รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา
คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้”

โดย ฐิตินันท์ และคณะ

เมษายน 2557

สัญญาเลขที่ RDG5550069

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการเรื่องการใช้เพอร์ไลต์เป็นสารตัวเติม ชนิดดูดซับกลิ่นในยางคงรูป

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ผศ.ดร.ฐิตินันท์ รัตนพรหม	สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. ดร.พิไลวรรณ พรประสิทธิ์	สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
3. ดร.นภัสถ์ จันทร์มี	สาขาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช. สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

บทคัดย่อ	1
ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง	1
วัตถุประสงค์	3
วิธีการ	3
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	5
สรุปผล	16
ข้อเสนอแนะ	17
เอกสารอ้างอิง	17

Abstract: Perlite, carbon black and clay were used as odor-adsorbing fillers and mixed with highly odorous STR20 and RSS. Filler content was varied at 0, 10, 20 and 30 phr. The ability to reduce odor by sensory method and GC-MS were examined. Mechanical properties, such as tensile strength, hardness, rebound resilience, abrasion resistance, and heat aging resistance were investigated. The results showed that the addition of perlite and carbon black could reduce odor. The odor reduction efficiency increased with increasing filler content. Vulcanizates with 30 phr perlite showed the best order reduction efficiency. From GS-MS data, vulcanizates with 30 phr perlite showed the reduction of peak area of ethanone, phenol, tetradecane, naphthalene, thiourea and benzothiazole better than those of carbon black and clay. The addition of perlite showed a decrease in tensile strength, slightly increase in hardness and abrasion resistance, a decrease in heat resistance. Carbon black showed reinforced effect better than those of perlite and clay. Mechanical properties of perlite vulcanizates were found to be comparable to clay vulcanizates. Thus, perlite can be potentially used as cheap and odor-adsorbing filler
.

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

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เป็นการทดลองศึกษาเพอร์ไลต์ เขม่าดำ และเคลย์ เป็นสารตัวเติมที่ช่วยดูดซับกลิ่นในยางธรรมชาติ โดยเลือกยางแท่งเกรด STR20 และยางแผ่นรมควันชั้นคุณภาพที่ 5 เป็นตัวแทนยางธรรมชาติที่มีกลิ่นรุนแรงไม่พึงประสงค์ ประสิทธิภาพการลดกลิ่นของสารตัวเติมวัดโดยใช้บุคคลดม และเทคนิค GC-MS ส่วนสมบัติเชิงกลที่ศึกษาได้แก่ความทนแรงดึง ความแข็ง ความทนต่อการสึกหรอ และความทนทานต่อความร้อน ผลการศึกษาพบว่าเพอร์ไลต์ และเขม่าดำมีประสิทธิภาพการลดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการลดกลิ่นจะเพิ่มขึ้นด้วย ที่ปริมาณสารตัวเติม 30phr ยางคงรูปที่ผสมเพอร์ไลต์มีประสิทธิภาพการลดกลิ่นที่ดีที่สุด จากเทคนิค GC-MS เพอร์ไลต์มีประสิทธิภาพการลดกลิ่น ethanone, phenol, tetradecane, naphthalene, thiourea และ benzothiazole ได้ดีกว่าเขม่าดำ และเคลย์ การเติมเพอร์ไลต์ ทำให้ความทนแรงดึงลดลง ความแข็งและความทนทานต่อการสึกหรอเพิ่มขึ้น ความทนทานต่อความร้อนไม่ดีนัก เขม่าดำเป็นสารตัวเติมที่เสริมแรงดีกว่าเพอร์ไลต์และเคลย์ เพอร์ไลต์มีสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกับเคลย์ แต่ราคาถูก และมีประสิทธิภาพการลดกลิ่นที่ดี

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ เพอร์ไลต์ เขม่าดำ การลดกลิ่น สมบัติเชิงกล

ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

ยางธรรมชาติมีสมบัติเด่นเหนือยางสังเคราะห์หลายประการเช่นความยืดหยุ่น (Elasticity) และความเหนียว (Toughness) สูง แต่ระหว่างกระบวนการผลิตยางแห้งตั้งแต่ขั้นตอนการจับตัวยางจนถึงขั้นตอนที่ได้ยางแห้งออกมานั้นมีผลต่อกลิ่นของยาง โดยเฉพาะยางเกรดต่ำที่ไม่ได้เริ่มจากการจับตัวน้ำยางสดจะมีกลิ่นรุนแรง นอกจากนี้การผลิตผลิตภัณฑ์จากยางแห้งที่ต้องผ่านกระบวนการทางความร้อนทำให้ยางมีกลิ่นฉุนยิ่งขึ้น กลิ่นไม่พึงประสงค์ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศและสร้างความรำคาญให้กับผู้ที่ปฏิบัติงานในโรงงานผลิตยางแห้ง รวมถึงชุมชนที่อยู่บริเวณใกล้เคียง

Vipavee P. Hoven et. al. (2004) ได้ศึกษาการลดกลิ่นเหม็นจากยางธรรมชาติโดยใช้สารลดกลิ่น ได้แก่ CarbonBlack, Chitosan, Enzalkonium Chloride, Sodium Dodecyl Sulfate, Cyclodextrin และ Zeolite13x ปริมาณสารลดกลิ่นที่ใช้คือ 1.5 หรือ 5 phr คณะวิจัยได้ผสมสารตัวเติมเข้าไปในยางธรรมชาติที่มีกลิ่นแรง ได้แก่ STR20 และ RSS5 แล้วนำไปทดสอบกลิ่นโดยเทคนิค Gas Chromatography และ Gas Chromatography/Mass Spectrometry พบว่ากลิ่นที่พึงประสงค์จะมาจา กสารประกอบหลายกลุ่มได้แก่ aliphatic hydrocarbon, aromatic hydrocarbon, อนุพันธ์ของสารประกอบที่มีไนโตรเจน หรือซัลเฟอร์ (derivatives containing N or S) , อัลดีไฮด์ (aldehydes), คีโตน (Ketones) และ กรดไขมันระเหยได้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (volatile fatty acid) ได้แก่ acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butyric acid, isovaleric acid และ valerica acid เป็นต้นคณะวิจัยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวแทนของกรดไขมันระเหยที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ พบว่า Chitosan และ Zeolite13x สามารถลดปริมาณกรดอะซีติกที่มีกลิ่นลงได้อย่างมีนัยสำคัญ Carbon black และ Cyclodextrin มีแนวโน้มลดกลิ่นแต่ไม่มีประสิทธิภาพเท่า Chitosan และ Zeolite13x จึงไม่เหมาะเป็นสารลดกลิ่น จากการทดสอบกลิ่นโดยใช้เทคนิค Olfactometry หรือประเมินผลการลดกลิ่นโดยใช้มนุษย์ พบว่า Chitosan และ Carbon Black สามารถลดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้ดีอย่างไรก็ตามยังไม่ปรากฏการขยายผลวิจัยในเชิงพาณิชย์อาจเป็นเพราะต้นทุนสูง

จิตต์ลัดดา (2553) ได้ศึกษาสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นในยางธรรมชาติโดยอาศัยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟีและแมสเปกโทรสโคปี (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS) จิตต์ลัดดานำยางแท่งและยางเกรดต่าง 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 องค์ประกอบของกลิ่นและสาเหตุการเกิดกลิ่นแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์

องค์ประกอบ	สาเหตุการเกิด
Alcohols, Aldehydes, Carboxylic acids, Hydrocarbons	Lipid oxidation
Volatile fatty acid	Carbohydrate formation
Sulfur containing compound	Amino acid degradation

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในยางธรรมชาติด้วยเพอร์ไลต์ เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันกับยางสังเคราะห์ โดยที่ยังคงสมบัติเด่นทางกลของยางธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่ได้อาจไปผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใกล้ชิดกับผู้บริโภคเช่น ยางปูพื้นรถยนต์ และยางพื้นรองเท้าที่มีกลิ่นเจือจาง งานวิจัยนี้เลือกใช้ยางแท่งเกรด STR 20 และยางแผ่นรมควันชั้น 5 (RSS 5) ซึ่งเป็นตัวแทนของยางธรรมชาติที่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์รุนแรง และใช้สารตัวเติมที่มีรูพรุนมากเพื่อใช้ในการดูดซับกลิ่น โครงงานนี้จึงใช้เพอร์ไลต์ (Perlite) เป็นสารตัวเติมชนิดดูดซับกลิ่น เพราะเป็นหินแก้วภูเขาไฟชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติพิเศษแตกต่างจากแร่ชนิดอื่น ๆ คือ มีรูพรุน เมื่อได้รับความร้อน เพอร์ไลต์จะขยายตัวเพิ่มขึ้น 5-20 เท่า เพอร์ไลต์มีซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักเพอร์ไลต์เป็นตัวนำความร้อนที่เลว เป็นฉนวนที่ดี ทนทานต่อการเผาไหม้และเสียงจะส่งผ่านได้ยาก ปัจจุบันมีการนำเพอร์ไลต์ไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ มากมาย ได้แก่ฝ้า

เพดาน และผลิตภัณฑ์ยิปซัมแผ่นเรียบบางชนิด เป็นฉนวนป้องกันความร้อน ตัวกรอง ตัวดูดซึม และสารปรับสภาพดินได้ เพอร์ไลต์คุณภาพสูงที่ผ่านการเผาแล้วราคา 6,000-12,000 บาทต่อตัน ส่วนเพอร์ไลต์เกรดต่ำสำหรับใช้ในการเกษตรราคา 2,000 บาทต่อตัน ในงานวิจัยนี้จะใช้เพอร์ไลต์ที่ผ่านการเผาแล้ว

วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ของยางธรรมชาติโดยใช้เพอร์ไลต์
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลบางประการในยางคงรูปที่ผสมด้วยเพอร์ไลต์

วิธีการ

1. ศึกษาการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในยางธรรมชาติ

   1.1 ศึกษาสมบัติของเพอร์ไลต์ เช่น องค์ประกอบทางเคมี ขนาด และพื้นที่ผิวจำเพาะเป็นต้น

   1.2 การผลิตยางคงรูป

- ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ยางแผ่น RSS5 และยางแท่ง STR20 ที่มีกลิ่นรุนแรงผสมกับสารตัวเติมในเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) อัดด้วยความร้อน (Compression molding)
- สารเคมีที่ใช้คือ ZnO, Stearic acid, tetramethylthiuramdisulphide (TMTD), dibenzothiozyldisulphide (MBTS), polymer of p-cresol (CPL), Sulphur สูตรการผสมอ้างอิงจาก D.Moonchai et.al.(2012) แสดงในตารางที่ 2
- การแปรปริมาณสารตัวเติมที่ 0, 10, 20, 30 phr โดยสารตัวเติมที่ศึกษาคือสารตัวเติมชนิดดูดซับกลิ่น คือ เพอร์ไลต์ชนิดเผาแล้ว และเขม่าดำ
- การผสมสารเคมีทำโดยการผสมในเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง ลำดับการใส่สารเคมีและระยะเวลาการผสมสารเคมีแสดงดังตารางที่ 3สำหรับยางที่ไม่ได้ใส่สารตัวเติมเวลาผสมสารทั้งหมดประมาณ 12 นาที
- การศึกษาลักษณะการคงรูปของยางธรรมชาติ (Cure characteristics) ทำการทดสอบด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ (Moving die rheometer) ที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที

   1.3 การทดสอบการลดกลิ่น ทำ 2 วิธี คือ

- 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

ตารางที่ 2 สูตรการผสมสารเคมี

Ingredient	Amount (phr)					
	Control	P10	P20	P30	Clay30	CB30
NR	100	100	100	100	100	100
Sulphur	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
TMTD	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
MBTS	1	1	1	1	1	1
CPL	1	1	1	1	1	1
Perlite	-	10	20	30	-	-
Clay	-	-	-	-	30	-
Carbon black	-	-	-	-	-	30

ตารางที่ 3 ลำดับการผสมสารเคมี

ลำดับใส่สาร	สารเคมี	ระยะเวลาการผสมสารเคมี (นาที)
1	NR (STR20 or RSS5)	1
2	ZnO, Stearic acid	11
3	The half of filler	1
4	MBTS, TMTD, CPL	2
5	The rest of filler	2
6	Sulphur	3
	ระยะเวลาการผสมทั้งหมด	20

การทดสอบเริ่มจากคัดเลือกจากคนจำนวน 100 คนเพื่อให้เหลือผู้ที่สามารถจำกลิ่นได้ (semi-trained) 20 คนเท่านั้น โดยจะแบ่งผู้รับการคัดเลือกออกเป็น 5 กลุ่มกลุ่มละ 20 คน จากนั้นก็ให้แต่ละคนดมกลิ่นตัวอย่างด้วยยางแผ่นรมควันชั้นคุณภาพที่ 5 (RSS 5) ปริมาณ 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัม จัดเป็นกลิ่นรุนแรงระดับ 1 ถึง 5 ตามลำดับ ดมกลิ่นซ้ำกันสามครั้ง หลังจากนั้นทำการทดสอบโดยการสุ่มตัวอย่างให้ผู้ทดสอบบอกระดับกลิ่นของยาง ผู้ตอบถูก 7 ครั้งในการสุ่มตัวอย่าง 10 ครั้งจะผ่านการคัดเลือกเข้ารอบการทดสอบกับสูตรยางที่ทำการศึกษาจริง

ผู้ผ่านการคัดเลือกเป็นชาย 10 คน และผู้หญิง 10 คน ที่มีอายุ 15- 40 ปีดำเนินการทดสอบในห้องระบบปิด ผู้ที่เข้ารับการทดสอบเพื่อคัดเลือกจะต้องมีการเตรียมตัวในวันที่มาทำหน้าที่ทดสอบกลิ่นเพื่อเป็นการลดกลิ่นรบกวนดังนี้ ต้องไม่สระผมด้วยแชมพูที่มีกลิ่นแรง ต้องไม่ใช่น้ำหอม แป้งที่มีกลิ่น หรือเครื่องประทินผิวที่มี

กลิ่นหอมต้องไม่รับประทานอาหารที่มีรสจัด ต้องไม่สวมใส่เสื้อผ้าที่ทำจากวัสดุที่มีกลิ่น เช่น หนังสัตว์การปฏิบัติตัวในช่วงเวลาก่อนที่จะทำหน้าที่ทดสอบกลิ่นต้องไม่สูบบุหรี่ห้ามดื่มกาแฟ น้ำชา หรือน้ำโซดาต้องไม่เคี้ยวหมากฝรั่ง หลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารใด ๆ อย่างหนักในช่วงเวลาหนึ่งชั่วโมง ก่อนที่จะทำหน้าที่ประเมินตัดสินเรื่องกลิ่น

ผู้ทดสอบจะต้องดมกลิ่นกาแฟจากเมล็ดกาแฟก่อนทุกครั้งเพื่อเป็นการดับกลิ่นโดยเริ่มจากการดมกลิ่นของสูตรที่ใส่ปริมาณของสารตัวเติมเทียบกับสูตรที่ไม่ได้ใส่สารตัวเติมแล้วให้ผู้ทดสอบให้คะแนนกับกลิ่นของสูตรที่แปรปริมาณสารตัวเติมตัวอย่างวิธีการทดสอบเป็นดังนี้

- คนที่ 1 ดมกลิ่นของ หลอดที่ 1 เทียบกับ หลอดที่ 2 หลอดที่ 3หลอดที่ 4 หลอดที่ 5
- คนที่ 2 ดมกลิ่นของ หลอดที่ 1เทียบกับ หลอดที่ 3 หลอดที่ 4หลอดที่ 5 หลอดที่ 2
- คนที่ 3 ดมกลิ่นของ หลอดที่ 1 เทียบกับ หลอดที่ 4 หลอดที่ 5 หลอดที่ 3 หลอดที่ 2
- คนที่ 4 ดมกลิ่นของหลอดที่ 1เทียบกับ หลอดที่ 5 หลอดที่ 3 หลอดที่ 4 หลอดที่ 2
- คนที่ 5 ดมกลิ่นของ หลอดที่ 1 เทียบกับ หลอดที่ 2 หลอดที่ 4 หลอดที่ 5 หลอดที่ 3

โดยที่ หลอดที่ 1 บรรจุ ยางคงรูปที่ไม่ใส่สารตัวเติม หลอดที่ 2 บรรจุ ยางคงรูปที่ใส่เพอร์ไลต์10 phr
หลอดที่ 3 ยางคงรูปที่ใส่เพอร์ไลต์ 20 phr หลอดที่ 4 ยางคงรูปที่ใส่เพอร์ไลต์ 30 phr หลอดที่ 5 ยางคงรูปที่ไม่ใส่สารตัวเติม การเก็บข้อมูลจะมีลักษณะเป็นแบบสอบถามโดยมีสเกลสำหรับให้คะแนน หลังจากนั้นนำแบบสำรวจที่ได้ไ ปหาค่าฐานนิยม

- การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดกลิ่นด้วยเทคนิค Gas Chromatography Mass Spectrometry, GC-MS) การวิเคราะห์เริ่มจากนำยางแห้งน้ำหนัก 10 กรัม บรรจุลงในขวด vial เติมสารมาตรฐาน Methyl valerate (1ppm) 10 μL แล้วปิดให้แน่นด้วยจุกยาง จุ่มในน้ำร้อน 60°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บสารระเหยขึ้นมา โดยใช้ SPME ชนิด Polydimethylsiloxane/Divinylbenzeneแล้วนำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง GC-MS ของ Agilent รุ่น GC-6890/MS-5973 ด้วยคอลัมน์ HP-5MS บรรจุสารไม่มีขั้ว Polysiloxaneยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0. 25 มิลลิเมตร โดยควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ไว้ที่ 50°C เป็นเวลา 2 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นด้วยอัตรา 5°C/นาทีจนกระทั่งอุณหภูมิสุดท้ายที่ 230°C คงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 4 นาที อัตราการไหลของก๊าซฮีเลียมเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตร/นาที

2. สมบัติเชิงกลบางประการในยางคงรูปที่ผสมด้วยเพอร์ไลต์

- สมบัติเชิงกลที่ศึกษาคือ ความทนแรงดึง (ISO 37) เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด ความแข็ง (ISO48) ความทนทานต่อการสึกหรอ (ISO4649) และสมบัติก่อนและหลังบ่มเร่งของความทนแรงดึงและความแข็ง
- สารตัวเติมที่ศึกษาคือเพอร์ไลต์ เขม่าดำ ทั้งนี้จะมีการเปรียบเทียบกับเคลย์ซึ่งเป็นสารตัวเติมลดต้นทุน โดยทดสอบที่ปริมาณสารตัวเติมที่ลดกลิ่นได้ดีที่สุดและสมบัติเชิงกลอยู่ในเกณฑ์ดี

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. สมบัติเบื้องต้นของเพอร์ไลต์

เมื่อนำเพอร์ไลต์ชนิดเผาแล้ว ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Energy dispersive X-ray microanalysis (EDX) พบว่าองค์ประกอบหลักคือ ซิลิกา ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของเพอร์ไลต์ชนิดเผาแล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิค Energy dispersive X-ray microanalysis (EDX)

Oxide Compound	Weight%
SiO_2	72.59
Al_2O_3	14.09
Fe_2O_3	1.59
K_2O	3.30
TiO_2	0.31
MnO_2	0.05
CaO	1.08
MgO	0.41
NaO	5.37
Loss on ignation	1.21

เมื่อนำสารตัวเติมไปวิเคราะห์ขนาดด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาด (Particle analyser) และนำไปวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ด้วยเทคนิค BET แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ขนาดอนุภาคและพื้นที่ผิวจำเพาะของสารตัวเติม

Filler type	Particle size(μm)	Specific Surface Area (m^2/g)
Perlite	38.02	3.49
Clay	6.08	5.35
Carbon blackN330	5.05	79.52

จากตารางที่ 5 เขม่าดำมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด รองลงมาคือเคลย์ และเพอร์ไลต์ ซึ่งสอดคล้องกับขนาดอนุภาคที่วัดได้นั่นคือเมื่อค่าพื้นที่ผิวจำเพาะมาก ขนาดอนุภาคจะเล็ก และเมื่อค่าพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยขนาดอนุภาคจะใหญ่ ขนาดอนุภาคเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยคือ เพอร์ไลต์เคลย์ และเขม่าดำ

2. ผลการทดสอบการดมกลิ่น

การทดสอบประสิทธิภาพการลดกลิ่นของเพอร์ไลต์โดยวิธีดมกลิ่น จากคนที่จำกลิ่นได้ (semi well-trained)10 คนกำหนดความเข้มข้นของกลิ่นเจาก เลข 0 หมายถึงไม่มีกลิ่น จนถึง 5 หมายถึงกลิ่นรุนแรงมาก การลดกลิ่นประเมินผลโดยค่าฐานนิยม พบว่าเมื่อยิ่งใส่ปริมาณเพอร์ไลต์มาก ประสิทธิภาพการลดกลิ่นก็มากขึ้น เช่น เพอร์ไลต์ ปริมาณ 30 phr

มีประสิทธิภาพการลดกลิ่นดีกว่าเพอร์ไลต์ ปริมาณ 10 phr จึงทำการเปรียบเทียบกับสารตัวเติมชนิดอื่นที่ปริมาณ 30 phr แสดงดังตารางที่ 6 ประสิทธิภาพการลดกลิ่นของเพอร์ไลต์ดีที่สุด รองลงมาคือเขม่าดำ และเคลย์ ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ความรุนแรงของกลิ่นที่ยางคงรูปแต่ละชนิด

Rubber vulcanizates	Ordor scale	
	STR 20	RSS 5
Control	4	4
P10	3	--
P20	2	--
P30	1	1
Clay30	2	2
CB30	3	2

3. ผลการทดสอบการลดกลิ่นโดยใช้เทคนิค GC-MS

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography Mass Spectrometry, GC-MS ได้ผลเป็นพีคขององค์ประกอบกลิ่นในช่วงเวลา 40 นาที แสดงในภาคผนวก พบว่า องค์ประกอบของกลิ่นจากยาง STR 20 และ RSS 5 แสดงดังตารางที่ 7 พบว่าพีคของสารมารตรฐานแสดงที่ประมาณ 4.63 นาที และองค์ประกอบของกลิ่นยางธรรมชาติที่พบคือ กลุ่มคาร์บอนิล สารประกอบที่มีไนโตรเจน และสารกลุ่ม aromatic เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Hoven et. al. (2004) นอกจากนี้ยังพบ benzaldehyde ซึ่งเป็นกลุ่ม carbonyl ในรูปของ aldehyde และ benzothiazole เป็นสารประกอบที่มีไนโตรเจนและซัลเฟอร์ พบทั้งในยางดิบ STR20 และ RSS35 ส่วนองค์ประกอบกลิ่นที่แตกต่างกันก็คือใน STR20 พบสารประกอบที่มีไนโตรเจนเช่น oxime และ aniline แต่ใน พบ RSS5 ketone เช่น ethanone, และกลุ่ม aromatic compound เช่น benzene, dimethoxy toluene และ trimethoxy benzene ส่วนองค์ประกอบของกลิ่นของยางคงรูป STR20 และ RSS 5 แสดงดังตารางที่ 8 และ 9 พบองค์ประกอบกลิ่นที่อาจเกิดจากสารเคมีที่เติมลงไปได้แก่ thiourea และ benzothiazaole ที่เวลา 15.67 และ 15.82 ตามลำดับ thiourea อาจมาจาก TMTD ส่วน benzothiazole อาจมาจาก MBTS. เพื่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดกลิ่นของยางคงรูปพื้นที่ใต้พีคองค์ประกอบกลิ่นจะเทียบกับพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน methyl valerate (ทำ 2 ซ้ำ) จากการทดสอบการดมกลิ่นในตารางที่ 6 พบว่าการใส่สารตัวเติม 30phr กลิ่นเจือจางที่สุด จึงเลือกวิเคราะห์ GCMS เฉพาะสูตรที่มีปริมาณสารตัวเติม 30phr เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย

จากตารางที่ 7 และ 8 พบว่าแสดงพื้นที่ใต้พีคที่สำคัญของยางคงรูปได้แก่ ethanone, thiourea, benzothiazole, phenol, tetradecane และ naphthalene พื้นที่ใต้พีคขององค์ประกอบกลิ่นในยางที่เติมเพอร์ไลต์ปริมาณ 30phr มีน้อยที่สุด แสดงถึงประสิทธิภาพการลดกลิ่นได้ดีที่สุด รองลงมาคือเขม่าดำ และเคลย์ ตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดลงพื้นที่ของ benzothiazole จาก 8375.57 % เป็น 234.18 % ประสิทธิภาพการลดกลิ่นของเพอร์ไลต์ ที่ดีกว่าเขม่าดำและเคลย์ อาจเป็นเพราะลักษณะพื้นผิวและหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของเพอร์ไลต์เอง ไม่น่าจะสอดคล้องกับพื้นที่ผิวจำเพาะ

ส่วนในยางคงรูปกลุ่ม RSS 5 ให้ผลคล้ายคลึงกัน คือการใส่สารตัวเติมทำให้พื้นที่ใต้พีคขององค์ประกอบกลิ่นลดลง แต่เพอร์ไลต์ทำให้พื้นที่ใต้พีคขององค์ประกอบกลิ่น ethanone, phenol, tetradecane, naphthalene ลดลงได้ดีกว่าเขม่าดำ และเคลย์ ส่วนเขม่าดำ ทำให้พื้นที่ใต้พีคองค์ประกอบกลิ่นของ thiourea และ benzothazole ดีกว่าเพอร์ไลต์

และเคลย์ จากผลการทดลองนี้เคลย์มีประสิทธิภาพการลดกลิ่นที่แย่ที่สุด ผลการทดลองที่แตกต่างกันนี้อาจเกิดจาก RSS5 เป็นยางธรรมชาติที่มีคุณภาพต่ำกว่า เพราะมีสิ่งสกปรกและรา คุณภาพแปรปรวนมากกว่า STR20 แต่การทดสอบหาองค์ประกอบกลิ่นทำเพียง 2 ซ้ำอาจไม่เพียงพอ หากมีงบประมาณเพิ่มนักวิจัยควรทำซ้ำ

ตารางที่ 7 องค์ประกอบของกลิ่นจากยางธรรมชาติ

Chemical Component	Retention time (min.)	STR20	RSS5
Methyl valerate	4.63	√	√
Oxime, methoxy-phenyl	6.43	√	
Benzaldehyde	8.07	√	
Aniline	8.56	√	
Benzene			√
Benzothiazole	15.77	√	√
Dimethoxy toluene	16.18		√
Benzaldehyde	18.03		√
Trimethoxy benzene	18.22		√
Ethanone	18.50		√

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีคองค์ประกอบของกลิ่นจากยางคงรูป STR20

Chemical component	Retention time (min.)	Control	P30	CB30	Clay30
Methyl valerate	4.636	100.00	100.00	100	100
Ethanone	6.073	63.85	1.64	6.97	5.64
Thiourea	15.672	339.61	4.21	11.85	13.31
Benzothiazole	15.822	8,375.57	234.18	792.12	979.07
Phenol	19.257	198.91	2.88	11.71	9.04
Tetradecane	20.451	49.19	0.43	1.85	1.49
Napthalene	20.606	111.16	0.29	1.50	1.23

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีคองค์ประกอบของกลิ่นจากยางคงรูป RSS5

Chemical component	Retention time (min.)	Control	P30	CB30	Clay30
Methyl valerate	4.626	100.00	100.00	100.00	100.00
Thiourea	15.662	344.97	13.09	8.59	241.37
Benzothiazole	15.812	8,195.14	640.77	529.14	7981.19
Ethanone	18.495	100.84	NA	NA	187.89
Phenol	19.258	184.55	12.29	NA	272.08
Tetradecane	20.451	51.93	NA	2.58	NA
Napthalene	24.467	70.58	NA	19.82	108.22

4. ผลของปริมาณสารตัวเติมต่อสมบัติการคงรูปของยาง

เมื่อนำยางธรรมชาติผสมตามสูตรในตารางที่ 2 นำไปหาสมบัติการคงรูปด้วย MDR ที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 60 นาทีได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สมบัติการคงรูปของยางที่แปรปริมาณเพอร์ไลต์ชนิดเผาแล้ว

Rubber Vulcanizates	Torque difference, MH-ML (dN.m)	Scorch time, ts2 (min.)	Cure time, t90 (min.)
Control	12.67	2.26	9.27
P10	14.21	2.30	7.22
P20	12.70	2.41	7.11
P30	13.42	2.46	7.11
Clay30	13.75	3.08	8.37
CB30	22.69	0.40	1.55

จากตารางที่ 10 พบว่าผลต่างของค่าแรงบิด (Torque difference) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเพอร์ไลต์เพิ่มขึ้น และที่ปริมาณสารตัวเติมเท่ากันคือ 30 phrยางคงรูปที่เติมเขม่าดำมีค่าผลต่างของแรงบิดสูงที่สุดN.Rattanasom และคณะ (2009) ได้อธิบายไว้ว่าค่าผลต่างของแรงบิดแสดงถึงความหนาแน่นของการเชื่อมโยง (crosslink density) ระดับ

การเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล เมื่อค่าผลต่างของแรงบิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น น่าจะหมายถึงระดับการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น N.Rattanasomและคณะ (2012)

การเติมเพอร์ไลต์ทำให้เวลาในการคงรูปลดลง หรืออัตราการคงรูปเร็วขึ้นนั่นเอง อาจเป็นเพราะองค์ประกอบออกไซด์ของโลหะ (Metal oxide) ดังแสดงในตารางที่ 4ซึ่งสอดคล้องกับงานของ S. Attharangsanet. al. (2012) ที่ปริมาณสารตัวเติม 30 phr การเติมเขม่าดำทำให้เวลาในการคงรูปลดลง หรืออัตราการคงรูปเร็วขึ้นอย่างเห็นได้ชัดอาจเป็นเพราะเขม่าดำมีความเป็นด่าง และบริเวณพื้นปริมาณออกซิเจนต่ำจึงทำหน้าที่ล้ายสารตัวเร่ง สอดคล้องกับงานของ N.Rattanasomและคณะ (2012)

5. ผลของปริมาณสารตัวเติมต่อสมบัติเชิงกล

ก. ความทนแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดก่อนบ่มเร่ง

ทำการทดสอบหาความทนแรงดึงตามมาตรฐาน ISO37:2011 ได้ผลดังตารางที่ 11

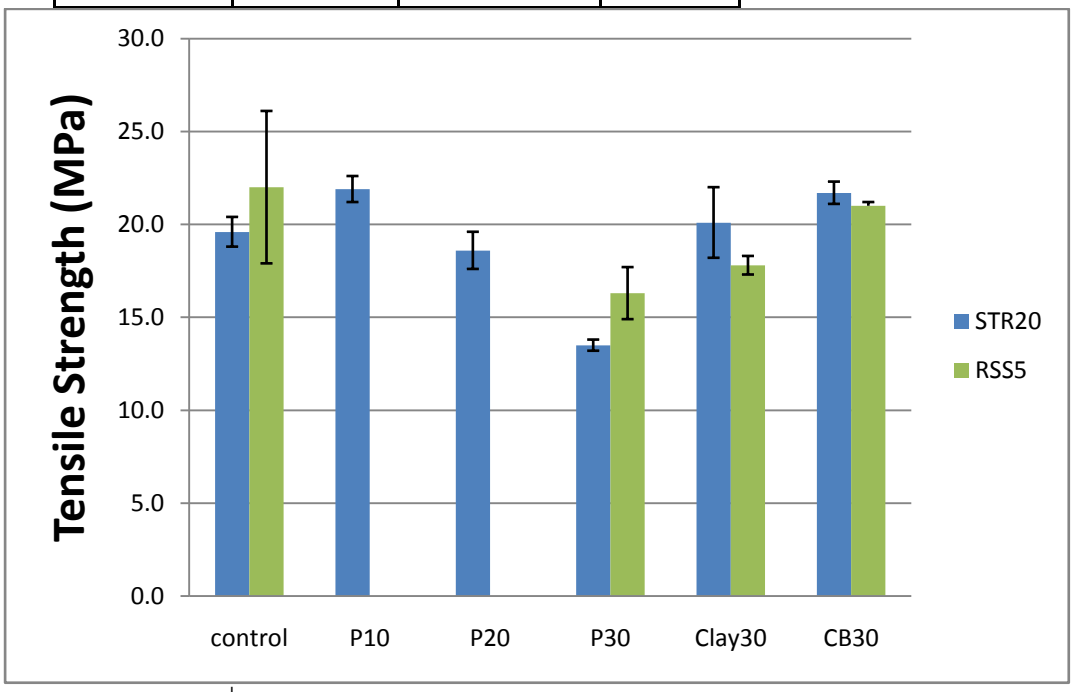
ตารางที่ 11 ผลการทดสอบความทนแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดมื่อขาดของยางคงรูป STR 20 แต่ละชนิด

Rubber Vulcanizates	100% Modulus	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
Control	1.25 ± 0.05	19.6 ± 0.8	491 ± 18
P10	1.44 ±0.01	21.9 ± 0.7	557± 6
P20	1.66 ±0.03	18.6 ± 1.0	528 ± 11
P30	1.72 ± 0.03	13.5 ± 0.3	494 ± 4.
Clay30	2.28 ± 0.04	20.1 ± 1.9	481 ± 22
CB30	3.63 ± 0.05	15.5± 0.6	313 ± 11

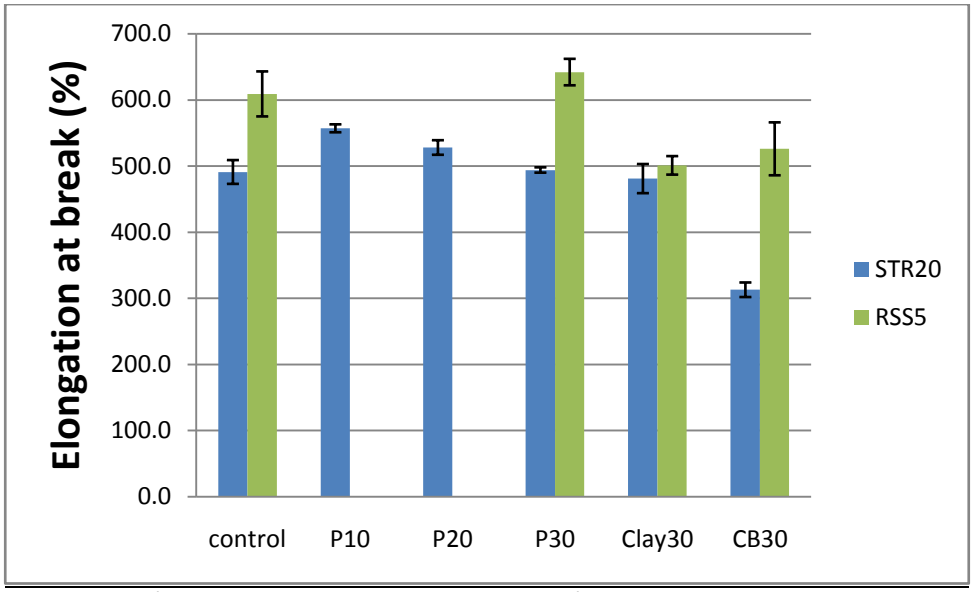
จากตารางที่ 11 ภาพที่ 1 และ 2 ทำให้เห็นแนวโน้มว่าการใส่เพอร์ไลต์ทำให้มอดุลัสที่ระยะยืด 100% และเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพิ่มขึ้น แต่ความทนแรงดึงลดลง อาจเป็นเพราะเพอร์ไลต์มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักจึงเสริมแรง แต่ซิลิกาเข้ากับยางได้ยาก ไม่มีความสามารถในการรับแรงจากเนื้อยาง (inability of the fillers to support stress transfer from the rubber matrix) อีกทั้งเพอร์ไลต์เองมีขนาดอนุภาคใหญ่ มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยดังตารางที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับงานของ W.Arayapranee et. al. (2008)ที่ปริมาณสารตัวเติมเท่ากันคือ 30phr เขม่าดำที่นิยมใช้เป็นสารตัวเติมเสริมแรงทำให้ความทนแรงดึงสูงสุด อาจเป็นเพราะขนาดเล็กที่สุด พื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด ดังได้อธิบายในงานวิจัยของ Sai-oui et. al. (2002) ส่วนยางคงรูปกลุ่ม RSS 5 มีความทนแรงดึงสูงกว่ากว่า แต่ความแปรปรวนแตกต่างกันมาก อาจเป็นเพราะสิ่งสกปรกที่มีอยู่ในยาง ส่วนการเติมเพอร์ไลต์ทำให้ความทนแรงดึงลดลงและเขม่าดำมีประสิทธิภาพการเสริมแรงที่ดีที่สุดสอดคล้องกับกลุ่มยางคงรูป STR 20 ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบความทนแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดมื่อขาดของยางคงรูป RSS 5 แต่ละชนิด

Rubber Vulcanizates	100% Modulus	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
Controll	1.09± 0.03	22.0± 4.1	609 ± 34
P30	1.3 ± 0.03	16.3 ± 1.4	642± 20
Clay30	2.1 ± 0.02	17.8 ± 0.5	501± 14
CB30	2.54 ± 0.07	24.1 ± 2.8	526 ± 40



ภาพที่ 1 ผลของการทดสอบความทนแรงดึงของยางคงรูปแต่ละชนิด



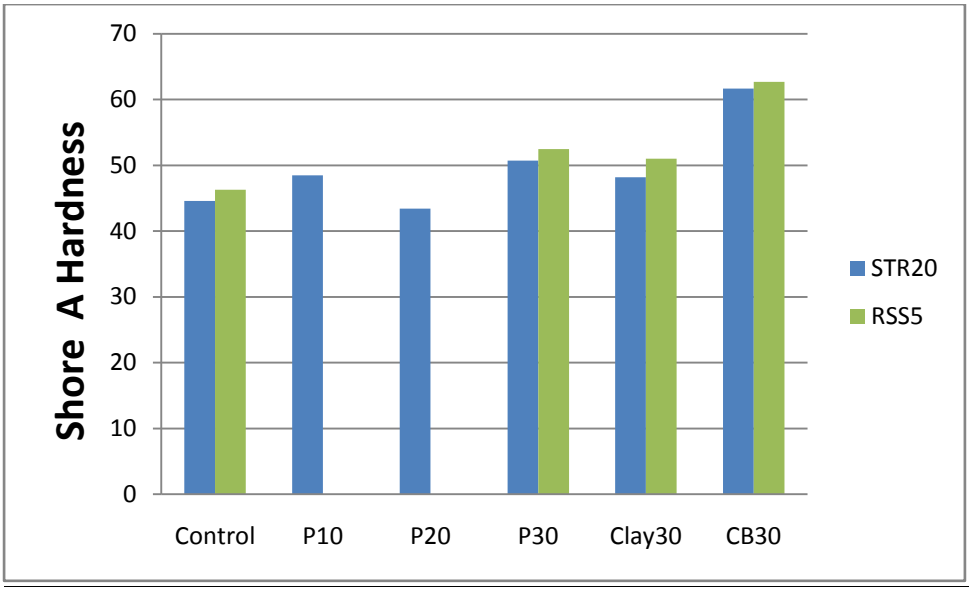
ภาพที่ 2 ผลของการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดของยางคงรูปแต่ละชนิด

ข. ความแข็ง

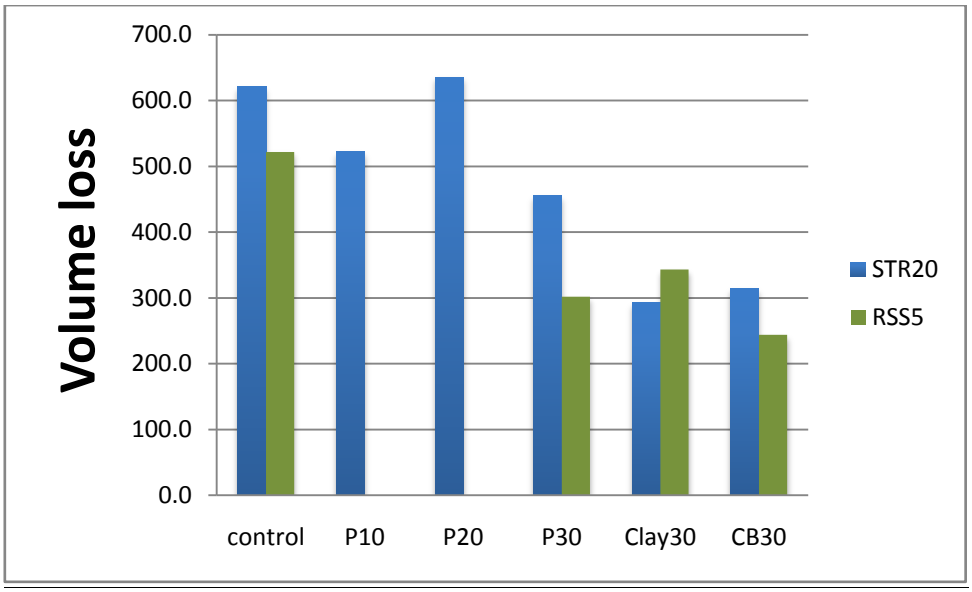
ผลการทดสอบความแข็งของยางคงรูปที่ผสมสารตัวเติมแต่ละชนิดตามมาตรฐาน ISO48 โดยแปรปริมาณเพอร์ไลต์ แสดงดัง ภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งของยางคงรูปที่ผสมเพอร์ไลต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเพอร์ไลต์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าผลต่างของแรงบิดในตารางที่ 8 โดยปกติการเติมสารตัวเติมจะมีผลทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น เช่น การเติมแกลบ (S. Chuayjuljit et. al., 2001) และการเติมรำสกัดน้ำมัน (D.Moonchai et. al, 2012) ในยางแห้งเป็นต้น

ค. ความทนทานต่อการสึกหรอ

ผลการทดสอบความทนทานต่อการสึกหรอแสดงดังภาพที่ 4 ความทนทานต่อการสึกหรอของยางคงรูป แสดงในรูปของปริมาตรที่สูญเสียไป (Voulme loss, mm^3) ถ้าปริมาตรที่สูญเสียไปมีค่าน้อยแสดงว่ายางคงรูปมีความทนทานต่อการสึกหรอสูง การเติมเพอร์ไลต์ทำให้ความทนทานต่อการสึกหรอดีขึ้นเล็กน้อยที่ปริมาณสารตัวเติมเท่ากันคือ 30 phrปริมาตรที่สูญเสียไปของยางคงรูปที่ผสมเพอร์ไรต์มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ เคลย์ และเขม่าดำตามลำดับ อาจเป็นผลจากลักษณะเฉพาะของสารตัวเติมแต่ละชนิดเคลย์ และเขม่าดำเป็นสารตัวเติมทางการค้าที่นิยมใช้เพราะเข้ากันได้ดีกับยาง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ D.Moonchai et.al. (2012) ที่ค่าความแข็ง สัมพันธ์กับค่าความทนทานต่อการสึกหรอ ส่วนความทนทานต่อการสึกหรอของยางคงรูป STR20 จะสูงกว่ายางคงรูป RSS5 เล็กน้อย



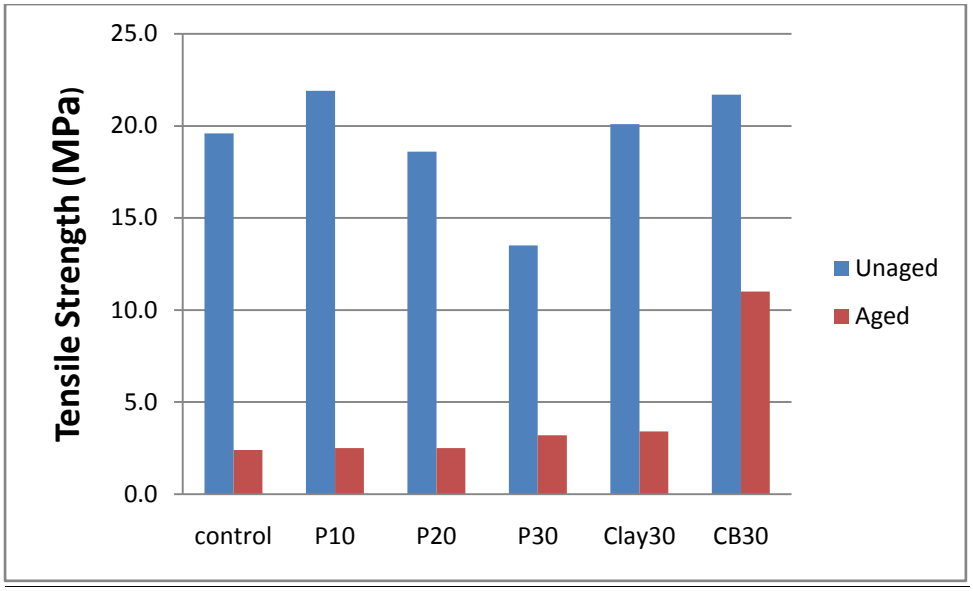
ภาพที่ 3 ผลการทดสอบค่าความแข็งของยางคงรูปแต่ละชนิด



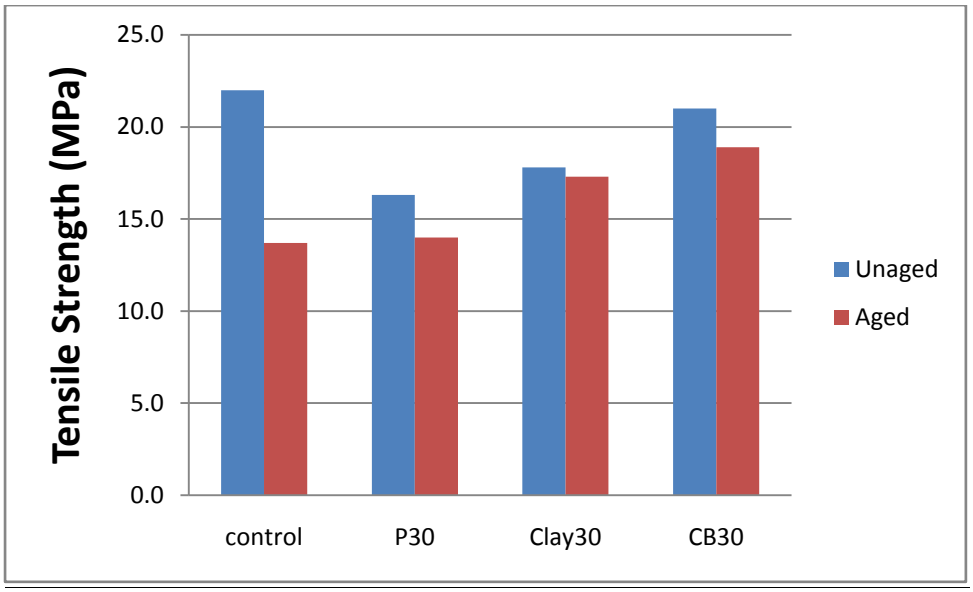
ภาพที่ 4 ปริมาตรที่สูญเสียไป (mm^3) ของสารตัวเติมแต่ละชนิด

ง. สมบัติหลังการบ่มเร่ง

เมื่อเอายางคงรูปไปบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ความทนแรงดึงและความแข็งหลังการบ่มเร่งแสดงดังภาพที่ 5-8 ตามลำดับจากภาพที่ 5 พบว่าความทนแรงดึงหลังการบ่มเร่งของยางคงรูป STR 20 ลดลงอย่างเห็นได้ชัด อาจเป็นเพราะปริมาณของการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นเกินจุดสมดุล ทำให้โครงข่ายการเชื่อมโยงหนาแน่นเกินไปทำให้ความทนแรงดึงลดลง (N.Rattanasom et. al., 2009)



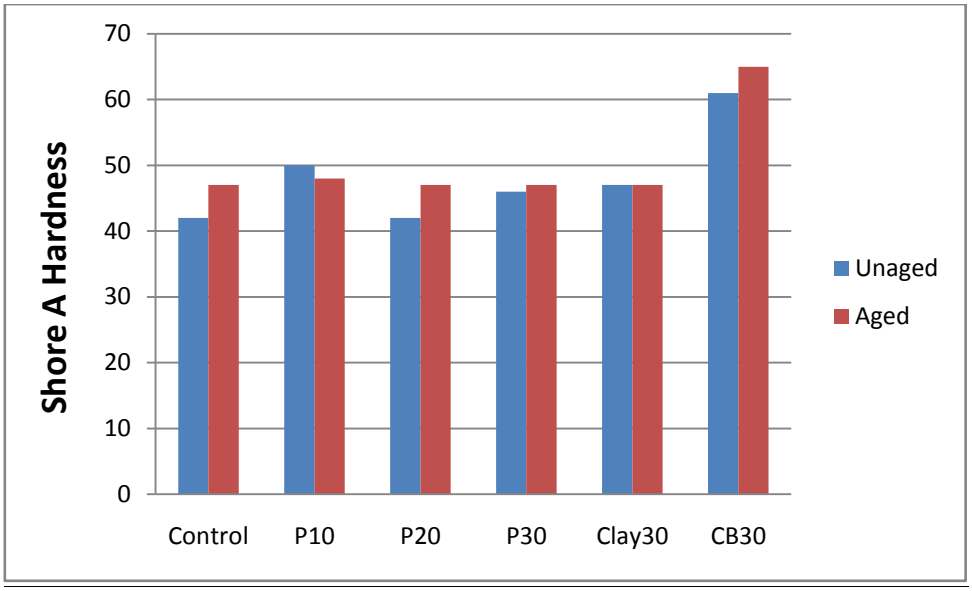
ภาพที่ 5 แผนภูมิแสดงความทนแรงดึงของยางคงรูป STR 20 ก่อนและหลังบ่มเร่ง



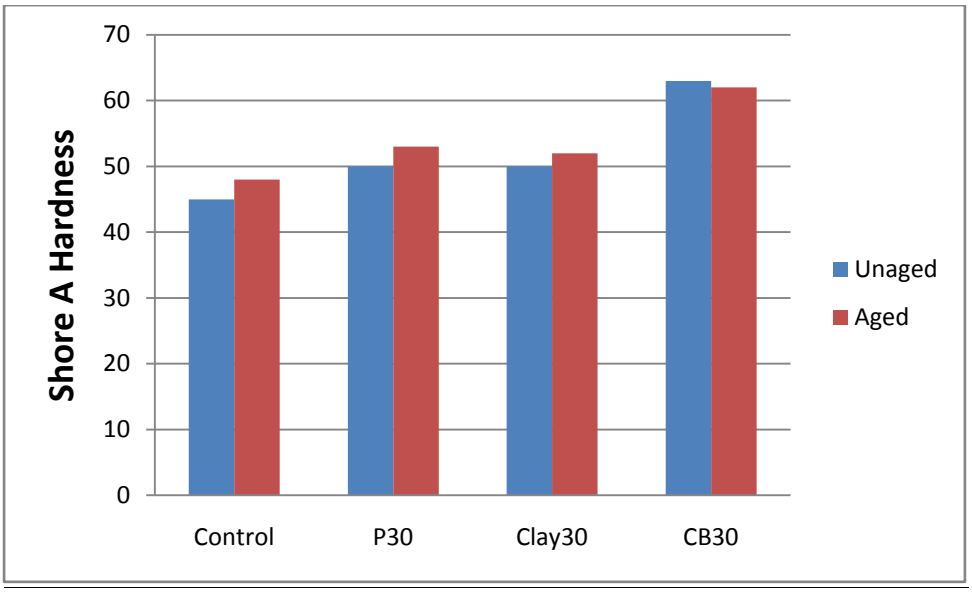
ภาพที่ 6 แผนภูมิแสดงความทนแรงดึงของยางคงรูป RSS 5 ก่อนและหลังบ่มเร่ง

จากภาพที่ 6 พบว่าความทนแรงดึงหลังการบ่มเร่งของยางคงรูป RSS 5 ของยางที่ไม่ได้ใส่สารตัวเติมลดลงอย่างเห็นได้ชัด อาจเป็นเพราะปริมาณของการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นเกินจุดสมดุล ทำให้โครงข่ายการเชื่อมโยงหนาแน่นเกินไปทำให้ความทนแรงดึงลดลง (N.Rattanasom et. al., 2009) แต่ในกรณีที่ยางคงรูปมีสารตัวเติมความทนแรงดึงเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

จากภาพที่ 7 และ 8 พบว่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังการบ่มเร่งทั้งในยางคงรูป STR 20 และ RSS 5 อาจเป็นเพราะว่ามีการเชื่อมโยงเพิ่มมากขึ้น (post cure effect) ดังอธิบายในงานของ N.Rattanasom et. al., (2009) และงานของ D.Moonchaiet. al. (2012)



ภาพที่ 9 แผนภูมิแสดงความแข็งก่อนและหลังบ่มเร่งของยางคงรูป STR 20



ภาพที่ 10แผนภูมิแสดงความแข็งก่อนและหลังบ่มเร่งของยางคงรูป RSS 5

6.การคำนวณราคาของยางคอมพาวนด์

การคำนวณราคาตามสูตรในตารางที่ 2 และข้อมูลราคาสารเคมีที่ใช้ในการทดลองนี้ตามตารางที่ 13 พบว่ายางคอมพาวนด์มีราคาเรียงจากมากไปหาน้อยดังนี้ ยางสูตรควบคุม (Control)ยางคอมพาวนด์ผสมเขม่าดำ (CB30) ยางคอมพาวนด์ผสมเคลย์ (Clay30) ยางคอมพาวนด์ผสมเพอร์ไลต์ (P30) ดังแสดงในตารางที่ 14 โดยที่ยางคอมพาวนด์ผสมเพอร์ไลต์มีราคาถูกที่สุด

ตารางที่ 13 ข้อมูลราคาสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่ใช้	ราคาต่อกิโลกรัม (บาท)		สารเคมีที่ใช้	ราคาต่อกิโลกรัม (บาท)
STR20	64.0		TMTD	192.6
Sulphur	40.6		MBTS	198.0
Stearic acid	53.5		CPL	214.0
ZnO	128.4			

ตารางที่ 14 ราคายางคอมพาวนด์ที่คำนวณได้

ยางคอมพาวนด์	ราคาต่อกิโลกรัม (บาท)
Control	68.7
P30	56.7
Clay30	59.4
CB30	67.73

สรุปผล

- จากการทดสอบโดยการดมกลิ่น เมื่อเติมเพอร์ไลต์ทำให้กลิ่นรุนแรงเจือจางลง และลดลงมากที่สุดเมื่อเติมเพอร์ไลต์ปริมาณ 30 phrซึ่งดีกว่า เขม่าดำ และเคลย์
- จากผลการทดสอบ GC-MS การเติมสารตัวเติมทำให้พื้นที่ใต้พีคขององค์ประกอบกลิ่นลดลง การเติมเพอร์ไลต์ 30 phr ลงในยางคงรูป STR 20 ทำให้ทำให้พื้นที่ใต้พีคขององค์ประกอบกลิ่นลดลงมากที่สุด รองลงมาคือเขม่าดำ และเคลย์ตามลำดับ โดยเฉพาะการลดลงของพื้นที่ใต้พีคของ thiourea และ benzothiazole ส่วนการเติมเพอร์ไลต์ 30 phr ลงในยางคงรูป RSS5 ทำให้พื้นที่ใต้พีคขององค์ประกอบกลิ่น ethanone, phenol, tetradecane, naphthalene ลดลงได้ดีกว่าเขม่าดำ และเคลย์ ส่วนเขม่าดำ ทำให้พื้นที่ใต้พีคองค์ประกอบกลิ่นของ thiourea และ benzothazole ดีกว่าเพอร์ไลต์ และเคลย์
- การเติมเพอร์ไลต์ ทำให้ยางคงรูปมีผลต่างของแรงบิดเพิ่มขึ้น และเวลาในการคงรูปลดลงเมื่อปริมาณสารตัวเติมเท่ากับ 30phr ยางคงรูปที่เติมเขม่าดำมีผลต่างของแรงบิดมากที่สุด และเวลาในการคงรูปสั้นที่สุด
- การเติมเพอร์ไลต์ ทำให้ความทนแรงดึงลดลง ความแข็งเพิ่มขึ้น ความทนทานต่อการสึกหรอมีแนวโน้มดีขึ้นและหลังการบ่มเร่งความทนแรงดึงลดลง แต่ความแข็งเพิ่มขึ้นสมบัติเชิงกลของยางคงรูปที่เติมเพอร์ไลต์ ใกล้เคียงกับที่เติมเคลย์ โดยยางคงรูปที่เติมเขม่าดำมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด

ข้อเสนอแนะ สารตัวเติมเพอร์ไลต์ทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกับเคลย์ แต่ราคาถูกกว่า และมีประสิทธิภาพการลดกลิ่นที่ดีกว่า จึงเหมาะกับการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการกลิ่นเจือจาง และมีการใช้งานใกล้ชิดผู้บริโภคเช่นยางปูพื้น รถยนต์ และพื้นรองเท้าด้านในเป็นต้น หากต้องการให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นอาจใช้สารตัวเติมอื่นเช่นเขม่าดำผสมลงไปด้วย (hybrid filler)

เอกสารอ้างอิง

- 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
- ฐิตินันท์ รัตนพรหม สุขุม สมพงษ์นภัสถ์ จันทร์มี 2554 “การศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมชนิดดูดซับกลิ่นต่อสมบัติเชิงกลของยางคงรูป” คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.
- พงษ์ธร แซ่อุย.2547 “ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน ” พิมพ์ครั้งที่ 1.ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).
- พงษ์ธร แซ่อุย. 2550“กระบวนการผลิตและการทดสอบ ” พิมพ์ครั้งที่ 1.ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).
- พงษ์ธร แซ่อุย. 2550 “สารเคมียาง” พิมพ์ครั้งที่ 2. ปทุมธานี . ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).
- วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2550 “การประเมินคุณภาพอาหารโดยประสาทสัมผัส ” ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.
- ศิรินทร ทองแสง เพ็ญธชา แสงอุทัย ปรารถนา ใจซื่อ 2554 “ความเป็นไปได้ของการผลิตยางธรรมชาติที่เติมเถ้าลอยเพื่อนำไปใช้งานประเภทฉนวนไฟฟ้า” วิจัยยางพารา เล่มที่ 6
- D. Moonchai, N. Moryadee and N. Poosodsang, 2012 “Comparative properties of natural rubber vulcanisates filled with defatted rice bran, clay and calcium carbonate” Maejo International Journal of science and Technology, 249-258, 6(02)
- DIN ISO 4649 “Rubber, vulcanized or thermoplastic Determination of abrasion resistance using rotating cylindrical drum device, DEUTSCHE NORM, 2006
- ISO 37, “ Rubber, Vulcanized or thermoplastic Determination of tensile stress-strain properties”, The International standard, 2011
- ISO 7619-1, “ rubber, vulcanized or thermoplastic Determination of indentation hardness Part 1 Durometer method (Shore hardness), The international standard, 2010
- N. Rattanasom and S. Prasertsri, “Relationship among mechanical properties, heat ageing resistance, cut growth behaviour and morphology in natural rubber: Partial replacement of clay with various types of carbon black at similar hardness level”, *Polym. Test.*, **2009**, *28,* 270-276.
- N. Rattanasom and S. Prasertsri, “Mechanical properties, gas permeability and cut growth behavior of natural rubber vulcanizaties: Influence of clay types and clay/carbon black ratios”, *Polym. Test.*, **2012**, *31,* 645-653
- P. Sai-Oui, C. Rakdee and P. Thanmathorn, “Use of rice husk as reinforcing filler in natural rubber”, J. Appl. Polym. Sci., **2002**, 83, 2485-2493

- Qiangshan Jing, Linxia Fang, Hongyan Liu, Peng Liu, " Preparation of surface-vitrified micron sphere using perlite from Xinyang, China" Applied Clay Science, **2011**, 53, 745-748
- S. Chuayjuljit, S. Eiumnoh and P. Potiyaraj, "Using silica from rice husk as a reinforcing filler in natural rubber", , J. Sci. Res. Chula. Univ., **2001**, 26 (2)127-138
- S. Prasertsri and N.Rattanasom,"Mechanical and damping properties of silica/natural rubber composites prepared from latex system", Polymer testing, **2011**, 30, 515-526
- S. Attharangsan, H. Ismail, M. A. Bakarand J. Ismail, "The Effect of Rice Husk Powder on Standard Malaysian Natural Rubber Grade L (SMR L) and Epoxidized Natural Rubber (ENR 50) Composites" Polymer-Plastics Technology and Engineering, **2012**, 51: 231-237,
- V.P. Hoven, K. Rattanakarun and Y. Tanaka, "Reduction of Offensive Odor from Natural Rubber by Odor-Reducing Substances" Journal of Applied Polymer Science, **2004**, Vol. 92, 2253–2260
- W. Arayapranee and G. L. Rempel "A comparison of the properties of rice husk ash, silica, and calcium carbonate filled 75:25 NR/EPDM blend", J. Appl. Polym. Sci., **2008**, 110, 1165-1174

ลงนาม .....

(หัวหน้าโครงการ)