

# การเสริมแรงดอกลายด้วยเส้นใยอะรามิดชนิดสั้น

เรียบเรียงโดย คารณิ เจริญสุข

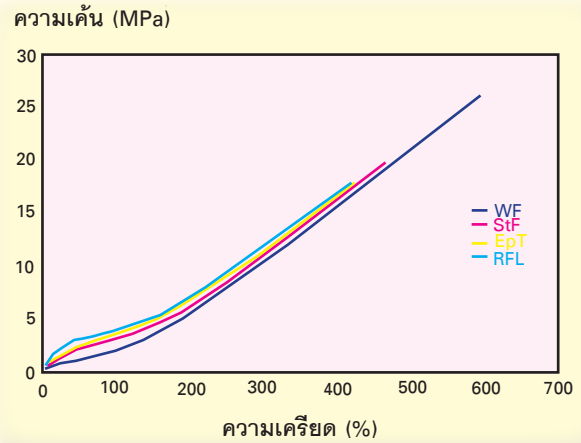
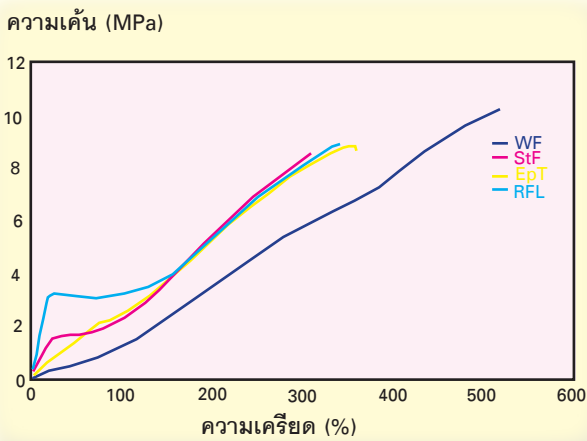
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

ในบรรดาคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยสั้นนั้น การใช้อย่างเป็นเมทริกซ์นั้นได้รับความนิยมมากที่สุด เพราะราคาถูกขึ้นรูปง่าย และมีความแข็งแรงสูง โดยคอมโพสิตที่ได้นี้จะมีสมบัติความเป็นอิลาสติกจากส่วนที่เป็นยางและมีความแข็งแรงจากส่วนที่เป็นเส้นใย

การเสริมแรงด้วยเส้นใยสั้นนั้นมีลักษณะที่น่าสนใจ เช่น การออกแบบสามารถทำได้หลากหลาย วัสดุที่ได้มีค่าโมดูลัสและความทนต่อการฉีกขาดสูง การเสริมแรงนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของยางที่เป็นเมทริกซ์ ชนิดของเส้นใย ปริมาณและการจัดเรียงตัวของเส้นใย การยึดติดระหว่างยางกับเส้นใย (ความแข็งแรงบริเวณรอยต่อ) ความยาวของเส้นใย และอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย (aspect ratio)

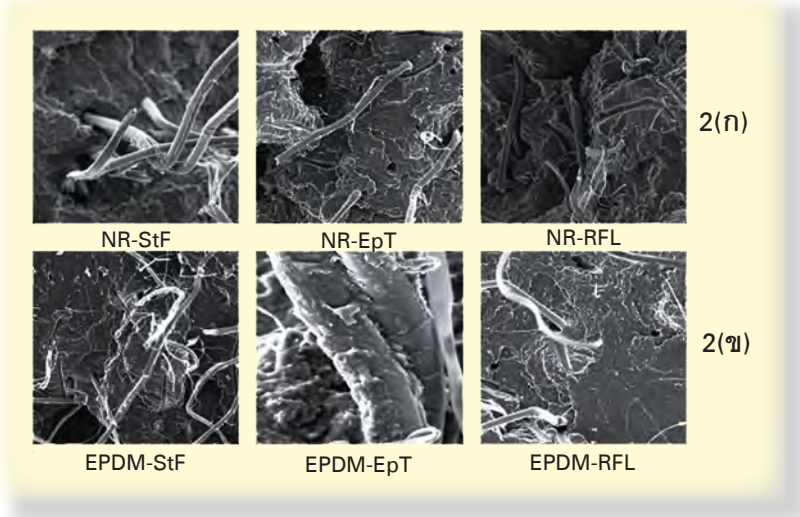
งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เส้นใยอะรามิดและยางธรรมชาติ (NR) ในการศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยอะรามิดมีค่าโมดูลัสและค่าความทนต่อแรงดึงสูงเมื่อเทียบกับเส้นใยชนิดอื่น และยางธรรมชาติเป็นอิลาสโทเมอร์หลักที่ใช้ในการผลิตดอกลายรถบรรทุกซึ่งคอมโพสิตเหล่านี้ได้มาจากบริษัท Teijin Aramid BV โดยใช้เส้นใยอะรามิดที่ผ่านการปรับผิวที่แตกต่างกัน 3 ตัวอย่าง ได้แก่ 1. เส้นใยอะรามิดที่ปรับผิวด้วยสารเคมีมาตรฐาน (สารประเภทน้ำมัน; oily substance) ในกระบวนการผลิต (standard finish; StF) ที่ช่วยให้ผลิตได้ง่ายขึ้น 2. เส้นใยอะรามิดที่ปรับผิวด้วยอีพ็อกซี (epoxy treated; EpT) 3. เส้นใยอะรามิดที่ปรับผิวด้วยกาวรีโซซินอลฟอร์แมลดีไฮด์แลกทีกซ์ (resocinol formaldehyde latex; RFL) ซึ่งนิยมใช้ในการเคลือบเส้นใย-คาร์บอนในอุตสาหกรรมยางมาเป็นเวลากว่า 50 ปีแล้ว นอกจากนี้ยังได้ศึกษาเปรียบเทียบเกี่ยวกับยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน (EPDM) ที่นิยมใช้ในการผลิตท่ออย่างด้วย

สูตรยางคอมพาวด์ที่ใช้ประกอบด้วย ยางธรรมชาติ 100 phr เขม่าดำ 55 phr น้ำมัน 8 phr และใช้ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน ซึ่งสูตรยางนี้เป็นสูตรผสมเคมีทั่วไปของดอกลายรถบรรทุก ส่วนสูตรคอมพาวด์ที่ใช้อย่างเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนประกอบด้วยยาง EPDM 100 phr เขม่าดำ 105 phr น้ำมัน 60 phr และใช้ระบบวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ การเตรียมมาสเตอร์แบตช์ของสูตรยางผสมทั้งสองสูตรจะใช้เครื่องผสมระบบปิด (1501 industrial internal mixer) จากนั้นจึงเติมเส้นใยสั้นที่ผ่านการปรับผิวทั้ง 3 ตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างละ 5 phr และสารวัลคาไนซ์ในมาสเตอร์แบตช์แต่ละสูตรโดยใช้เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง ทดสอบแรงดึงตามการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวยาว (longitudinal direction) และนำชิ้นทดสอบที่แตกหักไปส่องดูพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (electron microscope) เพื่อศึกษาการกระจายตัวของเส้นใยทั้งที่มีการจัดเรียงตัวในแนวยาวและแนวขวาง (transverse direction)



รูปที่ 1 ผลการทดสอบแรงดึงของตัวอย่างคอมโพสิตยาง/เส้นใยที่มีการจัดเรียงตัวในแนวยาว  
ก) ยาง EPDM (ข) ยาง NR

จากรูปที่ 1 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้น ค่าความทนต่อแรงดึงและการยืดตัวจะลดลง แต่อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวก็ยังสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมเส้นใยทั้งในช่วงที่มีความเค้นต่ำและช่วงที่มีความเค้นสูง นอกจากนี้ที่อัตราการเสริมแรงด้วยเส้นใยที่เท่ากัน ยาง NR จะให้ผลจากการเสริมแรงที่ต่ำกว่ายาง EPDM ค่อนข้างมาก และการปรับผิวของเส้นใยที่เสริมแรงในยาง NR ไม่ค่อยให้ค่าแรงดึงที่แตกต่างกันมากนัก แต่สำหรับในกรณีของยาง EPDM การปรับผิวเส้นใยด้วย RFL จะส่งผลต่อสมบัติของคอมโพสิตอย่างชัดเจน

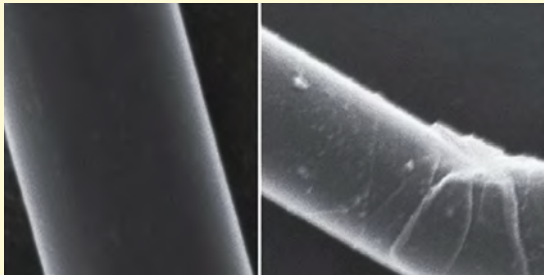


**รูปที่ 2** พื้นผิวรอยแตกหักหลังการทดสอบแรงดึงของตัวอย่างคอมโพสิตยาง/เส้นใยที่มีการจัดเรียงตัวในแนวยาว (ก) ยาง NR (ข) ยาง EPDM

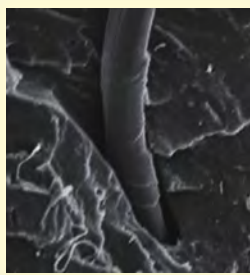
รูปที่ 2 แสดงพื้นผิวรอยแตกหักหลังจากการทดสอบแรงดึงของยาง NR และยาง EPDM ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ปรับผิวแบบต่างๆ และมีการจัดเรียงตัวในแนวยาว ซึ่งจะพบว่า เส้นใยที่มีการปรับผิวด้วยสารเคมีมาตรฐานและอีพ็อกซีไม่มีผลต่อการยึดติดกับคอมโพสิต ส่วนยาง EPDM ที่มีการปรับผิวเส้นใยด้วย RFL จะให้ผลของการเสริมแรงที่สูงขึ้น ในขณะที่ยาง NR ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ปรับผิวด้วย RFL ไม่มีผลต่อการเสริมแรง

การปรับปรุงสมบัติแรงดึงของคอมโพสิตทุกสูตรที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการปรับผิวด้วยสารเคมีมาตรฐานและการเพิ่มความเครียดของยางทั้งในส่วนที่มีการยืดตัวต่ำและในส่วนที่มีการยืดตัวสูง แสดงให้เห็นว่ามีอันตรกิริยาเชิงกล (mechanical interaction) ระหว่างยางและเส้นใยเกิดขึ้น ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สำคัญของการเสริมแรงด้วยเส้นใย

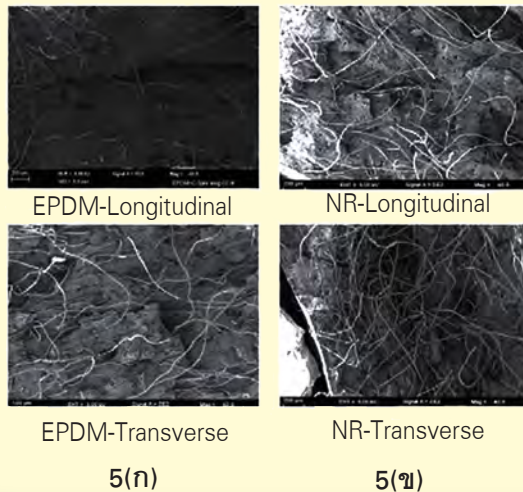
รูปที่ 3 แสดงพื้นผิวของเส้นใยอะรามิดในสภาพปกติและเส้นใยอะรามิดในสภาพที่ถูกโค้งงอ ซึ่งจะเห็นได้ว่าพื้นผิวของเส้นใยอะรามิดที่ถูกโค้งงอจะมีลักษณะขรุขระเพราะเกิดโครงสร้างผลึกสูง (highly crystalline layer structure) การโค้งงอของเส้นใยมักจะเกิดขึ้นได้เสมอระหว่างกระบวนการผสมซึ่งจะทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีลักษณะขรุขระสังเกตได้จากรูปที่ 4 ซึ่งแสดงพื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระของเส้นใยที่ได้จากรอยแตกหักหลังการทดสอบแรงดึง



**รูปที่ 3** เส้นใยอะรามิดชนิดสั้นที่ปรับผิวด้วยสารเคมี

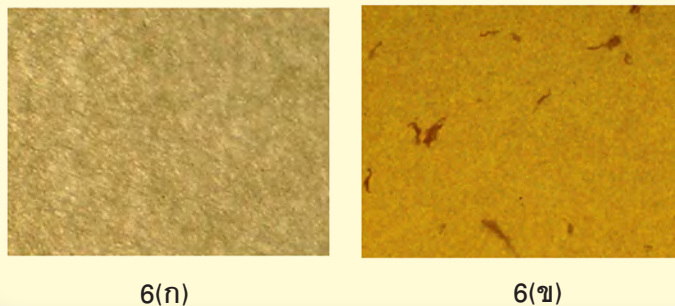


**รูปที่ 4** เส้นใยอะรามิดชนิดสั้นจากรอยแตกหักหลังการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 5 พื้นผิวรอยแตกหักหลังการทดสอบแรงดึงของคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการปรับผิวด้วยสารเคมีมาตรฐาน (ก) ยาง EPDM (ข) ยาง NR

ในความเป็นจริงแล้วการที่ผลของการเสริมแรงด้วยเส้นใยในยาง EPDM มีค่าสูงกว่ายาง NR มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัยด้วยกัน ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ คือ การกระจายตัวของเส้นใยในยาง EPDM ดีกว่าการกระจายตัวของเส้นใยในยาง NR รูปที่ 5 แสดงพื้นผิวรอยแตกหักหลังการทดสอบแรงดึงของยาง EPDM และยาง NR ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปริมาณ 5 phr ที่ผ่านการปรับผิวด้วยสารเคมีมาตรฐาน ทั้งในแนวการจัดเรียงตัวในแนวยาวและแนวขวาง จะเห็นได้ว่าเส้นใยมีการกระจายตัวในยาง EPDM สม่าเสมอมากกว่า ข้อสรุปนี้ยืนยันได้จากรูปที่ 6 ซึ่งแสดงการกระจายตัวของเส้นใยที่ปรับผิวด้วยสารเคมีมาตรฐานในยางทั้งสองชนิดและในทำนองเดียวกัน เส้นใยที่ปรับผิวด้วยสารอิพ็อกซีและ RFL ก็มีการกระจายตัวในยาง EPDM ได้ดีกว่าในยาง NR

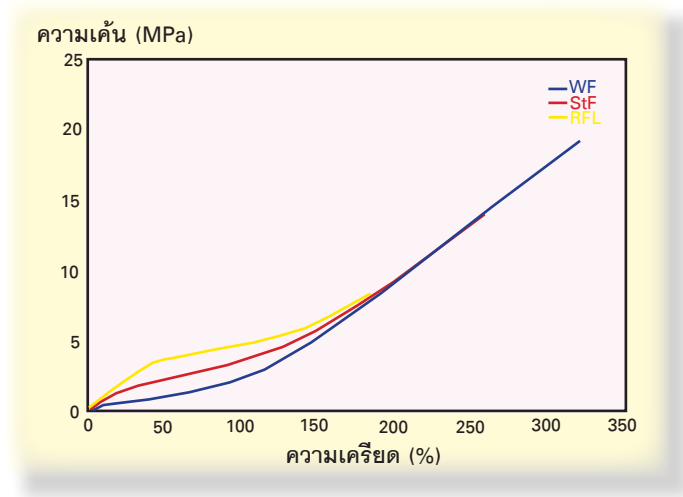


รูปที่ 6 การกระจายตัวของเส้นใย 1 phr ที่ปรับผิวด้วยสารเคมีมาตรฐานในคอมโพสิต (ก) ยาง EPDM (ข) ยาง NR

ลักษณะกราฟแรงดึงของยาง EPDM ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ปรับผิวด้วย RFL จะมีค่าแรงดึงที่ค่อนข้างสูงในช่วงต้น หลังจากนั้นค่าลดลงเล็กน้อยแล้วจึงเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งหมายความว่า ในช่วงต้นมีการเกิดอันตรกิริยา (interaction) ที่ดีระหว่างยาง EPDM กับเส้นใยที่ปรับผิวด้วย RFL ทำให้แรงที่ใส่เข้าไปถูกส่งผ่านไปยังเส้นใย ส่งผลให้คอมโพสิตมีค่าแรงดึงสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นเมื่อตัวอย่างมีการยืดตัวถึงร้อยละ 30 จะเกิดการเสถียรอย่างมากรวมรอยต่อของยางกับเส้นใย ทำให้หลังจากนั้นอันตรกิริยาส่วนใหญ่มาจากแรงเสียดทาน ซึ่งในกรณีของคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดอื่นก็จะให้ผลในทำนองเดียวกัน

จากที่เคยมีการรายงานไว้ว่า RFL เป็นกาวที่ดีสำหรับการยึดติดเส้นใย-คอร์ดกับยาง NR แต่จากผลการทดลองที่ได้กลับตรงกันข้าม กล่าวคือ การเสริมแรงในยาง NR ด้วยเส้นใยที่ปรับผิวด้วย RFL กับเส้นใยที่ปรับผิวด้วยอิพ็อกซีและสารเคมีมาตรฐานให้ผลไม่แตกต่างกัน หนึ่งในเหตุผลหลักที่สำคัญก็คือ การเกิดออกซิเดชัน ทั้งนี้ถ้าเท็กซ์ใน RFL จะแสดงบทบาทที่สำคัญในการทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างเส้นใยที่ปรับผิวกับยางในกระบวนการยึดติดของกาว RFL กับยาง NR ในทางตรงกันข้ามถ้าเท็กซ์ถูกออกซิไดซ์ RFL จะไม่สามารถเกิดพันธะเคมียึดติดกับยาง NR ได้

เป็นที่น่าสังเกตว่า เส้นใยที่ปรับผิวด้วย RFL ที่ใช้ในการทดลองนี้เก็บไว้ได้เพียงช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้นสำหรับการยึดติดกับยาง NR แต่ถ้านำเส้นใยนี้ไปยึดติดกับยาง EPDM จะพบว่ายังให้ผลการยึดติดที่ดี ทั้งนี้อาจจะอธิบายได้ว่า กลไกในการเกิดอันตรกิริยาเคมีระหว่างลาเท็กซ์กับยางทั้งสองชนิดนั้นต่างกัน คือ ยาง EPDMวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ ในขณะที่ยาง NR วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน



**รูปที่ 7 ผลการทดสอบแรงดึงของตัวอย่างคอมโพสิตยาง NR ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดต่างๆ ในแนวยาว และใช้ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์**

รูปที่ 7 แสดงกราฟแรงดึงของยาง NR ที่ใช้ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ โดยเปรียบเทียบระหว่างการไม่ใช้เส้นใยเสริมแรงกับการใช้เส้นใยในปริมาณ 5 phr ที่ปรับผิวด้วยสารเคมีมาตรฐานและ RFL ในการเสริมแรง จะเห็นว่าผลที่ได้ตรงกันข้ามกับยาง NR ที่ใช้ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน กล่าวคือ ยาง NR ที่ใช้ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์และมีการปรับผิวเส้นใยด้วย RFL จะให้การยึดติดที่ดี แม้ว่าจะไม่ดีเท่ากับในยาง EPDM ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการกระจายตัวของเส้นใยในยาง NR แย่กว่าในยาง EPDM

กล่าวโดยสรุป ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเสริมแรงของเส้นใยในยางนั้นไม่เพียงแต่จะมีปัจจัยในเรื่องของการยึดติดทางเคมีเท่านั้น แต่ยังมีปัจจัยการเกิดอันตรกิริยาเชิงกล (mechanical interaction) ด้วย เมื่อบริเวณรอยต่อเกิดแรงเสียดทานสูง เส้นใยก็สามารถจะเสริมแรงให้แก่วัสดุได้แม้ว่าจะอยู่ในช่วงที่มีการยืดตัวสูงด้วยการยึดติดทางเคมี

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมวิจัยของ Dutch Polymer Institute; DPI เมืองอินด์โฮเวน ประเทศเนเธอร์แลนด์ โครงการเลขที่ 644

ที่มา....Tire Technology International 2010