

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ปัจจัยทางเครื่องที่มีผลต่อรอยผืนึก

การปิดผืนึกที่ล้มด้วยความร้อนจะต้องควบคุมภาวะของเครื่องปิดผืนึก 3 ประการด้วยกัน คือ อุณหภูมิ ความดัน และเวลา โดยอุณหภูมิที่คงไว้จะเป็นแหล่งให้ความร้อนแก่สารปิดผืนึก ให้สารปิดผืนึกเกิดการหลอมและไหลได้ ความดันจะช่วยให้อุณหภูมิที่หลอมแล้วมาสัมผัสกันที่ผิวสัมผัสได้มากขึ้น ต่อจากนั้นจึงต้องการเวลาที่จะทำให้สารปิดผืนึกที่เข้ามาใกล้ชิดกันนั้นเกิดการแลกเปลี่ยนสสารโซโม่เลกุลระหว่างกันหรือเกิดการเกี่ยวพันกันขึ้น เพื่อให้เกิดขึ้นระที่ที่ล้มจะยึดติดกันได้ นอกจากนี้ความร้อนที่ให้แก่สารปิดผืนึกจะมาจากการถ่ายเทความร้อนจากแท่งปิดผืนึกผ่านวัสดุหลักเข้าสู่สารปิดผืนึก มิใช่การให้ความร้อนแก่สารปิดผืนึกโดยตรง ดังนั้นจึงต้องการเวลาที่จะช่วยให้ความร้อนที่ถ่ายเทจากแท่งปิดผืนึกมาสู่สารปิดผืนึกให้มีความร้อนถึงจุดที่สารปิดผืนึกจะเกิดการหลอมเหลวได้ หรือให้ถึงอุณหภูมิที่คงไว้ในแท่งปิดผืนึก

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิและเวลาในการปิดผืนึกจะมีผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยผืนึก แต่ความดันในช่วง 0.5 ถึง 3.5 บาร์ จะมีผลต่อความแข็งแรงของรอยผืนึกน้อยมาก ค่าความแข็งแรงของรอยผืนึกจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิและเวลาในการปิดผืนึก จนถึงจุดหนึ่งค่าความแข็งแรงของรอยผืนึกจะมีค่าสูงสุดและคงที่ ณ จุดแรกที่ค่าความแข็งแรงของรอยผืนึกมีค่าคงที่นี้จะเป็นจุดที่แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและเวลาในการปิดผืนึกที่คงไว้เหมาะสำหรับการหลอมสารปิดผืนึกและทำให้สารปิดผืนึกเกิดพันธะที่ผิวสัมผัสขึ้น จึงทำให้ได้รอยผืนึกที่ยึดติดกันและมีค่าความแข็งแรงของรอยผืนึกสูง อุณหภูมิที่คงไว้จะขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของสารปิดผืนึก โดยทั่วไปมักจะคงให้สูงกว่าจุดหลอมเหลวของสารปิดผืนึกเล็กน้อย เนื่องจากในการปิดผืนึกด้วยความร้อนไม่ได้ให้ความร้อนแก่สารปิดผืนึกโดยตรง แต่จะให้ความร้อนที่วัสดุหลัก แล้วให้ความร้อนเกิดการถ่ายเทไปสู่ชั้นสารปิดผืนึก ดังนั้นในการปิดผืนึกจึงต้องการเวลาที่จะทำให้สารปิดผืนึกมีความร้อนถึงจุดที่สารปิดผืนึกจะเกิดการหลอมได้ พบว่าการใช้เวลาในการปิดผืนึกจะแปรผกผันกับอุณหภูมิซึ่งจะเป็นไปเฉพาะในช่วง ๆ หนึ่งเท่านั้น หากถึงจุดที่ค่าความแข็งแรงของรอยผืนึกมีค่าคงที่ อุณหภูมิและเวลาในการปิดผืนึกก็จะมีผลต่อความแข็งแรงของรอยผืนึกอีกต่อไป ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการปิดผืนึกในช่วงต้น ๆ จะเป็นไปตามสมการ (Schricker, 1986)

$$T = \frac{\text{Const}}{t} + T_s$$

ในทางอุตสาหกรรมถ้าหากทราบค่าจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึก (T) และ เวลาในการปิดผนึก (t) เพื่อกำหนดอัตราการผลิตแล้ว ถ้าหากทราบค่าคงที่ (Const) อีกก็จะสามารถหาอุณหภูมิของแท่งปิดผนึก (T) ได้ นอกจากนี้หากต้องการอุณหภูมิและเวลาในการปิดผนึกที่จะทำให้ได้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงสุด โดยไม่ต้องใช้เครื่องทดสอบหาค่าความแข็งแรงของรอยผนึกแล้ว อาจทำได้ โดยดูจากรูปแบบของการขาดของฟิล์มที่ปิดผนึกและถูกแรงดึงแยกออกจากกัน ซึ่งพบว่าเมื่อรูปแบบของการขาดของฟิล์มที่ถูกดึงแยกนั้นเปลี่ยนจากแบบลอก (peel) มาเป็นแบบแตกประกบ (delamination) ภาวะที่ใช้ในการปิดผนึกขณะนั้นมักจะเป็นจุดที่เข้าใกล้จุดเปลี่ยนกราฟที่ให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงสุดจุดแรก ก่อนที่จะมีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิหรือเวลาในการปิดผนึกอีกต่อไป ทั้งนี้เนื่องมาจากในรูปแบบของการขาดแบบลอกจะเป็นจุดที่สารปิดผนึกได้รับความร้อนเพียงพอต่อการขยายตัวเท่านั้น จึงเกิดพันธะได้เฉพาะที่ผิวของสารปิดผนึกเท่านั้น เมื่อให้ความร้อนสูงขึ้นจนถึงจุดที่สารปิดผนึกใกล้จะเกิดการหลอมเหลว ขณะนี้โมเลกุลของสารปิดผนึกเริ่มมีอิสระมากขึ้นจนสามารถแทรกเข้าไปยังสารปิดผนึกตรงข้ามได้ และเกิดพันธะที่แข็งแรงมากกว่าพันธะระหว่างสารปิดผนึกกับวัสดุหุ้ม ทำให้เมื่อออกแรงดึง จะเกิดการขาดที่ระหว่างสารปิดผนึกกับวัสดุหุ้ม หรือเกิดการขาดแบบแตกประกบนั่นเอง

5.2 ปัจจัยทางความหนาของสารปิดผนึกที่มีต่อรอยผนึก

ฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนาจะให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบาง เมื่อฟิล์มทั้งสองมีสารปิดผนึกที่มีสมบัติเหมือนกัน และฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนาจะให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบางตลอดช่วงอุณหภูมิแท่งปิดผนึก ก็คือเมื่อสารปิดผนึกมีจุดหลอมเหลวต่ำ และมีอุณหภูมิแท่งปิดผนึกที่สูงพอที่จะทำให้สารปิดผนึกเกิดการหลอมได้ เนื่องจากถ้าสารปิดผนึกมีจุดหลอมเหลวสูงแล้ว ช่วงอุณหภูมิก่อนที่สารปิดผนึกจะเกิดการหลอมตัวสมบูรณ์จะเป็นช่วงที่ให้ความร้อนแก่ส่วนที่เป็นผลึก ฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนาจะใช้ความร้อนมากกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบาง ทำให้ฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนามีสาเหตุไม่เกิดพันธะน้อย จึงทำให้มีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกต่ำกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบางได้ จะเห็นว่าจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึกจะมีความสำคัญต่อการปิดผนึก โดยทั่ว ๆ ไป มักจะเลือกสารปิดผนึกชนิดที่มีจุดหลอมเหลวต่ำและควรต่ำกว่าฟิล์มที่ใช้เป็นวัสดุหุ้ม

5.3 ปัจจัยทางความหนาของวัสดุหุ้มที่มีผลต่อรอยผนึก

ฟิล์มที่มีวัสดุหุ้มบางจะให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าฟิล์มที่มีวัสดุหุ้มหนา เมื่อฟิล์มทั้งสองมีสารปิดผนึกที่มีความหนาเท่ากันและมีจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกัน เนื่องจากฟิล์มที่มีวัสดุหุ้มบางจะมีการถ่ายเทความร้อนไปสู่ชั้นสารปิดผนึกได้ดีกว่าฟิล์มที่มีวัสดุหุ้มหนา

5.4 วิธีการปิดผนึกด้วยความร้อนที่สอดคล้องต่อรอยผนึก

การหาวิธีปิดผนึกด้วยความร้อนที่สอดคล้องต่อรอยผนึกนั้นมักจะขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึก พบว่าถ้าสารปิดผนึกของฟิล์มมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้วัสดุหลอมเกิดการงอหรือขุ่นแล้ว การทดสอบรอยผนึกทั้ง 3 คือความแข็งแรงของรอยผนึก ความทนต่อการลอก และความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนจะมีความสอดคล้องกัน แต่ถ้าสารปิดผนึกของฟิล์มมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้วัสดุหลอมเกิดการงอหรือขุ่นแล้ว การทดสอบรอยผนึกมักจะไม่ได้รับความสอดคล้องกัน ซึ่งจะหาวิธีการปิดผนึกด้วยความร้อนที่เหมาะสมของฟิล์มแต่ละชนิดได้ดังนี้

5.4.1 OPP20/PE25/LLDPE25

ภาวะที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกคือ ที่อุณหภูมิแท่งปิดผนึก 130 ถึง 140 °ซ เวลาในการปิดผนึก 0.3 ถึง 0.5 วินาที และความดันที่ 1.5 บาร์ โดยที่เมื่อใช้อุณหภูมิแท่งปิดผนึกสูงขึ้นจะใช้เวลาในการปิดผนึกต่ำลง ภาวะในการปิดผนึกนี้ยังคงเหมาะสมต่อการปิดผนึกฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ถึงแม้ว่าจะเปลี่ยนเครื่องมือการทดสอบหรือเปลี่ยนอัตราเร็วในการทดสอบความแข็งแรงของรอยผนึกก็ตาม

5.4.2 OPP/PE

ภาวะที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกสำหรับฟิล์ม OPP20/PE28 จะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรกที่อุณหภูมิแท่งปิดผนึก 105 ถึง 110 °ซ เวลาในการปิดผนึก 0.3 ถึง 0.5 วินาที ความดัน 1.5 บาร์ เมื่อพิจารณาจากค่าความแข็งแรงของรอยผนึก และเมื่อไม่ต้องการความสมบูรณ์ของรอยผนึกหรือความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน ช่วงที่ 2 คือที่ อุณหภูมิ 115 °ซ เวลา 0.8 วินาที ความดัน 1.5 บาร์ เมื่อต้องการค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงขึ้น มีรอยผนึกที่สมบูรณ์ และความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนสูงขึ้น หากให้ความหนาของสารปิดผนึกสูงขึ้นเป็น PE30 จะให้แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึกเหมือนกับ PE28 เมื่อทำการทดสอบโดยให้ภาวะการปิดผนึกที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึก แต่ให้ความดันและเวลาในการปิดผนึกคงที่ ดังนั้นความหนาของสารปิดผนึกที่เปลี่ยนแปลงไปจะ ไม่มีผลต่ออุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึก หากยังคงใช้สารปิดผนึกที่มีสมบัติเหมือนกัน

5.4.3 OPP/PP

การมี PP เป็นสารปิดผนึกที่มีจุดหลอมเหลวสูงจึงทำให้ช่วงอุณหภูมิปิดผนึกแคบและฟิล์มมักจะเกิดการงอหรือหดตัวก่อนที่จะถึงจุดที่มีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกคงที่หรือมีการเปลี่ยนรูปแบบของการขาด ดังนั้นการเลือกอุณหภูมิปิดผนึกที่เหมาะสมจึงเลือกอุณหภูมิที่จะทำให้มีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูง จึงจะเป็นอุณหภูมิที่สูงที่สุดที่ไม่ทำให้วัสดุหลอมเกิดการงอหรือหดตัวได้ ในที่นี้จะใช้อุณหภูมิในการปิดผนึกฟิล์ม OPP/PP ที่ 140 °ซ เวลา 0.4 วินาที ความดัน 1.5 บาร์ ภาวะการปิดผนึกนี้จะให้ความสมบูรณ์ของรอยผนึกต่ำแต่จะให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนดี

5.4.4 OPP/ CPP

ภาวะที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกฟิล์ม OPP20/ CPP30 คือที่อุณหภูมิ 140 °ซ ความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที แต่ภาวะที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกฟิล์ม OPP20/ CPP20 จะปิดผนึกได้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น คือที่ 150 °ซ เนื่องจาก CPP20 มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า CPP30 ถึงแม้ว่า OPP20/ CPP20 จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกที่ 150 °ซ ก็ตาม แต่ก็ไม่สามารถจะใช้อุณหภูมินี้ปิดผนึกฟิล์มได้ เนื่องจาก OPP จะเกิดการงอหรือยุบก่อน ดังนั้นจึงควรเลือกอุณหภูมิที่ต่ำลงมา โดยที่ไม่ทำให้ฟิล์มเกิดการงอหรือยุบ ซึ่งจะเลือกที่อุณหภูมิ 140 °ซ ที่อุณหภูมินี้ฟิล์มจะไม่เกิดการงอหรือยุบ และมีความสมบูรณ์ของรอยผนึก แต่มีความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนต่ำ ปกติแล้วของความหนาสารปิดผนึกไม่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึก เมื่อฟิล์มทั้งสองมีสารปิดผนึกที่มีสมบัติเหมือนกัน แต่ถ้าสารปิดผนึกมีจุดหลอมเหลวไม่เท่ากันอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกย่อมเปลี่ยนแปลงไปตามจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึกแต่ละชนิด ซึ่งถ้าจะใช้อุณหภูมิเท่ากันปิดผนึกที่อิงจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึก มาปิดผนึกฟิล์มก็ต้องคำนึงว่าอุณหภูมิดังกล่าวจะไม่ทำให้ฟิล์มเกิดการงอหรือยุบได้

5.4.5 OPP/ MCPP

ภาวะที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกฟิล์ม OPP20/ MCPP25 อาจอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 135 °ซ ถึง 140 °ซ ถ้าใช้ที่อุณหภูมิ 135 °ซ จะใช้เวลาในการปิดผนึก 0.9 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่ค่อนข้างสูง ผู้ผลิตส่วนใหญ่มักจะไม่เลือกใช้ เนื่องจากจะทำให้อัตราการผลิตต่ำ แต่ที่อุณหภูมินี้จะให้ความสมบูรณ์ของรอยผนึกและมีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนสูง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิกในการปิดผนึก 140 °ซ จะใช้เวลาในการปิดผนึก 0.3 วินาที ซึ่งจะเป็นเวลาที่ต่ำ ทำให้มีอัตราการผลิตสูง นอกจากนี้ยังมีรอยผนึกที่มีความแข็งแรงทั้งในขณะที่สารปิดผนึกยังร้อนอยู่หรือเย็นตัวแล้ว แต่จะมีความสมบูรณ์ของรอยผนึกต่ำ เมื่อความหนาของวัสดุหัดกเพิ่มขึ้นเป็น OPP25/ MCPP25 พบว่าจะไม่มีอิทธิพลต่อภาวะที่เหมาะสมต่อการปิดผนึก แต่ฟิล์ม OPP25/ MCPP25 จะมีภาวะที่เหมาะสมต่อการปิดผนึก โดยที่ยังคงมีความสมบูรณ์ของรอยผนึกสูงอยู่ในภาวะการปิดผนึกที่อุณหภูมิ 140 °ซ เวลา 0.3 วินาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย