลิ่นโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี

จากผลการทดลองพบว่าการใส่สารตัวเติมทำให้ค่าความแข็ง และความทนแรงดึงเพิ่มขึ้น โดยที่เพอร์ไลต์มีอิทธิพลการเสริมแรงน้อยกว่าเขม่าดำ เพราะเพอร์ไลต์มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่าเขม่าดำ ส่วนการใส่สารตัวเติมทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าสูตรที่ใส่สารตัวเติมผสมจะมีค่าความแข็ง ความทนแรงดึง และความทนทานต่อการฉีกขาด สูงกว่าที่ใส่เพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียว เมื่อยางคงรูปผ่านการบ่มเร่งยางคงรูปที่มีปริมาณเพอรไลต์สูงถึง 30phr ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่มอดุลัสที่ 100% ลดลง และยางคงรูปทุกสูตรมีค่าความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด และความทนทานต่อการฉีกขาดลดลง การเติมสารตัวเติมทำให้ความทนทานต่อการสึกหรอลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติมเพอร์ไลต์ ยางคงรูปที่ผ่าน มอก.947-2533 คือยางคงรูปที่ใช้ยางธรรมชาติ STR20 และยางแผ่นรมควัน RSS3 ที่มีการเติมสารตัวเติมผสมเพอร์ไลต์ 30phr เขม่าดำ 30phr ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพการลดกลิ่นด้วยการดมกลิ่นพบว่าการใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้กลิ่นเจือจางลง และจากการทดสอบโดยเทคนิค GC-MS พบว่าการใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้พื้นที่พีคสัมพัทธ์ขององค์ประกอบกลิ่นที่สำคัญอย่าง Benzothiazole ลดลง

คำสืบค้น: ยางธรรมชาติ เพอร์ไลต์ เขม่าดำ สมบัติเชิงกล การลดกลิ่น.

ABSTRACT

The improvement of mechanical properties of odor-reduction vulcanizates with hybrid filler

This research is aimed to improve the mechanical properties of odor-reduction vulcanizates by using hybrid filler, namely perlite and carbon black. The ratio between perlite and carbon black was varied. The total hybrid filler content was 60phr. The mechanical properties, such as hardness, tensile strength, tear strength, abrasion resistance, and heat aging resistance were determined. The odor-reduction vulcanizates was proposed to produce the rubber floor mat for car. Thus, mechanical properties according to TIS 947-2533 and the odor-reduction efficiency by using sensory method and gas chromatography/mass spectroscopy were performed.

From the experiment, it was found that the addition of filler caused an increase in hardness and tensile strength, but a decrease in percent elongation at break. Perlite with low specific area showed less reinforcement effect than carbon black. Furthermore, it was found that rubber vulcanizates filled with hybrid filler gave higher hardness, tensile strength and tear strength than rubber vulcanizates filled with only perlite. From the heat aging resistance testing, if was found that vulcanizates with hybrid filler containing 30phr of perlite showed an increase hardness, but a decrease in 100% modulus. Moreover, all vulcanizates gave a decrease in tensile strength, percent elongation at break, percent elongation at break after ageing. The addition of filler caused a decreased in abrasion resistance, especially hybrid filler. Only vulcanizates with hybrid filler containing 30phr of perlite and 30 phr of carbon black met the TIS 947-2533 standard. From the reduction efficiency results using sensory method, it was found that vulcanizates with hybrid filler yielded the reduction in offensive odor. Also, the reduction of an average relative peak area of benzothiazole (a major odor component) investigated by using gas chromatography/mass spectroscopy was observed.

Keywords: Natural rubber, Perlite, Carbon black, Mechanical properties, Odor reduction

บทที่ 1 บทนำ

ผลการวิจัยเบื้องต้นจากโครงการเรื่องการใช้เพอร์ไลต์เป็นสารตัวเติมชนิดดูดซับกลิ่นในยางคงรูปพบว่า การผสมเพอร์ไลต์ทำให้กลิ่นเจือจาง โดยยืนยันจากการทดสอบโดยการดมกลิ่น และทดสอบโดยเทคนิค GC- MS โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. จากการทดสอบการโดยการดมกลิ่นพบว่าปริมาณเพอร์ไลต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้กลิ่นไม่พึงประสงค์ลดลง ดังนั้นการเติมเพอร์ไลต์ปริมาณ 30 phr จะทำให้กลิ่นไม่พึงประสงค์เจือจางที่สุด
2. จากการทดสอบโดยเทคนิค GC-MS พบว่าการเติมเพอร์ไลต์ทำให้พื้นที่พีคขององค์ประกอบกลิ่นที่สำคัญลดลง เช่น Thiourea และ Benzothiazole โดยเฉพาะการเติมเพอร์ไลต์ปริมาณ 30 phr

เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลเช่นความทนแรงดึง และค่าความแข็ง พบว่าการเติมเพอร์ไลต์ทำให้ความทนแรงดึง และค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าความทนแรงดึงของยางคงรูปผสมเพอร์ไลต์ใกล้เคียงกับเคลย์ แต่ด้อยกว่าเขม่าดำ ส่วนเรื่องราคานั้นราคาของเพอร์ไลต์ถูกกว่าเคลย์ และเขม่าดำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดปรับปรุงให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นจากการเติมเพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียวด้วยการเติมสารตัวเติมเขม่าดำร่วมด้วย

โครงงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักคือลดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ของยางธรรมชาติโดยใช้เพอร์ไลต์ที่มีราคาถูก และยังมีสมบัติเด่นทางกลของยางธรรมชาติ เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของยางธรรมชาติให้เหนือกว่ายางสังเคราะห์ ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่ได้อาจนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใกล้ชิดกับผู้บริโภคเช่น ยางปูพื้นรถยนต์ และยางพื้นรองเท้าที่มีกลิ่นเจือจาง

สมมติฐานของการวิจัย

การใช้เพอร์ไลต์เป็นสารตัวเติมร่วมกับเขม่าดำน่าจะทำให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นได้ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่มีกลิ่นเจือจาง

วัตถุประสงค์โครงการ

1) เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลของยางคงรูปลดกลิ่นโดยการใช้สารตัวเติมผสม
2) เพื่อลดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ของยางธรรมชาติโดยใช้เพอร์ไลต์และสารตัวเติมผสม
3) เพื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก 947-2533 และราคากับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ยางปูพื้นรถยนต์กลิ่นเจือจาง

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม

"เพอร์ไลต์" (Perlite) ในความหมายทางการค้า "เพอร์ไลต์" หมายถึงหินภูเขาไฟเนื้อแก้วทุกชนิด เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสมในเวลาที่รวดเร็ว จะขยายตัว มีน้ำหนักเบา และมีความพรุนสูง จากบทความของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2554) ได้อธิบายว่า "หินเพอร์ไลต์" หมายถึง หินภูเขาไฟเนื้อแก้วที่ยังไม่นำไปเผา ส่วนคำว่า "เพอร์ไลต์" หมายถึง สิ่งที่ได้จากการขยายตัวของหินภูเขาไฟเนื้อแก้ว หินเพอร์ไลต์ ได้แก่ หินภูเขาไฟเนื้อแก้ว ที่มีลักษณะรอยแตกเป็นวงๆ ซ้อนกันคล้ายกลีบหัวหอม และเมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ในเวลาที่รวดเร็วจะขยายตัวออกไปได้ตั้งแต่ 4-20 เท่าของปริมาตรเดิม ทำให้เปลี่ยนสภาพเป็นสารที่มีน้ำหนักเบา มีความพรุนสูง และมีลักษณะคล้ายหินพัมมิส สารที่ได้จากการขยายตัวของหินเพอร์ไลต์นี้ เรียกว่า เพอร์ไลต์ ส่วนประกอบทางเคมีของหินเพอร์ไลต์ในรูปของออกไซด์ของธาตุต่างๆ จากโครงการเรื่องการใช้เพอร์ไลต์เป็นสารตัวเติมชนิดดูดซับกลิ่นในยางคงรูปแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของแร่เพอร์ไลต์ทางเคมีวิเคราะห์
โดยเทคนิคเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (T. Rattanaplome et. al., 2013)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
SiO_2	72.59 %
Al_2O_3	14.09 %
Fe_2O_3	1.59 %
MgO	0.41%
CaO	1.08%
K_2O	3.30 %
Na_2O	5.37 %
TiO_2	0.31%
MnO_2	0.05%
Loss on ignition	1.21%

เพอร์ไลต์ส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในงานด้านก่อสร้าง เพื่อประโยชน์ในการลดน้ำหนักของสิ่งก่อสร้าง และยังช่วยเป็นฉนวนป้องกันความร้อน และความเย็น และยังสามารถเป็นผนังป้องกันเสียงได้ เป็นเครื่องกรองในการกรองน้ำในโรงงานผลิตน้ำผลไม้ ในด้านการเกษตรมีการใช้เพอร์ไลต์ผสมลงไปในดิน เพราะเพอร์ไลต์มีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซึมที่ดีและมีความพรุนในตัวสูง ทำให้สภาพดินเป็นดินร่วน และเพอร์ไลต์ยังสามารถช่วยรักษาความสมดุลย์ระหว่างปริมาณของน้ำและอากาศใน ดินได้ด้วย

แหล่งเพอร์ไลต์พบอยู่ในบริเวณกลุ่มหินภูเขาไฟตอนกลางของประเทศ ซึ่งจัดอยู่ในหน่วยหินภูเขาไฟลำนารายณ์ เขตจังหวัดลพบุรี และจังหวัดเพชรบูรณ์ ในปัจจุบันเพอร์ไลต์ มีการผลิตจากสัมปทานของ ห้างหุ้นส่วนจำกัดคลองยาง

จำนวน 1 แปลง เพียงแหล่งเดียว ตั้งอยู่ที่ตำบลมหาโพธิ อำเภอสระโบสถ์ จังหวัดลพบุรี มีอัตราการผลิตประมาณ 2,400 ตันต่อปี สำหรับแร่เกรดสูงเพื่อเผาสำหรับทำวัสดุกรองคุณภาพสูงและถูกจำหน่ายให้กับโรง งานน้ำผลไม้ การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponic) ตัวเติมสำหรับปูนฉาบสำเร็จ และอิฐทนไฟ โดยจำหน่ายให้กับโรงเผาที่จังหวัดราชบุรี ราคาของเพอร์ไลต์คุณภาพสูงก่อนการเผาที่ 650 บาทต่อตัน เมื่อเผาแล้วราคาจะเพิ่มขึ้นเป็น 7,000 – 15,000 บาทต่อตัน ขึ้นกับคุณสมบัติความขาว และความหนาแน่น สำหรับเพอร์ไลต์เกรดต่ำสำหรับใช้ในการเกษตร และปรับสภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้งทะเลเป็นลูกค้าหลัก มีอัตราการผลิตประมาณ 6,000 ตันต่อปี โดยนำไปบดที่โรงบดที่จังหวัดสระบุรี ราคาของเพอร์ไลต์บดประมาณ 2,000 บาทต่อตัน

Vipavee P. Hoven et. al. (2004) ได้ศึกษาการลดกลิ่นเหม็นจากยางธรรมชาติโดยใช้สารลดกลิ่น ได้แก่ Carbon black, Chitosan, Enzalkonium chloride, Sodium dodecyl sulfate, Cyclodextrin และ Zeolite13x ปริมาณสารลดกลิ่นที่ใช้คือ 1.5 หรือ 5 phr คณะวิจัยได้ผสมสารตัวเติมเข้าไปในยางธรรมชาติที่มีกลิ่นแรง ได้แก่ STR20 และ RSS5 โดยใช้เครื่องบดสองลูกกลิ้งและเตรียมยางคงรูปด้วยระบบคงรูปด้วยกำมะถันในเครื่องอัด (Compression molding) แล้วนำไปทดสอบกลิ่นโดยเทคนิค Gas chromatography และ Gas chromatography/Mass spectrometry พบว่ากลิ่นที่พึงประสงค์ส่วนใหญ่จะมาจากกรดไขมันระเหยได้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ คณะวิจัยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวแทนของกรดไขมันระเหยที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ พบว่า Chitosan และ Zeolite13x สามารถลดปริมาณกรดอะซิติกที่มีกลิ่นลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสารลดแรงตึงผิวทางการค้า เช่น Benzalkonium chloride และ Sodium dodecyl sulfate สลายตัวเนื่องจากความร้อน จึงไม่เหมาะเป็นสารลดกลิ่น จากการทดสอบกลิ่นโดยใช้เทคนิค Olfactometry หรือประเมินผลการลดกลิ่นโดยใช้มนุษย์พบว่า Chitosan และ Carbon black สามารถลดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้ดี

จิตต์ลัดดา (2553) ได้ศึกษาสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นในยางธรรมชาติโดยอาศัยเทคนิค Gas chromatography-Mass spectrometry (GC-MS) โดยนำยางแท่งและยางเกรดต่าง ๆ ได้แก่ STR XL, STR 5L, STR 5, STR 20, ยางสกิมก้อน, ยางก้นถ้วย และยางแผ่นรมควัน ไปทดสอบ พบว่าสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นในยางธรรมชาติประกอบด้วยแอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ กรดคาร์บอกซิลิก สารประกอบไฮโดรคาร์บอน และกรดไขมันอิสระที่ระเหยได้ โดยสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นในยางแท่ง STR XL ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน สำหรับกลิ่นในยางแท่ง STR 5L นั้นพบว่าเกิดจากกรดไขมันที่ระเหยได้ในปริมาณเล็กน้อย แต่จะพบปริมาณมากในกรณีของยางแท่ง STR 5 ยางแท่ง STR 20 ยางก้นถ้วย และยางแผ่นรมควัน แต่ในยางสกิมก้อนนั้นจะพบว่ากลิ่นนั้นเกิดจากสารประกอบกำมะถันเป็นหลัก

จริยาภรณ์ และคณะ (2552) ได้ศึกษากรรมวิธีการผลิตแผ่นยางดูดกลิ่นโดยการนำผงถ่าน 2 ชนิด คือ ผงถ่านไม้ไผ่และผงถ่านไม้รวมมาผสมในยางแผ่น คณะวิจัยนำน้ำยางผสมกับผงถ่านแล้วทำการจับตัวด้วยกรดฟอร์มิก รีดเป็นแผ่นและนำไปตากแห้ง การทดสอบประกอบด้วยการทดสอบคุณสมบัติทางกลด้วยแรงดึง และการทดสอบความสามารถด้านการดูดกลิ่นทินเนอร์โดยใช้ประสาทสัมผัส พบว่าแผ่นยางดูดกลิ่นที่ผสมถ่านไม้รวม ขนาดผงถ่าน 300 ไมครอน ปริมาณผงถ่าน 500 กรัม มีค่าคุณสมบัติการดูดกลิ่นที่ดีเท่ากับ 69.67%

Rattanasom et.al. (2007) ได้ใช้สารตัวเติมผสมระหว่างซิลิกาและเขม่าดำ ในยางธรรมชาติเพื่อเสริมแรงพบว่ายางคงรูปที่มีซิลิกา 20 phr (เขม่าดำ 30 phr) และซิลิกา 30 phr (เขม่าดำ 20 phr) ให้สมบัติเชิงกลที่ดี ส่วนงานของ N. Rattanasom และ Prasertsri (2012) ได้ทำการศึกษาสารตัวเติมผสมระหว่างเคลย์และเขม่าดำ พบว่าเคลย์ 2 phr แทนเขม่าดำ 1 phr เพื่อให้ได้ค่าความแข็งเท่ากัน เมื่ออัตราส่วนระหว่างเคลย์ต่อเขม่าดำลดลง (เช่นจากอัตราส่วน 84:0 เป็น 54:15) พบว่าสมบัติเชิงกลดีขึ้น เช่นความทนทานต่อการฉีกขาด ความทนแรงดึงทดสอบจากชิ้นงานที่มีรอยบาก (Cut tensile strength) ความทนทานต่อการบ่มเร่งด้วยอุณหภูมิสูง (Heat aging resistance)

ยางปูพื้นรถยนต์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.947-2533 ได้แบ่งยางปูพื้นออกเป็น 5 ชั้นคุณภาพ โดยมีสมบัติทางฟิสิกส์ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติทางฟิสิกส์ตาม มอก.947-2533

รายการที่	คุณลักษณะ	ชั้นคุณภาพ					วิธีทดสอบตาม
		1	2	3	4	5	
1	ความแข็ง	70+5	70+5	70+5	70+5	65+5	ISO 48
2	ความต้านทานแรงดึง (ความทนแรงดึง) เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	2.8	3.5	5.2	6.9	10.4	ISO 37
3	ความยืดเมื่อขาด ร้อยละ (เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด) ไม่น้อยกว่า	150	150	150	200	250	ISO 37
4	ความต้านแรงฉีกขาด (ความต้านทานแรงฉีกขาด) กิโลนิวตันต่อเมตร ไม่น้อยกว่า	13.1	14.0	21.0	26.3	52.5	ISO 34 Method B Procedure (a)
5	การพับงอ	ต้องไม่มีรอยแตกร้าว					นำชิ้นทดสอบมาพับตามความกว้าง แล้วดูรอยแตกที่แนวพับด้านนอก
6	การยืดตัวเนื่องจากแรงดึง ร้อยละ ไม่เกิน	15	15	15	15	15	ISO2285
7	การบ่มเร่ง ● ความแข็งเพิ่มขึ้น IRHD ไม่เกิน	10	10	10	10	5	บ่มเร่งตามมาตรฐาน ISO 188 air-oven method ที่อุณหภูมิ 70±1 C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง
	● ความต้านแรงดึง (ความทนแรงดึง) เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	2.1	2.6	4.2	5.6	8.3	
	● ความยืดเมื่อขาด ร้อยละ (เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด)ไม่น้อยกว่า	115	115	115	150	200	
	● ความต้านแรงฉีกขาด (ความต้านทานแรงฉีกขาด) ลดลง ร้อยละ ไม่เกิน	25	25	25	25	25	
	● การพับงอ	ต้องไม่มีรอยแตกร้าว					

บทที่ 3 วิธีทดลอง

1. ศึกษาผลของอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อสมบัติเชิงกลบางประการ

1.1 การผลิตยางคงรูปด้วยระบบดั้งเดิม

- ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ยางแท่ง STR20 กับสารตัวเติมในเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) อัดด้วยความร้อน (Compression molding)
- สารเคมีที่ใช้คือ Zinc oxide (ZnO), Stearic acid, Tetramethylthiuramdisulphide (TMTD), N-cyclohexyl-2-benzothiazole sulphenamide (CBS), Lowinox® Polymer of p-cresol CPL และ Sulfur
- แปรอัตราส่วนระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำดังตารางที่ 3 โดยมีสูตร Control เดิมและสูตร Control ที่ปรับใหม่โดยใช้ N-(1,3-dimethylbutyl)-N'—phenyl-p-phenylenediamine (6PPD) แทน CPLเพื่อให้มีราคาถูกลงและเหมาะกับสูตรที่มีเขม่าดำ ดังตารางที่ 4 ราคาของสารเคมีรายงานตามที่ซื้อมา ราคายางอ้างอิงราคาจากสถาบันวิจัยยางเมื่อวันที่ 19 มิถุนายน 2558 ส่วนสมบัติกายภาพของสารตัวเติมทดสอบโดยใช้ Particle analyzer laser (Mastersizer S). และ Nitrogen adsorption instrument (Quantachrome Autosorb-1) ที่ใช้ในโครงการนี้แสดงดังตาราง ที่ 5 เมื่อวัดค่า pH ของเพอร์ไลต์โดยใช้ EUTECH instruments pH510 พบว่ามีค่า 9.61 เมื่อวัดในน้ำกลั่น และเท่ากับ 9.62 เมื่อวัดในสารละลาย 1M KCl
- การผสมยางทำโดยใช้เครื่องบดสองลูกกลิ้ง ลำดับการใส่สารทำตามงานวิจัยของฐิตินันท์ และคณะฯ (2555) ลำดับการผสมคือบดยาง แล้วใส่ stearic acid, ZnO, .ใส่สารตัวเติมครึ่งหนึ่งม CBS, TMTD, CPL (หรือ 6PPD), Silica, สารตัวเติมอีกครึ่งหนึ่ง และ S เป็นลำดับสุดท้าย ส่วนเวลาการผสมประมาณ 20-25นาที

ตารางที่ 3 แสดงสูตรการผสมโดยแปรอัตราส่วนระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำ

Ingredients (phr)	Control	HP0	HP15	HP30	HP45	HP60
NR/STR 20	100	100	100	100	100	100
S	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Stearic acid	2	2	2	2	2	2
ZnO	4	4	4	4	4	4
CBS	1	1	1	1	1	1
TMTD	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
CPL or 6PPD	1	1	1	1	1	1
Silica	5	5	5	5	5	5
Carbon black (N330)	-	60	45	30	15	-
Perlite	-	-	15	30	45	60

ตารางที่ 4 แสดงราคายางและสารเคมีที่ใช้

Rubber and Chemical	Price (Baht/kg.)		Chemical	Price (Baht/kg.)
STR 20	53.3		CPL	180.0
RSS3	61.7		6PPD	90.0
Skim block	50.0		TMTD	145.0
S	35.0		Commercial silica	25.0
Stearic acid	35.0		Carbon black N330	45.0
ZnO	80.0		Perlite	15.0
CBS	145.0			

ตารางที่ 5 สมบัติทางกายภาพของอนุภาคสารตัวเติม

Filler type	Particle size (μm)	Specific surface area (m^2/g)	Pore volume (cc/g)	Pore Diameter (Å)
Perlite	53.44	4.12	0.0061	58.89
CB N330	5.05	79.52	0.8451	425.10
Commercial Si	36.04	172.07	1.4660	340.80

- สมบัติเชิงกลที่ศึกษาคือ ความทนแรงดึง (ISO 37) เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด ความแข็ง IRHD (ISO 48)ความต้านทานแรงฉีกขาด (ISO 34 method B Procedure a) และสมบัติก่อนและหลังบ่มเร่งของความทนแรงดึง ความแข็งและความต้านทานแรงฉีกขาด การทดสอบทำสองแบทช์ และแต่ละสูตรทำซ้ำ 5 ตัวอย่าง
- การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางปูพื้นรถยนต์ (มอก 947-2533) ขั้นตอนนี้จะทำให้ทราบถึงสูตรที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางปูพื้นที่ได้มาตรฐาน

1.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) เพื่อดูผลการกระจายตัวของสารตัวเติมในยางคงรูป

2. ศึกษาผลของชนิดของยางต่อสมบัติเชิงกลบางประการในยางคงรูปที่ผสมด้วยเพอร์ไลต์และเขม่าดำ

- ชนิดของยางธรรมชาติที่ใช้ คือ STR20, RSS3 และยางสกิม (Skim block) โดยมีผลทดสอบสมบัติของยางดิบที่ทดสอบตามมาตรฐาน SMR: Bulletin No.7-1992 การทดสอบทำสองซ้ำ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สมบัติของยางดิบ

Rubber Sample	Dirt content (wt%)	Initial plasticity (Po)	Plasticity retention index (PRI)	Mooney viscosity ML (1+4) 100C	Nitrogen content (wt%)
STR 20	0.0350±0.006	42.5±1.4	47.7±2.4	75.4±1.6	0.29±0.00
RSS3	0.0315±0.005	45.8±1.1	80.4±1.1	79.9±0.1	0.40±0.01
Skim block	0.0265±0.004	31.3±0.4	10.4±1.3	69.5±0.6	1.77±0.00

- สมบัติเชิงกลที่ศึกษาคือ ความทนแรงดึง (ISO 37) เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด ความแข็ง IRHD (ISO 48)ความต้านทานแรงฉีกขาด (ISO 34 method B Procedure a) ความทนทานต่อการสึกหรอ (ISO4649) และสมบัติก่อนและหลังบ่มเร่งของความทนแรงดึง ความแข็งและความต้านทานแรงฉีกขาด การทดสอบทำสองแบทช์ และแต่ละสูตรทำซ้ำ 5 ตัวอย่าง
- การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางปูพื้นรถยนต์ (มอก 947-2533) ขั้นตอนนี้จะทำให้ทราบถึงชนิดของยางที่ทำให้ได้สูตรทำผลิตภัณฑ์ยางปูพื้นที่ได้มาตรฐาน ได้แก่ การยืดตัวเนื่องจากแรงดึง (Tension set) และการพับงอเป็นต้น

3. ศึกษาประสิทธิภาพการลดกลิ่นของยางที่ผ่าน มอก 947-2533
โดยการทดสอบการลดกลิ่น ทำ 2 วิธี คือ

3.1 การตรวจวัดกลิ่นด้วยวิธีการดมกลิ่น (Sensory odor measurement) (วิวัฒน์ 2550)

ในการเตรียมชิ้นทดสอบในการทดสอบกลิ่น เริ่มจากนำยางคอมพาวนด์ที่ได้มาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเบ้า (Compression moulding) หลังจากนั้นนำยางคงรูปที่ได้มาตัดให้มีลักษณะเป็นลูกเต๋าขนาดเล็ก ๆ โดยน้ำหนักรวม 10 กรัม แล้วนำมาใส่หลอดทดลองขนาดความยาว 15 เซนติเมตร โดยเมื่อเทยางลงในหลอดทดลองให้ยางมีความสูงจากก้นหลอดทดลองสูง 10 เซนติเมตร เพื่อเหลือให้มีพื้นที่ในการดมกลิ่มยาง (ในกรณีตัดยางและเทยางลงในการทดลอง ผู้ปฏิบัติการควรสวมถุงมือแพทย์เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรงหรือป้องกันเหงื่อจากมือที่สัมผัสยางหรือสิ่งสกปรกไปปนเปื้อนในยางหรืออาจมีผลต่อกลิ่นของชิ้นทดสอบได้) หลังจากนั้นทำการปิดฟอยล์ด้านนอกของหลอดทดลองทุกหลอดทดลอง เพื่อไม่ให้ผู้ทดสอบเห็นลักษณะสีของยางเนื่องจากสีมีผลต่อผู้ทดสอบ กล่าวคือ ถ้าชิ้นทดสอบมีสีเข้มผู้ทดสอบอาจคิดว่าสีเข้มจะมีกลิ่นที่แรงหรือถ้าชิ้นทดสอบมีสีจางผู้ทดสอบอาจคิดได้ว่าสีจางจะมีกลิ่นที่อ่อนกว่า หลังจากนั้นปิดปากหลอดทดลองด้วยจุกยาง เก็บชิ้นทดสอบทุกหลอดทดลองในโถดูดความชื้น

การทดสอบการดมกลิ่นจะฝึกผู้ทดสอบจำนวน 20 คนให้จำกลิ่นที่มีระดับความรุนแรง 5 ระดับได้และทดสอบในห้องระบบปิด โดยที่ผู้ทดสอบจะเป็นชาย 10 คน หญิง 10 คน อายุใกล้เคียงกันประมาณ 20-25 ปี ผู้ทดสอบต้องมีการเตรียมตัวในวันที่มาทำหน้าที่ทดสอบกลิ่น ดังนี้ ต้องไม่สระผมด้วยแชมพูที่มีกลิ่นแรง ต้องไม่ใช้น้ำหอม แป้งที่มีกลิ่น หรือเครื่องประทินผิวที่มีกลิ่นหอม ต้องไม่รับประทานอาหารที่มีรสจัด ต้องไม่สวมใส่เสื้อผ้าทำจากวัสดุที่มีกลิ่น เช่น หนังสัตว์ การปฏิบัติตัวในช่วงเวลาก่อนที่จะทำหน้าที่ทดสอบกลิ่น ต้องไม่สูบบุหรี่ ห้าม

ดื่มกาแฟ น้ำชา หรือน้ำโซดา หลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารใดๆ อย่างหนักในช่วงเวลาหนึ่งชั่วโมง ก่อนที่จะทำหน้าที่ประเมินตัดสินเรื่องกลิ่น และต้องไม่เคี้ยวหมากฝรั่ง ตามมาตรฐาน ASTM STP775

เมื่อเริ่มการทดสอบให้ผู้ทดสอบกลิ่นดมกลิ่นกาแฟจากเมล็ดกาแฟก่อนทุกครั้งเพื่อเป็นการดับกลิ่น หลังจากนั้นผู้ทดสอบจะดมชิ้นทดสอบ ในการเก็บข้อมูลจะมีลักษณะเป็นแบบสอบถามสำหรับให้คะแนนการลดกลิ่น สเกล 1 หมายถึงกลิ่นเจือจาง ส่วนสเกล 5 หมายถึงกลิ่นรุนแรง รายงานผลโดยใช้ค่าเฉลี่ยแบบฐานนิยม (Mode) (S. Manikandan, 2011)

3.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas chromatography/Mass spectrometry, GC-MS: Head space sampling technique โดยดูจากปริมาณ Benzothiazole ที่ลดลง ทำการทดลอง 2 ซ้ำ งานวิจัยนี้เลือกใช้ Benzothiazole เพราะจากงานวิจัยของฐิตินันท์ และคณะฯ (2555) ได้รายงานไว้ว่า Benzothiazole เป็นพีคองค์ประกอบกลิ่นที่มีในยางธรรมชาติชนิด STR20 และยาง STR20 ที่ผ่านการคงรูป

การวิเคราะห์เริ่มจากนำยางแห้งน้ำหนัก 10 กรัม บรรจุลงในขวด Vial เติมสารมาตรฐาน Methyl valerate (1ppm) 10 µL แล้วปิดให้แน่นด้วยจุกยาง จุ่มในน้ำร้อน 60°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บสารระเหยขึ้นมาโดยใช้ SPME ชนิด Polydimethylsiloxane/Divinylbenzene แล้วนำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง GC-MS ของ Agilent รุ่น GC-6890/MS-5973 ด้วยคอลัมน์ HP-5MS บรรจุสารไม่มีขั้ว Polysiloxane ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร โดยควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ไว้ที่ 50°C เป็นเวลา 2 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นด้วยอัตรา 50°C/นาทีจนกระทั่งอุณหภูมิสุดท้ายที่ 230°C คงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 4 นาที อัตราการไหลของก๊าซฮีเลียมเท่ากับ 1.0มิลลิลิตร/นาที

4. วิเคราะห์ต้นทุนและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการกับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาด

สมบัติเชิงกลที่ต้องการศึกษา ได้แก่ ความแข็ง IRHD การพับงอก่อนและหลังการบ่มเร่ง รวมถึงการยืดตัวเนื่องจากแรงดึง

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

การผลิตยางคงรูปด้วยระบบดั้งเดิมโดยมีสูตรตามตารางที่ 3 โดยปริมาณสารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำโดยรวมจะเป็น 60 phr ส่วนสารป้องกันการเสื่อมสภาพในขั้นตอนนี้เป็น CPL หลังจากนั้นนำไปทดสอบด้วย Moving die rheometer (MDR) ที่ 150°C เป็นเวลา 60 นาที ได้ผลของลักษณะการคงรูปตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลของลักษณะการคงรูป

Vulcanized rubber	Scorch time (min.)	Cure time (min.)	Torque difference (dN.m)
Control	2.18	3.24	6.25
HP0	1.43	5.67	32.61
HP15	1.47	4.46	32.14
HP30	1.55	4.41	28.03
HP45	2.05	4.79	23.39
HP60	2.13	6.37	21.40

จากตารางที่ 7 พบว่ายางคงรูปผสมเพอร์ไลต์มีค่า Scorch time ลดลงเมื่อเทียบกับ Control อาจเป็นเพราะเพอร์ไลต์มีฤทธิ์เป็นด่าง และมีออกไซด์ของโลหะ (Metal oxide) ช่วยกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาการคงรูป ดังแสดงในตารางที่ 1 และสอดคล้องกับงานของ Attharangsan et. al. (2012) ที่ใส่ผงแกลบในยางธรรมชาติทำให้ Scorch time ลดลงเนื่องจากผงแกลบมีออกไซด์ของโลหะ แต่เมื่อปริมาณเพอร์ไลต์เพิ่มขึ้นค่า Scorch time มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอาจเป็นเพราะหมู่ไซลานอลดูดซับสารกระตุ้นจึงทำให้ค่า Scorch time เพิ่มขึ้น เช่นสูตร HP60 มีค่า Scorch time มากกว่า HP15 ดังนั้นอาจอธิบายได้ว่าเพอร์ไลต์มีฤทธิ์เป็นด่างและมีโลหะออกไซด์จึงทำให้ค่า Scorch time ลด แต่ในขณะเดียวกันหมู่ไซลานอลบนพื้นผิวของเพอร์ไลต์ทำให้ค่า Scorch time เพิ่ม ส่วนยางคงรูปผสมเขม่าดำ HP0 (มีเขม่าดำ 60 phr) มีค่า Scorch time ลดลงอย่างเห็นได้ชัดอาจเป็นเพราะเขม่าดำมีความเป็นกลางค่อนข้างเป็นด่าง และพื้นผิวมีออกซิเจนต่ำ (Neutral or slightly alkali with low oxygen content) ทำให้เร่งปฏิกิริยาการคงรูป สอดคล้องกับงานของ N. Rattanasom et. al. (2012) เมื่อนำเอาเพอร์ไลต์ผสมเขม่าดำ สารตัวเติมทั้งสองจึงทำให้ Scorch time ลดลง โดยอิทธิพลของเขม่าดำน่าจะมีผลมากกว่าเพอร์ไลต์สังเกตยางคงรูป HP15 (มีเขม่าดำ 45) มีค่า Scorch time สั้นกว่า HP45 (มีเขม่าดำ 15) ในทางตรงกันข้ามพบว่าการเติมสารตัวเติมผสมทำให้เวลาการคงรูปเพิ่มขึ้น (Cure time) เมื่อเทียบกับ Control อาจเป็นเพราะในยางคงรูปทุกสูตรระบบมีซิลิกาที่มีหมู่ไซลานอลอยู่บนพื้นผิว และหมู่ไซลานอลนี้ดูดซับสารตัวเร่งทำให้เวลาในการคงรูปเพิ่มขึ้น (N. Rattanasom , 2007) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ยางคงรูป HP60 มีเวลาในการคงรูปนานที่สุด อาจเป็นเพราะพื้นผิวของเพอร์ไลต์มีหมู่ไซลานอลเช่นกัน (Dogan et. al.,2000) ดังนั้นยางคงรูปมีสารตัวเติมผสมจึงมีอิทธิพลจากซิลิกา และเพอร์ไลต์ที่ทำให้เวลาในการคงรูปช้าลง แต่เขม่าดำทำให้เวลาในการคงรูปเร็วขึ้น

ผลของอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อความแตกต่างของแรงบิด (Torque difference, MH-ML) พบว่าการใส่สารตัวเติม 60 phr ทำให้ค่าความแตกต่างของแรงบิดมากขึ้น ซึ่ง N. Rattanasom (2012) ได้อธิบายว่าความแตกต่างของแรงบิดจะหมายถึงความหนาแน่นของการเชื่อมโยงนั่นอาจหมายถึงการใส่สารตัวเติมทำให้การเชื่อมโยงมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีเขม่าดำในปริมาณสูงเช่นในยางคงรูป HP15 และ HP0 ส่วนการเติมเพอร์ไลต์อาจทำให้ขัดขวางการเชื่อมโยง จึงเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณเพอร์ไลต์เพิ่มขึ้นค่าความแตกต่างของแรงบิดลดลง เช่น HP0 มีค่าความแตกต่างของแรงบิดมากที่สุด รองลงมาคือ HP15, HP30, HP45 และ HP60 ตามลำดับ

1. ศึกษาผลของอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อสมบัติเชิงกลบางประการ

1.1 ผลของการแปรอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อค่าความแข็ง (Hardness) และมอดลัสที่ 100% (100% modulus)

เมื่อนำยางคงรูปที่ผสมตามสูตรในตารางที่ 3 ไปทดสอบความแข็งได้ผลตามตารางที่ 8 การเติมสารตัวเติมทำให้ความแข็งของยางคงรูปเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าความแตกต่างของแรงบิด อาจเป็นเพราะสารตัวเติมมีความแข็งทำให้ความยืดหยุ่นในยางลดลง (Dilution effect) โดยที่ยางคงรูป HP60 มีความแข็งน้อยกว่า HP0 อาจเป็นเพราะเพอร์ไลต์มีขนาดอนุภาค (Particle size) ใหญ่กว่า มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) น้อยกว่าเขม่าดำ ดังแสดงในตารางที่ 5 และเมื่อนำเอาสารตัวเติมทั้งสองมาผสมกันอิทธิพลการเสริมแรงจากเขม่าดำจึงมีมากกว่าเพอร์ไลต์ ซึ่งจะเห็นว่า HP15 มีความแข็งมากกว่า HP45 จากตารางที่ 8 ยังสามารถสังเกตเห็นว่าค่าความแข็งของยางคงรูปเพิ่มขึ้นหลังจากบ่มเร่งที่ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง น่าจะเป็นเพราะการเกิดเชื่อมโยงมากขึ้น (Post-curing effect) ซึ่งพบในงานของ และ N. Rattanasom และ S. Prasertsri (2009) และ S. Moonchai (2013) เช่นกัน N. Rattanasom และ S. Prasertsri (2009) พบว่า ค่ามอดุลัสของยางผสมเขม่าดำและเคลย์มีค่าสูงขึ้น เมื่อผ่านการบ่มเร่ง ส่วน S. Moonchai (2013) ก็พบว่ายางคง

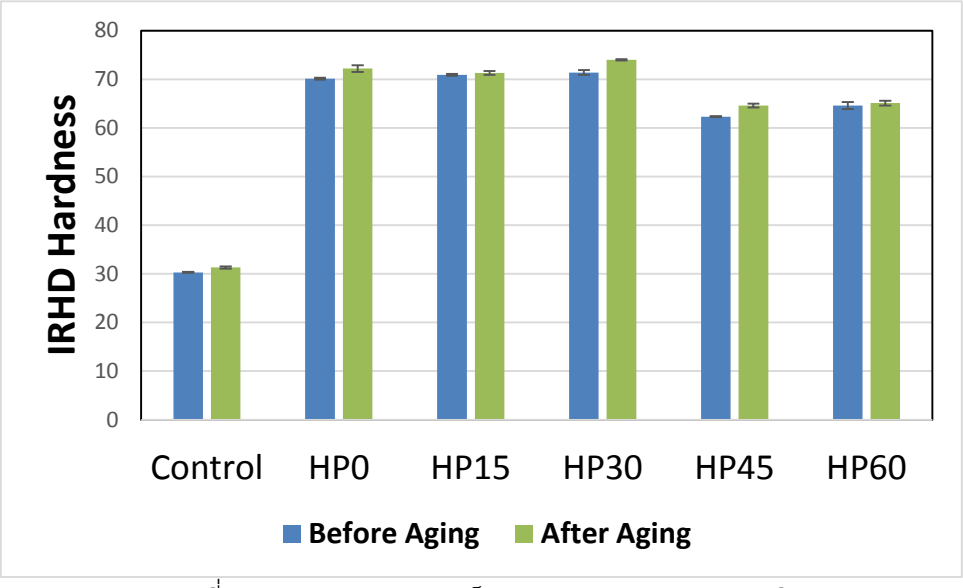
รูปที่ผสมสารตัวเติมและเขม่าดำความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการบ่มเร่ง นอกจากนี้พบว่าสูตรที่ผ่านเกณฑ์มอก.947-2533 มีเพียงสูตร HP15 และ HP30 อยู่ในชั้นคุณภาพ 1, 2, 3 และ 4

การใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้ความแข็งสูงกว่ามีเพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียว เช่น ค่าความแข็งของ HP15 และ HP30 สูงกว่าของ HP0 และ HP60 และสูงกว่างานวิจัยเรื่อง "การใช้เพอร์ไลต์เป็นสารตัวเติมชนิดดูดซับกลิ่นในยางคงรูป" ที่ใส่สารตัวเติมเพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียวและมีค่าความแข็งแบบ Shore A ประมาณ 52 (ฐิตินันท์ และคณะ 2555)

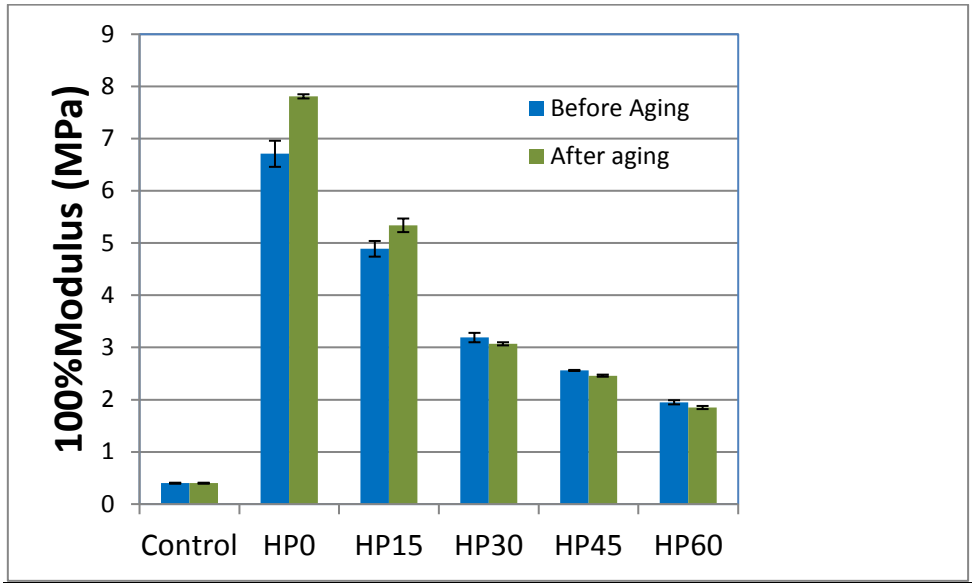
จากภาพที่ 2 พบว่าก่อนการบ่มเร่งการเติมสารตัวเติมทำให้มอดุลัสที่ 100% เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสารตัวเติมมีเพียงเขม่าดำในสูตร HP0 ส่วนการเติมเพอร์ไลต์ทำให้มอดุลัสที่ 100% มีแนวโน้มลดลง HP60 มีค่ามอดุลัสที่ 100% น้อยกว่า HP0 แต่ยังมากกว่า control เมื่อยางคงรูปผ่านการบ่มเร่ง ยางคงรูปสูตร HP0 และ HP15 มีค่ามอดุลัสที่ 100% สูงขึ้น อาจเป็นเพราะเพราะการเกิดเชื่อมโยงมากขึ้นดัง (Post curing effect) ที่กล่าวข้างต้น แต่ยางคงรูปสูตร HP30, HP45, HP60 มีค่าลดลง อาจเป็นเพราะเพอร์ไลต์มีปริมาณสูง อัตรกิริยาระหว่างยางกับเพอร์ไลต์ค่อนข้างต่ำ ยางคงรูปที่มีเพอร์ไลต์ปริมาณสูงจึงเสื่อมสภาพง่ายเมื่อได้รับความร้อน

ตารางที่ 8 ค่าความแข็งของยางคงรูป

Vulcanized rubber	IRHD Hardness before aging (H)	IRHD Hardness after aging (HA)	ΔH= (HA-H)	TIS 947-2533
Control	30.3±0.1	31.3±0.2	1	Fail
HP0	70.1±0.2	72.2±0.7	2.1	PASS Grade 1-4
HP15	70.9±0.2	71.3±0.4	0.4	PASS Grade 1-4
HP30	71.4±0.5	74.0±0.1	0.7	PASS Grade 1-4
HP45	62.3±0.1	64.6±0.4	2.3	Fail
HP60	64.6±0.7	65.1±0.5	0.5	Fail



ภาพที่ 1 ผลการทดสอบความแข็ง IRHD ของยางคงรูปแต่ละชนิด



ภาพที่ 2 ผลการทดสอบค่ามอดุลัสที่ 100% ของยางคงรูปแต่ละชนิด

1.2 ผลของการแปรอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อค่าความทนแรงดึง (Tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด (%Elongation at break)

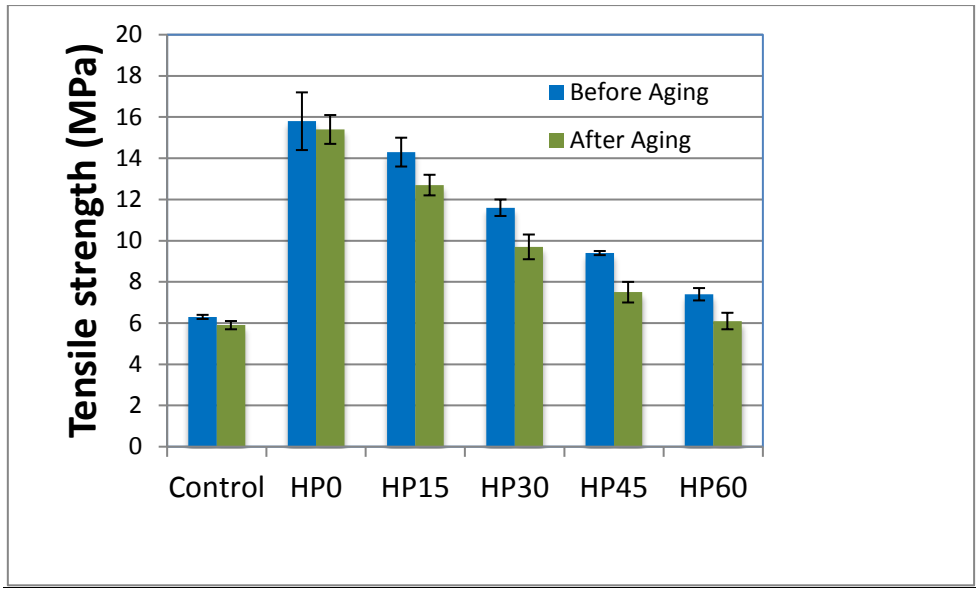
เมื่อนำยางคงรูปที่ผสมตามสูตรในตารางที่ 3 ไปทดสอบความทนแรงดึงได้ผลตามตารางที่ 9 พบว่า การใส่สารตัวเติมผสมทำให้ความทนแรงดึงเพิ่มขึ้น โดยที่ HP60 มีความทนแรงดึงน้อยกว่า HP0 สอดคล้องกับผลค่าความแข็งอาจเป็นเพราะเพอร์ไลต์มีขนาดอนุภาค (Particle size) ใหญ่กว่า มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) น้อยกว่าเขม่าดำ เขม่าดำเข้ากันกับยางได้ดีกว่าเพอร์ไลต์ เมื่อใส่เพอร์ไลต์เพิ่มขึ้นความทนแรงดึงจึงลดลง และเมื่อเอาสารตัวเติมทั้งสองมาผสมกันอิทธิพลการเสริมแรงจากเขม่าดำจึงมีมากกว่าเพอร์ไลต์ HP15 (มีเขม่าดำ 45phr) จึงมีความทนแรงดึงมากกว่า HP45 (มีเขม่าดำ 15 phr) ความทนแรงดึงของสูตรที่มีสารตัวเติมผสมเพอร์ไลต์และเขม่าดำสูงกว่าสูตรที่มีเพอร์ไลต์ชนิดเดียว เช่น HP15,HP30, HP45 มีค่าความทนแรงดึงมากกว่า HP60 จากตารางที่ 9 ยังพบว่าความทนแรงดึงลดลงเมื่อผ่านการบ่มเร่ง 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

ส่วนผลของการแปรอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด พบว่าการใส่สารตัวเติมทำให้ยางมีเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดลดลง อาจเป็นเพราะสารตัวเติมทำให้ยางแข็งขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง (Dilution effect) การเคลื่อนไหวของสายโซ่ (Chain mobility) เป็นไปได้ยากขึ้น ดังนั้นยางจึงดึงยืดได้น้อย โดยที่ยางคงรูป HP0 จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดน้อยกว่ากว่า HP60 อาจเป็นเพราะเขม่าดำเข้ากับยางได้ดีและเกิดอันตรกิริยาดีกว่าเพอร์ไลต์ ทำให้สายโซ่โมเลกุลยางเคลื่อนไหวได้ยากกว่า ดังนั้นเมื่อนำสารตัวเติมผสมทั้งสองมาผสมกันยางคงรูป HP15 จึงมีเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดน้อยกว่า HP45 หรืออาจอธิบายได้ว่าเพอร์ไลต์ทำให้ยางคงรูปคงสภาพความยืดหยุ่นได้ดีกว่า ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับคำอธิบายที่ว่าการเสริมแรงในยางด้วยสารตัวเติมเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างยางกับสารคัวเติม ยางจะมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูงเนื่องจากสายโซ่โมเลกุลยางจะมีความสามารถในการเคลื่อนที่น้อยลง (พงษ์ธร, 2550) จากภาพที่ 4 ยังพบอีกว่าเมื่อผ่านการบ่มเร่ง 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ยางคงรูปมีเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดลดลง

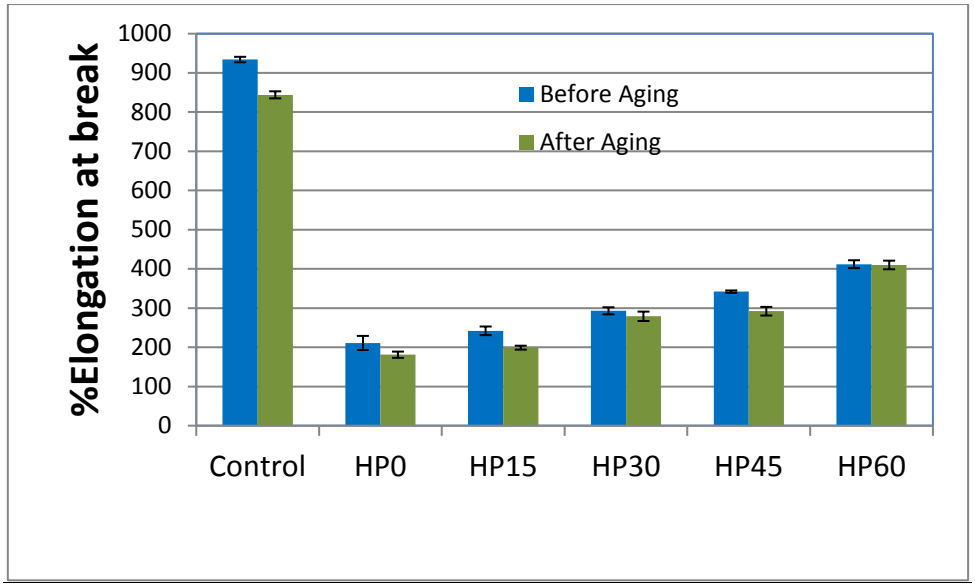
อาจเป็นเพราะอัตรกิริยาระหว่างยางกับเพอร์ไลต์ค่อนข้างต่ำ ยางคงรูปที่มีเพอร์ไลต์ปริมาณสูงจึงเสื่อมสภาพง่ายเมื่อได้รับความร้อน

ตารางที่ 9 ความทนแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดของยางคงรูป

Vulcanized rubber	Tensile strength before aging (MPa)	Tension set before aging (%)	%Elongation at break before aging	Tensile strength after aging (MPa)	%Elongation at break after aging	TIS 947-2533
Control	6.3±0.1	3.3	934±7	5.9±0.2	844±9	PASS Grade 1-4
HP0	15.8±1.4	3.4	211±18	15.4±0.7	181±8	PASS Grade 1-4
HP15	14.3±0.7	4.9	242±11	12.7±0.5	199±5	PASS Grade 1-4
HP30	11.6±0.4	5.9	293±9	9.7±0.6	279±12	PASS Grade 1-4
HP45	9.4±0.1	5.5	342±3	7.5±0.5	292±11	PASS Grade 1-4
HP60	7.4±0.3	3.0	412±10	6.1±0.4	410±11	PASS Grade 1-4



ภาพที่ 3 ผลการทดสอบความทนแรงดึงของยางคงรูปแต่ละชนิด

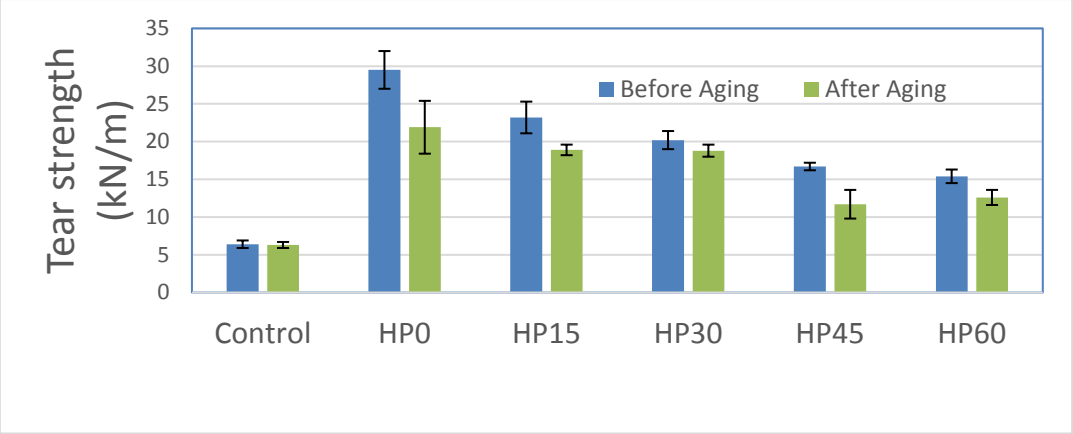


ภาพที่ 4 ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดของยางคงรูปแต่ละชนิด

1.3 ผลของการแปรอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength)

จากภาพที่ 5 จะพบว่าผลของการทดลองความทนทานต่อการฉีกขาดสอดคล้องกับผลของ ความแข็ง และความทนแรงดึง นั่นคือ การใส่สารตัวเติมผสมทำให้ความทนทานต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้น โดยที่ HP60 มีความทนทานต่อการฉีกขาดน้อยกว่า HP0 อาจเป็นเพราะเพอร์ไลต์มีขนาดอนุภาค (Particle size) ใหญ่กว่า มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) น้อยกว่าเขม่าดำ เขม่าดำเข้ากันกับยางได้ดีกว่าเพอร์ไลต์ เมื่อใส่เพอร์ไลต์เพิ่มขึ้นความทนทานต่อการฉีกขาดจึงลดลง J. Leblanc (2002) อธิบายไว้ว่าอันตรกิริยาที่ดีระหว่างสารตัวเติมกับยางจะทำให้โมเลกุลเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น พลังงานที่ทำให้โมเลกุลแยกจากกันจึงมากกว่า (Energy dissipation) ดังนั้นการเสริมแรงจากเขม่าดำจึงดีกว่าเพอร์ไลต์ ผลการทดลองเรื่องความทนแรงดึงและความทนทานต่อการฉีกขาดสอดคล้องกับงานของ N. Rattanasom and S. Prasertsri (2012) ที่เอาสารตัวเติมเขม่าดำผสมกับเคลย์ พบว่าเมื่อเพื่อปริมาณเขม่าดำเพิ่มขึ้น ความทนแรงดึงและความทนทานต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้น

เมื่อเอาสารตัวเติมเพอร์ไลต์มาผสมกับเขม่าดำอิทธิพลการเสริมแรงจากเขม่าดำจึงมีมากกว่าเพอร์ไลต์ HP15 (มีเขม่าดำ 45 phr) จึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดมากกว่า HP45 (มีเขม่าดำ 15 phr) ความทนทานต่อการฉีกขาดของสูตรที่มีสารตัวเติมผสมเพอร์ไลต์และเขม่าดำสูงกว่าสูตรที่มีเพอร์ไลต์ชนิดเดียว เช่น HP15, HP30, HP45 มีค่าความทนแรงดึงมากกว่า HP60 จากภาพที่ 5 ยังพบว่าความทนทานต่อการฉีกขาดลดลงเมื่อผ่านการบ่มเร่ง 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง อาจเป็นเพราะอัตรกิริยาระหว่างยางกับเพอร์ไลต์ค่อนข้างต่ำ ยางคงรูปที่มีเพอร์ไลต์ปริมาณสูงจึงเสื่อมสภาพง่ายเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองความทนแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด



ภาพที่ 5 ผลการทดสอบตวามทนทานต่อการฉีกขาดของยางคงรูปแต่ละชนิด

ตารางที่ 10 สมบัติบางประการก่อนและหลังบ่มเร่งทดสอบตามมาตรฐาน 947-2433

Vulcanized rubber	Tear strength before aging, T (kN/m)	Tear strength after aging, TA (kN/m)	%ΔT *	Tension set before aging (%)
HP30	20.2±1.2	18.8±0.8	7.4	4.9 (ไม่เกิน 15%)

* %ΔT หาจาก ((T-TA)/T)x100

(a)

(b)

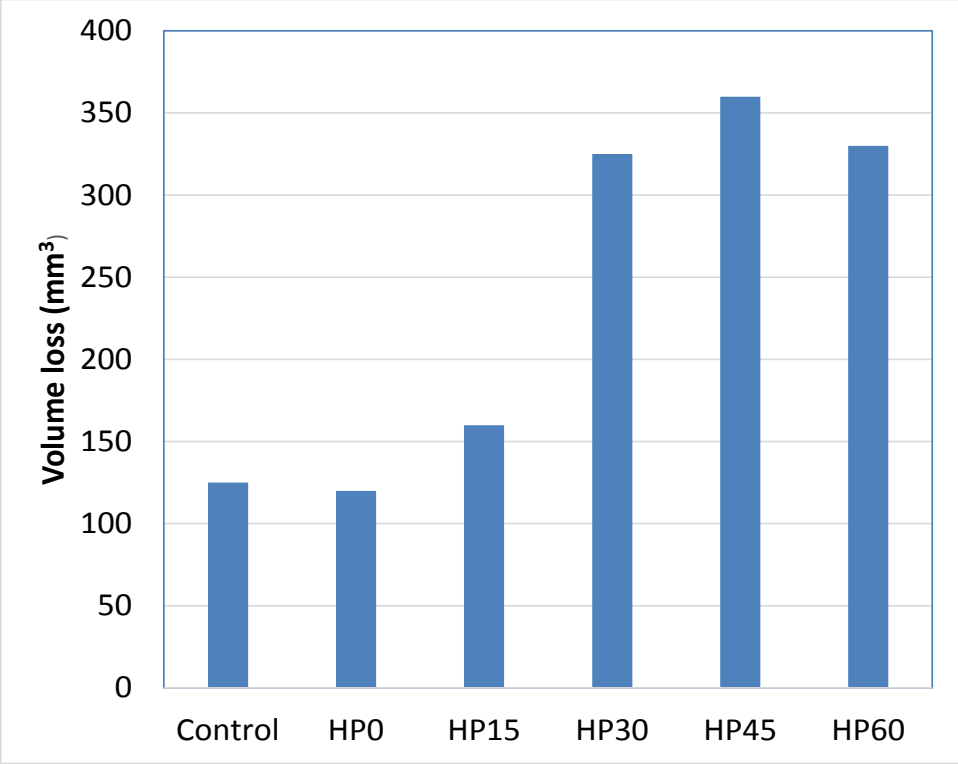
(c)

ภาพที่ 6 (a) แสดงการทดสอบการพับงอ (b) ตัวอย่าง HP30 ที่ผ่านการพับงอก่อนการบ่มเร่ง และ (c) ตัวอย่าง HP30 ที่ผ่านการพับงอหลังการบ่มเร่ง

จากตารางที่ 9 จะเห็นว่าทุกสูตรผ่านเกณฑ์มอก.947-2533 ชั้นคุณภาพ 1, 2, 3 และ 4 จึงเลือกเฉพาะสูตร HP30 ที่ผ่านเกณฑ์ความแข็ง และมีแนวโน้มลดกลิ่นเพราะมีเพอร์ไลต์ ถึง 30 phr ไปทดสอบความยืดเมื่อขาด (Tension set) ก่อนบ่มเร่ง การพับงอก่อนและหลังบ่มเร่ง แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 6(b) และ 6(c) สำหรับการทดสอบการพับงอก่อนและหลังบ่มเร่ง สูตร HP30 ไม่มีรอยแตกร้าว

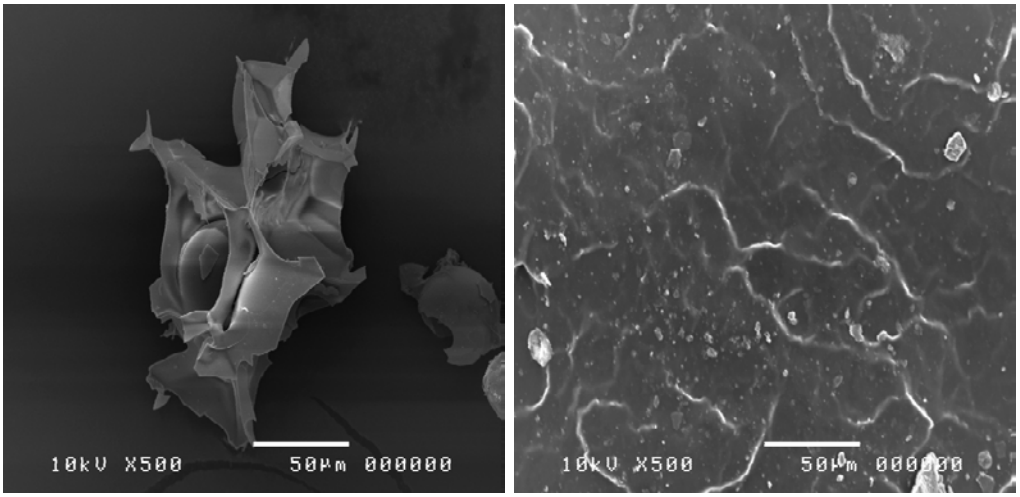
1.4 ผลของการแปรอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อค่าความทนทานต่อการสึกหรอ (Abrasion resistance)

ผลการทดสอบความทนทานต่อการสึกหรอแสดงดังภาพที่ 7 ความทนทานต่อการสึกหรอของยางคงรูป แสดงในรูปของปริมาตรที่สูญเสียไป (Volume loss, mm^3) ถ้าปริมาตรที่สูญเสียไปมีค่าน้อยแสดงว่ายางคงรูปมีความทนทานต่อการสึกหรอสูง จากภาพที่ 7 จะเห็นว่าปริมาตรการสูญเสียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ความทนทานต่อการสึกหรอลดลง) ตามปริมาณ Perlite ซึ่งก็สอดคล้องกับผลของมอดุลัส และความทนแรงดึงที่มีค่าลดลง เนื่องจากอนุภาคเพอร์ไลต์มีขนาดใหญ่ มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย จึงทำให้มีอันตรกิริยากับยางลดลง อย่างไรก็ตามการใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้ปริมาตรที่สูญเสียไปลดลง (ความทนทานต่อการสึกหรอเพิ่มขึ้น) เมื่อเทียบกับที่มีเพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียว เช่น ปริมาตรที่สูญเสียไปของ HP15 และ HP30 น้อยกว่าของ HP60 และปริมาตรที่สูญเสียไปยังน้อยกว่างานวิจัยเรื่อง “การใช้เพอร์ไลต์เป็นสารตัวเติมชนิดดูดซับกลิ่นในยางคงรูป” ที่ใส่สารตัวเติมเพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียวและมีปริมาตรที่สูญเสียไปประมาณ $455mm^3$ (ฐิตินันท์ และคณะ 2555)

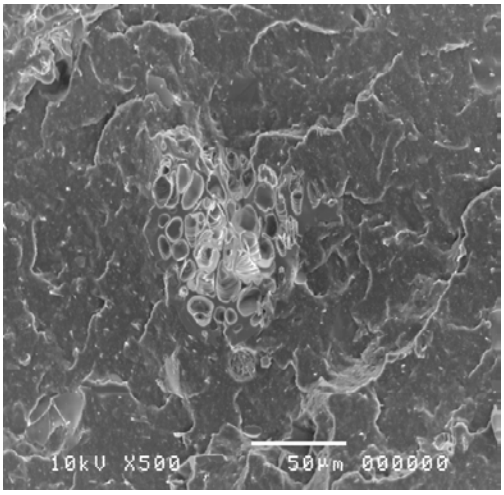


ภาพที่ 7 ผลการทดลองของปริมาตรที่สูญเสียไปของยางคงรูปแต่ะชนิด

เมื่อนำเอาตัวอย่าง HP30 ไปตรวจดูการกระจายตัวของสารตัวเติมภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพที่ 8 (c) พบว่าการกระจายของสารตัวเติมดี ดังนั้นผลการทดลองของค่าความทนแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด ความทนทานต่อการสึกหรอ เมื่อปริมาณเพอร์ไลต์เพิ่มขึ้น จึงน่าจะเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างเพอร์ไลต์และยางไม่ดี



(a) (b)



(c)

ภาพที่ 8 ภาพถ่าย SEM (a) แสดงลักษณะพื้นผิวของเพอร์ไลต์ที่มีโพรงและรูพรุน ผิวเปิด ไม่เรียบ (b) ยางคงรูปสูตร Control (c) ยางคงรูปสูตร HP30

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง ต้นทุนเป็นสิ่งสำคัญจึงได้ปรับสูตร HP30 ให้มีราคาถูกลงโดยปรับสารป้องกันการเสื่อมสภาพจาก CPL เป็น 6PPD อีกทั้ง 6PPD มักทำให้ยางเปลี่ยนสี จึงมักใช้กับยางคอมพาวนด์ที่มีส่วนผสมของเขม่าดำ ได้สูตรตามตารางที่ 11 และผลค่าความแข็งตามตารางที่ 12 ซึ่งค่าที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก 947-2533 ชั้นคุณภาพ 1, 2, 3 และ 4

ตารางที่ 11 สูตรที่ปรับใหม่ให้ราคาถูกลงและเหมาะกับยางสูตรที่ผสมเขม่าดำ

Ingredients (phr)	NR/STR 20	S	Stearic acid	ZnO	CBS	TMTD	6PPD	Si	Carbon black	Perlite
HP30	100	2.5	2	4	1	0.8	1	5	30	30

ตารางที่ 12 ค่าความแข็งของยางคงรูปที่ปรับสูตรให้ราคาถูกลงโดยใช้สารป้องกันเสื่อมสภาพเป็น 6PPD

Vulcanized rubber	IRHD Hardness before aging (H)	IRHD Hardness after aging (HA)	ΔH= (HA-H)	TIS 947-2533
Control	45.5±0.2	47.1±0.1	1.6	Fail
HP30	71.4±1.5	73.4±0.3	2.0	PASS Grade 1-4

2. ศึกษาผลของชนิดของยางต่อสมบัติเชิงกลบางประการในยางคงรูปที่ผสมด้วยเพอร์ไลต์และเขม่าดำ

เมื่อพบว่ายางคงรูปสูตร HP30 มีสมบัติเชิงกลผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. จึงได้ทดลองแปรชนิดของยาง เป็น STR20, RSS3 และ Skim block ได้ผลตามตารางที่ 13 และ 14 พบว่ายางคงรูปที่ผ่านมอก.มีเพียงสูตรที่ใช้ STR20 และ RSS3 เพราะค่าความแข็งตามมาตรฐาน มอก. 947-2533 (ISO48) ต้องอยู่ในช่วง 65-75 อาจเป็นเพราะกระบวนการเตรียมยางดิบทั้งสามชนิดแตกต่างกัน ปริมาณสิ่งสกปรกต่างกัน โดยปริมาณสิ่งสกปรกของยางดิบแสดงในตารางที่ 6 พบว่า STR 20 มีมากที่สุด รองลงมาคือ RSS3 และ Skim block ยาง Skim block แข็งกว่ามาตรฐาน

เมื่อพิจารณาเกณฑ์ค่าความแข็งสูตร STR20-HP30 ผ่านเกรดถึง 1-4 แต่เมื่อพิจารณาเกณฑ์ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดก่อนและหลังบ่มเร่ง ทำให้สูตร STR20-HP30 ผ่านเพียงเกรด 1-2 ส่วน RSS3-HP30 ผ่านเกรดถึง 1-3 และเมื่อทดสอบการพับงอเฉพาะสูตรที่ผ่านมาตรฐานแสดงดังภาพที่ 9 ยางคงรูปสูตร STR20-HP30 ไม่แตกร้าวทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง

ตารางที่ 13 ค่าความแข็งของยางคงรูปที่ใส่สารป้องกันการเสื่อมสภาพ 6PPD

Vulcanized rubber	IRHD Hardness before aging (H)	IRHD Hardness after aging (HA)	ΔH= (HA-H)	TIS 947-2533
Control STR20	45.5±0.2	47.1±0.1	1.6	Fail
STR20-HP30	71.4±1.5	73.4±0.3	2.0	PASS Grade 1-2
Control RSS3	46.4±1.0	49.4±0.3	3.0	Fail
RSS3-HP30	74.1±0.9	75.6±1.0	1.2	PASS Grade 1-3
Control SKIM BLOCK	50.7±1.0	59.2±0.3	8.5	Fail
SKIM BLOCK-HP30	83.2±0.4	83.5±1.1	2	Fail

ตารางที่ 14 ผลของการแปรชนิดของยางต่อสมบัติเชิงกลบางประการในยางคงรูป

Vulcanized rubber	STR20-HP30	RSS3-HP30	SKIM BLOCK-HP30
Before aging: Tensile strength (MPa)	8.1±0.1	10.4±0.7	8.5±0.1
%Elongation at break	205±20	232±13	174±3
Tear strength, T (kN/m)	15.4±2.4	22.8±1.2	18.7±1.1
Tension set (<15%)	2.7%	13.3%	NA
After aging: Tensile strength (MPa)	7.6±0.9	8.6±1.0	8.3±0.3
%Elongation at break	171±20	192±6	147±4
Tear strength, TA (kN/m)	14.2±2.9	17.2±0.4	16.0±0.5
%ΔT (<25%)	11.7	24.5	14.4

NA-ไม่ได้ทดสอบเนื่องจากยางคงรูปมีสมบัติไม่ผ่าน มอก.947-2533

(a)

(b)

(c)

(d)

ภาพที่ 9 แสดง (a) ตัวอย่าง STR20-HP30 ที่ผ่านการพับงอก่อนการบ่มเร่ง (b) ตัวอย่าง STR20-HP30 ที่ผ่านการพับงอหลังการบ่มเร่ง (c) ตัวอย่าง RSS3-HP30 ที่ผ่านการพับงอก่อนการบ่ม แลt (d) ตัวอย่าง RSS3-HP30 ที่ผ่านการพับงอหลังการบ่ม

4 ผลของประสิทธิภาพการลดกลิ่นของยางคงรูปที่ผ่าน มอก.

การตรวจวัดกลิ่นด้วยวิธีการดมกลิ่นแสดงในตารางที่ 15 จะเห็นว่าสูตร HP30 ที่ใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำมีกลิ่นรุนแรงน้อยกว่าที่ไม่ได้ใส่ เมื่อนำไปทดสอบเพิ่มเติมด้วยเทคนิค GC-MS พีคแสดงองค์ประกอบกลิ่นแสดงในภาคผนวก และองค์ประกอบกลิ่นแสดงดังในตาราง ที่ 16 และ 17

ตารางที่ 15 ความรุนแรงของกลิ่นที่ยางคงรูปแต่ละชนิด

Rubber vulcanizates	Ordour scale
STR20-Control	3
STR20-HP30	**2**
RSS3-Control	3
RSS3-HP30	**1**

ตารางที่ 16 แสดงองค์ประกอบกลิ่นของยางคงรูปสูตร STR20-Control ที่ผสมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ 6PPD

Retention time	Odour Composition	Average relative peak area (%)
4.807	Methyl valerate	100.00
11.402	1-2-phenyl-1,2-propanediol	96.28
13.576	Cyclopentasiloxane, decamethyl	48.74
14.401	Napthalene	65.27
14.749	2-piperidinone	256.0-
15.708	Benzothiazole	2991.72
16.004	Cyclohexane, isothiocyanato	2357.07
16.570	Formamide, N-cyclohexyl-	23.75
17.172	Benzene, pentamethyl	29.47
17.556	Naphthalene, 1-methyl	161.20
19.413	2(3H)-Furanone, dihydro-5-pentyl-19.413	19.78
19.932	Benzenamine, N-(2,2-dimethylpropyl)-N-me	168.27
20.082	1H-Indole, 4-methyl	92.68
22.848	Pentadecane	228.37
23.414	Butanoic acid	69.77
26.797	Benzeneacetic acid	28.12

จากตารางที่ 16 เป็นองค์ประกอบกลิ่นของยางสูตร STR20-Control จะพบ Methyl valerate ประมาณนาทีที่ 4 ซึ่งเป็นของสารละลายมาตรฐาน โดยรายงานพื้นที่ใต้พีคขององค์ประกอบอื่นๆ เทียบกับพื้นที่ใต้พีคสารละลายมาตรฐาน

โดยให้พื้นที่ใต้พีคสารละลายมาตรฐานคิดเป็น 100% จากตารางที่ 16 ยังพบ Bensothiazole ที่ประมาณนาทีที่ 15.7 ใกล้เคียงงานของฐิตินันท์และคณะ (2555) ส่วนองค์ประกอบอื่นๆ แตกต่างจากงานดังกล่าวเนื่องจากมีสูตรที่ต่างกัน สำหรับ Benzenamine ที่เจอในนาทีที่ 19 อาจเป็นของ 6PPD องค์ประกอบอื่นที่เจอเป็นกลุ่ม Alcohol, Ketone, Aromatic alkane, และ กรด Carboxylic acid เป็นต้น ส่วนตารางที่ 17 แสดงพีคองค์ประกอบกลิ่นของยางคงรูปใส่สารตัวเติมผสมเพอร์ไลต์และเขม่าดำสูตร HP30 พบพื้นที่พีคสัมพัทธ์ขององค์ประกอบกลิ่นเหล่านี้ลดลง

- Benzothaizole ลดจาก 2991 เหลือ 332
- Cyclopentasiloxane, decamethyl ลดจาก 45 เหลือ 14
- Cyclohexane, isothiocyanato ลดจาก 2357 เหลือ 409

ตารางที่ 18 แสดง องค์ประกอบกลิ่นของยางคงรูปสูตร STR20-HP30 ที่ผสมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ 6PPD

Retention time	Odour Composition	Average relative peak area (%)
4.53	Methyl valerate	100.00
13.60	Cyclopentasiloxane, decamethyl	14.07±3.2
15.58	Benzothiazole	332.8±392.7
15.83	Cyclohexane, isothiocyanato	409.31±5.0

องค์ประกอบกลิ่นของ RSS3-Control และ RSS3-HP30 แสดงในตารางที่ 19 พีคของ Methyl valerate ปรากกฏที่ประมาณนาทีที่ 4.33 ใน Control และพบที่ 6.44 ส่วนพื้นที่สัมพัทธ์ของพีคองค์ประกอบกลิ่น Benzothiazole ลดลงจาก 426 เป็น 6 โดย T.Rattnaplome et. al. (2015) ได้อธิบายไว้ว่าเพอร์ไลต์ดูดซับกลิ่นได้ดีอาจเป็นเพราะพื้นผิวเปิด ขรุขระ มีรูพรุน และหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวเกิดพันธะไฮโดรเจนกับอิเล็คตรอนคู่โดดเดี่ยว (Lone pair electron) ของไนโตรเจนใน Benzothiazole

ตารางที่ 19 แสดง องค์ประกอบกลิ่นของยางคงรูปสูตร RSS3-HP30 ที่ผสมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ 6PPD

Rubber vulcanizates	Retention time	Odour Composition	Average relative peak area (%)
RSS3-Control	4.33	Methyl valerate	100.00
	15.77	Benzothiazole	426.15±577.9
RSS3-HP30	6.44	Methyl valerate	100.00
	16.31	Benzothiazole	6.92±8.5

5. วิเคราะห์ต้นทุนและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการกับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาด

จากราคายางและสารเคมีในตารางที่ 4 สามารถคำนวณราคาสูตรที่ผ่าน มอก. 947-2533 ตามรายละเอียดที่แสดงในภาคผนวกพบว่า

- ยางสูตร STR20-HP30 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ 80.68 บาท
- ยางสูตร RSS3-HP30 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ 85.46 บาท

- ยางปูพื้นรถยนต์ราคาถูก หนัก 0.52kg ราคา 154 บาท คิดเป็นกิโลกรัมละ 296.15 บาท
- ยางปูพื้นรถยนต์ราคาแพง หนัก 1.260 kg. ราคา 1,310.75 บาท คิดเป็นกิโลกรัมละ 1,040.28 บาท

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการกับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาดพบว่ามีสูตร STR20-HP30 และ RSS3-HP30 ผ่าน มอก. 947-2533 ดังแสดงในตารางที่ 20 โดยที่ยางปูพื้นรถยนต์ทางการค้าราคาถูกมีค่าความแข็งสูงกว่ามาตรฐาน คุณภาพต่ำ และกลิ่นเหม็นรุนแรงที่สุด ส่วนยางปูพื้นรถยนต์ทางการค้าราคาแพงมีค่าความแข็งต่ำกว่ามาตรฐาน ความยืดหยุ่นสูง กลิ่นไม่เหม็น

ตารางที่ 20 ตารางเปรียบเทียบสมบัติบางประการกับยางปูพื้นรถยนต์ทางการค้า

ชนิดยางคงรูป	STR20-HP30	RSS3-HP30	ยางปูพื้นรถยนต์ทางการค้าราคาถูก	ยางปูพื้นรถยนต์ทางการค้าราคาแพง
ลักษณะกลิ่น	กลิ่นเจือจาง ไม่เหม็น Ordour scale= 2	กลิ่นเจือจาง ไม่เหม็น Ordour scale= 1	กลิ่นเหม็นรุนแรง Odour scale= 4	กลิ่นเจือจาง ไม่เหม็น Odour scale= 2
สมบัติก่อนบ่มเร่ง o ความแข็ง o การพับงอ	71.4±1.5 ไม่แตกร้าว	74.1±0.9 ไม่แตกร้าว	87.8±0.4 ไม่แตกร้าว	41.2±0.5 ไม่แตกร้าว
สมบัติหลังบ่มเร่ง o ความแข็ง o การพับงอ	73.4±0.3 ไม่แตกร้าว (ภาพที่ 9)	75.6±1.0 ไม่แตกร้าว	88.4±0.2 ไม่แตกร้าว (ภาพที่ 10)	48.1±0.2 ไม่แตกร้าว (ภาพที่ 11)
การยืดตัวเนื่องจากแรงดึง (tension set)	<15%	<15%	ทดสอบไม่ได้ ดึงแล้วขาด	0%
เกณฑ์มอก.947-2533	PASS	PASS	FAIL	FAIL

(a)

(b)

ภาพที่ 10 แสดงผลการทดสอบการพับงอของยางปูพื้นรถยนต์ราคาถูก (a) ก่อนบ่มเร่ง (b) หลังบ่มเร่ง

(a) การพับงอก่อนบ่มเร่ง

(b) การพับงอหลังบ่มเร่ง

ภาพที่ 11 แสดงผลการทดสอบการพับงอของยางปูพื้นรถยนต์ราคาแพง (a) ก่อนบ่มเร่ง (b) หลังบ่มเร่ง

บทที่ 5 สรุป

- เพอร์ไลต์มีออกไซด์ของโลหะทำให้ Scorch time สั้นลง แต่เพอร์ไลต์มีพื้นผิวเป็นไซลานอลทำให้เวลาในการคงรูปนานขึ้น ดังนั้นสารตัวเติมผสมจึงมีอิทธิพลจากซิลิกา และเพอร์ไลต์ที่ทำให้เวลาในการคงรูปช้าลง แต่เขม่าดำทำให้เวลาในการคงรูปเร็วขึ้น
- การใส่สารตัวเติมทำให้ค่าความแข็ง และความทนแรงดึงเพิ่มขึ้น โดยที่เพอร์ไลต์มีอิทธิพลการเสริมแรงน้อยกว่าเขม่าดำ เพราะเพอร์ไลต์มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่าเขม่าดำ ส่วนการใส่สารตัวเติมทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดลดลง แต่เพอร์ไลต์ยังคงทำให้ยางคงรูปคงสภาพความยืดหยุ่นแบบยางได้ดีกว่าเขม่าดำ
- สูตรที่ใส่สารตัวเติมผสมจะมีค่าความแข็ง ความทนแรงดึง และความทนทานต่อการฉีกขาด สูงกว่าที่ใส่เพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียว
- เมื่อยางคงรูปผ่านการบ่มเร่งที่ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าค่าความแข็ง และมอดุลัสที่ 100% เพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณเพอร์ไลต์สูงถึง 30phr ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่มอดุลัสที่ 100% ลดลง และยางคงรูปทุกสูตรมีค่าความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด และความทนทานต่อการฉีกขาดลดลง เมื่อผ่านการบ่มเร่ง
- การเติมสารตัวเติมทำให้ความทนทานต่อการสึกหรอลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติมเพอร์ไลต์
- เมื่อแปรชนิดยางเป็นยางแผ่นรมควันชั้นที่ 3 และยางสกิมบล็อค พบว่าสูตรยางคงรูป HP30 จาก ยางธรรมชาติ STR20 และ RSS3 ที่ผ่าน มอก.947-2533 นั่นคือสูตรที่มีการเติมสารตัวเติมผสมเพอร์ไลต์ 30phr เขม่าดำ 30phr
- จากการทดสอบประสิทธิภาพการลดกลิ่นด้วยการดมกลิ่นพบว่าการใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้กลิ่นเจือจางลง และจากการทดสอบโดยเทคนิค GC-MS พบว่าการใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้พื้นที่พีคสัมพัทธ์ขององค์ประกอบกลิ่นที่สำคัญอย่าง Bensothiazole ลดลง

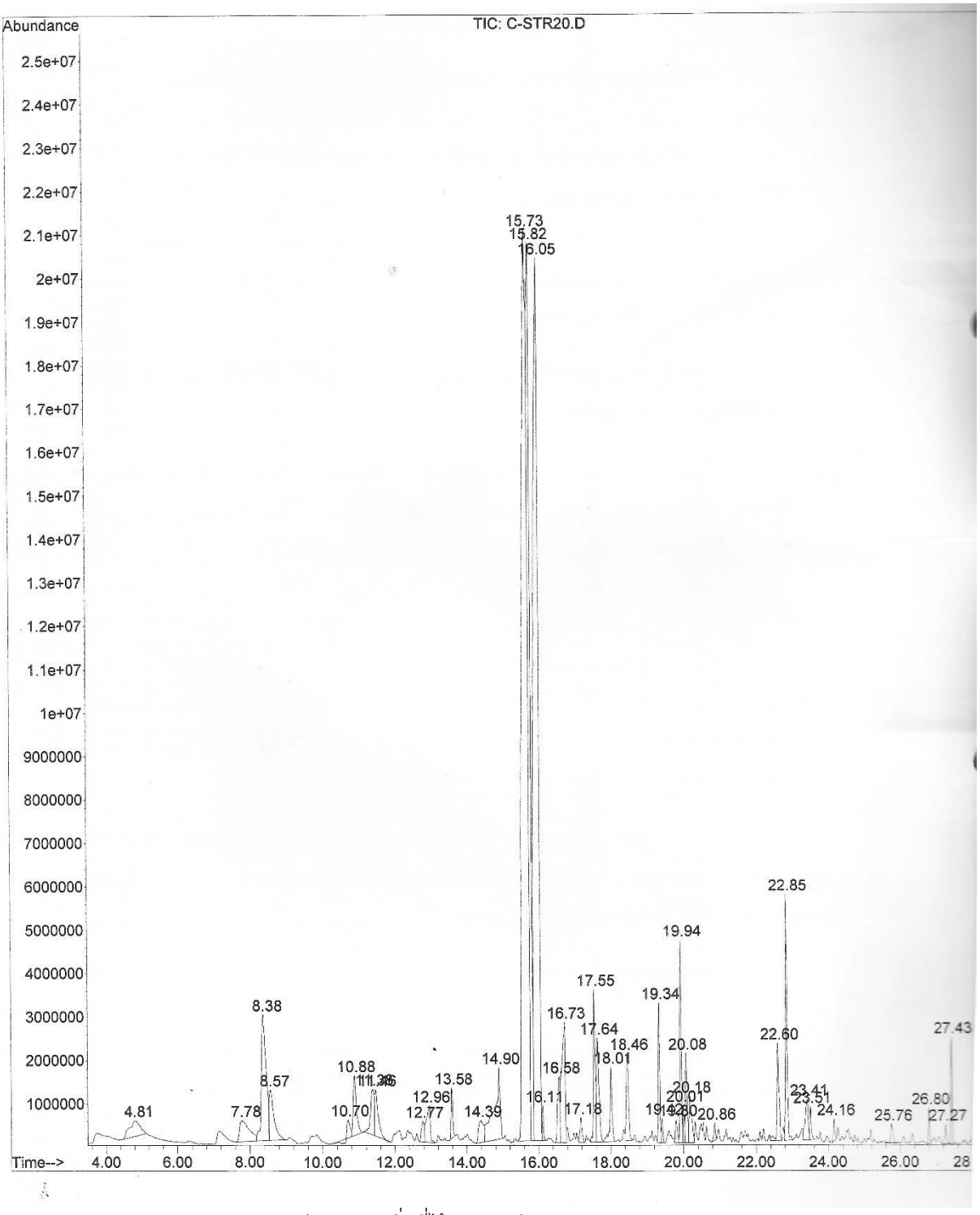
- เมื่อคำนวณราคาสูตรที่ผ่าน มอก. 947-2533 พบว่ายางสูตร STR20-HP30 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ 80.68 บาท ส่วนยางสูตร RSS3-HP30 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ 85.46 บาท และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการกับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาดพบว่ามีสูตร STR20-HP30 และ RSS3-HP30 ที่ผ่าน มอก. 947-2533

แหล่งอ้างอิง

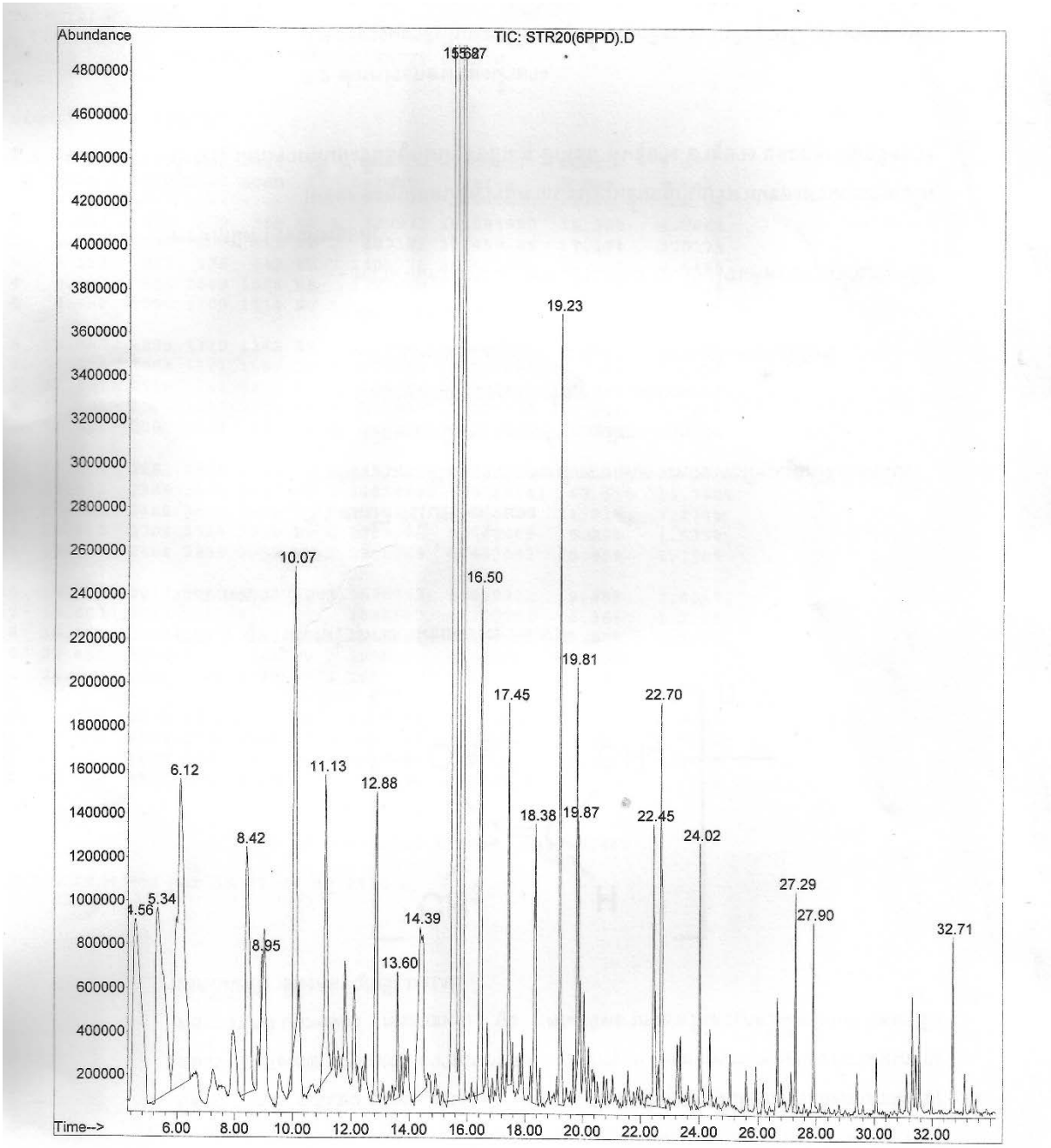
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ “เพอร์ไลต์(Perlite)” วิธีสืบค้นวัสดุสารสนเทศ [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.dpim.go.th/articles/ (วันที่ค้นข้อมูล: 9 ธันวาคม 2554)
- จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิชย์. 2553 สารที่ก่อให้เกิดกลิ่นในยางธรรมชาติ”วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง. ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 มกราคม-มีนาคม
- จริยาภรณ์ เสาร์ทอง ศุภกร อุทธารนิช สาโรจน์ เทพคุณ “การผลิตแผ่นยางดูดกลิ่น (Processing an odor Absorbing Rubber)”. ทุนวิจัยปริญญาตรี ปี 2552 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- ฐิตินันท์ รัตนพรหม พิไลวรรณ พรประสิทธิ์ นภัสถ์ จันทร์มี 2554 “การศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมชนิดดูดซับกลิ่นต่อสมบัติเชิงกลของยางคงรูป”คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.
- พงษ์ธร แซ่อุย. 2550“กระบวนการผลิตและการทดสอบ” พิมพ์ครั้งที่ 1.ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).
- พงษ์ธร แซ่อุย. 2550 “สารเคมียาง” พิมพ์ครั้งที่ 2. ปทุมธานี. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).
- พลชิต บัวแก้ว ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล จักรี เลื่อนราม 2549 รายงานวิจัยเรื่อง ”การจัดทำมาตรฐานระบบควบคุมคุณภาพทางวิทยาศาสตร์ยางแผ่นรมควันไทย” สถาบันวิจัยยาง
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางปูพื้นรถยนต์ มอก.947-2533 สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2550 “การประเมินคุณภาพอาหารโดยประสาทสัมผัส” ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.
- I. Surya, H. Ismail, A. R., Azura, 2013 “Alkanamide as an accelerator, filler-dispersant and a plasticizer in silica-filled natural rubber compounds” Polymer Testing, 32, 1313-1321
- J. L. Leblance,2002 “Rubber-filler interactions and rheological properties in filled compounds” Progress in Polymer Science, 27, 627-687
- M. Dogan, M., Alkan, Y. Onganer , 2000 “Some physicochemical properties of perlite as an adsorbent” Water, Air, and Soil Pollution, 120, 229-248
- N. Rattanasom, T. Saowapark and C. Deeprasertkul, 2007 “Reinforcement of natural rubber with silica/carbon black hybrid filler”, Polymer Testing, 26, 369-377
- N. Rattanasom and S. Prasertsri, 2009, “Relationship among mechanical properties, heat aging resistance, cut growth behavior and morphology in natural rubber: Partial replacement of clay with various types of carbon black at similar hardness level”, Polymer Testing, 28, 270-276

- N. Rattanasom and S. Prasertsri, 2012 “Mechanical properties, gas permeability and cut growth behavior of natural rubber vulcanizates: Influence of clay types and clay/carbon black ratios, Polymer Testing, 31, 645-653
- S. Attharangsan, H. Ismail, M. A. Baker, and J. Ismail, 2012 “The effect of rice husk powder on standard Malaysian natural rubber grade L (SMR L) and epoxidized naturl rubber (ENR 50) composites, Polymer-Plastics Technologgy and Engineering, 51, 231-237
- S. Manikandan, 2011 “Measures of central tendency: Median and mode”, J Pharmacol Pharmacother. Jul-Sep; 2(3): 214–215.
- S. Moonchai and D. Moonchai, 2013, “Modelling and optimization of rebound resilience and hardness of defatted rice bran/calcium carbonate-filled NR vulcanisates” Polymer Testing, 32, 1472-1478
- T. Rattanaplome, S. Kajitpeatjarat, S. Ariya and N. Chantaramee, 2013 “ Effect of Odor-adsorbing Fillers on Mechanical Properties of Natural Rubber Vulcanizates” The Journal of Interdisciplinary Networks. 2 (2), 215-222
- T.Rattanaplome, P. Pornprasit and N. Chantaramee, 2015, “The potential of perlite as an odor-adsorbing fillers in natural rubber vulcanizates”, 354, issue 1, 197-206
- V. P. Hoven, K. Rattanakarun, and Y. Tanaka, 2004 “Reduction of Offensive Odor from Natural Rubber by Odor-Reducing Substances” Journal of Applied Polymer Science, 92, 2253–2260

ภาคผนวก



ภาพ ก.1 แสดงองค์ประกอบกลิ่นที่ได้จากเทคนิค GCMS ของยางคงรูปสูตร Control



ภาพ ก.2 แสดงองค์ประกอบกลิ่นที่ได้จากเทคนิค GCMS ของยางคงรูปสูตร STR20-HP30

Signal : TIC

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	4.557	230	279	366	BB 5	829971	163584950	16.38%	4.786%
2	5.335	376	426	512	BV 2	883391	171459186	17.17%	5.017%
3	6.124	512	575	642	VB 7	1404778	263032820	26.34%	7.696%
4	8.422	966	1009	1064	BB	1121663	106667219	10.68%	3.121%
5	8.952	1094	1109	1114	PV 5	197386	5728903	0.57%	0.168%
6	10.069	1278	1320	1342	BV	2149147	140406559	14.06%	4.108%
7	11.133	1463	1521	1559	BV 3	1378218	89282660	8.94%	2.612%
8	12.881	1818	1851	1875	BV	1404688	78739747	7.88%	2.304%
9	13.601	1963	1987	2001	VV 2	581647	19321880	1.93%	0.565%
10	14.385	2087	2135	2178	BV 6	764106	95814077	9.59%	2.803%
11	15.619	2293	2368	2389	BV 2	14978562	998642257	100.00%	29.218%
12	15.873	2389	2416	2447	VB 2	14854998	675359041	67.63%	19.760%
13	16.503	2485	2535	2548	BV 2	2389357	111915720	11.21%	3.274%
14	17.451	2703	2714	2733	PV 6	1753995	52548069	5.26%	1.537%
15	18.377	2864	2889	2909	VV 2	1295745	58441082	5.85%	1.710%
16	19.230	3037	3050	3074	VB 2	3576832	98649971	9.88%	2.886%
17	19.807	3145	3159	3165	PV	1848642	43500701	4.36%	1.273%
18	19.865	3165	3170	3177	VV	1019198	18948056	1.90%	0.554%
19	22.450	3596	3658	3680	BV 2	1296028	51872081	5.19%	1.518%
20	22.698	3694	3705	3738	VB 3	1850462	72361087	7.25%	2.117%
21	24.022	3930	3955	3988	BB	1209541	33006892	3.31%	0.966%
22	27.284	4552	4571	4582	PV 2	1008247	24675847	2.47%	0.722%
23	27.898	4646	4687	4717	BB	846449	22853924	2.29%	0.669%
24	32.712	5568	5596	5628	BB	790194	21049734	2.11%	0.616%

Sum of corrected areas: 3417862460

ภาพ ก.3 แสดงผลพื้นที่ใต้พีค (Correlation area, corr. Area)

จากเทคนิค GCMS ของยางคงรูปสูตร STR20-HP30 ครั้งที่ 1

จากภาพ ก.3 นำข้อมูลมาเขียนตาราง ข.1 แสดงพื้นที่สัมพัทธ์องค์ประกอบกลิ่นที่สำคัญดังนี้ เมื่อ Relative peak area = (Corr.area/Corr.area of Methyl valerate)x100 เช่น กรณี Benzothiazole หาจาก 998642257/163584950*100= 610.47

ตาราง ข.1 แสดงพื้นที่สัมพัทธ์องค์ประกอบกลิ่นที่สำคัญของยางคงรูปสูตร STR20-HP30 ครั้งที่ 1

Retention time	Odour Composition	Corr. Area	Relative peak area (%)
4.53	Methyl valerate	163584950	100.00
13.60	Cyclopentasiloxane, decamethyl	19321880	11.81
15.58	Benzothiazole	998642257	610.47
15.83	Cyclohexane, isothiocyanato	675359041	412.85

Signal : TIC

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	4.509	219	270	362	BB 7	1008222	195879077	18.14%	4.929%
2	5.293	386	418	451	BV 3	567382	69079715	6.40%	1.738%
3	5.949	509	542	550	VV 5	1424486	100868297	9.34%	2.538%
4	6.092	550	569	644	VB 7	1864889	276648028	25.62%	6.961%
5	8.406	974	1006	1064	BV 2	1361287	145717365	13.49%	3.667%
6	8.936	1093	1106	1111	VV 6	690199	30366917	2.81%	0.764%
7	9.021	1111	1122	1172	VB	1132999	85355310	7.90%	2.148%
8	10.069	1258	1320	1389	BB 4	3326939	307194136	28.44%	7.730%
9	11.123	1468	1519	1538	BV 3	1164871	48840854	4.52%	1.229%
10	11.811	1621	1649	1691	BB	627624	36935969	3.42%	0.929%
11	12.892	1813	1853	1876	BV 2	1501562	89294178	8.27%	2.247%
12	13.601	1962	1987	2001	VV 3	980238	32000643	2.96%	0.805%
13	14.390	2082	2136	2148	BV 4	760468	63630705	5.89%	1.601%
14	14.507	2148	2158	2177	VV 6	726283	31026001	2.87%	0.781%
15	15.624	2270	2369	2390	PV 3	15410996	1079983167	100.00%	27.175%
16	15.883	2390	2418	2439	VB	17058812	794809588	73.59%	20.000%
17	16.503	2497	2535	2547	BV 3	2276121	115090754	10.66%	2.896%
18	17.451	2703	2714	2733	VV 4	2088297	62918199	5.83%	1.583%
19	18.378	2863	2889	2904	VV 2	1415730	60943106	5.64%	1.534%
20	19.230	3037	3050	3074	VV 2	3526898	97893374	9.06%	2.463%
21	19.807	3146	3159	3165	PV	1677588	41740827	3.86%	1.050%
22	19.866	3165	3170	3191	VV 2	1486345	43710550	4.05%	1.100%
23	22.450	3628	3658	3680	BV 3	965289	31513612	2.92%	0.793%
24	22.693	3680	3704	3738	PB 2	1278152	55946482	5.18%	1.408%
25	24.022	3893	3955	3967	BV	1452538	29151311	2.70%	0.734%
26	27.898	4654	4687	4717	BB	1139615	30166188	2.79%	0.759%
27	31.309	5308	5331	5346	BV 2	692398	17405026	1.61%	0.438%

Sum of corrected areas: 3974109379

ภาพ ก.4 แสดงผลพื้นที่ใต้พีค (Correlation area, corr. Area)

จากเทคนิค GCMS ของยางคงรูปสูตร STR20-HP30 ครั้งที่ 2

จากภาพ ก.4 นำข้อมูลมาเขียนตาราง ข.2 ดังนี้

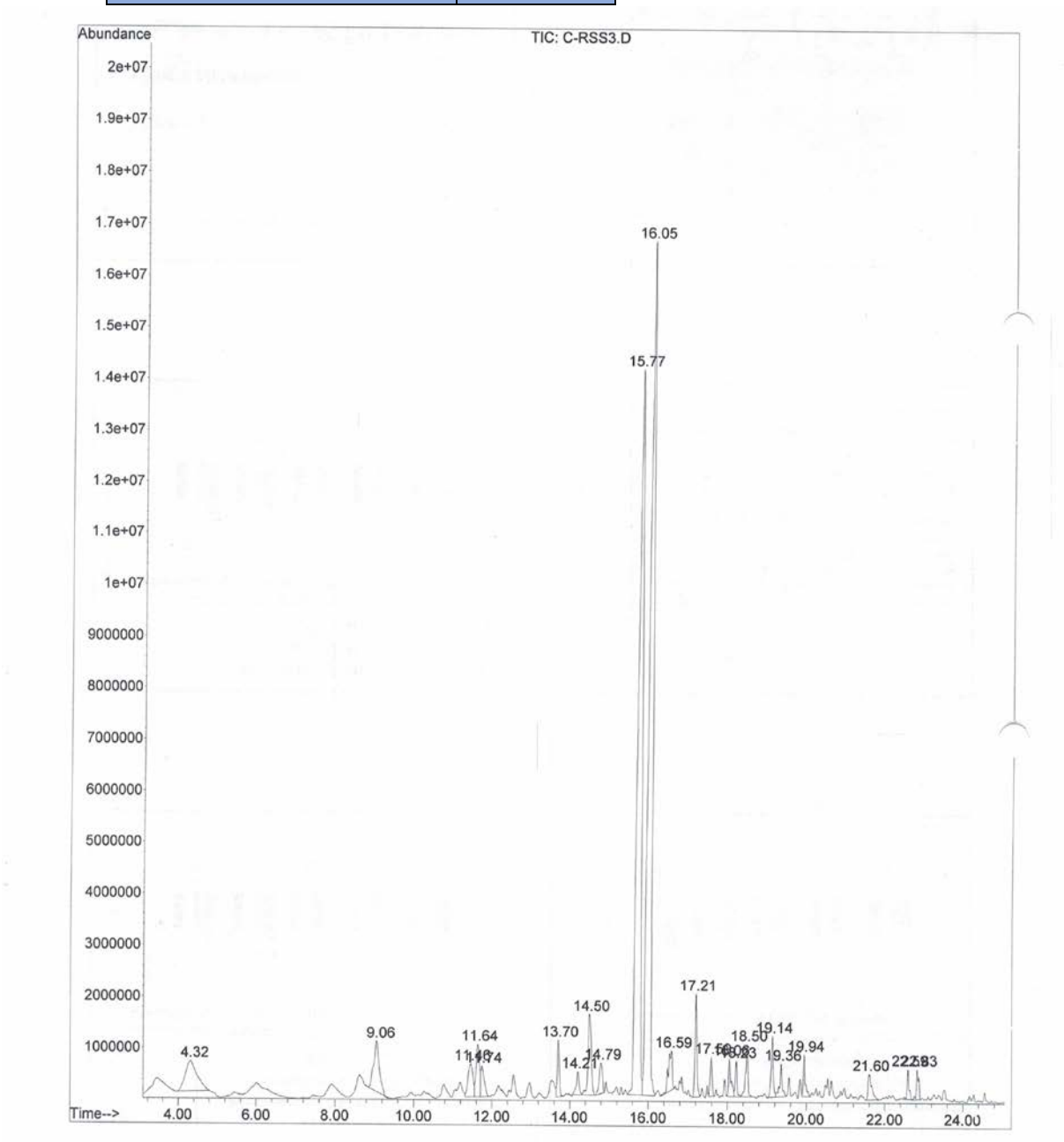
ตาราง ข.2 แสดงพื้นที่สัมพัทธ์องค์ประกอบกลิ่นที่สำคัญของยางคงรูปสูตร STR20-HP30 ครั้งที่ 2

Retention time	Odour Composition	Corr. Area	Relative peak area (%)
4.51	Methyl valerate	195879677	100.00
13.60	Cyclopentasiloxane, decamethyl	32000643	16.34
15.62	Benzothiazole	1079983167	55.13
15.88	Cyclohexane, isothiocyanato	794809588	405.76

นำเอาผลตาราง ข.1 และ ข.2 มาหาค่าเฉลี่ย ได้พื้นที่ใต้พีคสัมพัทธ์เฉลี่ย แสดงในตารางข.3

ตาราง ข.3 แสดงพื้นที่สัมพัทธ์เฉลี่ยขององค์ประกอบกลิ่นที่สำคัญของยางคงรูปสูตร STR20-HP30 ทั้งสองครั้ง

Odour Composition	Average relative peak area (%)
Methyl valerate	100.00
Cyclopentasiloxane, decamethyl	14.67±3.2
Benzothiazole	332.8±392.67
Cyclohexane, isothiocyanato	409.31±5.0



ภาพ ก.5 แสดงองค์ประกอบกลิ่นที่ได้จากเทคนิค GCMS ของยางคงรูปสูตร RSS3-Control

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	4.511	62	349	556	BV 3	1862077	774039962	100.00%	18.901%
2	6.438	556	657	736	VV 4	1658670	424771957	54.88%	10.372%
3	7.933	832	896	1020	PV	1659472	422266742	54.55%	10.311%
4	9.172	1020	1094	1270	VV 6	1123204	308277487	39.83%	7.528%
5	11.517	1380	1469	1560	BV 6	40785	6605888	0.85%	0.161%
6	12.800	1617	1674	1710	VV 9	42482	7084549	0.92%	0.173%
7	13.907	1774	1851	1925	VV 3	483221	60708895	7.84%	1.482%
8	14.864	1925	2004	2094	VV 6	727765	77679129	10.04%	1.897%
9	15.652	2094	2130	2187	VV 3	980368	66113115	8.54%	1.614%
10	16.309	2187	2235	2270	PV 3	42962	5484544	0.71%	0.134%
11	17.303	2342	2394	2415	VV 10	31784	3525727	0.46%	0.086%
12	17.748	2415	2465	2544	VV 10	120793	14191318	1.83%	0.347%
13	19.393	2681	2728	2754	PV 10	28749	2808159	0.36%	0.069%
14	19.787	2754	2791	2824	VV 5	245896	18089519	2.34%	0.442%
15	20.100	2824	2841	2891	VB 5	34874	2828982	0.37%	0.069%
16	20.863	2924	2963	3011	BV 5	50080	4869260	0.63%	0.119%
17	21.351	3011	3041	3075	VV 5	38896	3613963	0.47%	0.088%
18	22.527	3151	3229	3351	PV 4	100033	17240814	2.23%	0.421%
19	24.503	3485	3545	3635	VV 3	212005	30858800	3.99%	0.754%
20	26.142	3785	3807	3858	VV 4	556454	31535468	4.07%	0.770%
21	26.874	3898	3924	3986	PV 2	114598	9399509	1.21%	0.230%
22	28.238	4075	4142	4185	BV 5	60764	5918216	0.76%	0.145%
23	28.638	4185	4206	4282	VB 7	69353	5863540	0.76%	0.143%
24	29.870	4305	4403	4452	BV 2	2906225	381743651	49.32%	9.322%
25	30.596	4452	4519	4598	VV 2	4117345	576121519	74.43%	14.068%
26	32.635	4739	4845	4986	PV 7	410970	88371023	11.42%	2.158%
27	35.331	5215	5276	5315	VV 6	244238	24559687	3.17%	0.600%
28	35.750	5315	5343	5376	VV 8	65117	7002780	0.90%	0.171%
29	36.301	5376	5431	5513	VV 3	87785	8740820	1.13%	0.213%
30	37.965	5673	5697	5770	PB 8	51240	5648238	0.73%	0.138%
31	38.828	5790	5835	5861	BV 2	375251	19580785	2.53%	0.478%
32	39.904	5963	6007	6046	VV 2	2296433	147551745	19.06%	3.603%
33	40.354	6046	6079	6140	VV	106146	9420243	1.22%	0.230%
34	40.848	6140	6158	6190	VV 9	257192	15144849	1.96%	0.370%
35	41.424	6190	6250	6300	VV	869930	44349602	5.73%	1.083%
36	41.893	6300	6325	6364	VV 8	174503	16484220	2.13%	0.403%
37	42.419	6364	6409	6437	VV 2	233531	16598987	2.14%	0.405%
38	42.706	6437	6455	6517	VV 2	77808	10104437	1.31%	0.247%
39	43.307	6517	6551	6686	VV 2	89300	21735075	2.81%	0.531%
40	44.308	6686	6711	6751	VV 2	62040	7026653	0.91%	0.172%
41	44.627	6751	6762	6776	VV 5	74237	3824669	0.49%	0.093%
42	44.808	6776	6791	6837	VV 7	105640	8612036	1.11%	0.210%
43	45.165	6837	6848	6914	VV 5	55988	10206417	1.32%	0.249%

ภาพ ก.6 แสดงผลพื้นที่ใต้พีค (Correlation area, corr. Area)

จากเทคนิค GCMS ของยางคงรูปสูตร RSS3-HP30 ครั้งที่ 1

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	3.010	16	109	152	BV 5	117118	22977257	1.60%	0.399%
2	3.698	152	219	374	VV 4	803309	318305454	22.17%	5.522%
3	4.943	374	418	487	PV	113733	27332423	1.90%	0.474%
4	6.300	487	635	727	VV 5	2031744	671829423	46.78%	11.655%
5	7.652	779	851	983	VV	4598256	1436037684	100.00%	24.913%
6	9.109	983	1084	1243	VV 3	1460166	446451727	31.09%	7.745%
7	11.430	1377	1455	1508	BV 3	46992	8253695	0.57%	0.143%
8	12.718	1608	1661	1699	VV 3	35016	6161496	0.43%	0.107%
9	13.857	1773	1843	1940	VV 2	725732	116585880	8.12%	2.023%
10	14.839	1940	2000	2087	VV 8	421479	57090356	3.98%	0.990%
11	15.621	2087	2125	2177	VV 2	115008	10410055	0.72%	0.181%
12	16.296	2177	2233	2266	PV 2	45088	6248891	0.44%	0.108%
13	17.716	2348	2460	2531	VV 10	107285	16876164	1.18%	0.293%
14	19.393	2684	2728	2754	BV 9	27736	3492002	0.24%	0.061%
15	19.781	2754	2790	2819	VV 6	275586	24235745	1.69%	0.420%
16	20.093	2819	2840	2910	VV 6	47657	6511805	0.45%	0.113%
17	20.856	2910	2962	3008	VV 6	55370	8120642	0.57%	0.141%
18	21.351	3008	3041	3065	VV 5	61532	6393382	0.45%	0.111%
19	21.645	3065	3088	3146	VV 6	31256	3768084	0.26%	0.065%
20	22.589	3146	3239	3271	VV 3	126396	20022185	1.39%	0.347%
21	22.896	3271	3288	3313	VV 3	34668	3669300	0.26%	0.064%
22	24.309	3472	3514	3524	VV 5	103324	12225869	0.85%	0.212%
23	24.616	3524	3563	3612	VV 3	258160	33306500	2.32%	0.578%
24	26.136	3782	3806	3818	VV 3	108967	6616423	0.46%	0.115%
25	26.305	3818	3833	3861	VV 3	94944	8058022	0.56%	0.140%
26	26.599	3861	3880	3905	VV 8	34393	2871814	0.20%	0.050%
27	26.880	3905	3925	3944	VV	186865	14044982	0.98%	0.244%
28	27.087	3944	3958	4002	VV	67942	7106917	0.49%	0.123%
29	28.282	4088	4149	4183	VV	72750	13254147	0.92%	0.230%
30	28.638	4183	4206	4292	VV 5	127143	12437684	0.87%	0.216%
31	29.964	4345	4418	4434	PV 2	4183388	622470186	43.35%	10.799%
32	30.108	4434	4441	4461	VV 2	710905	38455688	2.68%	0.667%
33	30.702	4461	4536	4602	VV	5588068	873015070	60.79%	15.146%
34	32.748	4759	4863	4896	BV 5	497106	110432531	7.69%	1.916%
35	33.036	4896	4909	4982	VV 7	45678	5960477	0.42%	0.103%
36	34.255	5068	5104	5123	PV 7	44748	3047154	0.21%	0.053%
37	34.512	5123	5145	5179	VV 7	40083	5459300	0.38%	0.095%
38	34.843	5179	5198	5218	VV 7	38586	3699039	0.26%	0.064%
39	35.062	5218	5233	5249	VV 8	47444	3327077	0.23%	0.058%
40	35.338	5249	5277	5320	VV 5	289041	30916725	2.15%	0.536%
41	35.763	5320	5345	5380	VV 6	92896	8812526	0.61%	0.153%
42	36.313	5409	5433	5476	VV 2	134678	9582968	0.67%	0.166%
43	37.977	5672	5699	5777	PV 7	94321	10215131	0.71%	0.177%

ภาพ ก.7 แสดงผลพื้นที่ใต้พีค (Correlation area, corr. Area)

จากเทคนิค GCMS ของยางคงรูปสูตร RSS3-HP30 ครั้งที่ 2

จากภาพ ก.5-ก.7 นำมาเขียนตารางหาพื้นที่พีคสัมพัทธ์เฉลี่ย ดังแสดงในตารางข.4

ตาราง ข.4 ตารางแสดงพื้นที่พีคสัมพัทธ์ของ RSS3-Control และ RSS3-HP30

Retention time	Odour Composition	Corr. Area	Relative peak area (%)	Retention time	Odour Composition	Corr. Area	Relative peak area (%)
	Control-RSS3		ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2
4.33	Methyl valerate	122913555	100.00	4.47	Methyl valerate	61499343	100.00
15.77	Benzothiazole	1026067579	834.78	15.77	Benzothiazole	1078432241	17.53
		MEAN					426.15±577.88
6.44	Methyl valerate	424771957	100.00	6.30	Methyl valerate	671829423	100.00
16.31	Benzothiazole	54845444	12.91	16.30	Benzothiazole	6248891	0.93
		MEAN					8.62±0.18

การคำนวณราคาของยางปูพื้นทางการค้าและยางคงรูปทุกสูตร

1. ยางปูพื้นรถยนต์ราคาถูก หนัก 0.52kg ราคา 154 บาท คิดเป็นกิโลกรัมละ 296.15 บาท
2. ยางปูพื้นรถยนต์ราคาแพง หนัก 1.260kg. ราคา 1,310.75 บาท คิดเป็นกิโลกรัมละ 1,040.28 บาท
3. การคำนวนราคาของยางคงรูปที่ผสมในงานวิจัยนี้แสดงในตาราง ข.5-ข.15

3.1. ยางสูตร STR20-Control ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ = ราคาสารเคมี+A+B = 54.0+10+10 = 74.0 บาท

3.2. ยางสูตร STR20-HP0 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ = ราคาสารเคมี+A+B+C = 51.0 +10+10+1 =72.0 บาท

3.3. ยางสูตร STR20-HP15 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ = ราคาสารเคมี+A+B+D= 48.4 +10+10+3 = 71.4 บาท

3.4. ยางสูตร STR20-HP25 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ = ราคาสารเคมี+A+B+D= 46.7+10+10+3= 69.7 บาท

3.5. ยางสูตร STR20-HP30 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ = ราคาสารเคมี+A+B+D= 45.9 +10+10+3 = 68.9 บาท

3.6. ยางสูตร STR20-HP35 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ = ราคาสารเคมี+A+B+D= 45.0+10+10+3= 68.0 บาท

3.7. ยางสูตร STR20- HP45 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ = ราคาสารเคมี+A+B+D= 43.3+10+10+3 =66.3 บาท

3.8. ยางสูตร STR20- HP60 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ = ราคาสารเคมี+A+B+D= 40.7+10+10+3 =63.7 บาท

3.9. ยางสูตร RSS3-Control ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ = ราคาสารเคมี+A+B = 61.2+10+10+3 = 84.2 บาท

3.10. ยางสูตร RSS3-HP30 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ = ราคาสารเคมี+A+B+D =50.6+10+10+3 = 73.6 บาท

เมื่อสมมติให้

A = ค่าแรงคิดเป็น 10 บาท/kg.

B= ค่าบริหารจัดการ ได้แก่ ค่าสาธารณูปโภค ค่าเครื่องจักร คิดเป็น 10 บาท/kg.

C= ค่าบริหารจัดการในการผสมเขม่าดำ ได้แก่ กระบวนการผสม คิดเป็น 1 บาท/kg. (การเติมสาร ตัวเติมทำให้การผสมยุ่งยากกว่าการไม่ใส่สารตัวเติม กรณีเขม่าดำการผสมเป็นไปได้ง่ายจึงคิดเพิ่มอีก 1 บาท/kg.)

D= ค่าบริหารจัดการในการผสมเพอร์ไลต์และเขม่าดำ ได้แก่ กระบวนการผสม คิดเป็น 3 บาท/kg. (กรณีเพิ่มเพอร์ไลต์การผสมซับซ้อนขึ้นจึงคิดเพิ่มจากอีก 3 บาท/kg.)

ตาราง ข. 5 แสดงราคายางและสารเคมีที่ใช้

Rubber and Chemical	Price (Baht/kg.)		Chemical	Price (Baht/kg.)
STR 20	53.3		CPL	180.0
RSS3	61.7		6PPD	90.0
Skim block	50.0		TMTD	145.0
S	35.0		Commercial silica	25.0
Stearic acid	35.0		Carbon black N330	45.0
ZnO	80.0		Perlite	15.0
CBS	145.0			

หมายเหตุ ราคาสารเคมีเป็นราตาเมื่อซื้อปริมาณมากถึง 500kg

ตาราง ข. 6 แสดงการคำนวณค่าสารเคมีสูตร STR20-Control

Ingredients	Control (kg.)	Chemical cost (Baht)	Chemical cost (Baht/Kg.)
NR*STR20*	100	5330	
S	2.5	87.5	
stearic acid	2	70	
ZnO	4	320	
CBS	1	145	
TMTD	0.8	116	
6PPD	1	90	
Commercial Si	5	125	
Carbon black N330		0	
Perlite		0	
Total	116.3	6283.5	54.0

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ ใช้ยาง STR20 100 kg. ราคายาง 53.3 บาท/kg. คิดเป็นเงิน 5330 บาท

สูตร Control ใช้ยางและสารเคมี 116.3 kg. เป็นเงิน 6283.5 บาท คิดเป็นเงิน 7151.35/116.3 คิดเป็น 54.02 บาท/kg.

ตาราง ข. 7 แสดงการคำนวณค่าสารเคมีสูตร STR20-HP0

Ingredients	HP0 (kg.)	Chemical cost (Baht)	Chemical cost (Baht/Kg.)
NR*STR20*	100	5330	
S	2.5	87.5	
stearic acid	2	70	
ZnO	4	320	
CBS	1	145	
TMTD	0.8	116	
6PPD	1	90	
Commercial Si	5	125	
Carbon black N330	60	2700	
Perlite	0	0	
Total	176.3	8983.5	51.0

ตาราง ข. 8 แสดงการคำนวณค่าสารเคมีสูตร STR20-HP15

Ingredients	HP0 (kg.)	Chemical cost (Baht)	Chemical cost (Baht/Kg.)
NR*STR20*	100	5330	
S	2.5	87.5	
stearic acid	2	70	
ZnO	4	320	
CBS	1	145	
TMTD	0.8	116	
6PPD	1	90	
Commercial Si	5	125	
Carbon black N330	45	2025	
Perlite	15	225	
Total	176.3	8533.5	48.4

ตาราง ข. 9 แสดงการคำนวณค่าสารเคมีสูตร STR20-HP25

Ingredients	HP0 (kg.)	Chemical cost (Baht)	Chemical cost (Baht/Kg.)
NR*STR20*	100	5330	
S	2.5	87.5	
stearic acid	2	70	
ZnO	4	320	
CBS	1	145	
TMTD	0.8	116	
6PPD	1	90	
Commercial Si	5	125	
Carbon black N330	35	1575	
Perlite	25	375	
Total	176.3	8233.5	46.7

ตาราง ข. 10 แสดงการคำนวณค่าสารเคมีสูตร STR20-HP30

Ingredients	HP0 (kg.)	Chemical cost (Baht)	Chemical cost (Baht/Kg.)
NR*STR20*	100	5330	
S	2.5	87.5	
stearic acid	2	70	
ZnO	4	320	
CBS	1	145	
TMTD	0.8	116	
6PPD	1	90	
Commercial Si	5	125	
Carbon black N330	30	1350	
Perlite	30	450	
Total	176.3	8083.5	45.9

ตาราง ข. 11 แสดงการคำนวณค่าสารเคมีสูตร STR20-HP35

Ingredients	HP0 (kg.)	Chemical cost (Baht)	Chemical cost (Baht/Kg.)
NR*STR20*	100	5330	
S	2.5	87.5	
stearic acid	2	70	
ZnO	4	320	
CBS	1	145	
TMTD	0.8	116	
6PPD	1	90	
Commercial Si	5	125	
Carbon black N330	25	1125	
Perlite	35	525	
Total	176.3	7933.5	45.0

ตาราง ข. 12 แสดงการคำนวณค่าสารเคมีสูตร STR20-HP45

Ingredients	HP0 (kg.)	Chemical cost (Baht)	Chemical cost (Baht/Kg.)
NR*STR20*	100	5330	
S	2.5	87.5	
stearic acid	2	70	
ZnO	4	320	
CBS	1	145	
TMTD	0.8	116	
6PPD	1	90	
Commercial Si	5	125	
Carbon black N330	15	675	
Perlite	45	675	
Total	176.3	7633.5	43.3

ตาราง ข. 13 แสดงการคำนวณค่าสารเคมีสูตร STR20-HP60

Ingredients	HP0 (kg.)	Chemical cost (Baht)	Chemical cost (Baht/Kg.)
NR*STR20*	100	5330	
S	2.5	87.5	
stearic acid	2	70	
ZnO	4	320	
CBS	1	145	
TMTD	0.8	116	
6PPD	1	90	
Commercial Si	5	125	
Carbon black N330	0	0	
Perlite	60	900	
Total	176.3	7183.5	40.7

ตาราง ข. 14 แสดงการคำนวณค่าสารเคมีสูตร RSS3-HP30

Ingredients	HP0 (kg.)	Chemical cost (Baht)	Chemical cost (Baht/Kg.)
NR*RSS3*	100	6170	
S	2.5	87.5	
stearic acid	2	70	
ZnO	4	320	
CBS	1	145	
TMTD	0.8	116	
6PPD	1	90	
Commercial Si	5	125	
Carbon black N330	0	1350	
Perlite	0	450	
Total	116.3	8923.5	50.6

ตาราง ข. 15 แสดงการคำนวณค่าสารเคมีสูตร RSS3-control

Ingredients	HP0 (kg.)	Chemical cost (Baht)	Chemical cost (Baht/Kg.)
NR* RSS3*	100	6170	
S	2.5	87.5	
stearic acid	2	70	
ZnO	4	320	
CBS	1	145	
TMTD	0.8	116	
6PPD	1	90	
Commercial Si	5	125	
Carbon black N330	30	0	
Perlite	30	0	
Total	176.3	7123.5	61.2

ตาราง ข.16 ผลของการแปรอัตราส่วนสารตัวเติมต่อสมบัติเชิงกลและความรุนแรงของกลิ่นในยางคงรูปบางสูตร

Vulcanized rubber	STR20-HP25	STR20-HP30	STR20-HP35
Before aging: Tensile strength (MPa)	13.1±0.7	8.1±0.1	7.9±0.7
%Elongation at break	228±10	205±20	250±16
Tear strength, T (kN/m)	23.5±2.1	15.4±2.4	15.8±1.7
Tension set	ไม่เกิน 15%	ไม่เกิน 15%	ไม่เกิน 15%
Odour scale	2	2	2

ตารางข. 17 เปรียบเทียบ output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการและที่ได้จริง

เดือนที่	กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Output)	ผลสำเร็จ	รายละเอียด
1-4	1.ศึกษาผลของอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อสมบัติเชิงกลบางประการ	ทราบถึงผลของการใช้สารตัวเติมผสมต่อสมบัติเชิงกลบางประการ	100%	ได้สูตรที่ผ่าน มอก.947-2533
5-8	2.การทดสอบตามมาตรฐาน มอก.947-2533	*ได้ข้อมูลอัตราส่วนระหว่างสารตัวเติมเพอร์ไลต์และเขม่าดำ ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางปูพื้นรถยนต์ผ่าน มอก.947-2533	100%	
	3.การเตรียมยางคงรูปและทดสอบสมบัติเชิงกลของยางผสมสารตัวเติมผสมเพอร์ไลต์และเขม่าดำ โดยแปรชนิดของยาง (STR 20, RSS 3, Skim block rubber)	ทราบถึงชนิดของยางที่ทำให้ได้สูตรทำผลิตภัณฑ์ยางปูพื้นรถยนต์ผ่านมอก. 947-2533	100%	ทดสอบสมบัติบางประการเช่นความแข็ง ความทนแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาดพบว่าชนิดยางที่ผ่านมอก. คือ STR20
9-10	4.ศึกษาประสิทธิภาพการลดกลิ่นของยางที่ผ่าน มอก 947-2533 โดยการทดสอบการลดกลิ่นและ GCMS	ทราบถึงประประสิทธิภาพการลดกลิ่น	100%	การดมกลิ่นพบว่าการใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้กลิ่นเจือจางลง และจากการทดสอบโดยเทคนิค GC-MS พบว่าการใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้พื้นที่พีคสัมพัทธ์ขององค์ประกอบกลิ่นที่สำคัญอย่าง Bensothiazole ลดลง
11-12	5. เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการและราคากับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาด	ทราบถึงราคาและสมบัติเชิงกลเมื่อเทียบกับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาด	100%	สูตร STR20-HP30 ราคากิโลกรัมละ 58.22 บาท และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการกับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาดพบว่ามีเพียง STR20-HP30 ที่ผ่าน มอก. 947-2533

13-15	6.ทำการทดลองซ้ำและรายงานผลการทดลอง		100%	

ตาราง ข.18 แผนการดำเนินงาน ให้ระบุแผนและกิจกรรมในรูป Gantt Chart เป็นรายเดือน (ขยายเวลาอีกสามเดือนถึงเพื่อน พ.ย.)

กิจกรรม	เดือนที่														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.ผลิตยางคงรูปโดยใช้ยางแท่ง STR 20 แปรอัตราส่วนเพอร์ไลต์และเขม่าดำ															
2.ทดสอบสมบัติเชิงกลบางประการ															
3.ตรวจสอบการกระจายตัวของสารตัวเติมด้วยเทคนิค SEM															
4.เลือกสูตรยางที่ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางปูพื้นรถยนต์ (มอก 947-2533)															
จัดทำรายงานความก้าวหน้า 6 เดือน						x									
5.ทดสอบสมบัติเชิงกลโดยแปรชนิดของยาง *STR 20, RSS3, Skim rubber block* กับสูตรที่ผ่านมอก 947-2533															
6.ทดสอบการลดกลิ่น (วิธีดมกลิ่น และด้วยเทคนิค Gas Chromatography) กับสูตรที่ผ่านมอก 947-2533															
7.เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการและราคากับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาด															
ทำการทดลองซ้ำและจัดทำร่างรายงาน/รายงานฉบับสมบูรณ์/ปิดโครงการ													x	x	x

บทคัดย่อ

การปรับปรุงสมบัติเชิงกลในยางคงรูปลดกลิ่นใช้สารตัวเติมผสม

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ปรับปรุงสมบัติเชิงกลยางคงรูปที่มีกลิ่นเจือจาง โดยใช้สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำ งานวิจัยนี้มีการแปรอัตราส่วนเพอร์ไลต์ และเขม่าดำโดยที่ปริมาณสารตัวเติมผสมทั้งหมดมี 60phr สมบัติเชิงกลที่ศึกษาได้แก่ความแข็ง ความทนแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด ความทนทานต่อการสึกหรอ ความทนทานต่อการบ่มเร่งที่อุณหภูมิสูง งานวิจัยนี้มุ่งเป้าผลิตยางปูพื้นรถยนต์กลิ่นเจือจางจึงต้องทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน มอก. 947-2533 การดมกลิ่นโดยใช้การดมกลิ่น และทดสอบองค์ประกอบกลิ่นโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโท กราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี

จากผลการทดลองพบว่าการใส่สารตัวเติมทำให้ค่าความแข็ง และความทนแรงดึงเพิ่มขึ้น โดยที่เพอร์ไลต์มีอิทธิพลการเสริมแรงน้อยกว่าเขม่าดำ เพราะเพอร์ไลต์มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่าเขม่าดำ ส่วนการใส่สารตัวเติมทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าสูตรที่ใส่สารตัวเติมผสมจะมีค่าความแข็ง ความทนแรงดึง และความทนทานต่อการฉีกขาด สูงกว่าที่ใส่เพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียว เมื่อยางคงรูปผ่านการบ่มเร่ง ยางคงรูปที่มีปริมาณเพอรไลต์สูงถึง 30phr ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่มอดุลัสที่ 100% ลดลง และยางคงรูปทุกสูตรมีค่าความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด และความทนทานต่อการฉีกขาดลดลง การเติมสารตัวเติมทำให้ความทนทานต่อการสึกหรอลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติมเพอร์ไลต์ ยางคงรูปที่ผ่าน มอก.947-2533 คือยางคงรูปที่ใช้ยางธรรมชาติ STR20 และยางแผ่นรมควัน RSS3 ที่มีการเติมสารตัวเติมผสมเพอร์ไลต์ 30phr เขม่าดำ 30phr ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพการลดกลิ่นด้วยการดมกลิ่นพบว่าการใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้กลิ่นเจือจางลง และจากการทดสอบโดยเทคนิค GC-MS พบว่าการใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้พื้นที่พีคสัมพัทธ์ขององค์ประกอบกลิ่นที่สำคัญอย่าง Benzothiazole ลดลง

คำสืบค้น: ยางธรรมชาติ เพอร์ไลต์ เขม่าดำ สมบัติเชิงกล การลดกลิ่น.

ABSTRACT

The improvement of mechanical properties of odor-reduction vulcanizates with hybrid filler

This research is aimed to improve the mechanical properties of odor-reduction vulcanizates by using hybrid filler, namely perlite and carbon black. The ratio between perlite and carbon black was varied. The total hybrid filler content was 60phr. The mechanical properties, such as hardness, tensile strength, tear strength, abrasion resistance, and heat aging resistance were determined. The odor-reduction vulcanizates was proposed to produce the rubber floor mat for car. Thus, mechanical properties according to TIS 947-2533 and the odor-reduction efficiency by using sensory method and gas chromatography/mass spectroscopy were performed.

From the experiment, it was found that the addition of filler caused an increase in hardness and tensile strength, but a decrease in percent elongation at break. Perlite with low specific area showed less reinforcement effect than carbon black. Furthermore, it was found that rubber vulcanizates filled with hybrid filler gave higher hardness, tensile strength and tear strength than rubber vulcanizates filled with only perlite. From the heat aging resistance testing, if was found that vulcanizates with hybrid filler containing 30phr of perlite

showed an increase hardness, but a decrease in 100% modulus. Moreover, all vulcanizates gave a decrease in tensile strength, percent elongation at break, percent elongation at break after ageing. The addition of filler caused a decreased in abrasion resistance, especially hybrid filler. Only vulcanizates with hybrid filler containing 30phr of perlite and 30 phr of carbon black met the TIS 947-2533 standard. From the reduction efficiency results using sensory method, it was found that vulcanizates with hybrid filler yielded the reduction in offensive odor. Also, the reduction of an average relative peak area of benzothiazole (a major odor component) investigated by using gas chromatography/mass spectroscopy was observed.
Keywords: Natural rubber, Perlite, Carbon black, Mechanical properties, Odor reduction

บทที่ 1 บทนำ

ผลการวิจัยเบื้องต้นจากโครงการเรื่องการใช้เพอร์ไลต์เป็นสารตัวเติมชนิดดูดซับกลิ่นในยางคงรูปพบว่า การผสมเพอร์ไลต์ทำให้กลิ่นเจือจาง โดยยืนยันจากการทดสอบโดยการดมกลิ่น และทดสอบโดยเทคนิค GC- MS โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. จากการทดสอบการโดยการดมกลิ่นพบว่าปริมาณเพอร์ไลต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้กลิ่นไม่พึงประสงค์ลดลง ดังนั้นการเติมเพอร์ไลต์ปริมาณ 30 phr จะทำให้กลิ่นไม่พึงประสงค์เจือจางที่สุด
2. จากการทดสอบโดยเทคนิค GC-MS พบว่าการเติมเพอร์ไลต์ทำให้พื้นที่พีคขององค์ประกอบกลิ่นที่สำคัญลดลง เช่น Thiourea และ Benzothiazole โดยเฉพาะการเติมเพอร์ไลต์ปริมาณ 30 phr

เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลเช่นความทนแรงดึง และค่าความแข็ง พบว่าการเติมเพอร์ไลต์ทำให้ความทนแรงดึง และค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าความทนแรงดึงของยางคงรูปผสมเพอร์ไลต์ใกล้เคียงกับเคลย์ แต่ด้อยกว่าเขม่าดำ ส่วนเรื่องราคานั้นราคาของเพอร์ไลต์ถูกกว่าเคลย์ และเขม่าดำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดปรับปรุงให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นจากการเติมเพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียวด้วยการเติมสารตัวเติมเขม่าดำร่วมด้วย

โครงงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักคือลดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ของยางธรรมชาติโดยใช้เพอร์ไลต์ที่มีราคาถูก และยังมีสมบัติเด่นทางกลของยางธรรมชาติ เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของยางธรรมชาติให้เหนือกว่ายางสังเคราะห์ ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่ได้อาจนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใกล้ชิดกับผู้บริโภคเช่น ยางปูพื้นรถยนต์ และยางพื้นรองเท้าที่มีกลิ่นเจือจาง

วัตถุประสงค์โครงการ

1) เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลของยางคงรูปลดกลิ่นโดยการใช้สารตัวเติมผสม
2) เพื่อลดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ของยางธรรมชาติโดยใช้เพอร์ไลต์และสารตัวเติมผสม
3) เพื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก 947-2533 และราคากับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ยางปูพื้นรถยนต์กลิ่นเจือจาง

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม

“เพอร์ไลต์” (Perlite) ในความหมายทางการค้า “เพอร์ไลต์” หมายถึงหินภูเขาไฟเนื้อแก้วทุกชนิด เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสมในเวลาที่รวดเร็ว จะขยายตัว มีน้ำหนักเบา และมีความพรุนสูง จากบทความของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2554) ได้อธิบายว่า “หินเพอร์ไลต์” หมายถึง หินภูเขาไฟเนื้อแก้วที่ยังไม่นำไปเผา ส่วนคำว่า

“เพอร์ไลต์” หมายถึง สิ่งที่ได้จากการขยายตัวของหินภูเขาไฟเนื้อแก้ว หินเพอร์ไลต์ ได้แก่ หินภูเขาไฟเนื้อแก้ว ที่มีลักษณะรอยแตกเป็นวงๆ ซ้อนกันคล้ายกลีบหัวหอม และเมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ในเวลาที่รวดเร็วจะขยายตัวออกไปได้ตั้งแต่ 4-20 เท่าของปริมาตรเดิม ทำให้เปลี่ยนสภาพเป็นสารที่มีน้ำหนักเบา มีความพรุนสูง และมีลักษณะคล้ายหินพัมมิส สารที่ได้จากการขยายตัวของหินเพอร์ไลต์นี้ เรียกว่า เพอร์ไลต์ ส่วนประกอบทางเคมีของหินเพอร์ไลต์ในรูปของออกไซด์ของธาตุต่างๆ จากโครงการเรื่องการใช้เพอร์ไลต์เป็นสารตัวเติมชนิดดูดซับกลิ่นในยางคงรูปพบว่าองค์ประกอบหลักของเพอร์ไลต์คือ SiO2 ประมาณ 72.59% นอกนั้นเป็นออกไซด์ของโลหะ (ฐิตินันท์และคณะ, 2554, T. Rattanaplome et. al., 2013)

เพอร์ไลต์ส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในงานด้านก่อสร้าง เพื่อประโยชน์ในการลดน้ำหนักของสิ่งก่อสร้าง และยังช่วยเป็นฉนวนป้องกันความร้อน และความเย็น และยังสามารถเป็นผนังป้องกันเสียงได้ เป็นเครื่องกรองในการกรองน้ำในโรงงานผลิตน้ำผลไม้ ในด้านการเกษตรมีการใช้เพอร์ไลต์ผสมลงไปในดิน เพราะเพอร์ไลต์มีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซึมที่ดีและมีความพรุนในตัวสูง ทำให้สภาพดินเป็นดินร่วน และเพอร์ไลต์ยังสามารถช่วยรักษาความสมดุลย์ระหว่างปริมาณของน้ำและอากาศใน ดินได้ด้วย

แหล่งเพอร์ไลต์พบอยู่ในบริเวณกลุ่มหินภูเขาไฟตอนกลางของประเทศ ซึ่งจัดอยู่ในหน่วยหินภูเขาไฟลำนารายณ์ เขตจังหวัดลพบุรี และจังหวัดเพชรบูรณ์ ในปัจจุบันเพอร์ไลต์ มีการผลิตจากสัมปทานของ ห้างหุ้นส่วนจำกัดคลองยาง จำนวน 1 แปลง เพียงแหล่งเดียว ตั้งอยู่ที่ตำบลมหาโพธิ อำเภอสระโบสถ์ จังหวัดลพบุรี มีอัตราการผลิตประมาณ 2,400 ตันต่อปี สำหรับแร่เกรดสูงเพื่อเผาสำหรับทำวัสดุกรองคุณภาพสูงและถูกจำหน่ายให้กับโรง งานน้ำผลไม้ การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponic) ตัวเติมสำหรับปูนฉาบสำเร็จ และอิฐทนไฟ โดยจำหน่ายให้กับโรงเผาที่จังหวัดราชบุรี ราคาของเพอร์ไลต์คุณภาพสูงก่อนการเผาที่ 650 บาทต่อตัน เมื่อเผาแล้วราคาจะเพิ่มขึ้นเป็น 7,000 – 15,000 บาทต่อตัน ขึ้นกับคุณสมบัติความขาว และความหนาแน่น สำหรับเพอร์ไลต์เกรดต่ำสำหรับใช้ในการเกษตร และปรับสภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้งทะเลเป็นลูกค้าหลัก มีอัตราการผลิตประมาณ 6,000 ตันต่อปี โดยนำไปบดที่โรงบดที่จังหวัดสระบุรี ราคาของเพอร์ไลต์บดประมาณ 2,000 บาทต่อตัน

Vipavee P. Hoven et. al. (2004) ได้ศึกษาการลดกลิ่นเหม็นจากยางธรรมชาติโดยใช้สารลดกลิ่น ได้แก่ Carbon black, Chitosan, Enzalkonium chloride, Sodium dodecyl sulfate, Cyclodextrin และ Zeolite13x ปริมาณสารลดกลิ่นที่ใช้คือ 1.5 หรือ 5 phr คณะวิจัยได้ผสมสารตัวเติมเข้าไปในยางธรรมชาติที่มีกลิ่นแรง ได้แก่ STR20 และ RSS5 โดยใช้เครื่องบดสองลูกกลิ้งและเตรียมยางคงรูปด้วยระบบคงรูปด้วยกำมะถันในเครื่องอัด (Compression molding) แล้วนำไปทดสอบกลิ่นโดยเทคนิค Gas chromatography และ Gas chromatography/Mass spectrometry พบว่ากลิ่นที่พึงประสงค์ส่วนใหญ่จะมาจากกรดไขมันระเหยได้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ คณะวิจัยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวแทนของกรดไขมันระเหยที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ พบว่า Chitosan และ Zeolite13x สามารถลดปริมาณกรดอะซิติกที่มีกลิ่นลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสารลดแรงตึงผิวทางการค้า เช่น Benzalkonium chloride และ Sodium dodecyl sulfate สลายตัวเนื่องจากความร้อน จึงไม่เหมาะเป็นสารลดกลิ่น จากการทดสอบกลิ่นโดยใช้เทคนิค Olfactometry หรือประเมินผลการลดกลิ่นโดยใช้มนุษย์พบว่า Chitosan และ Carbon black สามารถลดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้ดี

จิตต์ลัดดา (2553) ได้ศึกษาสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นในยางธรรมชาติโดยอาศัยเทคนิค Gas chromatography-Mass spectrometry (GC-MS) โดยนำยางแท่งและยางเกรดต่าง ๆ ได้แก่ STR XL, STR 5L, STR 5, STR 20, ยางสกิมก้อน, ยางก้นถ้วย และยางแผ่นรมควัน ไปทดสอบ พบว่าสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นในยางธรรมชาติประกอบด้วยแอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ กรดคาร์บอกซิลิก สารประกอบไฮโดรคาร์บอน และกรดไขมันอิสระที่ระเหยได้ โดยสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นในยางแท่ง STR XL

ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน สำหรับกลิ่นในยางแท่ง STR 5L นั้นพบว่าเกิดจากกรดไขมันที่ระเหยได้ในปริมาณเล็กน้อย แต่จะพบปริมาณมากในกรณีของยางแท่ง STR 5 ยางแท่ง STR 20 ยางก้นถ้วย และยางแผ่นรมควัน แต่ในยางสกิมก้อนนั้นจะพบว่ากลิ่นนั้นเกิดจากสารประกอบกำมะถันเป็นหลัก

จริยาภรณ์ และคณะ (2552) ได้ศึกษากรรมวิธีการผลิตแผ่นยางดูดกลิ่นโดยการนำผงถ่าน 2 ชนิด คือ ผงถ่านไม้ไผ่และผงถ่านไม้รวมมาผสมในยางแผ่น คณะวิจัยนำน้ำยางผสมกับผงถ่านแล้วทำการจับตัวด้วยกรดฟอร์มิก รีดเป็นแผ่นและนำไปตากแห้ง การทดสอบประกอบด้วยการทดสอบคุณสมบัติทางกลด้วยแรงดึง และการทดสอบความสามารถด้านการดูดกลิ่นทินเนอร์โดยใช้ประสาทสัมผัส พบว่าแผ่นยางดูดกลิ่นที่ผสมถ่านไม้รวม ขนาดผงถ่าน 300 ไมครอน ปริมาณผงถ่าน 500 กรัม มีค่าคุณสมบัติการดูดกลิ่นที่ดีเท่ากับ 69.67%

Rattanasom et.al. (2007) ได้ใช้สารตัวเติมผสมระหว่างซิลิกาและเขม่าดำ ในยางธรรมชาติเพื่อเสริมแรงพบว่ายางคงรูปที่มีซิลิกา 20 phr (เขม่าดำ 30 phr) และซิลิกา 30 phr (เขม่าดำ 20 phr) ให้สมบัติเชิงกลที่ดี ส่วนงานของ N. Rattanasom และ Prasertsri (2012) ได้ทำการศึกษาสารตัวเติมผสมระหว่างเคลย์และเขม่าดำ พบว่าเคลย์ 2 phr แทนเขม่าดำ 1 phr เพื่อให้ได้ค่าความแข็งเท่ากัน เมื่ออัตราส่วนระหว่างเคลย์ต่อเขม่าดำลดลง (เช่นจากอัตราส่วน 84:0 เป็น 54:15) พบว่าสมบัติเชิงกลดีขึ้น เช่นความทนทานต่อการฉีกขาด ความทนแรงดึงทดสอบจากชิ้นงานที่มีรอยบาก (Cut tensile strength) ความทนทานต่อการบ่มเร่งด้วยอุณหภูมิสูง (Heat aging resistance)

บทที่ 3 วิธีทดลอง

1. ศึกษาผลของอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อสมบัติเชิงกลบางประการ

   1.1 การผลิตยางคงรูปด้วยระบบดั้งเดิม

- ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ยางแท่ง STR20 กับสารตัวเติมในเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) อัดด้วยความร้อน (Compression molding)
- สารเคมีที่ใช้คือ Zinc oxide (ZnO), Stearic acid, Tetramethylthiuramdisulphide (TMTD), N-cyclohexyl-2-benzothiazole sulphenamide (CBS), Lowinox® Polymer of p-cresol CPL และ Sulfur
- แปรอัตราส่วนระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำดังตารางที่ 1 โดยมีสูตร Control เดิมและสูตร Control ที่ปรับใหม่โดยใช้ N-(1,3-dimethylbutyl)-N'—phenyl-p-phenylenediamine (6PPD) แทน CPLเพื่อให้มีราคาถูกลงและเหมาะกับยางที่ผสมเขม่าดำ ดังตารางที่ 2 ราคาของสารเคมีรายงานตามที่ซื้อมา ราคายางอ้างอิงราคาจากสถาบันวิจัยยางเมื่อวันที่ 19 มิถุนายน 2558 ส่วนสมบัติกายภาพของสารตัวเติมทดสอบโดยใช้ Particle analyzer laser (Mastersizer S). และ Nitrogen adsorption instrument (Quantachrome Autosorb-1) ที่ใช้ในโครงการนี้แสดงดังตาราง ที่ 3 เมื่อวัดค่า pH ของเพอร์ไลต์โดยใช้ EUTECH instruments pH510 พบว่ามีค่า 9.61 เมื่อวัดในน้ำกลั่น และเท่ากับ 9.62 เมื่อวัดในสารละลาย 1M KCl
- การผสมยางทำโดยใช้เครื่องบดสองลูกกลิ้ง ลำดับการใส่สารทำตามงานวิจัยของฐิตินันท์ และคณะฯ (2555) ลำดับการผสมคือบดยาง แล้วใส่ stearic acid, ZnO, .ใส่สารตัวเติมครึ่งหนึ่งม CBS, TMTD, CPL (หรือ 6PPD), Silica, สารตัวเติมอีกครึ่งหนึ่ง และ S เป็นลำดับสุดท้าย ส่วนเวลาการผสมประมาณ 20-25นาที
- สมบัติเชิงกลที่ศึกษาคือ ความทนแรงดึง (ISO 37) เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด ความแข็ง IRHD (ISO 48)ความต้านทานแรงฉีกขาด (ISO 34 method B Procedure a) และสมบัติก่อนและหลังบ่มเร่งของความทนแรงดึง ความแข็งและความต้านทานแรงฉีกขาด การทดสอบทำสองแบทช์ และแต่ละสูตรทำซ้ำ 5 ตัวอย่าง

ตารางที่ 1 แสดงสูตรการผสมโดยแปรอัตราส่วนระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำ

Ingredients (phr)	Control	HP0	HP15	HP30	HP45	HP60
NR/STR 20	100	100	100	100	100	100
S	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Stearic acid	2	2	2	2	2	2
ZnO	4	4	4	4	4	4
CBS	1	1	1	1	1	1
TMTD	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
CPL or 6PPD	1	1	1	1	1	1
Silica	5	5	5	5	5	5
Carbon black (N330)	-	60	45	30	15	-
Perlite	-	-	15	30	45	60

ตารางที่ 2 แสดงราคายางและสารเคมีที่ใช้

Rubber and Chemical	Price (Baht/kg.)		Chemical	Price (Baht/kg.)
STR 20	53.3		CPL	214.0
RSS3	61.7		6PPD	203.3
Skim block	50.0		TMTD	176.5
S	117.7		Commercial silica	58.9
Stearic acid	53.5		Carbon black N330	85.6
ZnO	133.75		Perlite	15.0
CBS	246.1			

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของอนุภาคสารตัวเติม

Filler type	Particle size (μm)	Specific surface area (m^2/g)	Pore volume (cc/g)	Pore Diameter (Å)
Perlite	53.44	4.12	0.0061	58.89
CB N330	5.05	79.52	0.8451	425.10
Commercial Si	36.04	172.07	1.4660	340.80

- การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางปูพื้นรถยนต์ (มอก 947-2533) ขั้นตอนนี้จะทำให้ทราบถึงสูตรที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางปูพื้นที่ได้มาตรฐาน

1.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) เพื่อดูผลการกระจายตัวของสารตัวเติมในยางคงรูป

2. ศึกษาผลของชนิดของยางต่อสมบัติเชิงกลบางประการในยางคงรูปที่ผสมด้วยเพอร์ไลต์และเขม่าดำ

- ชนิดของยางธรรมชาติที่ใช้ คือ STR20, RSS3 และยางสกิม (Skim block) โดยมีผลทดสอบสมบัติของยางดิบที่ทดสอบตามมาตรฐาน SMR: Bulletin No.7-1992 การทดสอบทำสองซ้ำ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติของยางดิบ

Rubber Sample	Dirt content (wt%)	Initial plasticity (Po)	Plasticity retention index (PRI)	Mooney viscosity ML (1+4) 100C	Nitrogen content (wt%)
STR 20	0.0350±0.006	42.5±1.4	47.7±2.4	75.4±1.6	0.29±0.00
RSS3	0.0315±0.005	45.8±1.1	80.4±1.1	79.9±0.1	0.40±0.01
Skim block	0.0265±0.004	31.3±0.4	10.4±1.3	69.5±0.6	1.77±0.00

- สมบัติเชิงกลที่ศึกษาคือ ความทนแรงดึง (ISO 37) เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด ความแข็ง IRHD (ISO 48)ความต้านทานแรงฉีกขาด (ISO 34 method B Procedure a) ความทนทานต่อการสึกหรอ (ISO4649) และสมบัติก่อนและหลังบ่มเร่งของความทนแรงดึง ความแข็งและความต้านทานแรงฉีกขาด การทดสอบทำสองแบทช์ และแต่ละสูตรทำซ้ำ 5 ตัวอย่าง
- การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางปูพื้นรถยนต์ (มอก 947-2533) ขั้นตอนนี้จะทำให้ทราบถึงชนิดของยางที่ทำให้ได้สูตรทำผลิตภัณฑ์ยางปูพื้นที่ได้มาตรฐาน ได้แก่ การยืดตัวเนื่องจากแรงดึง (Tension set) และการพับงอเป็นต้น

3. ศึกษาประสิทธิภาพการลดกลิ่นของยางที่ผ่าน มอก 947-2533

โดยการทดสอบการลดกลิ่น ทำ 2 วิธี คือ

3.1 การตรวจวัดกลิ่นด้วยวิธีการดมกลิ่น (Sensory odor measurement) (วิวัฒน์ 2550)

ในการเตรียมชิ้นทดสอบในการทดสอบกลิ่น เริ่มจากนำยางคอมพาวนด์ที่ได้มาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเบ้า (Compression moulding) หลังจากนั้นนำยางคงรูปที่ได้มาตัดให้มีลักษณะเป็นลูกเต๋าขนาดเล็ก ๆ โดยน้ำหนักรวม 10 กรัม แล้วนำมาใส่หลอดทดลองขนาดความยาว 15 เซนติเมตร โดยเมื่อเทยางลงในหลอดทดลองให้ยางมีความสูงจากก้นหลอดทดลองสูง 10 เซนติเมตร เพื่อเหลือให้มีพื้นที่ในการดมกลิ่นยาง (ในกรณีตัดยางและเทยางลงในการทดลอง ผู้ปฏิบัติการควรสวมถุงมือแพทย์เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรงหรือป้องกันเหงื่อจากมือที่สัมผัสยางหรือสิ่งสกปรกไปปนเปื้อนในยางหรืออาจมีผลต่อกลิ่นของชิ้นทดสอบได้) หลังจากนั้นทำการปิดฟอยล์ด้านนอกของหลอดทดลองทุกหลอดทดลอง เพื่อไม่ให้ผู้ทดสอบเห็นลักษณะสีของยางเนื่องจากสีมีผลต่อผู้ทดสอบ กล่าวคือ ถ้าชิ้นทดสอบมีสีเข้มผู้ทดสอบอาจคิดว่าสีเข้มจะมีกลิ่นที่แรงหรือถ้าชิ้นทดสอบมีสีจางผู้ทดสอบอาจคิดได้ว่าสีจางจะมีกลิ่นที่อ่อนกว่า หลังจากนั้นปิดปากหลอดทดลองด้วยจุกยาง เก็บชิ้นทดสอบทุกหลอดทดลองในโถดูดความชื้น

การทดสอบการดมกลิ่นจะฝึกผู้ทดสอบจำนวน 20 คนให้จำกลิ่นที่มีระดับความรุนแรง 5 ระดับได้และทดสอบในห้องระบบปิด โดยที่ผู้ทดสอบจะเป็นชาย 10 คน หญิง 10 คน อายุใกล้เคียงกันประมาณ 20-25 ปี ผู้ทดสอบต้องมีการเตรียมตัวในวันที่มาทำหน้าที่ทดสอบกลิ่น ดังนี้ ต้องไม่สระผมด้วยแชมพูที่มีกลิ่นแรง ต้องไม่ใช้น้ำหอม แป้งที่มีกลิ่น หรือเครื่องประทินผิวที่มีกลิ่นหอม ต้องไม่รับประทานอาหารที่มีรสจัด ต้องไม่สวมใส่เสื้อผ้าทำจากวัสดุที่มีกลิ่น เช่น หนังสัตว์ การปฏิบัติตัวในช่วงเวลาก่อนที่จะทำหน้าที่ทดสอบกลิ่น ต้องไม่สูบบุหรี่ ห้าม

ดื่มกาแฟ น้ำชา หรือน้ำโซดา หลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารใดๆ อย่างหนักในช่วงเวลาหนึ่งชั่วโมง ก่อนที่จะทำหน้าที่ประเมินตัดสินเรื่องกลิ่น และต้องไม่เคี้ยวหมากฝรั่ง ตามมาตรฐาน ASTM STP775

เมื่อเริ่มการทดสอบให้ผู้ทดสอบกลิ่นดมกลิ่นกาแฟจากเมล็ดกาแฟก่อนทุกครั้งเพื่อเป็นการดับกลิ่น หลังจากนั้นผู้ทดสอบจะดมชิ้นทดสอบ ในการเก็บข้อมูลจะมีลักษณะเป็นแบบสอบถามสำหรับให้คะแนนการลดกลิ่น สเกล 1 หมายถึงกลิ่นเจือจาง ส่วนสเกล 5 หมายถึงกลิ่นรุนแรง รายงานผลโดยใช้ค่าเฉลี่ยแบบฐานนิยม (Mode) (S. Manikandan, 2011)

3.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas chromatography/Mass spectrometry, GC-MS: Head space sampling technique โดยดูจากปริมาณ Benzothiazole ที่ลดลง ทำการทดลอง 2 ซ้ำ งานวิจัยนี้เลือกใช้ Benzothiazole เพราะจากงานวิจัยของฐิตินันท์ และคณะฯ (2555) ได้รายงานไว้ว่า Benzothiazole เป็นพีคองค์ประกอบกลิ่นที่มีในยางธรรมชาติชนิด STR20 และยาง STR20 ที่ผ่านการคงรูป

การวิเคราะห์เริ่มจากนำยางแห้งน้ำหนัก 10 กรัม บรรจุลงในขวด Vial เติมสารมาตรฐาน Methyl valerate (1ppm) 10 µL แล้วปิดให้แน่นด้วยจุกยาง จุ่มในน้ำร้อน 60°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บสารระเหยขึ้นมาโดยใช้ SPME ชนิด Polydimethylsiloxane/Divinylbenzene แล้วนำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง GC-MS ของ Agilent รุ่น GC-6890/MS-5973 ด้วยคอลัมน์ HP-5MS บรรจุสารไม่มีขั้ว Polysiloxane ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร โดยควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ไว้ที่ 50°C เป็นเวลา 2 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นด้วยอัตรา 50°C/นาทีจนกระทั่งอุณหภูมิสุดท้ายที่ 230°C คงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 4 นาที อัตราการไหลของก๊าซฮีเลียมเท่ากับ 1.0มิลลิลิตร/นาที

4. วิเคราะห์ต้นทุนและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการกับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาด สมบัติเชิงกลที่ต้องการศึกษา ได้แก่ ความแข็ง IRHD การพับงอก่อนและหลังการบ่มเร่ง รวมถึงการยืดตัวเนื่องจากแรงดึง

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

การผลิตยางคงรูปด้วยระบบดั้งเดิมโดยมีสูตรตามตารางที่ 1 โดยปริมาณสารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำโดยรวมจะเป็น 60 phr ส่วนสารป้องกันการเสื่อมสภาพในขั้นตอนนี้เป็น CPL หลังจากนั้นนำไปทดสอบด้วย Moving die rheometer (MDR) ที่ 150°C เป็นเวลา 60 นาที ได้ผลของลักษณะการคงรูปตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลของลักษณะการคงรูป

Vulcanized rubber	Scorch time (min.)	Cure time (min.)	Torque difference (dN.m)
Control	2.18	3.24	6.25
HP0	1.43	5.67	32.61
HP15	1.47	4.46	32.14
HP30	1.55	4.41	28.03
HP45	2.05	4.79	23.39
HP60	2.13	6.37	21.40

จากตารางที่ 5 พบว่ายางคงรูปผสมเพอร์ไลต์มีค่า Scorch time ลดลงเมื่อเทียบกับ Control อาจเป็นเพราะเพอร์ไลต์มีฤทธิ์เป็นด่าง และมีออกไซด์ของโลหะ (Metal oxide) ช่วยกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาการคงรูป (T.Rattanaplome et. al., 2013, 2015) และสอดคล้องกับงานของ Attharangsan et. al. (2012) ที่ใส่ผงแกลบในยางธรรมชาติทำให้ Scorch time ลดลงเนื่องจากผงแกลบมีออกไซด์ของโลหะ แต่เมื่อปริมาณเพอร์ไลต์เพิ่มขึ้นค่า Scorch time มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอาจเป็นเพราะหมู่ไซลานอลดูดซับสารกระตุ้นจึงทำให้ค่า Scorch time เพิ่มขึ้น เช่นสูตร HP60 มีค่า Scorch time มากกว่า HP15 ดังนั้นอาจอธิบายได้ว่าเพอร์ไลต์มีฤทธิ์เป็นด่างและมีโลหะออกไซด์จึงทำให้ค่า Scorch time ลด แต่ในขณะเดียวกันหมู่ไซลานอลบนพื้นผิวของเพอร์ไลต์ทำให้ค่า Scorch time เพิ่ม ส่วนยางคงรูปผสมเขม่าดำ HP0 (มีเขม่าดำ 60 phr) มีค่า Scorch time ลดลงอย่างเห็นได้ชัดอาจเป็นเพราะเขม่าดำมีความเป็นกลางค่อนข้างเป็นด่าง และพื้นผิวมีออกซิเจนต่ำ (Neutral or slightly alkali with low oxygen content) ทำให้เร่งปฏิกิริยาการคงรูป สอดคล้องกับงานของ N. Rattanasom et. al. (2012) เมื่อนำเอาเพอร์ไลต์ผสมเขม่าดำ สารตัวเติมทั้งสองจึงทำให้ Scorch time ลดลง โดยอิทธิพลของเขม่าดำน่าจะมีผลมากกว่าเพอร์ไลต์สังเกตยางคงรูป HP15 (มีเขม่าดำ 45) มีค่า Scorch time สั้นกว่า HP45 (มีเขม่าดำ 15) ในทางตรงกันข้ามพบว่าการเติมสารตัวเติมผสมทำให้เวลาการคงรูปเพิ่มขึ้น (Cure time) เมื่อเทียบกับ Control อาจเป็นเพราะในยางคงรูปทุกสูตรระบบมีซิลิกาที่มีหมู่ไซลานอลอยู่บนพื้นผิว และหมู่ไซลานอลนี้ดูดซับสารตัวเร่งทำให้เวลาในการคงรูปเพิ่มขึ้น (N. Rattanasom , 2007) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ยางคงรูป HP60 มีเวลาในการคงรูปนานที่สุด อาจเป็นเพราะพื้นผิวของเพอร์ไลต์มีหมู่ไซลานอลเช่นกัน (Dogan et. al.,2000) ดังนั้นยางคงรูปมีสารตัวเติมผสมจึงมีอิทธิพลจากซิลิกาและเพอร์ไลต์ที่ทำให้เวลาในการคงรูปช้าลง แต่เขม่าดำทำให้เวลาในการคงรูปเร็วขึ้น

ผลของอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อความแตกต่างของแรงบิด (Torque difference, MH-ML) พบว่าการใส่สารตัวเติม 60 phr ทำให้ค่าความแตกต่างของแรงบิดมากขึ้น ซึ่ง N. Rattanasom (2012) ได้อธิบายว่าความแตกต่างของแรงบิดจะหมายถึงความหนาแน่นของการเชื่อมโยงนั่นอาจหมายถึงการใส่สารตัวเติมทำให้การเชื่อมโยงมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีเขม่าดำในปริมาณสูงเช่นในยางคงรูป HP15 และ HP0 ส่วนการเติมเพอร์ไลต์อาจทำให้ขัดขวางการเชื่อมโยง จึงเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณเพอร์ไลต์เพิ่มขึ้นค่าความแตกต่างของแรงบิดลดลง เช่น HP0 มีค่าความแตกต่างของแรงบิดมากที่สุด รองลงมาคือ HP15, HP30, HP45 และ HP60 ตามลำดับ

1. ศึกษาผลของอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อสมบัติเชิงกลบางประการ

1.1 ผลของการแปรอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อค่าความแข็ง (Hardness) และมอดลัสที่ 100% (100% modulus)

เมื่อนำยางคงรูปที่ผสมตามสูตรในตารางที่ 1 ไปทดสอบความแข็งได้ผลตามตารางที่ 6 การเติมสารตัวเติมทำให้ความแข็งของยางคงรูปเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าความแตกต่างของแรงบิด อาจเป็นเพราะสารตัวเติมมีความแข็งทำให้ความยืดหยุ่นในยางลดลง (Dilution effect) โดยที่ยางคงรูป HP60 มีความแข็งน้อยกว่า HP0 อาจเป็นเพราะเพอร์ไลต์มีขนาดอนุภาค (Particle size) ใหญ่กว่า มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) น้อยกว่าเขม่าดำ ดังแสดงในตารางที่ 2 และเมื่อนำเอาสารตัวเติมทั้งสองมาผสมกันอิทธิพลการเสริมแรงจากเขม่าดำจึงมีมากกว่าเพอร์ไลต์ ซึ่งจะเห็นว่า HP15 มีความแข็งมากกว่า HP45 จากตารางที่ 6 ยังสามารถสังเกตเห็นว่าค่าความแข็งของยางคงรูปเพิ่มขึ้นหลังจากบ่มเร่งที่ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง น่าจะเป็นเพราะการเกิดเชื่อมโยงมากขึ้น (Post-curing effect) ซึ่งพบในงานของ และ N. Rattanasom และ S. Prasertsri (2009) และ S. Moonchai (2013) เช่นกัน N. Rattanasom และ S. Prasertsri (2009) พบว่า ค่ามอดุลัสของยางผสมเขม่าดำและเคลย์มีค่าสูงขึ้น เมื่อผ่านการบ่มเร่ง ส่วน S. Moonchai (2013) ก็พบว่ายางคง

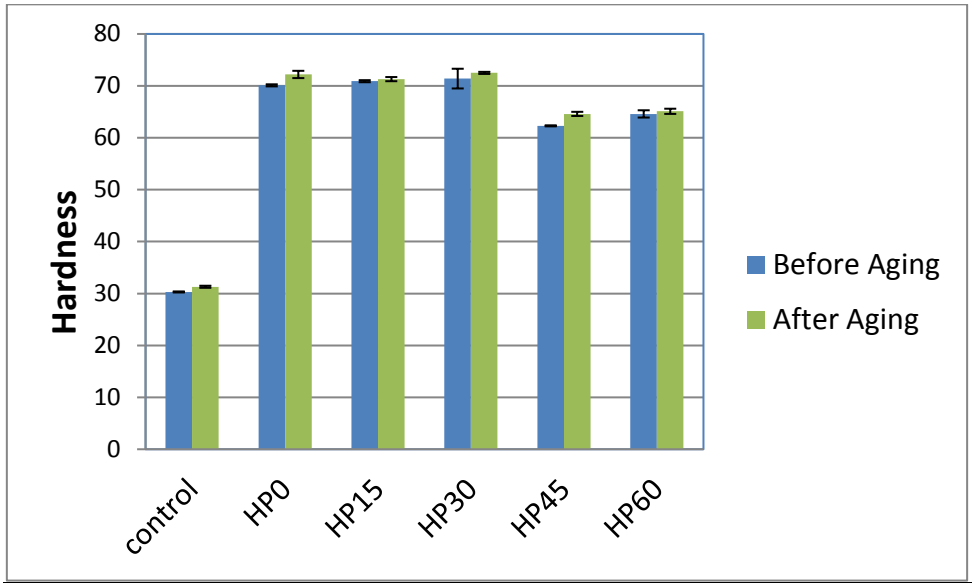
รูปที่ผสมสารตัวเติมและเขม่าดำความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการบ่มเร่ง นอกจากนี้พบว่าสูตรที่ผ่านเกณฑ์มอก.947-2533 มีเพียงสูตร HP15 และ HP30 อยู่ในชั้นคุณภาพ 1, 2, 3 และ 4

การใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้ความแข็งสูงกว่ามีเพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียว เช่น ค่าความแข็งของ HP15 และ HP30 สูงกว่าของ HP0 และ HP60 และสูงกว่างานวิจัยเรื่อง "การใช้เพอร์ไลต์เป็นสารตัวเติมชนิดดูดซับกลิ่นในยางคงรูป" ที่ใส่สารตัวเติมเพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียวและมีค่าความแข็งแบบ Shore A ประมาณ 52 (ฐิตินันท์ และคณะ 2555)

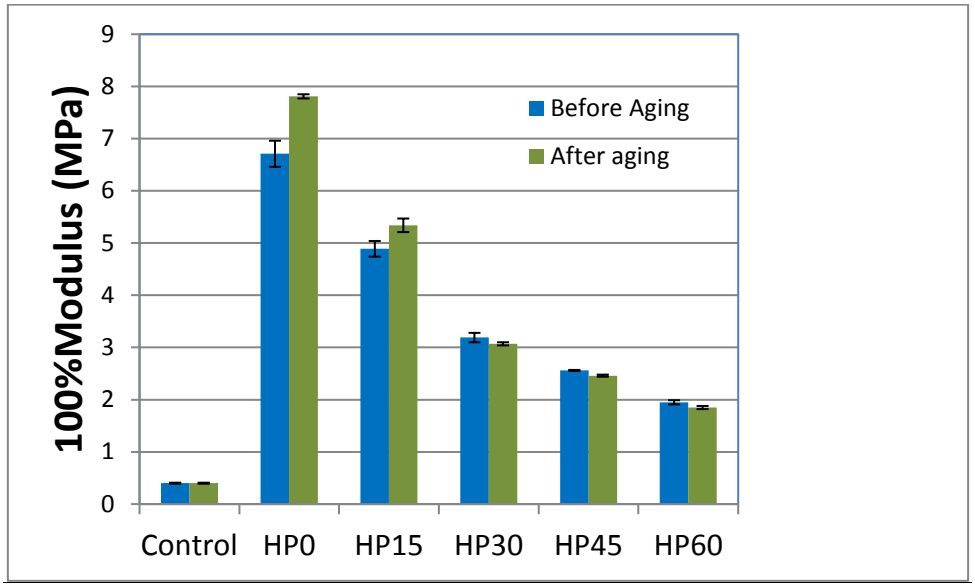
จากภาพที่ 2 พบว่าก่อนการบ่มเร่งการเติมสารตัวเติมทำให้มอดุลัสที่ 100% เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสารตัวเติมมีเพียงเขม่าดำนสูตร HP0 ส่วนการเติมเพอร์ไลต์ทำให้มอดุลัสที่ 100% มีแนวโน้มลดลง HP60 มีค่ามอดุลัสที่ 100% น้อยกว่า HP0 แต่ยังมากกว่า control เมื่อยางคงรูปผ่านการบ่มเร่ง ยางคงรูปสูตร HP0 และ HP15 มีค่ามอดุลัสที่ 100% สูงขึ้น อาจเป็นเพราะเพราะการเกิดเชื่อมโยงมากขึ้นดัง (Post curing effect) ที่กล่าวข้างต้น แต่ยางคงรูปสูตร HP30, HP45, HP60 มีค่าลดลง อาจเป็นเพราะเพอร์ไลต์มีปริมาณสูง อัตรกิริยาระหว่างยางกับเพอร์ไลต์ค่อนข้างต่ำ ยางคงรูปที่มีเพอร์ไลต์ปริมาณสูงจึงเสื่อมสภาพง่ายเมื่อได้รับความร้อน

ตารางที่ 6 ค่าความแข็งของยางคงรูป

Vulcanized rubber	Hardness before aging (H)	Hardness after aging (HA)	ΔH= (HA-H)	TIS 947-2533
Control	30.3±0.1	31.3±0.2	1	Fail
HP0	70.1±0.2	72.2±0.7	2.1	PASS Grade 1-4
HP15	70.9±0.2	71.3±0.4	0.4	PASS Grade 1-4
HP30	71.4±0.5	74.0±0.1	0.7	PASS Grade 1-4
HP45	62.3±0.1	64.6±0.4	2.3	Fail
HP60	64.6±0.7	65.1±0.5	0.5	Fail



ภาพที่ 1 ผลการทดสอบความแข็ง IRHD ของยางคงรูปแต่ละชนิด



ภาพที่ 2 ผลการทดสอบค่ามอดุลัสที่ 100% ของยางคงรูปแต่ละชนิด

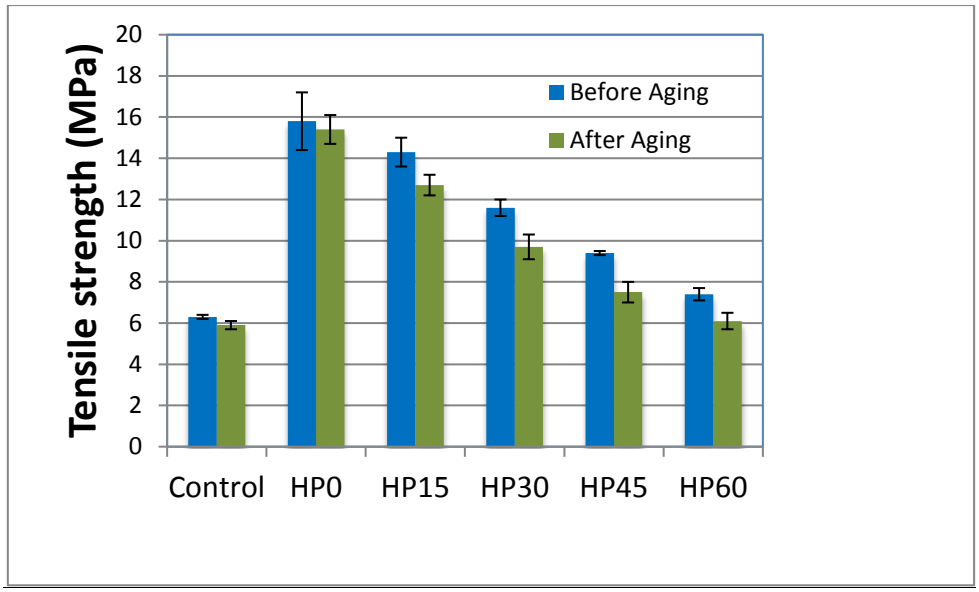
1.2 ผลของการแปรอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อค่าความทนแรงดึง (Tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด (%Elongation at break)

เมื่อนำยางคงรูปที่ผสมตามสูตรในตารางที่ 1 ไปทดสอบความทนแรงดึงได้ผลตามตารางที่ 7 พบว่า การใส่สารตัวเติมผสมทำให้ความทนแรงดึงเพิ่มขึ้น โดยที่ HP60 มีความทนแรงดึงน้อยกว่า HP0 สอดคล้องกับผลค่าความแข็งอาจเป็นเพราะเพอร์ไลต์มีขนาดอนุภาค (Particle size) ใหญ่กว่า มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) น้อยกว่าเขม่าดำ เขม่าดำเข้ากันกับยางได้ดีกว่าเพอร์ไลต์ เมื่อใส่เพอร์ไลต์เพิ่มขึ้นความทนแรงดึงจึงลดลง และเมื่อเอาสารตัวเติมทั้งสองมาผสมกันอิทธิพลการเสริมแรงจากเขม่าดำจึงมีมากกว่าเพอร์ไลต์ HP15 (มีเขม่าดำ 45phr) จึงมีความทนแรงดึงมากกว่า HP45 (มีเขม่าดำ 15 phr) ความทนแรงดึงของสูตรที่มีสารตัวเติมผสมเพอร์ไลต์และเขม่าดำสูงกว่าสูตรที่มีเพอร์ไลต์ชนิดเดียว เช่น HP15,HP30, HP45 มีค่าความทนแรงดึงมากกว่า HP60 จากตารางที่ 7 ยังพบว่าความทนแรงดึงลดลงเมื่อผ่านการบ่มเร่ง 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

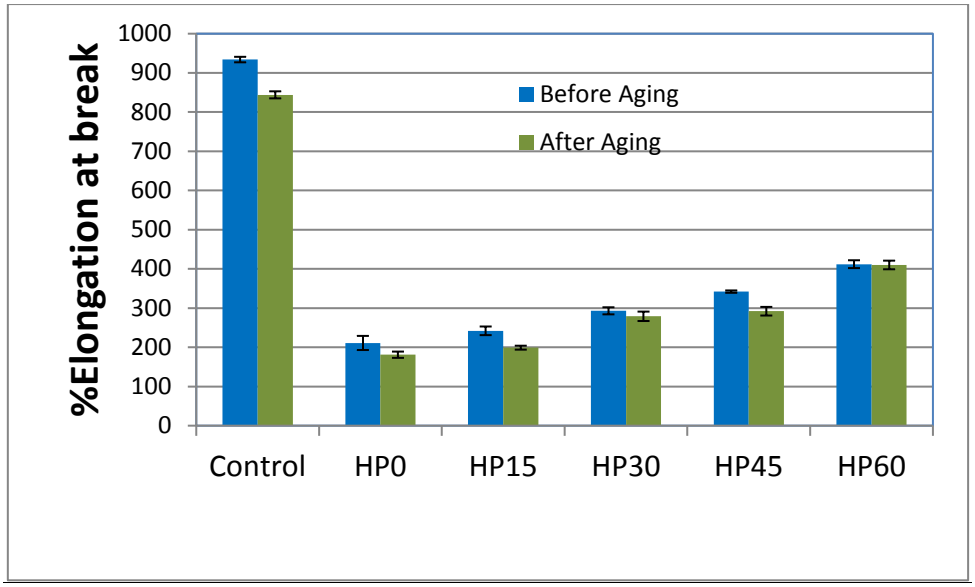
ส่วนผลของการแปรอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด พบว่าการใส่สารตัวเติมทำให้ยางมีเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดลดลง อาจเป็นเพราะสารตัวเติมทำให้ยางแข็งขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง (Dilution effect) การเคลื่อนไหวของสายโซ่ (Chain mobility) เป็นไปได้ยากขึ้น ดังนั้นยางจึงดึงยืดได้น้อย โดยที่ยางคงรูป HP0 จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดน้อยกว่ากว่า HP60 อาจเป็นเพราะเขม่าดำเข้ากับยางได้ดีและเกิดอันตรกิริยาดีกว่าเพอร์ไลต์ ทำให้สายโซ่โมเลกุลยางเคลื่อนไหวได้ยากกว่า ดังนั้นเมื่อนำสารตัวเติมผสมทั้งสองมาผสมกันยางคงรูป HP15 จึงมีเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดน้อยกว่า HP45 หรืออาจอธิบายได้ว่าเพอร์ไลต์ทำให้ยางคงรูปคงสภาพความยืดหยุ่นได้ดีกว่า จากภาพที่ 4 ยังพบอีกว่าเมื่อผ่านการบ่มเร่ง 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ยางคงรูปมีเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดลดลง อาจเป็นเพราะอัตรกิริยาระหว่างยางกับเพอร์ไลต์ค่อนข้างต่ำ ยางคงรูปที่มีเพอร์ไลต์ปริมาณสูงจึงเสื่อมสภาพง่ายเมื่อได้รับความร้อน

ตารางที่ 7 ความทนแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดของยางคงรูป

Vulcanized rubber	Tensile strength before aging (MPa)	Tension set before aging (%)	%Elongation at break before aging	Tensile strength after aging (MPa)	%Elongation at break after aging	TIS 947-2533
Control	6.3±0.1	3.3	934±7	5.9±0.2	844±9	PASS Grade 1-4
HP0	15.8±1.4	3.4	211±18	15.4±0.7	181±8	PASS Grade 1-4
HP15	14.3±0.7	4.9	242±11	12.7±0.5	199±5	PASS Grade 1-4
HP30	11.6±0.4	5.9	293±9	9.7±0.6	279±12	PASS Grade 1-4
HP45	9.4±0.1	5.5	342±3	7.5±0.5	292±11	PASS Grade 1-4
HP60	7.4±0.3	3.0	412±10	6.1±0.4	410±11	PASS Grade 1-4



ภาพที่ 3 ผลการทดสอบความทนแรงดึงของยางคงรูปแต่ละชนิด

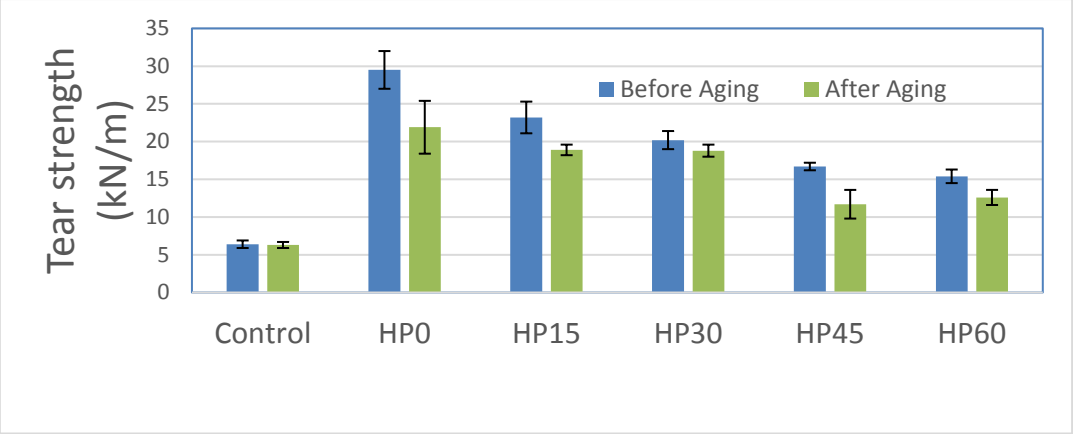


ภาพที่ 4 ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดของยางคงรูปแต่ละชนิด

1.3 ผลของการแปรอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength)

จากภาพที่ 5 จะพบว่าผลของการทดลองความทนทานต่อการฉีกขาดสอดคล้องกับผลของ ความแข็ง และความทนแรงดึง นั่นคือ การใส่สารตัวเติมผสมทำให้ความทนทานต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้น โดยที่ HP60 มีความทนทานต่อการฉีกขาดน้อยกว่า HP0 อาจเป็นเพราะเพอร์ไลต์มีขนาดอนุภาค (Particle size) ใหญ่กว่า มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) น้อยกว่าเขม่าดำ เขม่าดำเข้ากันกับยางได้ดีกว่าเพอร์ไลต์ เมื่อใส่เพอร์ไลต์เพิ่มขึ้นความทนทานต่อการฉีกขาดจึงลดลง J. Leblanc (2002) อธิบายไว้ว่าอันตรกิริยาที่ดีระหว่างสารตัวเติมกับยางจะทำให้โมเลกุลเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น พลังงานที่ทำให้โมเลกุลแยกจากกันจึงมากกว่า (Energy dissipation) ดังนั้นการเสริมแรงจากเขม่าดำจึงดีกว่าเพอร์ไลต์ ผลการทดลองเรื่องความทนแรงดึงและความทนทานต่อการฉีกขาดสอดคล้องกับงานของ N. Rattanasom and S. Prasertsri (2012) ที่เอาสารตัวเติมเขม่าดำผสมกับเคลย์ พบว่าเมื่อเพื่อปริมาณเขม่าดำเพิ่มขึ้น ความทนแรงดึงและความทนทานต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้น

เมื่อเอาสารตัวเติมเพอร์ไลต์มาผสมกับเขม่าดำอิทธิพลการเสริมแรงจากเขม่าดำจึงมีมากกว่าเพอร์ไลต์ HP15 (มีเขม่าดำ 45 phr) จึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดมากกว่า HP45 (มีเขม่าดำ 15 phr) ความทนทานต่อการฉีกขาดของสูตรที่มีสารตัวเติมผสมเพอร์ไลต์และเขม่าดำสูงกว่าสูตรที่มีเพอร์ไลต์ชนิดเดียว เช่น HP15, HP30, HP45 มีค่าความทนแรงดึงมากกว่า HP60 จากภาพที่ 5 ยังพบว่าความทนทานต่อการฉีกขาดลดลงเมื่อผ่านการบ่มเร่ง 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง อาจเป็นเพราะอัตรกิริยาระหว่างยางกับเพอร์ไลต์ค่อนข้างต่ำ ยางคงรูปที่มีเพอร์ไลต์ปริมาณสูงจึงเสื่อมสภาพง่ายเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองความทนแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด



ภาพที่ 5 ผลการทดสอบตวามทนทานต่อการฉีกขาดของยางคงรูปแต่ละชนิด

ตารางที่ 8 สมบัติบางประการก่อนและหลังบ่มเร่งทดสอบตามมาตรฐาน 947-2433

Vulcanized rubber	Tear strength before aging, T (kN/m)	Tear strength after aging, TA (kN/m)	%ΔT *	Tension set before aging (%)
HP30	20.2±1.2	18.8±0.8	7.4	4.9 (ไม่เกิน 15%)

* %ΔT หาจาก ((T-TA)/T)x100

(a)

(b)

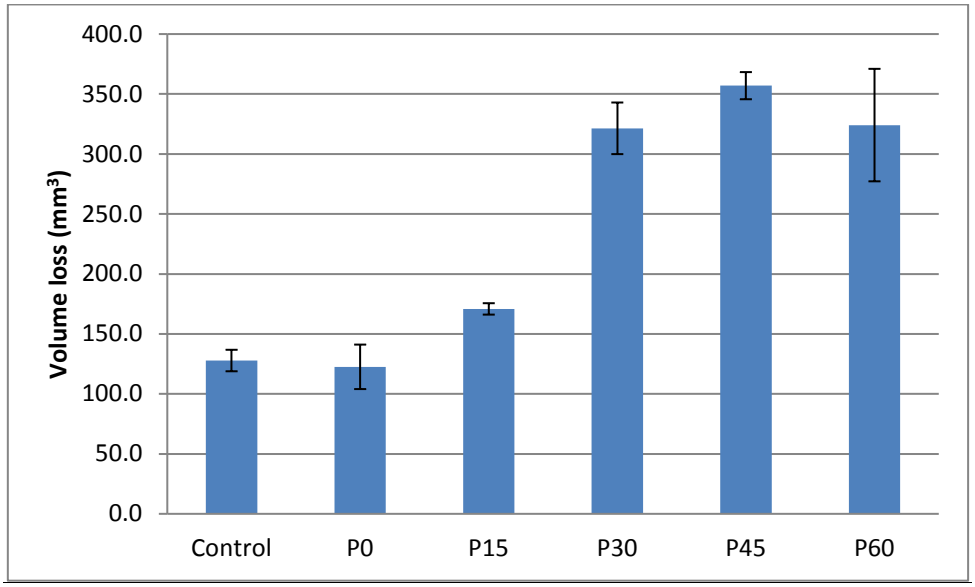
(c)

ภาพที่ 6 (a) แสดงการทดสอบการพับงอ (b) ตัวอย่าง HP30 ที่ผ่านการพับงอก่อนการบ่มเร่ง และ (c) ตัวอย่าง HP30 ที่ผ่านการพับงอหลังการบ่มเร่ง

จากตารางที่ 7 จะเห็นว่าทุกสูตรผ่านเกณฑ์มอก.947-2533 ชั้นคุณภาพ 1, 2, 3 และ 4 จึงเลือกเฉพาะสูตร HP30 ที่ผ่านเกณฑ์ความแข็ง และมีแนวโน้มลดกลิ่นเพราะมีเพอร์ไลต์ ถึง 30 phr ไปทดสอบความยืดเมื่อขาด (Tension set) ก่อนบ่มเร่ง การพับงอก่อนและหลังบ่มเร่ง แสดงดังตารางที่ 8 และภาพที่ 6(b) และ 6(c) สำหรับการทดสอบการพับงอก่อนและหลังบ่มเร่ง สูตร HP30 ไม่มีรอยแตกร้าว

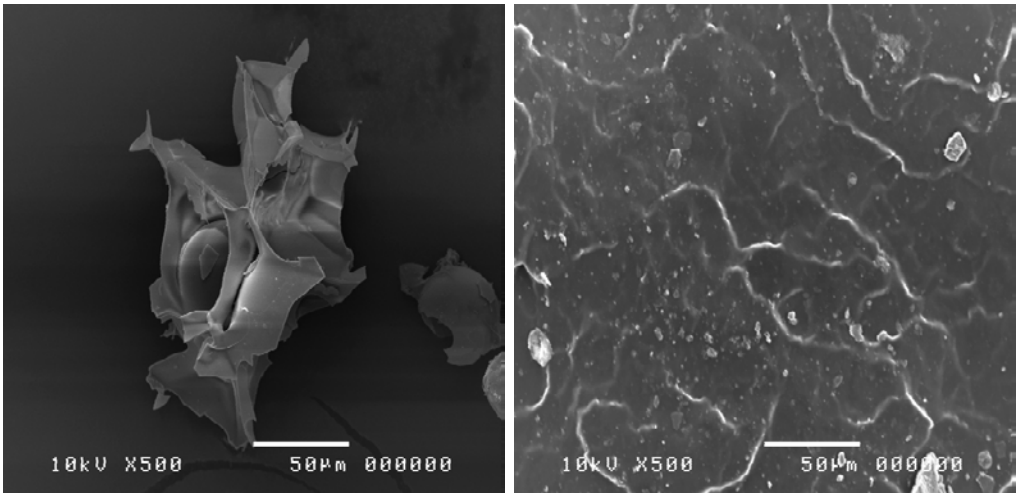
1.4 ผลของการแปรอัตราส่วนสารตัวเติมผสมต่อค่าความทนทานต่อการสึกหรอ (Abrasion resistance)

ผลการทดสอบความทนทานต่อการสึกหรอแสดงดังภาพที่ 7 ความทนทานต่อการสึกหรอของยางคงรูป แสดงในรูปของปริมาตรที่สูญเสียไป (Volume loss, mm^3) ถ้าปริมาตรที่สูญเสียไปมีค่าน้อยแสดงว่ายางคงรูปมีความทนทานต่อการสึกหรอสูง จากภาพที่ 7 จะเห็นว่าปริมาตรการสูญเสียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ความทนทานต่อการสึกหรอลดลง) ตามปริมาณ Perlite ซึ่งก็สอดคล้องกับผลของมอดุลัส และความทนแรงดึงที่มีค่าลดลง เนื่องจากอนุภาคเพอร์ไลต์มีขนาดใหญ่ มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย จึงทำให้มีอันตรกิริยากับยางลดลง อย่างไรก็ตามการใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้ปริมาตรที่สูญเสียไปลดลง (ความทนทานต่อการสึกหรอเพิ่มขึ้น) เมื่อเทียบกับที่มีเพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียว เช่น ปริมาตรที่สูญเสียไปของ HP15 และ HP30 น้อยกว่าของ HP60 และปริมาตรที่สูญเสียไปยังน้อยกว่างานวิจัยเรื่อง “การใช้เพอร์ไลต์เป็นสารตัวเติมชนิดดูดซับกลิ่นในยางคงรูป” ที่ใส่สารตัวเติมเพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียวและมีปริมาตรที่สูญเสียไปประมาณ 455mm^3 (ฐิตินันท์ และคณะ 2555)

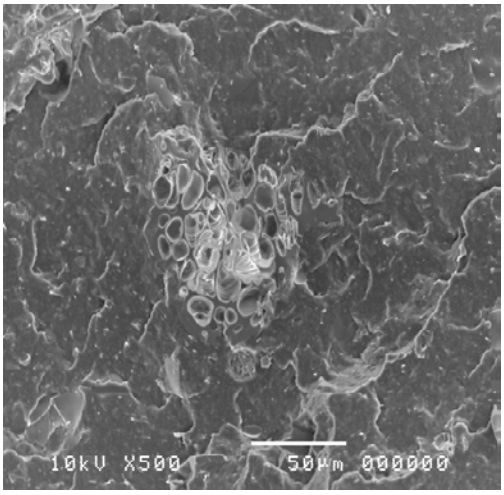


ภาพที่ 7 ผลการทดลองของปริมาตรที่สูญเสียไปของยางคงรูปแต่ะชนิด

เมื่อนำเอาตัวอย่าง HP30 ไปตรวจดูการกระจายตัวของสารตัวเติมภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพที่ 8 (c) พบว่าการกระจายของสารตัวเติมดี ดังนั้นผลการทดลองของค่าความทนแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด ความทนทานต่อการสึกหรอ เมื่อปริมาณเพอร์ไลต์เพิ่มขึ้น จึงน่าจะเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างเพอร์ไลต์และยางไม่ดี



(a) (b)



(c)

ภาพที่ 8 ภาพถ่าย SEM (a) แสดงลักษณะพื้นผิวของเพอร์ไลต์ที่มีโพรงและรูพรุน ผิวเปิด ไม่เรียบ (b) ยางคงรูปสูตร Control (c) ยางคงรูปสูตร HP30

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง ต้นทุนเป็นสิ่งสำคัญจึงได้ปรับสูตร HP30 ให้มีราคาถูกลงโดยปรับสารป้องกันการเสื่อมสภาพจาก CPL เป็น 6PPD อีกทั้ง 6PPD มักทำให้ยางเปลี่ยนสี จึงมักใช้กับยางคอมพาวนด์ที่มีส่วนผสมของเขม่าดำ ได้สูตรตามตารางที่ 9 และผลค่าความแข็งตามตารางที่ 10 ซึ่งค่าที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก 947-2533 ชั้นคุณภาพ 1, 2, 3 และ 4

ตารางที่ 9 สูตรที่ปรับใหม่ให้ราคาถูกลงและเหมาะกับยางสูตรที่มีเขม่าดำ

Ingredients (phr)	NR/STR 20	S	Stearic acid	ZnO	CBS	TMTD	6PPD	Si	Carbon black	Perlite
HP30	100	2.5	2	4	1	0.8	1	5	30	30

ตารางที่ 10 ค่าความแข็งของยางคงรูปที่ปรับสูตรให้ราคาถูกลงโดยใช้สารป้องกันเสื่อมสภาพเป็น 6PPD

Vulcanized rubber	Hardness before aging (H)	Hardness after aging (HA)	ΔH= (HA-H)	TIS 947-2533
Control	45.5±0.2	47.1±0.1	1.6	Fail
HP30	71.4±1.5	73.4±0.3	2.0	PASS Grade 1-4

2. ศึกษาผลของชนิดของยางต่อสมบัติเชิงกลบางประการในยางคงรูปที่ผสมด้วยเพอร์ไลต์และเขม่าดำ

เมื่อพบว่ายางคงรูปสูตร HP30 มีสมบัติเชิงกลผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. จึงได้ทดลองแปรชนิดของยาง เป็น STR20, RSS3 และ Skim block ได้ผลตามตารางที่ 11 และ 12 พบว่ายางคงรูปที่ผ่านมอก.มีเพียงสูตรที่ใช้ STR20 และ RSS3 เพราะค่าความแข็งตามมาตรฐาน มอก. 947-2533 (ISO48) ต้องอยู่ในช่วง 65-75 อาจเป็นเพราะกระบวนการเตรียมยางดิบทั้งสามชนิดแตกต่างกัน ปริมาณสิ่งสกปรกต่างกัน โดยปริมาณสิ่งสกปรกของยางดิบแสดงในตารางที่ 4 พบว่า STR 20 มีมากที่สุด รองลงมาคือ RSS3 และ Skim block ยาง Skim block แข็งกว่ามาตรฐาน

เมื่อพิจารณาเกณฑ์ค่าความแข็งสูตร STR20-HP30 ผ่านเกรดถึง 1-4 แต่เมื่อพิจารณาเกณฑ์ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดก่อนและหลังบ่มเร่ง ทำให้สูตร STR20-HP30 ผ่านเพียงเกรด 1-2 ส่วน RSS3-HP30 ผ่านเกรดถึง 1-3 และเมื่อทดสอบการพับงอเฉพาะสูตรที่ผ่านมาตรฐานแสดงดังภาพที่ 9 ยางคงรูปสูตร STR20-HP30 ไม่แตกร้าวทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง

ตารางที่ 11 ค่าความแข็งของยางคงรูปที่ใส่สารป้องกันการเสื่อมสภาพ 6PPD

Vulcanized rubber	Hardness before aging (H)	Hardness after aging (HA)	ΔH= (HA-H)	TIS 947-2533
Control STR20	45.5±0.2	47.1±0.1	1.6	Fail
STR20-HP30	71.4±1.5	73.4±0.3	2.0	PASS Grade 1-2
Control RSS3	46.4±1.0	49.4±0.3	3.0	Fail
RSS3-HP30	74.1±0.9	75.6±1.0	1.2	PASS Grade 1-3
Control SKIM BLOCK	50.7±1.0	59.2±0.3	8.5	Fail
SKIM BLOCK-HP30	83.2±0.4	83.5±1.1	2	Fail

ตารางที่ 12 ผลของการแปรชนิดของยางต่อสมบัติเชิงกลบางประการในยางคงรูป

Vulcanized rubber	STR20-HP30	RSS3-HP30	SKIM BLOCK-HP30
Before aging: Tensile strength (MPa)	8.1±0.1	10.4±0.7	8.5±0.1
%Elongation at break	205±20	232±13	174±3
Tear strength, T (kN/m)	15.4±2.4	22.8±1.2	18.7±1.1
Tension set	2.7% (<15%)	<15%	NA
After aging: Tensile strength (MPa)	7.6±0.9	8.6±1.0	8.3±0.3
%Elongation at break	171±20	192±6	147±4
Tear strength, TA (kN/m)	14.2±2.9	17.2±0.4	16.0±0.5
%ΔT (<25%)	11.7	24.5	14.4

NA-ไม่ได้ทดสอบเนื่องจากยางคงรูปมีสมบัติไม่ผ่าน มอก.947-2533

(a)

(b)

ภาพที่ 9 จากสูตรตารางที่ 11 แสดง (a) ตัวอย่าง HP30 ที่ผ่านการพับงอก่อนการบ่มเร่ง และ (b) ตัวอย่าง HP30 ที่ผ่านการพับงอหลังการบ่มเร่ง

4 ผลของประสิทธิภาพการลดกลิ่นของยางคงรูปที่ผ่าน มอก.

การตรวจวัดกลิ่นด้วยวิธีการดมกลิ่นแสดงในตารางที่ 13 จะเห็นว่าสูตร HP30 ที่ใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำมีกลิ่นรุนแรงน้อยกว่าที่ไม่ได้ใส่ เมื่อนำไปทดสอบเพิ่มเติมด้วยเทคนิค GC-MS พีคแสดงองค์ประกอบกลิ่นแสดงในภาคผนวก และองค์ประกอบกลิ่นแสดงดังในตาราง ที่ 14 และ 15

ตารางที่ 13 ความรุนแรงของกลิ่นที่ยางคงรูปแต่ละชนิด

Rubber vulcanizates	Ordour scale
STR20-Control	3
STR20-HP30	**2**
RSS3-Control	3
RSS3-HP30	**1**

ตารางที่ 14 แสดงองค์ประกอบกลิ่นของยางคงรูปสูตร STR20-Control ที่ผสมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ 6PPD

Retention time	Odour Composition	Average relative peak area (%)
4.807	Methyl valerate	100.00
11.402	1-2-phenyl-1,2-propanediol	96.28
13.576	Cyclopentasiloxane, decamethyl	48.74
14.401	Napthalene	65.27
14.749	2-piperidinone	256.0-
15.708	Benzothiazole	2991.72
16.004	Cyclohexane, isothiocyanato	2357.07
16.570	Formamide, N-cyclohexyl-	23.75
17.172	Benzene, pentamethyl	29.47
17.556	Naphthalene, 1-methyl	161.20
19.413	2(3H)-Furanone, dihydro-5-pentyl-19.413	19.78
19.932	Benzenamine, N-(2,2-dimethylpropyl)-N-me	168.27
20.082	1H-Indole, 4-methyl	92.68
22.848	Pentadecane	228.37
23.414	Butanoic acid	69.77
26.797	Benzeneacetic acid	28.12

จากตารางที่ 14 เป็นองค์ประกอบกลิ่นของยางสูตร STR20-Control จะพบ Methyl valerate ประมาณนาทีที่ 4 ซึ่งเป็นของสารละลายมาตรฐาน โดยรายงานพื้นที่ใต้พีคขององค์ประกอบอื่นๆ เทียบกับพื้นที่ใต้พีคสารละลายมาตรฐาน โดยให้พื้นที่ใต้พีคสารละลายมาตรฐานคิดเป็น 100% จากตารางที่ 14 ยังพบ Bensothiazole ที่ประมาณนาทีที่ 15.7 ใกล้เคียงงานของฐิตินันท์และคณะ (2555) ส่วนองค์ประกอบอื่นๆ แตกต่างจากงานดังกล่าวเนื่องจากมีสูตรที่ต่างกัน สำหรับ Benzenamine ที่เจอในนาทีที่ 19 อาจเป็นของ 6PPD องค์ประกอบอื่นที่เจอเป็นกลุ่ม Alcohol, Ketone, Aromatic alkane, และ กรด Carboxylic acid เป็นต้น ส่วนตารางที่ 15 แสดงพีคองค์ประกอบกลิ่นของยางคงรูปใส่สารตัวเติมผสมเพอร์ไลต์และเขม่าดำสูตร HP30 พบพื้นที่พีคสัมพัทธ์ขององค์ประกอบกลิ่นเหล่านี้ลดลง

- Benzothaizole ลดจาก 2991 เหลือ 332
- Cyclopentasiloxane, decamethyl ลดจาก 45 เหลือ 14
- Cyclohexane, isothiocyanato ลดจาก 2357 เหลือ 409

ตารางที่ 15 แสดง องค์ประกอบกลิ่นของยางคงรูปสูตร STR20-HP30 ที่ผสมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ 6PPD

Retention time	Odour Composition	Average relative peak area (%)
4.53	Methyl valerate	100.00
13.60	Cyclopentasiloxane, decamethyl	14.07±3.2
15.58	Benzothiazole	332.8±392.7
15.83	Cyclohexane, isothiocyanato	409.31±5.0

องค์ประกอบกลิ่นของ RSS3-Control และ RSS3-HP30 แสดงในตารางที่ 19 พีคของ Methyl valerate ปรากกฏที่ประมาณนาทีที่ 4.33 ใน Control และพบที่ 6.44 ส่วนพื้นที่สัมพัทธ์ของพีคองค์ประกอบกลิ่น Benzothiazole ลดลงจาก 426 เป็น 6 โดย T.Rattnaplome et. al. (2015) ได้อธิบายไว้ว่าเพอร์ไลต์ดูดซับกลิ่นได้ดีอาจเป็นเพราะพื้นผิวเปิด ขรุขระ มีรูพรุน และหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวเกิดพันธะไฮโดรเจนกับอิเล็คตรอนคู่โดดเดี่ยว (Lone pair electron) ของไนโตรเจนใน Benzothiazole

ตารางที่ 16 แสดง องค์ประกอบกลิ่นของยางคงรูปสูตร RSS3-HP30 ที่ผสมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ 6PPD

Rubber vulcanizates	Retention time	Odour Composition	Average relative peak area (%)
RSS3-Control	4.33	Methyl valerate	100.00
	15.77	Benzothiazole	426.15±577.9
RSS3-HP30	6.44	Methyl valerate	100.00
	16.31	Benzothiazole	6.92±8.5

5. วิเคราะห์ต้นทุนและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการกับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาด

จากราคายางและสารเคมีในตารางที่ 2 สามารถคำนวณราคาสูตรที่ผ่าน มอก. 947-2533 ตามรายละเอียดที่แสดงในภาคผนวกพบว่า

- ยางสูตร STR20-HP30 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ 80.68 บาท
- ยางสูตร RSS3-HP30 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ 85.46 บาท
- ยางปูพื้นรถยนต์ราคาถูก หนัก 0.4kg ราคา 200 บาท คิดเป็นกิโลกรัมละ 500.00 บาท
- ยางปูพื้นรถยนต์ราคาแพง หนัก 0.8kg. ราคา 1,245 บาท คิดเป็นกิโลกรัมละ 1,556.25 บาท

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการกับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาดพบว่ามีสูตร STR20-HP30 และ RSS3-HP30 ผ่าน มอก. 947-2533 ดังแสดงในตารางที่ 17 โดยที่ยางปูพื้นรถยนต์ทางการค้าราคาถูกมีค่าความแข็งสูงกว่า

มาตรฐาน คุณภาพต่ำ และกลิ่นเหม็นรุนแรงที่สุด ส่วนยางปูพื้นรถยนต์ทางการค้าราคาแพงมีค่าความแข็งต่ำกว่ามาตรฐาน ความยืดหยุ่นสูง กลิ่นไม่เหม็น

ตารางที่ 17 ตารางเปรียบเทียบสมบัติบางประการกับยางปูพื้นรถยนต์ทางการค้า

ชนิดยางคงรูป	STR20-HP30	RSS3-HP30	ยางปูพื้นรถยนต์ทางการค้าราคาถูก	ยางปูพื้นรถยนต์ทางการค้าราคาแพง
ลักษณะกลิ่น	กลิ่นเจือจาง ไม่เหม็น Ordour scale= 2	กลิ่นเจือจาง ไม่เหม็น Ordour scale= 1	กลิ่นเหม็นรุนแรง Odour scale= 4	กลิ่นเจือจาง ไม่เหม็น Odour scale= 2
สมบัติก่อนบ่มเร่ง o ความแข็ง o การพับงอ	 71.4±1.5 ไม่แตกร้าว	 74.1±0.9 ไม่แตกร้าว	 87.8±0.4 ไม่แตกร้าว	 41.2±0.5 ไม่แตกร้าว
สมบัติหลังบ่มเร่ง o ความแข็ง o การพับงอ	 73.4±0.3 ไม่แตกร้าว (ภาพที่ 9)	 75.6±1.0 ไม่แตกร้าว	 88.4±0.2 ไม่แตกร้าว (ภาพที่ 10)	 48.1±0.2 ไม่แตกร้าว (ภาพที่ 11)
การยืดตัวเนื่องจากแรงดึง (tension set)	<15%	<15%	ทดสอบไม่ได้ ดึงแล้วขาด	0%
เกณฑ์มอก.947-2533	PASS	PASS	FAIL	FAIL

(a)

(b)

ภาพที่ 10 แสดงผลการทดสอบการพับงอของยางปูพื้นรถยนต์ราคาถูก (a) ก่อนบ่มเร่ง (b) หลังบ่มเร่ง

(a) การพับงอก่อนบ่มเร่ง

(b) การพับงอหลังบ่มเร่ง

ภาพที่ 11 แสดงผลการทดสอบการพับงอของยางปูพื้นรถยนต์ราคาแพง (a) ก่อนบ่มเร่ง (b) หลังบ่มเร่ง

บทที่ 5 สรุป

- เพอร์ไลต์มีออกไซด์ของโลหะทำให้ Scorch time สั้นลง แต่เพอร์ไลต์มีพื้นผิวเป็นไซลานอลทำให้เวลาในการคงรูปนานขึ้น ดังนั้นสารตัวเติมผสมจึงมีอิทธิพลจากซิลิกา และเพอร์ไลต์ที่ทำให้เวลาในการคงรูปช้าลง แต่เขม่าดำทำให้เวลาในการคงรูปเร็วขึ้น
- การใส่สารตัวเติมทำให้ค่าความแข็ง และความทนแรงดึงเพิ่มขึ้น โดยที่เพอร์ไลต์มีอิทธิพลการเสริมแรงน้อยกว่าเขม่าดำ เพราะเพอร์ไลต์มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่าเขม่าดำ ส่วนการใส่สารตัวเติมทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดลดลง แต่เพอร์ไลต์ยังคงทำให้ยางคงรูปคงสภาพความยืดหยุ่นแบบยางได้ดีกว่าเขม่าดำ
- สูตรที่ใส่สารตัวเติมผสมจะมีค่าความแข็ง ความทนแรงดึง และความทนทานต่อการฉีกขาด สูงกว่าที่ใส่เพอร์ไลต์เพียงชนิดเดียว
- เมื่อยางคงรูปผ่านการบ่มเร่งที่ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าค่าความแข็ง และมอดุลัสที่ 100% เพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณเพอร์ไลต์สูงถึง 30phr ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่มอดุลัสที่ 100% ลดลง และยางคงรูปทุกสูตรมีค่าความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด และความทนทานต่อการฉีกขาดลดลง เมื่อผ่านการบ่มเร่ง
- การเติมสารตัวเติมทำให้ความทนทานต่อการสึกหรอลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติมเพอร์ไลต์
- เมื่อแปรชนิดยางเป็นยางแผ่นรมควันชั้นที่ 3 และยางสกิมบล็อค พบว่าสูตรยางคงรูป HP30 จาก ยางธรรมชาติ STR20 และ RSS3 ที่ผ่าน มอก.947-2533 นั่นคือสูตรที่มีการเติมสารตัวเติมผสมเพอร์ไลต์ 30phr เขม่าดำ 30phr
- จากการทดสอบประสิทธิภาพการลดกลิ่นด้วยการดมกลิ่นพบว่าการใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้กลิ่นเจือจางลง และจากการทดสอบโดยเทคนิค GC-MS พบว่าการใส่สารตัวเติมผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเขม่าดำทำให้พื้นที่พีคสัมพัทธ์ขององค์ประกอบกลิ่นที่สำคัญอย่าง Bensothiazole ลดลง

- เมื่อคำนวณราคาสูตรที่ผ่าน มอก. 947-2533 พบว่ายางสูตร STR20-HP30 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ 80.68 บาท ส่วนยางสูตร RSS3-HP30 ราคาคิดเป็นกิโลกรัมละ 85.46 บาท และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการกับยางปูพื้นรถยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาดพบว่ามีสูตร STR20-HP30 และ RSS3-HP30 ที่ผ่าน มอก. 947-2533

แหล่งอ้างอิง

- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ “เพอร์ไลต์(Perlite)” วิธีสืบค้นวัสดุสารสนเทศ [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.dpim.go.th/articles/ (วันที่ค้นข้อมูล: 9 ธันวาคม 2554)
- จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิชย์. 2553 สารที่ก่อให้เกิดกลิ่นในยางธรรมชาติ”วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง. ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 มกราคม-มีนาคม
- จริยาภรณ์ เสาร์ทอง ศุภกร อุทธารนิช สาโรจน์ เทพคุณ “การผลิตแผ่นยางดูดกลิ่น (Processing an odor Absorbing Rubber)”. ทุนวิจัยปริญญาตรี ปี 2552 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- ฐิตินันท์ รัตนพรหม พิไลวรรณ พรประสิทธิ์ นภัสถ์ จันทร์มี 2554 “การศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมชนิดดูดซับกลิ่นต่อสมบัติเชิงกลของยางคงรูป”คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.
- พงษ์ธร แซ่อุย. 2550“กระบวนการผลิตและการทดสอบ” พิมพ์ครั้งที่ 1.ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).
- พงษ์ธร แซ่อุย. 2550 “สารเคมียาง” พิมพ์ครั้งที่ 2. ปทุมธานี. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).
- พลชิต บัวแก้ว ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล จักรี เลื่อนราม 2549 รายงานวิจัยเรื่อง ”การจัดทำมาตรฐานระบบควบคุมคุณภาพทางวิทยาศาสตร์ยางแผ่นรมควันไทย” สถาบันวิจัยยาง
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางปูพื้นรถยนต์ มอก.947-2533 สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2550 “การประเมินคุณภาพอาหารโดยประสาทสัมผัส” ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.
- I. Surya, H. Ismail, A. R., Azura, 2013 “Alkanamide as an accelerator, filler-dispersant and a plasticizer in silica-filled natural rubber compounds” Polymer Testing, 32, 1313-1321
- J. L. Leblance,2002 “Rubber-filler interactions and rheological properties in filled compounds” Progress in Polymer Science, 27, 627-687
- M. Dogan, M., Alkan, Y. Onganer , 2000 “Some physicochemical properties of perlite as an adsorbent” Water, Air, and Soil Pollution, 120, 229-248
- N. Rattanasom, T. Saowapark and C. Deeprasertkul, 2007 “Reinforcement of natural rubber with silica/carbon black hybrid filler”, Polymer Testing, 26, 369-377
- N. Rattanasom and S. Prasertsri, 2009, “Relationship among mechanical properties, heat aging resistance, cut growth behavior and morphology in natural rubber: Partial replacement of clay with various types of carbon black at similar hardness level”, Polymer Testing, 28, 270-276

- N. Rattanasom and S. Prasertsri, 2012 “Mechanical properties, gas permeability and cut growth behavior of natural rubber vulcanizates: Influence of clay types and clay/carbon black ratios, Polymer Testing, 31, 645-653
- S. Attharangsan, H. Ismail, M. A. Baker, and J. Ismail, 2012 “The effect of rice husk powder on standard Malaysian natural rubber grade L (SMR L) and epoxidized naturl rubber (ENR 50) composites, Polymer-Plastics Technologgy and Engineering, 51, 231-237
- S. Manikandan, 2011 “Measures of central tendency: Median and mode”, J Pharmacol Pharmacother. Jul-Sep; 2(3): 214–215.
- S. Moonchai and D. Moonchai, 2013, “Modelling and optimization of rebound resilience and hardness of defatted rice bran/calcium carbonate-filled NR vulcanisates” Polymer Testing, 32, 1472-1478
- T. Rattanaplome, S. Kajitpeatjarat, S. Ariya and N. Chantaramee, 2013 “ Effect of Odor-adsorbing Fillers on Mechanical Properties of Natural Rubber Vulcanizates” The Journal of Interdisciplinary Networks. 2 (2), 215-222
- T.Rattanaplome, P. Pornprasit and N. Chantaramee, 2015, “The potential of perlite as an odor-adsorbing fillers in natural rubber vulcanizates”, 354, issue 1, 197-206
- V. P. Hoven, K. Rattanakarun, and Y. Tanaka, 2004 “Reduction of Offensive Odor from Natural Rubber by Odor-Reducing Substances” Journal of Applied Polymer Science, 92, 2253–2260

รหัสโครงการ	R	D	G	5	7	5	0	0	9	3

การรายงานการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

๑. **ชื่อโครงการ** การปรับปรุงสมบัติเชิงกลในยางคงรูปลดกลิ่นโดยใช้สารตัวเติมผสม

๒. **ชื่อนักวิจัย**.ผศ.ดร.ฐิตินันท์ รัตนพรหม

๓. **งบประมาณที่ได้รับการสนับสนุน**...๓๕๐,๐๐๐..บาท

๔. **ปีงบประมาณที่ดำเนินการ** ๒๕๕๗

๕. **การนำผลผลิตจากงานวิจัยไปสู่การใช้ประโยชน์ ☑ มีการนำไปใช้ประโยชน์ ☐ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์**

๖. **ช่วงเวลาที่งานวิจัยได้นำไปสู่การใช้ประโยชน์**. ๒๙ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๙

๗. **เป้าหมายดำเนินการ** ... การอบรมให้ความรู้การพัฒนายางคงรูปที่มีกลิ่นเจือจางให้แก่ สหกรณ์กองทุนสวนยางเวียงฝาง จำกัด อ. ฝาง จ.เชียงใหม่ และนักเทคโนโลยียางในสถานประกอบการด้านอุตสาหกรรมยางในวันที่ 29 กุมภาพันธ์ ๒๕๕๙

๘. **พื้นที่การใช้ประโยชน์** อ.ฝาง เชียงใหม่ และสถานประกอบการด้านอุตสาหกรรมยาง ที่ตั้งอยู่ในระยอง หรือชลบุรี

๙. **รูปแบบการใช้ประโยชน์จากงานวิจัยตามข้อ ๗ และ ๘** (สามารถเลือกได้มากกว่า ๑ รูปแบบ เนื่องจากถ้าเป็นเรื่องเดียวกันสามารถนำไปใช้มากกว่า ๑ มิติได้)

☐ **๙.๑. การใช้ประโยชน์มิตินโยบาย ได้แก่ การนำข้อมูลไปประกอบการตัดสินใจในการบริหาร / กำหนดนโยบาย โดย**

- ◯ ได้รับหนังสือขอข้อมูลเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง
- ◯ ได้รับหนังสือเรียนเชิญให้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจ / กำหนดนโยบาย
- ◯ อื่นๆ(โปรดระบุ).....

☐ **๙.๒. การใช้ประโยชน์มิติเศรษฐกิจ / พาณิชย์ โดย**

- ◯ ได้รับหนังสือหรือหลักฐานอื่น แสดงความสนใจเพื่อเจรจาธุรกิจ
- ◯ มีการซื้อ – ขาย เทคโนโลยีระหว่างนักวิจัยและผู้นำไปใช้ประโยชน์
- ◯ อื่นๆ(โปรดระบุ).....

☑ **๙.๓. การใช้ประโยชน์มิติการพัฒนาสังคม / ชุมชน / ท้องถิ่น โดย**

- ◯ **x**การถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้รับจากงานวิจัยในชุมชน / ท้องถิ่น (อบรม , คู่มือ , แผ่นพับ , โปสเตอร์ , เว็ปไซต์ ฯลฯ)
- ◯ ได้รับหนังสือเรียนเชิญให้ความรู้จากชุมชน / องค์กร / หน่วยงานในพื้นที่ต่างๆ
- ◯ อื่นๆ(โปรดระบุ).....

☐ **๙.๔. การใช้ประโยชน์มิติวิชาการ โดย**

- ◯ ได้มีการอ้างอิงผลงานที่ตีพิมพ์วารสารวิชาการระดับประเทศ / ระดับนานาชาติ
- ◯ ได้รับหนังสือเรียนเชิญเป็นวิทยากรเพื่อให้ความรู้ในกรอบของผลงานวิจัยจากหน่วยงานต่างๆ
- ◯ อื่นๆ(โปรดระบุ).....

หมายเหตุ : การรายงานการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ ต้องสื่อให้ทราบถึงการนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์อย่างชัดเจน ดังนั้นต้องแนบเอกสารเป็นหลักฐาน เช่น รูปถ่าย หนังสือเชิญ หนังสือแสดงความต้องการหรือเอกสารที่แสดงได้ว่ามีการนำผลงานไปใช้จริง

๑๐. **รายละเอียดผลการดำเนินงานตามข้อ ๙ เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการนำผลผลิตจากงานวิจัยไปใช้อย่างไร**
ยังไม่มี

๑๑. **รูปภาพประกอบกิจกรรมหรือ รูปภาพแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบก่อน – หลังการนำผลผลิตจากงานวิจัยไปใช้ประโยชน์** (พร้อมคำบรรยายกิจกรรมโดยย่อย ที่แสดงถึงวัน เดือน ปี ที่จัดกิจกรรม)

ในวันที่ ๒๙ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๙ ทางนักวิจัยได้ร่วมกับสาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ได้ให้การอบรมการแปรรูปยางให้แก่กลุ่มสหกรณ์กองทุนสวนยางเวียงฝาง จ.เชียงใหม่ โดยจัดอบรมเชิงปฏิบัติการโดยนำสูตร STR20-HP30 ไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ไม้ปาดน้ำยาง แผ่นกันลื่นกลิ่นเจือจาง และพื้นรองเท้า ดังเอกสารแนบ และภาพถ่าย

หมายเหตุ : การรายงานการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ ต้องสื่อให้ทราบถึงการนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์อย่างชัดเจน ดังนั้นต้องแนบเอกสารเป็นหลักฐาน เช่น รูปถ่าย หนังสือเชิญ หนังสือแสดงความต้องการหรือเอกสารที่แสดงได้ว่ามีการนำผลงานไปใช้จริง

หมายเหตุ : การรายงานการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ ต้องสื่อให้ทราบถึงการนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์อย่างชัดเจน ดังนั้นต้องแนบเอกสารเป็นหลักฐาน เช่น รูปถ่าย หนังสือเชิญ หนังสือแสดงความต้องการหรือเอกสารที่แสดงได้ว่ามีการนำผลงานไปใช้จริง

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร
รับที่ 061
วันที่ 27 ม.ค. 2559
เวลา 11.30 น.

สหกรณ์กองทุนสวนยางเวียงฝาง จำกัด

เลขที่ 269 หมู่ที่ 9 ตำบลสันทราย อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ 50110 โทร. 053-346413 , 081-7063171

.....

ที่. 2558/0101

วันที่ 25 มกราคม 2558

เรื่อง ขอรับการสนับสนุนด้านวิชาการงานแปรรูปผลิตภัณฑ์จากยางพารา

เรียน คณบดีคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. น้ำยางพาราข้น 60% จำนวน 20 ลิตร

2. สำเนาทะเบียนสหกรณ์ กองทุนสวนยางเวียงฝาง จำกัด

สหกรณ์ กองทุนสวนยางเวียงฝาง จำกัด มีสมาชิกประมาณ 200 ครัวเรือน พื้นที่ปลูกยางพารา ประมาณ 2,000 ไร่ ปัจจุบันมีผลผลิตประมาณปีละ 200 ตัน ในรอบปีที่ผ่านมาสหกรณ์ฯรวมถึงสมาชิก ต่างก็ประสบปัญหาราคายางพาราตกต่ำจนมีผลกระทบต่อมาตรฐานการครองชีพและฐานะทางเศรษฐกิจสังคม คณะกรรมการสหกรณ์ได้ร่วมปรึกษาหารือเพื่อหาวิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าว จนได้มติร่วมกันที่จะขอรับการสนับสนุนด้านวิชาการ การแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางพาราจาก คณะวิศวกรรม และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วัตถุดิบที่สหกรณ์ฯ มีอยู่ได้แก่ น้ำยางพาราข้น 60% ยางแผ่น และยางก้อน ในเบื้องต้นนี้ สหกรณ์ฯ ต้องการแปรรูปผลิตภัณฑ์ เช่น หมอนยางพารา ที่นอนยางพารา ตุ๊กตายางพารา แผ่นกันลื่นในห้องน้ำ รวมถึงการทำกระถางต้นไม้ หรือถังขยะ เป็นต้น

สำหรับรูปแบบการถ่ายทอดวิชาการ ขอให้เป็นไปตามความเหมาะสมของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เพียงขอให้ผู้เข้าร่วมอบรมในครั้งนี้ มีความรู้ความสามารถเพียงพอที่จะประกอบอาชีพการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางพาราได้จริง

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

(นายพรเลิศ กำวินจันทร์)

ประธานสหกรณ์

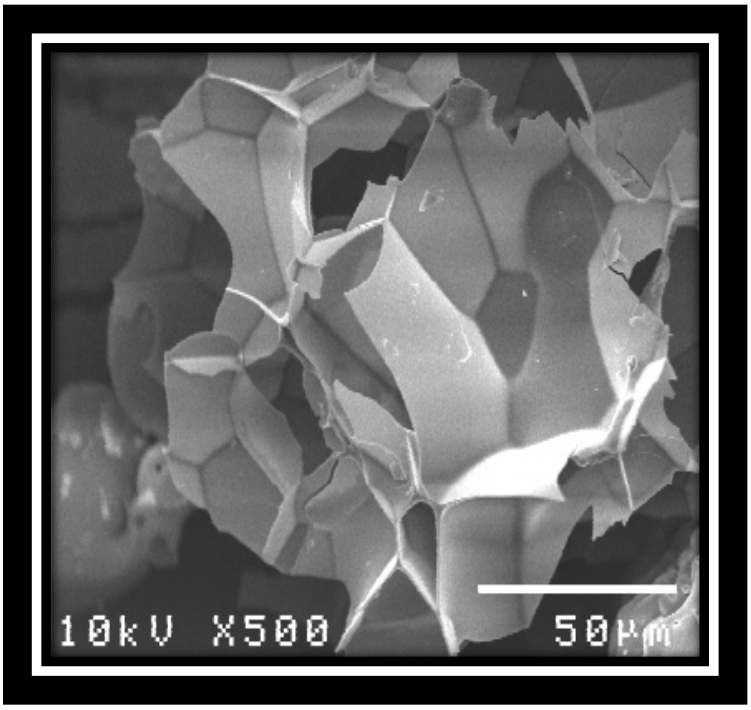
สหกรณ์กองทุนสวนยางเวียงฝาง จำกัด
ความซื่อสัตย์ คุณภาพ

<u>บทความเผยแพร่งานวิจัยเรื่อง การปรับปรุงสมบัติเชิงกลในยางคงรูปลดกลิ่นโดยใช้สารตัวเติมผสม</u>

จัดทำโดย ผศ.ดร.ฐิตินันท์ รัตนพรหม ดร.วรวรรณ เพชรอุไร และดร. นภัสถ์ จันทร์มี

สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร

ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติมักมีกลิ่นเหม็น เป็นที่รำคาญต่อผู้ปฏิบัติงานและพื้นที่ใกล้เคียง กลิ่นที่รุนแรงนั้นอาจเกิดจากการย่อยสลายที่ไม่สมบูรณ์ของส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยางเช่น คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนเป็นต้น รวมถึงอาจเกิดจากสารเคมีที่ใส่เข้าไปในยาง



รูปที่ 1 แสดงพื้นผิวที่มีรูพรุนของเพอร์ไลต์

ทางทีมงานวิจัยจึงได้นำเอาสารตัวเติมที่มีสมบัติดูดซับกลิ่นทำให้กลิ่นของผลิตภัณฑ์ยางที่ได้มีกลิ่นไม่รุนแรง และสารตัวเติมนั้นราคาถูก สารตัวเติมนั้นคือ เพอร์ไลต์ซึ่งเป็นสารที่มีรูพรุน เพอร์ไลต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นหินภูเขาไฟที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง และมีออกไซด์ของซิลิกาองค์ประกอบหลัก ราคาเพอร์ไลต์กิโลกรัมละประมาณ 15 บาท นอกจากนั้นยังมีการปรับสูตรยางให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งสูตรยางนี้จะมีราคาประมาณกิโลกรัมละ 59 บาท (คิดโดยไม่รวมค่าแรง)

ตารางที่ 1 สูตรยางคอมพาวนด์ที่มีความแข็งแรงและกลิ่นเจือจาง

สารเคมี	ยางแท่ง STR 20	S	Stearic acid	ZnO	CBS	TMTD	6PPD	ซิลิกา	เขม่าดำ	เพอร์ไลต์
Phr	100	2.5	2	4	1	0.8	1	5	30	30

เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของยางคงรูปที่ผสมสูตรตามตารางที่ 1 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2 และเมื่อทดสอบประสิทธิภาพการลดแกลิ่นโดยใช้บุคคลดม และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่ายางคงรูปมีกลิ่นเจือจาง และลดลง และพบว่ายางคงรูปที่ได้มีพื้นที่พีคสัมพัทธ์ขององค์ประกอบกลิ่นที่สำคัญอย่าง Bensothiazole ลดลงจากที่ไม่ใส่เพอร์ไลต์

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติเชิงกลของยางคงรูปก่อนและหลังบ่มเร่งที่ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

สมบัติเชิงกล	**สมบัติก่อนการบ่มเร่ง**	**สมบัติหลังการบ่มเร่ง**
ความแข็ง (IRHD)	71.4	73.4
ความทนแรงดึง (เมกะพาสคาล)	8.1	7.6
ร้อยละการยืดที่จุดแตกหัก	205	171
ความต้านทานต่อการฉีกขาด (กิโลนิวตัน/เมตร)	15.4	14.2

*หมายเหตุ เอกสารนี้ทำเพื่อการเผยแพร่การอบรมในวันที่ **29** ก.พ. **2559** เนื้อหาไม่สามารถใช้เป็นแหล่งอ้างอิงได้ ผลการทดลองบางส่วนคัดย่อจากโครงการสัญญาเลขที่**RDG**5750093 ทางผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ผู้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัย หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม โปรดติดต่อ **tithinun@mju.ac.th** หรือ 0810262588*