

สารเติมแต่งประสิทธิภาพสูงสำหรับกระบวนการจุ่มแบบน้ำยาง

เรียบเรียงโดย ชญาภา นิมสุวรรณ

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ และ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

การใช้น้ำยางธรรมชาติทั่วโลกมีประมาณเกือบ 7 ล้านตันต่อปี โดยมีถุงมือเป็นตลาดใหญ่ที่สุดซึ่งใช้น้ำยางสูงถึงร้อยละ 60 ตลาดผลิตภัณฑ์จากน้ำยางได้เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นและการประชาสัมพันธ์ให้ความรู้กับผู้คนเกี่ยวกับเรื่องการรักษาโรคติดต่อร้ายแรง เช่น โรคภูมิคุ้มกันบกพร่อง (AIDS) ในช่วงที่ผ่านมาอุตสาหกรรมนี้เติบโตในอัตราสูงกว่าร้อยละ 10 ต่อปี แต่อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมนี้ก็ประสบปัญหาต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้นอันเนื่องมาจากราคาของยางธรรมชาติที่เพิ่มขึ้น

ขณะนี้ตลาดผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการจุ่มแบบกำลังแข่งขันกันอย่างดุเดือด ผู้ผลิตต้องผลิตในปริมาณมากจึงจะมีผลกำไร และจากเศรษฐกิจที่เติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ต้นทุนแรงงานสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติเข้ามาเพื่อลดต้นทุนแรงงาน เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตถุงมือยางและถุงยางอนามัยเป็นกระบวนการต่อเนื่องธรรมดา ถ้าเพิ่มความเร็วของสายการผลิตก็จะเพิ่มผลผลิตการผลิตได้ สายการผลิตในปัจจุบันสามารถผลิตได้สูงถึง 1.5 ล้านชิ้นต่อวัน ซึ่งเป็นสิ่งที่ท้าทายอย่างมากสำหรับนักเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์น้ำยาง เพราะนอกเหนือจากความรู้ทางเคมีของน้ำยาง เครื่องจักร และปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตแล้ว การเลือกสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ที่เหมาะสมกับสารช่วยในการจับตัว (coagulant) ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมากในการช่วยลดข้อบกพร่องของถุงมือยางได้

สารเติมแต่งประสิทธิภาพสูง

สารเติมแต่งประสิทธิภาพสูงที่พัฒนามาจากสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างแบบ Gemini สำหรับใช้งานในระบบที่มีน้ำเป็นตัวกลาง (waterborne system) โดยสารดังกล่าวจะทำให้เกิดการเปียกผิวได้โดยไม่เกิดข้อบกพร่อง (defect-free wetting) และสามารถควบคุมการเกิดฟองได้ (foam control) สารเติมแต่งที่มีโครงสร้างแบบ Gemini ของ Air Product ในตระกูลของซัลฟีนอล (Surfynol additive) ได้ถูกนำมาใช้เป็นสารทำให้เปียกและลดการเกิดเว็บ¹ (wetting and dewebbing agent) อย่างแพร่หลายมาเป็นเวลากว่า 20 ปีมาแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Surfynol TG และ Surfynol 465 ได้ถูกนำมาใช้เป็นสารทำให้เปียกในขั้นตอนการจับตัวของกระบวนการจุ่มแบบของน้ำยาง ในขณะที่ DF-37 ซึ่งเป็นสารลดฟองจะลดการเกิดเว็บในขั้นตอนที่จุ่มแบบลงไปใต้น้ำยาง

เมื่อเร็วๆ นี้ Air Products ได้เปิดตัวผลิตภัณฑ์ใหม่ ได้แก่ Carbowet LSF ซึ่งเป็นสารทำให้เปียกและช่วยในการกระจายตัว (dispersant) สำหรับใช้ในอ่างจับตัวน้ำยาง (coagulant bath) สารนี้เป็นของเหลวที่ไม่มีส่วนผสมของแอลคิลฟีนอลเอท็อกซิเลต (APE-free liquid) ไม่ทำให้พื้นผิวที่เปียกเกิดฟอง และมีจุดหมอก (cloud point) สูง เหมาะสำหรับอ่างจับตัวที่ใช้อุณหภูมิสูง

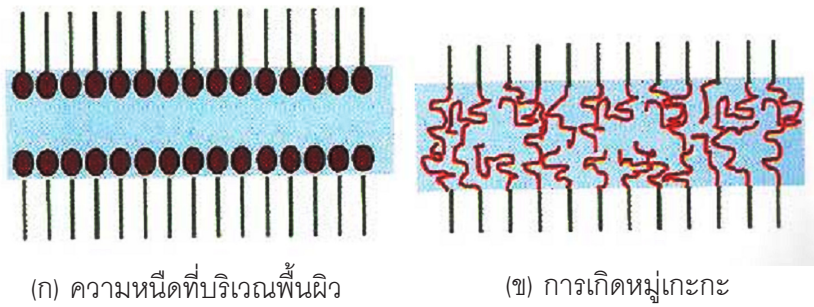
สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว คือ สารเคมีที่ทำปฏิกิริยาบริเวณพื้นผิว โดยจะช่วยลดแรงตึงผิวของของเหลวและทำให้ของเหลวนั้นไหลไปเคลือบซับสเตรตได้ดีขึ้น สารเหล่านี้จะประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) อยู่ภายในโมเลกุลเดียวกัน ซึ่งจะส่งผลอย่างมากในการลดแรงตึงผิวของกระบวนการผลิตที่มีความเร็วสูง

แรงตึงผิวเชิงพลวัต (Dynamic Surface Tension; DST) คือ แรงตึงผิววัดได้จากอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิวอย่างรวดเร็วซึ่งจะมีความสำคัญอย่างมากถ้าสายการผลิตที่จุ่มแบบนั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงเพราะว่าจะเกิดพื้นผิวใหม่ขึ้นอย่างรวดเร็วและสารลดแรงตึงผิวนี้ต้องเคลื่อนย้ายจากของเหลวไปยังพื้นผิวใหม่ได้โดยเร็วเพื่อลดแรงตึงผิวของของเหลวให้ลดต่ำลงและไหลไปทำให้แบบจุ่มเปียกได้อย่างสม่ำเสมอ สารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้กันอยู่ ได้แก่ เอท็อกซิเลตแอลกอฮอล์ และ แอลคิลฟีนอลเอท็อกซิเลต ซึ่งเป็นสารที่ประกอบด้วยกลุ่มที่ชอบน้ำและกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ สารเหล่านี้จะลดแรงตึงผิวที่สภาวะสมดุล แต่จะมีประสิทธิภาพต่ำลงเมื่อมีพื้นผิวใหม่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในกระบวนการผลิตที่ใช้ความเร็วสูง ยิ่งไปกว่านั้นโครงสร้างแบบเส้นตรงของสารเหล่านี้จะทำให้เกิดฟองที่มีความเสถียรจากความหนืดที่บริเวณพื้นผิวหรือการเกิดหมู่เกาะ (steric hindrance) ซึ่งรู้จักกันดีว่าเป็นกลไกการเกิดความเสถียรของฟอง (รูปที่ 1)



¹เว็บ (web) คือ ลักษณะที่ฟิล์มน้ำยางติดกันเป็นพังผืด เช่น บริเวณง่ามนิ้ว

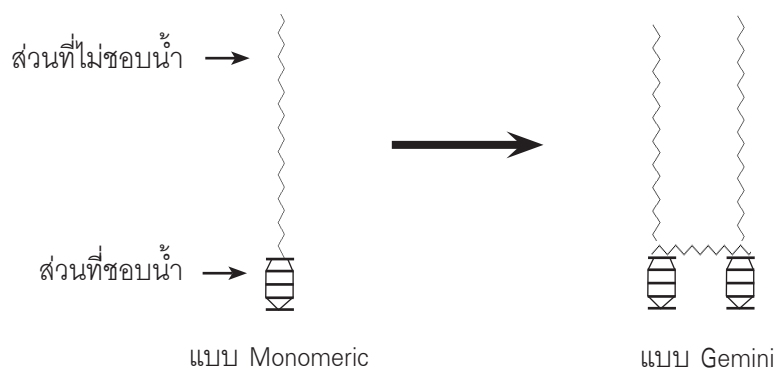


(ก) ความหนืดที่บริเวณพื้นผิว

(ข) การเกิดหมู่เกาะ

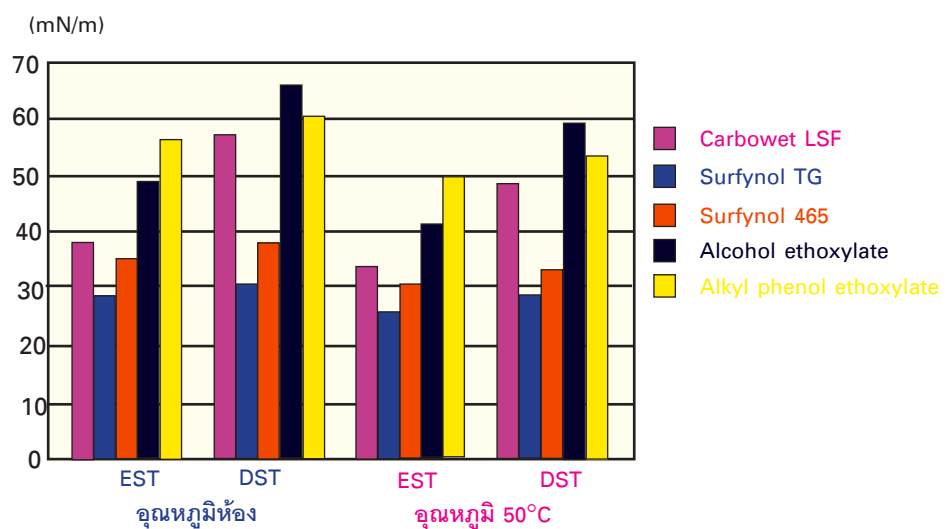
รูปที่ 1 กลไกการเกิดความเสถียรของฟอง

สารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างแบบ Gemini ประกอบด้วยส่วนประกอบที่เหมือนกัน 2 ส่วนที่อยู่ห่างกันและที่ปลายด้านล่างของส่วนที่ชอบน้ำเชื่อมกันด้วยโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำ (รูปที่ 2) ข้อดีของสารนี้เมื่อเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวแบบเดิมที่เป็นโมเลกุลเดี่ยวๆ (มีส่วนที่ชอบน้ำและส่วนที่ไม่ชอบน้ำ) คือ สารเหล่านี้จะว่องไวต่อพื้นผิวได้ดีกว่าแม้ว่าจะใช้ในปริมาณน้อย



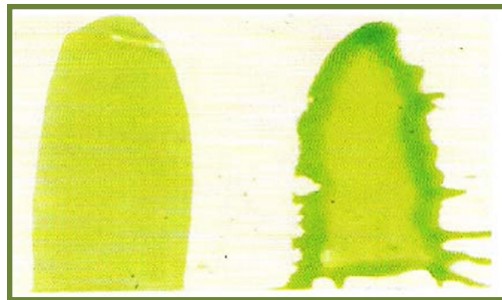
รูปที่ 2 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวประสิทธิภาพสูงที่มีโครงสร้างแบบ Gemini ของ Air Product มีองค์ประกอบของอะเซทิลีนไดออล (acetylenic diol) ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการลดแรงตึงผิวที่ดีทั้งในสภาวะสมดุล (equilibrium surface tension; EST) และสภาวะพลวัต (dynamic surface tension; DST) รูปที่ 3 แสดงข้อมูลสรุปของสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกันที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก ในสารละลายแคลเซียมไนเตรดเข้มข้นร้อยละ 15

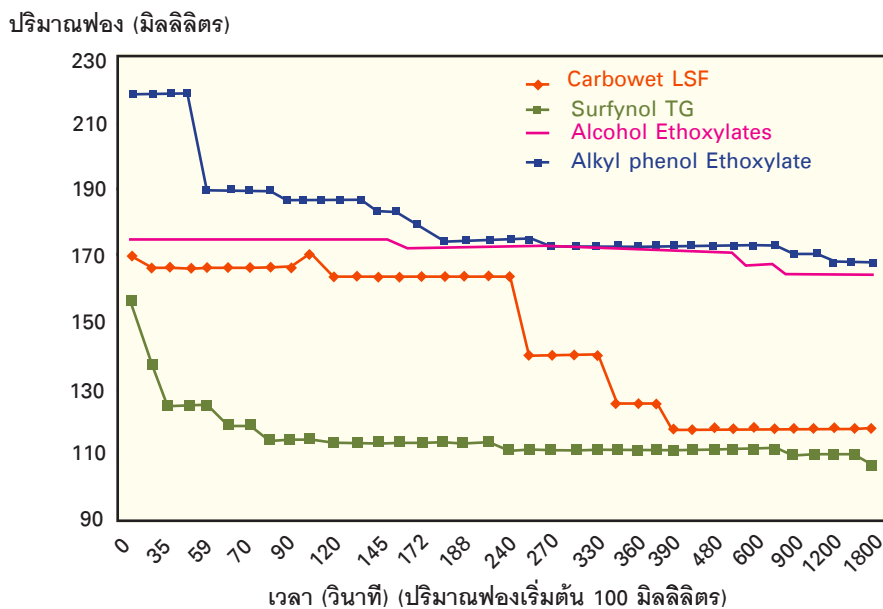


รูปที่ 3 สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ในสภาวะสมดุล (EST) และสภาวะพลวัต (DST) (วัดแรงตึงผิวโดยใช้เครื่อง Kruss BP2 Bubble Pressure Tensionmeter)

สารลดแรงตึงผิวที่มีองค์ประกอบของอะเซทิลีนิกไดออล (Carbowet LSF, Surfynol TG และ Surfynol 465) มีประสิทธิภาพในการลดแรงตึงผิวที่ดีทั้งในสภาวะสมดุลและโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะพลวัตเมื่อเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวเชิงเดี่ยวอื่นๆ เช่น แอลกอฮอล์เอท็อกซิเลต และแอลคิลฟีนอลเอท็อกซิเลต สารทำให้เปียกที่ตินั้นจะต้องไม่ช่วยในการจับตัวเกิดการไหลย้อนกลับและไม่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่พื้นผิวของผลิตภัณฑ์ เมื่อพิจารณาสมการของยัง (Young's equation) พบว่า สารทำให้เปียกจะทำงานได้ดีเมื่อแรงตึงผิวของของเหลวที่ต่ำกว่าแรงที่บริเวณพื้นผิว กระบวนการผลิตที่ใช้ความเร็วสูงจะต้องพิจารณาค่าแรงตึงผิวในสภาวะพลวัต (DST) ซึ่งสะท้อนถึงความเร็วของกระบวนการผลิต การไหลย้อนกลับมีผลอย่างมากต่อความสมบูรณ์ของฟิล์มที่เกิดขึ้น สำหรับการใช้งานประเภทผลิตภัณฑ์ฉลาก เช่น แผ่นปิดลอกซิลิโคน (silicone release liner) ที่ใช้เป็นชั้นสเตรตมีพลังงานพื้นผิวดำมาก ดังนั้นแรงตึงผิวของกาวที่ใช้ควรจะต้องต่ำพอที่จะทำให้เกิดการเปียกผิวได้โดยไม่ทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของกาวบนชั้นสเตรต รูปที่ 4 แสดงการไหลที่ไม่เรียบของกาวที่มีกลไกการทำงานแบบกด (pressure sensitive adhesive; PSA) บนแผ่นปิดลอกซิลิโคน



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพของสารทำให้เปียกบนแผ่นปิดลอกซิลิโคน (ก) ใส่สารลดแรงตึงผิวที่มีอะเซทิลีนิกไดออลร้อยละ 1 (ข) ไม่ใส่สารลดแรงตึงผิว



รูปที่ 5 ผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ที่มีต่อปริมาณฟองที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 5 จะพบว่า สารลดแรงตึงผิวแอลกอฮอล์เอท็อกซิเลตและแอลคิลฟีนอลเอท็อกซิเลตจะเกิดฟองในช่วงต้นของการเขย่า แต่เมื่อหยุดเขย่าปริมาณของฟองไม่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเวลาผ่านไป ในกรณีของสารลดแรงตึงผิว Surfynol TG ปริมาณฟองจะลดลงอย่างรวดเร็วมาก ซึ่งอาจทำให้ผู้ทดลองไม่สามารถบันทึกระดับปริมาณฟองที่ถูกต้องได้ ส่วนสารลดแรงตึงผิว Carbowet LSF จะให้ปริมาณฟองเริ่มต้นในระดับที่สามารถวัดได้และจะลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 2-3 นาที ซึ่งจะทำให้เหลือปริมาณฟองไม่มากในอ่างจับตัวน้ำยาง

สารลดแรงตึงผิวประสิทธิภาพสูงในอ่างจับตัวน้ำยาง

โดยทั่วไปแบบจุ่มจะทำมาจากวัสดุที่ทำให้เปียกได้ยาก เช่น พอร์ซเลน พลาสติก หรือเหล็กขัดเงา ยิ่งไปกว่านั้นถ้าทำความสะอาดแบบจุ่มไม่ถี่ระหว่างขั้นตอนการทำความสะอาดด้วยกรดแล้ว จะทำให้แบบจุ่มเปียกทั่วทั้งอันได้ยากยิ่งขึ้นไปอีก เมื่อจุ่มแบบจุ่มดังกล่าวลงในสารจับตัว จะทำให้ถุงมือที่ได้มีข้อบกพร่องเกิดขึ้น เช่น เป็นรู และเกิดเป็นจุดที่ทำให้มีความแข็งแรงต่ำ (ขาดง่าย)

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ

ชนิดของสารลดแรงตึงผิว	ลักษณะ	แรงตึงผิวเชิงพลวัตที่อุณหภูมิห้อง (mN/m)	เวลาที่ใช้ในการละลายที่อุณหภูมิห้อง (วินาที)	จุดหมอกที่อุณหภูมิห้อง (°C)	ความต่อเนื่องของฟิล์มที่เกิดขึ้น	ปริมาณฟอง
Carbowet LSF	ของเหลว	57.4	10.0	>90	ต่อเนื่อง	ไม่มี
Surfynol TG	ของเหลว	30.9	45.0	53	ต่อเนื่อง	ไม่มี
Surfynol 465	ของเหลว	43.2	15.0	>75	ต่อเนื่อง	เล็กน้อย
Alcohol ethoxylate	ของเหลว/ไข	66.4	140.0	>90	ไม่ต่อเนื่อง	มาก
Alkyl phenol ethoxylate	ผง	60.6	195.0	>90	ไม่ต่อเนื่อง	มาก

หมายเหตุ: ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวเท่ากับร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก ในสารละลายแคลเซียมไนเตรดร้อยละ 15

ตารางที่ 1 แสดงสารลดแรงตึงผิวที่มีองค์ประกอบของอะซีทิลีนิกไดออลและสารอื่นๆ ในสารละลายแคลเซียมไนเตรดร้อยละ 15 สาร Carbowet LSF, Surfynol TG และ Surfynol 465 เป็นของเหลวจึงไม่จำเป็นต้องนำไปทำให้ละลายก่อนการใช้ แต่สารจำพวกแอลกอฮอล์เอท็อกซิเลต (ของเหลวที่มีความหนืดสูงลักษณะคล้ายไข) และแอลคิลฟีนอลเอท็อกซิเลต (ผง) จำเป็นต้องทำให้เกิดการละลายก่อนแต่สารทั้งสองชนิดมีอัตราในการละลายต่ำ จะส่งผลต่อผลผลิตภาพของการผลิตถุงมืออย่างให้ลดต่ำลงไปด้วยอย่างมีนัยสำคัญ

การวัดความต่อเนื่องของฟิล์มและปริมาณฟองที่เกิดขึ้นทำได้โดยจุ่มแผ่นแก้วลงไปนสารละลายที่ต้องการจะวัด ซึ่งสาร Carbowet LSF, Surfynol TG และ Surfynol 465 จะทำให้แบบจุ่มเกิดการเปียกได้โดยไม่เกิดฟองหรือมีฟองเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในทางตรงกันข้าม สารลดแรงตึงผิวแบบเดิมชนิดไม่มีประจุ เช่น เอท็อกซิเลตแอลคิลฟีนอล หรือแอลกอฮอล์เอท็อกซิเลต จะลดแรงตึงผิวเชิงพลวัตได้ไม่ดี ส่งผลให้ความต่อเนื่องฟิล์มที่เกิดขึ้นจากสารจับตัวมีค่าปานกลางไปจนถึงค่อนข้างแย่ ยิ่งไปกว่านั้นยังมีปริมาณฟองที่เกิดขึ้นในระดับปานกลางจนถึงสูงและมีอัตราการละลายที่ค่อนข้างช้า ส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องกับผลิตภัณฑ์ถุงมือ เช่น ตาปลา เป็นรู เป็นจุดเล็กๆ

สารลดแรงตึงผิวประเภทเอท็อกซิเลตหลายชนิดไม่เสถียรในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นสูงและไม่ละลายหรือละลายได้บางส่วนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และสารละลายแคลเซียมไนเตรต ดังนั้นจึงทำให้สารลดแรงตึงผิวเหล่านี้มีประสิทธิภาพด้อยลง แต่สารลดแรงตึงผิวชนิดใหม่ที่มีความเสถียรในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นสูงและจะช่วยทำให้สารตัวเติมอนินทรีย์กระจายตัวได้ดี ซึ่งจะช่วยปรับปรุงผลผลิตภาพของการผลิตถุงมือยาง สารลดแรงตึงผิวเหล่านี้ (Carbowet LSF และ Surfynol 465) เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุและมีจุดหมอกสูงในสารละลาย (>90°C และ >70°C ตามลำดับ) หมายความว่าถึงแม้ว่าจะอยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง สารลดแรงตึงผิวเหล่านี้ก็ยังให้สมบัติการเปียกผิวที่ดีและเกิดฟองน้อย ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการผลิตผลิตภัณฑ์นำยางด้วยวิธีการจุ่มแบบลงในสารจับตัวที่อุณหภูมิสูง

สารดีเว็บ (dewebbing agent) ในอ่างน้ำยาง

โดยทั่วไปสารดีเว็บมักจะเป็นอิมัลชันของซิลิโคนในระบบที่มีน้ำ ซึ่งจะทำให้การเปียกผิวที่ไม่ดี (มีแรงตึงผิวสูง) และมักจะมีโอกาสทำให้เกิดตาปลาและข้อบกพร่องอื่นๆ ในผลิตภัณฑ์

สารลดฟอง DF-37 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีส่วนผสมของซิลิโคน ซึ่งได้ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ นอกจากจะช่วยลดฟองและลดการเกิดเว็บแล้วยังมีสมบัติการเปียกผิวรวมอยู่ด้วย รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะไม่เหมือนกับสารดีเว็บที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่ ตารางที่ 2 แสดงประสิทธิภาพของการดีเว็บของสาร DF-37 และสารดีเว็บทั่วไป ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าสารลดฟอง DF-37 สามารถจะปรับปรุงการดีเว็บให้ดีขึ้นได้โดยใช้ปริมาณสารที่ลดลง (ร้อยละ 0.35 เมื่อเทียบกับร้อยละ 0.5 ของสารดีเว็บทั่วไป) และยังคงแสดงสมบัติการดีเว็บที่ดีขึ้นได้หลังจากเวลาผ่านไป 24 และ 48 ชั่วโมง

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการดีเว็บของ Surfynol DF-37 และสารดีเว็บทั่วไปในน้ำยางธรรมชาติที่มีเนื้อยางร้อยละ 40

	Surfynol DF-37		สารดีเว็บทั่วไป	
	0.35	0.50	0.35	0.50
ปริมาณ* (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.35	0.50	0.35	0.50
ความยาวเว็บเริ่มต้น (นิ้ว)	0.75	0.50	2.00	1.00
หลังจาก 24 ชั่วโมง	1.00	0.75	>2.00	>2.00
หลังจาก 48 ชั่วโมง	1.25	1.00	>2.00	>2.00

หมายเหตุ: *ปริมาณนี้เป็นร้อยละโดยน้ำหนักของสารเคมีทั้งหมดในสูตร

ที่มา: Rubber Journal Asia, September 2010.

