

วิธีเพิ่มระยะเวลาทำงานของกาวยีพอกซี

Method for Working-life Enhancement of Epoxy-based Adhesive

ชลธิชา วโรกร^{1*} และ อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์²

¹นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

²รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

บทคัดย่อ

กาวยีนิดบรรจุกัณฑ์เดี่ยว (one-part adhesive) ที่มีระยะเวลาทำงานนานและสามารถบ่มได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิกระบวนการเป็นสิ่งที่ต้องการในอุตสาหกรรม เนื่องจากทำให้กระบวนการประกอบง่ายขึ้น ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีในการเพิ่มระยะเวลาทำงานของกาวยีพอกซีที่ใช้แอนไฮไดรด์เป็นสารบ่ม ซึ่งเป็นกาวยที่ใช้เป็นวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ทำการศึกษาโดยปรับขั้นตอนในการผสมกาวยเพื่อลดเวลาในการผสมและหาส่วนประกอบในกาวยที่มีผลทำให้ความหนืดของกาวยเพิ่มขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ผลการศึกษพบว่าระยะเวลาทำงานของกาวยเพิ่มขึ้นจากประมาณ 2 ชั่วโมงเป็น 6 ชั่วโมง ได้โดยการลดเวลาในการผสม การกำจัดความชื้นในสารตัวเติม และการลดปริมาณฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์ในเนื้อกาวย นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์มีผลต่อสมบัติเชิงกลทางความร้อนของกาวยอีกด้วย ระยะเวลาที่ยังทำงานได้ของกาวยและค่าสมบัติเชิงกลทางความร้อนศึกษาโดยใช้เทคนิครีโอโลยี และการวิเคราะห์สมบัติทางกลเชิงไดนามิกตามลำดับ

Abstract

For one-part adhesive systems, a long working-life adhesive, which can be cured rapidly at processing temperature, is required in industrial applications because it provides assembly process versatility. The aim of this research was to study the methods for extending the working-life of an epoxy-based adhesive with anhydride curing agent. This adhesive formulation is used as an underfill material in electronic industry. The scope of this study was divided into two parts: 1) modification of adhesive formulation process, 2) determination of the component in adhesive which causes the adhesive viscosity increased at ambient temperature. The results showed that the adhesive working-life extended from 2 hours to 6 hours with reducing formulation process time, removing the moisture in filler and reducing fluxing precursor loading in adhesive. In addition, the fluxing precursor loading also affects the thermo-mechanical properties of adhesive. For characterization, the working-life and thermo-mechanical properties of this formulation were investigated using rheological technique and dynamic mechanical analysis (DMA), respectively.

คำสำคัญ : กาวยีพอกซี ระยะเวลาทำงาน กระแสวิทยา สมบัติเชิงกลทางความร้อน

Keywords : epoxy adhesive, working-life, rheology, thermo-mechanical property

*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ cholthicha_varokorn@hotmail.com โทร. 08 4180 8596

1. บทนำ

ฟลิปชิป (flip-chip) เป็นเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น ไมโครโปรเซสเซอร์ ฮาร์ดดิส เป็นต้น และเพื่อยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์จึงมีการเติมวัสดุอันเดอร์ฟิลล์ (underfill material) ลงในช่องว่างระหว่างไอซีชิป (IC chip) กับแผ่นรอง (substrate) ซึ่งยึดกันไว้ด้วยโลหะบัดกรี วัสดุอันเดอร์ฟิลล์นี้จะทำหน้าที่เป็นตัวรับความเครียดที่เกิดขึ้นและยังช่วยปกป้องโลหะบัดกรีจากสภาพแวดล้อมด้วย (Lau 1994) ในกระบวนการผลิตฟลิปชิปต้องการกาวชนิดบรรจุภัณฑ์เดียว (one-part adhesive) ที่มีระยะเวลาทำงาน (working-life) นาน เนื่องจากกาวจะถูกฉีดผ่านเข็มฉีดยา นอกจากนี้กาวที่มีความหนืดสูงสามารถทำให้เกิดช่องว่าง (voids) ในเนื้องานด้วย (Wang 2002) ดังนั้นจึงต้องรักษาระดับความหนืดของกาวไม่ให้สูงเกินไป โดยปกติองค์ประกอบในกาวชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวสามารถทำปฏิกิริยากันทำให้ความหนืดของกาวเพิ่มขึ้นได้เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในขณะที่รอใช้งานจนกระทั่ง ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนากาวที่มีระยะเวลายาวนานก่อนที่ความหนืดจะเพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าที่กำหนดไว้ หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งคือกาวที่มีระยะเวลาทำงานนานนั่นเอง

หลายวิธีถูกนำมาใช้ในการยืดระยะเวลาทำงานของกาวชนิดบรรจุภัณฑ์เดียว ยกตัวอย่างเช่น การใช้สารบ่ม dicyandiamide ซึ่งไวต่อปฏิกิริยาน้อยเพราะเป็นของแข็งและแทบจะไม่ละลายในอีพอกซีที่อุณหภูมิห้อง (Son and Weber 1973; Liu, Zhao et al. 2013) การเติม episulfide ลงในระบบเพื่อแย่งทำปฏิกิริยากับเอมีนทำให้อีพอกซีไม่สามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายได้ (Tsuchida and Bell 2000) การเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เสถียรที่อุณหภูมิห้อง (Lejun and Wong 1999) และการหุ้มองค์ประกอบที่ไวต่อปฏิกิริยาไว้ด้วยผนังที่มีค่าการซึมผ่านน้อยหรือการกักเก็บไว้ในวัสดุที่มีรูพรุน (Ham, Lee et al. 2010) อย่างไรก็ตามการใช้วิธีต่างๆ ที่กล่าวมานั้นล้วนส่งผลต่อจลนศาสตร์การบ่มและสมบัติหลังการบ่มของกาวค่อนข้างมาก และโดยทั่วไปนิยมใช้การอีพอกซีที่มีแอนไฮไดรด์เป็นสารบ่มเป็นวัสดุอันเดอร์ฟิลล์ซึ่งเป็นระบบที่ผู้วิจัยสนใจ วิธีข้างต้นจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะเพิ่มระยะเวลาทำงานของกาวอีพอกซีสูตรเดิมนี้นี้ด้วยวิธีอย่างง่าย ขณะที่ยังคงองค์ประกอบของกาวและสมบัติอื่นหลังการบ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งโมดูลัสความยืดหยุ่นและอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วยังคงสามารถนำไปใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมได้

เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือ การเพิ่มระยะเวลาทำงานของกาวจากค่าเดิมซึ่งน้อยกว่า 2 ชั่วโมง ให้มีค่าเป็น 6 ชั่วโมง ระยะเวลาทำงานในงานวิจัยนี้หมายถึง ระยะเวลาที่ความหนืดของกาวเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นหลังผสมเสร็จจนมีค่าเท่ากับ 8 ปาสคาล.วินาที ซึ่งค่านี้กำหนดจากความหนืดที่ยังสามารถนำไปใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมที่ผู้วิจัยสนใจได้ การศึกษาวิธีในการเพิ่มระยะเวลาทำงานของกาวอันเดอร์ฟิลล์นี้ทำการทดลองโดยปรับลดเวลาในการผสมกาวเพื่อลดเวลาที่กาวสัมผัสกับบรรยากาศที่อุณหภูมิห้อง และทำการศึกษาองค์ประกอบในกาวที่ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งองค์ประกอบหลักที่สนใจ คือ ความชื้นในสารตัวเติม และฟลักซ์ ฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์ (fluxing precursor) เนื่องจากคาดว่าความชื้นและฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิลสามารถเร่งให้สารบ่มแอนไฮไดรด์และอีพอกซีเกิดปฏิกิริยาเป็นโครงสร้างตาข่ายได้ (Petrie 2006)

2. วิธีการทดลอง

2.1 สารเคมีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ใช้อีพอกซีเรซิน (epoxy resin) สารบ่มกลุ่มแอนไฮไดรด์ (anhydride curing agent) และตัวเร่งปฏิกิริยากลุ่มโลหะ (metal catalyst) นอกจากนี้ยังมีการเติมฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์ซึ่งเป็น สารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิล และโซ่อนุภาคนาโนเป็นสารตัวเติม (filler) เพื่อเสริมสมบัติเชิงกลทางความร้อนของกาว

2.2 วิธีการศึกษาและทดลอง

2.2.1 การเตรียมตัวอย่างกาว

2.2.1.1 กระบวนการเดิม

ผสมตัวเร่งปฏิกิริยาและสารบ่มที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติมสารตัวเติม ปั่นกวน 15 นาที ตามด้วยการใช้คลื่นเสียง (ultrasonication) อีก 1 ชม. เพื่อให้สารตัวเติมกระจายตัวทั่วสารละลาย จากนั้นเติมอีพอกซีมอนอเมอร์และฟลักซ์ฟริคอร์เซอร์ลงไป แล้วปั่นกวนพร้อมกับดึงสุญญากาศ 1 ชม. สุดท้ายนำกาวที่ได้ไปดึงสุญญากาศด้วยความเร็วสูง (high speed vacuum) เป็นเวลา 1 ชม. เพื่อกำจัดฟองอากาศที่หลงเหลืออยู่

2.2.1.2 กระบวนการที่ลดเวลาในการผสมลง

ขั้นตอนที่ใช้เป็นเช่นเดียวกับในหัวข้อ 2.2.1.1 ยกเว้นมีการลดเวลาของ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การใช้คลื่นเสียงเหลือเพียง 20 นาที การปั่นกวนพร้อมดึงสุญญากาศ 30 นาที และการดึงสุญญากาศด้วยความเร็วสูง 30 นาที เวลาที่เลือกใช้ในขั้นตอนเหล่านี้กำหนดจากการกระจายตัวของสารตัวเติม ความเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของสาร และฟองอากาศที่หลงเหลืออยู่ในเนื้อกาว ยืนยันโดยใช้การสังเกตด้วยตาและการวิเคราะห์ค่าสมบัติเชิงกลทางความร้อน

สำหรับการวิเคราะห์สมบัติการไหล ใช้ตัวอย่างกาวที่เป็นของเหลวและวิเคราะห์ทันทีหลังจากเสร็จการผสมด้วยวิธีข้างต้น (หัวข้อ 2.2.1.2) สำหรับการวิเคราะห์สมบัติอื่น ตัวอย่างชิ้นงานกาวได้มาจากการบ่มกาวเหลวที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นอย่างช้าๆ มายังอุณหภูมิห้อง

2.2.2 วิธีการวัดวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้ระยะเวลาทำงานของตัวอย่างกำหนดจากระยะเวลาที่ความหนืดของกาวเพิ่มขึ้นจากความหนืดเริ่มต้นไปจนมีค่าเท่ากับ 8 ปาสคาลวินาที ซึ่งเป็นค่าความหนืดสูงสุดที่สามารถนำกาวไปใช้งานในกระบวนการของโรงงานได้ การวัดสมบัติการไหลเพื่อหาระยะเวลาทำงานของกาววิเคราะห์ด้วยเครื่อง rheometer model AR-G2 ของบริษัท TA instruments ใช้เพลทขนาน (parallel plate) ขนาด 25 มม. โดยตั้งค่าเครื่องมือดังนี้ ระยะห่างระหว่างเพลทบนและล่าง 1000 ไมโครเมตร ความถี่ 1 เฮิรตซ์ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และอัตราการเฉือน (shear rate) คงที่เท่ากับ 0.5 วินาที⁻¹

สมบัติเชิงกลทางความร้อนของชิ้นงานกาววิเคราะห์โดยใช้เครื่อง dynamic mechanical analysis (DMA) ของบริษัท Perkin Elmer ที่อุณหภูมิ 30 – 250 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที และความถี่ 1 เฮิรตซ์ เพื่อหาค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) storage modulus (G') และ loss modulus (G'')

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการผสมกาว

จากการทดลองลดเวลาในการผสมกาวลงตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2.1 พบว่าสามารถลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการผสมลงได้ทั้งหมด 1 ชม. 40 นาที ซึ่งเวลาที่ใช้ในการผสมที่ลดลงนี้หมายความว่า สามารถลดระยะเวลาที่กาวสัมผัสกับสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิห้องลงได้ และเนื่องจากปฏิกิริยาการบ่มของกาวสามารถเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิห้อง ส่งผลให้ความหนืดค่อยๆ เพิ่มขึ้น ดังนั้นการลดเวลาในการผสมจึงช่วยให้ความหนืดเริ่มต้นของกาวหลังผสมเสร็จมีค่าน้อยลง

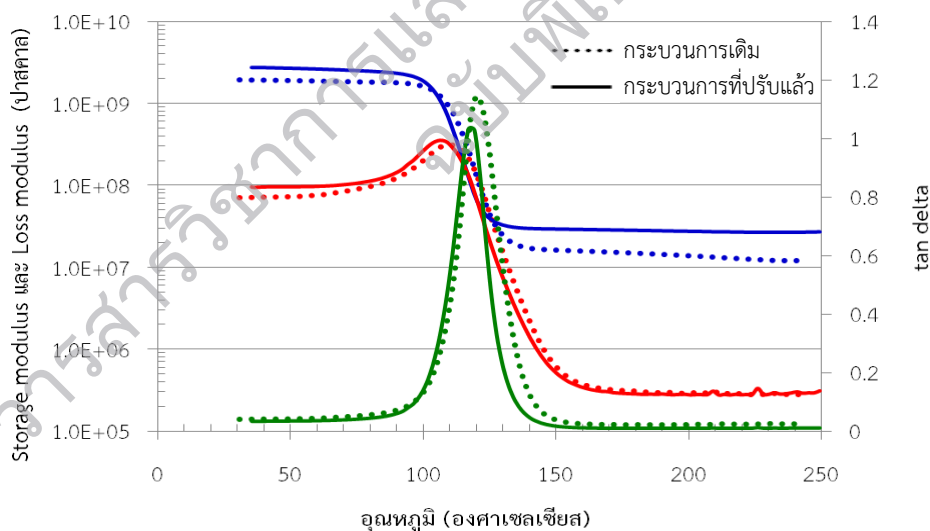
อย่างไรก็ตาม การปรับลดเวลาในขั้นตอนต่างๆ ได้คำนึงถึง

- การกระจายตัวของสารตัวเติม : ถ้าเวลาในขั้นตอนการใช้คลื่นเสียงน้อยเกินไป จะทำให้สารตัวเติมที่รวมตัวกันไม่กระจายออก มีผลทำให้ค่าสมบัติเชิงกลของชิ้นงานกาวมีค่าลดลงได้

- ความเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของสาร : เวลาที่ใช้ในขั้นตอนการปั่นกวนพร้อมดึงสุญญากาศต้องเพียงพอที่จะทำให้สารเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน อีกทั้งในขั้นตอนนี้ยังเป็นการช่วยลดฟองอากาศลงบางส่วนด้วย

- ฟองอากาศที่หลงเหลืออยู่ : การดึงสุญญากาศด้วยความเร็วสูงซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผสม เป็นสิ่งที่จำเป็น เพราะถ้าดึงฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการปั่นกวนสารออกจากภาชนะไม่หมด เมื่อนำภาชนะไปใช้งาน อาจทำให้เกิดช่องว่างของโพรงอากาศอยู่ภายในภาชนะที่บ่มแล้วส่งผลให้สมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนตกลง นอกจากนี้ ฟองอากาศยังส่งผลต่อข้อมูลความหนืดของตัวอย่างอีกด้วย กล่าวคือ ฟองอากาศทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานการไหล ความหนืดของภาชนะที่มีฟองอากาศจึงวัดได้สูงกว่าภาชนะที่ไม่มีฟองอากาศ

ปัจจัยที่พิจารณาเหล่านั้น วิเคราะห์จากการสังเกตด้วยตา และค่าสมบัติเชิงกลทางความร้อนดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งค่าสมบัติที่ได้จากกระบวนการเดิมเป็นค่าที่ผ่านการทดสอบจากทางอุตสาหกรรมแล้วว่าสามารถนำไปใช้งานได้จริง จากรูปจะเห็นว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นในช่วงอุณหภูมิที่กาวมีสถานะคล้ายแก้วของกาวที่ผสมด้วยกระบวนการที่ปรับลดเวลาในการผสมลงมีค่าใกล้เคียงกับกาวจากกระบวนการเดิม และยังคงมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีเนื่องจาก เส้นกราฟในช่วงนี้มีความชันน้อยมาก สำหรับในช่วงอุณหภูมิที่กาวมีสถานะคล้ายยาง ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของกาวจากกระบวนการที่ปรับแล้วมีค่ามากกว่ากาวจากกระบวนการเดิม แสดงว่าการปรับลดเวลาในการผสมทำให้ได้กาวที่มีโครงสร้างตาข่ายมากขึ้นหลังการบ่ม ซึ่งสอดคล้องกับความสูงของเส้นกราฟ $\tan \delta$ ที่ลดลงด้วย สาเหตุอาจมาจาก กาวจากกระบวนการเดิมเกิดการบ่มที่อุณหภูมิห้องไปบางส่วนแล้วจึงได้สมบัติหลังการบ่มที่แตกต่างกัน นอกจากนี้จาก เส้นกราฟ $\tan \delta$ อ่านค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g^{DMA}) ของกาวจากกระบวนการเดิมและจาก กระบวนการใหม่มีค่าใกล้เคียงกันคือเท่ากับ 120.2 และ 117.2 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อพิจารณาความกว้างพีกของเส้นกราฟ $\tan \delta$ ณ ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความสูง พบว่า กาวจากกระบวนการใหม่มีความกว้างพีกน้อยกว่า หรือคือกาวมีความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวมากขึ้นนั่นเอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเวลาในการตกตะกอนของสารตัวเติมลดน้อยลง ดังนั้นจากผลที่ได้สรุปได้ว่าสามารถลดเวลาในการผสมกาวลงได้

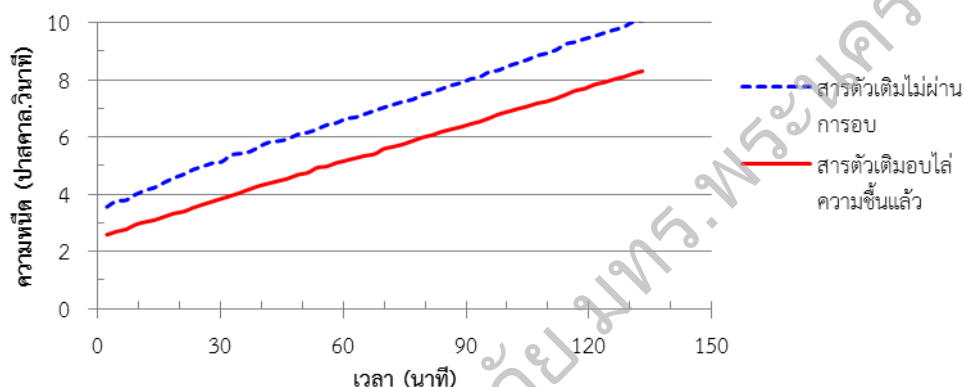


รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมบัติเชิงกลทางความร้อนกับอุณหภูมิ วัดด้วยเครื่อง DMA

3.2 ผลของความชื้นที่มีอยู่ในสารตัวเติม

จากการวัดสมบัติการไหลของกาวที่ใส่สารตัวเติมซึ่งไม่ผ่านการอบไล่ความชื้นเปรียบเทียบกับกาวที่ใส่สารตัวเติมที่อบด้วยอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 10 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 2 พบว่า แม้อัตราการเพิ่มขึ้นของความหนืดเทียบกับเวลา (ความชันของกราฟ) ของกาวทั้งสองสูตรจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่กาวที่ใส่สารตัวเติมที่อบไล่ความชื้นแล้วมีค่าความหนืดเริ่มต้นต่ำกว่า ดังนั้นจึงมีระยะเวลาทำงานของกาวยาวนานกว่า

ความชื้นที่อยู่บนผิวของสารตัวเติมมีผลทำให้ความหนืดเริ่มต้นของกาวสูงขึ้น คาดว่าเนื่องจากความชื้นอาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับแอนไฮไดรด์ซึ่งใช้เป็นสารบ่ม ทำให้แอนไฮไดรด์เปลี่ยนมาอยู่ในรูปของกรด มีความไวต่อปฏิกิริยามากขึ้น จึงส่งผลต่อระยะเวลาทำงานของกาว (Petrie 2006)

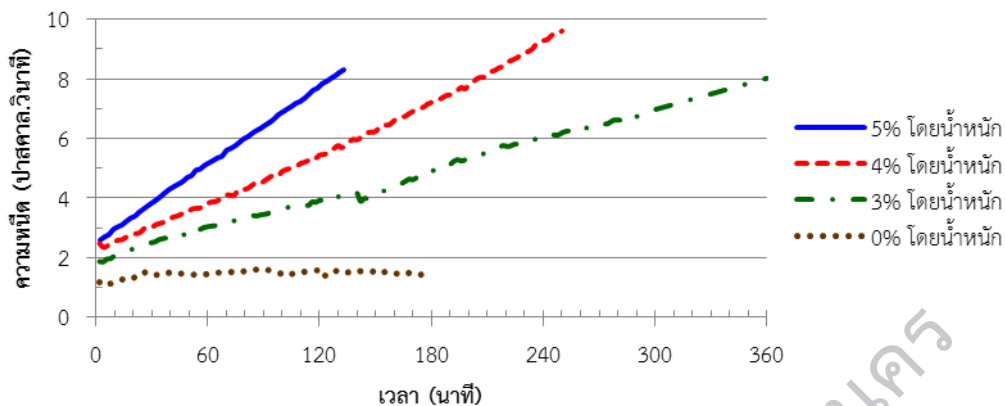


รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับเวลา สำหรับกาวที่ใส่สารตัวเติมซึ่งไม่ผ่านการอบและกาวที่ใส่สารตัวเติมที่ผ่านการอบไล่ความชื้น วัดด้วยเครื่อง rheometer (การผสมกาวใช้กระบวนการที่ปรับลดเวลาผสมแล้ว)

3.3 ผลของปริมาณฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์

จากการทดลองผสมกาวโดยเติมฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์ในปริมาณที่ต่างกัน ได้แก่ 0, 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์ต่อน้ำหนักรวมของอีพอกซีและสารบ่มแอนไฮไดรด์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3, 5 และตารางที่ 1

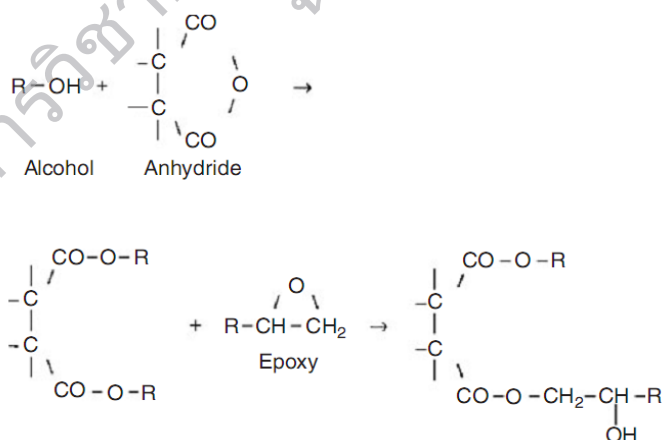
ผลการวิเคราะห์สมบัติการไหลพบว่า เมื่อความเข้มข้นของฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์สูงขึ้นจะทำให้กาวมีระยะเวลาทำงานสั้นลง คาดว่ามีสาเหตุเนื่องจาก ฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์ที่ใช้เป็น polyol มีความสามารถในการกักโมเลกุลของน้ำจากสิ่งแวดล้อม และปฏิกิริยาการบ่มที่ใช้แอนไฮไดรด์ถูกเร่งได้ด้วยหมู่ไฮดรอกซิลและน้ำนั่นเอง ปฏิกิริยาดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4 อย่างไรก็ตามสาเหตุหลักที่ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อดังกล่าวทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องดังแสดงในรูปที่ 3 น่าจะมาจากหมู่ไฮดรอกซิลที่ปลายของ polyol ไวพอลที่จะเกิดปฏิกิริยากับแอนไฮไดรด์และทำปฏิกิริยาต่อเนื่องได้เป็นพอลิเอสเตอร์โดยตรง(Carraher) กล่าวคือเมื่อมีสายโซ่พอลิเมอร์ที่ยาวขึ้นจึงทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและระยะเวลาทำงานสั้นลง



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับเวลา วัดด้วยเครื่อง rheometer สำหรับกาวที่มีฟลักซ์พีรีคอร์เซอร์เข้มข้น 0, 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ใช้สารตัวเติมซึ่งบ่งชี้ความชื้นและกระบวนการผสมที่ปรับลดเวลาในการผสมแล้ว

ตารางที่ 1 สรุปสมบัติการไหลของกาวอันเดอร์ฟิลล์ที่ผสมด้วยกระบวนการซึ่งปรับลดเวลาในการผสมลงแล้ว

ตัวอย่างกาว		ความหนืดเริ่มต้น (ปาสคาล.วินาที)	ระยะเวลาที่ยังทำงานได้ (นาที)
สารตัวเติมที่ใช้	ปริมาณฟลักซ์พีรีคอร์เซอร์ (%โดยน้ำหนัก)		
มีความชื้นในสารตัวเติม	5	3,516	91
ไม่มีความชื้นในสารตัวเติม	5	2,587	126
	4	2,481	206
	3	1,870	360
	0	1,176	มากกว่า 24 ชั่วโมง

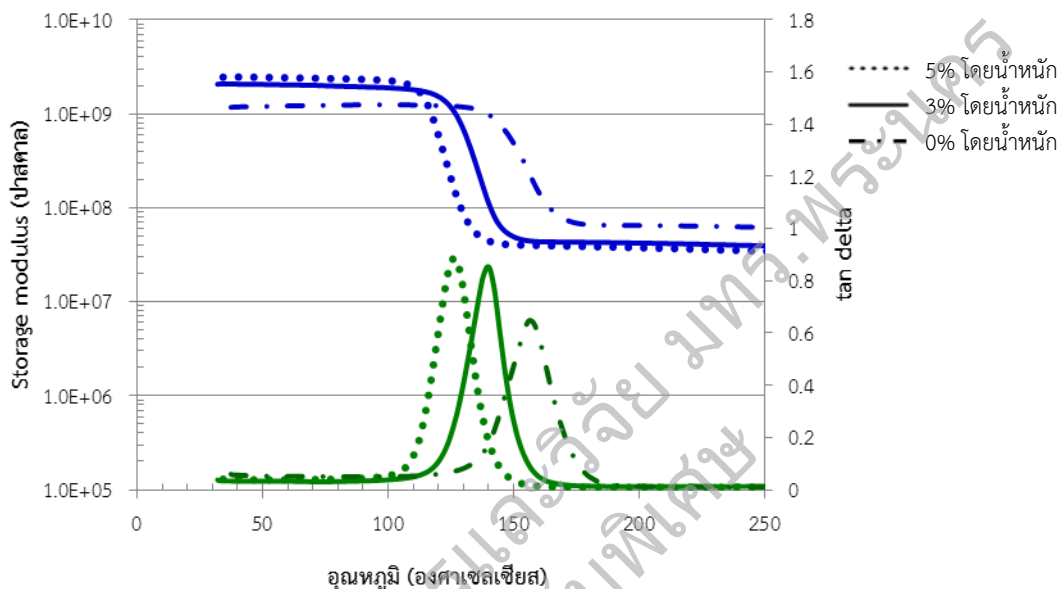


รูปที่ 4 ปฏิกิริยาการบ่มของแอนไฮไดรด์กับอีพอกซีเรซิน (Petrie 2006)

ถึงแม้ว่าการไม่ใส่ฟลักซ์พีรีคอร์เซอร์จะทำให้ความหนืดของกาวมีความเสถียร แต่ในการใช้งานจริงต้องใส่ฟลักซ์พีรีคอร์เซอร์เพื่อทำปฏิกิริยากับ แอนไฮไดรด์กลายเป็นสารชะโลหะออกไซด์ (fluxing agent) ความเป็นกรดของสารชะโลหะออกไซด์นี้สามารถทำให้ระยะเวลาทำงานสั้นลง (Benson, Farrar et al. 2008) แต่ยังเป็นสิ่งที่จำเป็น

สำหรับกาที่ใช้เป็นวัสดุอินเตอร์ฟิลล์เพื่อทำหน้าที่กักจัดโลหะออกไซด์บนโลหะบัดกรี และช่วยในการไหลของโลหะบัดกรีทำให้การเชื่อมต่อนี้ระหว่างไอซีชิปและแผ่นรองดีขึ้น(Wong and Shi 2001; Li-Rong, Sawicki et al. 2006)

ฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์นอกจากจะมีผลต่อระยะเวลาทำงานของกาวแล้ว ยังมีผลต่อค่าสมบัติเชิงกลทางความร้อนของกาวที่บ่มแล้วอีกด้วย ผลของปริมาณ ฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์ที่มีต่อสมบัติหลังการบ่มของกาวแสดงในรูปที่ 5 จะเห็นว่า เมื่อปริมาณของฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์มากขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นของโครงสร้างร่างแหและค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดลง เนื่องจากฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์มีสมบัติความเป็นพลาสติกไซเซอร์ด้วย ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ลดลงนี้หมายถึงว่า อุณหภูมิสูงสุดที่จะสามารถนำกาวไปใช้งานได้มีค่าต่ำลง



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมบัติเชิงกลทางความร้อนกับอุณหภูมิ วัดด้วยเครื่อง DMA สำหรับกาที่มี ความเข้มข้นของฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์ 0, 3, และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักรวมของอีพอกซีและสาร บ่มแอนไฮไดรด์ ทั้งนี้ใช้สารตัวเติมซึ่งบ่งชี้ความชื้นและกระบวนการผสมที่ปรับลดเวลาในการผสมแล้ว

4. สรุป

ระยะเวลาทำงานของกาวอินเตอร์ฟิลล์สามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการปรับลดเวลาในการผสมกาว อบไล่ความชื้น ในสารตัวเติม และการลดปริมาณของ ฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์ในกาว โดยความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของฟลักซ์ พรีเคอร์เซอร์ต่อน้ำหนักรวมของอีพอกซีและสารบ่มแอนไฮไดรด์เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งต้องการ ระยะเวลาทำงาน 6 ชั่วโมง กำหนดจากค่าความหนืดสูงสุดไม่เกิน 8 ปาสคาล.วินาที นอกจากนี้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ในช่วงอุณหภูมิที่กาวมีสถานะคล้ายแก้วจะมีค่าลดน้อยลง เมื่อความเข้มข้นของฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์ลดลง ขณะที่ค่า อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของฟลักซ์พรีเคอร์เซอร์ลดลง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิจัยจากบริษัท เม็กเท็ค แมนูแฟคเจอร์ริง คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด

6. เอกสารอ้างอิง

- Benson, R. C., D. Farrar, et al. 2008. "Polymer Adhesives and Encapsulants for Microelectronic Applications." **Johns Hopkins Apl Technical Digest** 28: 58-71.
- Carraher, C. E. "Polyesters." from <http://www.chemistryexplained.com/Pl-Pr/Polyesters.html>.
- Ham, Y. R., D. H. Lee, et al. 2010. "Microencapsulation of imidazole curing agent for epoxy resin." **Journal of Industrial and Engineering Chemistry** 16(5): 728-733.
- Lau, J. H. (1994). **Chip on board: Technology for multichip modules**. New York, Chapman & Hall: 504 - 528.
- Lejun, W. and C. P. Wong 1999. **Studies of latent catalyst systems for pot-life enhancement of underfills**. Advanced Packaging Materials: Processes, Properties and Interfaces, 1999. Proceedings.
- Li-Rong, B., I. Sawicki, et al. 2006. **No flow underfill with novel fluxes**. Electronic Components and Technology Conference, 2006. Proceedings. 56th.
- Liu, X. D., C. H. Zhao, et al. 2013. "Storage stability and curing behavior of epoxy-dicyandiamide systems with carbonyldiimidazole-Cu (II) complexes as the accelerator." **Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry** 51(16): 3470-3476.
- Petrie, E. M. (2006). **Epoxy adhesive formulations**. United States, McGraw-Hill.
- Son, P.-N. and C. D. Weber 1973. "Some aspects of monuron-accelerated dicyandiamide cure of epoxy resins." **Journal of Applied Polymer Science** 17(5): 1305-1313.
- Tsuchida, K. and J. P. Bell 2000. "A new epoxy/episulfide resin system for electronic applications — 2: pot life and prepreg storage life evaluation." **Journal of Adhesion Science and Technology** 14(12): 1515-1526.
- Wang, T. 2002. Fluxing adhesive. United states, Advanpack Solutions Pte Ltd.
- Wong, C.-P. and S.-H. Shi 2001. No-flow underfill of epoxy resin, anhydride, fluxing agent and surfactant. United States, Georgia Tech Research Corporation.