

การศึกษาสมบัติของกาวร้อนเหลวชนิดต่าง ๆ
สำหรับการใช้งานในกระบวนการขัดสไลเดอร์บาร์

The Investigation of Hot Melt Adhesive Properties
for Slider Bar Lapping Application

ศุภิดา โภคินสุวรรณ* และแคทลียา ปัทมพรหม

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

ปิยวิทย์ คุ่มพงษ์

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

ปิยนุช เขียมทัพ

บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน

ตำบลคลองจิก อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13160

Supida Pokinsuwan* and Cattaleeya Pattamaprom

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,

Rangsit Centre, Klong Nueng, Klong Luang, Pathum Thani 12120

Piyawit Koombhongse

National Metal and Materials Technology Center,

Thailand Science Park, Klong Nueng, Klong Luang, Pathum Thani 12120

Piyanoot Hiamtup

Western Digital (Thailand) Co., Ltd., Bang Pa-In Industrial Estate,

Klongjig, Bang Pa-In, Ayutthaya 13160

บทคัดย่อ

ปัญหาของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการขัดสไลเดอร์บาร์ คือ กาวที่ใช้ติดสไลเดอร์บาร์กับอุปกรณ์จับยึดเกิดการหลุดร่อน และการลอกกาวออกจากสไลเดอร์บาร์หลังผ่านขั้นตอนการขัด ซึ่งกาวที่นิยมใช้งานในลักษณะยึดติดชั่วคราวเช่นนี้คือกาวร้อนเหลว งานวิจัยนี้จึงศึกษากาวร้อนเหลว 4 ชนิด ได้แก่

กาวพอลิยูรีเทน กาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท กาวพอลิเอสเทอร์ และกาวพอลิเอไมด์ เนื่องจากกาวร้อนเหลวทั้ง 4 ชนิด นี้นิยมใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยได้ศึกษาโครงสร้างทางเคมี สมบัติทางความร้อน ความเป็นกรด สมบัติวิศโคอีลาสติก และความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉือน ผลการวิจัยพบว่าความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉือนของกาวพอลิเอไมด์สูงกว่ากาวพอลิเอสเทอร์ ในขณะที่กาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทมีความแข็งแรงต่ำใกล้เคียงกับกาวพอลิยูรีเทน นอกจากนี้ยังพบว่ากาวที่มีค่าความเป็นกรดและความเป็นผลึกมากขึ้นจะให้ความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉือนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความเป็นผลึกมีผลทำให้กาวมีความแข็งแรงมากขึ้น และหมู่ฟังก์ชันที่มีความเป็นกรดทำให้การยึดติดกาวกับชิ้นงานที่เป็นเหล็กปลอดภัยขึ้น ส่วนการลอกกาวออกจากชิ้นงานพบว่ากาวพอลิยูรีเทน กาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท และกาวพอลิเอสเทอร์สามารถลอกออกจากชิ้นงานได้ง่ายด้วยวิธีการให้ความร้อนหรือการใช้ตัวทำละลาย ในขณะที่กาวพอลิเอไมด์ไม่สามารถลอกออกได้โดยสมบูรณ์ ไม่ว่าจะเป็นการให้ความร้อนหรือการใช้ตัวทำละลาย เมื่อนำกาวพอลิยูรีเทน กาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท และกาวพอลิเอสเทอร์ไปใช้ในกระบวนการขัดของโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าสไลด์บาร์ที่ใช้กาวพอลิยูรีเทนและกาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทในกระบวนการขัดมีความขรุขระน้อยกว่ากาวพอลิเอสเทอร์ เนื่องจากกาวพอลิยูรีเทนจะใช้เวลาในการขัดโดยรวมต่ำที่สุด

คำสำคัญ : กาวร้อนเหลว, กระบวนการขัด, การหลุดร่อนของกาว

Abstract

In hard disk drive industry, a problem in slider bar lapping process involves adhesive failure in gripping slider bar to the holders and removing the adhesive film without a trace. The type of adhesive that is appropriate for such temporary applications is hot-melt type. Four polymer-based hot-melt adhesives including polyurethane (PU), poly (ethylene-vinyl acetate) (EVA), polyester (PES) and polyamide (PA) were chosen in this study due to their availability in other application thus avoiding supply shortage. Here, the adhesives were characterized for their chemical structures, thermal properties, acid number, viscoelastic properties and lap shear strength. It was found that the adhesion strength of PA was higher than PES, whereas the strengths of EVAs and PU were comparably low. In addition, lap shear strength was found to increase with increasing degree of crystallinity and acid number. This was because the crystallinity could improve cohesive strength and acid functionality, which in turn contributed to better adhesion to stainless steel. The debonding of PU, EVA and PES was easily accomplished by either heating or submerging adhesives in appropriate solvents. On the other hand, PA could not be completely debonded either by heating or using solvents. In the field test, it was found that PU and EVA adhesives could provide slider bars with less roughness than PES adhesive, where PU could provide the shortest overall lapping time.

Key words: hot-melt adhesive, lapping process, adhesive failure

1. บทนำ

กาวยที่ใช้ในกระบวนการผลิตสไลเดอร์เป็นกาวยที่ใช้งานชั่วคราว (temporary adhesive) ซึ่งต้องมีสมบัติการยึดติดชิ้นงานได้ดี ทนต่อแรงทางกล และสารเคมีที่ใช้ในระหว่างการขัด ภายหลังจากกระบวนการขัด กาวยต้องสามารถลอกออกจากชิ้นงานได้ง่าย โดยที่ชิ้นงานไม่เกิดความเสียหายและมีความสะอาด ในอดีต Stauffer และคณะ [1] ได้คิดค้นกาวยร้อนเหลวที่ใช้งานชั่วคราว โดยกาวยผลิตจากไอโซแทกติกเทอร์โมพลาสติกพอลิบิวทิลีน โคอพอลิเมอร์ (isotactic thermoplastic polybutylene copolymer) ซึ่งสมบัติของกาวยร้อนเหลวที่ได้มีลักษณะเฉพาะ ประกอบด้วยระยะเวลาที่กาวยเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง โดยนับจากระยะเวลาที่ทาภาวลงบนผิววัสดุที่ต้องการจะยึดติด (open time) ประมาณ 0.5-2 นาที ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อเวลาผ่านไปกาวยจะมีผลึกเพิ่มขึ้น (delayed crystallinity) และเมื่อหักชิ้นงาน เนื้อกาวยจะแตกออกจากกัน โดยที่ชิ้นงานไม่เกิดความเสียหาย ถึงแม้ว่าชิ้นงานจะหลุดออกจากกัน อย่างไรก็ตามวิธีการที่เนื้อกาวยังคงติดอยู่กับชิ้นงานทำให้ทำความสะอาดได้ยาก ดังนั้นกาวยร้อนเหลวนี้อาจไม่เหมาะสมกับการใช้ในกระบวนการขัดสไลเดอร์บาร์ Puligadda และคณะ [2] คิดค้นกาวยที่มีคุณสมบัติเหมาะสำหรับการติดเวเฟอร์ โดยได้พัฒนากาวยเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) และเทอร์โมเซต (thermoset) พบว่ากาวยทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพสำหรับการใช้งานในขั้นตอนการติดแผ่นเวเฟอร์ โดยกาวยทั้งสองชนิดมีความแข็งแรง (bonding strength) ทนต่อสารเคมี (chemical resistance) เสถียรต่ออุณหภูมิ (thermal stability) และหลังจากการใช้งาน แผ่นเวเฟอร์สามารถแยกออกจากกันได้ โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C สำหรับกาวยเทอร์โมพลาสติก และที่

อุณหภูมิ 400 °C สำหรับกาวยเทอร์โมเซต จากงานวิจัยดังกล่าวจะเห็นว่าอุณหภูมิในการแยกชิ้นงานออกจากกันนั้นค่อนข้างสูง จึงไม่เหมาะสำหรับกระบวนการขัดสไลเดอร์บาร์

งานวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบกาวยที่เหมาะสมสำหรับการขัดสไลเดอร์บาร์ โดยเน้นศึกษากาวยร้อนเหลว (hot melt adhesives) ซึ่งเป็นกาวยประเภทเทอร์โมพลาสติกที่อยู่ในรูปของแข็ง ใช้งานโดยการให้ความร้อนและความดันเพื่อให้กาวยหลอมไหลบนผิวหน้าวัสดุ กาวยร้อนเหลวที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ผลิตจากพอลิเมอร์ 4 ชนิด ได้แก่ พอลิยูรีเทน (polyurethane, PU) พอลิเอทิลีน ไวนิลอะซิเตต [poly(ethylene-vinyl acetate), EVA] พอลิเอสเทอร์ (polyester, PES) และพอลิเอไมด์ (polyamide, PA) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่นิยมผลิตกาวยร้อนเหลวและมีจำหน่ายในประเทศ อีกทั้งมีอุณหภูมิในการหลอม (melting temperature) ไม่สูงมาก โดยงานวิจัยนี้เน้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานของกาวยร้อนเหลวแต่ละชนิด เช่น อุณหภูมิในการหลอมเหลวและการเย็นตัวของกาวยร้อนเหลวในขั้นตอนการติดสไลเดอร์บาร์กับอุปกรณ์จับยึด ศึกษาสมบัติการยึดติดของกาวยร้อนเหลวกับเหล็กปลอดสนิม (stainless steel) ซึ่งเป็นโลหะชนิดเดียวกับอุปกรณ์จับยึดในกระบวนการขัด ศึกษาความต้านทานต่อสารหล่อลื่นชนิดเอทิลีนไกลคอล ซึ่งส่งผลต่อการบวมตัวหรือการละลายของกาวยร้อนเหลวในระหว่างการขัดสไลด์เดอร์ รวมถึงศึกษาการลอกกาวยออกจากชิ้นงานด้วยวิธีการให้ความร้อนและการใช้ตัวทำละลาย หากงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จจะสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต ทำให้ได้กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และทราบคุณลักษณะกาวยที่เหมาะสม เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนากาวยที่มีประสิทธิภาพได้เองในอนาคต

2. อุปกรณ์และวิธีการ

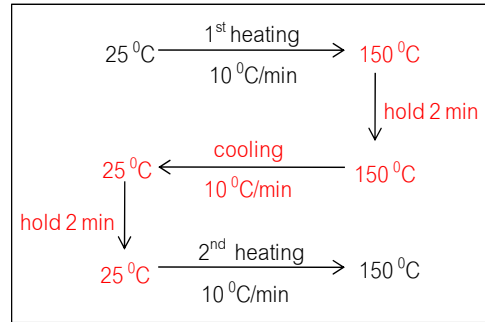
2.1 วัสดุและอุปกรณ์

กาวร้อนเหลวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ กาวพอลิยูรีเทนได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด กาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ซาคระอินดัสทรี (ประเทศไทย) จำกัด กาวพอลิเอสเทอร์ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด และกาวพอลิเอไมด์ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ราพอส (ประเทศไทย) จำกัด โดยกาวร้อนเหลวทั้ง 4 ชนิด มีรูปแบบเป็นแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีความหนาอยู่ในช่วง 0.075-0.160 มิลลิเมตร

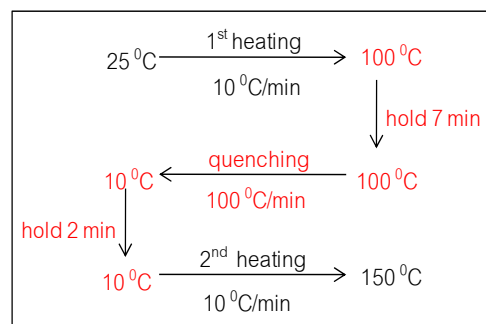
2.2 การทดสอบสมบัติเฉพาะของกาวร้อนเหลว

2.2.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อน โดยเทคนิค DSC ด้วยเครื่อง Mettler Toledo DSC 822 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติทางความร้อนที่สภาวะการให้ความร้อน 2 แบบ ดังรูปที่ 1 โดยแบบ (a) ศึกษาสมบัติทางความร้อนของกาวที่ผ่านการให้ความร้อนกับสารตัวอย่างสองครั้ง เป็นการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิและให้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเดียวกันทุกตัวอย่าง ส่วนการให้ความร้อนในแบบ (b) เป็นสภาวะที่จำลองจากอุณหภูมิที่ใช้ในขั้นตอนการติดสไลด์เคอร์บาร์

2.2.2 การทดสอบสภาพความเป็นกรด (acid number) สภาพความเป็นกรดของกาวร้อนเหลว ได้จากการหาค่าความเป็นกรด (acidity) ของกาวร้อนเหลว โดยการไตเตรทหาค่าความเป็นกรดด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ตามมาตรฐาน ASTM D 1994-95 [3]



a) การศึกษาสมบัติทางความร้อนของกาวที่ได้รับจากผู้ผลิต



(b) การจำลองกระบวนการติดสไลด์เคอร์บาร์ และศึกษาสมบัติทางความร้อนหลังยึดติด

รูปที่ 1 สภาวะการให้ความร้อนแก่กาวร้อนเหลวแบบ (a) และแบบ (b)

2.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการยึดติดของกาวร้อนเหลว

2.3.1 การทดสอบความแข็งของกาวด้วยวิธีทางรีโอโลยี (rheology) จะทดสอบโดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์ ชีท้อ Malvern รุ่น Kinexus ซึ่งใช้หัววัดแบบหัวเรียบ (parallel plate) ขนาด 25 มิลลิเมตร โดยเลียนแบบอุณหภูมิที่ใช้ในขั้นตอนการติดสไลด์เคอร์บาร์แก่กาวร้อนเหลวก่อน จากนั้นจึงวัดค่าโมดูลัสของแข็งที่ 20 °C ในโหมดการทดสอบแบบหมุนหรือให้แรงกระทำในทิศสลับซ้ายขวา (oscillation) ที่ช่วงความถี่ 0.1-10 เฮิรตซ์ (frequency sweep)

2.3.2 การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการติดชิ้นงาน

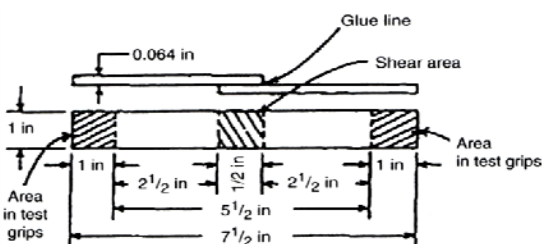
- โดยการเปรียบเทียบความหนืดของกาวร้อนเหลวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งวัดความหนืดของกาวร้อนเหลวแต่ละชนิดด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 150 °C (temperature sweep test) ที่ความถี่ครั้งที่ 1 เฮิร์ตซ์ และอัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 1 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยใช้หัววัดแบบหัวเรียบ (parallel plate) ขนาด 25 มิลลิเมตร และให้แรงกระทำแก่กาวในทิศสลับซ้าย-ขวา (oscillation)

- โดยการทดสอบการขึ้นรูปแบบอัด (compression molding) การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการติดชิ้นงาน เพื่อนำชิ้นงานไปทดสอบหาความแข็งแรงของกาวในแนวเฉือน (lap shear strength) ซึ่งรูปแบบการติดชิ้นงานเป็นดังรูปที่ 2 โดยใช้เครื่องขึ้นรูปแบบอัด (compression molding) ยี่ห้อ Lab Tech กำหนดให้ความดันในการอัดชิ้นงานเท่ากับ 700 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และช่วงอุณหภูมิที่ทดสอบเท่ากับ 50 - 130 °C

2.3.3 การทดสอบหาค่าความแข็งแรงของกาวในแนวเฉือน (lap shear strength) การหาค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉือนของกาวร้อนเหลวแต่ละชนิด ทำตามมาตรฐาน ASTM D1002 ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine Instron 8872 ขนาดหัววัด 25 กิโลนิวตัน ความเร็วในการดึง (crosshead speed) 1.27 มิลลิเมตรต่อนาที โดยวัดที่อุณหภูมิ 23 °C ความชื้น 50 % กรัมไอน้ำต่อกรัมอากาศแห้ง วัสดุที่ใช้ทดสอบคือเหล็กกล้าไร้สนิมหนา 0.055 นิ้ว กว้าง 1 นิ้ว ยาว 4 นิ้ว ซึ่งพื้นที่ในการติดกาวบนชิ้นงานคือ 1.0 x 0.5 นิ้ว ลักษณะการติดชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 2

โดยการปะกาวกับชิ้นงานตามอุณหภูมิที่หาได้จากการทดสอบในหัวข้อ 2.3.2 จากนั้นนำ

ชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 7 นาที แล้วทำให้เย็น โดยนำชิ้นงานแช่ในน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้แก่ 10, 20 และ 30 °C เป็นเวลา 2 นาที เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำให้เย็นต่อความสามารถในการยึดติดของกาวและพิจารณาลักษณะการหลุดร่อนของกาว (mode of failure) จากชิ้นงาน หลังจากการทดสอบแรงดึงในแนวเฉือน



รูปที่ 2 ลักษณะการติดชิ้นงานทดสอบ lap shear

2.4 การทดสอบความสามารถในการลอกออก (debonding) ของกาวร้อนเหลว

2.4.1 โดยการให้ความร้อน (thermal debonding) วิธีนี้ทำโดยการให้ความร้อนแก่กาวร้อนเหลวที่ถูกประกบด้วยแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม โดยใช้เครื่องให้ความร้อน (hot plate) ค่อย ๆ ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานจนกระทั่งสามารถแกะชิ้นงานให้แยกออกจากกันได้ แล้วจึงใช้คีมปากคีบดึงกาวออกจากชิ้นงานทันทีที่ได้ผลการทดสอบเป็นอุณหภูมิที่สามารถแกะชิ้นงานออกจากกันได้

2.4.2 โดยการใช้ตัวทำละลาย (solvent debonding) ทำการทดสอบโดยการแช่แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 1.0 x 4.0 นิ้ว² ที่มีกาว (ขนาด 0.5 x 1.0 นิ้ว²) ติดอยู่ จุ่มลงในตัวทำละลายแต่ละชนิด ได้แก่ อะซิโตน เฮกเซน ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (IPA) และโทลูอีน ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 °C) เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นสังเกตลักษณะของกาวที่หลุด

ออกจากชิ้นงาน และระยะเวลาตั้งแต่เริ่มแช่กาวในตัว
ทำละลายจนกระทั่งกาวหลุดออกจากชิ้นงานได้เอง

2.5 การทดสอบประสิทธิภาพของกาวร้อน เหลวเมื่อนำไปใช้ในกระบวนการขัด

ขั้นตอนการขัดสไลเดอร์บาร์ในโรงงาน
อุตสาหกรรม แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอน
การขัดหยาบ (MMX lapping) และขั้นตอนการขัด
ละเอียด (BLKL lapping) ซึ่งกาวร้อนเหลวที่เลือก
นำไปใช้ทดสอบในกระบวนการขัดสไลเดอร์บาร์
ได้แก่ พอลิยูรีเทน พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท และ
พอลิเอสเทอร์ โดยทำการเก็บข้อมูลและปัจจัยที่มีผล
ต่อกระบวนการขัดสไลเดอร์ ดังนี้

2.5.1 เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงานจนได้
ความหนาตามต้องการบันทึกเป็นค่า lap time

2.5.2 ค่าความหยาบของพื้นผิว ABS
(ABS roughness) และ pole tip recession (PTR)

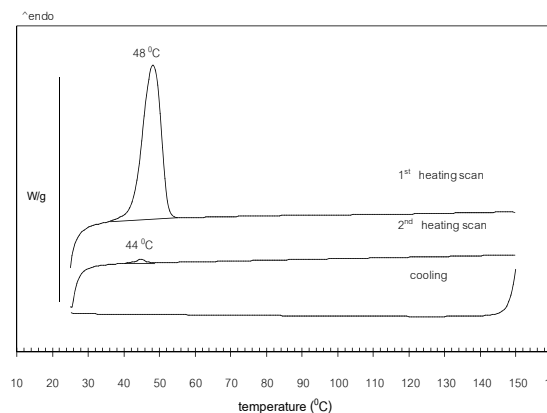
นำไปหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่ม
เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบโดยการทดสอบ AFM

3. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

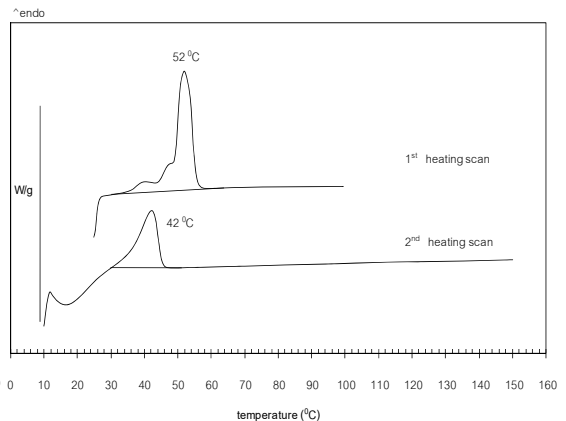
3.1 สมบัติทางความร้อนและความเป็นกรด ของกาวร้อนเหลวแต่ละชนิด

3.1.1 สมบัติทางความร้อน

การศึกษาสมบัติทางความร้อนของ
กาวร้อนเหลวแต่ละชนิด โดยใช้สภาวะการเพิ่มและ
ลดอุณหภูมิ 2 แบบ คือ การให้ความร้อนแก่พอลิเมอร์
ครั้งที่ 1 (1st heating scan) ของแบบ (ก) เป็นการศึกษา
สมบัติทางความร้อนของกาวที่ได้รับมา ในขณะที่การ
ให้ความร้อนแก่พอลิเมอร์ครั้งที่ 2 (2nd heating scan)
ของแบบ (ข) เป็นการศึกษาสมบัติของกาวหลังการยึด
ติดกับสไลเดอร์บาร์



(ก) สมบัติกาวที่ได้รับมา



(ข) การให้ความร้อนกาวโดยจำลองกระบวนการติดสไลเดอร์บาร์

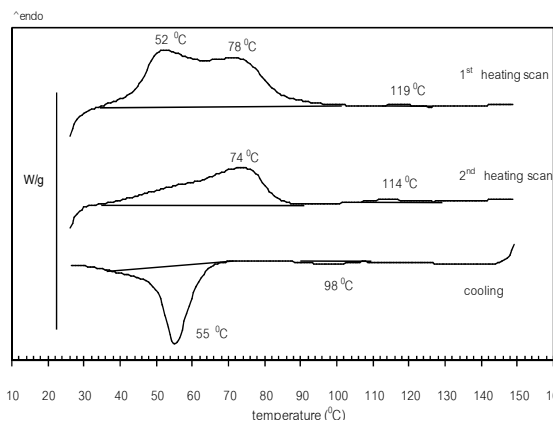
รูปที่ 3 DSC เทอร์โมแกรมของกาวพอลิยูรีเทนแบบ (ก) และ (ข)

รูปที่ 3 (ก) แสดง DSC เทอร์โม
แกรมของกาวพอลิยูรีเทนที่ได้รับจากผู้ผลิต พบว่ามี
ปริมาณผลึกค่อนข้างสูง ($\Delta H_m = 41.11$ J/g) เมื่อเทียบกับ
ปริมาณผลึกของกาวที่ผ่านการลบสมบัติทางความ

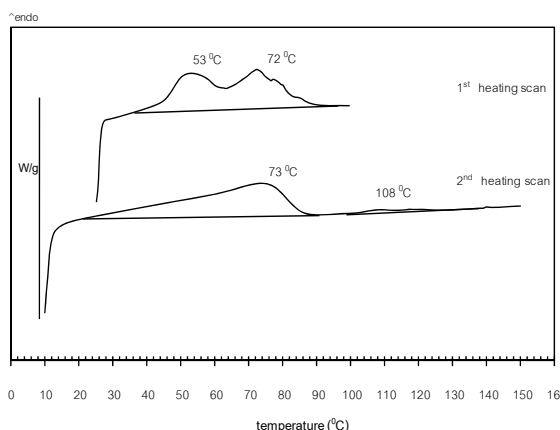
ร้อน ในกรณีของกาวพอลิยูรีเทนที่ผ่านการให้ความ
ร้อนโดยการจำลองกระบวนการติดสไลเดอร์บาร์ดัง
รูปที่ 3 (ข) พบว่าที่สภาวะการติดสไลเดอร์บาร์ กาว
สามารถเกิดผลึกขึ้นใหม่ในการให้ความร้อนรอบที่ 2

ได้ดีกว่ากรณี (ก) เนื่องจากการลดอุณหภูมิลงมาที่ 10 °C เป็นเวลา 2 นาที แก้ววุ้นในขั้นตอนการทำให้เย็น ทำให้แก้วเกิดผลึกได้มากกว่าการลดอุณหภูมิลงไป

25 °C เช่น ในกรณี (ก) แสดงให้เห็นว่าแก้วพอลิยูรีเทนสามารถเกิดผลึกที่อุณหภูมิ 10 °C ได้มากกว่าที่อุณหภูมิ 25 °C



(ก) สมบัติแก้วที่ได้รับมา



(ข) การให้ความร้อนแก้วโดยจำลองกระบวนการติสไลเดอริบาร์

รูปที่ 4 DSC เทอร์โมแกรมของแก้วพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทแบบ (ก) และ (ข)

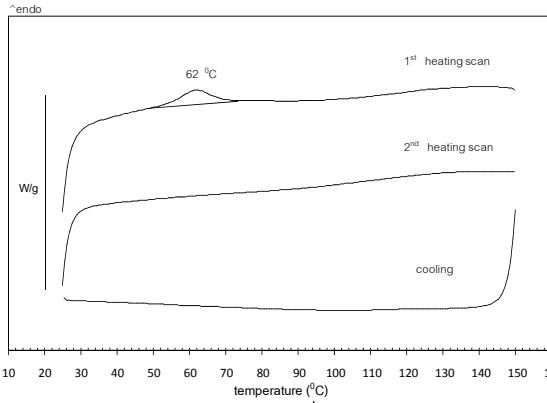
สมบัติทางความร้อนของแก้วพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทแสดงดังรูปที่ 4 (ก) จาก DSC เทอร์โมแกรมของแก้วพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทจะเห็นว่าแก้วที่ได้รับมามีช่วงอุณหภูมิการหลอมผลึก 3 ช่วง การหลอมผลึกในสองช่วงแรกมีช่วงการหลอมเหลวกว้าง มีอุณหภูมิหลอมเหลวสูงสุด (T_m peak) อยู่ที่ 52 และ 78 °C ส่วนการหลอมผลึกช่วงที่สาม ช่วงการหลอมเหลวแคบกว่า และมีอุณหภูมิหลอมเหลวสูงสุดอยู่ที่ 119 °C ส่วนการให้ความร้อนแก่แก้วโดยการจำลองกระบวนการติสไลเดอริบาร์ดังรูปที่ 4 (ข) พบว่าการให้ความร้อนในครั้งแรกที่อุณหภูมิ 100 °C ผลึกของแก้วหลอมเหลวไม่หมดส่งผลให้เมื่อลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว (quenching) แล้วให้ความร้อนในครั้งที่สอง พบว่ามีผลึกที่ $T_m = 108$ °C และเหลืออยู่จึงเกิดช่วง T_m เป็น 2 ช่วง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณผลึกจากค่าเอนทัลปีในการหลอมผลึก พบว่าปริมาณผลึกของแก้วพอลิเอทิลีนไวนิลอะ

ซิเตทที่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยการจำลองกระบวนการติสไลเดอริบาร์ ($\Delta H_m = 29.45$ J/g) มีน้อยกว่าผลึกที่มีในแก้วที่ได้รับจากผู้ผลิต ($\Delta H_m = 47.49$ J/g) นอกจากนี้หากมีการนำแก้วพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทไปใช้ในกระบวนการผลิตควรปรับเพิ่มอุณหภูมิการอบสไลเดอริบาร์เป็น 110 °C เพื่อให้ผลึกของแก้วหลอมเหลวหมด

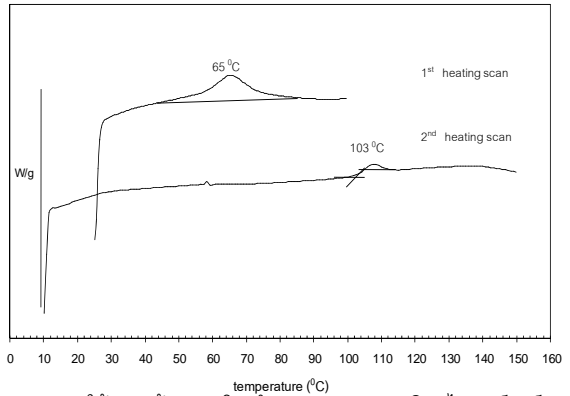
จากรูปที่ 5 (ก) และ (ข) แสดง DSC เทอร์โมแกรมของแก้วพอลิเอสเตอร์แบบ (ก) และ (ข) จะเห็นว่าเมื่อให้ความร้อนแก่แก้วพอลิเอสเตอร์ในครั้งแรก แก้วเกิดการหลอมเหลวช่วงอุณหภูมิเดียวมีปริมาณผลึกเล็กน้อย ($\Delta H_m = 3.29$ J/g) และช่วงอุณหภูมิการหลอมไม่แตกต่างกันมาก ในขณะที่เมื่อให้ความร้อนในครั้งที่สอง แก้วพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการให้ความร้อนและลดอุณหภูมิทั้งสองแบบไม่แสดงอุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) และอุณหภูมิในการหลอมเหลวผลึก (T_m) แต่พบการเปลี่ยนแปลงของ

ความชื้นคล้ายกับการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว เนื่องจากกาวเกิดพันธะเชื่อมขวาง (crosslink) ขึ้น หลังจากการได้รับความร้อนสูง ซึ่งพิสูจน์ได้โดยทำ

การทดสอบแบบ (จ) ซ้ำ โดยการเพิ่มอุณหภูมิของการให้ความร้อนรอบแรกไปที่ 130 °C ก็ยังพบจุด T_g ที่ 103 °C เช่นเดิม

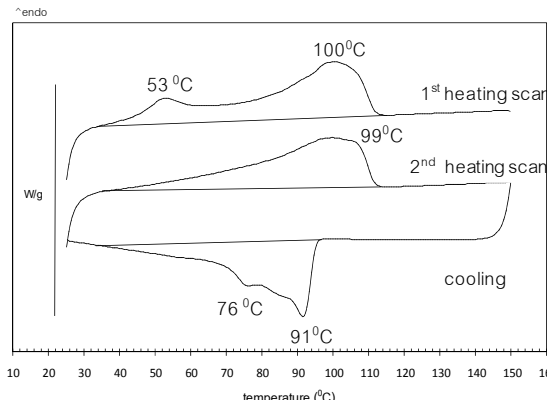


(ก) สมบัติกาวที่ได้รับมา

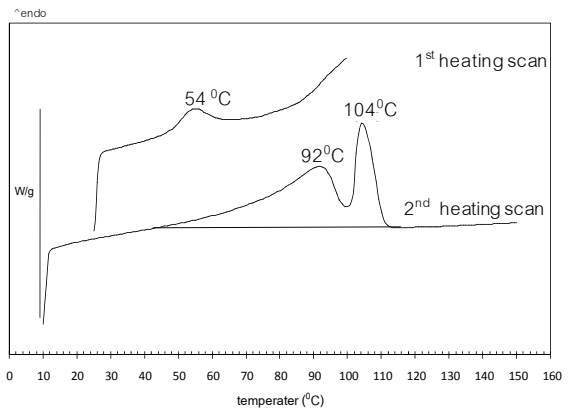


(ข) การให้ความร้อนกาวโดยจำลองกระบวนการติดสไลด์ออร์บารี

รูปที่ 5 DSC เทอร์โมแกรมของกาวพอลิเอสเตอร์แบบ (ก) และ (ข)



(ก) สมบัติกาวที่ได้รับมา



(ข) การให้ความร้อนกาวโดยจำลองกระบวนการติดสไลด์ออร์บารี

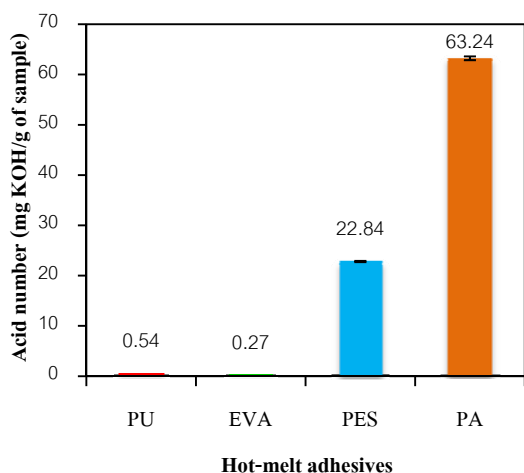
รูปที่ 6 DSC เทอร์โมแกรมของกาวพอลิเอไมด์แบบ (ก) และ (ข)

จากรูปที่ 6 แสดง DSC เทอร์โมแกรมของกาวพอลิเอไมด์จะเห็นว่าเมื่อให้ความร้อนแบบ (ก) ในครั้งแรก กาวเกิดการหลอมผลึก 2 ช่วง และช่วงอุณหภูมิการหลอมผลึกกว้างเมื่อลดอุณหภูมิลง พบว่ากาวเกิดผลึก 2 ช่วง ที่อุณหภูมิการเกิดผลึกสูงสุดเท่ากับ 91 และ 76 °C จากนั้นเมื่อให้ความร้อน

แก่กาวในครั้งที่สอง พบว่าอุณหภูมิในการหลอมผลึกมีช่วงเดียว อาจเป็นเพราะการเพิ่มและลดอุณหภูมิในสถานะควบคุมแบบ (ก) ในครั้งแรก ทำให้รูปแบบหรือขนาดผลึก ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ นั้น เหลือเพียงรูปแบบหรือขนาดผลึกเดียว และมีปริมาณผลึกลดลงเล็กน้อย (จาก $\Delta H_m = 74.66$ J/g เป็น 66.99 J/g) เมื่อ

จำลองการเพิ่มและลดอุณหภูมิจากกระบวนการติดสไลด์เจอร์บารด์รูปที่ 6 (ข) จะเห็นว่าการให้ความร้อนในครั้งแรกการหลอมผลึกเกิดขึ้นแบบไม่สมบูรณ์ และเมื่อให้ความร้อนแก่กาวในครั้งที่สองจึงมีผลึก 2 ส่วน คือ ผลึกที่เกิดขึ้นใหม่และส่วนผลึกเดิมที่ไม่หลอม ทำให้ผลึกที่เกิดขึ้นใหม่จากการให้ความร้อนแบบจำลองกระบวนการยึดติด (ข) ($\Delta H_m = 49.43 \text{ J/g}$) มีปริมาณน้อยกว่าผลึกของกาวที่ได้รับจากผู้ผลิต (ก) ($\Delta H_m = 66.99 \text{ J/g}$) แสดงว่ากาวพอลิเอไมด์ เมื่อผ่านความร้อนที่จำลองอุณหภูมิจากกระบวนการติดสไลด์เจอร์บารด์ ทำให้กาวพอลิเอไมด์มีปริมาณผลึกลดลง เนื่องจากการลดอุณหภูมิต่างรวดเร็ว (quenching) จาก 100 เป็น 10 °C ทำให้เวลาที่สายโซ่พอลิเมอร์จัดเรียงตัวเป็นผลึกน้อย

3.1.2 การทดสอบสภาพความเป็นกรด (acid number)



รูปที่ 7 ค่าความเป็นกรด (acid number) ของกาวร้อนเหลวแต่ละชนิด

ค่าความเป็นกรด (AN) ของกาวร้อนเหลวแต่ละชนิดแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นว่าค่าความเป็นกรดของกาวพอลิเอไมด์มีค่ามากที่สุดตามด้วยกาวพอลิเอสเทอร์ พอลิยูรีเทน และพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิ

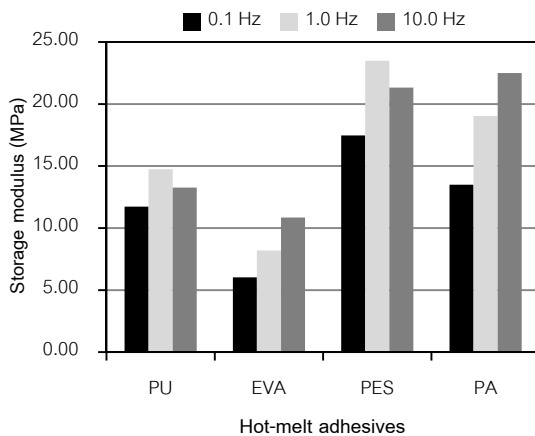
เตท ตามลำดับ โดยกาวพอลิเอไมด์มีค่า AN สูงถึง 63.24 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมกาว ในขณะที่กาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทมีค่าความเป็นกรดเพียง 0.27 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมกาว

3.2 ประสิทธิภาพการยึดติดของกาวร้อนเหลว

3.2.1 การทดสอบความแข็งของกาวด้วยวิธีทางรีโอโลยี

จากรูปที่ 8 แสดงมอดูลัสสะสม (storage modulus) ของกาวร้อนเหลวชนิดต่าง ๆ จะเห็นว่าเมื่อให้แรงกระทำแก่กาวร้อนเหลวในแนวเฉือนที่อุณหภูมิ 20 °C ในช่วงความถี่ 0.1-10.0 เฮิร์ตซ์ โดยการทดสอบที่ความถี่ต่ำแสดงถึงความแข็งแรงทนต่อการขัดของกาวที่ความเร็วการขัดต่ำ ๆ ในขณะที่การทดสอบที่ความถี่สูง แสดงถึงความทนต่อการขัดที่ความเร็วในการขัดสูง ๆ กาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทและพอลิเอไมด์มีค่ามอดูลัสสะสมเมื่อความถี่สูงขึ้น เนื่องจากที่ความถี่สูงเป็นการให้แรงกระทำแก่พอลิเมอร์ในระยะเวลาดัน ๆ ทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์ไม่มีเวลามากพอที่สายโซ่จะเกิดการคลายตัว กาวจึงมีสมบัติความเป็นของแข็งสูง ส่วนกาวพอลิยูรีเทนและพอลิเอสเทอร์ พบว่าเมื่อเพิ่มความถี่จาก 0.1 เป็น 1.0 เฮิร์ตซ์ ค่ามอดูลัสสะสมเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจนถึง 10.0 เฮิร์ตซ์ จะเห็นว่าค่ามอดูลัสสะสมลดลง อาจเป็นเพราะที่ความถี่สูง กาวไม่สามารถทนต่อแรงกระทำที่ให้ได้ โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์อาจถูกทำลาย นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่ามอดูลัสสะสมที่ความถี่ 1 เฮิร์ตซ์ ของกาวร้อนเหลวแต่ละชนิดกับปริมาณเอนทัลปีในการหลอมของกาวที่ผ่านการจำลองกระบวนการติดสไลด์เจอร์บารด์ (บ่งบอกปริมาณผลึกของกาวร้อนเหลว) พบว่ามีความสัมพันธ์กัน คือ เมื่อปริมาณเอนทัลปีในการหลอมของกาว

เพิ่มขึ้น ค่ามอดูลัสสะสมเพิ่มขึ้น ในขณะที่กาวพอลิเอสเทอร์เกิดการเพิ่มขึ้นของ T_g (glass transition temperature) จึงไม่เห็นเอนทัลปีในการหลอม



รูปที่ 8 มอดูลัสสะสม (storage modulus) ของกาวร้อนเหลวชนิดต่าง ๆ ที่ $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.2.2 การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการติดชิ้นงาน

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการยึดติดกาวเข้ากับชิ้นงาน คือ อุณหภูมิที่กาวอ่อนตัวลงจนสามารถดูดซับและครอบคลุมพื้นผิวชิ้นงานได้ดี โดยไม่เกิดการไหลเยิ้มออกจากชิ้นงาน ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมนี้สามารถพิจารณาได้จากความหนืดของกาวที่อุณหภูมิต่าง ๆ รวมถึงการทดสอบอุณหภูมิการยึดติดกาวด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด

- การเปรียบเทียบค่าความหนืดของกาวร้อนเหลวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีการใช้กาวร้อนเหลวพอลิยูรีเทนในการติดสไลด์เคอร์บาร์กับอุปกรณ์จับยึด โดยช่วงอุณหภูมิที่ใช้ติดสไลด์เคอร์บาร์ประมาณ $55 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยพบว่าอุณหภูมิ $55 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นอุณหภูมิที่กาวพอลิยูรีเทนเกิดการหลอมเหลวของผลึกเล็กน้อย โดยมีค่า

ความหนืดประมาณ 6×10^4 พาสคัล วินาที ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาหาความหนืดของกาวพอลิยูรีเทนที่อุณหภูมิ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ นำค่าความหนืดของกาวพอลิยูรีเทนที่ได้ไปเทียบหาอุณหภูมิของกาวร้อนเหลวชนิดอื่น ๆ ที่มีความหนืดใกล้เคียงกับกาวพอลิยูรีเทน พบว่าอุณหภูมิที่กาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท พอลิเอสเทอร์ และพอลิเอไมด์ มีค่าความหนืดประมาณ 6×10^4 พาสคัล วินาที คือ $65, 93$ และ $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ

- การทดสอบการขึ้นรูปแบบอัด (compression mold) เมื่อทดสอบหาอุณหภูมิในการติดชิ้นงานด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด (compression molding) พบว่าช่วงอุณหภูมิที่กาวร้อนเหลวแต่ละชนิดสามารถติดชิ้นงานได้ด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัดที่ความดัน 700 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยที่เนื้อกาวไม่ลื่นออกจากชิ้นงาน พบว่ามีค่าครอบคลุมช่วงอุณหภูมิที่กาวแต่ละชนิดมีความหนืดประมาณ 6×10^4 พาสคัล วินาที ดังตารางที่ 1 ในงานวิจัยนี้ได้เลือกอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละช่วงอุณหภูมิการติดชิ้นงาน สำหรับนำไปใช้ติดชิ้นงานจริง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงนั้นกาวจะมีความหนืดต่ำจึงสามารถไหลบนผิวหน้าวัสดุ (wetting) ได้ดี

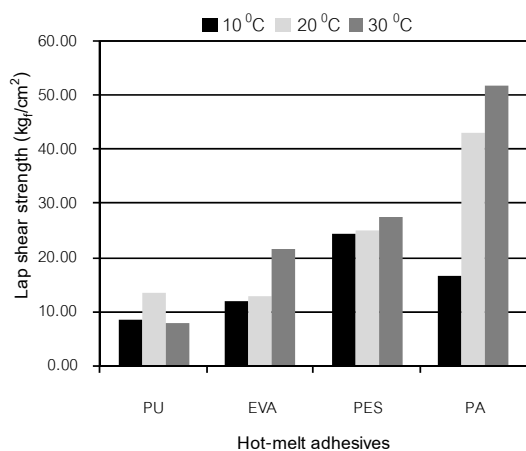
3.2.3 การทดสอบหาค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉือน (lap shear strength)

ความสามารถในการยึดติดของกาวร้อนเหลวแต่ละชนิด เมื่อวิเคราะห์จากค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉือน โดยผ่านการให้ความร้อนตามขั้นตอนการติดสไลด์เคอร์บาร์ และถูกทำให้เย็นตัวโดยการแช่ในน้ำที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

จากรูปที่ 9 ความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉือนของกาวร้อนเหลวที่อุณหภูมิในการเย็นตัวต่าง ๆ เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉือน (LS) ของกาวร้อนเหลวในแต่ละกลุ่ม โดย

ตารางที่ 1 อุณหภูมิของกาวร้อนเหลวชนิดต่าง ๆ ที่ความหนืดประมาณ 6×10^4 พาสคัล วินาที และช่วงอุณหภูมิที่กาวติดชิ้นงานด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด

ชนิดกาว	อุณหภูมิที่กาวมี $\eta = 6 \times 10^4$ พาสคัล วินาที ($^{\circ}\text{C}$)	ช่วงอุณหภูมิที่กาวสามารถติดชิ้นงานได้เมื่อความดันเท่ากับ 700 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิที่เลือกใช้ติดชิ้นงาน ($^{\circ}\text{C}$)
พอลิยูรีเทน	60	50 - 60	60
พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท	65	60 - 70	70
พอลิเอสเทอร์	93	90 - 120	120
พอลิเอไมด์	95	80 - 100	100



รูปที่ 9 ความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉียงของกาวร้อนเหลวที่ถูกทำให้เย็นที่อุณหภูมิในการเย็นตัวต่าง ๆ

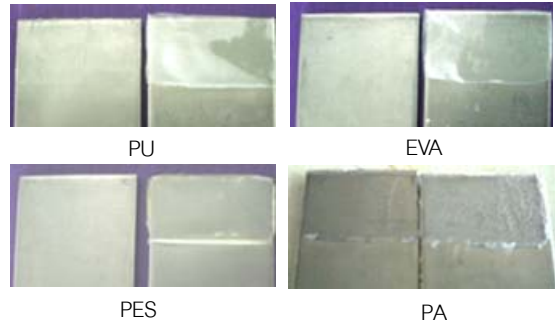
รวม จะเห็นว่ากาวพอลิเอไมด์มีความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉียงมากที่สุด รองลงมาคือกาวพอลิเอสเทอร์ ส่วนกาวพอลิยูรีเทนและพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉียงค่อนข้างต่ำ สอดคล้องกับค่าความเป็นกรดของกาว โดยเมื่อค่าความเป็นกรดของกาวสูงจะมีแนวโน้มที่กาวมีความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉียงมาก

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าเอนทัลปีของกาวร้อนเหลวแต่ละชนิด ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของเนื้อกาว พบว่าค่า ΔH_m ของกาวร้อนเหลวแต่ละชนิดที่ผ่านการจำลองกระบวนการดีสไคเดอร์บาร์ (เฉพาะส่วนผลึกที่เกิดขึ้นใหม่หลังการยึดติด) สอดคล้องกับค่า LS โดยเมื่อเอนทัลปีในการหลอมผลึกของกาวมีค่ามาก ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉียงของกาวสูง แสดงให้เห็นว่าสิ่งที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของกาวมีทั้ง adhesive strength และ cohesive strength ซึ่งค่าความเป็นกรดของกาวร้อนเหลวจะส่งผลต่อความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างกาวกับวัสดุ (adhesive strength) และปริมาณเอนทัลปีในการหลอมของกาว (ซึ่งแสดงถึงปริมาณผลึก) จะมีผลต่อความแข็งแรงของเนื้อกาว (cohesive strength)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิน้ำเย็นที่มีต่อความแข็งแรงของกาวต่อแรงดึงในแนวเฉียง จะเห็นว่าสำหรับกาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท พอลิเอสเทอร์ และพอลิเอไมด์ ความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉียงเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการทำให้กาวเย็นตัวเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของกาวกับอุณหภูมิของน้ำลดลง ทำ

ให้อุณหภูมิของกาวลดลงอย่างช้า ๆ ส่งผลให้สายโซ่พอลิเมอร์มีเวลาในการจัดเรียงตัวมากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้น้ำที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ปริมาณผลึกในโครงสร้างของกาวเกิดขึ้นได้มากกว่าที่อุณหภูมิในการเย็นตัวต่ำ ส่วนกาวพอลิยูรีเทน ซึ่งเกิดผลึกที่อุณหภูมิต่ำในช่วงประมาณ 10 - 20 °C (จากผลการทดสอบ DSC) จึงทำให้อุณหภูมิน้ำเย็นที่ 20 °C มีผลต่อความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉือนมากที่สุด

จากการทดสอบการดึงในแนวเฉือน (lap shear test) เมื่อดึงขึ้นงานออกจากกันในแนวเฉือนที่อุณหภูมิในการทำให้เย็นเท่ากับ 10, 20 และ 30 °C พบว่ากาวพอลิยูรีเทน พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท และพอลิเอสเทอร์ ลักษณะการหลุดร่อนของกาวเป็นแบบ adhesive failure โดยกาวยังคงเป็นเนื้อเดียวกัน และติดอยู่ที่ผิวหน้าวัสดุเพียงด้านเดียว ส่วนกาวพอลิเอไมด์ ลักษณะการหลุดร่อนของกาวเป็นแบบ cohesive failure ซึ่งเนื้อกาวเกิดการขาดออกจากกัน และติดอยู่บนผิวหน้าชิ้นงาน (substrate) ทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 10 โดยพบว่าลักษณะการหลุดร่อนของกาวสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด โดยกาวพอลิเอไมด์ ซึ่งมีค่าความเป็นกรดสูง เกิดการหลุดร่อนแบบ cohesive failure ในขณะที่กาวพอลิยูรีเทน ซึ่งมีค่าความเป็นกรดค่อนข้างต่ำ เกิดการหลุดร่อนแบบ adhesive failure ในขณะที่กาวพอลิเอสเทอร์มีค่าความเป็นกรดค่อนข้างสูง แต่กาวเกิดการหลุดร่อนแบบ adhesive failure อาจเป็นเพราะกาวเกิดพันธะเชื่อมขวางขึ้น เมื่อให้ความร้อนโดยการจำลองกระบวนการดิสโซลเวชัน ส่งผลให้กาวมีความแข็งแรงสูงยิ่งขึ้น ซึ่งความแข็งแรงของกาวอาจสูงกว่าความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างกาวกับวัสดุมีผลทำให้กาวพอลิเอสเทอร์เกิดการหลุดร่อนแบบ adhesive failure



รูปที่ 10 ลักษณะการหลุดร่อนของกาวร้อนเหลวที่อุณหภูมิในการทำให้เย็นเท่ากับ 20 °C

3.4 ความสามารถในการลอกออกของกาวร้อนเหลว

โดยมากการลอกกาวออกจากชิ้นงานมักทำได้ด้วยการให้ความร้อนและดึงแผ่นกาวออกด้วยคีมปากคีบ จากนั้นจึงล้างด้วยตัวทำละลายอีกรอบ เพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีเศษกาวติดค้าง งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการลอกออกของกาวทั้ง 2 ลักษณะ ดังนี้

3.4.1 โดยการให้ความร้อน (thermal debonding) จากการทดลองพบว่ากาวพอลิยูรีเทน พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท และพอลิเอสเทอร์สามารถแยกชิ้นงานออกจากกันด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 °C ซึ่งลักษณะกาวที่เหลืออยู่จะเป็นแบบ adhesive failure คือ กาวยังคงเป็นเนื้อเดียวกันและติดอยู่ที่ผิวหน้าวัสดุเพียงด้านเดียว ทำให้สามารถดึงกาวออกจากชิ้นงานด้วยคีมปากคีบได้ง่าย ในขณะที่กาวพอลิเอไมด์ เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 55 °C สามารถแยกชิ้นงานออกจากกันได้ แต่การลอกออกของกาวมีลักษณะเป็นแบบ cohesive failure ทำให้ยังคงมีเนื้อกาวติดอยู่บนชิ้นงานและลอกกาวออกจากชิ้นงานได้ยาก ซึ่งลักษณะการลอกออกของกาวทั้ง 4 ชนิด สอดคล้องกับลักษณะการหลุดร่อนของกาวจากการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉือน

3.4.2 โดยการใช้อัตว์ทำละลาย (solvent debonding) จากลักษณะของกาวที่หลุดออกจากชิ้นงานเมื่อแช่ในตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 30 °C ดังตารางที่ 2 จะเห็นว่าเมื่อแช่กาวที่ติดกาวพอลิยูรีเทนในอะซิโตนเป็นเวลา 20 นาที กาวจะเกิดการละลายและหลุดออกจากชิ้นงาน รวมทั้งเกิดการบวมตัว (swelling) และหลุดออกจากชิ้นงานเมื่อแช่ในโทลูอีนเป็นเวลา 10 นาที โดยกาวไม่เกิดการละลาย ส่วนกาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท สามารถหลุดออกจากชิ้นงานได้โดยกาวเกิดการบวมตัวเมื่อแช่ในอะซิโตนและเฮกเซนเป็นเวลา 20 และ 10 นาที ตามลำดับ แต่จะเกิดการละลายเมื่อแช่ในโทลูอีนเป็นเวลา 20 นาที ส่วนกาว PES เกิดการบวมตัวและหลุดออกจากชิ้นงานเมื่อแช่ชิ้นงานในอะซิโตนหรือโทลูอีน ในขณะที่กาวพอลิเอสเทอร์ไม่ละลายในตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด แม้จะแช่ชิ้นงานในตัวทำละลายเป็นเวลา 60 นาที ก็ตาม แต่เมื่อให้ความร้อนแก่ตัวทำละลายโทลูอีนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 10 นาที กาวพอลิเอไมด์ จึงเกิดการละลาย ซึ่งลักษณะการลอกออกของกาวโดยการบวมตัวเมื่อแช่ในตัวทำละลาย จะทำให้ได้ชิ้นงานที่สะอาดกว่ากาวที่ละลายในตัวทำละลาย เนื่องจากกาวที่ละลายในตัวทำละลายอาจปนเปื้อนชิ้นงานได้ [5]

เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การละลาย (solubility parameter, δ) ของพอลิเมอร์กับตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด [6] ดังตารางที่ 3 พบว่าความสามารถในการละลายหรือบวมตัวของกาวร้อนเหลวทั้ง 4 ชนิด ในตัวทำละลายต่าง ๆ ก่อนข้างจะสอดคล้องกับความใกล้เคียงกันระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การละลายของกาวพอลิเมอร์และตัวทำละลายนั้น ๆ

3.5 ประสิทธิภาพของกาวร้อนเหลวเมื่อนำไปใช้ในกระบวนการขัด

จากที่กล่าวมาแล้วว่า สมบัติของกาวร้อน

ตารางที่ 2 ลักษณะของกาวที่หลุดออกจากชิ้นงานเมื่อแช่ในตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 30 °C

ชนิดของกาว	ลักษณะของกาวที่หลุดออกจากชิ้นงานเมื่อแช่ในตัวทำละลายเป็นระยะเวลา (นาที)			
	อะซิโตน	เฮกเซน	IPA	โทลูอีน
PU	ละลาย (20)	ไม่ละลาย (60)	ไม่ละลาย (60)	บวมตัว (10)
EVA	บวมตัว (20)	บวมตัว (10)	ไม่ละลาย (60)	ละลาย (20)
PES	บวมตัว (30)	ไม่ละลาย (60)	ไม่ละลาย (60)	บวมตัว (15)
PA	ไม่ละลาย (60)	ไม่ละลาย (60)	ไม่ละลาย (60)	ละลาย (10)*

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การละลาย ของพอลิเมอร์และตัวทำละลาย

พอลิเมอร์	δ (MPa ^{1/2})	ตัวทำละลาย	δ (MPa ^{1/2})
Polyurethane (PU)	20.5	อะซิโตน	20.1
Poly (ethylene-vinyl acetate) (EVA)	18.6±0.9	เฮกเซน	14.9
Polyester (PES)	16-22	IPA	23.5
Polyamide (PA) (thermoplastics)	23.02	โทลูอีน	18.2

เหลวที่ใช้ในกระบวนการขัดสไลเดอร์บาร์ต้องทนต่อแรงทางกลและสารเคมี (diamond slurry and ethylene glycol) ที่ใช้ในระหว่างการขัดและเมื่อขัดชิ้นงานเสร็จแล้วกาวต้องสามารถลอกออกจากชิ้นงานได้ง่ายซึ่งจากผลการทดสอบสมบัติการยึดติดจากค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉือน (LS) การทดสอบ

ความต้านทานต่อสารละลายเอทิลีนไกลคอลและ
ความสามารถในการลอกออกของความร้อนเหลือทิ้ง 4
ชนิด คือ กาวพอลิยูรีเทน กาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิ
เตท กาวพอลิเอสเทอร์ และกาวพอลิเอไมด์ จะเห็นว่า
กาวพอลิยูรีเทน กาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท และ
กาวพอลิเอสเทอร์ สามารถลอกออกจากรันงานได้ง่าย
ทั้งวิธีการให้ความร้อนและการใช้ตัวทำละลาย ดังนั้น
จึงเลือกกาวพอลิยูรีเทน กาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิ
เตท และกาวพอลิเอสเทอร์ไปทดลองใช้ใน
กระบวนการขัดในโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 4 แสดงเวลาที่ใช้ในการขัดสไลเดอร์
บาร์ตั้งแต่เริ่มขัดจนกระทั่งได้สไลเดอร์บาร์ที่มีความ
หนาตามที่ต้องการ และความขรุขระของผิวสไลเดอร์
บาร์บริเวณ ABS (ABS Ra) และบริเวณ pole tip
(PTR) จะเห็นว่าในขั้นตอนการขัดหยาบของกาวพอลิ
ยูรีเทนใช้เวลาในการขัดสไลเดอร์บาร์น้อยที่สุด
(251.0 วินาที) ส่วนเวลาที่ใช้ขัดในขั้นตอนการขัด
ละเอียดพบว่ากาวพอลิเอสเทอร์ใช้เวลาในการขัดน้อย
ที่สุด ส่วนพื้นผิวของสไลเดอร์ที่บริเวณ ABS และ
บริเวณ pole tip ที่ผ่านการขัดแล้วดังตารางที่ 5 พบว่า
เมื่อใช้กาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทและกาวพอลิ
ยูรีเทน สไลเดอร์ที่ได้มีความขรุขระค่อนข้างต่ำ ส่วน

ตารางที่ 4 เวลาที่ใช้ในการขัดสไลเดอร์บาร์ (ขัด
หยาบและขัดละเอียด)

ชนิด กาว	Lap time ขัดหยาบ (วินาที)		Lap time ขัดละเอียด (วินาที)	
	Mean	SD	Mean	SD
EVA	656.5	321.8	99.8	32.6
PES	522.2	196.3	82.7	48.1
PU	251.0	48.5	105.7	17.8

ตารางที่ 5 ความขรุขระของผิวหน้า ABS Ra และ
Pole tip หลังจากการขัดละเอียด

ชนิด กาว	Lap time ขัดหยาบ (วินาที)		Lap time ขัดละเอียด (วินาที)	
	Mean	SD	Mean	SD
EVA	0.193	0.024	-0.454	0.606
PES	0.358	0.076	-0.969	2.066
PU	0.161	0.023	0.117	0.470

สไลเดอร์ที่ใช้กาวพอลิเอสเทอร์มีความขรุขระมาก

4. สรุป

ความร้อนเหลือสำหรับใช้ในกระบวนการขัด
สไลเดอร์บาร์ควรมีความแข็งแรงในการยึดติดสูง
และสามารถลอกออกจากรันงานได้ง่าย จากการศึกษา
ประสิทธิภาพการยึดติดและการลอกออกของความร้อน
เหลือทิ้ง 4 ชนิด พบว่ากาวพอลิเอไมด์มีค่าความ
แข็งแรงต่อแรงดึงในแนวเฉือน (LS) สูงที่สุด โดย
สภาวะการลดอุณหภูมิของความร้อนเหลือหลังการยึด
ติดส่งผลต่อค่า LS อย่างมีนัยสำคัญ โดยอุณหภูมิที่
เหมาะสมคือช่วงอุณหภูมิที่ทำให้กาวเกิดผลึกขึ้นได้
มาก ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณผลึกและความเป็นกรดของ
กาวสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงใน
แนวเฉือนเพิ่มขึ้น ในส่วนของการลอกกาวออกจาก
รันงานพบว่ากาวพอลิยูรีเทน กาวพอลิเอทิลีนไวนิล
อะซิเตท และกาวพอลิเอสเทอร์สามารถลอกกาวออก
จากรันงานได้ง่าย ทั้งวิธีการให้ความร้อนหรือการใช้
ตัวทำละลาย ในขณะที่กาวพอลิยูรีเทนไม่สามารถ
ลอกออกได้ง่ายด้วยวิธีการให้ความร้อนหรือการใช้ตัว
ทำละลาย

ดังนั้นความร้อนเหลือที่เหมาะสมสำหรับ

กระบวนการขัดสไลด์เตอร์บาร์ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือกาวพอลิยูรีเทน กาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท และกาวพอลิเอสเทอร์ อย่างไรก็ตามจากการทดสอบการใช้งานในกระบวนการขัดเบื้องต้น พบว่าการขัดสไลด์เตอร์บาร์โดยใช้กาวพอลิยูรีเทนและกาวพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทจะได้สไลด์เตอร์บาร์ที่มีความเรียบดีกว่าใช้กาวพอลิเอสเทอร์ เนื่องจากกาวมีค่าความแข็งสูง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเค้น (stress) สูงในขั้นตอนการขัด ทำให้สไลด์เตอร์บาร์ที่ได้ไม่เรียบ ดังนั้นนอกจากสมบัติความแข็งของกาวแล้ว ความยืดหยุ่นของกาวเป็นสิ่งที่น่าศึกษาวิจัยในอนาคตต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจากศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านการผลิตขั้นสูงในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Stauffer, D. and Puletti, P., 1993, Hot Melt Adhesives Useful in Temporary Bonding Operations, US Patent No. 5,256,717.

- [2] Puligadda, R., Pillalamarri, S., Hong, W., Brubaker, C. and Wimplinger, M., 2007, High-Performance Temporary Adhesive for Wafer Bonding Applications, Available Source: <http://www.brewerscience.com/uploads/publication/2007/Puligaddaetal2007.pdf>, March, 2012.
- [3] ASTM D 1994-95, Reapproved 2000, Standard Test Method for Determination of Acid Numbers of Hot-Melt Adhesives.
- [4] ASTM D1002- Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal).
- [5] Gilleo, K., Kerrick, N. and Nicholls, G., (n.d.), Materials and Processes for MR and GMR Heads and Assemblies, Available Source: http://www.et_tren.com/files/HDD-heads1.pdf, July, 2011.
- [6] Grulke, E.A., 1999, Solubility Parameter Values, pp. 683-711, In Brandrup, J., Immergut, E.H. and Grulke, E.A. (Eds.), Polymer Handbook, 4th Ed, John Wiley and Sons, Canada.