

การวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์จากนํายาง

แปลและเรียบเรียงโดย ชินรัตน์ ลาภพูลธนะอนันต์

ผลิตภัณฑ์จากนํายางจะไม่สามารถนำมาใช้งานได้จนกว่าจะผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์เสียก่อน ทั้งนี้เพื่อกำจัดความเหนียวติด (tackiness) ของยางและปรับปรุงสมบัติต่างๆ เช่น ความแข็งแรง ความต้านทานต่อการสึกกร่อน ความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น การวัลคาไนซ์เป็นกระบวนการเชื่อมโมเลกุลยางแต่ละโมเลกุลผ่านพันธะโควาเลนต์ให้เกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย ความเร็วในการเชื่อมโยงพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างการวัลคาไนซ์ เรียกว่า อัตราการวัลคาไนซ์ (cure rate) และแผ่นฟิล์มนํายางที่ได้ คือ แผ่นฟิล์มนํายางที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้ว

ในการวัลคาไนซ์ ยางจะทำปฏิกิริยากับกำมะถันทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่น ทนทาน และไม่เหนียวติด การวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิห้องจะดำเนินไปอย่างช้าๆ ซึ่งอาจต้องใช้เวลาหลายวันในการทำให้การวัลคาไนซ์เกิดได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นเพื่อลดเวลาในการวัลคาไนซ์ลง เราสามารถทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ให้สูงขึ้น สำหรับอุณหภูมิปกติที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ ผลิตภัณฑ์จากนํายางจะอยู่ที่ประมาณ 100°C ซึ่งที่อุณหภูมินี้อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยางกับกำมะถันจะเป็นไปอย่างช้าๆ

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้กำมะถันเพียงอย่างเดียวเป็นสารวัลคาไนซ์จะให้สมบัติที่ไม่ดีทั้งในแง่ความแข็งแรงและลักษณะภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารเคมีที่เรียกว่า สารตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator) และสารกระตุ้นปฏิกิริยา (activator) เพื่อช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เหล่านี้

การบ่ม¹ (maturation) ของนํายางคอมพาวด์

นํายางคอมพาวด์ประกอบด้วยนํายาง สารสแตบิไลเซอร์ สารวัลคาไนซ์ และสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ซึ่งนํายางคอมพาวด์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บได้ 2 ลักษณะ คือ

1. เสถียรภาพของคอลลอยด์ดีขึ้นหลังการบ่ม (ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงสมบัติของคอลลอยด์ระหว่างการเก็บ) และ
2. เกิดการวัลคาไนซ์บางส่วน ซึ่งวัดได้จากระดับการเชื่อมโยงของโมเลกุลนํายางคอมพาวด์ระหว่างการเก็บ

การเปลี่ยนแปลงทั้ง 2 ลักษณะนี้เกิดขึ้นพร้อมกัน ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมการเกิดวัลคาไนซ์ในนํายางคอมพาวด์ที่อยู่ระหว่างการใช้งานและส่วนที่ยังคงเหลืออยู่ในถังเก็บนํายางก่อนที่จะใช้นํายางคอมพาวด์หมดด้วยการกำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บ

ระบบการวัลคาไนซ์

ในระบบการวัลคาไนซ์ประกอบด้วย กำมะถัน สารกระตุ้นปฏิกิริยา (โดยทั่วไปนิยมใช้ซิงก์ออกไซด์) และสารตัวเร่งปฏิกิริยา (นิยมใช้ ZDC) ซึ่งปริมาณของสารต่างๆ เหล่านี้ที่ใช้จะขึ้นกับสมบัติของผลิตภัณฑ์จากนํายาง ปริมาณของสารเคมีส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นดังนี้

- กำมะถัน 1-2 phr (เทียบกับน้ำหนักเนื้อยางแห้ง; DRG)
- สารตัวเร่งปฏิกิริยา (ZDC) 0.7-1.5 phr
- สารกระตุ้นปฏิกิริยา (ซิงก์ออกไซด์) 0.1-1.0 phr

ผลิตภัณฑ์จากนํายางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบนี้จะมีสมบัติทางกายภาพเป็นที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามระบบนี้ไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติความทนต่อความร้อนเนื่องจากสมบัติแรงดึงจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลิตภัณฑ์ถูกเก็บไว้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติความทนต่อความร้อนดีจึงควรใช้ระบบที่มีปริมาณกำมะถันต่ำและปริมาณสารตัวเร่งปฏิกิริยาสูง ตัวอย่างที่นิยมใช้ ได้แก่

- กำมะถัน 0 - 0.5 phr
- สารตัวเร่งปฏิกิริยา (TMTD) 2.5 - 3.5 phr
- สารกระตุ้นปฏิกิริยา (ซิงก์ออกไซด์) 0.5 - 1.0 phr

ถึงแม้ว่าการใช้สูตรผสมเคมีตามที่ไดกล่าวมานี้จะให้สมบัติความทนต่อความร้อนที่ดี แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความแข็งแกร่ง (stiffness) ต่ำ ซึ่งสามารถจะปรับปรุงได้โดยใช้สารไทโอยูเรียประมาณ 1-1.5 phr ระยะเวลาของการวัลคาไนซ์ขึ้นกับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์จะลดลง อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น โดยทั่วไประยะเวลาในการวัลคาไนซ์จะลดลงครึ่งหนึ่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10°C เช่น ถ้าเวลาที่ใช้การวัลคาไนซ์เท่ากับ 30 นาทีที่อุณหภูมิ 100°C เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 110°C ระยะเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์จะลดลงเหลือเพียง 15 นาที

¹ การบ่ม (maturation) หมายถึง การปล่อยหรือตั้งทิ้งนํายางที่ผสมสารเคมีต่างๆ ได้แก่ สารสแตบิไลเซอร์ สารต้านออกซิเดชัน สารตัวเร่งปฏิกิริยา สารกระตุ้นปฏิกิริยา และสารวัลคาไนซ์ ไว้ที่อุณหภูมิห้องหรือที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลนํายางคอมพาวด์อย่างช้าๆ จนถึงระดับการวัลคาไนซ์ที่ต้องการ

วิธีการวัลคาไนซ์

ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางสามารถวัลคาไนซ์ได้ 2 วิธีด้วยกัน คือ

1. วัลคาไนซ์ก่อนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์
2. วัลคาไนซ์หลังการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

วิธีแรกเป็นการวัลคาไนซ์น้ำยางในสถานะของไหล (fluid state) ซึ่งจะให้แผ่นฟิล์มที่มีความยืดหยุ่น (elastic film) เมื่อแห้ง กระบวนการนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อ “การพรีวัลคาไนซ์ (pre-vulcanization)” ซึ่งนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการขนาดที่มีความแม่นยำสูง และให้สมบัติสุดท้ายและความมันเงาที่ดีกว่า

อย่างไรก็ตาม ความแข็งแรงและความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ที่วัลคาไนซ์ด้วยวิธีแรกจะดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่วัลคาไนซ์ด้วยวิธีที่สอง ในการพรีวัลคาไนซ์ กำมะถัน ซิงก์ออกไซด์ และสารตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกเติมลงไปเพื่อให้กระจายตัว (dispersion) อยู่ในน้ำยาง ให้ความร้อนกับน้ำยางโดยค่อยเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ และคงอุณหภูมิไว้ที่ 70-80°C จนกระทั่งได้อัตราการวัลคาไนซ์ตามต้องการ

ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางส่วนใหญ่จะวัลคาไนซ์ด้วยวิธีที่สอง ซึ่งสามารถทำได้ 3 แบบ คือ

1. การวัลคาไนซ์ด้วยอากาศร้อน (hot air cure)
2. การวัลคาไนซ์ด้วยน้ำร้อน (hot water cure)
3. การวัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำ (steam cure)

การวัลคาไนซ์ด้วยอากาศร้อนนั้นนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความบางมาก เช่น บอลลูน ถุงมือ เป็นต้น ซึ่งต้องการความมันเงาที่ดีกว่า สำหรับยางรัดข้อมือและถุงมือจะนิยมวัลคาไนซ์ด้วยน้ำร้อน

การวัลคาไนซ์ด้วยอากาศร้อน (hot air cure)

สภาวะที่จะเกิดการวัลคาไนซ์ได้อย่างเหมาะสม (เวลาและอุณหภูมิ) สามารถหาได้จากการทดลอง โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้ในการวัลคาไนซ์จะอยู่ในช่วง 110-120°C แต่สามารถใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้ได้ถ้าต้องการให้เกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาจะใช้เวลาในการวัลคาไนซ์นานกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ คือ ตู้อบ (oven) ซึ่งสามารถใช้ในการทำให้แห้งที่อุณหภูมิสูงได้ด้วย การวัลคาไนซ์โดยใช้ตู้อบนี้อาจจะทำแบบแบทช์ (batch) หรือแบบต่อเนื่อง (continuous) ก็ได้ ถ้าจะให้ดีก็ควรมีตู้อบ 2 ตู้ที่ใช้งานที่อุณหภูมิต่างกัน โดยตู้แรกสำหรับการอบแห้งใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ (55-65°C) และตู้ที่สองสำหรับการวัลคาไนซ์ใช้งานที่อุณหภูมิสูง (110-120°C) โดยพลังงานความร้อนที่ใช้ในตู้อบอาจจะได้จากไฟฟ้า ก๊าซ หรือไอน้ำ และถ้าตู้อบมีฉนวนที่ดีก็จะช่วยลดการสูญเสียความร้อนได้ แต่วัสดุที่ทำเป็นฉนวนไม่ควรก่อให้เกิดฝุ่นละออง และไม่ควรใช้ใยหินหรือเส้นใยอื่นๆ ซึ่งอนุภาคของสารเหล่านี้มักจะก่อให้เกิดปัญหาในการเกาะติดบนผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนั้นยังไม่ควรวางตู้อบไว้ใกล้กับถังน้ำยางคอมพาวด์ด้วย

ข้อดีของการวัลคาไนซ์ด้วยอากาศร้อน คือ ง่าย อุปกรณ์ที่ใช้มีราคาถูก และสามารถปรับเป็นการผลิตแบบต่อเนื่องได้ง่าย กระบวนการผลิตสะอาดและปราศจากอันตรายจากสนิมและการกัดกร่อนของน้ำที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ ส่วนข้อเสียของการวัลคาไนซ์แบบนี้คือ การเกิดออกซิเดชันที่ผิวของผลิตภัณฑ์

ในบางครั้งจะเกิดฟองอากาศขึ้นบนผลิตภัณฑ์ระหว่างการวัลคาไนซ์ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการอบที่ไม่แห้งสนิท มีก๊าซเกิดขึ้นหรือการเกิดรูพรุนที่ผิวหรือใช้อุณหภูมิที่สูงมากเกินไป การวัลคาไนซ์หลังจากการอบแห้งสามารถช่วยหลีกเลี่ยงสิ่งเหล่านี้ได้ ข้อเสียอื่นๆคือ ใช้เวลานานเมื่อเทียบกับการวัลคาไนซ์ด้วยน้ำร้อน

การวัลคาไนซ์ด้วยน้ำร้อน (hot water cure)

ผลิตภัณฑ์ยางที่อยู่นบนแม่พิมพ์ (former) ถูกจุ่มลงในน้ำร้อน (80-85°C) หรือน้ำเดือด กระบวนการผลิตมีทั้งแบบแบทช์และแบบต่อเนื่อง ในการผลิตแบบแบทช์อาจจะทำในถังหนึ่งใบหรือมากกว่าก็ได้ในขณะที่การผลิตแบบต่อเนื่องจะใช้ถังแบบที่มีขนาดยาวที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เหมาะสม เช่น อะลูมิเนียม เหล็กกล้ากัลวาไนซ์ (galvanized steel) ซึ่งถังนี้อาจจะให้ความร้อนด้วยก๊าซไฟฟ้า หรือไอน้ำ

เนื่องจากยางสัมผัสกับตัวกลางที่ให้ความร้อนอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงใช้เวลาในการวัลคาไนซ์สั้น ปัญหาการเกิดออกซิเดชันที่ผิวจะไม่เกิดขึ้นตรงเท่าที่ไม่มีอากาศเข้ามา การเปลี่ยนน้ำอย่างต่อเนื่องทำให้วัสดุที่ละลายน้ำได้ถูกชะออกไปและเกิดการวัลคาไนซ์ขึ้นได้พร้อมๆ กัน

ข้อเสียของการวัลคาไนซ์ด้วยน้ำร้อนคือ ต้องมีกระบวนการที่เพิ่มขึ้น คือ การทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่อุณหภูมิ 85°C ซึ่งถ้าหากใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้อาจเกิดปัญหาจากไอน้ำและการระเหยที่มากเกินไปได้

การวัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำ (steam cure)

ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางบางชนิดสามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยไอน้ำ ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้หม้อนึ่งอัตโนมัติ (autoclave) ที่มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกอัดด้วยความดัน โดยทั่วไปจะวางอยู่ในแนวนอน ใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิสูงเป็นตัวกลางทำให้เกิดความดัน

ผลิตภัณฑ์จะถูกบรรจุไว้บนรางบรรทุกที่สามารถเลื่อนเข้าไปสู่หม้อนึ่งอัตโนมัติได้ โดยทั่วไปจะใช้ 2 รางต่อหม้อนึ่งอัตโนมัติหนึ่งใบ การวัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำมีข้อดี คือ จะไม่เกิดการออกซิเดชันของความชื้นที่เหลืออยู่ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดรูพรุน กระบวนการนี้เหมาะสำหรับการผลิตแบบเบทซ์เท่านั้น ไม่เหมาะกับการผลิตแบบต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

1. “Vulcanization of latex products”, Global Handbook and Directory on NR&SR Lattices, Rubber Asia Publication, 2006.

