

# การใช้เส้นใยอะรามิดเพื่อการเสริมแรงของยาง

โดยทั่วไปแล้ว มีการใช้เส้นใยเป็นสารช่วยในการเสริมแรงแก๊วสดูโดยการนำไปผสมร่วมกับพอลิเมอร์ซึ่งจะทำให้วัสดุมีความต้านทานการยืด แรงดึง และการฉีกขาดได้สูงขึ้น เส้นใยที่นิยมใช้เป็นสารเสริมแรงในอุตสาหกรรมยางมีทั้งเส้นใยจากธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ ตารางที่ 1 แสดงสมบัติทางกายภาพของเส้นใยชนิดต่างๆ ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยาง

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยชนิดต่างๆ

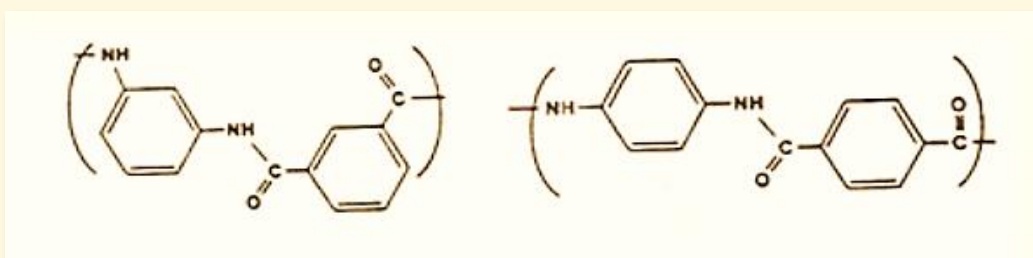
สมบัติ	ฝ้าย <sup>1</sup>	เรยอน	ไนลอน 6	ไนลอน 6,6	โพลีเอสเตอร์	อะรามิด	แก้ว	เหล็ก
ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	1.54	1.52	1.14	1.14	1.38	1.44	2.54	7.85
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	230	685	850	950	1100	2,750	2,250	2,750
ความแข็งแรงต่อหน่วยน้ำหนัก (cN/Text)	15	40	80	85	80	190	85	35
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	8	10	19	16	13	4	5	2.5
โมดูลัสเริ่มต้น <sup>2</sup> (cN/Text)	22.5	600	300	500	850	4,000	2,150	1,500

หมายเหตุ: <sup>1</sup> สมบัติของเส้นใยฝ้ายที่มีขนาด 840 เดซิเทกซ์

<sup>2</sup> ค่าความเค้นที่ 100% การยืดตัวที่ได้จากการคาดคะเน โดยใช้ค่าความเค้นที่ 2% การยืดตัว

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า เส้นใยอะรามิดมีความแข็งแรงและความทนต่อแรงดึงเทียบเคียงได้กับเส้นใยแก้วและเส้นใยเหล็ก แต่เส้นใยอะรามิดมีค่าความหนาแน่นที่ต่ำกว่าเส้นใยแก้วและเส้นใยเหล็ก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ยางที่เสริมแรงด้วยเส้นใยอะรามิดมีความแข็งแรงสูงและมีน้ำหนักเบา ดังนั้นอุตสาหกรรมยางจึงนิยมนำเส้นใยอะรามิดมาใช้เป็นสารเสริมแรงสำหรับการผลิตสายพานลำเลียงและยางล้อ

**เส้นใยอะรามิด (aramid)** คือ พอลิเอไมด์ที่มีโครงสร้างแบบวงแหวน (aromatic polyamide) โครงสร้างของเส้นใยอะรามิดแบ่งเป็น 2 ชนิดหลักๆ ได้แก่ meta-aramid และ para-aramid มีสูตรโครงสร้าง ดังรูปที่ 1



(ก) Meta-aramid

(ข) Para-aramid

รูปที่ 1 โครงสร้างของเส้นใยอะรามิด

ชื่อทางการค้าของเส้นใยอะรามิดที่มีโครงสร้างแบบเมตา (meta-aramid) เช่น Nomex ผลิตโดยบริษัท DuPont ส่วนชื่อทางการค้าของเส้นใยอะรามิดที่มีโครงสร้างแบบพารา (para-aramid) เช่น Kevlar ผลิตโดยบริษัท Dupont และ Twaron, Technora, Sulfron ผลิตโดยบริษัท Teijin Aramid

ที่ผ่านมาการศึกษาและการพัฒนาเกี่ยวกับการใช้เส้นใยอะรามิดเพื่อให้สามารถนำมาผสมกับสารตัวเติมเพื่อเสริมแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ยางอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการปรับผิวเส้นใยเพื่อให้สามารถใช้งานได้หลากหลายยิ่งขึ้น โดยในปี ค.ศ. 2010

โปรแกรมวิจัยของ Dutch Polymer Institute ประเทศเนเธอร์แลนด์ ได้ทำการศึกษาวิธีการปรับผิวเส้นใยอะรามิดเพื่อใช้เสริมแรงผลิตภัณฑ์ยางที่ผลิตจากยางธรรมชาติและยางอีพิตีเอ็ม โดยทำการศึกษาผลของการปรับผิวของเส้นใยอะรามิด 3 แบบ คือ 1. เส้นใยอะรามิดที่ปรับผิวด้วยสารเคมีมาตรฐานในกระบวนการผลิต (standard finish; StF) 2. เส้นใยอะรามิดที่ปรับผิวด้วยอีพ็อกซี (epoxy treated; EpT) 3. เส้นใยอะรามิดที่ผ่านการปรับผิวด้วยการรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ลาเท็กซ์ (resocinal formaldehyde latex; RFL) โดยมีสูตรผสมเคมีดังตารางที่ 2

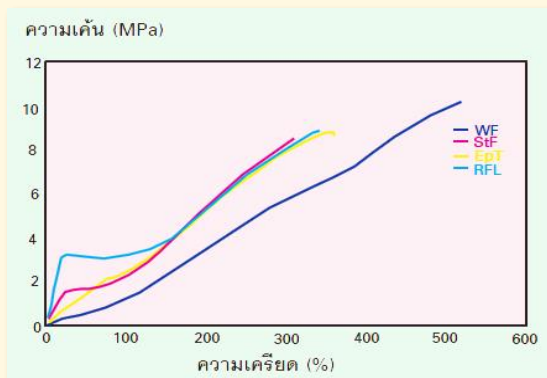
ตารางที่ 2 สูตรยางคอมพาวด์ที่ใช้ศึกษา

องค์ประกอบ	ปริมาณ (phr)	
	สูตร NR*	สูตร EPDM*
ยางธรรมชาติ	100	-
ยางอีพิตีเอ็ม	-	100
เขม่าดำ	55	105
น้ำมัน	8	60
เส้นใย**	5	5

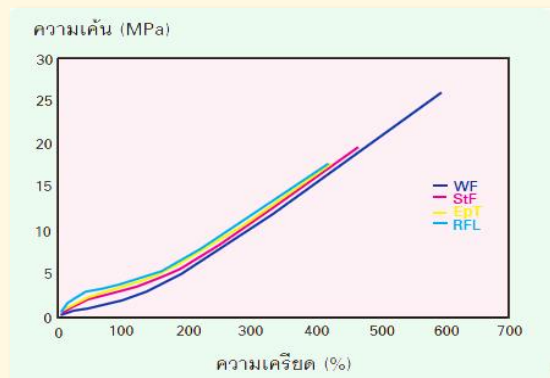
\* สูตร NR วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน สูตร EPDM วัลคาไนซ์ด้วยระบบเพอร์ออกไซด์

\*\*เส้นใยที่ใช้ คือ 1. สูตรที่ใช้เส้นใยอะรามิดที่ปรับผิวด้วยสารเคมีมาตรฐาน 2. สูตรที่ใช้เส้นใยอะรามิดที่ปรับผิวด้วยอีพ็อกซี 3. สูตรที่ใช้เส้นใยอะรามิดที่ผ่านการปรับผิวด้วยการรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ลาเท็กซ์

กระบวนการผสมของยางทั้ง 2 สูตร เริ่มจากการเตรียมมาสเตอร์แบตช์ของยาง โดยการใช้เครื่องผสมระบบปิด (internal mixer) แล้วทำการเติมเส้นใยที่ผ่านการปรับผิว จากนั้นเติมสารวัลคาไนซ์ลงในยางมาสเตอร์แบตช์ในแต่ละสูตร โดยใช้เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (two roll mill) แล้วนำมาทดสอบแรงดึงตามการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวยาว ผลของการทดสอบแรงดึงที่ได้แสดงดังรูปที่ 2



2 (ก)



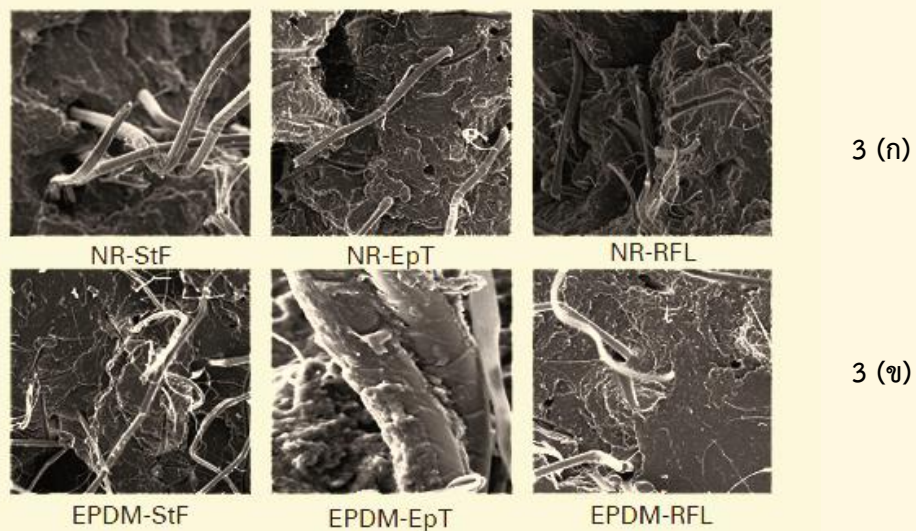
2 (ข)

รูปที่ 2 ผลการทดสอบแรงดึงของยางที่ใช้เส้นใยอะรามิดที่ผ่านการปรับผิวแบบต่างๆ  
2(ก) ยางอีพิตีเอ็ม 2(ข) ยางธรรมชาติ

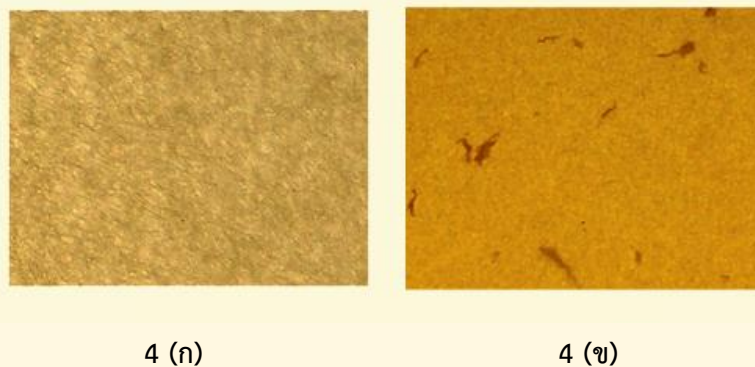
จากรูปที่ 2 พบว่า แรงดึงของยางอีพิตีเอ็มที่เสริมแรงด้วยเส้นใยอะรามิดที่ผ่านการปรับผิวด้วยการรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ลาเท็กซ์มีแรงดึงในช่วงต้นค่อนข้างสูง หลังจากนั้นมียาคาลดลงเล็กน้อยแล้วกลับมาเพิ่มอีกครั้งหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าในช่วงต้นมีการเกิดอันตรกิริยา (interaction) ที่ดีระหว่างยางอีพิตีเอ็มกับเส้นใยอะรามิดที่ผ่านการปรับผิวด้วย

การรีไซเคิลพอลิเมอร์เม็ดไฮดรอลิก ทำให้ค่าแรงดึงสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นเมื่อได้รับการดึงยืดตัวถึงร้อยละ 30 จะเกิดการเสียรูปเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของยางอีพิตีเอ็มกับเส้นใย (ค่าแรงดึงลดลง) หลังจากนั้นอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากแรงเสียดทานทำให้แรงดึงเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย และภาพรวมยางอีพิตีเอ็มที่เสริมแรงด้วยเส้นใยอะรามิดที่ผ่านการปรับผิวแบบอื่นก็ให้ผลทำนองเดียวกัน ในขณะที่ยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยอะรามิดแบบต่างๆ จะให้ค่าแรงดึงที่ไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก

เมื่อขึ้นทดสอบผ่านการทดสอบแรงดึงแล้ว จากนั้นนำมาส่องดูพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (electron microscope) (ดังรูปที่ 3) พบว่า พื้นผิวรอยแตกหักหลังจากการทดสอบแรงดึงของยางธรรมชาติและยางอีพิตีเอ็ม ซึ่งการใช้เส้นใยที่ผ่านการปรับผิวด้วยสารละลายมาตรฐานและเส้นใยที่ผ่านการปรับผิวด้วยอีพ็อกซีไม่มีผลต่อการยึดติดกับยาง ส่วนการใช้เส้นใยที่ผ่านการปรับผิวด้วยการรีไซเคิลพอลิเมอร์เม็ดไฮดรอลิกทำให้ยางอีพิตีเอ็มให้ผลในการเสริมแรงที่สูงขึ้น แต่สำหรับยางธรรมชาติการใช้เส้นใยที่ผ่านการปรับผิวด้วยการรีไซเคิลพอลิเมอร์เม็ดไฮดรอลิกก็ไม่ค่อยมีผลในการเสริมแรงมากนัก จากผลของการเสริมแรงด้วยเส้นใยในยางอีพิตีเอ็มที่มีค่าสูงกว่ายางธรรมชาตินั้น ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ คือ การกระจายตัวของเส้นใยในยางอีพิตีเอ็มดีกว่าการกระจายของเส้นใยในยางธรรมชาติ (ดูรูปที่ 3 ประกอบ)



รูปที่ 3 พื้นผิวรอยแตกหักหลังการทดสอบแรงดึง 3(ก) ยางธรรมชาติ 3(ข) ยางอีพิตีเอ็ม



รูปที่ 4 การกระจายตัวของเส้นใย 1 phr ที่ปรับผิวด้วยสารเคมีมาตรฐาน 4(ก) ยางธรรมชาติ 4(ข) ยางอีพิตีเอ็ม

จากรูปที่ 4 แสดงการกระจายตัวของเส้นใยที่ปรับผิวด้วยสารเคมีมาตรฐานในยางทั้งสองชนิด พบว่า เส้นใยมีการกระจายตัวในยางอีพิตีเอ็มสม่ำเสมอกว่ายางธรรมชาติ และการใช้เส้นใยที่ปรับผิวด้วยสารอีพ็อกซีและเส้นใยที่ปรับผิวด้วยกาวรีโซซินอลพอร์มัลดีไฮด์ลาเท็กซ์ก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน

จากที่เคยมีรายงานว่ากาวรีโซซินอลพอร์มัลดีไฮด์เป็นกาวที่ดีที่สุดสำหรับการยึดติดเส้นใย-คอร์ดกับยางธรรมชาติ แต่จากผลการทดลองที่ได้กลับให้ผลตรงข้าม กล่าวคือ การเสริมแรงในยางธรรมชาติด้วยเส้นใยอะรามิดที่ปรับผิวด้วยกาวรีโซซินอลพอร์มัลดีไฮด์ลาเท็กซ์กับเส้นใยอะรามิดที่ปรับผิวด้วยอีพ็อกซีและสารเคมีมาตรฐานให้ผลไม่แตกต่างกัน และถ้าลาเท็กซ์ในรีโซซินอลพอร์มัลดีไฮด์ถูกออกซิไดซ์ เส้นใยที่ปรับผิวด้วยกาวรีโซซินอลพอร์มัลดีไฮด์ลาเท็กซ์ก็จะไม่สามารถเกิดพันธะเคมียึดติดกับยางธรรมชาติได้ ผู้วิจัยได้รายงานว่า การยึดติดระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยที่ปรับผิวด้วยกาวรีโซซินอลพอร์มัลดีไฮด์ลาเท็กซ์ในการทดลองนี้จะยึดติดได้เพียงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น แต่ถ้านำไปยึดติดกับยางอีพิตีเอ็มจะให้ผลของการยึดติดที่ดี จึงสามารถอธิบายได้ว่ากลไกการเกิดอันตรกิริยาเคมีระหว่างกาวรีโซซินอลพอร์มัลดีไฮด์ลาเท็กซ์กับยางทั้งสองชนิดต่างกัน กล่าวคือ ยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน ส่วนยางอีพิตีเอ็มวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์

ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการเปลี่ยนระบบการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติจากเดิมที่ใช้กำมะถันมาใช้เพอร์ออกไซด์ แล้วทำการเปรียบเทียบระหว่างยางธรรมชาติที่ไม่ใช้เส้นใยเสริมแรงกับการใช้เส้นใยในปริมาณ 5 phr ที่ปรับผิวด้วยสารเคมีมาตรฐานและปรับผิวด้วยกาวรีโซซินอลพอร์มัลดีไฮด์ลาเท็กซ์ในการเสริมแรง พบว่า ยางธรรมชาติที่ใช้ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์และใช้เส้นใยอะรามิดที่ปรับผิวด้วยกาวรีโซซินอลพอร์มัลดีไฮด์ลาเท็กซ์จะให้การยึดติดที่ดีขึ้น แต่อาจยังไม่ดีเท่ากับยางอีพิตีเอ็ม

ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเสริมแรงของเส้นใยอะรามิดในยางมีหลายปัจจัยที่จะต้องพิจารณานอกจากชนิดของยางหรือชนิดเส้นใยแล้ว ต้องพิจารณาทั้งการยึดติดทางเคมี การเกิดอันตรกิริยาเชิงกล (mechanical interaction) ประกอบด้วย



#### เอกสารอ้างอิง

1. วารสารวิทยาศาสตร์เทคโนโลยียาง ปีที่ 4 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2553.
2. [www.rubbercenter.org](http://www.rubbercenter.org)
2. [http://www.en.rmutt.ac.th/prd/2013/High\\_Performance\\_Fibers.pdf](http://www.en.rmutt.ac.th/prd/2013/High_Performance_Fibers.pdf)