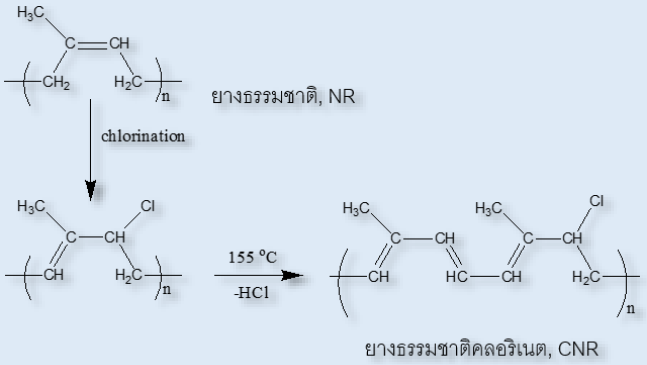
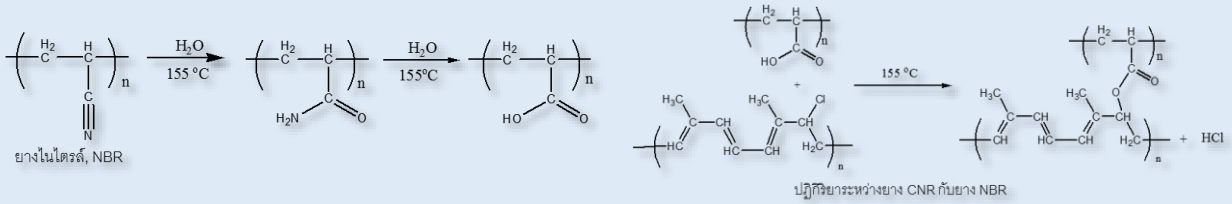
รู้จักและเข้าใจการยึดติดเพื่อนำไปใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ

การยึดติดระหว่างผิวหน้าวัสดุอาจกระทำได้โดยการใช้หรือไม่ใช้กาว (กาวจากธรรมชาติ เรียกว่า glue ส่วนกาวสังเคราะห์ เรียกว่า adhesive) ถ้าผิวหน้าทั้งสองนั้นมีสภาพพร้อมในการยึดกันด้วยปัจจัยทางกายภาพหรือปัจจัยทางเคมีหรือปัจจัยทั้งสองประกอบเสริมกันก็ช่วยให้การยึดติดมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ปัจจัยทางกายภาพมักเป็นโครงสร้างพื้นผิวที่สามารถยึดเนื้อวัสดุไว้ในลักษณะโพรงหรือช่องว่าง ลองนึกเปรียบเทียบกับการอุดฟันที่น้ำยาหรือวัสดุอุดฟันจะแข็งตัวแล้วถูกยึดอยู่ภายในช่องว่างที่เป็นโพรงของฟัน การยึดติดลักษณะนี้เป็นไปตามกลไกที่เรียกว่าการยึดทางกล (mechanical interlocking) ที่อาศัยการยึดหรือล็อคที่เป็นสมบัติทางกายภาพล้วนๆ ในท่อหลายชั้นที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกันจะอาศัยการยึดระหว่างชั้นวัสดุด้วยการใช้ผ้าถักเป็นตัวประสาน ก็เพื่อให้เกิดการยึดเกาะกับผ้าถักนั้นในลักษณะเป็นตัวกลางหรือสะพานเชื่อมระหว่างผิวหน้าของวัสดุทั้งสองชั้น อีกวัตถุประสงค์ก็เพื่อเสริมให้ท่อนั้นทนต่อแรงดันสูงขึ้น ก็นับเป็นอีกตัวอย่างหนึ่งที่เห็นกันมากและยังนิยมใช้กันอยู่ในการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิด ส่วนการใช้หลักการทางเคมีในการยึดผิวหน้าวัสดุต่างชนิดกันที่มีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกัน การที่ยึดติดกันไม่ดีโดยธรรมชาติเนื่องจากความเป็นขั้วแตกต่างกัน ถ้าอาศัยหลักการนี้ การยึดติดพื้นผิวที่มีสภาพขั้วแตกต่างกันจะต้องมีการปรับโครงสร้างเคมีของพื้นผิวที่ต้องการนำมาติดกันด้วยวิธีทางเคมี (chemical modification) เพื่อให้มีหมู่เคมีที่พร้อมทำปฏิกิริยากัน การปรับแต่งผิววัสดุแบบนี้จำเป็นต้องมีความรู้ทางเคมีเพื่อที่จะจับคู่หมู่เคมีที่มีศักยภาพที่จะเกิดปฏิกิริยาสร้างความแข็งแรงพันธะที่พื้นผิวได้ ยกตัวอย่างการติดระหว่างยางธรรมชาติ (natural rubber, NR) กับยางสังเคราะห์ไนไทรล์ (nitrile rubber หรือ acrylonitrile butadiene rubber, NBR) สิ่งที่ทำกันอยู่ในกระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรม คือ การใช้กาวเป็นสารช่วยประสาน ถ้าจะไม่ใช้กาวก็ต้องมาพิจารณาว่าจะปรับสภาพผิวเพื่อให้เกิดการยึดติดได้อย่างไรได้บ้าง ยางไนไทรล์มีหมู่เคมีที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีเป็นอะคริโลไนไทรล์ (acrylonitrile, -CN) ส่วนยางธรรมชาติมีโครงสร้างที่ไม่มีหมู่อื่นเลยนอกจากไฮโดรเจนและคาร์บอน แต่มีพันธะคู่ซึ่งไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาโดยตรงได้กับ -CN ในความเป็นจริงหมู่ –CN ที่อยู่บนโครงสร้างยางไนไทรล์ก็มีความเสถียรอยู่มากพอควร ถ้าอยู่ในรูปมอนอเมอร์จะว่องไวต่อปฏิกิริยามาก เมื่อเปลี่ยนรูปเป็นยางไนไทรล์แล้วพันธะคู่ที่มีอยู่ในโครงสร้างจะหมดไป (พันธะคู่ที่มีอยู่ที่โครงสร้างบิวทาไดอีนไม่ได้มีความว่องไวที่เหมาะสมที่จะทำปฏิกิริยากับ NR) ดังนั้นการจะทำให้ยางไนไทรล์เกิดการยึดติดกับยางธรรมชาติจึงเป็นไปได้ยากมากเนื่องจากความแตกต่างความเป็นขั้วดังกล่าว เมื่อพิจารณารูปแบบที่เป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีหมู่ว่องไวปฏิกิริยาเป็น –CN ของยางไนไทรล์แล้วนั้น ตัวอย่างหนึ่งในการทำให้ยางธรรมชาติยึดติดได้กับยางไนไทรล์ คือ การเพิ่มหมู่คลอรีน (–Cl) ลงบนผิวยางธรรมชาติด้วยวิธีทางเคมีเห็นผลที่ได้นี้จากการเตรียมยางเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic elastomer, TPE) จากการผสมยางไนไทรล์กับพอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride, PVC) พบว่าเป็น TPE ที่เข้ากันได้ นั่นคือ สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างหมู่ –CN กับหมู่คลอไรด์ (–Cl) ทำให้มองเห็นทางออกในการเพิ่มการยึดติดได้ถ้าปรับผิวยางธรรมชาติเพื่อเพิ่มการยึดติดกับยางไนไทรล์



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ยางธรรมชาติคลอริเนต



รูปที่ 2 ปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติคลอริเนตกับยางไนไทรล์

จะเห็นได้ว่าการปรับผิวเพื่อให้เกิดหมู่เคมีที่สามารถทำปฏิกิริยากันเป็นทางออกหนึ่งในการเพิ่มการยึดติดระหว่างพื้นผิวที่มีสภาพโครงสร้างเคมีที่แตกต่างกัน แต่จำเป็นต้องใช้ความรู้พื้นฐานทางเคมีและมีขั้นตอนในการปรับแต่งพื้นผิวเพิ่มขึ้นมา ต้นทุนและเวลาที่ต้องใช้ในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปฏิกิริยาว่าต้องใช้ปฏิกิริยาใด

ในทางปฏิบัติอาจมีหลายวิธีการที่ให้ผลลัพธ์ในทิศทางเดียวกันแต่ใช้เวลาและต้นทุนแตกต่างกัน ในอุตสาหกรรมทั่วไปมักเลือกใช้กาว (adhesive) เป็นทางออกในการเพิ่มการยึดติด การวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียระหว่างการปรับผิวทางเคมีกับการใช้กาวยังเป็นปัจจัยที่น่าใส่ใจและนำมาพิจารณาเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อการลดต้นทุนโดยตรง อุตสาหกรรมการผลิตส่วนใหญ่มักเลือกใช้กาวซึ่งอาจมีสาเหตุหลายประการที่พอจะรวบรวมได้ คือ

- ขาดความรู้ด้านเคมีในการพิจารณาหาแนวทางทางเลือกอื่น
- ใช้แนวทางในการปฏิบัติด้วยการใช้กาวเป็นเทคนิคหลักตั้งแต่เริ่มต้น
- เกรงผลกระทบทางลบในกระบวนการผลิต (ทั้งด้านคุณภาพสินค้า ต้นทุน เวลา เป็นต้น)

นอกเหนือจากการปรับผิวหรือการใช้กาว (อาจรวมเรียกว่าเป็น ***ตัวเชื่อมประสาน***) ระหว่างผิวทั้งสองจะมีความสำคัญต่อความแข็งแรงในการยึดติดแล้ว การเตรียมพื้นผิว (surface preparation) ก่อนที่จะนำผิวทั้งสองมาติดกันก็สำคัญมากต่อการยึดติดด้วยเช่นกัน การเตรียมพื้นผิวที่ดีจะช่วยให้การยึดติดมีค่าสูงสุดตามต้องการ เป้าหมายของการเตรียมพื้นผิวมีดังนี้

- กำจัดสิ่งสกปรกที่ผิวหน้า อาจเป็นสารหรือโมเลกุลที่ลอยมาจากอากาศโดยรอบที่อาจเป็นฝุ่นผง ละอองน้ำมัน ความชื้นหรืออาจสารโมเลกุลต่ำที่ผสมอยู่ในวัสดุและแพร่ออกมาที่ผิวหน้าวัสดุเอง
- ทำให้โมเลกุลของหมู่เคมีสามารถสัมผัสกันได้อย่างลึกซึ้ง (intimate contact) เพื่อการเชื่อมโยงที่ดี
- ทำให้แรงยึดติดที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสมีค่าสูงสุดทั้งช่วงเริ่มต้นและตลอดอายุการใช้งาน
- เพื่อสร้างพื้นผิวเฉพาะของวัสดุตามที่ต้องการ อาทิ เพิ่มความขรุขระเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวเชื่อมประสานกับผิวหน้าวัสดุ สร้างหมู่เคมีตามที่ต้องการ

การเตรียมพื้นผิวอาจกระทำได้ด้วยวิธีการทั้งกายภาพและเคมี ผลที่ได้อาจเกิดผลทั้งกายภาพและเคมีได้พร้อมๆ กัน การกำจัดสิ่งสกปรกที่ผิวหน้าแบบง่ายๆ อาจใช้กระดาษทรายขัดถู ผลที่ได้นอกจากจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสเนื่องจากเกิดผิวที่ขรุขระมากขึ้นแล้ว ยังเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกไปในเวลาเดียวกัน การกระทำและผลที่ได้นี้เป็นผลในทางกายภาพ อีกวิธีการหนึ่งที่ทำกันมากเช่นกันคือการล้างผิวด้วยสารออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ซึ่งเป็นสารที่ประกอบด้วยออกซิเจนหลายอะตอมอยู่ในโมเลกุลผสมกับกรดแก่เข้มข้น อาทิ ของผสมโปแตสเซียมไดโครเมตผสมกับกรดกำมะถัน โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตผสมกับกรดกำมะถัน เป็นต้น สารพวกนี้สามารถกัดพื้นผิววัสดุ (etch) ให้เกิดความขรุขระได้เหมือนการขัดถูด้วยกระดาษทราย และสามารถเปลี่ยนสภาพความเป็นขั้วของพื้นผิวได้ด้วย โดยส่วนใหญ่มักเกิดปฏิกิริยาการเติมหมู่ที่มีออกซิเจนที่พื้นผิว ทำให้เกิดการเพิ่มสภาพขั้วหรือเพิ่มพลังงานพื้นผิว (surface energy) ที่ช่วยให้การยึดติดด้วยตัวเชื่อมประสานสามารถเกิดได้ง่ายขึ้นและปฏิกิริยาว่องไวมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงที่พื้นผิวเป็นพันธะเคมีที่แข็งแรงขึ้นด้วย พื้นผิวที่เหมาะสมและให้ผลดีที่จะใช้วิธีนี้ คือ พื้นผิวของวัสดุพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (amorphous) หรือโครงสร้างไม่เป็นผลึก กล่าวคือ วัสดุพวกยางต่างๆ ส่วนวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นผลึก (crystalline) อย่างเช่น พอลิเอทิลีนซึ่งเป็นพลาสติกที่มีความเป็นผลึกสูง สารชะล้างประเภทนี้จะกัดกร่อนได้เฉพาะส่วนที่เป็นโครงสร้างอสัณฐานของพอลิเอทิลีนเท่านั้น

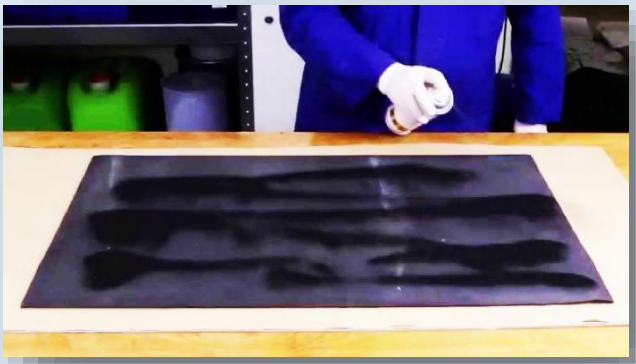
บางครั้งการปรับผิวและการเตรียมพื้นผิวอาจสื่อความหมายหรือนัยที่ใกล้ชิดกันมาก การปรับผิวที่ให้ผลการยึดติดที่ดีอีกแนวทางหนึ่ง คือ การติดสายโซ่ของพอลิเมอร์หนึ่งที่ผิวหน้าวัสดุ เรียกโดยทั่วไปว่าการกราฟต์ (grafting) ที่นิยมทำกันมาก เช่น การติดสายโซ่ของพอลิเมทิลเมทาคริเลต (poly (methyl methacrylate), PMMA) ลงบนผิวหน้ายางธรรมชาติเพื่อเพิ่มสภาพขั้ว หรือการเพิ่มหมู่มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride) ที่เรียกทั่วๆ ไปว่าเป็นพอลิเมอร์กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ทั้งๆ ที่ไม่ได้เป็นสายโซ่พอลิเมอร์เหมือนนิยาม แต่เป็นโมเลกุลเดี่ยวของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ใช้พันธะคู่ในการทำปฏิกิริยาบนสายโซ่ของพอลิเมอร์หลัก ที่เรียกเช่นนี้เพราะตำแหน่งของมาเลอิกแอนไฮไดรด์บนสายโซ่พอลิเมอร์นี้ว่องไวและสามารถทำปฏิกิริยาสังเคราะห์ต่อเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ชนิดที่สองได้ นอกจากนี้ยังมีการปรับแต่งที่นิยมทำกันมากด้วยเช่นกันคือการเพิ่มหมู่ออกซิเจน (oxidation) เพิ่มหมู่ฮาโลเจน (halogenation) เป็นต้น ในกระบวนการพิมพ์ฉลากบนพื้นผิววัสดุยางและพลาสติกอาจใช้การเติมหมู่ออกซิเจนด้วยการสัมผัสเปลวไฟ (flame treatment) ทำพลาสมา (plasma treatment) ก่อน แล้วจึงนำไปพิมพ์สีเป็นฉลากในขั้นตอนต่อมา

ปัญหาที่เกิดจากการติดไม่ว่าจะใช้หรือไม่ใช้กาวส่วนใหญ่มักเกิดจากการที่ผู้ปฏิบัติขาดความรู้พื้นฐานเรื่องการติดในการใช้งานจริงนั้นผู้ปฏิบัติมักทำงานด้วยความเคยชิน จึงมักไม่ระวังหรือตระหนักเพื่อให้ได้ผลการติดสูงสุด ปัญหาเล็กๆ น้อยๆ มักถูกละเลยหรือมองข้ามอย่างน่าเสียดาย ปัญหาของการติดอาจเกิดจากสิ่งต่อไปนี้

- การเตรียมพื้นผิวที่ไม่เหมาะสม: ผิวหน้ามีสารแปลกปลอมไม่พึงประสงค์ เนื่องจากจะไปขัดขวางการทำปฏิกิริยาหรือการทำหน้าที่เชื่อมประสานของกาวที่ใช้ ทำความสะอาดผิวหน้าไม่เหมาะสมที่อาจเกิดจากการใช้ตัวทำละลายที่อาจทำให้เกิดชั้นฟิล์มบางหลงเหลือที่ผิวหน้า อีกประการหนึ่ง คือ ผิวหน้าที่ปรับเตรียมไว้มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งก่อนการประกบติดผิวหน้าวัสดุอาจมีการปรับผิวทางกายภาพหรือทางเคมี หมู่เคมีที่ผิวอาจสูญเสียเสถียรภาพและเปลี่ยนโครงสร้างเป็นหมู่อนุพันธ์ที่มีความว่องไวลดลง

- การเลือกใช้ชนิดกาวที่ไม่เหมาะสม: ชนิดและโครงสร้างของกาวเชื่อมกับพื้นผิวได้ไม่ดี ควรทราบว่าโครงสร้างทางกายภาพและเคมีของพื้นผิวที่มีอยู่ควรเลือกใช้กาวอย่างไร ถ้ารู้กลไกหรือปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดขึ้นด้วยก็จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้ รวมทั้งอาจทราบและแก้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้
- การใช้กาวที่ไม่ถูกวิธีและเหมาะสม: ต้องทราบว่าภาวะในการทำงานที่ดีที่สุดของการใช้กาวคืออะไร อาทิ ควรมีความเข้มข้น/ความหนืดอย่างไร ความเข้มข้นของกาวมีผลโดยตรงต่อปริมาณความแข็งแรงในการสร้างพันธะของการยึดติด ส่วนความหนืดทำให้การเคลือบหรือสัมผัสผิวหน้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ความหนืดน้อยหมายถึงความเข้มข้นน้อย (มีตัวทำละลายมาก) อาจทำให้เคลือบเปียกพื้นผิวได้ง่าย แต่มีจำนวนหมู่เคมีน้อยและส่งผลให้การสร้างพันธะไม่แข็งแรงเพียงพอ เมื่อทาบนพื้นผิวแล้วควรทิ้งให้แห้งนานเท่าใด ที่อุณหภูมิและความชื้นเท่าใด อยู่ในที่ๆ มีอากาศระบายถ่ายเทได้ดีหรือไม่ ควรให้สัมผัสแสงแดดด้วยหรือไม่ (อย่างเช่นกาวประเภทอะคริลิคหลายชนิดที่แข็งตัวด้วยแสงยูวีหรือแสงแดด)

จะเห็นได้ว่าการยึดติดระหว่างผิววัสดุมีความสำคัญในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ชิ้นเล็กๆ ตลอดไปจนถึงชิ้นใหญ่ๆ ไม่ว่าจะเป็นงานของนักเรียนอนุบาลหรือโครงสร้างวิศวกรรมขนาดใหญ่อย่างชิ้นส่วนปีกเครื่องบินพาณิชย์ การทำให้เกิดการยึดติดที่ดีนั้นจำเป็นสำหรับผู้ปฏิบัติที่จะต้องมีความรู้พื้นฐานด้านเคมีเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตทั้งในระดับอุตสาหกรรมและการใช้งานในชีวิตประจำวัน เพื่อปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงขึ้นให้ผลลัพธ์ด้านการลดต้นทุนและการแข่งขันในเชิงอุตสาหรรมและเชิงพาณิชย์อีกด้วย



เอกสารอ้างอิง

1. http://www.jgbhose.com/fullpics-N/170175.jpg (อ้างอิง 6 ม.ค. 59)
2. http://www.intertronics.co.uk/articles/adh_technical_guide-adhesive_problem_whats_the_cure.pdf (อ้างอิง 11 ธ.ค. 58)
3. Kinloch AJ, Adhesion and Adhesives: Science and Technology, Chapman & Hill, 1990
4. Pizzi A, Mittal KL, Handbook of Adhesive Technology, Marcel Dekker, 1994
5. Garbassi F, Morra M, Orchiello E, Polymer Surfaces: From Physics to technology, John Wiley & Sons, 1998

รศ.ดร.สมบัติ ธนะวันต์
เครือข่ายพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางและไม้ยางพารา
กระทรวงอุตสาหกรรม

วันที่ 25 มกราคม 2559