

## บทนำ

กาวและสารเคลือบผิวที่ใช้ในการยึดติดยางกับซับสเตรตมีการใช้กันอย่างกว้างขวางในหลากหลายอุตสาหกรรมทั่วโลก เช่น รถยนต์ รถไฟ รถที่ใช้งานวิบาก อุตสาหกรรม สาธารณสุข การสันหนากการ ยานอวกาศ และการทหาร การที่จะทำให้เกิดการยึดติดที่ดีนั้น ส่วนสำคัญที่สุดขึ้นอยู่กับพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างยางและซับสเตรต (โดยปกติมักจะหมายถึงโลหะ)

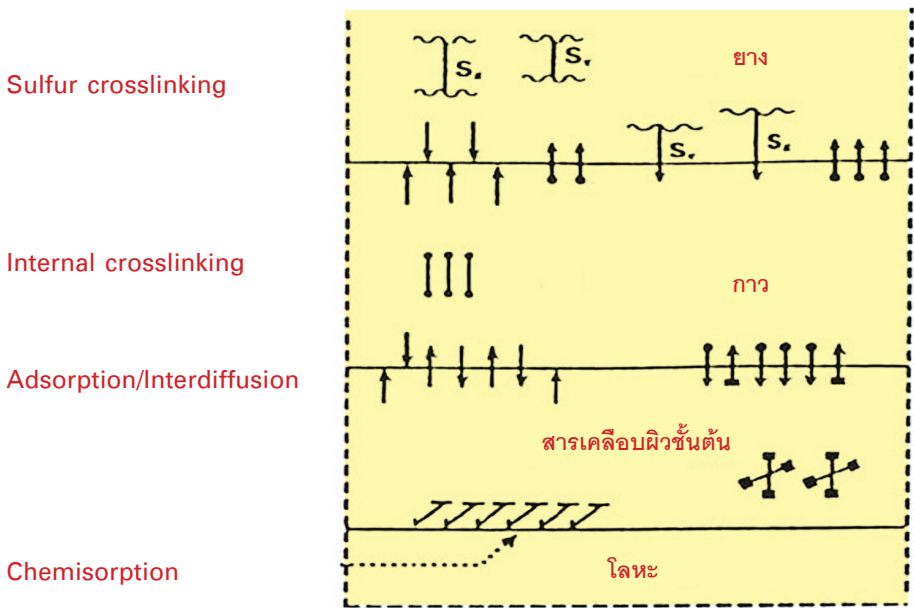
ในอดีตมีหลายวิธีที่จะทำให้เกิดพันธะยึดติดระหว่างยางกับโลหะ เช่น การใช้ยางอีปอนไนต์ (ebonite) การชุบทองเหลือง (brass plating) การเคลือบหลายชั้น (multiple tie coats) และการใช้โพลีไอโซไซยาเนต อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้ก็มีข้อเสีย ในปี พ.ศ. 2499 ได้มีการผลิตกาว Chemlok 205/220 เติงพาณิชย์ขึ้นเพื่อใช้สำหรับติดยางกับโลหะ ระบบกาว/สารเคลือบผิวชั้นต้นนี้ สามารถจะใช้ในการยึดติดของโลหะกับยางอื่นได้หลายชนิด

ปัจจุบันกาวที่ใช้ในการยึดติดยางกับโลหะมีให้เลือกใช้มากมายตามความต้องการของผู้ใช้งาน เช่น สูตรที่ใช้สารอินทรีย์เป็นตัวทำละลายทั้งแบบหนึ่งส่วนผสม (one component system) และสองส่วนผสม (two component system) สูตรที่มีสารมลพิษจากอากาศต่ำ (low HAP) สูตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สูตรที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย การเลือกใช้กาวหรือสารเคลือบที่เหมาะสมกับการใช้งานจะช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีและลดปัญหาในกระบวนการผลิตลงได้ สิ่งสำคัญที่สุดในการเลือก คือ ความเข้าใจกลไกการทำงานของกาวที่ยึดติดระหว่างยางกับโลหะว่าเกิดขึ้นได้อย่างไรและต้องนำไปใช้อย่างไร

## การยึดติดของยางกับโลหะ

โดยทั่วไปกาวที่ใช้ยึดติดยางกับโลหะมักจะเป็นแบบสองส่วนผสม ได้แก่ สารเคลือบผิวชั้นต้น (primer) และกาวเคลือบผิวชั้นบนสุด (adhesive topcoat) สารเคลือบผิวชั้นต้นจะยึดติดกับโลหะและเกิดปฏิกิริยากับกาวเคลือบผิวชั้นบนสุด สารเคลือบผิวชั้นต้นประกอบด้วยโพลิเมอร์ที่สามารถเกิดฟิล์มได้ เรซินที่สามารถเกิดการเชื่อมโยงพันธะได้ สารตัวเติม และระบบสารตัวพา (carrier system) สำหรับกาวเคลือบผิวชั้นบนสุดจะเกิดพันธะจากการทำปฏิกิริยาในตำแหน่งพันธะคู่ของสายโซ่หลักของยางและทำปฏิกิริยากับชั้นของสารเคลือบผิวชั้นต้น ระบบสารเคลือบผิวชั้นบนสุดปกติจะประกอบด้วยสารวัลคาไนซ์ โพลิเมอร์ที่สามารถเกิดฟิล์มได้ สารตัวเติม และระบบสารตัวพา

ในการเกิดการยึดติดนั้น มีปฏิกิริยาหลายปฏิกิริยาเกิดขึ้นตรงรอยต่อของพื้นผิว (interfaces) เช่น การดูดซับที่พื้นผิวของสารเคลือบผิวชั้นต้นตรงรอยต่อของสารเคลือบผิวชั้นต้นกับโลหะ การดูดซับที่พื้นผิวและ/หรือการแพร่ผ่านระหว่างกัน (interdiffusion) ของสารเคมีระหว่างแต่ละชั้น ปฏิกิริยาเชื่อมโยงของสารเคลือบผิวชั้นบนสุดกับสารเคลือบผิวชั้นต้นและยาง และการเชื่อมโยงพันธะภายในของโพลิเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กลไกการยึดติดยางกับโลหะ

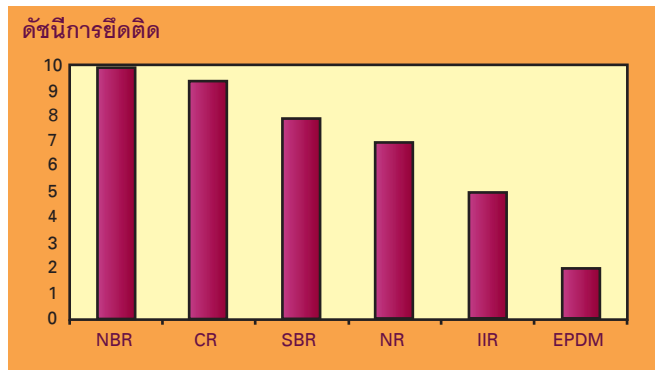
## กระบวนการยึดติดของยางกับโลหะ

เพื่อให้พันธะการยึดติดระหว่างยางกับโลหะมีความแข็งแรง เราจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยสำคัญ 5 ประการ ได้แก่ ชนิดของยาง การเตรียมผิว การเตรียมสารเคลือบผิวขั้นต้น/กาว การเลือกใช้สารเคลือบผิวขั้นต้น/กาว และการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์

### ชนิดของยาง

มีสูตรกาวหลายสูตรที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้เหมาะสมกับยางชนิดต่างๆ ทั้งนี้ยางบางชนิดที่มีความเป็นขี้ผึ้งจะเกิดการยึดติดกับโลหะได้ดีกว่ายางชนิดอื่น (ดูดัชนีการยึดติดในรูปที่ 2)

การคอมพาวด์เป็นสิ่งสำคัญในการยึดติดของยาง ตัวอย่างเช่น ปริมาณสารตัวเติม สารวัลคาไนซ์ สารต้านออกซิเดชัน น้ำมันเอ็กซ์เทนเดอร์ และความแข็งของยางล้วนแล้วแต่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการยึดติด



รูปที่ 2 ดัชนีการยึดติดของยางชนิดต่างๆ

### การเตรียมผิว

การเตรียมผิวโลหะที่เหมาะสมเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะทำให้การยึดติดมีประสิทธิภาพดี ขั้นตอนแรกในการเตรียมผิวโลหะคือการนำสารช่วยในกระบวนการผลิต (processing oil) และสารหล่อลื่น (lubricants) ทั้งหมดออกโดยใช้สารละลายหรือด่าง (solvent degreasing or alkaline cleaning) ที่เหมาะสม หลังจากนั้นจึงเตรียมผิวโลหะด้วยวิธีทางกล (mechanical treatment method) เช่น การขัดด้วยผงเหล็กหรือผงขัดอะลูมิเนียมออกไซด์ ในกรณีที่ต้องนำมาใช้ในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง การเตรียมผิวโลหะด้วยวิธีการทางเคมีจะให้ผลที่ดีกว่า ตัวอย่างการเตรียมผิวโลหะด้วยวิธีทางเคมี เช่น การใช้ซิงก์ฟอสเฟตหรือเหล็กฟอสเฟตสำหรับเหล็กกล้า การกัดผิวด้วยกรด (acid etching) สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม และการใช้โครเมตสำหรับอะลูมิเนียม

การเคลือบด้วยซิงก์ฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟตที่ลักษณะเป็นผลึกเล็กผสมด้วยแคลเซียมที่ถูกดัดแปรแล้วในปริมาณที่เหมาะสม คือ 125-400 มิลลิกรัมต่อตารางฟุต จะให้การยึดติดระหว่างยางกับโลหะดีเยี่ยม แต่ถ้าใช้วิธีทาด้วยแปรง จุ่ม ฉาบ หรือวิธีการอื่นๆ ที่ทำให้เกิดการแทรกซึมหรือเสริมแรงโครงสร้างของฟอสเฟตอาจจะต้องใช้สารเคมีในการเคลือบสูงถึง 500 มิลลิกรัมต่อตารางฟุต การเคลือบฟอสเฟตที่หนาเกินกว่า 500 มิลลิกรัมต่อตารางฟุตอาจจะเป็นสาเหตุให้เกิดการแตกของพันธะที่ยึดฟอสเฟตด้วยตัวเอง เหมือนกับกรณีของการยึดติดระหว่างซีเมนต์กับโลหะ (cement-metal, CM)

ผลึกแคลเซียมดัดแปรที่มีโครงสร้างเป็น Scholzite ( $\text{CaZn}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) เทียบกับ Hopeite ( $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) ที่เป็นโครงสร้างของซิงก์ฟอสเฟตที่ไม่มีแคลเซียม โดยปกติแล้วแคลเซียมฟอสเฟตจะมีราคาสูงกว่า แต่ก็มีความเสถียรต่อความร้อนและสามารถทนต่อความร้อนในกระบวนการผลิตและอุณหภูมิที่ใช้งาน  $204^\circ\text{C}$  ได้เป็นเวลาหลายชั่วโมงก่อนที่จะเกิดการสูญเสียความแข็งแรงของโครงสร้างผลึก

ข้อดีของการทำพรีทรีตเมนต์ (pretreatment) ด้วยซิงก์ฟอสเฟตเมื่อเทียบกับการเตรียมพื้นผิวโลหะด้วยวิธีทางกล คือ ฟิล์มบางๆ ของซิงก์ฟอสเฟตที่เคลือบผิวด้านบนจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการกัดกร่อนทำให้สามารถยืดระยะเวลาการทาสารเคลือบผิวขั้นต้นหรือกาวออกไปหลายวันหรือหลายสัปดาห์โดยไม่ต้องทาทันทีหลังการเตรียมผิวเสร็จ นอกจากนี้ยังทนต่อสารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (เกลือที่ใช้ฉีดพ่น น้ำ โกลคอลล) ได้ดีขึ้น และมีราคาต่ำกว่าและช่วยให้ผลิตได้เร็วกว่าเมื่อมีการผลิตในปริมาณมาก

ส่วนข้อเสียของการทำพรีทรีตเมนต์ด้วยซิงก์ฟอสเฟต คือ จะต้องควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง  $\pm 5^\circ\text{C}$  เวลาในการแช่อยู่ในช่วง  $\pm 0.5$  นาที และสารเคมีที่ใช้จะต้องเตรียมและไทเทรตอย่างแม่นยำ การเตรียมสารในปริมาณมากต้องใช้ถังบรรจุขนาดใหญ่เพื่อช่วยลดการสูญเสียความร้อนในการผลิต รวมทั้งการทำซิงก์ฟอสเฟตยังไม่สามารถกำจัดสนิม รอยเชื่อม หรือการอบด้วยความร้อนในปริมาณมากได้ ต้นทุนการกำจัดของเสียในกระบวนการซิงก์ฟอสเฟตจัดเป็นค่าใช้จ่ายหลักของต้นทุนในการดำเนินงานทั้งหมด

## การเตรียมสารเคลือบผิวขั้นต้น/ทาว

ทาวและสารเคลือบผิวขั้นต้นส่วนมากจะถูกบรรจุอยู่ในภาชนะพลาสติกขนาด 1 แกลลอน และ 5 แกลลอน หรือถังโลหะขนาด 55 แกลลอน ซึ่งจะต้องกวนตลอดเวลาก่อนนำมาใช้งาน และไม่ควรมผสมสารเคลือบผิวขั้นต้นและทาวในเครื่องเขย่าสี หรือไม่ผสมด้วยความเร็วสูงเกินกว่าระดับความเร็วที่แนะนำ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดฟองอากาศ

## การใช้สารเคลือบผิวขั้นต้น/ทาว

การเคลือบสารเคลือบผิวขั้นต้นและทาวเคลือบผิวขั้นบนสุดสามารถใช้ได้หลายวิธี เช่น ฉีดพ่น จุ่ม แปรงทา หรือฉาบ แต่สิ่งสำคัญที่จะทำให้ได้ความหนาของฟิล์มแห้งที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับวิธีที่เลือกใช้ ความหนาของฟิล์มแห้งที่แนะนำของสารเคลือบผิวขั้นต้นจะอยู่ที่ 5-10 ไมโครเมตร และทาวเท่ากับ 15-20 ไมโครเมตร ขั้นตอนการทำงาน คือ เคลือบสารเคลือบผิวขั้นต้นลงบนโลหะที่ได้เตรียมผิวแล้ว ทำให้สารเคลือบผิวขั้นต้นแห้ง เคลือบด้วยทาวเคลือบผิวขั้นบนสุดและทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องหรือใช้ตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 65-93°C แต่ไม่ควรให้อุณหภูมิที่ผิวสูงเกิน 121°C

## การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์

ชิ้นส่วนยางติดกับโลหะจะขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ เช่น แม่พิมพ์แบบฉีด (injection molding) แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด (transfer molding) และแม่พิมพ์แบบกดอัด (compression molding) โดยต้องควบคุมเวลา อุณหภูมิ และความดันให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดพันธะยึดติดที่มีประสิทธิภาพ

## การเก็บ

การเก็บเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับความทนต่ออุณหภูมิ ยางที่ใช้งานทั่วไปสามารถนำมาใช้ได้ที่อุณหภูมิต่ำถึง -46°C ข้อมูลจากห้องปฏิบัติการระบุว่าทาวบางชนิดสามารถใช้ยึดติดกับยางได้ที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนั้น อุณหภูมิที่ต่ำมากจะทำให้ความแข็งแรงในการลอก (peel strength) มีค่าเพิ่มขึ้น

## การทดสอบ

การทดสอบที่นิยมใช้สำหรับทาวและการเคลือบผิวยางติดกับซับสเตรต มี 2 วิธี ได้แก่

1. การทดสอบ wet film gauge จะเป็นการวัดความหนาของฟิล์มทาวที่เคลือบ
2. การทดสอบ water break ของผิวโลหะ ถ้าผิวของโลหะสะอาดเพียงพอจะสามารถเกิดฟิล์มของน้ำได้อย่างต่อเนื่อง มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ ได้แก่
  - ASTM F21: Standard method of test for hydrophobic surface films by the atomizer test
  - ASTM F22: Standard method of test for hydrophobic surface films by the water-break test (วิธีทดสอบตามมาตรฐานนี้ทำได้ง่ายกว่ามาตรฐานแรก)

## เอกสารอ้างอิง

1. Brian, S.D. "Performance characteristics of rubber-to-substrate adhesive and coatings", *Rubber World*, **242(1)**, 18 (2010)
2. ดารณี เจริญสุข "เทคโนโลยียางติดโลหะ" วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ยาง ปีที่ 3 ฉบับที่ 1, 2552.

