



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการย่อยที่ 1 การศึกษาสูตรยางสำหรับยางถนนทนไถ่ประสิทธิภาพสูง
ที่ทำจากยางธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปไถ่สด

แผนงาน การพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางถนนทนไถ่ที่ทำจากยางธรรมชาติ
สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปไถ่สดในประเทศไทย

สัญญาเลขที่ RDG5550117

โดย รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด และคณะ

17 ธันวาคม 2557

โครงการสนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(งานวิจัยยังไม่เสร็จสมบูรณ์ โปรดอย่านำไปใช้อ้างอิง)

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

สัญญาเลขที่	RDG5550117
ชื่อโครงการ	การศึกษาสูตรยางสำหรับยางถนอนชนไก่ประสิทธิภาพสูงที่ทำจากยางธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปไก่สด
หัวหน้าโครงการ	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด
สถาบัน	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
	โทรศัพท์ 02-3298000 ต่อ 6230 E-mail: kjittipo@kmitl.ac.th

ความสำคัญของปัญหา / ความเป็นมา

การถนอนชนไก่ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ใช้เครื่องอัตโนมัติในสายการผลิตแบบต่อเนื่อง ที่ใช้กลไกการหมุนของยางถนอนชนไก่ ปัจจุบันยางถนอนชนไก่ที่มีประสิทธิภาพสูงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากยางถนอนชนไก่ในประเทศไทยมีสมบัติเชิงกลด้อยกว่า ประสิทธิภาพการถนอนชนไก่ต่ำ หักง่าย ไม่ทนต่อการเสียดสีขัดถู และอายุการใช้งานสั้น

การพัฒนาการใช้ประโยชน์ยางธรรมชาติจัดเป็นนโยบายระดับชาติและเป็นเรื่องที่ต้องกระทำอย่างเร่งด่วนในปัจจุบัน เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติอันดับหนึ่งของโลก มีปริมาณการผลิตถึงมากกว่า 3.7 ล้านตันต่อปี ยางธรรมชาติส่วนใหญ่ประมาณ 90 % ถูกส่งออกนอกประเทศในรูปของวัตถุดิบซึ่งมีราคาถูก ที่เหลือถูกส่งออกในรูปของผลิตภัณฑ์ยางแปรรูป เห็นได้ว่าประเทศไทยเป็นเพียงผู้นำด้านปริมาณการผลิตยางดิบเท่านั้น จึงเป็นเหตุผลให้เกิดงานวิจัยหลายงานเพื่อแปรรูปยางธรรมชาติให้เป็นผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติที่เพิ่มมูลค่า

วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อพัฒนาสูตรยางถนอนชนไก่ที่ทำจากยางธรรมชาติ ให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางถนอนชนไก่ที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานตามความต้องการของผู้ใช้
- เพื่อศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสมบัติของยางถนอนชนไก่ เช่น ผลของปริมาณยางสังเคราะห์ BR และ SBR ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (Filler loading) ผลของชนิดและปริมาณสารเติมแต่ง (Additives) ฯลฯ

ผลการวิจัย

จากการวิจัย ทำให้ได้สูตรยาง (Rubber formula) ที่เหมาะสมในการใช้ผลิตยางถนอนชนไก่ที่ทำจากยางธรรมชาติ ที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานตามความต้องการของผู้ใช้ คือคงทน ไม่เปราะหักง่าย และไม่สึกเร็ว มีอายุการใช้งานนานและมีประสิทธิภาพในการถนอนชนไก่สูง นอกจากนี้ยังทราบปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของยางถนอนชนไก่

- จากการนำผลิตภัณฑ์ยางถอนขนไก่เชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ มาทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ทำให้สามารถกำหนดเป้าประสงค์ (Benchmarks) และทราบองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น คือใช้สารตัวเติมประมาณ 40 phr และมียางหลักเป็นยางธรรมชาติ (NR)

- ในการศึกษาชนิดและสัดส่วนยางธรรมชาติต่อยางสังเคราะห์ ได้แก่ BR-01, BR-150L, และ S-SBR ที่อัตราส่วน NR/SR = 100/0, 90/10, 80/20 และ 70/30 พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนยางสังเคราะห์ในยางธรรมชาติ ทำให้สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรลดลงเล็กน้อย ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength), เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break), ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) เมื่อพิจารณาชนิดของยางสังเคราะห์แต่ละชนิดได้แก่ BR-01, BR-150L, และ S-SBR ที่สัดส่วนเท่ากัน พบว่าให้สมบัติต่างกันเล็กน้อย BR-150L ให้ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดสูงกว่า แต่ S-SBR ให้ความแข็งแรงฉีกขาดสูงกว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนยางสังเคราะห์ในยางธรรมชาติ ความร้อนสะสมแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ความทนทานต่อการขัดถูดีขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะยาง BR-150L และ BR-01 การใช้ยาง BR-150L ผสมใน NR ทำให้สมบัติความต้านทานการพังอืดขึ้นอย่างมีนัย

- ในการศึกษาผลของสารตัวเติมเขม่าดำ N330 และซิลิกาชนิดตกตะกอน 255G ปริมาณ 30-50 phr รวมทั้งใช้สารตัวเติมผสมเขม่าดำ-ซิลิกา อย่างละ 20 phr พบว่าการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมทำให้ประสิทธิภาพการเสริมแรงเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะความสามารถในการทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) อย่างไรก็ดี การใช้สารตัวเติมที่ปริมาณ 50 phr ทำให้ความทนทานต่อการเสียดสี (Abrasion resistance) ลดลง

- งานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้หินภูเขาไฟหรือพัมมิช (Pumice) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานยางถอนขนไก่ ทำให้ประสิทธิภาพการขัดถูดีขึ้น โดยทดลองใส่หินภูเขาไฟหรือพัมมิชปริมาณ 0, 3 และ 5 phr ทดแทนส่วนของสารตัวเติมซิลิกา ที่ควบคุมปริมาณให้คงที่ที่ 40 phr พบว่าการใช้พัมมิชทำให้สมบัติของยางแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณพัมมิชพบว่า การเชื่อมโยงเร็วกว่าซิลิกา นอกจากนี้ทำให้สมบัติเชิงกลแตกต่างกันไปเช่น ยางมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ทำให้ความแข็งแรงของยางผสมสูตรลดลงเล็กน้อย

- จากผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *E. coli*, *M. luteus*, *B. subtilis*, *S. aureus* และ *Pse. aeruginosa* ของตัวอย่างยางผสมสูตร NR70/BR30 และ NR100 ที่ใส่และไม่ใส่ Biocide รายงานในรูปแบบที่ตัวอย่างสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ (Clear zone diameter) พบว่าการใช้ Biocide ทำให้ยางมีความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดี พบว่าทั้งตัวอย่างที่ใส่ Biocide มีขนาด Clear zone ใหญ่กว่า ตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่ Biocide ในทุกเชื้อ โดยการใช้ยางหลักเป็นยางผสม NR70/BR30 มีขนาด Clear zone ที่ใหญ่กว่าตัวอย่างยางธรรมชาติชนิดเดียว

- จากการวิเคราะห์ต้นทุน ทดลองฉีดตัวอย่างจริง และการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ กับยางถอนขนไก่เชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ และเทียบกับร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ลูกยางถอนขนไก่ พบว่า สูตรยางที่ได้จากงานวิจัยนี้ มีต้นทุนวัตถุดิบประมาณ 72-78 บาทต่อกิโลกรัม และมีสมบัติต่างๆ เทียบเคียงกับยางถอนขนไก่จากต่างประเทศ มีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์และสามารถใช้งานได้จริง

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองพบว่าการใช้ยางสังเคราะห์บางชนิดผสมกับยางธรรมชาติ ทำให้สมบัติของยางผสมสูตรดีขึ้น โดยเฉพาะสูตรยาง NR/BR-150L 70/30 ที่ทำให้ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) และความต้านทานการขยายรอยแตกจากการพับงอ (Ross flex cracking) การเพิ่มปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำ N-330 และซิลิกา 255G ในช่วง 30-50 phr ทำให้ประสิทธิภาพการเสริมแรงเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะความสามารถในการทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) แต่การใช้สารตัวเติมปริมาณมากทำให้สมบัติบางประการลดลง การใช้หินภูเขาไฟ 0-5 phr ทำให้สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรลดลง การเพิ่ม Biocide ในสูตรทำให้มีประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์ดี จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบสูตรยางที่เหมาะสมที่ใช้ผลิตยางถนนชนไก่ที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่าต่างประเทศ และผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ยางถนนชนไก่

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่การปฏิบัติจริง

- ศึกษาสมบัติอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) และสมบัติการไหล (Rheology)
- นำสูตรยางที่วิจัยได้ไปทำการผลิตผลิตภัณฑ์จริง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน และความพอใจของผู้ใช้
- ใช้ความรู้ที่ได้ในการศึกษาสูตรยางอื่นๆ เช่น ยางถนนชนสัตว์ปีกที่ความแข็งต่าง ๆ (30-80 Shore A)

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

บทความการประชุมสัมมนาทางวิชาการ

ชื่อโครงการวิจัย	การศึกษาสูตรยางสำหรับยางถอนขนไก่ประสิทธิภาพสูงที่ทำจากยางธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปไก่สด Study of Rubber Formulas for High Efficient Natural Rubber Picking Fingers used in Poultry Industry
ชื่อแผนงานวิจัย	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางถอนขนไก่ที่ทำจากยางธรรมชาติสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปไก่สดในประเทศไทย A Development of the Natural Rubber Picking Finger Products used in Thai Poultry Industry
ผู้ดำเนินงานวิจัย	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การถอนขนไก่ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ใช้เครื่องอัตโนมัติในสายการผลิตแบบต่อเนื่อง ที่ใช้กลไกการหมุนของยางถอนขนไก่ ปัจจุบันยางถอนขนไก่ที่มีประสิทธิภาพสูงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากยางถอนขนไก่ในประเทศมีสมบัติเชิงกลด้อยกว่า ประสิทธิภาพการถอนขนไก่ต่ำ หักง่าย ไม่ทนต่อการเสียดสีขัดถู และอายุการใช้งานสั้น งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสูตรยางถอนขนไก่ที่ทำจากยางธรรมชาติ ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพการถอนขนไก่สูง มีสมบัติที่ดีและทนทาน โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของยางถอนขนไก่ ได้แก่ ผลของอัตราส่วนของยางธรรมชาติต่อยางสังเคราะห์ (100/0, 90/10, 80/20, 70/30) ผลของเกรดยางสังเคราะห์ BR-01, BR-150L, S-SBR ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกา รวมทั้งผลของการใช้สารเติมแต่ง เช่น หินภูเขาไฟ (Pumice) และ Biocide จากการทดลองพบว่า การใช้ยางสังเคราะห์บางชนิดผสมกับยางธรรมชาติ ทำให้สมบัติของยางผสมสูตรดีขึ้น โดยเฉพาะสูตรยาง NR/BR-150L 70/30 ที่ทำให้ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) และความต้านทานการขยายรอยแตกจากการพับงอ (Ross flex cracking) การเพิ่มปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำ N-330 และซิลิกา 255G ในช่วง 30-50 phr ทำให้ประสิทธิภาพการเสริมแรงเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะความสามารถในการทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) แต่การใช้สารตัวเติมปริมาณมากทำให้สมบัติบางประการลดลง การใช้หินภูเขาไฟ 0-5 phr ทำให้สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรลดลง การเพิ่ม Biocide ในสูตรทำให้มีประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์ดี จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบสูตรยางที่เหมาะสมที่ใช้ผลิตยางถอนขนไก่ที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่าต่างประเทศ และผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ยางถอนขนไก่

คำสำคัญ : สูตรยาง ยางถอนขนไก่ ยางธรรมชาติ อุตสาหกรรมแปรรูปไก่

ABSTRACT

In poultry industry, “rubber picking fingers” have been used in continuous automated picking machines. In Thailand, rubber picking fingers are mostly imported from international brands due to low qualities of Thai picking fingers, such as, poor picking efficiency, brittleness, low abrasion resistance and low service life. This research work was focused on rubber formulas for natural rubber (NR) picking fingers with high picking efficiency and long service life. Factors affecting rubber properties were studied including NR/SR ratios (100/0, 90/10, 80/20, and 70/30), types of SRs (BR-01, BR-150L, and S-SBR), types and loadings of fillers (CB and silica 30-50 phr) and addition of special additives, i.e., pumice and biocide. It was found that addition of some SRs can improve properties of NR rubber fingers. The ratio of 70/30 NR/BR-150L seemed to show superior properties compared to others in terms of abrasion resistance and Ross flex cracking resistance. As the filler loading was increased (30-50 phr), both N-330 CB and 255G silica showed better reinforcing effects, however some properties were declined when the loading was high. Addition of pumice (0-5 phr) yielded slightly lower properties. By adding the biocide, anti-micro-organism activity of the rubbers was improved. It can be concluded that rubber formulas for making rubber picking fingers with high efficiency can be gained in this work. Their properties are comparable to those of international ones and surpassed Thai Industrial Standard (TIS) for rubber picking fingers.

Keyword: Rubber Formulas, Picking Finger Rubber, Natural Rubber, Poultry Industry

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือ ตลอดทั้งคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยจากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

ขอขอบคุณบริษัท เอส. เค. โพลีเมอร์ จำกัด ทั้งผู้บริหารและทีมงานวิจัย ได้แก่ คุณชยุต สุวรรณพิมลกุล, อ.นนทศักดิ์ สมเกื้อ, คุณจรรยารัตน์ ธีรภักษ์พันธ์, คุณอับฮัร เจ๊ะมามะ, คุณสุดาทิพย์ สายทอง, คุณชนากานต์ ชำนาญเมือง และอีกหลายๆ ท่านที่มีได้เอื้อนนาม ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ทั้งวัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี ฯลฯ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ และทีมงาน ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยางสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDIP) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน การประสานงาน และข้อมูลประกอบการวิจัย

ขอขอบคุณ อ.ธวัชชัย ขาดิตำนัญ และทีมงาน ภาควิชาวิศวกรรมผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ ในการสนับสนุนการวิจัย และสร้างเครื่องมือต้นแบบในการทดสอบประสิทธิภาพของยางถอนขนไก่

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ในการขอใช้อุปกรณ์และสถานที่ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.พงษ์ธร แซ่อูย หน่วยวิจัยยางและเทคโนโลยี ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และทีมวิจัย ที่ให้ข้อมูลร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลูกยางถอนขนไก่ แลกเปลี่ยนข้อมูลสมบัติและการทดสอบ รวมทั้งข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อื่นๆ

นอกจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่นอีกมากมายที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ที่ได้คอยให้ความกรุณาช่วยเหลือแก่คณะผู้วิจัยมาโดยตลอด จึงขอกล่าวขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	๗
บทคัดย่อภาษาไทย	๘
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๙
กิตติกรรมประกาศ	๑๐
สารบัญตาราง	๑๑
สารบัญรูปภาพ	๑๒
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3 ขอบเขตการศึกษา	6
1.4 กรอบแนวความคิดโครงการ	6
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์	9
2.2 สารเติมแต่ง (Additives)	13
2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการผสมยาง	14
2.4 ยางถนอมชนไก่	16
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3. วิธีดำเนินการศึกษา	25
3.1 สารเคมี	25
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	26
3.3 วิธีการทดลอง	27
บทที่ 4. ผลการวิจัย	34
4.1 ผลการวิเคราะห์ยางถนอมชนไก่เชิงพาณิชย์	34
4.2 ตอนที่ 1 ผลของชนิดยางสังเคราะห์และอัตราส่วนยางธรรมชาติต่อยางสังเคราะห์ (NR/SR)	37
4.3 ตอนที่ 2 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (Fillers)	43
4.4 ตอนที่ 3 ผลของสารเติมแต่ง (Additives)	49
4.5 การวิเคราะห์ต้นทุน	52
4.6 การเปรียบเทียบสมบัติของยางถนอมชนไก่จากงานวิจัยนี้กับยางถนอมชนไก่จากต่างประเทศ และมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.)	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการศึกษา	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	57

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ปริมาณการผลิตและส่งออกยางธรรมชาติของประเทศไทย (พ.ศ. 2545-2556)	2
ตารางที่ 2 ตัวอย่างส่วนประกอบและปริมาณของสารต่าง ๆ ในน้ำยางธรรมชาติ	10
ตารางที่ 3 ตัวอย่างเกรดยาง BR ของบริษัท Thai Synthetic Rubbers Co. Ltd. แสดงความแตกต่างของโครงสร้างโมเลกุลและสมบัติของยาง BR	13
ตารางที่ 4 ปริมาณและสัดส่วนการผลิตเนื้อไม้ของโลก ในช่วงปี 2540-2545	17
ตารางที่ 5 ปริมาณการผลิต การบริโภคภายในประเทศ และการส่งออกเนื้อไม้	17
ตารางที่ 6 ตัวอย่างยางถอนขนลักษณะต่าง ๆ และความแข็งที่มีขายเชิงพาณิชย์ในต่างประเทศ	20
ตารางที่ 7 สมบัติบางประการของยางธรรมชาติ STR-5L ที่ใช้ในงานวิจัย	26
ตารางที่ 8 สมบัติบางประการของยางสังเคราะห์ BR-01, BR-150L, S-SBR 4045 ที่ใช้ในงานวิจัย	26
ตารางที่ 9 สูตรยางถอนขนไม้ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้	28
ตารางที่ 10 ผลการทดสอบสมบัติบางประการของตัวอย่างยางถอนขนไม้ เชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ	34
ตารางที่ 11 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ของลูกยางถอนขนไม้ ตามร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม ลูกยางถอนขนไม้ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	36
ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบความแตกต่างของยางสังเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	37
ตารางที่ 13 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยงของยางถอนขนไม้	37
ตารางที่ 14 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของยางถอนขนไม้	38
ตารางที่ 15 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อที่มีต่อลักษณะ การเชื่อมโยงของยางถอนขนไม้ ที่ใช้ยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30	43
ตารางที่ 16 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อที่มีต่อสมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงกายภาพของยางถอนขนไม้ ที่ใช้ยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30	43
ตารางที่ 17 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อที่มีต่อลักษณะ การเชื่อมโยงของยางถอนขนไม้ ที่ใช้ยาง NR100	46
ตารางที่ 18 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อที่มีต่อสมบัติ เชิงกลและสมบัติเชิงกายภาพของยางถอนขนไม้ ที่ใช้ยาง NR100	46
ตารางที่ 19 ผลของปริมาณหินภูเขาไฟ (Pumice) ที่มีต่อที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยง และสมบัติเชิงกลของยางถอนขนไม้ ควบคุมปริมาณซิลิกาที่ 40 phr	49
ตารางที่ 20 ตัวอย่างการคำนวณราคาวัตถุดิบยางถอนขนไม้ สูตร NR70/BR30 ที่ใช้สารตัวเติมเขม่าดำ และซิลิกา 40 phr	52
ตารางที่ 21 ราคาวัตถุดิบยางถอนขนไม้ สูตร NR70/BR30 และสูตร NR100 ที่ใช้สารตัวเติมเขม่าดำ และซิลิกา 40 และ 50 phr	53
ตารางที่ 22 ผลการทดสอบสมบัติบางประการของตัวอย่างยางถอนขนไม้ในงานวิจัยนี้ เทียบกับยางถอนขนไม้เชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ	54

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 ผลผลิตยางธรรมชาติของประเทศไทย (พ.ศ. 2550-2554)	2
รูปที่ 2 ยางถอนขนไก่แบบต่าง ๆ ในท้องตลาด	3
รูปที่ 3 ยางถอนขนไก่รูปร่างและขนาดต่าง ๆ	3
รูปที่ 4 (a) เครื่องถอนขนไก่ในสายการผลิตต่อเนื่อง (b) ยางถอนขนไก่ติดตั้งในเครื่องถอนขนไก่	4
รูปที่ 5 ไก่บนสายการผลิตต่อเนื่อง ภายหลังการผ่านเครื่องถอนขนอัตโนมัติ	4
รูปที่ 6 ภาพแสดงการทำงานของยางถอนขนไก่	5
รูปที่ 7 แผนการดำเนินงานในโครงการวิจัยการออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์ยางถอนขนไก่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปไก่สด	8
รูปที่ 8 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ (NR)	9
รูปที่ 9 โครงสร้างโมเลกุลของยางสไตรีน-บิวทีไดอีน (SBR)	10
รูปที่ 10 โครงสร้างโมเลกุลของยางพอลิบิวทีไดอีนหรือปีอาร์ (BR)	11
รูปที่ 11 โครงสร้างของยางปีอาร์ (BR) แบบต่าง ๆ (a) cis-1,4- addition (b) trans-1,4- addition (c) 1,2 addition	12
รูปที่ 12 เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer)	15
รูปที่ 13 เครื่องผสมระบบปิดแบบบานบุรี (Banbury-type internal mixer)	15
รูปที่ 14 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)	16
รูปที่ 15 ยางถอนขนไก่รูปร่างและขนาดต่าง ๆ	17
รูปที่ 16 กราฟแสดงการส่งออกเนื้อไก่ของไทย	18
รูปที่ 17 ยางถอนขนกลมแท่งกลมเป็นร่อง	19
รูปที่ 18 ยางถอนขนกลมแบบปุ่มนูน	19
รูปที่ 19 ยางถอนขนแบบเป็นวงดาว	20
รูปที่ 20 เครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบจานสั้น (Moving Die Rheometer; MDR)	28
รูปที่ 21 กราฟเชื่อมโยง (Cure curve) ของยางผสมสูตรแสดงเวลาเชื่อมโยง (Cure time, $t_{c(90)}$) และเวลาก่อนการเชื่อมโยง (Scorch time, t_{s2})	29
รูปที่ 22 ขนาดและมีดตัดตัวอย่างการทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ตามมาตรฐาน ASTM D624 Type C	30
รูปที่ 23 เครื่อง Ross Flexing Machine	32
รูปที่ 24 ภาพวาดแสดงลักษณะการพบในการทดสอบ Ross flex cracking resistance	32
รูปที่ 25 TGA Thermograph ของยางถอนขนไก่เชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ บริษัท A	35
รูปที่ 26 TGA Thermograph ของยางถอนขนไก่เชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ บริษัท B	35
รูปที่ 27 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของยางถอนขนไก่	38

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 28 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของยางถอนชนไก่	39
รูปที่ 29 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ของยางถอนชนไก่	39
รูปที่ 30 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อความร้อนสะสม (Heat build-up) ของยางถอนชนไก่	41
รูปที่ 31 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) รายงานในรูปแบบปริมาตรของยางที่สูญเสียจากการขัดถูของยางถอนชนไก่	41
รูปที่ 32 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อความต้านทานการขยายรอยแตกจากการพับ (Ross flex cracking) ของยางถอนชนไก่	42
รูปที่ 33 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของยางถอนชนไก่ ที่ใช้ยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30	44
รูปที่ 34 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของยางถอนชนไก่ ที่ใช้ยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30	44
รูปที่ 35 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ของยางถอนชนไก่ ที่ใช้ยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30	45
รูปที่ 36 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ของยางถอนชนไก่ ที่ใช้ยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30	45
รูปที่ 37 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของยางถอนชนไก่ ที่ใช้ยาง NR100	47
รูปที่ 38 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของยางถอนชนไก่ ที่ใช้ยาง NR100	47
รูปที่ 39 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ของยางถอนชนไก่ ที่ใช้ยาง NR100	48
รูปที่ 40 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ของยางถอนชนไก่ ที่ใช้ยาง NR100	48
รูปที่ 41 ภาพตัวอย่างแสดงการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย <i>E. coli</i> ของตัวอย่างยางผสมสูตร (a) NR70/BR30 + Biocide (b) NR100 + Biocide เทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่ Biocide (c) NR70/BR30 (d) NR100 โดยที่แผ่นขาวกลางเป็นตัวควบคุม (Control) ยาปฏิชีวนะ Gentamicin 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	50
รูปที่ 42 ภาพตัวอย่างแสดงการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> ของตัวอย่างยางผสมสูตร (a) NR70/BR30 + Biocide (b) NR100 + Biocide เทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่ Biocide (c) NR70/BR30 (d) NR100 โดยที่แผ่นขาวกลางเป็นตัวควบคุม (Control) ยาปฏิชีวนะ Gentamicin 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	51

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 43 ผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย <i>E. coli</i> , <i>M. luteus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>S. aureus</i> และ <i>Pse. aeruginosa</i> ของตัวอย่างยางผสมสูตร NR70/BR30 และ NR100 ที่ใส่และไม่ใส่ Biocide	51
รูปที่ 44 แม่พิมพ์ฉีดยางถนนไนท์ตามรูปแบบใหม่จากโครงการย่อยที่ 2	53

บทที่ 1

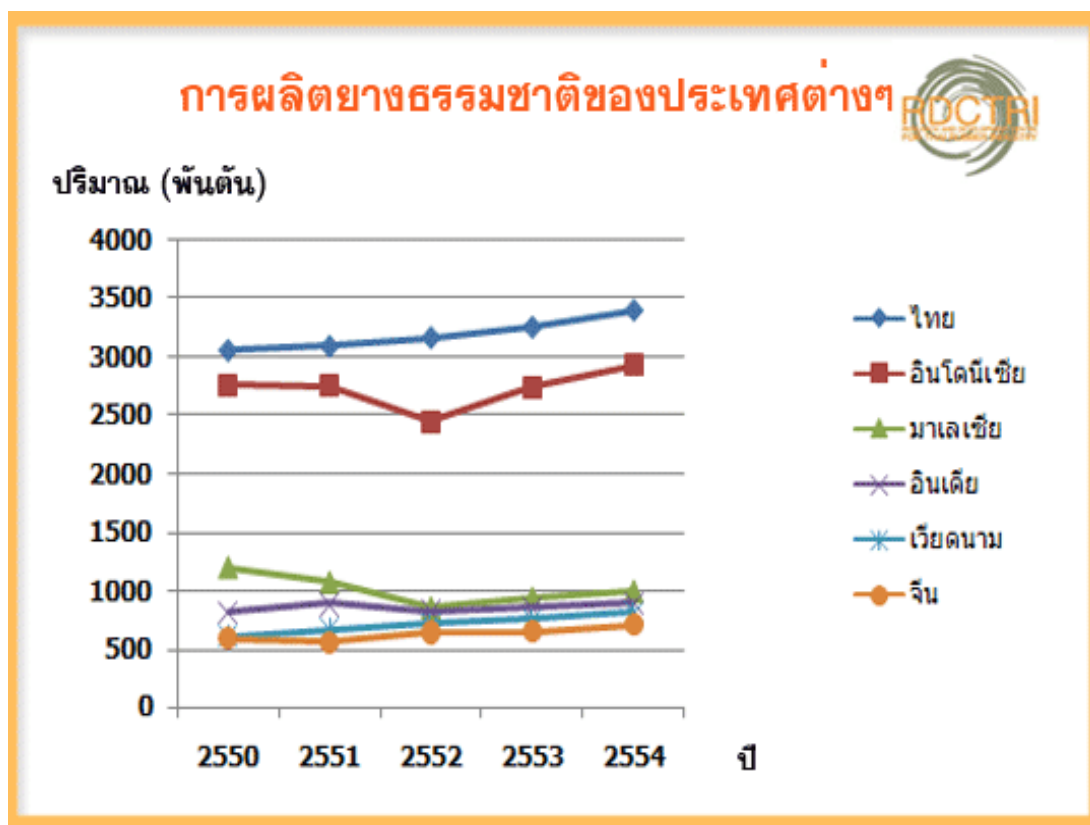
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

สูตรยาง (Rubber Formulas) คือรายการที่แสดงชนิดและปริมาณของยางหลักและสารเติมแต่ง (Additives) ของยาง ที่สำคัญได้แก่ สารตัวเติม (Fillers) แอนติออกซิแดนท์ (Antioxidants) สารเชื่อมโยง (Vulcanizing agents) สารเร่ง (Accelerators) สารกระตุ้น (Activators) ฯลฯ สูตรยางมีความสำคัญมากต่อสมบัติของยางผลิตภัณฑ์ ต้นทุน รวมทั้งความสามารถในขึ้นรูป สูตรยางสำหรับผลิตภัณฑ์ยางเชิงพาณิชย์จะเป็นความลับ และมีผลอย่างมากต่อความสามารถในการแข่งขันได้ของสินค้านั้น

การพัฒนาการใช้ประโยชน์ยางธรรมชาติจัดเป็นนโยบายระดับชาติและเป็นเรื่องที่ต้องกระทำอย่างเร่งด่วนในปัจจุบัน เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติอันดับหนึ่งของโลก มีปริมาณการผลิตถึงมากกว่า 3.7 ล้านตันต่อปี (ประมาณการผลิตในปี พ.ศ.2555) ยางธรรมชาติส่วนใหญ่ประมาณ 90 % ถูกส่งออกนอกประเทศในรูปของวัตถุดิบซึ่งมีราคาถูก ที่เหลือถูกส่งออกในรูปของผลิตภัณฑ์ยางแปรรูป เห็นได้ว่าประเทศไทยเป็นเพียงผู้นำด้านปริมาณการผลิตยางดิบเท่านั้น จึงเป็นเหตุผลให้เกิดงานวิจัยหลายงานเพื่อแปรรูปยางธรรมชาติให้เป็นผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติที่เพิ่มมูลค่า และสอดคล้องกับความต้องการใช้งานทั้งภายใน และภายนอกประเทศมากขึ้น และเนื่องจากปัญหาเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นทั่วโลก ส่งผลให้ความต้องการบริโภคยางธรรมชาติของโลกมีปริมาณลดลง รวมทั้งปัญหาการแข่งขันการส่งออกจากประเทศคู่แข่ง เช่นอินโดนีเซียและมาเลเซีย ทำให้มีปริมาณยางธรรมชาติอาจเกินความต้องการของตลาดโลก

การที่ระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย มีรากฐานมาจากภาคการเกษตรมาเป็นระยะเวลานาน นับตั้งแต่ระยะแรกของการพัฒนาเศรษฐกิจของไทย โดยเริ่มต้นจากการแปรรูปสินค้าขั้นปฐม ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา อุตสาหกรรมการเกษตรมีการพัฒนาขึ้นเป็นลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแปรรูปต่าง ๆ จนพัฒนามาเป็นการผลิตสินค้าประเภทอาหารแปรรูป ซึ่งมีทั้งการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศ และเพื่อการส่งออก โดย ลักษณะเด่นของอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปจะควบคู่กับการพัฒนาของระบบเศรษฐกิจ คือการเป็นอุตสาหกรรมที่ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าเกษตรขั้นปฐม (primary product) ซึ่งสินค้าที่ผ่านการแปรรูปดังกล่าว อาจจะอยู่ในรูปของสินค้าขั้นกลาง (intermediate product) ซึ่งผู้ซื้อต้องนำไปแปรรูปอีกครั้งหนึ่ง ก่อนที่จะนำมาบริโภคหรือในรูปสินค้าขั้นสุดท้าย (final product) ที่สามารถบริโภคได้เลย นอกจากนั้นยังเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบภายในประเทศในสัดส่วนที่สูงอีกด้วย (resource base industry) และนำมาซึ่งเงินตราต่างประเทศจำนวนมากในแต่ละปี



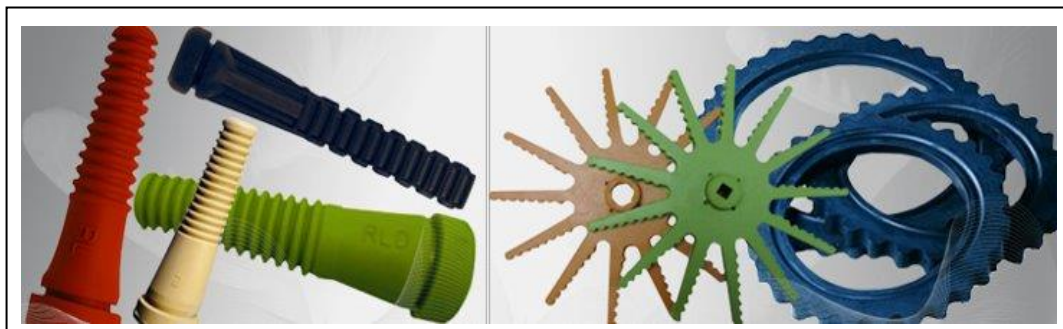
รูปที่ 1 ผลผลิตยางธรรมชาติของประเทศไทย (พ.ศ. 2550-2554) (ที่มา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร)

ตารางที่ 1 ปริมาณการผลิตและส่งออกยางธรรมชาติของประเทศไทย (พ.ศ. 2545-2556) (ที่มา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร)

หน่วย (Unit) : ตัน (Tonnes)

ปี (Year)	การผลิต (Production)	การส่งออก (Export)	ใช้ในประเทศ (Domestic consumption)	สต็อก (Stock)	การนำเข้า (Import)
2545 (2002)	2,615,104	2,354,416	278,355	196,680	1,347
2546 (2003)	2,876,005	2,573,450	298,699	202,240	1,704
2547 (2004)	2,984,293	2,637,096	318,649	232,560	1,772
2548 (2005)	2,937,158	2,632,398	334,649	204,256	1,585
2549 (2006)	3,136,993	2,771,673	320,885	249,895	1,204
2550 (2007)	3,056,005	2,703,762	373,659	230,390	1,911
2551 (2008)	3,089,751	2,675,283	397,595	251,721	4,458
2552 (2009)	3,164,379	2,726,193	399,415	293,659	3,167
2553 (2010)	3,252,135	2,866,447	458,637	227,252	6,542
2554 (2011)	3,569,033	2,952,381	486,745	361,557	4,398
2555 (2012)	3,778,010	3,121,332	505,052	516,675	3,492
2556 (2013) ม.ค.-มี.ค.	963,012	831,823	127,000	520,864	0

ยางถอนขน (Rubber Picking Fingers หรือ Rubber Plucking Fingers) คือผลิตภัณฑ์ยาง ที่สามารถถอนขนสัตว์ปีก เช่นไก่ เป็ด ห่าน ฯลฯ โดยการใช้การหมุนของยางถอนขนความเร็วสูง อยู่กับตัวสัตว์ทำให้ขนของสัตว์ปีกหลุดออก ในกระบวนการผลิตเพื่อให้การถอนขนมีประสิทธิภาพ จะทำให้ ความร้อนแก่สัตว์ที่ถอนขนก่อน เช่นในอุตสาหกรรมไก่ จะทำการลวดไก่ที่อุณหภูมิ 47-50 °C เพื่อให้ รุขุมขนเปิด และถอนขนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 2 ยางถอนขนไก่แบบต่าง ๆ ในท้องตลาด



รูปที่ 3 ยางถอนขนไกรูปปร่างและขนาดต่าง ๆ

ปัจจุบัน “ยางถอนขนไก่” (Rubber Picking Finger หรือ Plucking Finger) ที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปไก่ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เช่นฝรั่งเศส มาเลเซีย และอิสราเอล มีผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางไทยที่ทำยางถอนขนไก่ในประเทศ แต่ปัจจุบันยังไม่มีประสิทธิภาพดีเพียงพอความต้องการของอุตสาหกรรมแปรรูปไก่สดในประเทศ ยางถอนขนไก่ที่มีประสิทธิภาพสูงที่เป็นที่ต้องการของภาคอุตสาหกรรมควรมีสมบัติดังนี้

- มีสมบัติเชิงกลที่ดี มีความแข็งที่เหมาะสม ยืดหยุ่นสูง และกลับคืนสู่รูปร่างเดิมเมื่อปราศจากแรง
- มีประสิทธิภาพการถอนขนไก่ที่ดี เกิดแรงเสียดทานสูงขณะเปียกเมื่อสัมผัสกับขนไก่
- ทนทาน มี Wear resistance มีอายุการใช้งานยาวนาน ไม่หักง่าย

- ปลอดภัยต่ออาหาร ไม่เป็นพิษ ไม่ทำให้เกิดการปนเปื้อนอันตรายหรือสารต้องห้าม เช่น โลหะหนัก
- ขึ้นรูปง่าย และราคาไม่แพง

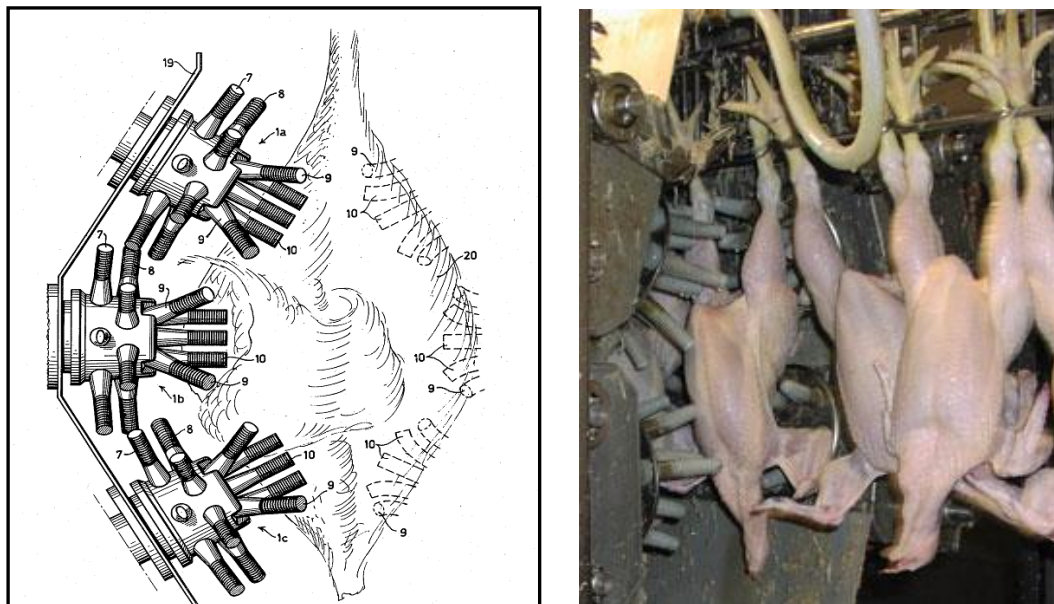
สำหรับอุตสาหกรรมไก่แช่เย็นและแช่แข็ง มีปริมาณการผลิตเนื้อไก่ของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการถอนขนไก่ เป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการผลิตเนื้อไก่ ทั้งอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ ปัจจุบันในอุตสาหกรรมผลิตเนื้อไก่ กระบวนการขั้นตอนเริ่มตั้งแต่การเลี้ยงไก่ การแปรรูปไก่ และการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆจากไก่ โดยการที่จะนำไก่มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้นั้น ไก่จะต้องผ่านกระบวนการการถอนขนอย่างเรียบร้อยแล้วเท่านั้น ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะเป็นขั้นตอนหนึ่งในการที่จะนำชิ้นส่วนไก่มาจำหน่ายไม่ว่าจะเป็น ไก่ตัว ส่วนน่อง ปีก หรือ อีกรูปร่างๆ ส่วน ในอุตสาหกรรมไก่ขนาดใหญ่ ผู้ประกอบการใช้เครื่องอัตโนมัติ (Picking Machine) ในสายการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous process) (รูปที่ 4-5) ในตัวเครื่องจักรจะมีการใช้กลไกการหมุนของ “ยางถอนขนไก่” (Rubber Picking Finger หรือ Plucking Finger) แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 4 (a) เครื่องถอนขนไก่ในสายการผลิตต่อเนื่อง (b) ยางถอนขนไก่ติดตั้งในเครื่องถอนขนไก่



รูปที่ 5 ไก่บนสายการผลิตต่อเนื่อง ภายหลังการผ่านเครื่องถอนขนอัตโนมัติ



รูปที่ 6 ภาพแสดงการทำงานของยางถอนขนไก่

ปัจจุบันยางถอนขนไก่ที่มีประสิทธิภาพสูงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ผู้ประกอบการต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนำเข้ายางถอนขนไก่เป็นจำนวนมากต่อปี กลุ่มโรงงานแปรรูปไก่สดขนาดใหญ่ในประเทศไทยมีอยู่ประมาณ 6 กลุ่มซึ่งแต่ละกลุ่มมีความต้องการในการใช้ยางถอนขนไก่ในประมาณ 80,000 ชิ้นต่อเดือนต่อกลุ่มโรงงาน ดังนั้น ปริมาณการใช้งานของยางถอนขนไก่ 8,640,000 ชิ้นต่อปี เป็นมูลค่านำเข้า 432 ล้านบาท ซึ่งหากรวมการแปรรูปสัตว์ปีกชนิดอื่น เช่น เป็ด ห่าน ไก่ด้วย จะมีมูลค่านำเข้ารวมทั้งสิ้นประมาณ 600 ล้านบาทต่อปี ด้วยเหตุผลดังกล่าวหากมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางถอนขนไก่ให้ได้มีคุณภาพมาตรฐานได้ภายในประเทศ จะทำให้ผู้ประกอบการสามารถลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้ายางถอนขนไก่ได้ถึงร้อยละ 80 และยังสามารถส่งออกจำหน่ายในตลาดการแปรรูปสัตว์ปีกในประเทศ ทำรายได้ให้กับประเทศไทยได้มากขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาสูตรยาง (Rubber Formula) จากยางธรรมชาติ ที่เหมาะสมในการผลิตยางถอนขนไก่ โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในประเทศ ประสิทธิภาพการถอนขนไก่ และสมบัติที่ดีของยางผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้ คณะวิจัยฯ มีแนวความคิดที่จะใช้วัตถุดิบในประเทศที่มีราคาถูก ทดแทนวัตถุดิบต่างประเทศที่ต้องนำเข้า และมีราคาแพง ได้แก่ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) สารตัวเติมซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) ฯลฯ นอกจากนี้ยังจะศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สินแร่บางชนิดที่มีความแข็งเพื่อเพิ่มความขรุขระที่ผิวทำให้เกิดการเพิ่มประสิทธิภาพการขัดถูเช่น หินภูเขาไฟ หรือ “พัมมิช (Pumice)”

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อพัฒนาสูตรยางถอนขนไก่ที่ทำจากยางธรรมชาติ ให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางถอนขนไก่ที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานตามความต้องการของผู้ใช้
- เพื่อศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสมบัติของยางถอนขนไก่ เช่น ผลของปริมาณยางสังเคราะห์ BR และ SBR ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (Filler loading) ผลของชนิดและปริมาณสารเติมแต่ง (Additives) ฯลฯ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- ศึกษาสูตรยางเบื้องต้นในการผลิตยางถนอนชนไก่
- ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของยางถนอนชนไก่ที่เตรียม ได้แก่
 - ความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity, ML 1+4 (100 °C)) ของยางผสมสูตร
 - ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) เช่น Scorch time (t_{s2}) Cure time (t_{c90}) Cure Rate Index (CRI), และ Plateau modulus (M_{HF})
 - สมบัติเชิงกล ได้แก่ Tensile strength (TS), %Elongation at break (%EB), Rubber Modulus (M100), Hardness (Shore A), Tear strength ฯลฯ
 - สมบัติการใช้งาน ได้แก่ Flex cracking resistance และ Abrasion resistance
- ศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสมบัติของยางถนอนชนไก่ ได้แก่
 - ผลของ “ชนิดยางสังเคราะห์” อัตราส่วนของยางธรรมชาติ NR ต่อยางสังเคราะห์ BR ในอัตราส่วน 100/0, 90/10, 80/20, และ 70/30 (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก NR/BR) ชนิดยางสังเคราะห์ที่ศึกษาได้แก่
 - **BR-01** ยาง BR เกรดใช้งานทั่วไป
 - **BR-150L** ยาง BR เกรดพิเศษ cobalt catalyst ปริมาณสายโซ่ตรงสูง (high chain linearity) ทนการขัดถูเสียดสีดีเยี่ยม แต่งตัวสูง ความร้อนสะสมต่ำ
 - **S-SBR** ยาง SBR เกรดพิเศษ เตรียมจาก solution polymerization, มี wet grip สูงกว่า และมีความต้านการหมุน (Rolling resistance) ต่ำ
 - ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (Type and Filler loading) ได้แก่
 - เขม่าดำ (Carbon black, CB) เกรด N-330 ปริมาณ 30-50 phr
 - ซิลิกา (Silica) เกรด Togusil 255G ปริมาณ 30-50 phr
 - ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มประสิทธิภาพการขัดถู (Abrasive additive) ได้แก่ หินภูเขาไฟหรือพัมมิช (Pumice) ปริมาณ 0-5 phr
 - ผลของสารเติมแต่ง Anti-bacteria (Biocide)
 - ทำการวิเคราะห์ต้นทุน (Cost analysis)

1.4 กรอบแนวความคิดโครงการ

กรอบแนวความคิดโครงการสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7 โดยมีเป้าประสงค์ (Benchmark) ของสมบัติยางที่น่าจะได้จากงานวิจัยนี้คือ ได้ยางถนอนชนมีประสิทธิภาพการถนอนชนไก่สูง และสมบัติที่ดี เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้ ทดเทียมผลิตภัณฑ์ยางถนอนชนไก่ที่นำเข้าจากประเทศ เช่น Duram[®] หรือ Plumatech[®] สมบัติขั้นต่ำของยางถนอนชนไก่ในงานวิจัยนี้หลังจบโครงการ ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

- ความแข็ง Hardness Shore A 60 ± 3
 - Tensile strength ไม่น้อยกว่า 15 MPa
 - Elongation at break ไม่น้อยกว่า 400 %
 - Tear strength ไม่น้อยกว่า 100 kN/m
 - Tension set ไม่เกิน 3 %
 - Ross Flex cracking ไม่น้อยกว่า 200,000 รอบ
- (ควรมีสมบัติดีกว่าหรือไม่น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ยางถอนขนไก่ที่นำเข้าจากต่างประเทศ เช่น Duram[®] หรือ Plumatech[®])

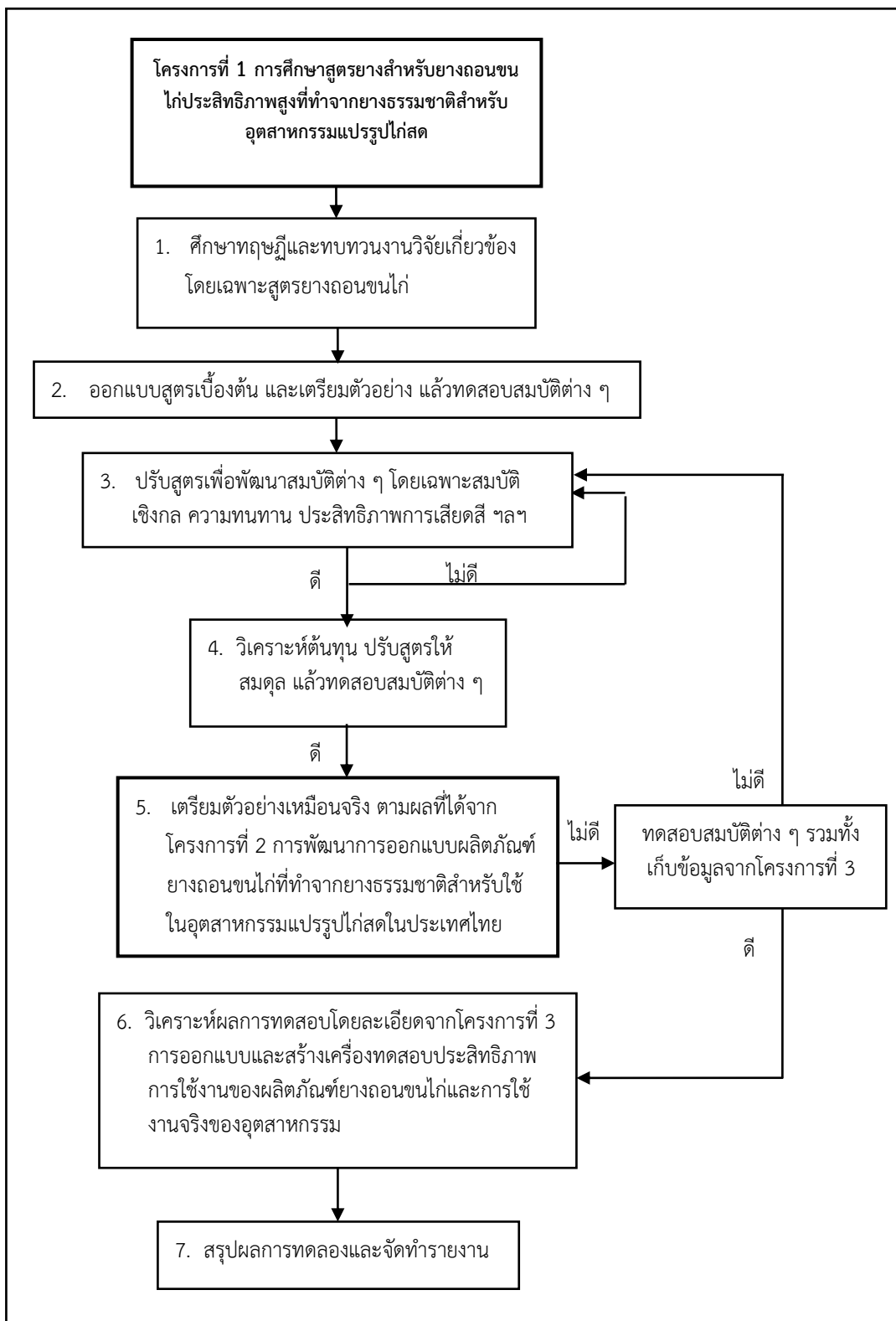
ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) (160 °C)

- Scorch time ไม่น้อยกว่า 2 นาที
- Cure time ไม่เกิน 5 นาที

หมายเหตุ ตัวเลขของสมบัติต่าง ๆ ที่จะใช้เป็นเป้าประสงค์ (Benchmark) ในงานวิจัยนี้ กำหนดโดย คณะวิจัย และบริษัท SK Polymer Co. Ltd. โดยกำหนดจาก ร่าง “มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ลูกยางถอนขนไก่ (CHICKEN PLUCKER RUBBER FINGERS)” ที่ ศึกษาโดย ดร.พงษ์ธร แซ่อู๋ MTEC

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบสูตรของยางผสมสูตรที่จะใช้ผลิตยางถอนขนไก่คุณภาพสูง ทดเทียมผลิตภัณฑ์ยางถอนขนไก่จากต่างประเทศ
- สามารถผลิตยางถอนขนไก่คุณภาพสูงได้ในประเทศ โดยใช้วัตถุดิบหลักจากยางธรรมชาติ มีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์



รูปที่ 7 แผนการดำเนินงานในโครงการวิจัยการออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์ยางถอนขนไก่ที่ใช้ใน
อุตสาหกรรมแปรรูปไก่สด

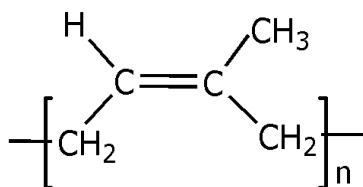
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์

2.1.1 ยางธรรมชาติ (NR)

ยางธรรมชาติ (Natural rubbers, NR) หรือที่รู้จักในนามยางพารา (Para rubbers) มีชื่อทางเคมีคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4 Polyisoprene) เป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรง ยาว มีหน่วยซ้ำ ๆ กันคือไอโซพรีน (C_5H_8) โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8 เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ คือต้นยางพารา ที่มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ “ฮีเวีย-บราซิลเลียนซิส (Hevea Brasiliensis)” เป็นต้นไม้ยืนต้น สูงใหญ่ อายุยืน มีมากมายหลายพันธุ์ ซึ่งให้ปริมาณและองค์ประกอบของน้ำยางที่แตกต่างกัน



รูปที่ 8 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ (NR)

ยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืดจึงสามารถเกิดผลึกได้ การเกิดผลึกที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (Strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (Abrasion resistance) สูง

เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นผลผลิตจากธรรมชาติ ทำให้มีข้อด้อยคือมีความไม่สม่ำเสมอของสมบัติและคุณภาพ มีปริมาณสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber substances) สูง เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และสารอนินทรีย์อื่น ๆ เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส เป็นต้น สารเหล่านี้มีข้อดีสำหรับอุตสาหกรรมยางคือ ช่วยเร่งในปฏิกิริยาเชื่อมโยง ทำให้ช่วยลดสารเคมีเชื่อมโยงยาง แต่อาจเป็นปัญหาในบางอุตสาหกรรมเช่น การแพ้โปรตีนในอุตสาหกรรมถักมือยาง

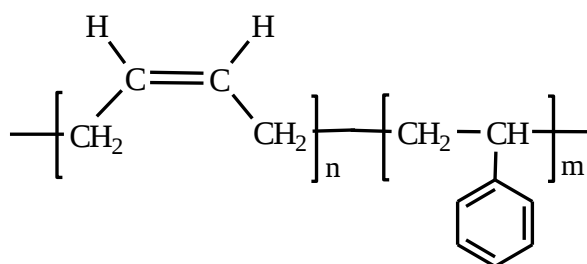
ตารางที่ 2 ตัวอย่างส่วนประกอบและปริมาณของสารต่าง ๆ ในน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)
เนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC) – พอลิไอโซพรีน	33
โปรตีน	1.4
คาร์โบไฮเดรต	1.6
ไขมัน	1.0
ไกลโคไลปิด (Glycolipids) และฟอสโฟไลปิด (Phospholipids)	0.6
สารอนินทรีย์	0.5
อื่น ๆ	0.4
น้ำ	58.5

2.1.2 ยางสไตรีน-บิวตะไดอิน (Styrene-Butadiene Rubbers, SBR)

ยางเอสปีอาร์ หรือยางสไตรีน-บิวตะไดอิน เป็นยางสังเคราะห์ที่มีปริมาณการใช้งานมากที่สุดในโลก เนื่องจากยางเอสปีอาร์มีสมบัติที่ดีและราคาถูกเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่น มีปริมาณการใช้งานมากในยางรถยนต์ โดยเฉพาะหน้ายาง (Tread) เนื่องจากมีสมบัติทนทานต่อการขัดถูเสียดสี (Wear resistance) ดีกว่ายางธรรมชาติ (แต่ต่ำกว่ายางปีอาร์)

ยางสไตรีน-บิวตะไดอินเป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (Random copolymer) ของสไตรีนและบิวตะไดอิน ซึ่งปกติจะมีสไตรีนเป็นองค์ประกอบประมาณ 23.5 % มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ประมาณ -55 °C ยาง SBR ส่วนมากเตรียมจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization) ผ่านอนุมูลอิสระ (Free radicals) นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (Solution polymerization) โครงสร้างโมเลกุลของยาง SBR สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่ามีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้างของยาง SBR ดังนั้นในการสังเคราะห์จะเกิดยาง SBR ได้สามโครงสร้างคือ cis-1,4 , trans-1,4 และ vinyl-1,2



รูปที่ 9 โครงสร้างโมเลกุลของยางสไตรีน-บิวตะไดอิน (SBR)

ยางสไตรีน-บิวตะไดอินแบบสารละลาย (Solution SBR หรือ S-SBR)

ยางเอสปีอาร์ที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบสารละลาย (Solution SBR หรือ S-SBR) มีปริมาณการผลิตและการใช้งานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับยางเอสปีอาร์แบบอิมัลชัน (E-SBR) ที่มีปริมาณการใช้มากกว่า เนื่องจากต้นทุนการผลิตสูงกว่า อย่างไรก็ตามปัจจุบันยางเอสปีอาร์แบบสารละลาย (S-SBR) มีปริมาณการผลิตและการใช้งานสูงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจาก S-SBR มีข้อดีหลายประการ เช่น

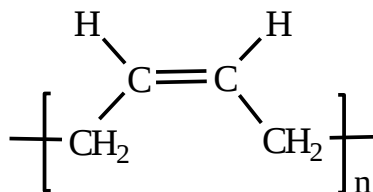
- ง่ายต่อการควบคุมน้ำหนักโมเลกุล (MW) และการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล (MWD)
- สามารถควบคุมโครงสร้าง เช่น ปริมาณสายโซ่กิ่งยาว (Long chain branching, LCB) และโครงสร้าง 1,2- หรือ 1,4 ไอโซเมอร์ได้ง่ายกว่า
- ยางที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงกว่า เนื่องจากการไม่ใช้สบู่หรืออิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers) เหมือนยางเอสปาร์แบบอิมัลชัน
- ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีการผลิต S-SBR ให้มีสมบัติความต้านการหมุน (Rolling resistance) ต่ำ ใช้ในการผลิตยางรถยนต์ชนิดประหยัดเชื้อเพลิง (Green tire)

ในอดีต S-SBR ที่สังเคราะห์ได้มีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลแคบ ทำให้ความสามารถในการขึ้นรูป (Processability) ยากกว่า E-SBR เนื่องจากการที่ในโครงสร้างของยางมีสายโซ่กิ่งและมีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลกว้างของ E-SBR จะทำให้ยางสามารถขึ้นรูปในกระบวนการผลิตได้ง่ายกว่า และไม่ไหลในขณะเก็บก่อนการผลิต (Cold flow) สายโซ่กิ่งจะทำให้เกิดการพันกันของสายโซ่ (Chain entanglement) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่สามารถควบคุมการกระจายน้ำหนักโมเลกุลให้ไปตามต้องการได้ ทำให้มีการใช้ S-SBR มากขึ้น โดยเฉพาะในยางประหยัดน้ำมัน (Energy tire หรือ Green tire)

ยางเอสปาร์มีความทนทานต่อการขัดถูเสียดสี (Wear) และมีอายุการใช้งานมากกว่ายางธรรมชาติ เนื่องจากมีสมบัติความต้านทานต่อการสึกกร่อน (Abrasion resistance) และต้านการแตก (Crack initiation) ดีกว่า (แต่น้อยกว่ายางบียาร์) อย่างไรก็ตามสมบัติการยึดติด (Tack) และสมบัติไดนามิกส์ (Dynamic properties) ต่ำกว่า มีการสะสมของความร้อน (Heat build-up) มากกว่า นอกจากนี้ความแข็งแรงของยางก่อนเชื่อมโยง (Green strength) มีน้อยกว่ายางธรรมชาติ เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า ดังนั้นจึงนิยมใช้ยางเอสปาร์ในรูปยางผสม (Blends) กับยางธรรมชาติในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง

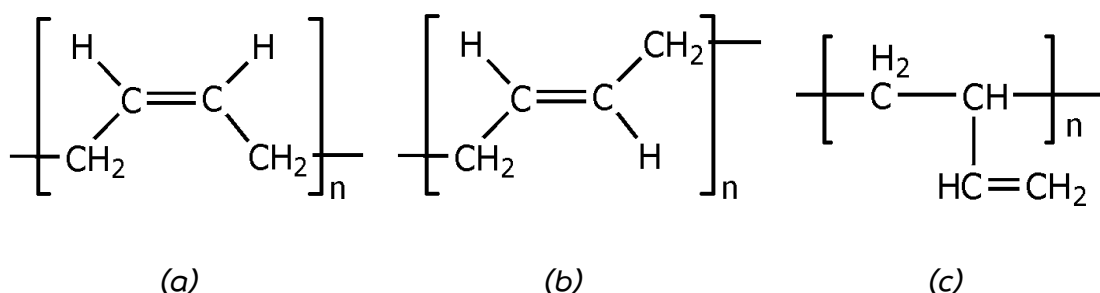
2.1.3 ยางพอลิบิวตะไดอิน (Polybutadiene Rubber, BR)

ยางพอลิบิวตะไดอินหรือยางบียาร์ (BR) มาจากคำว่า “Butadiene Rubber” มีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือพอลิบิวตะไดอิน (Polybutadiene) ดังรูปที่ 10 ยางบียาร์เป็นยางสังเคราะห์อีกชนิดที่ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยาง โดยเฉพาะงานที่ต้องการความยืดหยุ่นสูง นิยมใช้ในลักษณะยางผสม (Rubber blends) กับยางชนิดอื่น เช่น ยางธรรมชาติ (NR) ยางเอสปาร์ (SBR) ฯลฯ ทั้งนี้เนื่องจากยางบียาร์เป็นยางที่มีความยืดหยุ่น (Flexibility) สูง ทำให้มีความยากในกระบวนการผลิต ยากในการผสม อย่างไรก็ตามยางบียาร์เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากมีสมบัติดีหลายประการ เช่น มีความทนทานต่อการเสียดสีขัดถู (Abrasion resistance) ดีเยี่ยม มีความยืดหยุ่นดั่งตัว (Resilience) และมีสมบัติยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ (Low-temperature flexibility) ดังนั้นจึงนิยมใช้ประโยชน์เป็นหน้ายางของยางรถยนต์ (Tire treads) ยางด้านข้าง (Side-walls) เป็นต้น



รูปที่ 10 โครงสร้างโมเลกุลของยางพอลิบิวตะไดอินหรือบียาร์ (BR)

บิวตะไดอินสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อสายโซ่เกิดเป็นพอลิเมอร์ได้ 5 ลักษณะ (ไอโซเมอร์) คือ ปฏิกิริยารวมตัวที่ตำแหน่ง 1,4 สามารถเกิดเป็นโครงสร้างที่มีพันธะคู่ที่มีไอโซเมอร์ 2 ลักษณะคือแบบ ซิส (Cis-) และแบบทรานส์ (Trans-) ส่วนปฏิกิริยารวมตัวที่ตำแหน่ง 1,2 สามารถเกิดเป็นสารโซ่พอลิเมอร์ประเภทไวนิล (Vinyl) ที่มีโครงสร้างไอโซแทคติก (Isotactic) ซินดีโอแทคติก (Syndiotactic) และอะแทคติก (Atactic) ปริมาณของโครงสร้างเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ที่ใช้ โครงสร้างของยางปียาร์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือยาง “cis BR” มักมีปริมาณโครงสร้างที่เป็นซิสมากกว่า 95 % ซึ่งเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบสารละลายที่มีโคบอลท์ (Cobalt) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ยางปียาร์ที่มีปริมาณโครงสร้างที่เป็นซิสต่ำ (Low cis BR) มีข้อเสียคือมักเกิดการไหลที่อุณหภูมิห้อง (Cold flow) หรือเกิดการคืบ (Creep) ทำให้เป็นปัญหาในการเก็บยางดิบ



รูปที่ 11 โครงสร้างของยางปียาร์ (BR) แบบต่าง ๆ (a) cis-1,4- addition (b) trans-1,4- addition (c) 1,2 addition

เนื่องจากยางปียาร์มีความเป็นระเบียบของโครงสร้าง ทำให้อย่างชนิดนี้มีแนวโน้มที่จะเกิดผลึก (Crystallization) ซึ่งจะเกิดผลึกมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณซิส ทรานส์ และไวนิล รวมทั้งความเป็นระเบียบในโครงสร้าง โครงสร้างที่เป็นระเบียบมากจะเกิดผลึกได้ดี เช่นยางปียาร์ที่มีปริมาณซิสสูงตกผลึกที่อุณหภูมิ -40 °C หรือเมื่อได้รับแรงดึงยืดมากกว่า 200 % ที่อุณหภูมิห้อง ยางมีสมบัตินี้เมื่อยืดหยุ่น ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ ในขณะที่ยางปียาร์ที่มีปริมาณ ทรานส์สูงตกผลึกในช่วงอุณหภูมิกว้าง แข็งเหมือนเทอร์โมพลาสติก และละลายไม่ได้นในตัวทำละลายอินทรีย์ โครงสร้างไวนิล 1,2 เป็นวัสดุที่แข็ง เป็นผลึกสูง มีสมบัติการละลายต่ำ โครงสร้างไวนิลที่เป็นอะแทคติก (Atactic) มีความเป็นระเบียบของโครงสร้างต่ำ จะเป็นยาง อ่อนนุ่ม เป็นอสัณฐาน แต่มีสมบัติการคืนตัวต่ำ

ปัจจุบันผู้ผลิตยาง BR มีเทคโนโลยีในการทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเพื่อควบคุมโครงสร้างโมเลกุลของ BR (cis-1,4, trans-1,4, และ 1,2 structure), ความเป็นกิ่ง (Branching), น้ำหนักโมเลกุล (MW) และการกระจายน้ำหนักโมเลกุล (MWD) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และสภาวะการทำปฏิกิริยา เพื่อให้ได้ BR เกรดต่างๆ ที่มีสมบัติตามต้องการ ตัวอย่างของโครงสร้างและสมบัติของ BR เกรดต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3

ในงานวิจัยนี้เลือกทดลองยาง BR คือ

- **BR เกรด BR-01** (หรือเกรด BR-150) เป็นเกรดทั่วไป (General purpose) สังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล (Nickel catalyst) มีสมบัติเชิงกลที่ดี ขึ้นรูปง่าย มีความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) สูง
- **BR เกรด BR-150L** เป็นเกรดพิเศษ สังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลท์ (Cobalt catalyst) โครงสร้างสายโซ่ตรง (High chain linearity) มีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก ขึ้นรูป

ง่าย มีความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ดีเยี่ยม ยึดหยุ่นดีสูง (High rebound) ความร้อนสะสมต่ำ (Lower heat build-up)

ตารางที่ 3 ตัวอย่างเกรดยาง BR ของบริษัท Thai Synthetic Rubbers Co. Ltd. แสดงความแตกต่างของโครงสร้างโมเลกุลและสมบัติของยาง BR

Type	MWD	Branching	ML	Grade	Characteristic
BR	Narrow	Branch	29	130B	• Easy compounding • Excellent processing
			40	150B	
		Medium	43	150	Standard grade
		Linear	43	150L	• High abrasion resistance • Lower energy loss
VCR	Narrow	Medium	45	412	• Superior processing • High modulus • Good cut growth resistance properties
			62	617	

2.2 สารเติมแต่ง (Additives)

สารเติมแต่ง (Additives) คือ สารเคมีต่างๆ ที่เติมลงไปเพื่อ :

- ให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตามต้องการ
- ให้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ง่าย
- ลดต้นทุน

ยางที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับสารเคมี เรียกว่า ยางดิบหรือยางไม่คงรูป (Green compound หรือ Uncured compound) จะทำการผสมยางดิบกับสารเติมแต่งโดยใช้เครื่องผสมยาง (Rubber mixers) เช่นเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) หรือเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ที่อุณหภูมิไม่สูง เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง แรงเฉือนของเครื่องผสมมีแรงเฉือน ทำใหยางกับสารเติมแต่งเข้ากันเป็นเนื้อเดียว ยางที่ผสมสารเติมแต่งแล้วเรียกว่ายางผสมสูตรหรือยางคอมปาวด์ (Rubber compounds) จากนั้นจะทำการขึ้นรูปยางคอมปาวด์เป็นผลิตภัณฑ์ แล้วทำการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง (150-175 °C) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Vulcanization) ยางที่ทำการปฏิกิริยาเคมีแล้วเรียกว่า ยางคงรูปหรือยางเชื่อมโยง (Vulcanized rubber หรือ Cured rubber)

ยางคอมปาวด์ ประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีหน้าที่ที่แตกต่างกัน องค์ประกอบที่สำคัญของยางคอมปาวด์ได้แก่

- **ยาง (Elastomer)** เป็นองค์ประกอบหลัก สามารถเลือกใช้ได้หลายรูป เช่น ยางดิบ, ยางมาสเตอร์แบทช์ (Masterbatches) หรือยางผสมสูตรสำเร็จ, ยางผสมน้ำมัน (Rubber oil), ยางผสมเขม่าดำ (Rubber-carbon black), ยางรีเคลม (Reclaimed rubber), หรือยางเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic elastomer, TPEs) เป็นต้น
- **สารเชื่อมโยง (Vulcanizing agent)** เช่นกำมะถัน (Sulfur, S) เปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ออกไซด์ของโลหะ (Metal oxides) ฯลฯ ทำหน้าที่เปลี่ยนโครงสร้างของยางจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ (3D Network) โดยทำให้เกิดพันธะเคมีเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยาง

- **สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators)** อาจเรียกสั้นๆว่า สารเร่ง ทำหน้าที่ช่วยสารเชื่อมโยงทำให้มีอัตราของการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Rate of vulcanization) เร็วขึ้นลดเวลาเชื่อมโยง (Cure time หรือ Vulcanization time) ทำให้เกิดการเชื่อมโยงอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและใช้สารเชื่อมโยงน้อยลง นอกจากนี้ยังทำให้สมบัติของยางที่ผ่านการเชื่อมโยงดีขึ้นด้วย
- **สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activators)** อาจเรียกสั้นๆว่า สารกระตุ้น ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงโดยเกิดเป็นสารเชิงซ้อน (Complexes) กับสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators) ทำให้สารเร่งมีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น มีอัตราเร็วของการเชื่อมโยงสูงขึ้น เวลาเชื่อมโยงลดลง และยังช่วยให้สมบัติของยางที่ผ่านการเชื่อมโยงดีขึ้น
- **สารตัวเติมหรือสารเพิ่มเนื้อ (Fillers)** เป็นสารราคาถูก ทำหน้าที่เพิ่มเนื้อหรือลดต้นทุนให้กับผลิตภัณฑ์ยาง สารตัวเติมบางชนิดนอกจากใช้ลดต้นทุนแล้วยังเพิ่มความแข็งแรง หรือเสริมแรง (Reinforcement) ให้กับยาง เช่น เขม่าดำ (Carbon black, CB) ซิลิกา (Silica) ฯลฯ
- **สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids)** คือ สารเคมีที่ใส่เพื่อช่วยปรับปรุงให้สามารถผสมหรือขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางได้ง่ายขึ้น
- **สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants หรือ Age-Resistors)** ได้แก่ สารป้องกันออกซิเดชันหรือแอนติออกซิแดนต์ (Antioxidant), สารป้องกันโอโซนหรือแอนติโอโซนแนนต์ (Antiozonant) รวมทั้งสารอื่นๆที่ช่วยลดการเสื่อมสภาพของยางจากสิ่งแวดล้อม เช่น ออกซิเจน โอโซน แสงแดด ความร้อน รังสียูวี (UV radiation) ฯลฯ
- **พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers)** หรือ สารเพิ่มความนิ่ม (Softeners) คือ สารที่ใส่เพื่อเพิ่มความนิ่มหรือความยืดหยุ่นของยาง
- **สารหล่อลื่น (Lubricants)** ช่วยหล่อลื่นหรือลดแรงเสียดทานระหว่างวัสดุ หรือหล่อลื่นระหว่างเครื่องผสมกับวัสดุ ช่วยขบวนการผลิตทำให้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางได้ง่ายขึ้น
- **สารเติมแต่งอื่นๆ (Miscellaneous ingredients)** เติมเพื่อเพิ่มสมบัติบางประการเช่น
 - **สารหน่วง (Retarders)** ทำให้เกิดการเชื่อมโยงช้าลง มีเวลานานเพียงพอในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง
 - **สารให้สี (Colorants)** เปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ยางให้มีสีสันสวยงามตามต้องการ
 - **สารให้ฟอง (Blowing agents)** ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูพรุน มีโครงสร้างแบบเซลล์ูลาร์ (Cellular structure) เช่น ฟองน้ำยาง โฟม
 - **สารให้กลิ่น (Odorants)** ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีกลิ่นหอม หรือระงับกลิ่นของยางที่ไม่พึงปรารถนา
 - **สารเพิ่มการยึดติด (Tackifiers)** ช่วยเพิ่มสมบัติการยึดติด (Tackiness) ที่ผิวหน้ายางให้เหนียวและยึดติดกับวัสดุอื่นหรือยางด้วยกันเองได้ดีขึ้น

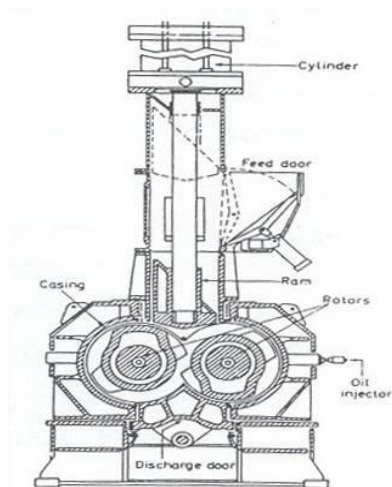
2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการผสมยาง

เครื่องมือที่ใช้ในการผสมยาง โดยทั่วไปมี 2 ระบบ คือ เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) เช่น เครื่องนวด (Kneader) เครื่องบานบุรี (Banbury) เป็นต้น และเครื่องผสมระบบเปิด เช่น เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

- เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer)

เครื่องผสมระบบปิดเป็นเครื่องผสมที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน เพราะเครื่องผสมระบบปิดได้ถูกออกแบบมาเพื่อทดแทนเครื่องรีดแบบสองลูกกลิ้ง ประกอบด้วยห้องผสม โรเตอร์ แรม และระบบหล่อเย็นหรือระบบให้ความร้อน ซึ่งระบบหล่อเย็นหรือระบบให้ความร้อนนี้จะถูกติดตั้งทั้งที่ผนังด้าน

ในของห้องผสมและที่โรเตอร์ เพื่อช่วยระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากการขัดสีในระหว่างการผสมหรือเพื่อให้ความร้อนแก่เครื่องผสม โดยทั่วไปเครื่องผสมระบบปิดสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดหลักคือ



รูปที่ 12 เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer)

- เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มิกซ์ (Intermix-type internal mixer)
- เครื่องผสมระบบปิดแบบบานบุรี (Banbury-type internal mixer)
- เครื่องผสมระบบปิดแบบที่ปรับระยะห่างระหว่างโรเตอร์ได้ (Variable intermeshing clearance-type internal mixer)

เครื่องผสมระบบปิดแบบบานบุรี (Banbury-type internal mixer) เป็นเครื่องจักรที่ใช้กันมากที่สุด ในปัจจุบัน โรเตอร์ทั้งสองของเครื่องผสมจะเป็นแบบ “Non-interlocking” หรือบางครั้งเรียกว่าเรสที่แตกต่างกันซึ่งมีอัตราเร็วสัมผัสของโรเตอร์ตั้งแต่ 1:1.1 ถึง 1:1.2 ซึ่งแรงเฉือนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเกิดที่บริเวณช่องว่างระหว่างปีกของโรเตอร์กับผนังห้องผสม ส่วนพื้นที่ที่เหลือในห้องผสมยางและองค์ประกอบอื่นจะไหลหมุนเวียนไปมา ช่วยทำให้องค์ประกอบต่างๆกระจายตัวในยางได้ดียิ่งขึ้น เครื่องผสมแบบบานบุรีเป็นที่นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากโรเตอร์ของเครื่องผสมมีขนาดที่ไม่ใหญ่มากนักทำให้ยางคอมพาวด์ที่ผสมได้ในแต่ละครั้ง (Batch size) มีปริมาณค่อนข้างสูง



รูปที่ 13 เครื่องผสมระบบปิดแบบบานบุรี (Banbury-type internal mixer)

- เครื่องผสมระบบเปิด

เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) เป็นเครื่องผสมยางระบบเปิดที่ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วต่างกัน ทำให้เกิดแรงเฉือนที่จำเป็นต่อการบดผสมยางกับสารเคมียาง ในการผสมยางกับสารเคมียางจะใส่ยางลงช่องระหว่างลูกกลิ้ง ยางจะถูกรีดออกมาเป็นแผ่นรอบลูกกลิ้งด้านหน้า จากนั้นจึงเติมสารเคมียาง โดยผู้ผสมต้องทำการกรีดยางแผ่นและพับไปมา ในขณะที่เติมสารเคมีลงไปในยาง ซึ่งยางที่ถูกตัดพับจะถูกใส่กลับไปช่องระหว่างลูกกลิ้ง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะช่วยให้สารเคมีต่างๆ กระจายตัวเข้ากับเนื้อยางได้ดี เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้งใช้ผสมยางในปริมาณไม่มาก เนื่องจากต้องใช้ความชำนาญและกำลังคนในการทำการผสม



รูปที่ 14 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

2.4 ยางถอนขนไก่

อุตสาหกรรมไก่แช่เย็นและแช่แข็ง มีปริมาณการผลิตเนื้อไก่ของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยตลอดในช่วงปี 2540-2545 (ตารางที่ 4) โดยเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 5.0 ต่อปี โดยประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศผู้ผลิตเนื้อไก่มากที่สุด ในขณะที่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตเนื้อไก่มากเป็นอันดับที่ 6 ของโลก โดยมีปริมาณการผลิตในปี 2545 จำนวน 1.3 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 2.9 ของปริมาณการผลิตทั้งโลก ปัจจุบันประเทศไทยมีจำนวนฟาร์มมาตรฐานมากกว่า 7,000 ฟาร์ม โรงชำแหละมาตรฐาน 25 โรงงานโรงงานแปรรูป 57 โรงงาน โรงงานภายในขนาดเล็กที่ได้มาตรฐาน โรงงานชำแหละไก่ 83 โรง (ข้อมูลจากสมาคมผู้ผลิตไก่เพื่อส่งออกไทย ปี 2554)

“ยางถอนขนไก่” (Rubber Picking Finger หรือ Plucking Finger) ถูกใช้ในการถอนขนไก่ด้วยเครื่องถอนขนไก่ เป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการผลิตเนื้อไก่ ทั้งอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ ปัจจุบันในอุตสาหกรรมผลิตเนื้อไก่ กระบวนการขั้นตอนเริ่มตั้งแต่การเลี้ยงไก่ การแปรรูปไก่ และการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆจากไก่ โดยการที่จะนำไก่มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้นั้น ไก่จะต้องผ่านกระบวนการการถอนขนอย่างเรียบร้อยแล้วเท่านั้น ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะเป็นขั้นตอนหนึ่งในการที่จะนำชิ้นส่วนไก่มาจำหน่ายไม่ว่าจะเป็น ไก่ตัว ส่วนน่อง ปีก หรือ อื่นๆ ส่วนในอุตสาหกรรมไก่ขนาดใหญ่ ผู้ประกอบการใช้เครื่องอัตโนมัติ (Picking Machine) ในสายการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous process) ในตัวเครื่องจักรจะมีการใช้กลไกการหมุนของ “ยางถอนขนไก่” (Rubber Picking Finger)

ตารางที่ 4 ปริมาณและสัดส่วนการผลิตเนื้อไก่ของโลก ในช่วงปี 2540-2545

ประเทศ	ปริมาณการผลิต(พันตัน)						สัดส่วนการผลิต(ร้อยละ)					
	2540	2541	2542	2543	2544(p)	2545(f)	2540	2541	2542	2543	2544(p)	2545(f)
โลก	36,045	37,869	41,109	42,847	44,455	46,097	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1.สหรัฐอเมริกา	12,266	12,525	13,367	13,703	13,989	14,382	34.0	33.1	32.5	32.0	31.5	31.2
2.บราซิล	4,461	4,498	5,526	5,980	6,580	7,040	12.4	11.9	13.4	14.0	14.8	15.3
3.สหภาพยุโรป	6,539	6,789	6,614	6,654	6,822	6,970	18.1	17.9	16.1	15.5	15.3	15.1
4.จีน	2,650	3,450	4,400	5,050	5,200	5,400	7.4	9.1	10.7	11.8	11.7	11.7
5.เม็กซิโก	1,493	1,587	1,784	1,936	1,989	2,108	4.1	4.2	4.3	4.5	4.5	4.6
6.ไทย	900	930	980	1,070	1,230	1,350	2.5	2.5	2.4	2.5	2.8	2.9
7.ญี่ปุ่น	1,124	1,097	1,078	1,091	1,080	1,085	3.1	2.9	2.6	2.5	2.4	2.4
8.แคนาดา	750	798	847	877	915	930	2.1	2.1	2.1	2.0	2.1	2.0
9.อาร์เจนตินา	770	850	885	870	870	860	2.1	2.2	2.2	2.0	2.0	1.9
10.รัสเซีย	200	280	350	380	430	470	0.6	0.7	0.9	0.9	1.0	1.0
อื่น ๆ	4,892	5,065	5,278	5,236	5,350	5,502	13.6	13.4	12.8	12.2	12.0	11.9

ที่มา: United States Department of Agriculture (USDA) หมายถึง : (p) ตัวเลขเบื้องต้น (f) ตัวเลขประมาณการ

ตารางที่ 5 ปริมาณการผลิต การบริโภคภายในประเทศ และการส่งออกเนื้อไก่

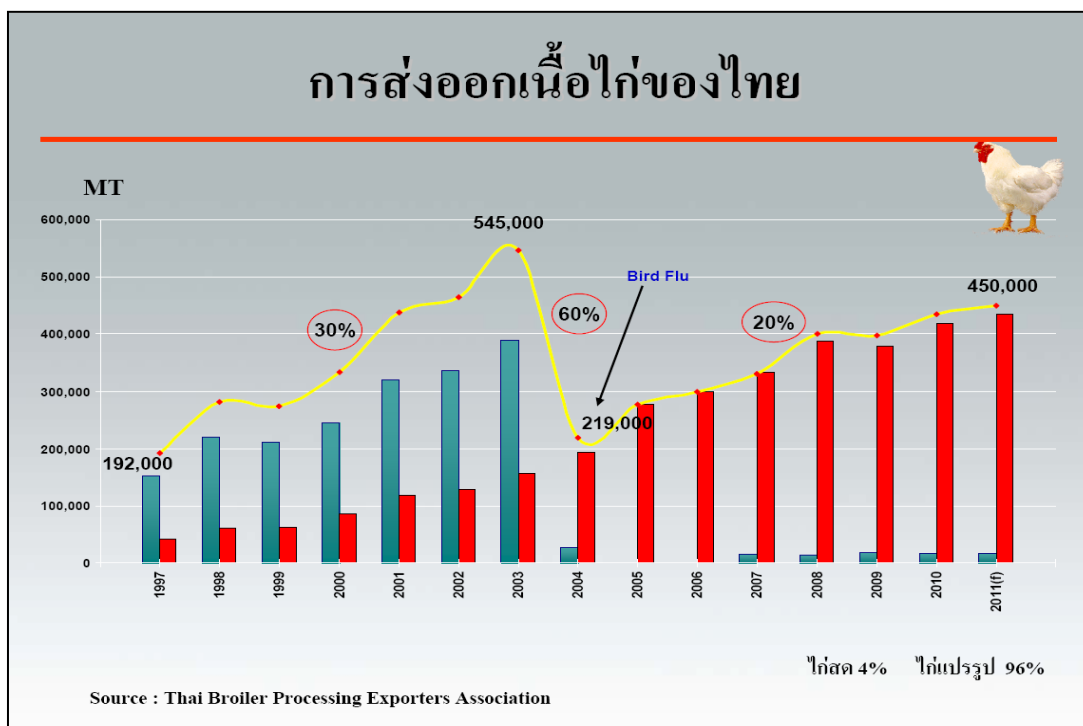
ปริมาณการผลิต การบริโภคภายในประเทศ และการส่งออกเนื้อไก่					
รายการ		2549	2550	2551	2552 ¹
ผลผลิต	ไก่มีชีวิต(ล้านตัว)	849.88	879.98	900.17	930.00
	เปลี่ยนแปลง(ร้อยละ)	4.0	3.5	2.3	3.3
	เนื้อไก่(พันตัน)	1,068.81	1,106.66	1,132.05	1,157.17
	เปลี่ยนแปลง(ร้อยละ)	4.0	3.5	2.3	2.2
การบริโภคภายในประเทศ	เนื้อไก่(พันตัน)	809.11	809.30	755.75	760.00
	เปลี่ยนแปลง(ร้อยละ)	2.5	0.0	-6.6	0.6
การส่งออก	ปริมาณ(พันตัน) ²	258	295	383	360
	เปลี่ยนแปลง(ร้อยละ)	9.8	14.3	29.8	-6.0
	มูลค่า(ล้านบาท) ²	29,297	32,974	51,616	45,400
	เปลี่ยนแปลง(ร้อยละ)	6.2	12.6	56.5	-12.0

ที่มา : กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์

หมายเหตุ : 1/ลำดับการณ์ 2/กรมศุลกากร



รูปที่ 15 ยางถนอมเนื้อไก่รูปร่างและขนาดต่าง ๆ



รูปที่ 16 กราฟแสดงการส่งออกเนื้อไก่ของไทย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

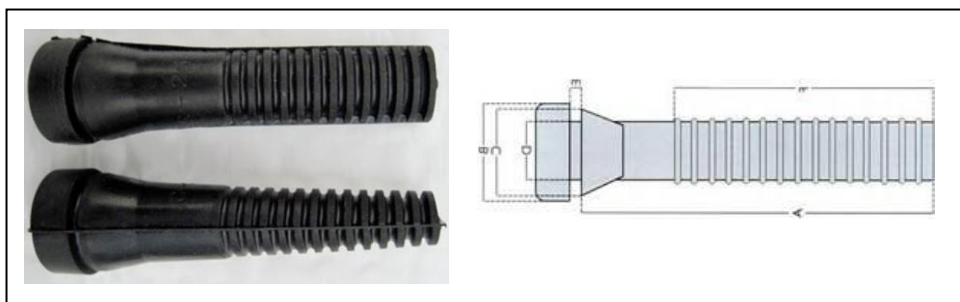
จากการตรวจสอบยางถอนขน (Rubber Picking Fingers หรือ Rubber Plucking Fingers) ที่มีจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ พบว่าสามารถจำแนกได้เป็นสองกลุ่มคือ

1. ยางถอนขนชนิดสีดำ (Black Plucking Fingers) มีสีดำ ใช้สารตัวเติมชนิดเขม่าดำ (Carbon black, CB) เป็นส่วนประกอบ มีข้อดีคือมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า และราคาถูกกว่า แต่ข้อเสียคือ อาจมีสีดำติดที่ตัวไก่ โดยเฉพาะช่วงแรกของการผลิตเมื่อเปลี่ยนยางถอนขนใหม่
2. ยางถอนขนชนิดมีสี (Color Plucking Fingers) มีหลายสี ขึ้นกับผู้ผลิต ไม่ใช่เขม่าดำ (CB) แต่ใช้สารตัวเติมสีไม่ดำ ได้แก่ ซิลิกา (Silica) เป็นองค์ประกอบหลัก มีข้อดีคือไม่เกิดการเปื้อนสีดำที่ตัวไก่ แต่สมบัติเชิงกลต่ำกว่าและราคาแพงกว่า

นอกจากนี้ ยางถอนขนยังมีจำหน่ายในหลายรูปร่างลักษณะ และมีหลายความแข็ง (Hardness) Shore A ตั้งแต่ 40 ถึง 75 ขึ้นกับเครื่องถอนขนที่ใช้ และขึ้นกับลักษณะขนที่ต้องการถอน ปกติงานละเอียด และขนอ่อน นิยมใช้ยางที่มีความแข็งต่ำกว่า

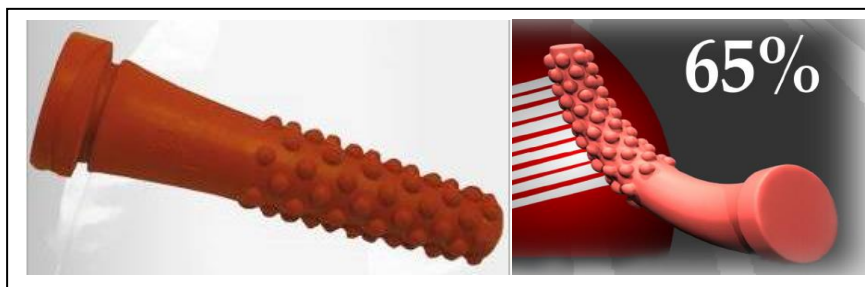
ปัจจุบันสามารถพบยางถอนขนในหลายลักษณะ ได้แก่

1. ยางถอนขนแบบแท่งกลมเป็นร่อง เป็นชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด สำหรับงานถอนขนทั่วไป มีหลายขนาดและความแข็ง นอกจากนี้ยังมีชนิดตัน และชนิดกลวง



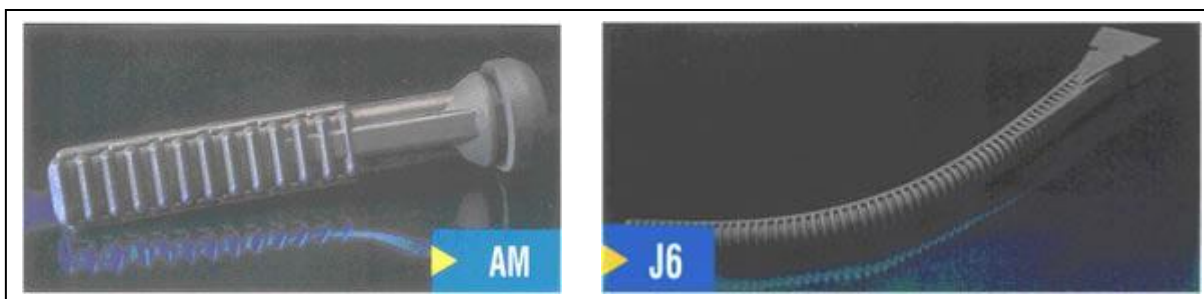
รูปที่ 17 ยางถอนขนกลมแท่งกลมเป็นร่อง

2. ยางถอนขนแท่งกลมแบบปุ่มนูน นิยมใช้ถอนขนลูกเปิด และลูกไก่ อ้างว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบร่อง 65 %



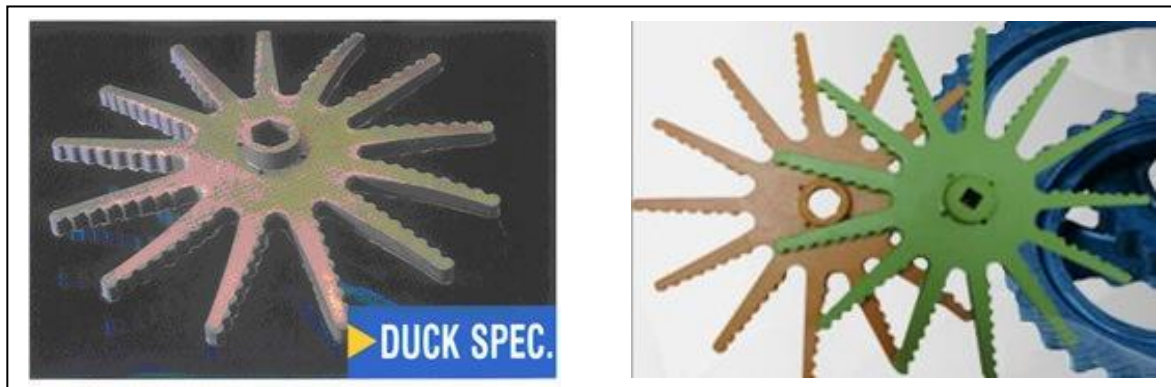
รูปที่ 18 ยางถอนขนกลมแบบปุ่มนูน

3. ยางถอนขนแท่งแบนเป็นร่อง สามารถโค้งงอได้มาก นิยมกับสัตว์ปีกขนาดเล็ก โดยเฉพาะนก และใช้กับเครื่องถอนขนชนิดหมุนวน



รูปที่ 19 ยางถอนขนแท่งแบนเป็นร่อง

4. ยางถอนขนแบบเป็นวงดาว (Star shape) ใช้กับบางชนิดของเครื่องถอนขน นิยมใช้กับการถอนขนเปิด



รูปที่ 20 ยางถอนขนแบบเป็นวงดาว

ตารางที่ 6 ตัวอย่างยางถอนขนลักษณะต่าง ๆ และความแข็งที่มีขายเชิงพาณิชย์ในต่างประเทศ

Code	Name	Descriptions	Hardness (Shore A)
PL black or color	Round finger with cramps	More effective than the know type of finger with a external circumferential ridge and a longer life	50 - 55 - 60 - 65 - 70 - 75
RLD	Round finger like reinforced rl	Color coded round finger	Grey 50 - Yellow 55 - Green 60 - Red 65 - Brown 70
ALCS	Oval finger	Pickers : Stork, Meyn, Cantrell, Gainsville	50 - 55 - 60 - 65 - 70
RL black or color	Round finger	Suitable for picking all poultry, chicken turkey, maximum flexibility and excellent picking performance without damaging the skin	Grey 50, Yellow 55, Green 60, Red 65, Brown 70
ALC	Hollow round finger designed for contrematic	Easy to fit on, and perfectly suitable for most delicate poultry feathers, slow speed line	45 - 50 - 55
AM	Flat finger designed for contrematic	Excellent pliability, suitable for small bird feathers, with a line speed under 2.000 birds/hour	55 - 60 - 65...
AMN	Oval finger designed for contrematic	Suitable for any kind of poultry, Pliability and strength	55 - 60 - 65
MG	Round finger designed for stork and turkey contrematic	Very strong finger	55 - 60 - 65 - 70
AM145	Flat finger for contrematic rotation picker 145 mm	Better plucking between the legs and the wings	55 - 60 - 65
AMC	"Turkey special" flat finger designed for impianti contrematic	Impianti	65 - 70
L	Round finger designed for contrematic linco rotorpic	Suitable for duck finisher	50 - 60 - 70
Puller	Caoutchouc puller for counter rotating machine		
STAR	Star "duck special"	Axe hexagonal : 22 - Square axle : 12	Hardness : 55, gris - 60, vert - 65, orange
STANDARD	Hollow round finger	Designed for small defeathering machine with drums. Washing vegetables machinery	40 - 45 - 50
J7	Flat fingers	Designed for Contrematic finisher	

การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

นางสาวจินตนา สุขสวัสดิ์ นายอานนท์ รวยเรืองรุ่ง และนางสาวศิริวรรณ ตั้งศิริมุกดา [1] ได้ทำโครงการพิเศษ โดยการควบคุมของ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด เรื่อง “การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์พัมมิชเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ (NR) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)” เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์พัมมิช (Pumice) เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ทั้งยางและพลาสติก โดยเลือกยางธรรมชาติ (NR) ชนิดยางแผ่นรมควัน และพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) เป็นตัวแทนของยางและพลาสติกตามลำดับ โดยเน้นศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ ได้แก่ ปริมาณการเติม (0, 30, 50 และ 70 phr) และขนาดพัมมิช (น้อยกว่า 80 mesh และ 50-80 mesh) ทำการเตรียมตัวอย่างโดยการร่อนแยกขนาดพัมมิช ให้อยู่ในถัง แล้วทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill) โดยทำการขึ้นรูปตัวอย่างยางโดยใช้เทคนิคการอัดขึ้นรูป (Compression molding) และขึ้นรูปพลาสติกด้วยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) จากนั้นทำการทดสอบต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติการเชื่อมโยงยาง, สมบัติทางความร้อน, สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา จากการศึกษาการใช้พัมมิชเป็นสารตัวเติมใน “ยาง” พบว่า การเติมพัมมิชไม่มีผลอย่างชัดเจนต่อลักษณะการเชื่อมโยงของยาง พัมมิชสามารถทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมชนิดกึ่งเสริมแรง (Semi-reinforcing filler) เนื่องจากความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด โมดูลัส และความแข็งกดเพิ่มขึ้นเมื่อใส่พัมมิชในยาง อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณการเติมที่ทำให้สมบัติเชิงกลสูงสุดที่ 30 phr เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณการเติมพัมมิชในยาง ทำให้เกิดการกระจายตัวไม่ดี จากการศึกษาผลของขนาดพัมมิชพบว่า สมบัติเชิงกลมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อทำการเทียบกับสารตัวเติมซิลิกาพบว่า ค่าความแข็งแรงดึงของยางผสมพัมมิชมีค่าน้อยกว่ายางผสมซิลิกา แต่โมดูลัสมีค่าสูงกว่า จากการศึกษาการใช้พัมมิชเป็นสารตัวเติมใน “พลาสติก” คาดว่าพัมมิชเป็นสารก่อผลึก (Nucleating agent) เนื่องจากองค์ประกอบผลึกของพลาสติกเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณพัมมิช สมบัติเชิงกล (ความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด) มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณพัมมิช อย่างไรก็ตาม ค่าโมดูลัสและความแข็งกดมีค่าเพิ่มขึ้น ขนาดของพัมมิชมีผลเพียงเล็กน้อยต่อสมบัติเชิงกลของพลาสติก จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่าพัมมิชสามารถกระจายตัวค่อนข้างดีในพอลิเมอร์

Beata Strzemiecka, Adam Voelkel, Małgorzata Kasperkowiak [2] ทำการศึกษาสารอนินทรีย์จำพวกอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) หลายชนิด ได้แก่ zeolite thick (grain size 1–2 mm), zeolite fine (grain size 0.2–1.2 mm), zeolite micro 20 (grain size 20 μm), zeolite micro 50 (grain size 50 μm), zeolite ZC20 (grain size 50 μm), lithopone (grain size 56 μm), calfix (grain size 56 μm), pyrite (grain size 65 μm) เพื่อใช้เป็นสารตัวเติม (Fillers) ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการสมบัติการขัดถู (Abrasive) จากการตรวจวิเคราะห์พบว่า สารอนินทรีย์แต่ละชนิดมีสมบัติแรงดึงดูดผิวที่ทำให้เกิดแรงกระจายตัว (Dispersive force) ที่ต่างกัน ทำให้เกิดอันตรกิริยา (Interaction) ที่ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของสารตัวเติมต่างกัน มีพื้นผิวที่เกิดกระทำที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่างกัน จากการทดลองสรุปว่า ซีโอไลต์ (Zeolites) มีพื้นที่ผิว และมีรูพรุนมากกว่าสารตัวเติมทั่วไป เช่น Calfix, Pyrite, และ Lithopone ทำให้แสดงความว่องไวของพื้นผิว (Activity) มากกว่า ซีโอไลต์สามารถเกิดอันตรกิริยากับเรซินเรซอล (Resol) ได้ดีกว่าสารตัวเติมทั่วไป

Sandip Rooja และคณะ [3] ศึกษา “green composite” ที่เตรียมจาก Natural halloysite nanotubes (HNTs) ผสมยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) และใช้สารประกอบไซเลน (Silane coupling agent, bis (triethoxysilylpropyl)-tetrasulphide) เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติ จากการทดลองพบว่า สามารถเกิดการเสริมแรงที่สูงกว่าซิลิกาเชิงพาณิชย์ที่ปริมาณเดียวกันที่มีการใช้ไซเลนเหมือนกัน ยิ่งไปกว่านั้น ยังมีสมบัติด้านการสลายตัวทางความร้อน ทำให้อุณหภูมิเริ่มสลายตัว (on-set thermal degradation decomposition temperature) เพิ่มขึ้น 64°C เมื่อทำการผสม HNTs 10 phr จากการศึกษาลักษณะด้วยเทคนิค TEM (Transmission electron microscopy) ยืนยันการกระจายตัวที่ดี ในขณะที่เทคนิคการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction) แสดงระยะห่างของระนาบระหว่างชั้นซิลิเกตที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

ภุชงค์ ทับทอง, ชาศริต สิริสิงห์ และพงษ์ธร แซ่ฮุย [4] การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเสริมแรงระหว่างนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต และซิลิกาในยางธรรมชาติ เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเสริมแรงระหว่างนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตและซิลิกา (ทั้งในกรณีที่มีและไม่มีการเติมสารคู่ควบไซเลน) ในยางธรรมชาติ โดยระหว่างกระบวนการผสมได้ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารตัวเติมตั้งแต่ 0 ถึง 40 phr สำหรับในกรณีที่มีการใช้ซิลิการ่วมกับสารคู่ควบไซเลน ได้ทำการเติมสารคู่ควบไซเลนลงไปปริมาณร้อยละ 8 (โดยน้ำหนักของซิลิกา) หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการผสม ได้นำยางคอมพาวด์ส่วนหนึ่งไปทดสอบสมบัติในกระบวนการผลิต และนำยางคอมพาวด์ส่วนที่เหลือไปขึ้นรูปและคงรูปเพื่อทดสอบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ต่อไป จากการศึกษาพบว่าสารตัวเติมทั้ง 2 ชนิดส่งผลต่อสมบัติในกระบวนการผลิตของยางในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ การเพิ่มปริมาณของสารตัวเติมจะส่งผลทำให้พลังงานที่ใช้ในการผสม และความหนืดของยางคอมพาวด์มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมดังกล่าวส่งผลทำให้ยางมีระยะเวลาสกร็อกซ์ (t_{s1}) และระยะเวลาในการคงรูปที่เหมาะสม (t_{c90}) สั้นลงอีกด้วย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตมีสภาพเป็นด่าง จึงส่งผลทำให้ยางคงรูปที่ได้มีระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูงขึ้น ในขณะที่ซิลิกากลับส่งผลต่อระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงในทิศทางตรงกันข้าม ทั้งนี้เนื่องจากบนพื้นผิวของซิลิกามีหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถดูดซับสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปนั่นเอง จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของยางคงรูปพบว่า การเพิ่มปริมาณนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตจะทำให้สมบัติเชิงกลส่วนใหญ่ของยางด้อยลง (ยกเว้นสมบัติความทนทานต่อการฉีกขาด) ในขณะที่การเพิ่มปริมาณซิลิกาจะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางให้ดีขึ้น จากการที่ซิลิกามีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่านาโนแคลเซียมคาร์บอเนตค่อนข้างมาก ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณการเติมเท่ากันจึงพบว่าซิลิกาสามารถเสริมแรงให้กับยางได้ดีกว่านาโนแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ซิลิการ่วมกับสารคู่ควบไซเลนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเสริมแรงของซิลิกาให้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เพราะสารคู่ควบไซเลนนอกจากจะช่วยลดการดูดซับสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปและทำให้ซิลิกาเกิดการแตกตัวได้ดีขึ้นแล้ว ยังช่วยเพิ่มอันตรกิริยาระหว่างยางและซิลิกาให้สูงขึ้นอีกด้วย

วรเดช ธนสิน, ต่อศักดิ์ ผ่องสิริทรัพย์ [5] ศึกษาสมบัติเชิงกลของพลาสติกพอลิพรอพิลีนที่ผสมเปลือกไข่ เป็นการนำวัสดุธรรมชาติ คือผงเปลือกไข่มาใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อเสริมแรงให้กับพลาสติก พอลิพรอพิลีน (PP) ซึ่งในเปลือกไข่มี CaCO_3 เป็นส่วนประกอบประมาณ 80% ส่วนที่เหลือเป็นพวกกลีปิด และโปรตีนในการทดลองได้ใช้พลาสติกพอลิพรอพิลีน 2 เกรดคือ 1100NK และ 1102H วัสดุประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงเปลือกไข่ (ขนาดอนุภาค $63\text{ }\mu\text{m}$) เตรียมขึ้นโดย

ใช้เครื่องหลอมอัดรีดแบบสกรูคู่และขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติการไหลของสารผสม มีดังนี้ คือ การทดสอบการทนแรงยึดดึง การทดสอบการทนแรงกระแทก และค่าดัชนีการหลอมไหล โดยจะทำการเปรียบเทียบผลกับวัสดุประกอบของพอลิพรอพิลีนและ CaCO_3 สำหรับการเคลือบกรดสเตียริกลงในผงเปลือกไข่และ CaCO_3 ทำให้การกระจายตัวของฟิลเลอร์ในเนื้อพลาสติกได้ดีขึ้น ส่วนผลของการทดสอบการทนแรงยึดดึงของวัสดุประกอบทั้ง 2 ชนิด พบว่าค่าลดลงเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ ค่าการทนแรงกระแทกของ PP เพิ่มขึ้นหลังจากผสมผงเปลือกไข่ และ CaCO_3 ค่าดัชนีการหลอมไหลของวัสดุประกอบทั้ง 2 ชนิดก็เพิ่มขึ้นตามปริมาณของผงเปลือกไข่และ CaCO_3 ที่เพิ่มขึ้น การเปรียบเทียบผลระหว่างการเคลือบและไม่เคลือบกรดสเตียริกสังเกตจากการทดสอบค่าการทนแรงกระแทก พบว่าฟิลเลอร์ที่ทำการเคลือบกรดสเตียริกให้ค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟิลเลอร์ที่เพิ่มขึ้น แต่ฟิลเลอร์ที่ไม่เคลือบกรดสเตียริกค่าลดลงที่ปริมาณฟิลเลอร์สูง โดยสามารถดูการกระจายตัวของฟิลเลอร์ได้จากผลของภาพ SEM

มงคลชัย เชนรัมย์ และ ชลดา เลวิส [6] ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติการยึดติดกับผ้าใบของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ เป็นการศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมชนิด เขม่าดำเกรด N220 และ N330 สารตัวเติมซิลิกาเกรด Hi Sil-233 ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 ส่วนต่อยางร้อยละ ส่วนต่อสมบัติทางกายภาพของยางวัลคาไนซ์ และสมบัติการยึดติดกับผ้าฝ้ายและผ้าไนลอน โดยผสมยางกับสารเคมีด้วยเครื่องบดยาง 2 ลูกกลิ้ง วัลคาไนซ์ด้วยระบบกัมมะถันปกติแล้วเตรียมเป็นชิ้นทดสอบด้วยเครื่องอัดเบ้า และทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด ความทนทานต่อการบ่มเร่ง ความทนทานต่อโอโซน ความทนทานต่อการหักงอ ความทนทานต่อการสึกหรอ และความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางกับผ้าใบ (ทดสอบโดยวิธีดึงลอก) ผลการทดสอบพบว่า ความทนทานต่อแรงดึงของยางที่ใช้ N220 มากกว่า N330 และ Hi Sil-233 ตามลำดับ ความทนทานต่อแรงดึงภายหลังการบ่มเร่ง และความทนทานต่อการฉีกขาดของยางที่ใช้ Hi Sil-233 มากกว่า N220 และ N330 ความทนทานต่อการสึกหรอที่ปริมาณสารตัวเติม 10 และ 20 phr ของยางที่ใช้ Hi Sil-233 มากกว่า N220 และ N330 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติมเป็น 30 ถึง 40 phr ของยางที่ใช้ N220 มากกว่า N330 และ Hi Sil-233 ความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางกับผ้าฝ้ายของยางที่ใช้ Hi Sil-233 มากกว่า N330 และ N220 ตามลำดับ แต่การยึดติดระหว่างยางกับผ้าฝ้ายลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณของสารตัวเติม การใช้ไซเลนเป็นสารช่วยยึดติดระหว่างยางกับซิลิกา พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไซเลนจาก 0.9, 1.8, 2.7 และ 3.6 phr ทำให้ความทนต่อแรงดึง และความทนต่อการฉีกขาดดีขึ้น แต่ความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางกับผ้าฝ้ายลดลง เมื่อใช้ผ้าใบชนิดผ้าไนลอนการยึดติดกับยางจะดีกว่าผ้าฝ้าย แต่ถ้าเคลือบกายาธรรมชาติ ลงบนผ้าฝ้ายก่อนที่จะเคลือบยางคอมพาวด์ จะทำให้การยึดติดระหว่างยางกับผ้าฝ้ายมีค่าใกล้เคียงกับผ้าใบไนลอน

ยุทธชาติ วิเชียรบุตร เจริญยุทธ เดชวายุกุล วิริยะ ทองเรือง [7] ยางคอมโพสิตจากยางธรรมชาติเติมด้วยเถ้าลอยลิกไนต์สมบัติของยางธรรมชาติเติมด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ การบ่มและสมบัติเชิงกล เตรียมขึ้นด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะการวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิต พบว่าปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ไม่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ ในทางตรงกันข้ามกับความแข็งแรง พบว่าความแข็งแรงดึง ระยะยืดเมื่อขาด และความต้านทานการฉีกขาดลดลงเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม มอดุลัสที่ระยะยืด 300% และ 500% มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณเถ้าลอย

กรรณิกา หัตถะปะนิตย์, ชาคริต สิริสิงห และพงษ์ธร แซ่ฮุย [8] ศึกษาผลของปริมาณเอทิลีนไธโอยูเรีย (ETU) ต่อสมบัติต่างๆของยางผสมระหว่างยางคลอโรพรีน (CR) และยางธรรมชาติ (NR) ที่มีการเสริมแรงด้วยซิลิกา โดยในการทดลองได้ทำการผสมยางคลอโรพรีนกับยางธรรมชาติที่สัดส่วนการผสมเท่ากับ 75/25 และใช้ซิลิกาเกรด HiSil 255s เป็นสารตัวเติมเสริมแรงในปริมาณ 30 phr จากนั้นจึงทำการปรับเปลี่ยนปริมาณเอทิลีนไธโอยูเรียจาก 0.0 ถึง 0.9 phr จากการศึกษา พบว่าการเพิ่มปริมาณเอทิลีนไธโอยูเรีย นอกจากจะส่งผลทำให้ยางมีความหนืดสูงขึ้นแล้วยังส่งผลทำให้ยางมีอัตราเร็วในการคงรูปและมีระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงที่สูงขึ้นอีกด้วยผลการทดลองยังบ่งชี้ว่าการเพิ่มปริมาณเอทิลีนไธโอยูเรียส่งผลทำให้ยางผสมที่ได้มีค่ามอดุลัสและความแข็งที่สูงขึ้น ส่วนค่าความทนทานต่อแรง ดึงนั้นพบว่ามีความสูงขึ้นตามการเพิ่มปริมาณของเอทิลีนไธโอยูเรียจนถึง 0.3 phr หลังจากนั้นก็จะเริ่มลดลงยิ่งไปกว่านั้นการเพิ่มขึ้นของระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงตามการเพิ่มปริมาณของเอทิลีนไธโอยูเรียยังมีส่วนช่วยทำให้ยางผสมมีสมบัติความทนทานต่อน้ำมันที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเติมเอทิลีนไธโอยูเรียในปริมาณที่สูงกว่า 0.3 phr สมบัติการเสียรูปหลังการกดอัดที่อุณหภูมิสูงของยางผสมกลับด้อยลง ทั้งนี้คาดว่าอาจเป็นผลสืบเนื่องมาจากการขัดขวางการเกิด post curing ของเอทิลีนไธโอยูเรียในระหว่างการทดสอบซึ่งมีการบ่มแรงที่อุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามก็ตีปรากฎการณ์ดังกล่าวนี้ส่งผลให้ยางผสมมีสมบัติความทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อนสูงขึ้น

J. W. Arnold and I. E. Yates [9] ศึกษาตรวจสอบเชื้อแบคทีเรียบนพื้นผิวของลูกยางถนอนขนไก่โดยได้ศึกษาหาสายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรียที่สัมผัสกับซากไก่หลังจากใช้งาน โดยทำการทดสอบหาสารยับยั้งแบคทีเรียโดยสารประกอบที่ถูกเลือกสำหรับการศึกษากับเชื้อ *Salmonella enteritidis* ผลจากการสแกนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนได้รับการยืนยันระดับของเชื้อ *Salmonella enteritidis* ก่อนและหลังการรักษา พบว่าสารประกอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือสามารถปลอดสารพิษปนเปื้อนและ *Salmonella enteritidis* ออกจากพื้นผิวยางถนอนขนไก่ได้อย่างสมบูรณ์

V.K. Burkeen [10] ศึกษาการกำจัดคราบไขมันที่ปนเปื้อนอยู่บนผิวยางถนอนขนไก่หลังจากการใช้งานถนอนขนไก่ซึ่งผ่านการใช้งานเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 4 วัน จากนั้นนำตัวอย่างถนอนขนไก่มาทดสอบ ซึ่งผลการทดสอบพบว่า สารที่ฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือโดยการลด *S. typhimurium* ในระดับที่ไม่สามารถตรวจพบไขมันในยางถนอนขนไก่ โดยการปรากฏตัวของไขมันบนยางถนอนขนไก่ลดลงอย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการทำ Reverse engineering ด้วยเทคนิคทางความร้อน TGA (Thermogravimetric Analysis) รวมทั้งความประสงค์หลักของสกว. ฝ่าย 5 และ คณะผู้ทำวิจัยที่ต้องการจะเพิ่มมูลค่าและการใช้งานยางธรรมชาติ (NR) จึงทำการเลือกยาง NR เป็นยางหลัก (based rubber) ในการออกสูตรยาง ข้อดีของยางธรรมชาติคือน้ำหนักโมเลกุลสูง สมบัติเชิงกลดีเยี่ยมโดยเฉพาะการรับแรงและสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ซึ่งตรงกับการใช้งานยางถนนในไทย ที่ต้องมีการพองบวมหมดการใช้งาน อย่างไรก็ตาม เพื่อพัฒนาสมบัติบางประการในเพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน และประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ได้แก่ความทนทานต่อการแตกหักโดยการพองบวม (Flex cracking) ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) คณะผู้วิจัยจึงทำการผสมยาง NR กับยางสังเคราะห์ได้แก่ ยางบิวทิไน (Butadiene rubber) ได้แก่ ยาง BR เกรด BR-01 (เกรดใช้งานทั่วไป) และ BR-150L (เกรดพิเศษ ทนเสียดสีขัดถู) และยางเอสบิวทิไน (Styrene butadiene rubber, SBR) เกรด S-SBR-1205 (เกรดพิเศษ เสียวางงานการหมุนต่ำ) โดยศึกษาอัตราส่วนยางธรรมชาติต่อยางสังเคราะห์ (NR/SR) ในช่วง 100/0, 90/10, 80/20 และ 70/30 (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก) ในการทดลองตอนที่ 1 เนื่องจากเป็นที่ทราบกันว่า ยาง BR มีสมบัติความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ดีเยี่ยม สูงกว่ายาง SBR และ NR จากการทดลองพบว่า ยาง BR-150L เป็นเกรดพิเศษที่สังเคราะห์จากตัวเร่งโคบอลต์ ทำให้ได้โครงสร้างสายโซ่ตรง มีความยืดหยุ่นสูงมาก และมีความทนทานต่อการเสียดสีขัดถูดีเยี่ยม จึงทำการเลือกยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30 ในการศึกษาตอนที่ 2 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (Fillers) และ ตอนที่ 3 ผลของสารเติมแต่ง (Additives) ได้แก่การใช้หินภูเขาไฟ (Pumice) และสารป้องกันจุลินทรีย์ (Biocide) เพื่อปรับปรุงให้สมบัติยางผสมดีขึ้นด้วยสารเติมแต่ง

ตอนที่ 1 ผลของชนิดยางสังเคราะห์และอัตราส่วนยางธรรมชาติต่อยางสังเคราะห์ (NR/SR)

ตอนที่ 2 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (Fillers)

ตอนที่ 3 ผลของสารเติมแต่ง (Additives)

3.1 สารเคมี

1. ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) เกรดยางแท่ง STR-5L บริษัท NATURAL ART AND TECHNOLOGY CO.,LTD สมบัติบางประการของ NR ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1
2. ยางสังเคราะห์บิวทิไน (Butadiene Rubber, BR)
 - 2.1 BR เกรด 01 บริษัท BST ELASTOMERS CO.,LTD
 - 2.2 BR เกรด 150L บริษัท THAI SYNTHETIC RUBBERS CO.,LTD
3. ยางสังเคราะห์เอสบิวทิไน (Styrene Butadiene Rubber, SBR) ชนิด S-SBR เกรด Buna VSL VP PBR 4045 บริษัท LANXESS ENERGIZING CHEMISTRY CO.,LTD
4. สารป้องกันการเสื่อม (Antioxidants)
 - 4.1 ANTAGE BHT บริษัท KAWAGUCHI CHEMICAL INDUSTRY CO.,LTD
 - 4.2 VULKANOX BKF บริษัท LANXESS ENERGIZING CHEMISTRY CO.,LTD
5. สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids) SP 222 บริษัท BAKELITE AG CO., LTD.

6. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) RA 90 บริษัท GLOBAL CHEMICAL CO.,LTD
7. กรดสเตียริก (Stearic acid) บริษัท PT.CISADANE RAYA CHEMICALS CO.,LTD
8. กำมะถัน (Sulfur, S₈) บริษัท สหไพศาลอินดัสทรี จำกัด
9. สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids) WINGTACK 95 บริษัท GRAY VALLEY USA ,LLC CO., LTD
10. ซิลิกา ชนิดตกตะกอน (Precipitated Silica) เกรด 255G บริษัท OSC SIAM SILICA CO., LTD
11. พียูจี (PEG 4000) บริษัท PAN ASIA CHEMICAL CORPORATION Co, Ltd.
12. สารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) Si-69 บริษัท EVONIK INDUSTRIES CO.,LTD
13. น้ำมันยาง Oil A บริษัท THAILUBE BASE PUBLIC COMPANY LIMITED
14. เขม่าดำ (Carbon black) เกรด N-330 บริษัท SUZHUA CARBON BLACK CO.,LTD
15. สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerator) TMTM บริษัท MLPC INTERNATIONAL ARKEMA GROUP
16. สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerator) CBS บริษัท NORTHEAST AUXILIARY CHEMICAL INDUSTRY CO.,LTD
17. สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerator) MBTSบริษัท NORTHEAST AUXILIARY CHEMICAL INDUSTRY CO.,LTD
18. สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerator) DPG บริษัท LINKWELL RUBBER CHEMICALS (QINGDAO) CO.,LTD
19. หินภูเขาไฟ (Pumice) ห้างหุ้นส่วนจำกัด คลองยาง ขนาดผ่านตะแกรงร่อน 120 mesh
20. Biocide HYBRICIDETM-94 บริษัท KOLON Life Science, Inc.

ตารางที่ 7 สมบัติบางประการของยางธรรมชาติ STR-5L ที่ใช้ในงานวิจัย

PROPERTY	STR 5L
Dirt (retained on 44 u aperture %wt	0.040 Max
Ash %wt	0.40 Max
Volatile matter %wt	0.80 Max
Nitrogen %wt	0.50 Max
Colour (Lovibond Scale)	6.0 Max
Initial wallace plasticity (Po)	35.0 Min
Plasticity Retention Index (PRI)	60.00 Min
Mooney Viscosity	-

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

ตารางที่ 8 สมบัติบางประการของยางสังเคราะห์ BR-01, BR-150L, S-SBR 4045 ที่ใช้ในงานวิจัย

Properties	BR-01	BR-150L	S-SBR 4045
Mooney Viscosity ML1+4 @100 °C	40-50	43±5	54
Volatile Matter (wt%)	0.75 max	0.7 max	0.75 max
Ash Content (wt%)	0.5 max	0.15 max	n/a
Soap (wt%)	-	-	-
Styrene content (wt%)	-	-	25

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) บริษัท Lab Tech Engineer
2. เครื่องผสมแบบปิด Kneader 3.3 L บริษัท Yongfong Machinery, LTD.
3. เครื่องกดอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) บริษัท Lab Tech Engineer
4. เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ (Mooney viscometer) รุ่น Modelm2000 N/D บริษัท Rishikesh Electromatic pvt.LTD.
5. เครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบจานหมุน (Oscillating Disc Rheometer, ODR) รุ่น GT-7070-S2 บริษัท GOTECH TESTING MACHINES INC.
6. เครื่องวัดความแข็งกดแบบดูโรมิเตอร์ (Durometer hardness tester)
7. เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) รุ่น LR 5 บริษัท Lloyd instrument
8. เครื่องทดสอบทางความร้อน TGA (Thermogravimetric Analyzer) Perkin elmer Instrument)
9. ตู้อบ
10. เครื่องชั่ง

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การผสมสูตรยางและการเชื่อมโยง (Rubber compounding and Vulcanization)

1. ตัดและชั่งยางธรรมชาติ (NR STR-5L) รวมทั้งสารเคมีต่างๆ ตามตารางที่ 3.3
2. ใส่ยาง NR ในเครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) เพื่อทำการบดย่อยหรือ มาสตีเคชัน (Mastication) ให้ยางนิ่มตัว และสามารถพันรอบลูกกลิ้งได้ แล้วทำการกรีดพับ ยางจนกระทั่งยางนิ่ม
3. ทำการใส่สารตัวเติมต่างๆ ยกเว้นสารเชื่อมโยง สารเร่งปฏิกิริยา โดยค่อยๆใส่ระหว่างลูกกลิ้ง และทำการผสมโดยการกรีดและพับยาง (Cut-and-fold) เพื่อให้สารตัวเติมกระจายตัวอย่าง สม่ำเสมอ แล้วรีดยางออกเป็นแผ่นหนาประมาณ 3-5 มิลลิเมตร
4. ตัดแผ่นยางผสมสูตรที่ได้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 2×2 นิ้ว จำนวน 2 แผ่น นำไปวัด ความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) โดยใช้เครื่องมือวีส์โคมิเตอร์ (Mooney viscometer) กำหนดอุณหภูมิการวัดความหนืดที่ 100°C โดยหาความหนืด ML 1+4 (100°C)
5. เมื่อตัดตัวอย่างยางเพื่อใช้ทดสอบความหนืดมูนนี่แล้ว จึงเติมสารเชื่อมโยงและตั้งเร่งปฏิกิริยา เชื่อมโยง โดยค่อยๆใส่ระหว่างลูกกลิ้ง ทำการผสมโดยการกรีดและพับยางต่อจนกระทั่ง กระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วรีดยางออกเป็นแผ่นหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร
6. ตัดแผ่นยางผสมสูตรที่ได้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 2×2 นิ้ว แล้วนำไปทดสอบลักษณะ การเชื่อมโยง (Cure characteristic) ด้วยเครื่องวัดการเชื่อมโยง MDR (Moving Die Rheometer) ที่อุณหภูมิ 160°C เพื่อหาเวลาเริ่มเชื่อมโยงหรือเวลาสกอร์ช (Scorch time, t_{s2}) และเวลาเชื่อมโยง (Cure time, $t_{c(90)}$)
7. ตัดแผ่นยางผสมสูตรที่ได้ใส่แม่แบบสำหรับอัดเป็นแผ่น (ประมาณ 6×6 นิ้ว) แล้วนำแม่แบบใส่ เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) เพื่อทำการขึ้นรูปให้เป็นแผ่น โดยทำ การอัดร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลาเท่ากับเวลาเชื่อมโยง (Cure time, $t_{c(90)}$) ที่ได้จาก กราฟเชื่อมโยง (ใช้เวลาเพิ่มเป็น $t_{c(90)} \times 1.2$ สำหรับเวลาในการถ่ายเทความร้อนผ่านแม่แบบ และขึ้นงานยาง)
8. ตัดแผ่นยางผสมสูตรที่ได้ใส่แม่แบบสำหรับอัดขึ้นรูป (ประมาณ 3×3 นิ้ว) แล้วนำแม่แบบใส่ เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) เพื่อทำการขึ้นรูปให้เป็นแผ่น โดยทำ การอัดร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลาเท่ากับเวลาเชื่อมโยง (Cure time, $t_{c(90)}$) ที่ได้จาก กราฟเชื่อมโยง

3.3.2 การศึกษาสมบัติต่างๆ

1. การหาเวลาเชื่อมโยงยางผสมสูตร (Cure time)

ตัดชิ้นยางผสมสูตรมีความหนาประมาณ 5 mm ทดสอบด้วยเครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบไร้งานสั้น (Moving Die Rheometer; MDR) ที่อุณหภูมิ 160°C งานสั้นหมุนทำมุม ± 3 องศา หา เวลาสกอร์ช (t_{s2}) และเวลาการเชื่อมโยง (t_{c90}) ของยางแต่ละสูตร

ตารางที่ 9 สูตรยางถนนที่ศึกษาในงานวิจัยนี้

Materials	Amount (phr)
NR / SR (BR-01, BR-150L หรือ S-SBR) ¹	100/0, 90/10, 80/20, 70/30
BHT	0.5
BKF	0.5
SP 222	1
ZnO	4
MA-L79	0.5
TAC' 95	1
CB N-330 หรือ Silica 255G ¹	30, 40, 50
Pumice ¹	0, 3, 5
PEG 4000 ²	2.5
SI 69 ²	1.25
OIL – A ³	5
Stearic acid	1
Biocide ¹	0, 0.15
TMTM	0.8
CBS	1
MBTS	0.8
DPG	0.8
Sulfur	1

หมายเหตุ

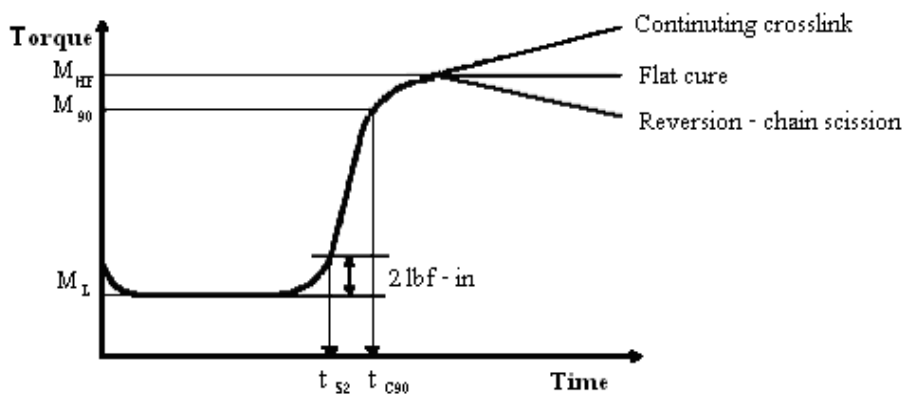
¹ ปัจจัยที่ศึกษา

² ใส่เฉพาะสูตรที่ใช้ซิลิกา

³ มีการเพิ่มปริมาณในบางสูตรที่ใช้สารตัวเติมมากเพื่อให้ได้ความแข็งที่ต้องการ



รูปที่ 21 เครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบจานสั้น (Moving Die Rheometer; MDR)



รูปที่ 22 กราฟเชื่อมโยง (Cure curve) ของยางผสมสูตรแสดงเวลาเชื่อมโยง (Cure time, $t_{c(90)}$) และเวลาก่อนการเชื่อมโยง (Scorch time, t_{s2})

เมื่อ M_L คือ ค่าแรงบิดต่ำสุด (Minimum torque)
 M_{HF} คือ ค่าแรงบิดสูงสุดเมื่อเส้นกราฟคงที่ที่จุดสูงสุด (Plateau torque)
 M_{90} คือ ค่าแรงบิดที่ 90 % ของการเชื่อมโยง สามารถคำนวณได้จาก

$$M_{90} = M_L + 0.9 (M_{HF} - M_L) \quad (3.1)$$

t_{s2} คือ เวลาเริ่มเชื่อมโยงหรือเวลาสกอร์ช เป็นเวลาที่ใช้ในการเชื่อมโยงจนแรงบิดเพิ่ม 2 หน่วยแรงบิด (kgf.cm หรือ lbf.in) เทียบกับค่าแรงบิดต่ำสุด

t_{90} คือ เวลาที่ใช้ในการเชื่อมโยงจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดที่มีการเชื่อมโยง 90 % (Optimum cure time)

$$\text{Cure Rate Index, CRI} = 100 (t_{c(90)} - t_{s2}) \quad (3.2)$$

2. ศึกษาสมบัติเชิงกล

1. การทดสอบความแข็งกด (Hardness tests)

นำชิ้นงานที่เตรียมได้มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งกดแบบน้ำหนักคงที่ (Dead load hardness tester) ชนิด Shore A ที่อุณหภูมิห้องตามมาตรฐาน ASTM D2240 ซึ่งอ่านค่า ความแข็งกดได้โดยตรงจากเครื่อง จากการกดที่ตัวอย่างหนาน้อยกว่า 1/4 นิ้ว สามารถซ้อนขึ้นทดสอบเพื่อให้ได้ความหนาตามต้องการ ค่าความแข็งกดอ่านได้หลังจากกดเป็นระยะเวลา 5 วินาที ใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 3 ชิ้นในแต่ละสูตร โดยทำการทดสอบ 3 ครั้งคือ 3 จุดในการกดต่อหนึ่งชิ้นงานทดสอบ

2. การทดสอบแรงดึง (Tensile tests)

ทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine (UTM) ตามมาตรฐาน ASTM D412 โดยเตรียมชิ้นงานตัวอย่างรูปดัมเบลล์ (Dumbbell shape) กำหนดสภาวะเครื่องทดสอบดังนี้

ความเร็วในการดึงยืด	500 มิลลิเมตรต่อนาที
ความยาวเกจ หรือความยาวเริ่มต้น (Gauge length)	25 มิลลิเมตร
ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้	5 กิโลนิวตัน
จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ทดสอบ	5 ชิ้นงาน

ผลการทดสอบที่ได้นำมาหาค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เท่ากับความเค้นสูงสุด (Maximum stress) ของวัสดุที่รับได้เมื่อให้แรงดึง (หน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่) หาได้จากสมการ

$$\text{ความแข็งแรงดึง} = F / A \quad (3.1)$$

เมื่อ F = แรงที่ใช้ในการดึง ณ จุดสูงสุด (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm^2)

- เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) หาได้จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด} = \frac{(l - l_0) \times 100}{l_0} \quad (3.2)$$

เมื่อ l = ความยาวสุดท้าย ณ จุดขาดของชิ้นงาน (mm)

l_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน (mm) หรือความยาวเกจ

- โมดูลัสของยาง (Rubber modulus) ที่ 100 และ 300 เปอร์เซ็นต์ (M100, M300) คือค่าความเค้นดึง (Tensile stress) ที่ค่าความเครียด 300 เปอร์เซ็นต์ (หน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่)

3. การทนทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength)

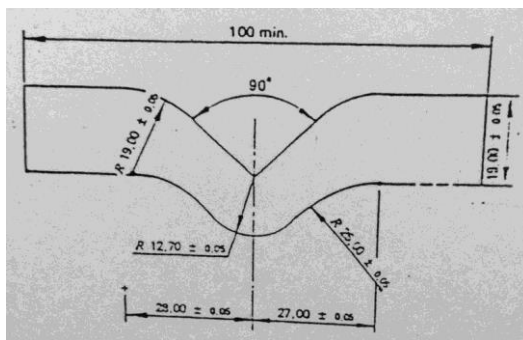
ทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine (UTM) ตามมาตรฐาน ASTM D624 Type C และ JIS K6301 ตัดตัวอย่างดังรูปที่ 23 วัดความหนาขึ้นทดสอบ ความเร็วในการดึง 500 mm ต่อ นาที สูตรคำนวณ

$$TR = F/d$$

F = แรงที่ใช้ดึงยาง

d = ความหนาของชิ้นทดสอบ

ตัวอย่างที่ส่งทดสอบการทนทานต่อการฉีกขาดที่ MTEC (ดร.พงษ์ธร) ปฏิบัติตาม ISO 34-1 method C โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูป Crescent test piece



รูปที่ 23 ขนาดและมีตัดตัวอย่างการทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ตามมาตรฐาน ASTM D624 Type C

4. การทดสอบการเปลี่ยนรูปถาวรจากการดึง (Tension set)

ทดสอบตามมาตรฐานภายในของบริษัท SK Polymer โดยทั้งตัวอย่างที่ทดสอบให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แต่ไม่เกิน 2 วัน ตัดชิ้นทดสอบให้ได้ขนาดความยาว 150 mm X ความกว้าง 25 mm กำหนดระยะ Test Length เท่ากับ 100 mm นำชิ้นทดสอบใส่ในที่จับของเครื่อง UTM แล้วทำการยืดชิ้นทดสอบจนระยะ Test Length ยืดได้ความยาวที่ 300 mm และค้างไว้เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบ 10 นาที ให้ปล่อยชิ้นทดสอบให้หดกลับโดยทันที แล้วนำชิ้นทดสอบ

ออกจากเครื่องทดสอบ ทั้งขึ้นทดสอบไว้ 5 นาทีที่อุณหภูมิห้อง แล้ววัดระยะ Test Length หลังจากทดสอบ คำนวณค่า % Tension set (%Ts) จากสูตร

$$\% Ts = (L_1 - L_0 / L_0) \times 100$$

เมื่อ

L_0 : ระยะ Test Length ก่อนทดสอบ (100 mm)

L_1 : ระยะ Test Length หลังทดสอบ (mm)

4. การทดสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติหลังการบ่มเร่ง 70°C 70 ชั่วโมง (Heat Aging) โดยทำการทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) โมดูลัสของยาง M100 และความแข็งกด (Hardness) เปรียบเทียบ ก่อนและหลังเข้าตู้อบ 70 องศาเซนเซียส เป็นเวลา 70 ชม. โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

หาค่าการทนแรงดึงหลังจากการบ่มเร่ง

$$\text{สูตรคำนวณ} = (TB - TB_0) / TB_0 \times 100$$

TB_0 = Tensile Strength ก่อนการบ่มเร่ง

TB = Tensile Strength หลังการบ่มเร่ง

หาเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) หลังการบ่มเร่ง

$$\text{สูตรคำนวณ} = (EB - EB_0) / EB_0 \times 100$$

EB_0 = Elongation at break ก่อนการบ่มเร่ง

EB = Elongation at break หลังการบ่มเร่ง

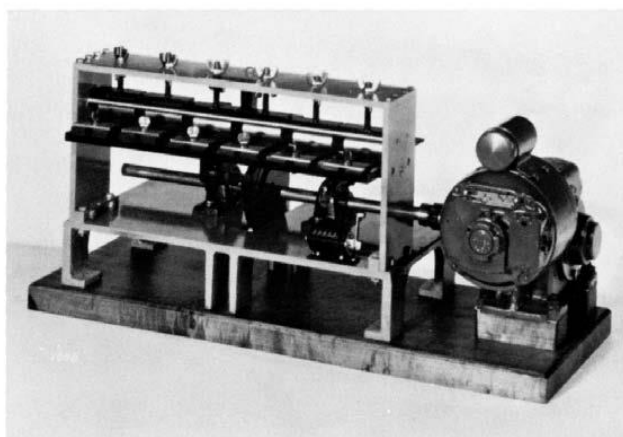
5. การทดสอบการกระเด็นกระดอน (Rebound Resilience) ด้วยเครื่อง (Wallace รุ่น Ref:R.2&R.2AX) ปฏิบัติตาม ISO 4662 tripsometer method

3. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

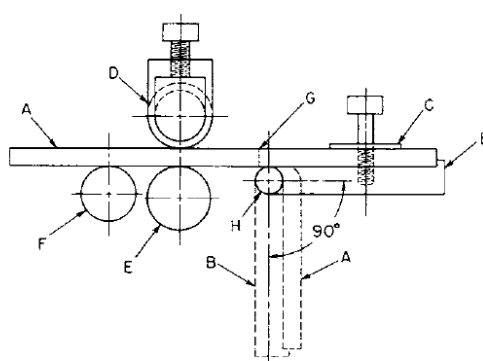
1. การทดสอบปริมาตรสูญเสียหลังการขัดสี (Abrasion Resistance) ตามมาตรฐาน DIN 53516 ด้วยเครื่อง DIN Abrasion tester (ZWICK)

2. การทดสอบการขยายตัวของรอยแตก (Flex cracking resistance) ตามมาตรฐาน ASTM D1052 ด้วยเครื่อง Ross Flex Cracking (Yasuda Seiki Model 6105)

ทำการทดสอบโดยการวัดการขยายรอยขาดของยางเชื่อมโยงที่ได้รับแรงโค้งงอซ้ำ ๆ ตัวอย่างกว้าง 25 mm หนา 6.35 mm ยาวไม่น้อยกว่า 152 mm ตัวอย่างถูกจับให้งอ 90 องศา ซ้ำ ๆ ที่ความถี่ 1.7 Hz (100 ± 5 รอบต่อนาที) ทำการรายงานจำนวนรอบที่รอยขาดของตัวอย่างที่ขยายเพิ่มจากรอยขาดเริ่มต้น 2.5 mm ทุก ๆ 100 % จนถึง 500 %



รูปที่ 24 เครื่อง Ross Flexing Machine



- A—Test Specimen.
 B—Holder arm.
 C—Holder arm adjustment.
 D—Adjustable top roller.
 E—Fixed lower roller.
 F—Supporting fixed lower roller.
 G—Pierced section.
 H—10 mm (0.375 in.) diameter rod over which specimen bends freely through a 90° angle.

รูปที่ 25 ภาพวาดแสดงลักษณะการพับในการทดสอบ Ross flex cracking resistance

4. ศึกษาสมบัติทางความร้อน

1. ศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA

โดยใช้สภาวะการทดลองดังนี้ ชั่งตัวอย่างประมาณ 5-10 มิลลิกรัม อัตราการให้ความร้อน 20 °C/min ช่วงอุณหภูมิ 25 - 500 °C ใช้บรรยากาศไนโตรเจน จากนั้นเปลี่ยนเป็นบรรยากาศออกซิเจนจนถึงอุณหภูมิ 800 °C

5. การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

1. เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร Muller Hinton Broth (MHB) ที่อุณหภูมิ 37°C ให้มีความขุ่นเท่ากับ Mc Farland No. 05
2. Swap เชื้อลงบนอาหาร Muller Hinton Agar (MHA)
3. วางตัวอย่างลงบนอาหารที่ Swab เชื้อแล้ว
4. ใช้ยาปฏิชีวนะ Gentamicin 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร Positive Control
5. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
6. เมื่อครบเวลาทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้ง (Clear zone) มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

การทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดหยาดต่อเชื้อจุลินทรีย์ ด้วยวิธี Disc diffusion

เชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาทดสอบแบ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก 2 ชนิดคือ *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* และ *Micrococcus luteus* แบคทีเรียแกรมลบ 2 ชนิดคือ *Pseudomonas aeruginosa* และ *Escherichia coli* โดยเชื้อแบคทีเรียจะเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อชนิด Mueller-Hilton agar (MHA) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมงแล้ว เชื้อโคโลนีเดี่ยว (single colony) ของเชื้อที่ต้องการทดสอบมาทำให้อยู่ในรูปสารละลายเซลล์แขวนลอย โดยใส่ในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Mueller-Hilton broth (MHB) ปริมาตรหลอดละ 3-5 มิลลิลิตร นำไปปั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำไปตรวจสอบปริมาณของเชื้อ โดยการนำไปเทียบความขุ่นกับสารละลาย McFarland 0.05 เพื่อให้มีเชื้อจุลินทรีย์ประมาณ 1.5×10^8 cfu/ml จากนั้นใช้ไม้พินสำลีที่นิ่งฆ่าเชื้อจุ่มในเชื้อที่ทราบความเข้มข้นแล้ว ซับให้แห้งกับข้างหลอดทดลอง นำไปเกลี่ย (swab) บางๆ ให้ทั่วบนผิวอาหารเลี้ยงเชื้อ เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์กระจายสม่ำเสมอทั่วผิวน้ำของอาหารเลี้ยงเชื้อ ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้ผิวน้ำของอาหารเลี้ยงเชื้อแห้ง นำไปทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดหยาดต่อเชื้อจุลินทรีย์ต่อไป

เมื่อได้สารละลายเซลล์แขวนลอยที่มีจำนวนเซลล์ที่ต้องการแล้ว นำไม้พินสำลีที่ฆ่าเชื้อแล้วจุ่มลงในสารละลายเซลล์แขวนลอยมาเกลี่ยให้ทั่วผิวน้ำอาหารแข็งโดยแบคทีเรียจะเพาะเลี้ยงในอาหาร MHA จากนั้นรอให้ผิวน้ำอาหารแห้ง ทำการหยดชุดควบคุมทางบวก (Positive control) ซึ่งใช้ยาปฏิชีวนะชนิด gentamycin ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ลงในกระดาศกรงที่ตัดขนาดเท่ากับแผ่นยาง ขนาด 1X1 cm ที่ผ่านการนิ่งฆ่าเชื้อแล้ว โดยใช้ปริมาตร 20 ไมโครลิตรต่อ paper disc ใช้ปากคีบแผ่น paper disc วางลง และกดเบาๆ บนอาหารในจานเพาะเลี้ยงที่ทำการเกลี่ยเชื้อไว้แล้ว โดยให้แผ่นยาง และชุดควบคุมทางบวก อยู่ในจานเพาะเลี้ยงเดียวกัน นำไปปั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจสอบผลโดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้ง (inhibition zone) ของสารสกัดหยาด โดยในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นจะวิเคราะห์ใน 3 ซ้ำโดยนำมาหาค่าเฉลี่ย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ยางถนบกึ่งยางพารา

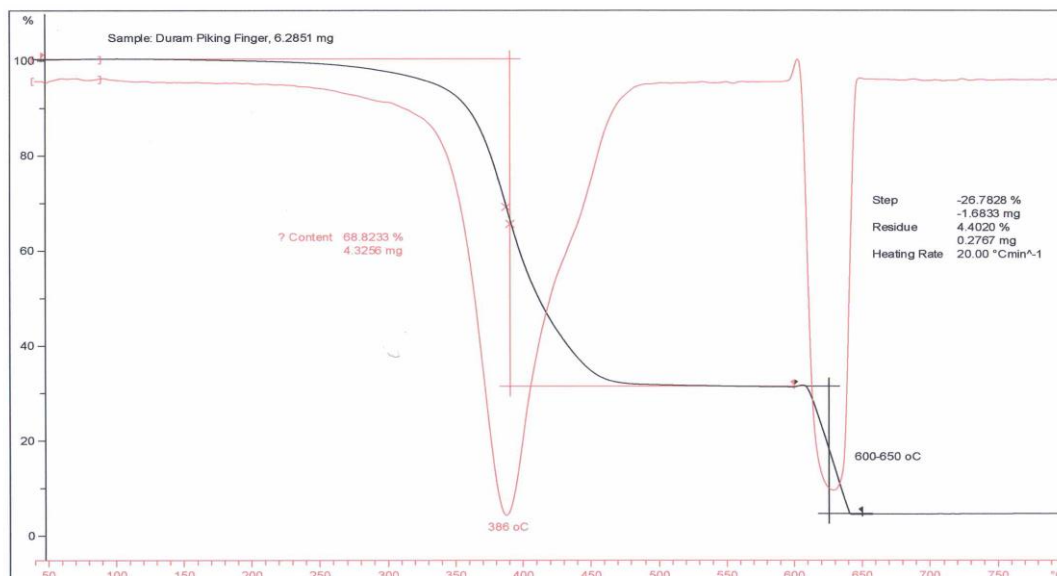
ในการทดลองตอนต้น เป็นการนำผลิตภัณฑ์ยางถนบกึ่งยางพาราจากต่างประเทศยางถนบกึ่ง บริษัท A และ B ความแข็ง 60 และ 70 Shore A มาทดสอบสมบัติบางประการ ได้แก่ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน สามารถแสดงผลดังตารางที่ 10 และรูปที่ 26-27

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบสมบัติบางประการของตัวอย่างยางถนบกึ่งยางพาราจากต่างประเทศ

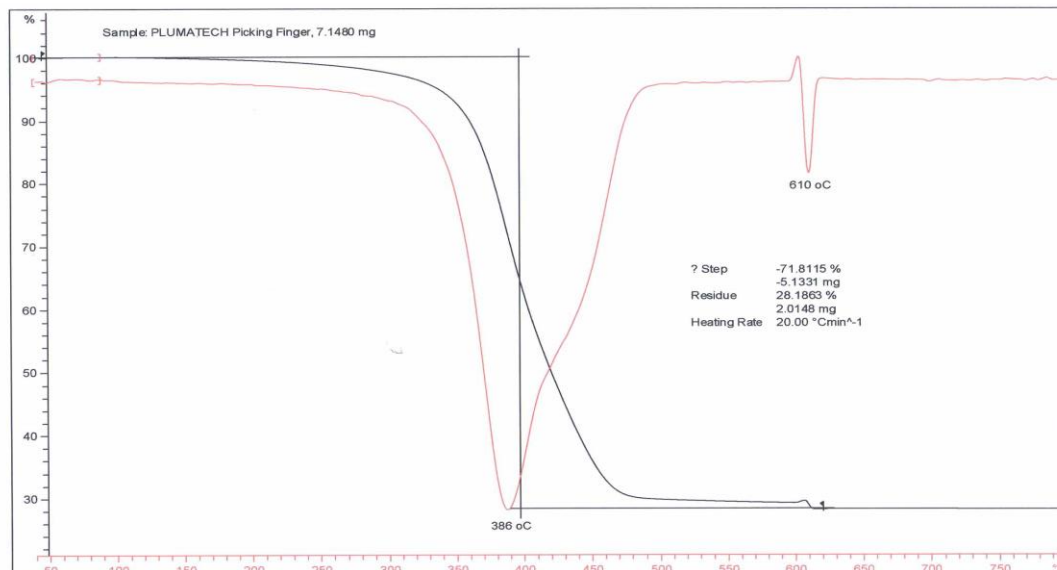
สมบัติ	ยางถนบกึ่ง บริษัท A (60 Shore A)	ยางถนบกึ่ง บริษัท B (60 Shore A)	ยางถนบกึ่ง บริษัท A (70 Shore A)
ความแข็ง (Shore A)	59.4±0.8	67.4±0.5	70.0±0.4
ความต้านแรงดึง (MPa)	25.6±0.6	16.7±0.3	18.7±0.7
100% มอดูลัส (MPa)	1.77±0.12	2.46±0.13	2.85±0.11
ความยืดเมื่อขาด (%)	568±20	430±13	380±9
สมบัติที่เปลี่ยนแปลงหลังบ่มเร่ง (@ 70°C, 72 h)			
- ความต้านแรงดึง (%)	-0.2	-10.2	-6.3
- 100% มอดูลัส (%)	0.6	4.9	19.6
- ความยืดเมื่อขาด (%)	-2.6	-9.5	-13.4
ความทนทานต่อการฉีกขาด (N/mm)	N/A*	N/A*	N/A*
ปริมาตรสูญเสีย (DIN) (mm ³)	136±2	137±4	87±5
ปริมาตรสูญเสีย (Akron) (mm ³ /1,000 cycles)	N/A*	N/A*	N/A*
การกระด้างกระดอน (%)	63.5±0.0	65.2±0.0	58.4±0.0
Ross flex (cycles)	N/A*	N/A*	N/A*
ความเป็นพิษ			
1. ปริมาณสารที่สกัดได้ตามวิธี US-FDA (mg/inch ²)			
- น้ำกลั่น (7 ชั่วโมงแรก/2 ชั่วโมงหลัง)	0.66/0.14	0.46/0.14	0.42/0.08
- เฮกเซน (7 ชั่วโมงแรก/2 ชั่วโมงหลัง)	49.1/24.5	54.0/54.0	142.3/58.9
2. สิ่งที่เหลือจากการระเหยตาม มอก.656			
- น้ำกลั่น (mg/dm ³)	298	236	271.5
- น้ำกลั่น (mg/inch ²)	3.85	3.05	3.50

- หมายเหตุ**
- ผลการทดสอบได้รับการอนุมัติจาก ดร.พงษ์ธร แซ่ฮุย MTEC
 - เตรียมตัวอย่างจากผลิตภัณฑ์ สำหรับ Tensile properties ใช้ขึ้นทดสอบ Type 2 (ISO 37)
 - *ไม่สามารถทดสอบสมบัติได้เนื่องจากไม่สามารถหาลายคอมพาวด์เพื่อเตรียมขึ้นทดสอบมาตรฐานได้

คณะวิจัย ฯ ทำการทดสอบสมบัติบางประการของตัวอย่างยางถนนไก่เซิงพาณิชย์จากต่างประเทศ เพื่อใช้เป็นค่าเทียบมาตรฐาน (Benchmark) เพื่อใช้เปรียบเทียบในการพัฒนาสูตรยางในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างยางถนนไก่เซิงพาณิชย์จากต่างประเทศที่ทดสอบ เป็นยางที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้ว (Vulcanized rubbers) ทำให้ไม่สามารถทดสอบบางสมบัติที่ต้องเตรียมตัวอย่างจากยางผสมสูตร (Compounds)



รูปที่ 26 TGA Thermograph ของยางถนนไก่เซิงพาณิชย์จากต่างประเทศ บริษัท A



รูปที่ 27 TGA Thermograph ของยางถนนไก่เซิงพาณิชย์จากต่างประเทศ บริษัท B

จากรูป 4.1 และ 4.2 แสดงการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ทำให้ทราบปริมาณสารตัวเติม (Fillers) ว่ามีประมาณ 30 % หรือประมาณ 43 phr โดยมียางหลักเป็นยางธรรมชาติ (NR) อย่างไรก็ตาม คณะวิจัยคิดว่า จะใช้ผลการทดลองนี้เป็นแค่แนวทางการวิจัย จะไม่กำหนดสูตรตามผลการทดลองที่ได้ เนื่องจากคิดว่าทีมวิจัยมีแนวทางในการพัฒนาสูตร และสามารถได้สมบัติที่เทียบเคียงกับค่า Benchmark คือ ร้าง“มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ลูกยางถนนไก่ (CHICKEN PLUCKER RUBBER FINGERS)” ตามตารางที่ 11 และภาคผนวก ก1

ตารางที่ 11 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ของลูกยางถนนชนไก่ ตามร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ลูกยางถนนชนไก่ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม*

รายการ ที่	คุณลักษณะทางฟิสิกส์	หน่วย	เกณฑ์กำหนด			วิธีทดสอบ ตาม
			ความ แข็งระบุ 50	ความ แข็งระบุ 60	ความ แข็งระบุ 70	
1	ความแข็งระบุ	Shore A	50±5	60±5	70±5	ข้อ 8.3
2	ก่อนการเร่งการเสื่อมอายุ - ความต้านแรงดึง ไม่น้อยกว่า - ความยืดเมื่อขาด ไม่น้อยกว่า	MPa %	12 500	15 400	17 350	ข้อ 8.4
3	หลังการเร่งการเสื่อมอายุ - ความต้านแรงดึง เปลี่ยนแปลงไม่เกิน ของค่าก่อนเร่งการเสื่อมอายุ - ความยืดเมื่อขาด เปลี่ยนแปลงไม่เกิน ของค่าก่อนเร่งการเสื่อมอายุ	% %	20 30	20 30	20 30	ข้อ 8.5
4	ความต้านทานต่อการฉีกขาด ไม่น้อยกว่า	N/mm	100	100	100	ข้อ 8.6
5	การกระด้างตัว ไม่น้อยกว่า	%	60	55	50	ข้อ 8.7
6	ความทนต่อการขัดสี - ปริมาตรสูญเสีย ไม่เกิน	mm ³	200	180	150	ข้อ 8.8
7	การขยายตัวของรอยแตก (Ross flex) ไม่น้อยกว่า	cycles	200,000	200,000	200,000	ข้อ 8.9
8	คุณลักษณะด้านความปลอดภัย - สิ่งที่เหลือจากการระเหย ไม่เกิน (ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย)	mg/cm ²	3	3	3	ข้อ 8.10

หมายเหตุ *ร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ลูกยางถนนชนไก่ โดย ดร.พงษ์ธร แซ่อู่ย รายละเอียดอยู่ใน
ภาคผนวก ก1

งานวิจัยนี้ได้แบ่งผลการทดลองออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลของชนิดยางสังเคราะห์และอัตราส่วนยางธรรมชาติต่อยางสังเคราะห์ (NR/SR)

ตอนที่ 2 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (Fillers)

ตอนที่ 3 ผลของสารเติมแต่ง (Additives)

4.2 ตอนที่ 1 ผลของชนิดยางสังเคราะห์และอัตราส่วนยางธรรมชาติต่อยางสังเคราะห์ (NR/SR)

ยางธรรมชาติ (NR) มีสมบัติเชิงกลที่ดี โดยเฉพาะความแข็งแรง (Strength) และความสมบัติในการรับแรงเชิงพลวัตหรือแรงสั่น (Dynamic properties) จึงใช้ NR เป็นยางหลัก อย่างไรก็ตามสมบัติของยางผสมสูตรสามารถปรับปรุงได้โดยยางสังเคราะห์ ได้แก่ ยาง BR เกรด BR-01 (เกรดใช้งานทั่วไป) BR-150L (เกรดพิเศษ ทนเสียดสีขัดถู) และ SBR เกรด S-SBR-1205 (เกรดพิเศษ เสี่ยงพลังงานการหมุนต่ำ) โดยศึกษาอัตราส่วนยางธรรมชาติต่อยางสังเคราะห์ (NR/SR) ในช่วง 100/0, 90/10, 80/20 และ 70/30 (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก) ความแตกต่างของยางสังเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังตารางที่ 11 เมื่อทำการคอมเปาวด์ยางตามสูตร แล้วทำการทดสอบสมบัติต่างๆ สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 12 และ 13

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบความแตกต่างของยางสังเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

Types of SR	Remarks	Baht/kg [*]
BR-01	BR ใช้งานทั่วไป, nickel catalyst	79
BR-150L	BR ชนิดพิเศษ, cobalt catalyst, โครงสร้างเส้นตรงมากกว่า, ทนการเสียดสีขัดถู, ยืดหยุ่นดึงตัวสูง, ความร้อนสะสมต่ำ	80
S-SBR 1205	SBR ชนิดพิเศษ, solution polymerization, เกาะเมื่อเปียก (Wet grip) ดีกว่า, เสี่ยงพลังงานจากการหมุนต่ำ, ใช้ในสูตรยางรถยนต์ประหยัดพลังงาน	155

หมายเหตุ * ราคา ณ เดือนตุลาคม 2556

ตารางที่ 13 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยงของยางถนนไนท์

Item test	Unit	NR 100	BR-150L /10	BR-150L /20	BR-150L /30	S-SBR /10	S-SBR /20	S-SBR /30	BR-01 /10	BR-01 /20	BR-01 /30
ML	lb-in	3.4	3.2	3.7	2.1	3.4	4.2	1.6	4.2	4.2	4.8
MH	lb-in	16.1	15.4	16.3	14.4	15.7	16.8	13	18.7	18.5	19.9
Ts2	min	1:41	1:53	1:47	1:28	1:46	1:56	2:55	1:25	1:37	1:27
Tc90	min	2:36	2:55	2:42	2:34	2:44	3:03	4:56	2:34	2:46	2:38

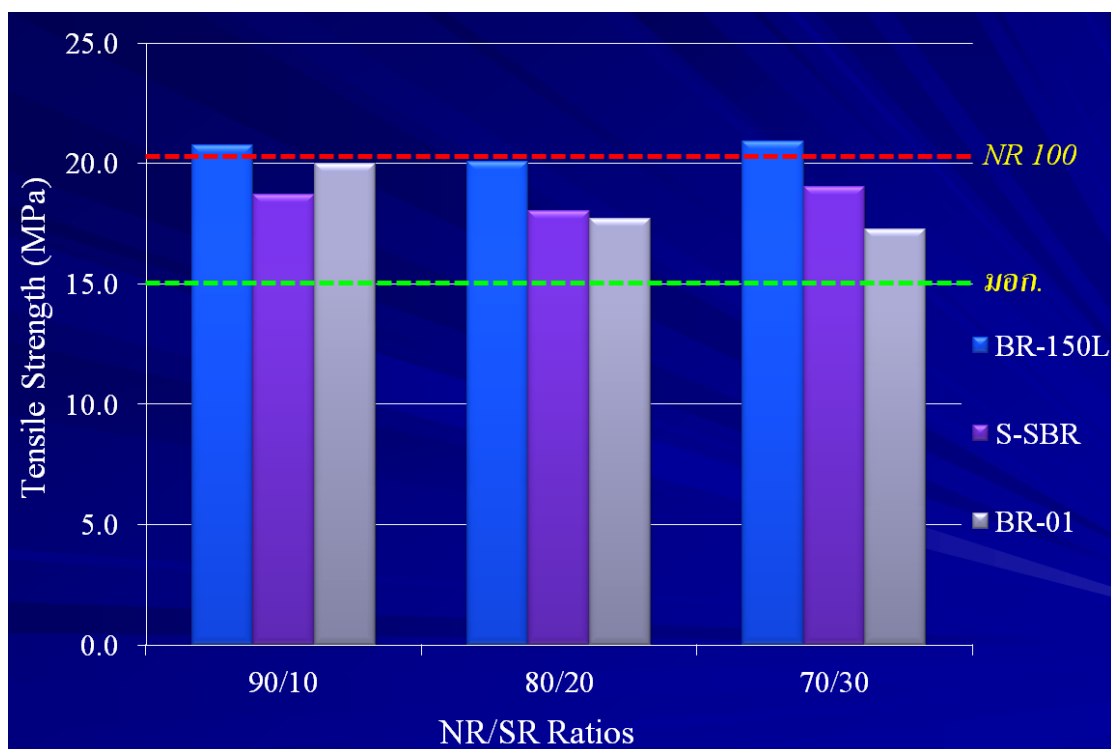
จากตารางที่ 13 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนปริมาณยางสังเคราะห์ ทั้ง BR-01, BR-150L และ S-SBR จาก NR/SR 100/0 → 70/30 (w/w) พบว่า ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) ของยางผสมสูตรเป็นไปตามคาด คือมีแนวโน้มเชื่อมโยงช้าลง เทียบกับสูตรที่เป็นยางธรรมชาติล้วน สังเกตจากค่าเวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time, t_{s2}) และเวลาเชื่อมโยง (Cure

time, t_{c90}) ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของ NR มี Allylic hydrogen มากกว่าในโครงสร้างของ BR และ SBR นอกจากนี้ยาง NR ยังมีโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นสารเร่ง (Accelerator) ตามธรรมชาติ

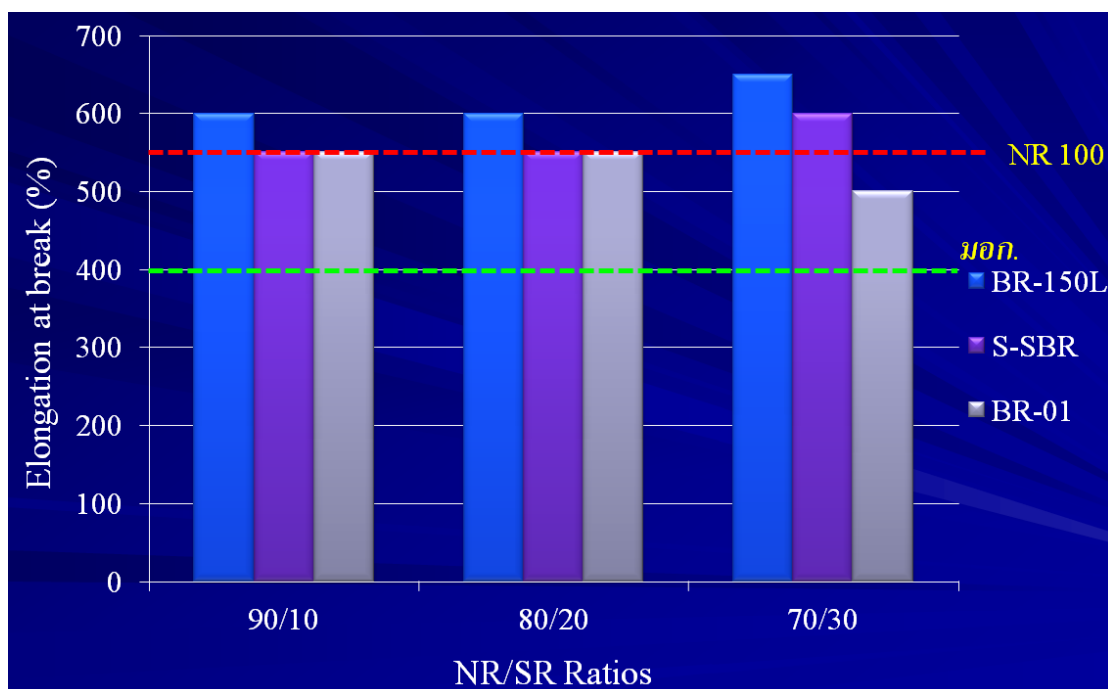
ผลของชนิดและสัดส่วนยางธรรมชาติอย่างสังเคราะห์ ได้แก่ BR-01, BR-150L, และ S-SBR ที่อัตราส่วน NR/SR = 100/0, 90/10, 80/20 และ 70/30 ที่มีคุณสมบัติเชิงกลของยางถนนทนไถ่ แสดงดังตารางที่ 14 และรูปที่ 28-30

ตารางที่ 4.5 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีคุณสมบัติเชิงกลของยางถนนทนไถ่

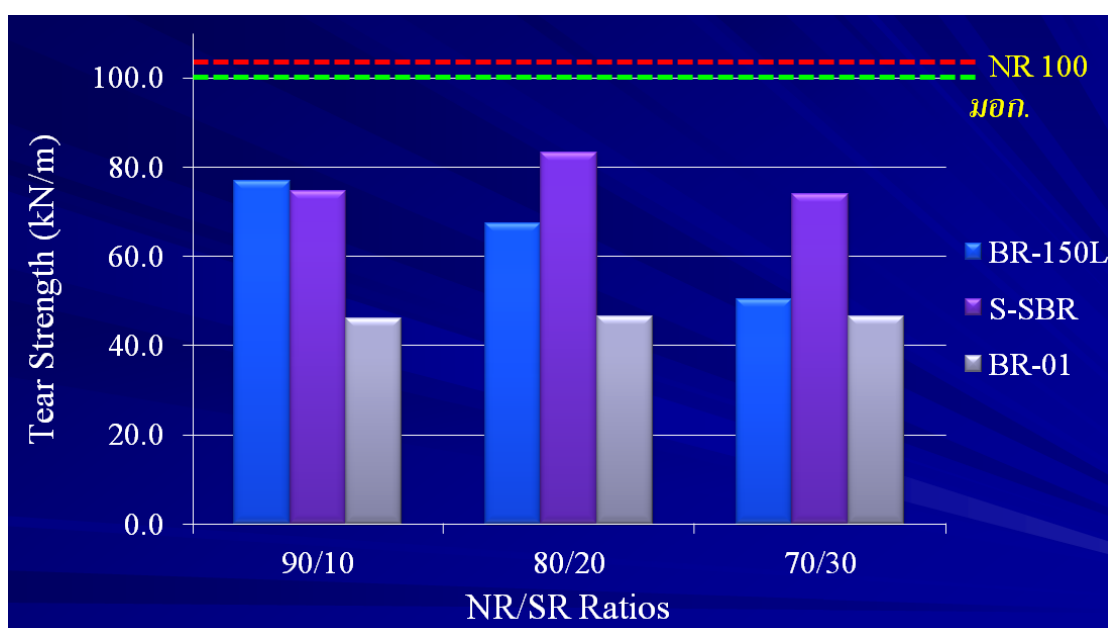
Item test	Unit	NR 100	BR-150L /10	BR-150L /20	BR-150L /30	S-SBR /10	S-SBR /20	S-SBR /30	BR-01 /10	BR-01 /20	BR-01 /30
Hardness	Shore A	57 -> 54	56->55	56->55	54->51	59->56	58->56	57->54	60->59	59->57	61->60
Tensile strength	MPa	20.2	20.8	20.1	20.9	18.7	18.0	19.0	20.0	17.7	17.3
Elongation at break	%	550	600	600	650	550	550	600	550	550	500
300 % Modulus	MPa	9.50	8.07	7.78	5.84	8.18	8.19	7.47	8.72	7.94	8.73
Tear strength	kN/m	105.6	76.8	67.4	50.2	74.6	83.2	73.9	45.9	46.5	46.4
Specific Gravity		1.137	1.133	1.132	1.127	1.144	1.143	1.143	1.125	1.132	1.133
Tension set (%)	%	2.0	4.0	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0	4.0	3.0	3.0
Abrasion - Volume Loss	mm ³	237	192	156	135	261	216	280	143	126	131
Cut Growth - Ross Flex	Cycles	327,999	377,042	321,550	340,955	175,512	151,808	143,497	243,123	125,647	148,626
Heat built up	°C	16.7	17.7	17.0	17.0	20.3	22.0	24.0	13.3	14.7	14.7



รูปที่ 28 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของยางถนนทนไถ่



รูปที่ 29 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของยางถนอมชนไก่



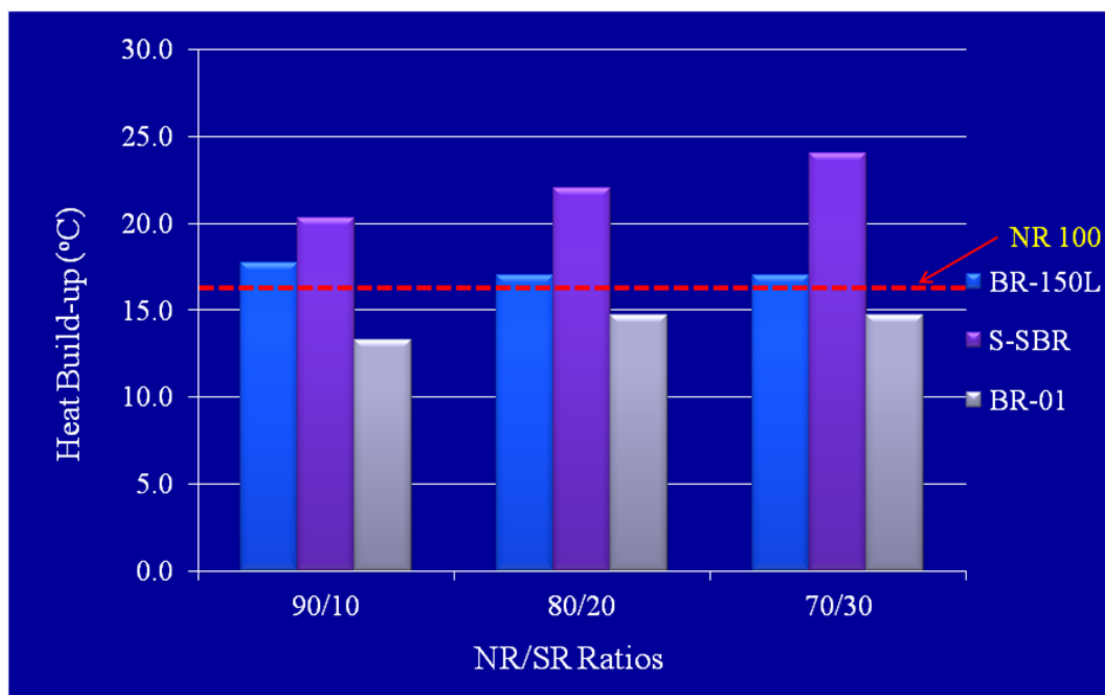
รูปที่ 30 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ของยางถนอมชนไก่ (หมายเหตุ ค่า Tear strength ที่ทดสอบใช้ตัวอย่าง ASTM D624 Type C แต่ค่ามาตรฐานทดสอบผลิตภัณฑ์ยางถนอมชนไก่ตาม มอก. ทดสอบตัวอย่างรูป Crescent test piece)

ตารางที่ 14 และรูปที่ 28-30 แสดงผลของชนิดและสัดส่วนยางธรรมชาติต่ออย่างสังเคราะห์ ได้แก่ BR-01, BR-150L, และ S-SBR ที่อัตราส่วน NR/SR = 100/0 (เส้นปะ), 90/10, 80/20 และ 70/30 ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของยางถนนคอนกรีต พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนยางสังเคราะห์ในยางธรรมชาติ (100/0 $\rightarrow$ 70/30 ทำให้สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรลดลงเล็กน้อย ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength), เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break), ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ทั้งนี้เนื่องจากยางธรรมชาติมีจุดเด่นเรื่องน้ำหนักโมเลกุลที่สูงมาก อีกทั้งสามารถเกิดผลึกขณะดึงยืด (Strain induced crystallization) ทำให้มีสมบัติเชิงกลดีเยี่ยม ทำให้มีความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดสูงกว่ายางสังเคราะห์ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาชนิดของยางสังเคราะห์แต่ละชนิดได้แก่ BR-01, BR-150L, และ S-SBR ที่สัดส่วนเท่ากัน พบว่าให้สมบัติต่างกันเล็กน้อย BR-150L ให้ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดสูงกว่า แต่ S-SBR ให้ความแข็งแรงฉีกขาดสูงกว่า

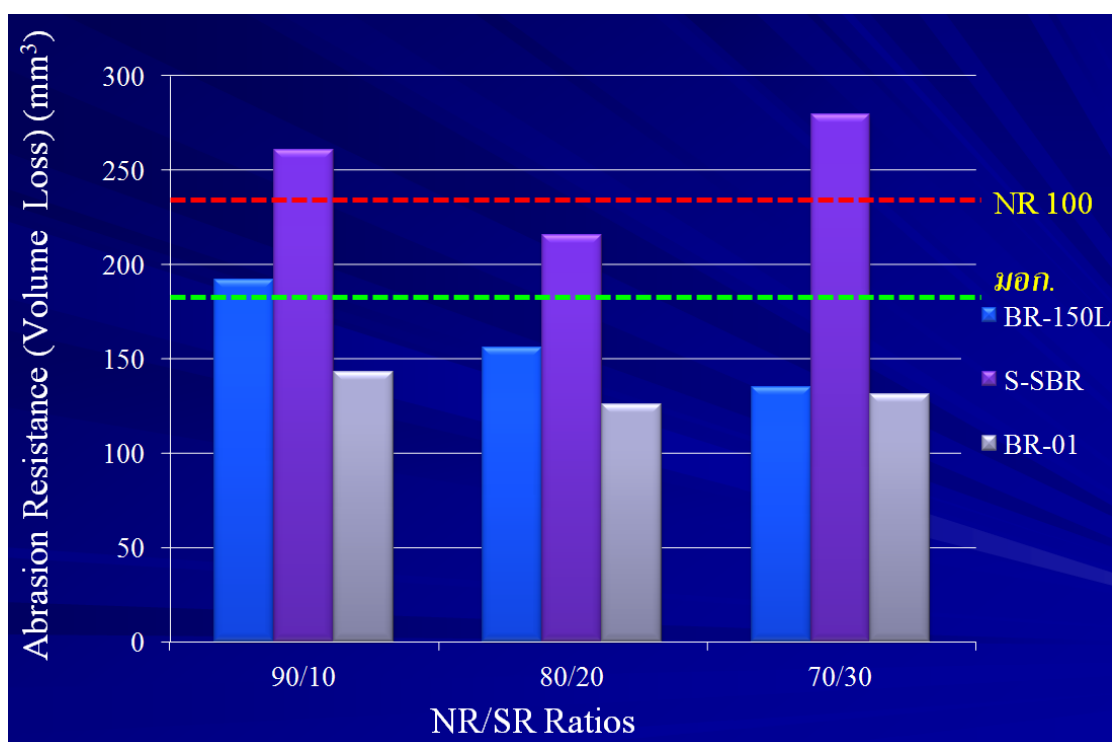
รูปที่ 31-32 แสดงสมบัติการใช้งานของยางตัวอย่างได้แก่ ความร้อนสะสม (Heat build-up) และความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนยางสังเคราะห์ในยางธรรมชาติ ความร้อนสะสมแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ความทนทานต่อการขัดถูดีขึ้นอย่างมาก (มีค่าปริมาตรยางที่สูญเสียจากการขัดถูน้อยลง) โดยเฉพาะยาง BR-150L และ BR-01 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี เนื่องจากเป็นที่ทราบดีว่า ยาง BR มีสมบัติความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ดีเยี่ยม สูงกว่ายาง SBR และ NR ยาง BR-150L เป็นเกรดพิเศษที่สังเคราะห์จากตัวเร่งโคบอลต์ ทำให้ได้โครงสร้างสายโซ่ตรง มีความยืดหยุ่นสูงมาก และมีความทนทานต่อการเสียดสีขัดถูดีเยี่ยม

ความต้านทานการขยายรอยแตกจากการพับงอ (Ross flex cracking) ทดสอบโดยการพับงอตัวอย่าง 90 องศา แสดงจำนวนรอบของการพับงอจนตัวอย่างหัก เป็นสมบัติที่จะบอกให้ทราบถึงอายุการใช้งานของยางถนนคอนกรีต แสดงดังรูปที่ 33 จะเห็นได้ว่า เมื่อผสม NR กับยางสังเคราะห์บางชนิดเช่น BR-01 และ S-SBR ทำให้ความต้านทานการขยายรอยแตกจากการพับงอน้อยลง เนื่องจากเป็นที่ทราบดีว่า ยางธรรมชาติ (NR) มีสมบัติเชิงกลดีเยี่ยม โดยเฉพาะการรับแรงสั่น ช้ำๆ หรือแรงแบบไดนามิกส์ (Dynamics) อย่างไรก็ตามการผสม NR กับยางสังเคราะห์ BR-150L ทำให้สมบัติความต้านทานการพับงอดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมาจากยาง BR-150L มีโครงสร้างสายโซ่ตรง มีความยืดหยุ่นสูงมาก จึงทำให้สามารถต้านทานการรับแรงซ้ำ ๆ พับงอได้จำนวนครั้งมากกว่าก่อนการเสียดสี

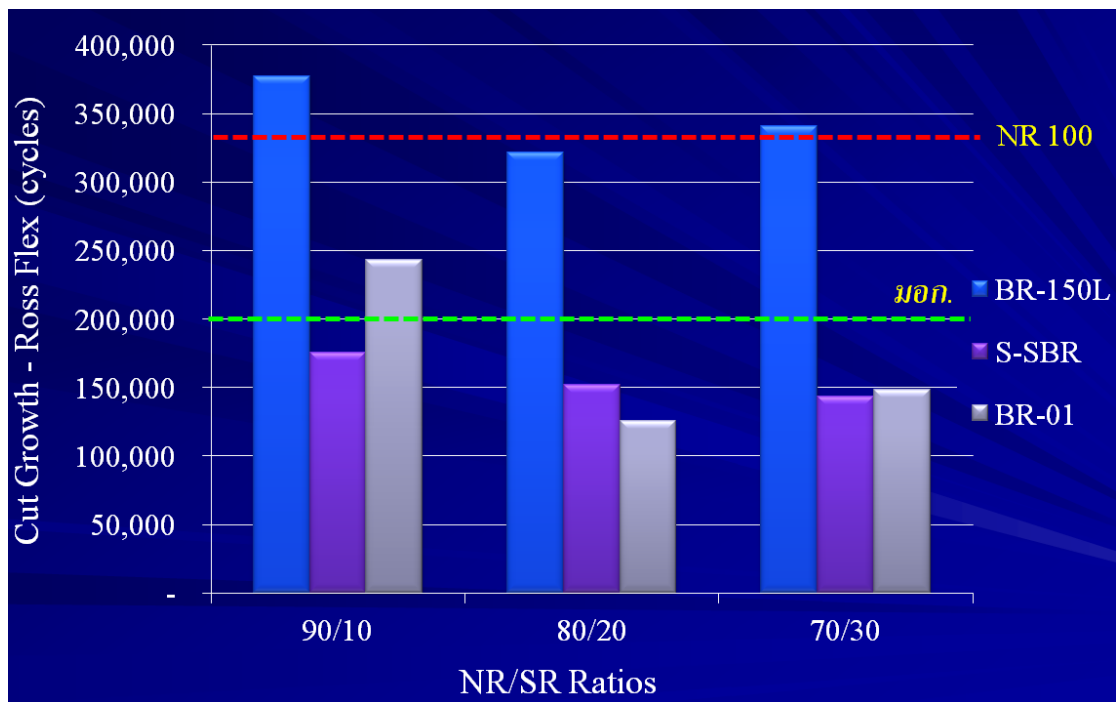
จากการทดลองตอนนี้ จึงสรุปได้ว่า การใช้ยางสังเคราะห์บางชนิดผสมกับยางธรรมชาติ ทำให้สมบัติของยางผสมสูตรดีขึ้น โดยเฉพาะยาง “BR-150L” ที่ทำให้ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) และความต้านทานการขยายรอยแตกจากการพับงอ (Ross flex cracking) ดีขึ้น อย่างไรก็ตามในการทดลองตอนนี้ได้ควบคุมชนิดและปริมาณสารตัวเติม (Filler) คงที่ที่ 60 phr ทำให้ค่าที่ได้จากการทดสอบบางค่ายังไม่ผ่านมาตรฐาน มอก. (ร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางถนนคอนกรีต) ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเน้นทำการศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (Fillers) โดยเลือกศึกษาทั้งยางธรรมชาติ (NR100) และ ยางผสม NR/BR-150L 70/30



รูปที่ 31 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อความร้อนสะสม (Heat build-up) ของยางถนนชนิดยาง



รูปที่ 32 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) รายงานในรูปแบบปริมาตรของยางที่สูญเสียจากการขัดถูของยางถนนชนิดยาง



รูปที่ 33 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อความต้านทานการขยายรอยแตกจากการพับ (Ross flex cracking) ของยางถนนไนล์

4.3 ตอนที่ 2 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (Fillers)

2.1 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมในยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์ (NR/BR 70/30)

ในการทดลองตอนนี้ ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (Fillers) ได้แก่ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated Silica Hisil[®] 255G) และเขม่าดำ (Carbon black, CB N330) ปริมาณ 30, 40, 50 phr รวมทั้งสารตัวเติมผสมกัน (Mixed filler CB/Silica) ปริมาณ 20/20 phr (รวม 40 phr) จากผลการทดลองตอนที่ 1 จึงทำการเลือกศึกษาเกี่ยวกับยางหลักสองชนิดคือ ยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์บิวตะไดอิน (NR/BR-150L) ที่อัตราส่วน 70/30 (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก) และยางธรรมชาติล้วน (NR100) สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 34-35 และรูปที่ 36-37

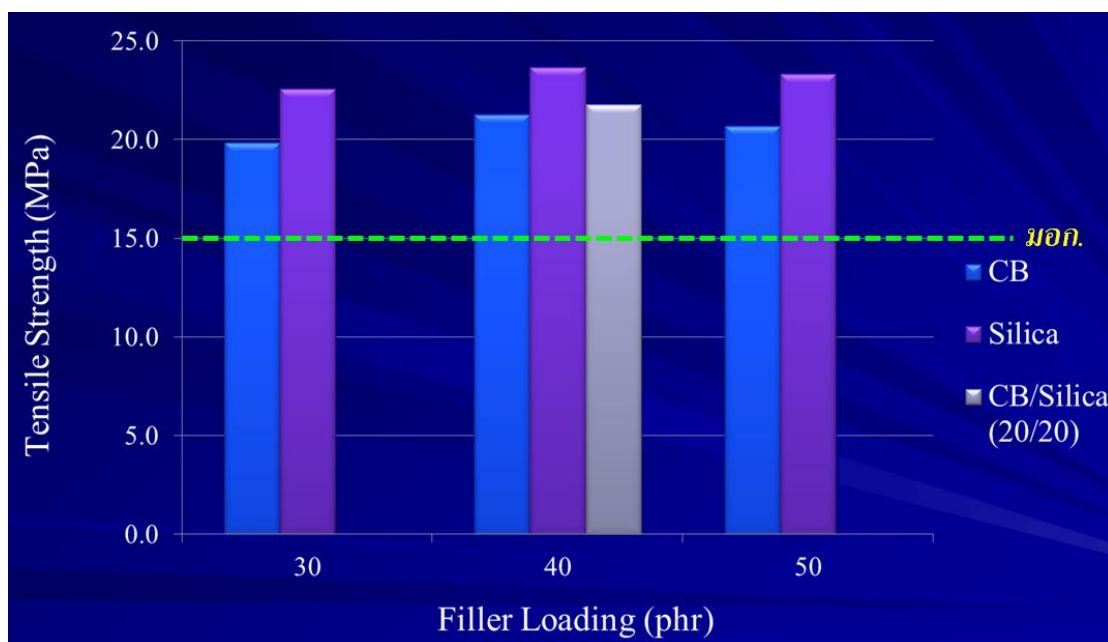
ตารางที่ 15 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยงของยางถนนไนท์ ที่ใช้ยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30

Properties	Unit	NR 70 / BR 150L 30						
		C-B 30	C-B 40	C-B 50	SILICA 30	SILICA 40	SILICA 50	CB/SILICA 20/20
ML	lb-in	2.7	2.5	2.6	3.3	3.5	4.1	3.2
MH	lb-in	16.6	16.7	15.6	17.3	17.9	19.5	17.4
Ts2	min	1.50	2.11	2.02	1.59	2.36	2.25	2.10
Tc90	min	3.05	3.16	3.12	2.59	3.44	3.57	3.11

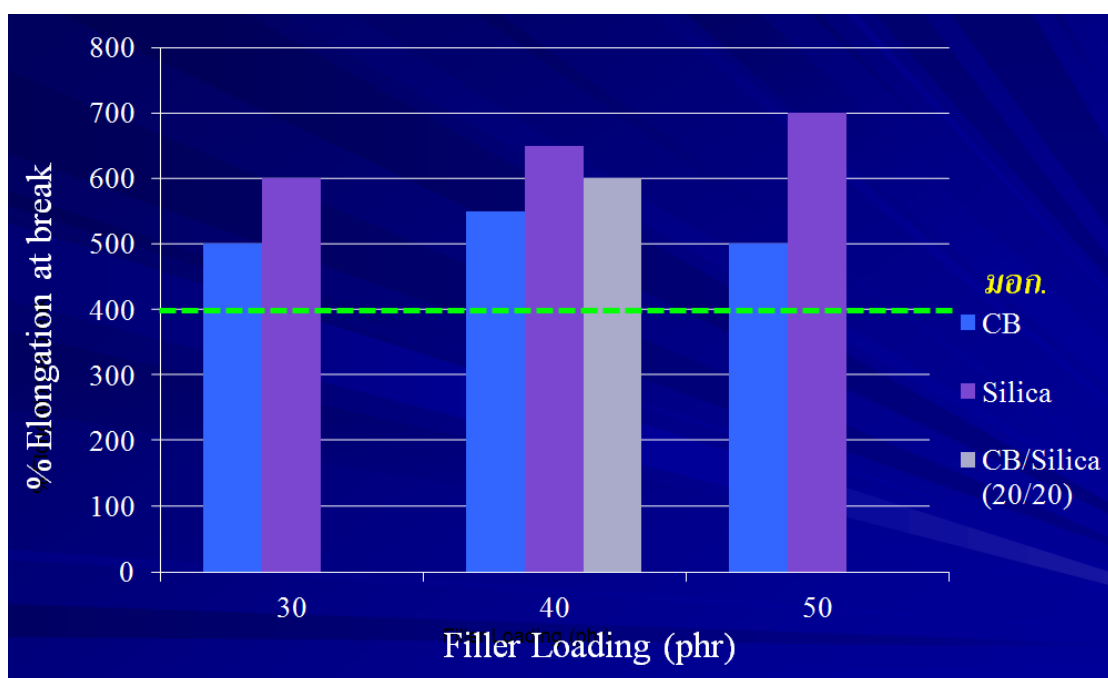
ตารางที่ 16 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงกายภาพของยางถนนไนท์ ที่ใช้ยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30

Properties	Unit	NR 70 / BR 150L 30						
		C-B 30	C-B 40	C-B 50	SILICA 30	SILICA 40	SILICA 50	CB/SILICA 20/20
Hardness	Shore A	57->56	58->56	57->55	55->54	57->55	59->55	57->56
Tensile strength	MPa	19.1	20.4	19.9	21.7	22.8	22.4	20.9
EB	%	500	550	500	600	650	700	600
300 M	MPa	7.8	8.6	8.8	5.4	5.5	4.9	6.6
Tear strength	kN/m	47.9	51.7	49.0	52.4	57.0	79.5	48.3
SG		1.0513	1.0761	1.0916	1.0690	1.0923	1.1103	1.0848
Tension set	%	1.0	2.0	2.0	1.0	3.0	4.0	2.0
Volume Loss	mm ³	148	148	223	159	165	189	134
Ross Flex	cycles	250000	250000	250000	250000	250000	250000	250000

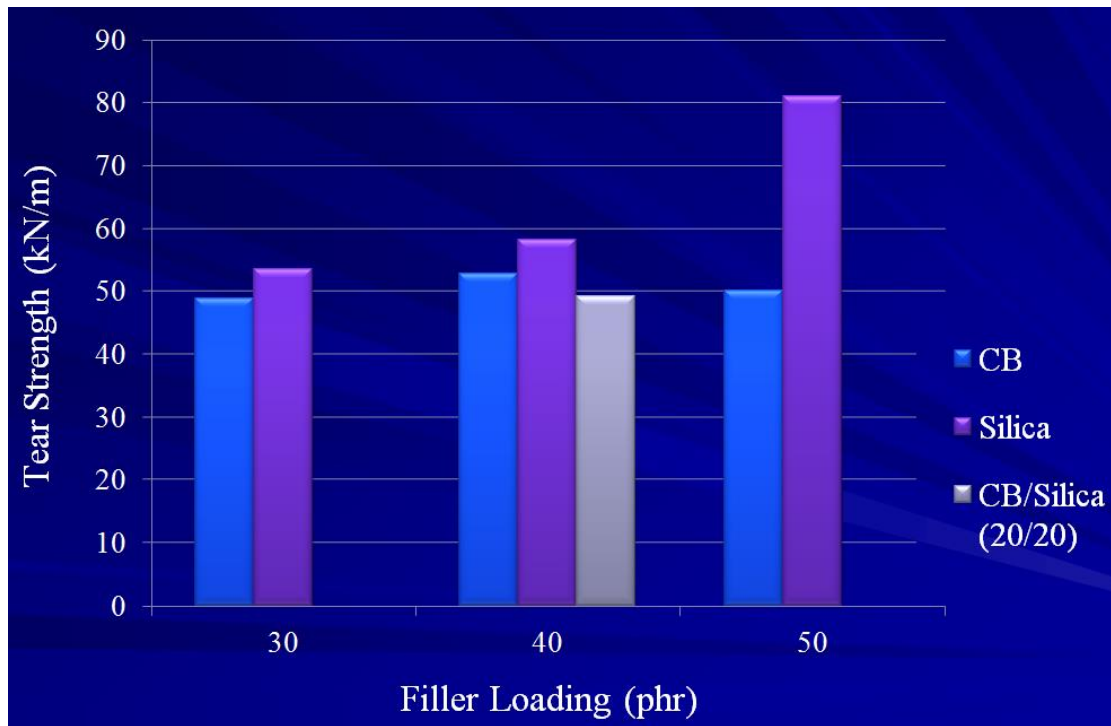
จากตารางที่ 15 แสดงผลของสารตัวเติม (Fillers) ที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม ยางผสมสูตรมีการเชื่อมโยงช้าลงเล็กน้อย จากค่า Scorch time (t_{s2}) และ Cure time (t_{c90}) ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี คือสารตัวเติมที่มีขั้ว เช่นซิลิกา สามารถดูดจับสารเคมีที่มีขั้วเช่น ZnO และตัวเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Acceraltors) ทำให้สารเชื่อมโยงบางส่วนหายไป ไม่ทำปฏิกิริยาเชื่อมโยง เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีการใช้ PEG (Polyethylene glycol) ในสูตรยางที่ใช้ซิลิกาเพื่อเคลือบสารตัวเติมที่มีขั้วและป้องกันการหน่วงการเชื่อมโยง จึงทำให้มีการเชื่อมโยงช้าลงเพียงเล็กน้อย



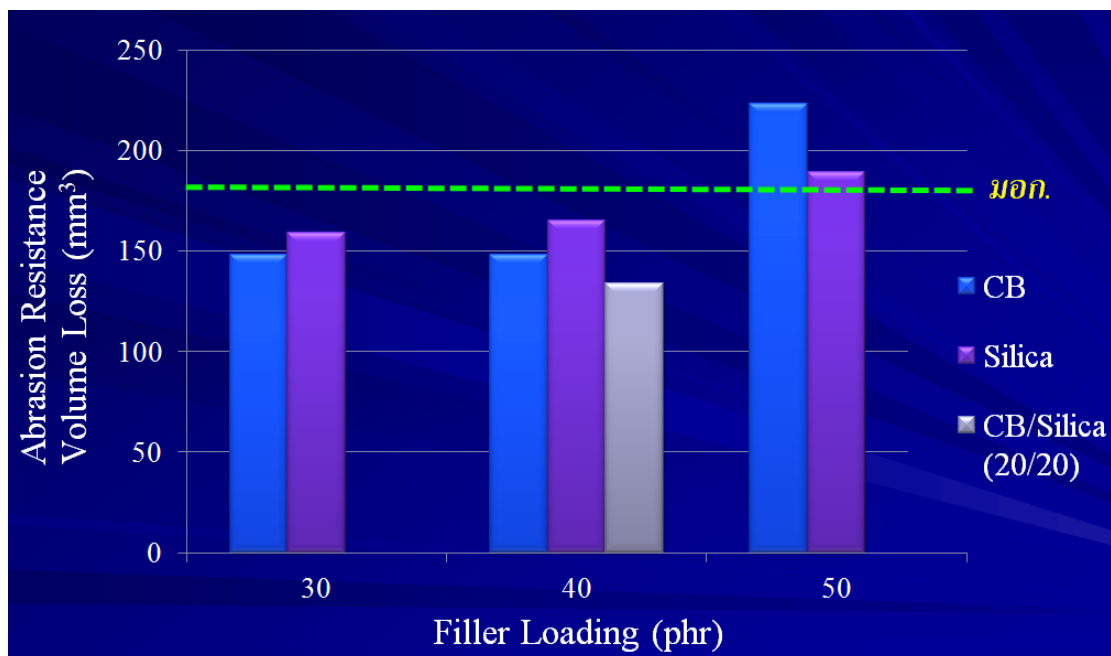
รูปที่ 34 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของยางถอนขนไก่ ที่ใช้ยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30



รูปที่ 35 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของยางถอนขนไก่ ที่ใช้ยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30



รูปที่ 36 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ของยางถอนขนไก่ ที่ใช้ยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30 (หมายเหตุ ค่า Tear strength ที่ทดสอบใช้ตัวอย่าง ASTM D624 Type C แต่ค่ามาตรฐานทดสอบผลิตภัณฑ์ยางถอนขนไก่ตาม มอก. ทดสอบตัวอย่างรูป Crescent test piece)



รูปที่ 37 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ของยางถอนขนไก่ ที่ใช้ยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30

ตารางที่ 17 และรูปที่ 34-37 แสดงสมบัติเชิงกลของยางถนนไนท์ที่ใช้สารตัวเติมเป็นเขม่าดำเกรด N330 และซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) เกรด 255G ปริมาณ 30-50 phr รวมทั้งใช้สารตัวเติมผสมเขม่าดำ-ซิลิกา (CB/Silica) 40 phr (อย่างละ 20 phr) พบว่าเป็นไปตามคาดคือสารตัวเติมทั้งสองเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing fillers) การเพิ่มปริมาณสารตัวเติมในช่วง 30-50 phr ทำให้ประสิทธิภาพการเสริมแรงเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะความสามารถในการทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) อย่างไรก็ดี การใช้สารตัวเติมที่ปริมาณ 50 phr ทำให้ความทนทานต่อการเสียดสี (Abrasion resistance) ลดลง (มีปริมาตรยางที่สูญหายจากการขัดถูมาก) จนเกินมาตรฐานมาก.

2.2 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมในยางธรรมชาติล้วน (NR100)

ในการทดลองตอนนี้ ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (Fillers) ได้แก่ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated Silica Hisil[®] 255G) และเขม่าดำ (Carbon black, CB N330) ปริมาณ 30, 40, 50 phr รวมทั้งสารตัวเติมผสมกัน (Mixed filler CB/Silica) ปริมาณ 20/20 phr (รวม 40 phr) กับสูตรที่เป็นยางธรรมชาติล้วน (NR100) สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.8-4.9 และรูปที่ 38-41

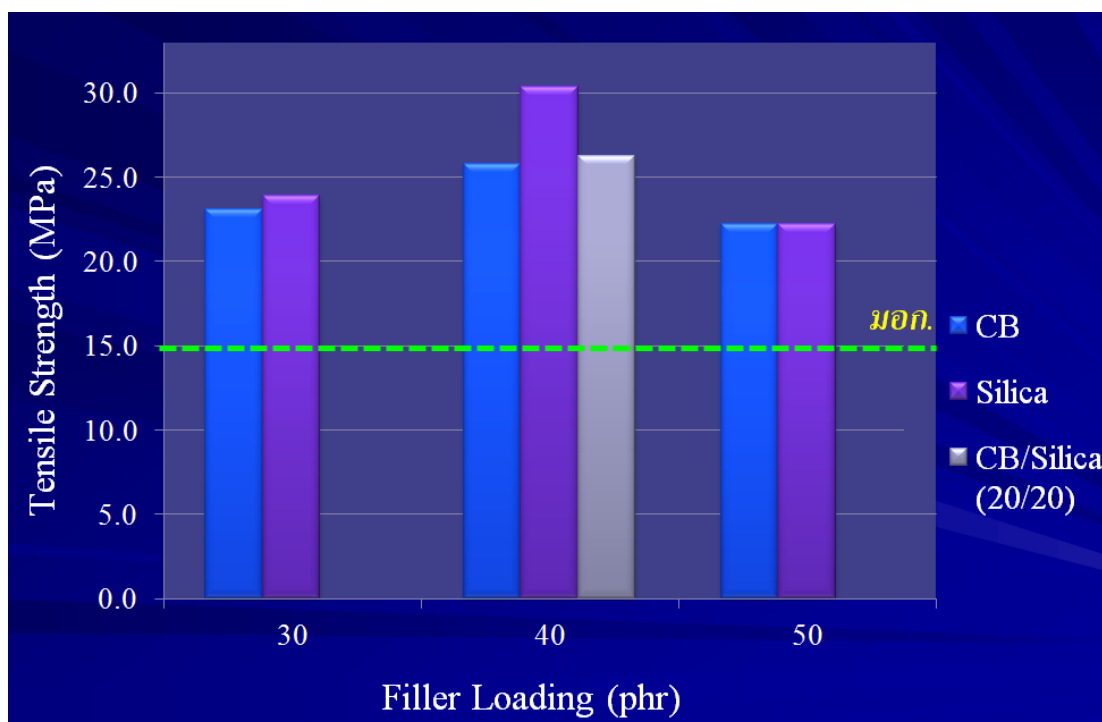
ตารางที่ 18 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยงของยางถนนไนท์ ที่ใช้ยาง NR100

Properties	Unit	NR100						
		CB30	CB40	CB50	SILCA30	SILCA40	SILCA50	CB/SILICA 20/20
ML	lb-in	1.8	2.2	2	2.7	3.1	2.8	3
MH	lb-in	13.4	15.5	14.8	14.2	14.9	15	15.3
Ts2	min	2:15	2:06	2:23	2:04	2:17	2:45	1:38
Tc90	min	3:14	3:12	3:17	3:15	3:14	3:45	2:38

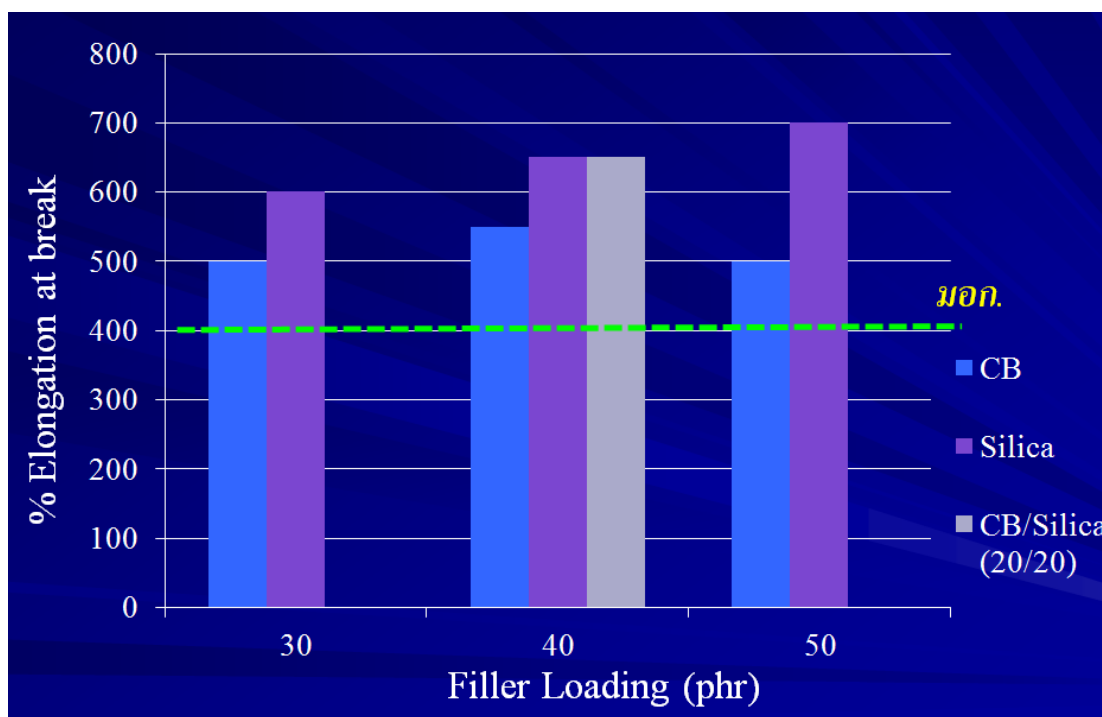
ตารางที่ 19 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงกายภาพของยางถนนไนท์ ที่ใช้ยาง NR100

Properties	Unit	NR100						
		CB30	CB40	CB50	SILCA30	SILCA40	SILCA50	CB/SILICA 20/20
Hardness	Shore A	55->53	57->55	58->55	51->49	52->50	50->49	53->50
Tensile strength	MPa	23.1	25.8	22.2	23.9	30.3	22.2	26.2
EB	%	650	600	550	750	750	700	650
300 M	MPa	7.7	8.0	8.9	3.9	4.9	4.2	6.2
Tear strength	kN/m	70.0	66.8	61.5	85.7	92.9	89.3	64.7
SG		1.0614	1.0792	1.0997	1.0547	1.0959	1.1223	1.0912
Tension set	%	1.0	2.0	4.0	2.0	2.0	3.0	3.0
Volume Loss	mm ³	420	187	160	248	266	293	353

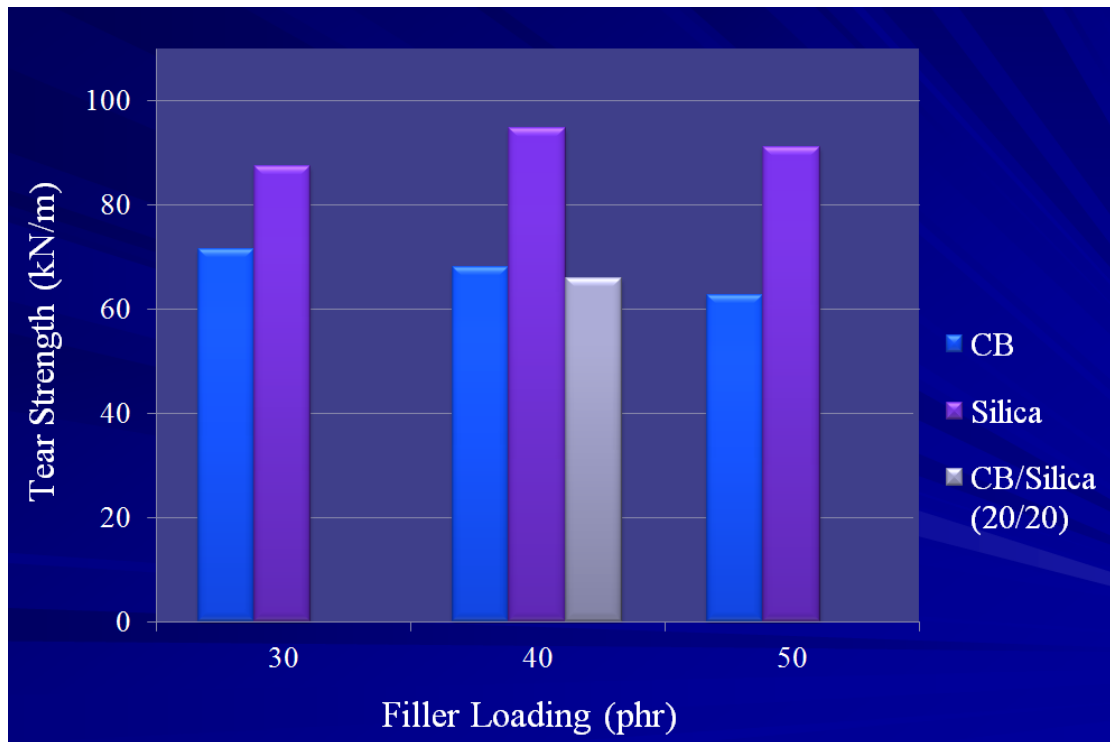
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ผลการทดลองคล้ายกับตอนที่ 2.1 ที่ใช้ยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์ NR70/BR30 เมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติมทำให้วัสดุมีความแข็งแรงมากขึ้น อย่างไรก็ตามการผสมสารตัวเติมที่ปริมาณ 50 phr อาจทำให้สมบัติของวัสดุลดลง



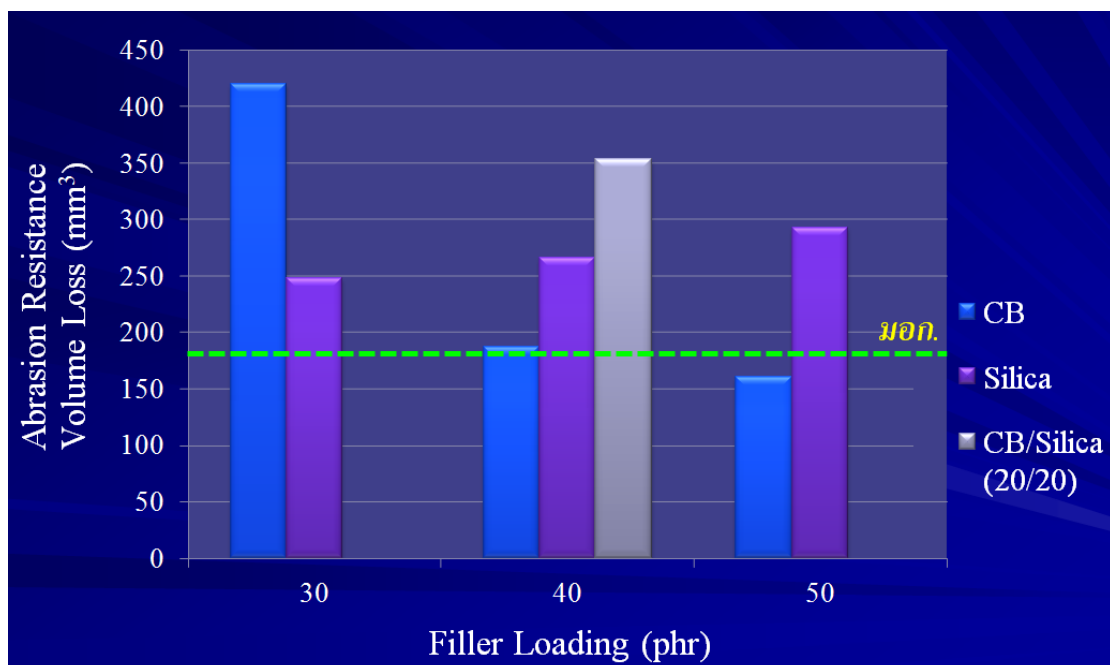
รูปที่ 38 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของยางลอนชนไก่ ที่ใช้ยาง NR100



รูปที่ 39 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของยางลอนชนไก่ ที่ใช้ยาง NR100



รูปที่ 40 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ของยางถนนไนท์ ที่ใช้ยาง NR100 (หมายเหตุ ค่า Tear strength ที่ทดสอบใช้ตัวอย่าง ASTM D624 Type C แต่ค่ามาตรฐานทดสอบผลิตภัณฑ์ยางถนนไนท์ตาม มอก. ทดสอบตัวอย่างรูป Crescent test piece)



รูปที่ 41 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ของยางถนนไนท์ ที่ใช้ยาง NR100

4.4 ตอนที่ 3 ผลของสารเติมแต่ง (Additives)

3.1 ผลของหินภูเขาไฟหรือพัมมิช (Pumice)

ในงานวิจัยตอนนี้ทำการศึกษาผลของสารเติมแต่งได้แก่หินภูเขาไฟหรือพัมมิช (Pumice) ที่เป็นวัสดุธรรมชาติ องค์ประกอบหลักคือออกไซด์ของซิลิกาและอะลูมิเนียม (Silicone and aluminium oxide) และมีออกไซด์ของโลหะอื่น ๆ เล็กน้อยเป็นองค์ประกอบ Pumice มีความเป็นกลาง ฉีกง่าย ไม่ติดไฟ ประเทศไทยพบสินแร่ Pumice ปริมาณมากในการสัมปทานเหมืองหินในบางจังหวัด เช่นลพบุรี และสระบุรี ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์ Pumice เป็นสารตัวเติมหรือสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ราคาถูกในบางอุตสาหกรรม โดยนิยมใช้เป็นวัสดุขัด เนื่องจากหิน Pumice บดย่อยมีความคม จึงสามารถใช้ทำวัสดุขัดคุณภาพสูงได้ เช่น หินขัดกางเกงยีนส์ผ้านิ้ม (Stonewash denim) กระดาษทราย ฯลฯ ในอุตสาหกรรมความงามเช่น สบู่ ขัดผิว มือ ข้อศอก และเท้า ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะใช้หินภูเขาไฟเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานยางถนอมขนไก่ ทำให้ประสิทธิภาพการขัดถูดีขึ้น ขัดถูทำให้ขนอ่อนของไก่หลุดอย่างรวดเร็ว โดยทดลองใส่หินภูเขาไฟหรือพัมมิชปริมาณ 0, 3 และ 5 phr ทดแทนส่วนของสารตัวเติมซิลิกา ที่ควบคุมปริมาณให้คงที่ที่ 40 phr ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ผลของปริมาณหินภูเขาไฟ (Pumice) ที่มีต่อที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกลของยางถนอมขนไก่ ควบคุมปริมาณซิลิกาที่ 40 phr

Properties	Unit	Pumice loading		
		0 phr	3 phr	5 phr
ML	lb-in	3.5	5.1	5.2
MH	lb-in	17.9	24.7	25.4
Ts2	min	2.36	1:25	1:14
Tc90	min	3.44	2:28	2:16
Hardness	Shore A	57->55	62->58	64->59
Tensile strength	MPa	23.2	16.1	16.3
Elongation at Break	%	650.0	500.0	500.0
100 % Modulus	MPa	1.9	2.0	2.3
300 % Modulus	MPa	5.6	6.8	7.5
Tear Strength	MPa	59.3	47.1	47.6
SG		1.0923	1.1189	1.1271
Tension set	%	3.0	4.0	5.0
Compression set @70 °C - 22 hrs	%	23.8	32.5	38.3

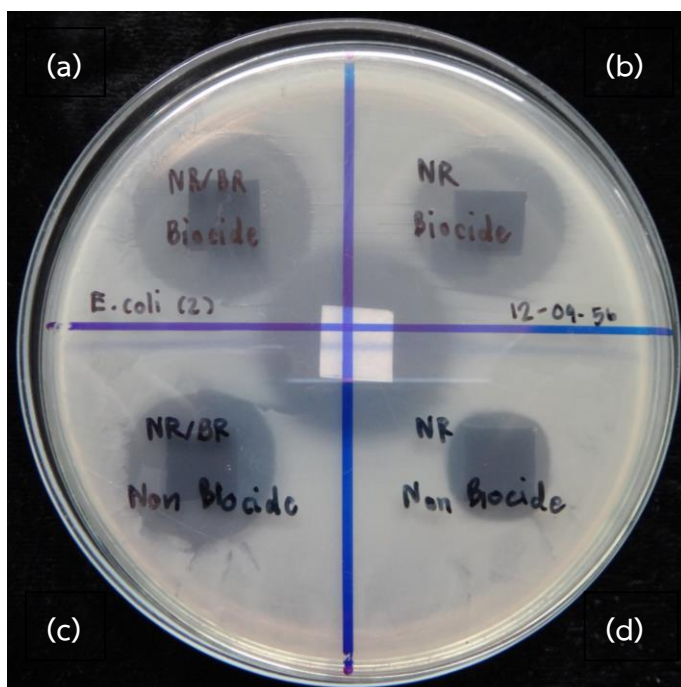
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า หินภูเขาไฟหรือพัมมิช (Pumice) สามารถใส่ในสูตรยางถนอมขนไก่ เพื่อทำหน้าที่คล้ายสารตัวเติม (Filler) ที่เพิ่มประสิทธิภาพการขัดถูให้กับยางถนอมขนไก่ โดยการใช้พัมมิชแทนซิลิกาทำให้สมบัติของยางแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณพัมมิช 0-5 phr พบว่าลักษณะการเชื่อมโยงแตกต่างกันโดยทำให้การเชื่อมโยงเร็วกว่าซิลิกา (จากค่า t_{s2} และ t_{c90} สั้นกว่า) นอกจากนี้ทำให้สมบัติเชิงกลแตกต่างกันไปเช่น ยางมีความแข็งมากขึ้น (จากค่า Hardness และ

Rubber modulus M100, M300) แต่ทำให้ความแข็งแรงของยางผสมสูตรลดลง จากค่า Tensile strength, %Elongation at break, Tear strength ที่มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก Pumice มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า พื้นที่ผิวน้อยกว่าซิลิกาชนิดตกตะกอน ทำให้มีความสามารถในการเสริมแรงน้อยกว่า

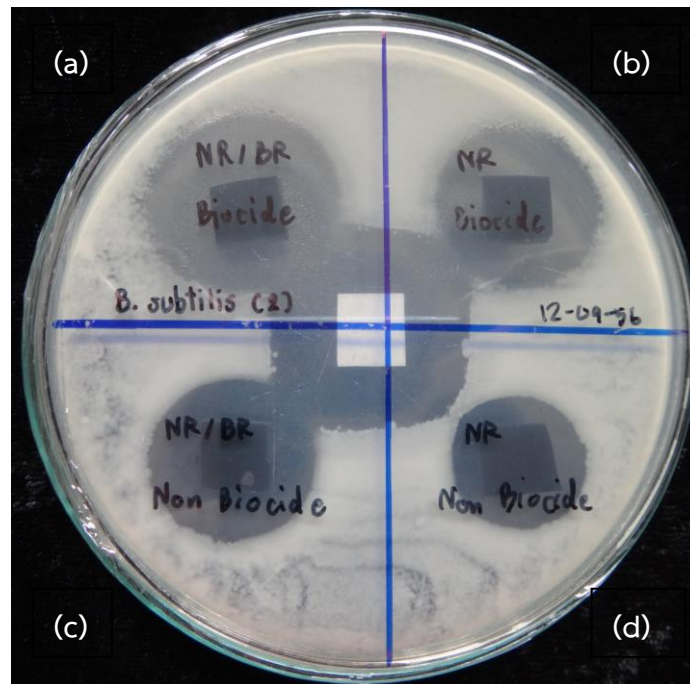
3.2 ผลของสารป้องกันจุลินทรีย์ (Biocide)

ในการใช้งานยางถนนชนไก่ มีความชื้นและมีการสัมผัสจุลินทรีย์ ดังนั้นในงานวิจัยตอนนี้จึงทำการศึกษาผลของการใส่สารป้องกันจุลินทรีย์ (Biocide) ทำการเลือกศึกษาเกี่ยวกับยางหลักสองชนิดคือ ยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์บิวตะไดอิน (NR/BR-150L) ที่อัตราส่วน 70/30 (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก) และยางธรรมชาติล้วน (NR100) สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 42-44

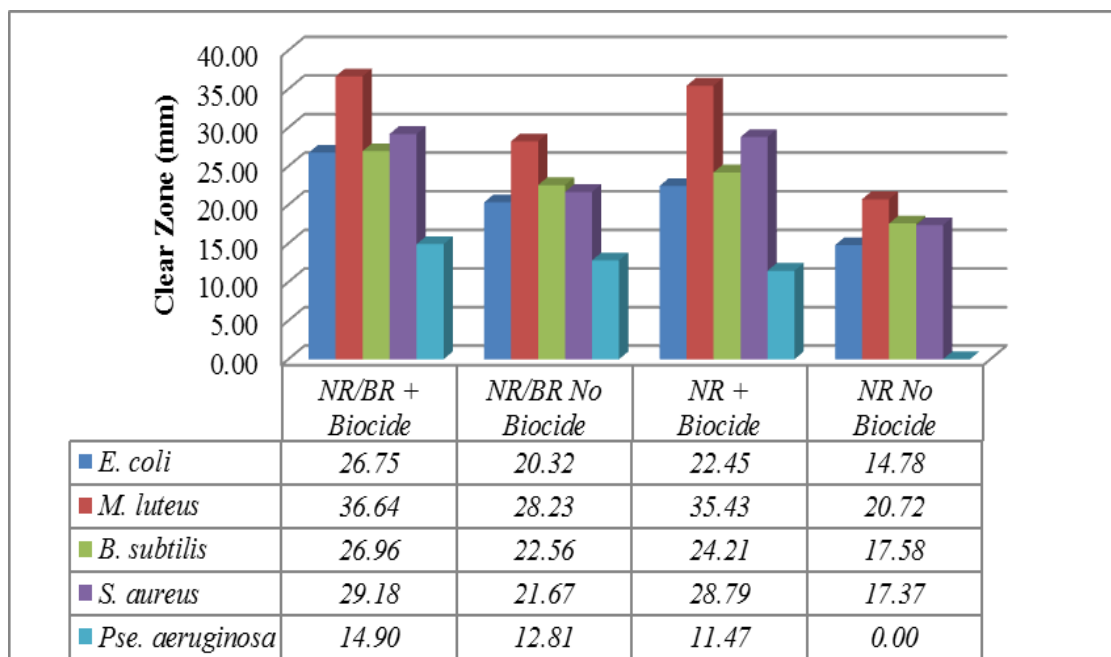
จากผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *E. coli*, *M. luteus*, *B. subtilis*, *S. aureus* และ *Pse. aeruginosa* ของตัวอย่างยางผสมสูตร NR70/BR30 และ NR100 ที่ใส่และไม่ใส่ Biocide รายงานในรูปแบบขนาดที่ตัวอย่างสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ (Clear zone diameter) โดยที่แผ่นขาวกลางเป็นตัวควบคุม (Control) ด้วยยาปฏิชีวนะ Gentamicin 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากรูปจะเห็นได้ว่า ทั้งตัวอย่างยางผสม NR70/BR30 และ NR100 ที่ใส่ Biocide มีขนาด Clear zone ใหญ่กว่า ตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่ Biocide ในทุกเชื้อ โดยการใช้ยางหลักเป็นยางผสม NR70/BR30 มีขนาด Clear zone ที่ใหญ่กว่าตัวอย่างยางธรรมชาติชนิดเดียว NR100 ทั้งนี้เนื่องจากยางธรรมชาติมีองค์ประกอบที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber) ที่เป็นโปรตีน ไขมัน ฯลฯ ที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์มากกว่า ซึ่งไม่มีในยางสังเคราะห์ ดังนั้นการใช้ยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์ จึงมีฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มากกว่าการใช้ยางธรรมชาติชนิดเดียว



รูปที่ 42 ภาพตัวอย่างแสดงการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *E. coli* ของตัวอย่างยางผสมสูตร (a) NR70/BR30 + Biocide (b) NR100 + Biocide เทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่ Biocide (c) NR70/BR30 (d) NR100 โดยที่แผ่นขาวกลางเป็นตัวควบคุม (Control) ยาปฏิชีวนะ Gentamicin 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร



รูปที่ 43 ภาพตัวอย่างแสดงการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *B. subtilis* ของตัวอย่างยางผสมสูตร (a) NR70/BR30 + Biocide (b) NR100 + Biocide เทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่ Biocide (c) NR70/BR30 (d) NR100 โดยที่แผ่นขาวกลางเป็นตัวควบคุม (Control) ยาปฏิชีวนะ Gentamicin 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร



รูปที่ 44 ผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *E. coli*, *M. luteus*, *B. subtilis*, *S. aureus* และ *Pse. aeruginosa* ของตัวอย่างยางผสมสูตร NR70/BR30 และ NR100 ที่ใส่และไม่ใส่ Biocide

4.5 การวิเคราะห์ต้นทุน

จากการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบยางถนนชนิดที่ผลิตจากสูตรที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ทั้งสูตร NR70/BR30 และสูตร NR100 ที่ใช้สารตัวเติมเขม่าดำ และซิลิกา 40 และ 50 phr สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 21 และ 22 พบว่าต้นทุนสูตรอยู่ที่ประมาณ 72-78 บาทต่อกิโลกรัม สำหรับสูตรที่ใช้ NR70/BR30 และใช้สารตัวเติม 40 phr

ตารางที่ 21 ตัวอย่างการคำนวณราคาวัตถุดิบยางถนนชนิดที่ผลิตจากสูตร NR70/BR30 ที่ใช้สารตัวเติมเขม่าดำ และซิลิกา 40 phr

Materials	Cost (baht/kg)	สูตร NR70/BR30 + CB40		สูตร NR70/BR30 + Si40	
		Amount (phr)	Cost x phr	Amount (phr)	Cost x phr
NR	90.00	70	6300	70	6300
BR 150-L	80.00	30	2400	30	2400
BHT	195.00	0.5	97.5	0.5	97.5
BKF	320.00	0.5	160	0.5	160
SP 222	120.00	1	120	1	120
ZnO	34.50	4	138	4	138
MA-L79	380.00	0.5	190	0.5	190
TAC' 95	180.00	1	180	1	180
CB N-330	32.50	40	1300		0
Silica 255G	33.00		0	40	1320
PEG 4000	98.00		0	2.5	245
SI 69	700.00		0	1.25	875
OIL - A	28.00	5	140	15	420
Stearic acid	35.00	1	35	1	35
TMTM	335.00	0.8	268	0.8	268
CBS	132.00	1	132	1	132
MBTS	115.00	0.8	92	0.8	92
DPG	168.00	0.8	134.4	0.8	134.4
S	16.00	1	16	1	16
		นน. รวม 157.9	price b/kg 74.12	นน. รวม 171.65	price b/kg 76.45

หมายเหตุ ราคา ณ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2556 ไม่คิดค่าแรงงาน และค่าไฟ

ตารางที่ 22 ราคาวัตถุดิบยางถนนทนไฟ สูตร NR70/BR30 และสูตร NR100 ที่ใช้สารตัวเติมเขม่าดำ และซิลิกา 40 และ 50 phr

Formulas	Material Cost (baht/kg)
สูตร NR70/BR30 + CB40	74.12
สูตร NR70/BR30 + CB50	71.64
สูตร NR70/BR30 + Si40	76.45
สูตร NR70/BR30 + Si50	74.06
สูตร NR100 + CB40	76.02
สูตร NR100 + CB50	73.42
สูตร NR100 + Si40	78.20
สูตร NR100 + Si50	75.71

4.6 การเปรียบเทียบสมบัติของยางถนนทนไฟจากงานวิจัยนี้กับยางถนนทนไฟจากต่างประเทศ และ มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.)

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติของยางถนนทนไฟจากงานวิจัยนี้ โดยเลือกสูตรที่ใช้ยางหลักเป็นยางธรรมชาติ NR ผสมยางสังเคราะห์ BR-150L อัตราส่วน 70/30 และใช้สารตัวเติมซิลิกา 255G ปริมาณ 40 phr เทียบกับยางถนนทนไฟจากต่างประเทศ และมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 23 จะเห็นได้ว่า สมบัติต่าง ๆ ของตัวอย่างยางจากงานวิจัยนี้มีสมบัติต่างๆ เทียบเคียงกับยางถนนทนไฟจากต่างประเทศ และมีสมบัติที่สูงกว่าค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ทั้งนี้ได้ทำการนำสูตรดังกล่าวทดลองฉีดขึ้นรูปจริงด้วยแม่พิมพ์รูปแบบใหม่ที่ได้จากโครงการย่อยที่ 2 แสดงได้ดังรูปที่ 45



รูปที่ 45 แม่พิมพ์ฉีดยางถนนทนไฟตามรูปแบบใหม่จากโครงการย่อยที่ 2

ตารางที่ 23 ผลการทดสอบสมบัติบางประการของตัวอย่างยางถนนขนไก่ในงานวิจัยนี้ เทียบกับยางถนนขนไก่เชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ

สมบัติ	มอก.	ยางถนนขนไก่ บริษัท A ¹ (60 Shore A)	ยางถนนขนไก่ บริษัท B ¹ (60 Shore A)	ยางถนนขนไก่ ใน งานวิจัยนี้ (สูตร NR70/BR30 Si40)
ความแข็ง (Shore A)	60±5	59.4±0.8	67.4±0.5	57→55
ความต้านแรงดึง (MPa)	> 15	25.6±0.6	16.7±0.3	23.21±0.66
100% มอดูลัส (MPa)	-	1.77±0.12	2.46±0.13	1.94
ความยืดเมื่อขาด (%)	> 400	568±20	430±13	650±48
สมบัติที่เปลี่ยนแปลงหลังบ่มเร่ง (@ 70°C, 72 h)				
- ความต้านแรงดึง (%)	< 20	-0.2	-10.2	15.5
- 100% มอดูลัส (%)		0.6	4.9	-6.47
- ความยืดเมื่อขาด (%)	< 30	-2.6	-9.5	-14.3
ความทนทานต่อการฉีกขาด (N/mm)	> 100	N/A*	N/A*	59.26±0.98
ปริมาตรสูญเสีย (DIN) (mm ³)	180 ²	136±2	137±4	165±4
ปริมาตรสูญเสีย (Akron) (mm ³ /1,000 cycles)		N/A*	N/A*	N/A*
การกระด้างกระดอน (%)	> 55	63.5±0.0	65.2±0.0	65.21
Ross flex (cycles)	> 200,000	N/A*	N/A*	>200,000
ความเป็นพิษ				
1. ปริมาณสารที่สกัดได้ตามวิธี US-FDA (mg/inch ²)				
- น้ำกลั่น (7 ชั่วโมงแรก/2 ชั่วโมงหลัง)		0.66/0.14	0.46/0.14	0.76
- เฮกเซน (7 ชั่วโมงแรก/2 ชั่วโมงหลัง)		49.1/24.5	54.0/54.0	
2. สิ่งที่เหลือจากการระเหยตาม มอก.656				
- น้ำกลั่น (mg/dm ³)		298	236	
- น้ำกลั่น (mg/inch ²)		3.85	3.05	

หมายเหตุ 1. ผลการทดสอบได้รับการอนุมัติจาก ดร.พงษ์ธร แซ่ฮุย MTEC

2. การทดสอบความทนต่อการขีดสีตาม ISO 4649 method B

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสูตรยางถนอมชนไก่ที่ทำจากยางธรรมชาติ ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพการถนอมชนไก่สูง มีสมบัติที่ดีและทนทาน โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของยางถนอมชนไก่ ได้แก่ ผลของอัตราส่วนของยางธรรมชาติต่อยางสังเคราะห์ (100/0, 90/10, 80/20, 70/30) ผลของเกรดยางสังเคราะห์ BR-01, BR-150L, S-SBR ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกา รวมทั้งผลของการใช้สารเติมแต่ง เช่น หินภูเขาไฟ (Pumice) และ Biocide จากผลการทดลองสามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

- จากการนำผลิตภัณฑ์ยางถนอมชนไก่เชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ มาทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ทำให้สามารถกำหนดเป้าประสงค์ (Benchmarks) และทราบองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น คือใช้สารตัวเติมประมาณ 40 phr และมียางหลักเป็นยางธรรมชาติ (NR)
- ในการศึกษาชนิดและสัดส่วนยางธรรมชาติต่อยางสังเคราะห์ ได้แก่ BR-01, BR-150L, และ S-SBR ที่อัตราส่วน NR/SR = 100/0, 90/10, 80/20 และ 70/30 พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนยางสังเคราะห์ในยางธรรมชาติ ทำให้สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรลดลงเล็กน้อย ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength), เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break), ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) เมื่อพิจารณาชนิดของยางสังเคราะห์แต่ละชนิด ได้แก่ BR-01, BR-150L, และ S-SBR ที่สัดส่วนเท่ากัน พบว่าให้สมบัติต่างกันเล็กน้อย BR-150L ให้ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดสูงกว่า แต่ S-SBR ให้ความแข็งแรงฉีกขาดสูงกว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนยางสังเคราะห์ในยางธรรมชาติ ความร้อนสะสมแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ความทนทานต่อการขีดถูดีขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะยาง BR-150L และการใช้ยาง BR-150L ผสมใน NR ทำให้สมบัติความต้านทานการพังอดีขึ้นอย่างมีนัย
- ในการศึกษาผลของสารตัวเติมเขม่าดำ N330 และซิลิกาชนิดตกตะกอน 255G ปริมาณ 30-50 phr รวมทั้งใช้สารตัวเติมผสมเขม่าดำ-ซิลิกา อย่างละ 20 phr พบว่าการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมทำให้ประสิทธิภาพการเสริมแรงเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะความสามารถในการทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) อย่างไรก็ดี การใช้สารตัวเติมที่ปริมาณ 50 phr ทำให้ความทนทานต่อการเสียดสี (Abrasion resistance) ลดลง
- งานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้หินภูเขาไฟหรือพัมมิช (Pumice) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานยางถนอมชนไก่ ทำให้ประสิทธิภาพการขีดถูดีขึ้น โดยทดลองใส่หินภูเขาไฟหรือพัมมิชปริมาณ 0, 3 และ 5 phr ทดแทนส่วนของสารตัวเติมซิลิกา ที่ควบคุมปริมาณให้คงที่ที่ 40 phr พบว่าการใช้พัมมิชทำให้สมบัติของยางแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณพัมมิชพบว่า การเชื่อมโยงเร็วกว่าซิลิกา นอกจากนี้ทำให้สมบัติเชิงกลแตกต่างกันไปเช่น ยางมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ทำให้ความแข็งแรงของยางผสมสูตรลดลงเล็กน้อย
- จากผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *E. coli*, *M. luteus*, *B. subtilis*, *S. aureus* และ *Pse. aeruginosa* ของตัวอย่างยางผสมสูตร NR70/BR30 และ NR100 ที่ใส่และไม่ใส่ Biocide รายงานในรูปแบบที่ตัวอย่างสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ (Clear zone diameter) พบว่าการใช้ Biocide ทำให้ยางมีความสามารถในการ

ยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดี พบว่าทั้งตัวอย่างที่ใส่ Biocide มีขนาด Clear zone ใหญ่กว่า ตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่ Biocide ในทุกเชื้อ โดยการใช้หลักเป็นยางผสม NR70/BR30 มีขนาด Clear zone ที่ใหญ่กว่าตัวอย่างยางธรรมชาติชนิดเดียว

- จากการวิเคราะห์ต้นทุน ทดลองฉีดตัวอย่างจริง และการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ กับยางถอนขนไก่เชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ และเทียบกับร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ลูกลายถอนขนไก่ พบว่า สูตรยางที่ได้จากงานวิจัยนี้ มีต้นทุนวัตถุดิบประมาณ 72-78 บาทต่อกิโลกรัม และมีสมบัติต่างๆ เทียบเคียงกับยางถอนขนไก่จากต่างประเทศ มีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์และสามารถใช้งานได้จริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ศึกษาสมบัติอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) และสมบัติการไหล (Rheology)
- นำสูตรยางที่วิจัยได้ไปทำการผลิตผลิตภัณฑ์จริง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน และความพอใจของผู้ใช้
- ใช้ความรู้ที่ได้ในการศึกษาสูตรยางอื่นๆ เช่น ยางถอนขนสัตว์ปีกที่ความแข็งต่าง ๆ (30-80 Shore A)

เอกสารอ้างอิง

- [1] นางสาวจินตนา สุขสวัสดิ์ นายอานนท์ รวยเรืองรุ่ง และนางสาวศิริวรรณ ตั้งศิริมุกดา “การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์พืชมิกซ์เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ (NR) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)” โครงการพิเศษระดับปริญญาตรีหลักสูตรเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2551
- [2] Beata Strzemieska, Adam Voelkel, Małgorzata Kasperkowiak, “Characterization of zeolites as potential new generation fillers in abrasive articles. Physicochemical properties of zeolites and their interactions with resins” Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 372 (1-3) (2010) 80–85
- [3] Sandip Rooja, Amit Dasa, Varun Thakura, R.N. Mahalinga, Anil K. Bhowmickb, Gert Heinrich, “Preparation and properties of natural nanocomposites based on natural rubber and naturally occurring halloysite nanotubes Materials and Design 31 (2010) 2151–2156
- [4] [Online] <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/ssj/article/view/131>
- [5] [Online] <http://library.kmutnb.ac.th/projects/sci/IC/ic0137t.html>
- [6] [Online] www.scisoc.or.th/stt/31/sec_e/paper/stt31_E0096.pdf
- [7] การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18
- [8] กรรณิกา หัตถะปะนิตย์, ชาคริต สิริสิงห, พงษ์ธร แซ่ฮ้อย วารสารวิทยาศาสตร์ มศว, Vol 23, No 2 (2550)
- [9] J. W. Arnold and I. E. Yates, Interventions for Control of Salmonella: Clearance of Microbial Growth from Rubber Picker Fingers, Poultry Science, 2009, Vol. 88, pp. 1292-1298.
- [10] V.K. Burkeen, The Efficacy of Electrolyzed Water for Cleaning and Sanitizing Rubber Picker Fingers Soiled With Chicken Fat And Salmonella Typhimurium, Ph.D. Dissertation, 2008, University of Georgia, GA, USA.

ภาคผนวก ก.

ร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลูกยางถนนชนไก่

สมอ./กว./DIS
31 กรกฎาคม 2556

ห้ามใช้หรือยึดถือร่างนี้เป็นมาตรฐาน
มาตรฐานฉบับสมบูรณ์จะมีประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ร่าง
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ลูกยางถอนขนไก่
CHICKEN PLUCKER RUBBER FINGERS
สำหรับการประชุม

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 3359-61

ลูกยางถนอมชนไก่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องถนอมชนไก่ ทำหน้าที่ถนอมชนไก่ให้หลุดออกจากตัวไก่ ดังนั้น เพื่อให้มีการทำลูกยางถนอมชนไก่ที่มีคุณภาพ เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานที่ดี และมีวิธีทดสอบที่ได้มาตรฐาน จึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ลูกยางถนอมชนไก่ ขึ้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากผู้ทำ ผู้ใช้ และเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

ISO 34-1:2010	Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of tear strength – Part 1: Trouser, angle and crescent test pieces
ISO 37:2011	Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of tensile stress-strain properties
ISO 188:2011	Rubber, vulcanized or thermoplastic – Accelerated ageing and heat resistance tests
ISO 2859-1:1999	Sampling procedures for inspection by attributes – Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection
ISO 3302-1:1996	Rubber – Tolerances for products – Part 1: Dimensional tolerances
ISO 3302-1:1996/ Amd 1:2001	Classification system for flash
ISO 4649:2010	Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of abrasion resistance using a rotating cylindrical drum device
ISO 4662:2009	Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of rebound resilience
ISO 7619-1:2010	Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of indentation hardness – Part 1: Durometer method (Shore hardness)
ISO 23529 : 2010	Rubber – General procedures for preparing and conditioning test pieces for physical test methods
ASTM D1052-09	Standard Test Method for Measuring Rubber Deterioration – Cut Growth Using Ross Flexing Apparatus
มอก. 656-2529	วิธีวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้กับอาหาร

(3)

จัดทำร่างโดย : โครงการ “การวิจัยเพื่อพัฒนามาตรฐานผลิตภัณฑ์ยางไทย”

ร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ลูกยางถอนขนไก่

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะลูกยางถอนขนไก่ที่มีรูปทรงแบบแท่งชนิดตันและชนิดกลวงเท่านั้น ไม่รวมรูปทรงแบบเกียร์ และไม่รวมถึงลูกยางถอนขนสัตว์ปีกชนิดอื่นๆ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 ลูกยางถอนขนไก่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางธรรมชาติและ/หรือยางสังเคราะห์ ห้ามใช้ยางรีไซเคิล ยางรีเคลม หรือยางครัมป์ ใช้ประกอบกับเครื่องถอนขนไก่อัตโนมัติเพื่อถอนขนไก่ให้หลุดออกจากตัวไก่

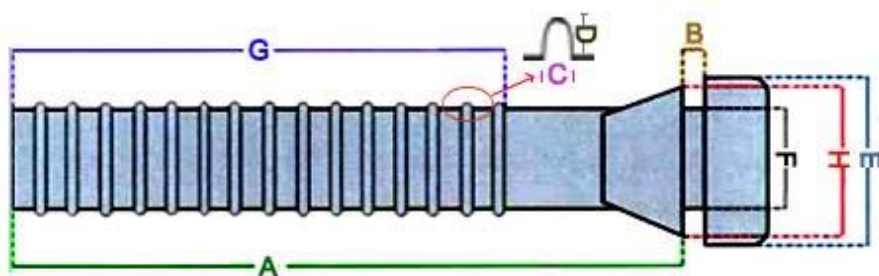
3. ประเภทและชนิด

- 3.1 ลูกยางถอนขนไก่แบ่งตามความแข็งแรงออกเป็น 3 ประเภท คือ
- 3.1.1 ประเภทความแข็งแรง 50
 - 3.1.2 ประเภทความแข็งแรง 60
 - 3.1.3 ประเภทความแข็งแรง 70
- 3.2 ลูกยางถอนขนไก่แบ่งตามลักษณะรูปร่างออกเป็น 2 ชนิด คือ
- 3.2.1 ชนิดตัน
 - 3.2.2 ชนิดกลวง

4. มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (รูปที่ 1)

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย ยกเว้นถ้าไม่ระบุเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไว้ ให้ใช้เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งต่างๆ ตาม ISO 3302-1 ดังแสดงในตารางที่ 1
การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 8.2



รูปที่ 1 มิติของลูกยางลอนขนไก่
(ข้อ 4.1)

ตารางที่ 1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

(ข้อ 4.1)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ขนาดระบุ		A, B, C, D	E, F	G	H
มากกว่า	ถึง	±	±	±	±
0	4.0	0.10	0.15	0.25	0.40
4.0	6.3	0.15	0.20	0.25	0.40
6.3	10	0.20	0.20	0.30	0.50
10	16	0.20	0.25	0.40	0.60
16	25	0.25	0.35	0.50	0.80
25	40	0.35	0.40	0.60	1.00
40	63	0.40	0.50	0.80	1.30
63	100	0.50	0.70	1.00	1.60
100	160	0.70	0.80	1.30	2.0
160		คูณด้วย $\pm 0.005X$	คูณด้วย $\pm 0.007X$	คูณด้วย $\pm 0.008X$	คูณด้วย $\pm 0.013X$

หมายเหตุ เมื่อ X คือ ความกว้างหรือความยาวหรือความหนา

A, B, C, D คือ ตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ใน Class M2 ซึ่งหมายถึง ผลิตภัณฑ์คุณภาพสูง (high quality molding) ที่ยอมรับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนต่ำ และเป็นมิติที่ไม่ขึ้นอยู่กับความหนาของยางส่วนที่ล้นออกจากแม่พิมพ์ (flash) หรือการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างของชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ (Fixed dimension)

E, F คือ ตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ใน Class M2 ซึ่งหมายถึง ผลิตภัณฑ์คุณภาพสูง (high quality molding) ที่ยอมรับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนต่ำ และเป็นมิติที่อาจเปลี่ยนแปลงไปตามความหนาของยางส่วนที่ล้นออกจากแม่พิมพ์ (flash) หรือตามการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างของชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ (Closure dimension)

G คือ ตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ใน Class M3 ซึ่งหมายถึง ผลิตภัณฑ์คุณภาพดี (good quality molding) ที่ยอมรับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่า และเป็นมิติที่ไม่ขึ้นอยู่กับความหนาของยางส่วนที่ล้นออกจากแม่พิมพ์ (flash) หรือการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างของชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ (Fixed dimension)

H คือ ตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ใน Class M3 ซึ่งหมายถึง ผลิตภัณฑ์คุณภาพดี (good quality molding) ที่ยอมรับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่า และเป็นมิติที่อาจเปลี่ยนแปลงไปตามความหนาของยางส่วนที่ล้นออกจากแม่พิมพ์ (flash) หรือตามการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างของชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ (Closure dimension)

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

ลูกยางถนนไก่ต้องปราศจากรอยแตก รูพรุน สิ่งแปลกปลอม และข้อบกพร่องที่อาจเป็นผลเสียต่อการใช้งาน

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

5.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ของลูกยางถนนไก่

ต้องเป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ของลูกยางถนนไก่
(ข้อ 5.2)

รายการ ที่	คุณลักษณะทางฟิสิกส์	หน่วย	เกณฑ์กำหนด			วิธีทดสอบ ตาม
			ความ แข็งระบุ 50	ความ แข็งระบุ 60	ความ แข็งระบุ 70	
1	ความแข็งระบุ	Shore A	50±5	60±5	70±5	ข้อ 8.3
2	ก่อนการเร่งการเสื่อมอายุ - ความต้านแรงดึง ไม่น้อยกว่า - ความยืดเมื่อขาด ไม่น้อยกว่า	MPa %	12 500	15 400	17 350	ข้อ 8.4
3	หลังการเร่งการเสื่อมอายุ - ความต้านแรงดึง เปลี่ยนแปลงไม่เกิน ของค่าก่อนเร่งการเสื่อมอายุ - ความยืดเมื่อขาด เปลี่ยนแปลงไม่เกิน ของค่าก่อนเร่งการเสื่อมอายุ	% %	20 30	20 30	20 30	ข้อ 8.5
4	ความต้านทานต่อการฉีกขาด ไม่น้อยกว่า	N/mm	100	100	100	ข้อ 8.6
5	การกระด้างตัว ไม่น้อยกว่า	%	60	55	50	ข้อ 8.7
6	ความทนต่อการขัดสี - ปริมาตรสูญเสีย ไม่เกิน	mm ³	200	180	150	ข้อ 8.8
7	การขยายตัวของรอยแตก (Ross flex) ไม่น้อยกว่า	cycles	200,000	200,000	200,000	ข้อ 8.9

รายการ ที่	คุณลักษณะทางฟิสิกส์	หน่วย	เกณฑ์กำหนด			วิธีทดสอบ ตาม
			ความ แข็งแรง 50	ความ แข็งแรง 60	ความ แข็งแรง 70	
8	คุณลักษณะด้านความปลอดภัย - สิ่งที่เหลือจากการระเหย ไม่เกิน (ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย)	mg/cm ²	3	3	3	ข้อ 8.10

6. เครื่องหมายและฉลาก

- 6.1 ที่ภาชนะบรรจุลูกยางถนอมชนไก่ทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียด
ต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน และไม่ลบเลือนง่าย
- (1) ชื่อผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้
 - (2) ประเภทและชนิด
 - (3) สี หรือรหัส
 - (4) จำนวนชิ้นต่อภาชนะบรรจุ
 - (5) วัน เดือน ปีที่ทำ
 - (6) ชื่อผู้ทำ หรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน
- 6.2 ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

- 7.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

8. การทดสอบ

- 8.1 ภาวะทดสอบ
หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้ทดสอบที่อุณหภูมิ (23±2) องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ (50±10)
- 8.2 การวัดมิติ
ให้ใช้เครื่องวัดละเอียดถึง 0.001 มิลลิเมตร สุ่มวัดมิติของตัวอย่างลูกยางถนอมชนไก่ตำแหน่งละ 3 ครั้ง
แล้วรายงานค่าเฉลี่ย

- 8.3 การทดสอบความแข็ง
ให้ปฏิบัติตาม ISO 7619-1 โดยใช้เครื่อง Durometer Type A
- 8.4 การทดสอบความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาด
ให้ปฏิบัติตาม ISO 37 โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบลล์ Type 2
- 8.5 การทดสอบการเร่งการเสื่อมอายุ
ให้ปฏิบัติตาม ISO 188 โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบลล์ Type 2 เช่นเดียวกับข้อ 8.4 เร่งการเสื่อมอายุที่อุณหภูมิ (70 ± 1) องศาเซลเซียส เป็นเวลา $72 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -2 \end{smallmatrix} \right)$ ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดตามข้อ 8.4
- 8.6 การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด
ให้ปฏิบัติตาม ISO 34-1 method C โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูป crescent test piece
- 8.7 การทดสอบการกระเดื่องตัว
ให้ปฏิบัติตาม ISO 4662 tripsometer method
- 8.8 การทดสอบความทนต่อการขัดสี
ให้ปฏิบัติตาม ISO 4649 method B
- 8.9 การทดสอบการขยายตัวของรอยแตก (Ross flex)
ให้ปฏิบัติตาม ASTM D1052
- 8.10 คุณสมบัติด้านความปลอดภัย
ให้ปฏิบัติตาม มอก.656 ข้อ 4.4 สิ่งที่เหลือจากการระเหย โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย
- 8.10.1 การสกัดสารละลายตัวอย่าง
- 8.10.1.1 ตัดตัวอย่างเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ $10 \times 10 \times 2$ มิลลิเมตร จำนวนเพียงพอต่อการทดสอบ ใส่ลงในภาชนะที่เหมาะสม เช่น หลอดทดลอง หรือขวดรูปกรวย
- 8.10.1.2 เติมน้ำกลั่นลงไป โดยให้อัตราส่วนของปริมาตรน้ำกลั่นต่อพื้นที่ผิวสัมผัสของตัวอย่างเป็น 2:1
- 8.10.1.3 สกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าหรือคนบ่อยๆ เพื่อให้ น้ำกลั่นร้อนสัมผัสผิวตัวอย่างอย่างทั่วถึง
- 8.10.2 วิธีวิเคราะห์
- 8.10.2.1 ใช้ปิเปตดูดสารละลายตัวอย่างมา 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำไประเหยบนอ่างน้ำจันทน์แห้ง อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งสิ่งที่เหลือจากการระเหย
- 8.10.2.2 ทำแบลнкเช่นเดียวกับข้อ 8.10.2.1 โดยใช้ น้ำกลั่นแทนสารละลายตัวอย่าง
- 8.10.3 วิธีคำนวณ
- $$\frac{\text{สิ่งที่เหลือจากการระเหย}}{\text{มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร}} = \frac{(a-b)}{50}$$
- เมื่อ a คือ น้ำหนักของสิ่งที่เหลือจากการระเหยสารละลายตัวอย่าง เป็นมิลลิกรัม
- b คือ น้ำหนักของสิ่งที่เหลือจากการระเหยสารละลายแบลнк เป็นมิลลิกรัม

ภาคผนวก ก.
การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน
 (ข้อ 7.1)

- ก.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง ลูกยางถอนขนไก่ประเภท ชนิด สี และมิติเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกันจากยางที่มีส่วนผสมอย่างเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน
- ก.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้
- ก.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบมิติ ลักษณะทั่วไป และเครื่องหมายและฉลาก
- ก.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างภาชนะบรรจุโดยวิธีสุ่มจำนวนร้อยละ 5 ของภาชนะบรรจุทั้งหมดเพื่อตรวจสอบการบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก
- ก.2.1.2 ให้ชักตัวอย่างลูกยางถอนขนไก่โดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 2 ชั้น ต่อลูกยางถอนขนไก่ 500 ชิ้น เพื่อทดสอบมิติ และลักษณะทั่วไป
- ก.2.1.3 ตัวอย่างจะต้องเป็นไปตามข้อ 4. ข้อ 5.1 และข้อ 6. ทุกข้อ จึงจะถือว่าลูกยางถอนขนไกรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
- ก.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบคุณลักษณะทางฟิสิกส์
- ก.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างลูกยางถอนขนไก่จำนวนเพียงพอสำหรับการทดสอบโดยวิธีสุ่มจากผลิตภัณฑ์ (product) เพื่อเตรียมขึ้นทดสอบดังแสดงในตารางที่ ก.1 กรณีที่เตรียมขึ้นทดสอบจากผลิตภัณฑ์ไม่ได้ ให้เตรียมจากยางผสม (rubber compound) โดยชักตัวอย่างยางผสมจำนวนเพียงพอสำหรับการทดสอบโดยวิธีสุ่มจากยางผสมที่ใช้ทำลูกยางถอนขนไก่ที่ผสมในคราวเดียวกันและใช้ทำลูกยางถอนขนไกรุ่นเดียวกัน แล้วนำไปขึ้นรูปและคงรูปเป็นขึ้นทดสอบโดยใช้ภาวะเดียวกันกับการทำลูกยางถอนขนไก่

ตารางที่ ก.1 ขึ้นทดสอบสำหรับการทดสอบคุณลักษณะทางฟิสิกส์
 (ข้อ ก.2.2.1)

ขึ้นทดสอบ	การทดสอบ	
	เตรียมจากผลิตภัณฑ์	เตรียมจากยางผสม
แผ่นยางที่มีความหนา (2.0±0.2) มิลลิเมตร	ข้อ 8.3 ข้อ 8.4 ข้อ 8.5 และข้อ 8.10	ข้อ 8.6
ขึ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างและความยาว (8.0±0.5) มิลลิเมตร และความหนา (4.0±0.1) มิลลิเมตร	ข้อ 8.7	-

ขั้นตอนทดสอบ	การทดสอบ	
	เตรียมจากผลิตภัณฑ์	เตรียมจากยางผสม
ขั้นตอนทดสอบทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (16.0±0.2) มิลลิเมตร และความหนาอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร	ข้อ 8.8	-
ขั้นตอนทดสอบรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้าง 25 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร และความหนา 6.35 มิลลิเมตร	-	ข้อ 8.9

ก.2.2.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 5.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าลูกยางถนนไก่รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างลูกยางถนนไก่ต้องเป็นไปตามข้อ ก.2.1.3 และข้อ ก.2.2.2 จึงจะถือว่าลูกยางถนนไก่รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ภาคผนวก ข

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้
และกิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ

สรุปโครงการวิจัย

สัญญาเลขที่ RDG5550117

ชื่อโครงการ การศึกษาสูตรยางสำหรับยางถนอนขนไก่ประสิทธิภาพสูงที่ทำจากยางธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปไก่สด
หัวหน้าโครงการ รศ.ดร.อิทธิพล แฉ่งชัด

สถาบัน คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 02-3298000 ต่อ 6230

โทรสาร 02-3298428

E-mail: kjittipo@kmitl.ac.th

ความสำคัญของปัญหา / ความเป็นมา

การถนอนขนไก่ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ใช้เครื่องอัตโนมัติในสายการผลิตแบบต่อเนื่อง ที่ใช้กลไกการหมุนของยางถนอนขนไก่ ปัจจุบันยางถนอนขนไก่ที่มีประสิทธิภาพสูงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากยางถนอนขนไก่ในประเทศมีสมบัติเชิงกลด้อยกว่า ประสิทธิภาพการถนอนขนไก่ต่ำ หักง่าย ไม่ทนต่อการเสียดสีขัดถู และอายุการใช้งานสั้น

การพัฒนาการใช้ประโยชน์ยางธรรมชาติจัดเป็นนโยบายระดับชาติและเป็นเรื่องที่ต้องกระทำอย่างเร่งด่วนในปัจจุบัน เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติอันดับหนึ่งของโลก มีปริมาณการผลิตถึงมากกว่า 3.7 ล้านตันต่อปี ยางธรรมชาติส่วนใหญ่ประมาณ 90 % ถูกส่งออกนอกประเทศในรูปของวัตถุดิบซึ่งมีราคาถูก ที่เหลือถูกส่งออกในรูปของผลิตภัณฑ์ยางแปรรูป เห็นได้ว่าประเทศไทยเป็นเพียงผู้นำด้านปริมาณการผลิตยางดิบเท่านั้น จึงเป็นเหตุผลให้เกิดงานวิจัยหลายงานเพื่อแปรรูปยางธรรมชาติให้เป็นผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติที่เพิ่มมูลค่า

วัตถุประสงค์ของโครงการ(ตามสัญญาฉบับรับทุน)

เพื่อพัฒนาสูตรยางถนอนขนไก่ที่ทำจากยางธรรมชาติ สำหรับโรงงานแปรรูปไก่สดในประเทศไทย โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในประเทศ ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพการถนอนขนไก่ และสมบัติที่ดี ที่เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้

ผลที่ได้รับ	บรรลุวัตถุประสงค์ข้อที่...	โดยทำให้..
ทราบผลของปัจจัยต่างๆ ที่ศึกษา ได้แก่ ผลของอัตราส่วนของยางธรรมชาติต่อยางสังเคราะห์ ผลของเกรดยางสังเคราะห์ BR-01, BR-150L, S-SBR ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเข้ามาดำ และซิลิกา รวมทั้งผลของการใช้สารเติมแต่ง ทำให้สามารถทราบสูตรที่เหมาะสมที่จะใช้ผลิตยางถนอนขนไก่ที่มีสมบัติที่ดี และมีความเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้	บรรลุตามวัตถุประสงค์ทุกประการ	ทราบสูตรที่เหมาะสม และสามารถผลิตยางถนอนขนไก่เชิงพาณิชย์ เพิ่มปริมาณการใช้ยางธรรมชาติในประเทศ เพิ่มมูลค่าให้กับยาง ลดการนำเข้ายางถนอนขนไก่จากต่างประเทศ เพิ่มศักยภาพการแข่งขันให้กับผู้ประกอบการยางแปรรูปของไทย และอุตสาหกรรมแปรรูปไก่สดไทย

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ / หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- บริษัทผลิตผลิตภัณฑ์ยางในประเทศไทย เช่น บริษัท SK Polymer Co. Ltd.
- บริษัทแปรรูปไก่สดในประเทศไทย เช่น ซีพี, เบทาโกร ฯลฯ
- หน่วยงานและสถาบันการศึกษา เช่น สจล.

การประชาสัมพันธ์:

- ออกบู๊ทงานวันวิทยาศาสตร์ ของคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) วันที่ 19-20 สิงหาคม 2556
- ตีพิมพ์ผลงานวิจัย

Keyword: สูตรยาง, ยางถนอนขนไก่, ยางธรรมชาติ, อุตสาหกรรมแปรรูปไก่, Rubber Formulas, Picking Finger Rubber, Natural Rubber, Poultry Industry

ภาคผนวก ค
บทความสำหรับการเผยแพร่กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับ
การนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์

**การศึกษาสูตรยางสำหรับยางถอนขนไก่ประสิทธิภาพสูงที่ทำจากยางธรรมชาติ
สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปไก่สด**
**Study of Rubber Formulas for High Efficient Natural Rubber Picking Fingers
used in Poultry Industry**

รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต
Assoc.Prof.Dr.Ittipol Jangchud

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Department of Chemistry, Faculty of Science,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

บทคัดย่อ

การถอนขนไก่ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ใช้เครื่องอัตโนมัติในสายการผลิตแบบต่อเนื่อง ที่ใช้กลไกการหมุนของยางถอนขนไก่ ปัจจุบันยางถอนขนไก่ที่มีประสิทธิภาพสูงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากยางถอนขนไก่ในประเทศมีสมบัติเชิงกลด้อยกว่า ประสิทธิภาพการถอนขนไก่ต่ำ หักง่าย ไม่ทนต่อการเสียดสีขัดถู และอายุการใช้งานสั้น งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสูตรยางถอนขนไก่ที่ทำจากยางธรรมชาติ ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพการถอนขนไก่สูง มีสมบัติที่ดีและทนทาน โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของยางถอนขนไก่ ได้แก่ ผลของอัตราส่วนของยางธรรมชาติต่อยางสังเคราะห์ (100/0, 90/10, 80/20, 70/30) ผลของเกรดยางสังเคราะห์ BR-01, BR-150L, S-SBR ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกา รวมทั้งผลของการใช้สารเติมแต่ง เช่น หินภูเขาไฟ (Pumice) และ Biocide จากการทดลองพบว่า การใช้ยางสังเคราะห์บางชนิดผสมกับยางธรรมชาติ ทำให้สมบัติของยางผสมสูตรดีขึ้น โดยเฉพาะสูตรยาง NR/BR-150L 70/30 ที่ทำให้ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) และความต้านทานการขยายรอยแตกจากการพับงอ (Ross flex cracking) การเพิ่มปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำ N-330 และซิลิกา 255G ในช่วง 30-50 phr ทำให้ประสิทธิภาพการเสริมแรงเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะความสามารถในการทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) แต่การใช้สารตัวเติมปริมาณมากทำให้สมบัติบางประการลดลง การใช้หินภูเขาไฟ 0-5 phr ทำให้สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรลดลง การเพิ่ม Biocide ในสูตรทำให้มีประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์ดี จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบสูตรยางที่เหมาะสมที่ใช้ผลิตยางถอนขนไก่ที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่าต่างประเทศ และผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ยางถอนขนไก่

คำสำคัญ : สูตรยาง ยางถอนขนไก่ ยางธรรมชาติ อุตสาหกรรมแปรรูปไก่

ABSTRACT

In poultry industry, “rubber picking fingers” have been used in continuous automated picking machines. In Thailand, rubber picking fingers are mostly imported from international brands due to low qualities of Thai picking fingers, such as, poor picking efficiency, brittleness, low abrasion resistance and low service life. This research work was focused on rubber formulas for natural rubber (NR) picking fingers with high picking efficiency and long service life. Factors affecting rubber properties were studied including NR/SR ratios (100/0, 90/10, 80/20, and 70/30), types of SRs (BR-01, BR-150L, and S-SBR), types and loadings of fillers (CB and silica 30-50 phr) and addition of special additives, i.e., pumice and biocide. It was found that addition of some SRs can improve properties of NR rubber fingers. The ratio of 70/30 NR/BR-150L seemed to show superior properties compared to others in terms of abrasion resistance and Ross flex cracking resistance. As the filler loading was increased (30-50 phr), both N-330 CB and 255G silica showed better reinforcing effects, however some properties were declined when the loading was high. Addition of pumice (0-5 phr) yielded slightly lower properties. By adding the biocide, anti-micro-organism activity of the rubbers was improved. It can be concluded that rubber formulas for making rubber picking fingers with high efficiency can be gained in this work. Their properties are comparable to those of international ones and surpassed Thai Industrial Standard (TIS) for rubber picking fingers.

Keyword: Rubber Formulas, Picking Finger Rubber, Natural Rubber, Poultry Industry

คำนำ

ยางถอนขน (Rubber Picking Fingers หรือ Rubber Plucking Fingers) คือผลิตภัณฑ์ยางที่สามารถถอนขนสัตว์ปีก เช่นไก่ เป็ด ห่าน ฯลฯ โดยใช้การหมุนของยางถอนขนความเร็วสูง อยู่กับตัวสัตว์ทำให้ขนของสัตว์ปีกหลุดออก ในกระบวนการผลิตเพื่อให้การถอนขนมีประสิทธิภาพ จะทำให้ความร้อนแก่สัตว์ที่ถอนขนก่อน เช่นในอุตสาหกรรมไก่ จะทำการลวกไก่ที่อุณหภูมิ 47-50 °C เพื่อให้รูขุมขนเปิด และถอนขนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ปัจจุบันยางถอนขนไก่ที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปไก่ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เช่นฝรั่งเศส มาเลเซีย และอิสราเอล มีผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางไทยที่ทำยางถอนขนไก่ในประเทศ แต่ปัจจุบันยังไม่มีประสิทธิภาพดีเพียงพอกับความต้องการของอุตสาหกรรมแปรรูปไก่สดในประเทศ ยางถอนขนไก่ที่มีประสิทธิภาพสูงที่เป็นที่ต้องการของภาคอุตสาหกรรมควรมีสมบัติที่ดี เช่น มีสมบัติเชิงกลที่ดี มีความแข็งแรงที่เหมาะสม ยืดหยุ่นสูง มีประสิทธิภาพการถอนขนไก่ที่ดี เกิดแรงเสียดทานสูงขณะเปียกเมื่อสัมผัสกับขนไก่ ทนทาน มี Wear resistance มีอายุการใช้งานยาวนาน ไม่หักง่าย ปลอดภัยต่ออาหาร ไม่เป็นพิษ ไม่ทำให้เกิดการปนเปื้อนสารอันตราย ขึ้นรูปง่าย และราคาไม่แพง ฯลฯ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาสูตรยาง (Rubber Formula) จากยางธรรมชาติ ที่เหมาะสมในการผลิตยางถอนขนไก่ โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในประเทศ ประสิทธิภาพการถอนขนไก่ และสมบัติที่

ดีของยางผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้ คณะวิจัยฯ มีแนวความคิดที่จะใช้วัตถุดิบในประเทศที่มีราคาถูก ทดแทนวัตถุดิบต่างประเทศที่ต้องนำเข้าและมีราคาแพง ได้แก่ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของยางถ่อนขนไก่ ได้แก่ ผลของอัตราส่วนของยางธรรมชาติต่ออย่างสังเคราะห์ (100/0, 90/10, 80/20, 70/30) ผลของเกรดยางสังเคราะห์ BR-01, BR-150L, S-SBR ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเช่นคาร์บอนดำและซิลิกา รวมทั้งผลของการใช้สารเติมแต่ง เช่นหินภูเขาไฟ (Pumice) และ Biocide

อุปกรณ์ และ วิธีการ

ตัดและชั่งยาง รวมทั้งสารเคมีต่างๆ ตามตารางที่ 1 ทำการใส่ยางในเครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) (บริษัท Lab Tech Engineer) เพื่อทำการบดย่อย แล้วทำการกรีดพ้ายางจนกระทั่งยางนิ่ม ทำการใส่สารตัวเติมต่างๆ ทำการผสมโดยการกรีดและพ้ายาง จนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ แล้วรีดยางออกเป็นแผ่นหนาประมาณ 3-5 มิลลิเมตร ตัดตัวอย่างยางเพื่อวัดความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) โดยใช้เครื่องมือนี้วิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer) (Modelm2000 N/D บริษัท Rishikesh Electromatic pvt.LTD.) โดยหาความหนืด ML 1+4 (100 °C) ทดสอบลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristic) ด้วยเครื่องวัดการเชื่อมโยง MDR (Moving Die Rheometer, MDR) (GT-7070-S2 บริษัท GOTECH TESTING MACHINES INC.) ที่อุณหภูมิ 160°C เตรียมตัวอย่างด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) (บริษัท Lab Tech Engineer) เพื่อทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) (รุ่น LR 5 บริษัท Lloyd Instrument)

ผลและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 ผลของชนิดยางสังเคราะห์และอัตราส่วนยางธรรมชาติต่ออย่างสังเคราะห์ (NR/SR)

ยางธรรมชาติ (NR) มีสมบัติเชิงกลที่ดี โดยเฉพาะความแข็งแรง (Strength) และความสมบัติในการรับแรงเชิงพลวัตหรือแรงสั่น (Dynamic properties) จึงใช้ NR เป็นยางหลัก อย่างไรก็ตาม สมบัติของยางผสมสูตรสามารถปรับปรุงได้โดยยางสังเคราะห์ ได้แก่ ยาง BR เกรด BR-01 (เกรดใช้งานทั่วไป) BR-150L (เกรดพิเศษ ทนเสียดสีขัดถู) และ SBR เกรด S-SBR-1205 (เกรดพิเศษ เสี่ยงพลังงานการหมุนต่ำ) โดยศึกษาอัตราส่วนยางธรรมชาติต่ออย่างสังเคราะห์ (NR/SR) ในช่วง 100/0, 90/10, 80/20 และ 70/30 (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก) เมื่อทำการคอมปาวด์ยางตามสูตร แล้วทำการทดสอบสมบัติต่างๆ สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 2 และ 3

จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนปริมาณยางสังเคราะห์ ทั้ง BR-01, BR-150L และ S-SBR จาก NR/SR 100/0 ถึง 70/30 (w/w) พบว่า ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) ของยางผสมสูตรเป็นไปตามคาด คือมีแนวโน้มเชื่อมโยงช้าลง เทียบกับสูตรที่เป็นยางธรรมชาติล้วน สังเกตจากค่าเวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time, t_{s2}) และเวลาเชื่อมโยง (Cure time, t_{c90}) ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของ NR มี Allylic hydrogen มากกว่าในโครงสร้างของ BR และ SBR นอกจากนี้ยาง NR ยังมีโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นสารเร่ง (Accelerator) ตามธรรมชาติ ผลของชนิดและสัดส่วนยางธรรมชาติต่ออย่างสังเคราะห์ ได้แก่ BR-01, BR-150L, และ S-SBR ที่อัตราส่วน NR/SR = 100/0, 90/10, 80/20 และ 70/30 ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของยางถ่อนขนไก่ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 สูตรยางถนนไนท์ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้

Materials	Amount (phr)
NR / SR (BR-01, BR-150L หรือ S-SBR) ¹	100/0, 90/10, 80/20, 70/30
BHT	0.5
BKF	0.5
SP 222	1
ZnO	4
MA-L79	0.5
TAC' 95	1
CB N-330 หรือ Silica 255G ¹	30, 40, 50
Pumice ¹	0, 3, 5
PEG 4000 ²	2.5
SI 69 ²	1.25
OIL – A ³	5
Stearic acid	1
Biocide ¹	0, 0.15
TMTM	0.8
CBS	1
MBTS	0.8
DPG	0.8
Sulfur	1

หมายเหตุ

¹ ปัจจัยที่ศึกษา

² ใส่เฉพาะสูตรที่ใช้ซิลิกา

³ มีการเพิ่มปริมาณในบางสูตรที่ใช้สารตัวเดิมมากเพื่อให้ได้ความแข็งที่ต้องการ

ตารางที่ 2 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยงของยางถนนไนท์

Item test	Unit	NR 100	BR-150L /10	BR-150L /20	BR-150L /30	S-SBR /10	S-SBR /20	S-SBR /30	BR-01 /10	BR-01 /20	BR-01 /30
ML	lb-in	3.4	3.2	3.7	2.1	3.4	4.2	1.6	4.2	4.2	4.8
MH	lb-in	16.1	15.4	16.3	14.4	15.7	16.8	13	18.7	18.5	19.9
Ts2	min	1:41	1:53	1:47	1:28	1:46	1:56	2:55	1:25	1:37	1:27
Tc90	min	2:36	2:55	2:42	2:34	2:44	3:03	4:56	2:34	2:46	2:38

ตารางที่ 3 ผลของชนิดและอัตราส่วน NR/SR ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของยางถอนขนไก่

Item test	Unit	NR 100	BR-150L /10	BR-150L /20	BR-150L /30	S-SBR /10	S-SBR /20	S-SBR /30	BR-01 /10	BR-01 /20	BR-01 /30
Hardness	Shore A	57 -> 54	56->55	56->55	54->51	59->56	58->56	57->54	60->59	59->57	61->60
Tensile strength	MPa	20.2	20.8	20.1	20.9	18.7	18.0	19.0	20.0	17.7	17.3
Elongation at break	%	550	600	600	650	550	550	600	550	550	500
300 % Modulus	MPa	9.50	8.07	7.78	5.84	8.18	8.19	7.47	8.72	7.94	8.73
Tear strength	kN/m	105.6	76.8	67.4	50.2	74.6	83.2	73.9	45.9	46.5	46.4
Specific Gravity		1.137	1.133	1.132	1.127	1.144	1.143	1.143	1.125	1.132	1.133
Tension set (%)	%	2.0	4.0	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0	4.0	3.0	3.0
Abrasion - Volume Loss	mm ³	237	192	156	135	261	216	280	143	126	131
Cut Growth - Ross Flex	Cycles	327,999	377,042	321,550	340,955	175,512	151,808	143,497	243,123	125,647	148,626
Heat built up	°C	16.7	17.7	17.0	17.0	20.3	22.0	24.0	13.3	14.7	14.7

ตอนที่ 2 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (Fillers)

ในการทดลองตอนนี้ ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (Fillers) ได้แก่ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated Silica Hisil[®] 255G) และเขม่าดำ (Carbon black, CB N330) ปริมาณ 30, 40, 50 phr รวมทั้งสารตัวเติมผสมกัน (Mixed filler CB/Silica) ปริมาณ 20/20 phr (รวม 40 phr) จากผลการทดลองตอนที่ 1 จึงทำการเลือกศึกษากับยางหลักสองชนิดคือ ยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์บิวตะไดอีน (NR/BR-150L) ที่อัตราส่วน 70/30 (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก) และยางธรรมชาติล้วน (NR100) สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4

จากตารางที่ 4 แสดงผลของสารตัวเติม (Fillers) ที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม ยางผสมสูตรมีการเชื่อมโยงช้าลงเล็กน้อย จากค่า Scorch time (t_{s2}) และ Cure time (t_{c90}) ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี คือสารตัวเติมที่มีขั้ว เช่นซิลิกา สามารถดูดซับสารเคมีที่มีขั้วเช่น ZnO และตัวเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accerallators) ทำให้สารเชื่อมโยงบางส่วนหายไป ไม่ทำปฏิกิริยาเชื่อมโยง เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีการใช้ PEG (Polyethylene glycol) ในสูตรยางที่ใช้ซิลิกาเพื่อเคลือบสารตัวเติมที่มีขั้วและป้องกันการหน่วงการเชื่อมโยง จึงทำให้มีการเชื่อมโยงช้าลงเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยงของยางถอนขนไก่ ที่ใช้ยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30

Properties	Unit	NR 70 / BR 150L 30						
		C-B 30	C-B 40	C-B 50	SILICA 30	SILICA 40	SILICA 50	CB/SILICA 20/20
ML	lb-in	2.7	2.5	2.6	3.3	3.5	4.1	3.2
MH	lb-in	16.6	16.7	15.6	17.3	17.9	19.5	17.4
Ts2	min	1.50	2.11	2.02	1.59	2.36	2.25	2.10
Tc90	min	3.05	3.16	3.12	2.59	3.44	3.57	3.11

ตารางที่ 5 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกาที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงกายภาพของยางถนนไนท์ ที่ใช้ยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30

Properties	Unit	NR 70 / BR 150L 30						
		C-B 30	C-B 40	C-B 50	SILICA 30	SILICA 40	SILICA 50	CB/SILICA 20/20
Hardness	Shore A	57->56	58->56	57->55	55->54	57->55	59->55	57->56
Tensile strength	MPa	19.1	20.4	19.9	21.7	22.8	22.4	20.9
EB	%	500	550	500	600	650	700	600
300 M	MPa	7.8	8.6	8.8	5.4	5.5	4.9	6.6
Tear strength	kN/m	47.9	51.7	49.0	52.4	57.0	79.5	48.3
SG		1.0513	1.0761	1.0916	1.0690	1.0923	1.1103	1.0848
Tension set	%	1.0	2.0	2.0	1.0	3.0	4.0	2.0
Volume Loss	mm ³	148	148	223	159	165	189	134
Ross Flex	cycles	250000	250000	250000	250000	250000	250000	250000

ตารางที่ 5 แสดงสมบัติเชิงกลของยางถนนไนท์ที่ใช้สารตัวเติมเป็นเขม่าดำเกรด N330 และซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) เกรด 255G ปริมาณ 30-50 phr รวมทั้งใช้สารตัวเติมผสมเขม่าดำ-ซิลิกา (CB/Silica) 40 phr (อย่างละ 20 phr) พบว่าเป็นไปตามคาดคือสารตัวเติมทั้งสองเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing fillers) การเพิ่มปริมาณสารตัวเติมในช่วง 30-50 phr ทำให้ประสิทธิภาพการเสริมแรงเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะความสามารถในการทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) อย่างไรก็ดี การใช้สารตัวเติมที่ปริมาณ 50 phr ทำให้ความทนทานต่อการเสียดสี (Abrasion resistance) ลดลง (มีปริมาตรยางที่สูญหายจากการขัดถูมาก) จนเกินมาตรฐาน มอก.

ตอนที่ 3 ผลของสารเติมแต่ง (Additives)

3.1 ผลของหินภูเขาไฟหรือพัมมิช (Pumice)

ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาผลของสารเติมแต่งได้แก่หินภูเขาไฟหรือพัมมิช (Pumice) ที่เป็นวัสดุธรรมชาติ องค์ประกอบหลักคือออกไซด์ของซิลิกาและอะลูมิเนียม (Silicone and aluminium oxide) และมีออกไซด์ของโลหะอื่น ๆ เล็กน้อยเป็นองค์ประกอบ ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์ Pumice เป็นสารตัวเติมหรือสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ราคาถูกในบางอุตสาหกรรม โดยนิยมใช้เป็นวัสดุขัด เนื่องจากหิน Pumice บดย่อยมีความคม จึงสามารถใช้ทำวัสดุขัดคุณภาพสูงได้ เช่น หินขัดกางเกงยีนส์ผ้าไน้ม (Stonewash denim) กระดาษทราย ฯลฯ ในอุตสาหกรรมความงามเช่น สบู่ ขัดผิว มือ ขัดศอก และเท้า ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะใช้หินภูเขาไฟเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานยางถนนไนท์ ทำให้ประสิทธิภาพการขัดถูดีขึ้น ขัดถูทำให้ขนอ่อนของไนท์หลุดอย่างรวดเร็ว โดยทดลองใส่หินภูเขาไฟหรือพัมมิชปริมาณ 0, 3 และ 5 phr ทดแทนส่วนของสารตัวเติมซิลิกา ที่ควบคุมปริมาณให้คงที่ที่ 40 phr ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า หินภูเขาไฟหรือพัมมิช (Pumice) สามารถใส่ในสูตรยางถนนไนท์ เพื่อทำหน้าที่คล้ายสารตัวเติม (Filler) ที่เพิ่มประสิทธิภาพการขัดถูให้กับยางถนนไนท์ โดยการใช้พัมมิชแทนซิลิกาทำให้สมบัติของยางแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณพัมมิช 0-5 phr พบว่าลักษณะการเชื่อมโยงแตกต่างกันโดยทำให้การเชื่อมโยงเร็วกว่าซิลิกา (จากค่า t_{s2} และ t_{c90} สั้นกว่า) นอกจากนี้ทำให้สมบัติเชิงกลแตกต่างกันไปเช่น ยางมีความแข็งมากขึ้น (จากค่า Hardness และ Rubber modulus M100, M300) แต่ทำให้ความแข็งแรงของยางผสมสูตรลดลง จากค่า Tensile

strength, %Elongation at break, Tear strength ที่มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก Pumice มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า พื้นที่ผิวน้อยกว่าซิลิกาชนิดตกตะกอน ทำให้มีความสามารถในการเสริมแรงน้อยกว่า

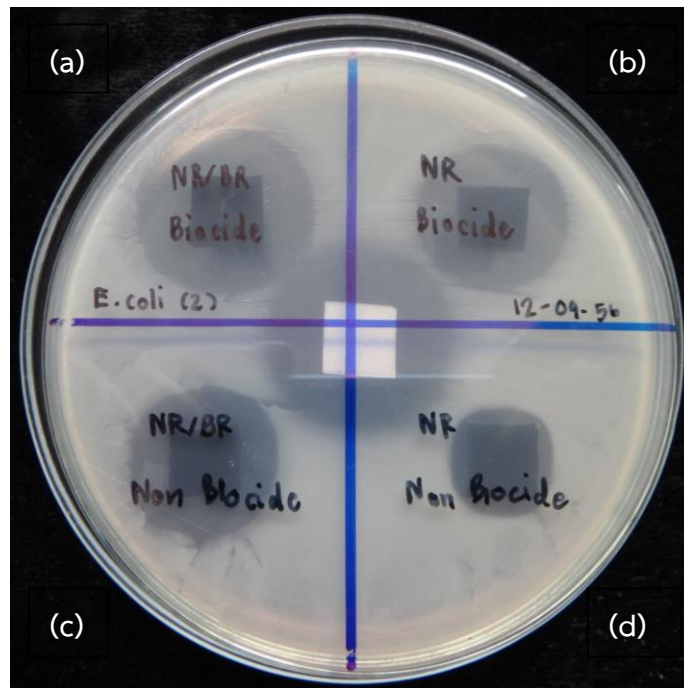
ตารางที่ 6 ผลของปริมาณหินภูเขาไฟ (Pumice) ที่มีต่อที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกลของยางถอนขนไก่ ควบคุมปริมาณซิลิกาที่ 40 phr

Properties	Unit	Pumice loading		
		0 phr	3 phr	5 phr
ML	lb-in	3.5	5.1	5.2
MH	lb-in	17.9	24.7	25.4
Ts2	min	2.36	1:25	1:14
Tc90	min	3.44	2:28	2:16
Hardness	Shore A	57->55	62->58	64->59
Tensile strength	MPa	23.2	16.1	16.3
Elongation at Break	%	650.0	500.0	500.0
100 % Modulus	MPa	1.9	2.0	2.3
300 % Modulus	MPa	5.6	6.8	7.5
Tear Strength	MPa	59.3	47.1	47.6
SG		1.0923	1.1189	1.1271
Tension set	%	3.0	4.0	5.0
Compression set @70 °C - 22 hrs	%	23.8	32.5	38.3

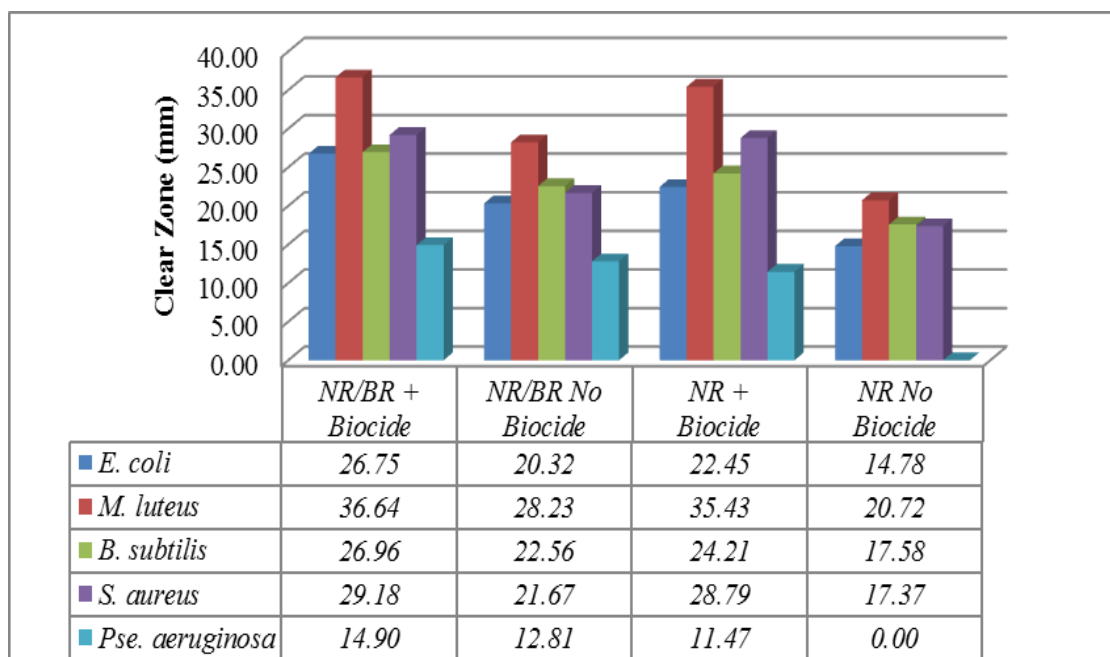
3.2 ผลของสารป้องกันจุลินทรีย์ (Biocide)

ในการใช้งานยางถอนขนไก่ มีความชื้นและมีการสัมผัสจุลินทรีย์ ดังนั้นในงานวิจัยตอนนี้จึงทำการศึกษาผลของการใส่สารป้องกันจุลินทรีย์ (Biocide) ทำการศึกษาเลือกศึกษากับยางหลักสองชนิดคือ ยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์บิวตะไดอิน (NR/BR-150L) ที่อัตราส่วน 70/30 (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก) และยางธรรมชาติล้วน (NR100) สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 1

จากผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *E. coli*, *M. luteus*, *B. subtilis*, *S. aureus* และ *Pse. aeruginosa* ของตัวอย่างยางผสมสูตร NR70/BR30 และ NR100 ที่ใส่และไม่ใส่ Biocide รายงานในรูปแบบที่ตัวอย่างสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ (Clear zone diameter) โดยที่แผ่นขาวกลางเป็นตัวควบคุม (Control) ด้วยยาปฏิชีวนะ Gentamicin 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากรูปจะเห็นได้ว่า ทั้งตัวอย่างยางผสม NR70/BR30 และ NR100 ที่ใส่ Biocide มีขนาด Clear zone ใหญ่กว่า ตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่ Biocide ในทุกเชื้อ โดยการใช้ยางหลักเป็นยางผสม NR70/BR30 มีขนาด Clear zone ที่ใหญ่กว่าตัวอย่างยางธรรมชาติชนิดเดียว NR100 ทั้งนี้เนื่องจากยางธรรมชาติมีองค์ประกอบที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber) ที่เป็นโปรตีน ไขมัน ฯลฯ ที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์มากกว่า ซึ่งไม่มีในยางสังเคราะห์ ดังนั้นการใช้ยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์ จึงมีฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มากกว่าการใช้ยางธรรมชาติชนิดเดียว



รูปที่ 1 ภาพตัวอย่างแสดงการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *E. coli* ของตัวอย่างยางผสมสูตร (a) NR70/BR30 + Biocide (b) NR100 + Biocide เทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่ Biocide (c) NR70/BR30 (d) NR100 โดยที่แผ่นขาวกลางเป็นตัวควบคุม (Control) ยาปฏิชีวนะ Gentamicin 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร



รูปที่ 2 ผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *E. coli*, *M. luteus*, *B. subtilis*, *S. aureus* และ *Pse. aeruginosa* ของตัวอย่างยางผสมสูตร NR70/BR30 และ NR100 ที่ใส่และไม่ใส่ Biocide

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองพบว่าการใช้ยางสังเคราะห์บางชนิดผสมกับยางธรรมชาติ ทำให้สมบัติของยางผสมสูตรดีขึ้น โดยเฉพาะสูตรยาง NR/BR-150L อัตราส่วน 70/30 ที่ทำให้ความทนทานต่อการขัด

ถู (Abrasion resistance) และความต้านทานการขยายรอยแตกจากการพับงอ (Ross flex cracking) การเพิ่มปริมาณสารตัวเติมเขม่าดำ N-330 และซิลิกา 255G ในช่วง 30-50 phr ทำให้ประสิทธิภาพการเสริมแรงเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะความสามารถในการทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) แต่การใช้สารตัวเติมปริมาณมากทำให้สมบัติบางประการลดลง การใช้หินภูเขาไฟ 0-5 phr ทำให้สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรลดลง การเพิ่ม Biocide ในสูตรทำให้มีประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดี จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบสูตรยางที่เหมาะสมที่ใช้ผลิตยางถอนขนไก่ที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่าต่างประเทศ และผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ยางถอนขนไก่

คำขอบคุณ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยางถอนขนไก่ ภายใต้สัญญาเลขที่ RDG5550117

เอกสารอ้างอิง

- [1] นางสาวจินตนา สุขสวัสดิ์ นายอานนท์ รวยเรืองรุ่ง และนางสาวศิริวรรณ ตั้งศิริมุกดา “การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์พืชมixedเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ (NR) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)” โครงการงานพิเศษระดับปริญญาตรีหลักสูตรเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2551
- [2] Beata Strzemieska, Adam Voelkel, Małgorzata Kasperkowiak, “Characterization of zeolites as potential new generation fillers in abrasive articles. Physicochemical properties of zeolites and their interactions with resins” Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 372 (1-3) (2010) 80–85
- [3] Sandip Rooja, Amit Dasa, Varun Thakura, R.N. Mahalinga, Anil K. Bhowmickb, Gert Heinrich, “Preparation and properties of natural nanocomposites based on natural rubber and naturally occurring halloysite nanotubes Materials and Design 31 (2010) 2151–2156
- [4] [Online] <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/ssj/article/view/131>
- [5] [Online] <http://library.kmutnb.ac.th/projects/sci/IC/ic0137t.html>
- [6] [Online] www.scisoc.or.th/stt/31/sec_e/paper/stt31_E0096.pdf
- [7] การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18
- [8] กรรณิกา หัตถะปะนิตย์, ชาคิต สิริสิงห์, พงษ์ธร แซ่ฮ้อย วารสารวิทยาศาสตร์ มศว, Vol 23, No 2 (2550)
- [9] J. W. Arnold and I. E. Yates, Interventions for Control of Salmonella: Clearance of Microbial Growth from Rubber Picker Fingers, Poultry Science, 2009, Vol. 88, pp. 1292-1298.

- [10] V.K. Burkeen, The Efficacy of Electrolyzed Water for Cleaning and Sanitizing Rubber Picker Fingers Soiled With Chicken Fat And Salmonella Typhimurium, Ph.D. Dissertation, 2008, University of Georgia, GA, USA.