

# สารยึดติด (ADHESIVES)

ศาสตราจารย์ ดร.โอวาท นิตินันท์ประกาศ

มนุษย์รู้จักใช้กาวมาแต่โบราณกาล เอ็นสัตว์ กระเพาะปลา ฯลฯ เมื่อนำมาต้มน้ำเดือดระยะหนึ่งจะให้ของเหลวเหนียวหนืดซึ่งใช้เป็นกาวยึดติดกระดาษและวัสดุอื่นๆ ได้ทำนองเดียวกัน แป้งซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง เมื่อต้มในน้ำเดือดก็จะให้กาวอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งสามารถยึดผิวหน้าได้เช่นเดียวกับกาวที่ได้จากโปรตีนของสัตว์ อย่างไรก็ตามกาวที่ได้จากธรรมชาติเหล่านี้มีแรงยึดไม่สูง จึงใช้ได้เฉพาะติดกระดาษ หรืองานที่ไม่ต้องการแรงยึดที่แข็งแรงทนทาน

เนื่องจากกาวที่ได้จากธรรมชาติมีจุดอ่อนดังได้กล่าวมาแล้ว นักวิทยาศาสตร์จึงหาทางพัฒนาวัสดุสังเคราะห์ เพื่อใช้เป็นกาวที่มีคุณสมบัติการยึดติดสูง และมีความสามารถในการยึดติดวัสดุต่างๆ รวมทั้งโลหะได้ดี การพัฒนาวัสดุสังเคราะห์ หรือสารยึดติด (ADHESIVES) เกิดควบคู่กับการวิจัยศึกษาพอลิเมอร์ เพราะพอลิเมอร์หลายตัวมีคุณสมบัติเป็นสารยึดติด (ADHESIVES) ที่ดี ปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมพอลิเมอร์ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว มีพอลิเมอร์ใหม่ออกมาใช้ประโยชน์ในชีวิตมนุษย์อย่างมากมาย จึงไม่น่าแปลกใจที่ปัจจุบันนี้จะมีสารยึดติด (ADHESIVES) ออกมาใช้มากมายเช่นกัน ปัจจุบันสารยึดติดเข้าไปมีบทบาทอยู่ในเกือบทุกวงการรวมทั้งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ตัวอย่างที่เห็นได้ง่ายๆ เช่น ฝก๊อตเทป และเทปสองหน้าเป็นต้น ที่ควรสังเกตก็คือพอลิเมอร์หลายชนิด เมื่อโมเลกุลหรือโซ่พอลิเมอร์ยังมีขนาดเล็ก มักจะเป็นของเหลวเหนียวหนืด ซึ่งมีความสมบัติของสาร

ยึดติด แต่เมื่อโซ่โมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น มันจะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งซึ่งใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น พอลิไอโซบิวทิลีน (POLYISOBUTYLENE) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 15,000 จะมีลักษณะเป็นของเหลวเหนียวหนืดจึงใช้เป็นสารยึดติดได้ แต่เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงขึ้นไปถึง 200,000 จะเป็นของแข็งมีลักษณะเป็นยางที่เรียกกันทั่วไปว่า ยางบิวทิล (BUTYL RUBBER)

## พอลิเมอร์ที่ใช้ในสารยึดติด

พอลิเมอร์ดังต่อไปนี้ เมื่อโซ่ของโมเลกุลยังไม่ใหญ่นัก จะสามารถใช้เป็นสารยึดติดได้ดี ทั้งนี้อาจจะละลายอยู่ในตัวทำละลายเป็นของเหลวเหนียวหนืด หรือรวมอยู่กับสารอื่นๆ ในสูตรผสม (FORMULATIONS)

- ฟีนอลิก (PHENOLICS)
- ฟีนอลิก/ยาง
- เซลลูโลสซิกซ์ (CELLULOSICS)
- ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน
- พอลิไวนิล คลอไรด์
- พอลิไวนิล แอลกอฮอล์
- พอลิ เบนซิมิดาโซล (POLY BENZIMIDAZOLE)
- ยางสตีรีน-บิวทาไดอีน
- ยางไนไตรล์
- ยางพอลิซัลไฟด์

- พอลิโอไซไซยาเนท
- เอพอกซี เรซิน (EPOXY RESINS)
- อคริลิกซ์ (ACRYLICS)
- พอลิโอไซบิวทิลีน
- พอลิไวนิล อีเธอร์ (POLY-VINYL ETHERS)
- พอลิอิมิด (POLYAMIDES)
- พอลิโอเลฟิน
- ซิลิโคน
- นีโอพรีน (NEOPRENE)

จะเห็นว่าพอลิเมอร์เกือบทุกชนิดใช้เป็นสารยึดติดได้

## Tg กับความแข็งแรงของสารยึดติด

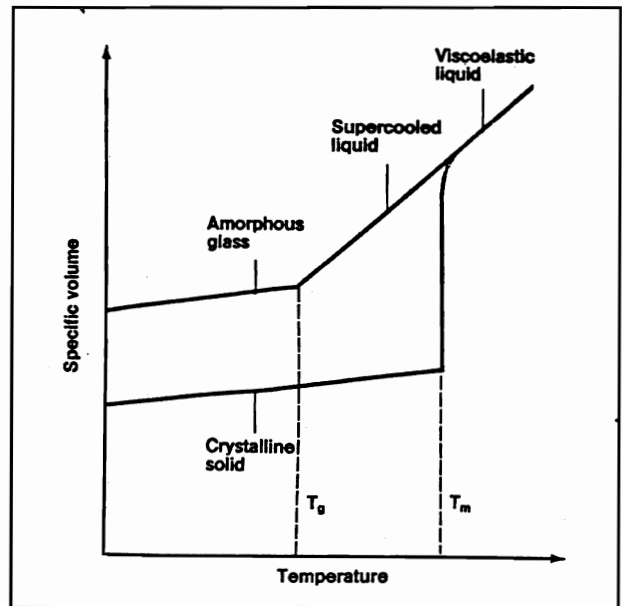
โดยปกติพอลิเมอร์ที่เป็นสารยึดติดจะไม่แตกผลึก ดังนั้นความแข็งแรงทนทานทางเมคานิกส์ (MECHANICAL STRENGTH) ของสารยึดติดจึงมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล เช่นที่เกิดอยู่ใน STYRENE BUTADIENE - STYRENE COPOLYMERS หรือมาจากการเกิด CROSS-LINKING เช่น ในพอลิโอไซไซยาเนท เป็นต้น ตัวอย่างอีกตัวอย่างหนึ่งคือ เอพอกซี เรซิน ซึ่งจะเกิด CROSS-LINKS เมื่อเติม HARDENERS หรือ CURING AGENTS ลงไปเพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับ EPOXY GROUPS ที่ปลายไซ CURING AGENTS ที่ใช้มักเป็น POLYAMINE S (ALIPHATICS หรือ AROMATICS) ดังนั้นจึงมีผู้เรียกกันว่า AMINE CURED EPOXY RESINS

เนื่องจากสารยึดติดมักใช้งานในลักษณะที่เป็นของเหลว และพอลิเมอร์ที่เป็นสารยึดติดไม่แตกผลึก จึงน่าคิดว่ากลไกการแข็งตัวของสารยึดติดเป็นอย่างไร ความจริงแล้วอุณหภูมิที่สารยึดติดเกิดการแข็งตัวก็คือ อุณหภูมิ GLASS TRANSITION TEMPERATURE  $T_g$  นั่นเอง เหนือ  $T_g$  ขึ้นไป พอลิเมอร์จะอ่อนตัวและไม่เปราะ

แต่ถ้าพอลิเมอร์ได้รับความร้อนสูงเกิน  $T_g$  มากๆ จะถึงจุดหลอมตัว ซึ่งเรียกว่า  $T_m$  (CRYSTALLINE MELTING POINT) ณ  $T_m$  จะเกิดการเปลี่ยนแปลงกะทันหันใน SPE-

CIFIC VOLUME ของวัสดุ ในกรณีที่พอลิเมอร์สามารถแตกผลึกแต่เกิดได้ช้ามาก เมื่อลดอุณหภูมิพอลิเมอร์นี้อาจถูก SUPERCOOLED ผ่านจุดหลอมตัว โดยที่ยังเป็นของเหลวอยู่จนถึง GLASS TRANSITION TEMPERATURE  $T_g$

จากกราฟข้างล่าง จะเห็นว่าเหนือ  $T_g$  จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอใน SPECIFIC VOLUME ของพอลิเมอร์ ซึ่งย่อมาหมายถึงคุณสมบัติอื่นๆ ทางฟิสิกส์ด้วย ดังนั้น  $T_g$  จึงเป็นอุณหภูมิสำคัญที่กำหนดความสามารถในการรับน้ำหนัก (LOAD) ของสารยึดติด โดยเหตุที่  $T_g$  ขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์หลายประการ เช่น โครงสร้างของพอลิเมอร์ ขนาดของกรุปที่ต่ออยู่ที่ไซของพอลิเมอร์ ความอ่อนตัวไม่เปราะ (FLEXIBILITY) ของไซพอลิเมอร์ และแรงยึดเหนี่ยวภายในและระหว่างโมเลกุล (INTRA AND INTERMOLECULAR FORCES) จึงเห็นได้ว่า พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกันย่อมจะใช้เป็นสารยึดติดแทนกันได้ในหลายกรณี



HOT-MELT ADHESIVES เป็นตัวอย่างหนึ่งซึ่งแสดงความสำคัญของ  $T_g$  ภาษาอังกฤษก็บอกอยู่แล้วว่าเราใช้งาน HOT-MELT ADHESIVES โดยให้ความร้อนให้เป็นของเหลว ให้มีอุณหภูมิสูงกว่า  $T_g$  ประมาณ  $30-50^{\circ}\text{C}$  เมื่อปล่อยให้เย็นลงโดยเร็วกว่า  $T_g$  จะได้สารยึดติดที่มีความแข็งแรงทางเมคานิกส์เป็นอย่างดี

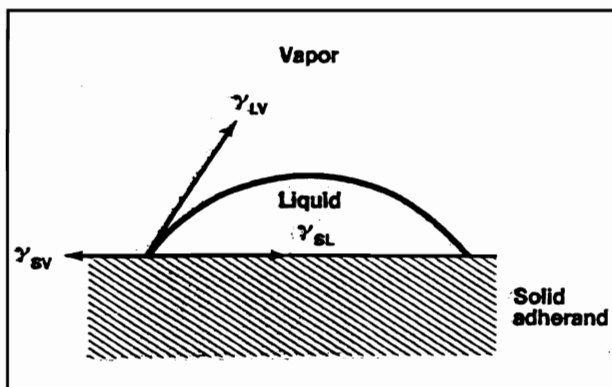
ในบางขณะจะต้องปรับ Tg ของสารยึดติดให้เหมาะสม โดยใช้พลาสติกไซเซอร์ (PLASTICIZERS) ซึ่งจะปลด Tg ของสารยึดติด พอลิไวนิลอะซิเตท (POLY-VINYL ACETATE) (PVAC) เป็นสารยึดติดที่เรียกกันทั่วไปว่ากาวลาเทกซ์ (LATEX) ซึ่งผลิตขึ้นในลักษณะของอนุภาค PVAC แขนงลอยอยู่ในน้ำ PVAC ที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพเสียก่อน เมื่อแห้งจะรวมกันจึงไม่สามารถใช้เป็นสารยึดติดได้ แต่เมื่อได้เติมพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสม กาวลาเทกซ์ PVAC ที่แห้งจะให้ฟิล์มที่มีสมบัติยึดติดผิวหน้าอย่างแข็งแรง

### การเปียกผิวหน้า

คุณสมบัติที่สำคัญของสารยึดติดก็คือ จะต้องเป็นของเหลวในขณะเริ่มการใช้งาน และของเหลวนี้จะต้องเปียกผิวหน้าที่จะยึดติดกันด้วยสารยึดติดนั้นๆ

ถ้ามองในแง่ของโมเลกุล หยกของเหลวจะแผ่กระจายได้บนผิวหน้าใดใด ต่อเมื่อโมเลกุลของของเหลว มีแรงดึงดูด (ATTRACTION) กับผิวหน้านั้นๆมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลด้วยกันเอง แต่เรายังมองได้อีกแง่หนึ่งในแง่ของฟิล์ม

หยกของของเหลวที่อยู่บนผิวหน้าหนึ่งๆ จะมีแรง 3 แรงที่อยู่ในสมดุลย์กัน คือแรงตึงผิว (SURFACE TENSION) SOLID-VAPOR  $\gamma_{SV}$ , SOLID-LIQUID  $\gamma_{SL}$  และ LIQUID-VAPOR  $\gamma_{LV}$



ณ สภาวะสมดุลย์ จะได้สัมพันธ์ข้างล่างนี้ซึ่งเรียกว่า YOUNG-DUPRE EQUATION

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta + \pi_e$$

เมื่อ  $\theta$  = contact angle ของของเหลวบนผิวหน้าของแข็ง

$\pi_e$  = ความดันของไอของเหลวที่กระจายและถูกคูดเป็นฟิล์มอยู่บนผิวหน้า

จะเห็นได้ว่า contact angle มีความสำคัญ เพราะเมื่อ  $\theta$  มีค่าเป็นศูนย์ ของเหลวจะเปียกผิวหน้าทันที

ผลงานของซีสแมน (W.A. Zisman) และผู้ร่วมงานในการวัด contact angles ของของเหลวบนผิวหน้าที่มีพลังงานผิวหน้า (surface energy) ต่ำ เช่น พอลิเอธิลีน แสดงว่าผิวหน้าหนึ่งๆ จะมี Critical surface tension  $\gamma_c$  ที่จะเป็นตัวบอกถึงการเปียกผิวหน้า ของเหลวที่มี surface tension มากกว่า  $\gamma_c$  จะไม่เปียกผิวหน้าในขณะที่ของเหลวที่มี surface tension ต่ำกว่า จะกระจายบนผิวหน้าทันที ตัวอย่างที่เห็นได้ง่ายๆ ได้แก่ การใช้พอลิเตตราฟลูออโรเอธิลีน (PTFE) เคลือบกะทะที่ทอดโดยไม่ต้องใช้น้ำมัน PTFE มี  $\gamma_c$  ต่ำกว่า 20 mNm<sup>-1</sup> ในขณะที่น้ำมันมีแรงตึงผิว (surface tension) 72.8 mNm<sup>-1</sup> ณ 25°C จะเห็นได้ว่าน้ำมันจะไม่เปียกผิวหน้า PTFE เราจึงทอดอาหารได้โดยไม่ต้องใช้น้ำมัน ทำนองเดียวกันอธิบายได้ว่า ในการเชื่อมรอยต่อด้วยการบัดกรี จะต้องมีการทำความสะอาดผิวหน้าให้ปราศจากไขมัน และน้ำมันทั้งนี้เพราะน้ำมันมี  $\gamma_c$  ต่ำทำให้ตะกั่วบัดกรีไม่เปียกผิวหน้า และไม่ยึดติดผิวหน้าเมื่อแข็งตัว

### แท็ค (TACK) ของสารยึดติด

แท็ค เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสารยึดติด แท็คเป็นความเหนียวเหนอะหนะ เช่นที่พบใน กาว หมากฝรั่ง ดังเม ฯลฯ

แท็ค เป็นคุณสมบัติที่บอถึงแรงยึดระหว่างอนุภาคของสารยึดติด แท็คของสารยึดติดจะต้องสูงกว่าแรงยึดระหว่างสารยึดติดกับผิวหน้าที่ยึดติด เพราะถ้าแท็คของสารยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงยึดระหว่างสารยึดติด กับผิวหน้าที่ยึด

คิดแรงภายนอกจะมีโอกาสทำให้ผิวหน้าแยกออกจากกันได้ โดยอนุภาคของสารยึดติดขาดจากกันเองคือ ผิวหน้าขาดจากกันตรงสารยึดติด

เราให้นิยามของแท็คดังนี้

แท็ค คือ impulse (แรง  $\times$  เวลา) ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่จะต้องใช้ในการแยกระนาบ (plane) สองระนาบ ซึ่งสัมพันธ์กันอยู่โดยมีสารยึดติดคั่นอยู่

ถ้าแรง impulse เท่ากับ 1 ไดน์ วินาที (dyne second) ต่อ 1 ตารางเซนติเมตร เราถือว่า สารยึดติดมีค่า แท็ค 1 หน่วย

### การศึกษาสารยึดติดในมหาวิทยาลัย

แม้ว่าสารยึดติดจะเป็นผลมาจากการพัฒนา และประยุกต์พอลิเมอร์ แต่การศึกษาและวิจัยสารยึดติดก็ยังเป็นเรื่องของอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ เพราะวิชาเกี่ยวกับสารยึดติดมีสอนกันน้อยมากในมหาวิทยาลัย ทั้งๆที่ในขณะนี้สารยึดติดที่มีความแข็งแรงสูงได้เข้าไปมีบทบาทในอุตสาหกรรมเกือบทุกด้าน รวมทั้งอุตสาหกรรมรถยนต์ และอุตสาหกรรมการบิน แนวโน้มของการศึกษาสารยึดติดปัจจุบันนี้อยู่ที่การหาทางผลิตสารยึดติดที่มีความแข็งแรงทนทานสูง ทั้งด้านเมคานิกส์ และด้านเคมี มีกำลังยึดติดสูงกว่าตะปู ซึ่งประสบความสำเร็จแล้วในหลายกรณี

อย่างไรก็ดีขณะนี้มีความตื่นตัวในด้านการให้การศึกษาเกี่ยวกับสารยึดติด มหาวิทยาลัยบางแห่งมีการสอนวิชาเกี่ยวกับสารยึดติด ทั้งนี้โดยความร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น GMI ENGINEERING & MANAGEMENT INSTITUTE ได้ร่วมมือกับ LILLY FOUNDATION เปิดสอนวิชา Adhesive Technology and Applications Course สำหรับนิสิตที่จะรับปริญญา B.S. in Engineering หลักสูตรนอกจากจะกล่าวถึงชนิดของสารยึดติด และทฤษฎีการเกิดแรงยึดและพันธะ และอื่นๆ แล้ว ยังรวมวิธีการ curing โดยใช้ความร้อน แสงยูวี ไมโครเวฟ ฯลฯ เข้าไว้ด้วย (2)

การศึกษาและวิจัยสารยึดติดเป็นส่วนหนึ่งของวิทยา-

ศาสตร์การเคลือบผิวหน้า (surface coatings) ซึ่งจัดอยู่ในแขนงวิชาพอลิเมอร์ประยุกต์ (applied polymer science) อุตสาหกรรมเคลือบผิวหน้า (สีทาบ้าน แลคเกอร์ สารยึดติด หมึกพิมพ์ ฯลฯ) เป็นอุตสาหกรรมที่ทำกำไรอย่างมหาศาล ดังนั้นประเทศต่างๆ ในยุโรป และสหรัฐอเมริกา จึงมีศูนย์วิจัยด้านการเคลือบผิวหน้าซึ่งอาจขึ้นอยู่กับมหาวิทยาลัย หรือเป็นองค์การไม่ทำกำไร (non-profit organization) ทำการวิจัยให้บริษัทอุตสาหกรรมที่เป็นสมาชิกและร่วมกันให้เงินอุดหนุนวิจัย เช่น ที่อังกฤษ มี The Paint Research Station สหรัฐอเมริกามีศูนย์วิจัยด้านหมึกพิมพ์และการเคลือบผิวหน้าอยู่ที่มหาวิทยาลัย Lehigh อียิปต์มี Center for Surface Coatings Study อยู่ที่กรุงไคโร

ในเมืองไทย ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้เปิดสอนวิชา surface coatings มาเป็นเวลานานแล้ว แต่เน้นด้านสีทา ขณะเดียวกันภาควิชาเทคโนโลยีถ่ายภาพและการพิมพ์ก็ได้เปิดสอนวิชาหมึกพิมพ์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ surface coatings จึงเห็นได้ว่า ขณะนี้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีศักยภาพมากพอที่จะจัดตั้ง Center for surface coatings study เช่นนานาชาติ เพื่อทำการศึกษารวิจัยและให้บริการด้านเคลือบผิวหน้าต่างๆ อันจะยังประโยชน์แก่ภาคอุตสาหกรรมในระยะยาว ในขั้นแรก หากยังขาดงบประมาณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ก็อาจผนวกการวิจัยและศึกษาด้าน surface coatings ไว้เป็นส่วนหนึ่งของศูนย์ฯ ไปพลางก่อนจนกว่าจะพร้อมที่จะขยายงานด้าน surface coatings ออกไปเป็นศูนย์อิสระ ใครขอฝากความคิดเห็นไว้กับผู้เกี่ยวข้องด้วย

### เอกสารที่ควรอ่านประกอบ

1. D. Eagland, "What makes stuff stick", Chem Tech, 20, 248 (1990)
2. D.J. Doyle, "Adhesive Technology and Application" J.Chem Educ.,68, 1012 (1991)
3. R.S. Bauer, "The Versatile Epoxies", Chem Tech, 10, 692 (1980)