

การปรับปรุงกระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อลดปัญหาคราบขาวโดยการออกแบบการทดลอง

เสาวลักษณ์ บ่อคำ¹, สุวิษรณ วิชกุล^{*2} และ ประพล จิระพรทิพย์³

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Received: 12 March 2026; Revised: 27 April 2026; Accepted: 08 May 2026

บทคัดย่อ

ในกระบวนการประกอบโลหะกับแผงวงจรพิมพ์ของบริษัทที่ศึกษาที่เป็นผู้รับจ้างผลิตอุปกรณ์รับส่งสัญญาณทางแสง บริษัทที่ศึกษาพบปัญหาค่าความยาวของคราบขาวมีค่ามากกว่า 5.4 มิลลิเมตร ส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการเชื่อมหลอดทอง โดยค่าความยาวเฉลี่ยของค่าความยาวของคราบขาวก่อนปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 5.2633 มิลลิเมตร งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความยาวของคราบขาวลง และเพิ่มคุณภาพการยึดติดระหว่างกล่องโลหะและแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งค่าแรงเดือนเฉลี่ยก่อนปรับปรุงเท่ากับ 11.3946 กรัมแรง โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความยาวของคราบขาวและ ค่าแรงเดือนในกระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความยาวของคราบขาวมีค่าน้อยที่สุดและค่าแรงเดือนมีค่ามากที่สุด ใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ทำการศึกษา 4 ปัจจัย ได้แก่ น้ำหนักการ ระยะเวลาวางงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้อง ความสะอาดพื้นผิวชิ้นงาน และชนิดของกาว และวิเคราะห์ผลด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความยาวของคราบขาว คือ อันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาวางงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้องกับชนิดของกาว และอันตรกิริยาระหว่างความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงานกับชนิดของกาว ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงเดือน คือ พจน์กำลังสองของน้ำหนักการ อันตรกิริยาระหว่างน้ำหนักการกับความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงาน อันตรกิริยาระหว่างน้ำหนักการกับชนิดของกาว และอันตรกิริยาระหว่างความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงานกับชนิดของกาว โดยระดับของปัจจัยที่เหมาะสมคือ น้ำหนักการ เท่ากับ 6.91 มิลลิกรัม ระยะเวลาวางงานไว้หลังประกอบเท่ากับ 41.72 นาที ความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงาน เท่ากับ พลาสมา และ ชนิดของกาว เท่ากับ ชนิดที่ 2 โดยผลการยืนยันการทดลองจำนวน 30 ตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยของค่าความยาวของคราบขาวจะมีค่าน้อยกว่า 1.3461 มิลลิเมตร ซึ่งลดลงจากก่อนปรับปรุงอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยของค่าแรงเดือนจะมีค่ามากกว่า 27.7776 กรัมแรง ซึ่งมีค่ามากกว่าก่อนปรับปรุง

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง, กระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์, การวัดค่าความยาวของคราบขาว การทดสอบแรงเดือน

* Corresponding author. E-mail: fengspw@ku.ac.th

¹ นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Improvement of the Metal Box and Printed Circuit Board Assembly Process to Reduce Resin Bleed Using Design of Experiments

Saovaluck Bokum¹, Suwitchaporn Witchakul² and Prapol Chivapornthip³

Department of Industrial Engineering, Kasetsart University,
50 Ngamwongwan Rd., Chatuchak, Bangkok 10900

Received: 12 March 2026; Revised: 27 April 2026; Accepted: 08 May 2026

Abstract

In the metal box and printed circuit board assembly process of the case study company, a contract manufacturer of optical transceiver devices, resin bleed exceeding 5.4 millimeters was identified as a critical issue. This problem led to scrap in the gold wire bonding process. The average resin bleed length before improvement was 5.2633 millimeters. This research aimed to reduce the resin bleed length and improve the bonding quality between metal box and printed circuit board. The average shear force before improvement was 11.3946 gram-force. The study investigated the factors affecting resin bleed length and shear force to determine the optimum factors that minimize resin bleed length and maximize shear force. A central composite design was applied. Four factors were studied: epoxy weight, waiting time after assembly at room temperature, surface cleanliness, and epoxy type. The experimental results were analyzed using response surface methodology. The experimental results indicate that the factors affecting resin bleed length are the interaction between waiting time after assembly at room temperature and epoxy type, and the interaction between surface cleanliness and epoxy type. For shear strength, the significant factors include the quadratic term of epoxy weight, the interaction between epoxy weight and surface cleanliness, the interaction between epoxy weight and epoxy type, and the interaction between surface cleanliness and epoxy type. The optimal conditions were: settings were an epoxy weight of 6.91 milligrams, the waiting time after assembly of 41.72 minutes, plasma surface cleanliness, and epoxy type 2. Confirmation experiments with 30 samples demonstrated that, at a 95 percent confidence level, the mean resin bleed length was less than 1.3461 millimeters, representing a reduction of at least 30 percent compared to the pre-improvement condition. Furthermore, the mean shear force was greater than 27.7776 gram-force, which is significantly higher than the pre-improvement condition.

Keywords: design of experiments, metal box and printed circuit board assembly process, measurement of resin bleed, shear test

* Corresponding author. E-mail: fengspw@ku.ac.th

¹ Master's Degree Student in Engineering Management Program, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

² Assistant Professor in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

³ Lecturer in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการติดต่อสื่อสารและไปจนถึงการประมวลผลข้อมูล โดยปัจจุบันลูกค้าต้องการเทคโนโลยีการสื่อสารที่สะดวกรวดเร็ว ส่งผลให้การปรับปรุงกระบวนการจึงเป็นปัจจัยหลักที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดของเสียจากการผลิต ลดเวลาในการดำเนินงาน ยกย่องคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และสร้างผลกำไรที่มากขึ้น

บริษัทธนศึกษาเป็นบริษัทรับจ้างผลิตสินค้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้กับบริษัทที่เป็นเจ้าของแบรนด์ ตามแบบที่ลูกค้ากำหนด โดยกระบวนการที่ศึกษาคือกระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งเป็นการติดกล่องโลหะเข้ากับแผ่นวงจรพิมพ์โดยใช้กาวเป็นตัวเชื่อมประสานให้กล่องโลหะติดบนพื้นผิววงจรพิมพ์ของผลิตภัณฑ์อุปกรณ์รับและส่งสัญญาณใยแก้วนำแสง

ขั้นตอนกระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์ คือ การวางจิ๊กประกอบไว้บนเครื่องซึ่งทำการวางกล่องโลหะบนจิ๊กหลังจากนั้นทำการหยอดกาวลงบนกล่องโลหะ หลังจากนั้นทำการวางแผ่น วงจรพิมพ์ลงบนกล่องโลหะที่อยู่บนจิ๊กแล้วทำการปิดฝาจิ๊ก แล้วนำงานเข้าตู้อบ โดยพบว่าตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2567 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2568 พบว่าปัญหาที่พบมากที่สุดคือปัญหาคราบขาวโกลมากกว่า 5.4 มิลลิเมตร โดยมีของเสียประเภทยี้ 2,674 ชิ้น จากที่ผลิตทั้งหมด 655,950 ชิ้น หรือคิดเป็นร้อยละ 0.41 ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการปรับปรุงกระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อลดของเสียประเภทคราบขาวโกลมากกว่า 5.4 มิลลิเมตร คราบขาว คือ การแยกตัวของคราบขาวออกจากขอบขาว [1] โดยวิธีการวัดความยาวของคราบขาวที่โกลนั้นจะวัดจากขอบกล่องโลหะถึงความยาวของคราบขาวที่มากที่สุดและชิ้นงานที่มีคราบขาวโกลมากกว่า 5.4 มิลลิเมตร จะนับเป็นชิ้นงานที่เสีย ซึ่งจะขัดขวางการเชื่อมลวดทองในกระบวนการเชื่อมลวด ทำให้เชื่อมลวดบนพื้นผิวได้ยาก ทำให้เกิดของเสีย คือ เกิดรอยเชื่อมผิดปกติ จากปัญหาคราบขาวที่เกิดขึ้น ส่งผลให้มีของเสีย คุณภาพของผลิตภัณฑ์ และความเชื่อมั่นของ

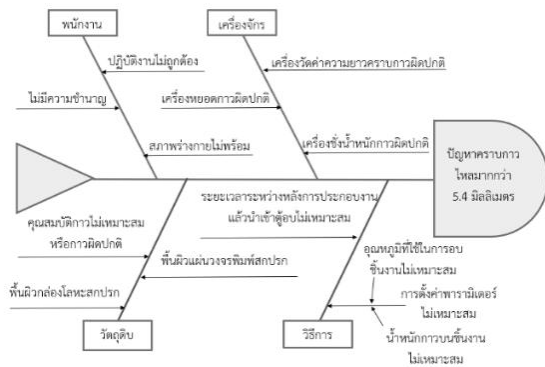
ลูกค้า โดยการวัดประสิทธิภาพในกระบวนการใช้วิธีการวัดความยาวของคราบขาว และใช้วิธีการทดสอบแรงเฉือนเพื่อทดสอบการยึดติดระหว่างกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์ โดยหากมีค่าแรงเฉือนมากแสดงว่ากล่องโลหะยึดติดกับแผ่นวงจรพิมพ์ได้ดี

ปัจจุบันค่าเฉลี่ยของค่าความยาวของคราบขาวอยู่ที่ 5.2633 มิลลิเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0836 มิลลิเมตร และ ค่าเฉลี่ยของค่าแรงเฉือนอยู่ที่ 11.3946 กรัมแรง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.0425 กรัมแรง จากปัญหาคราบขาวยาวมากกว่า 5.4 มิลลิเมตร เป็นปัญหาของเสียที่พบมากที่สุด จึงต้องการใช้การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ

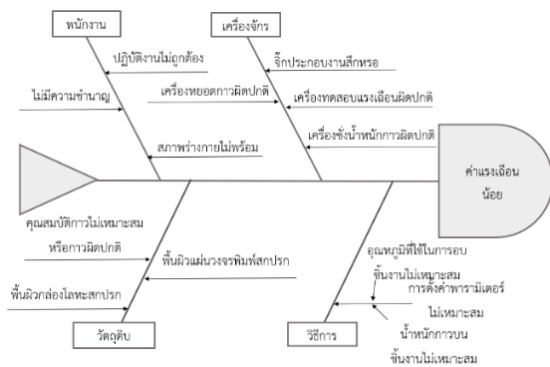
ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดคราบขาวโกลในกระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์พร้อมทั้งหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย เพื่อลดความยาวของคราบขาวลงอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มคุณภาพการยึดติดระหว่างกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์ โดยค่าแรงเฉือนต้องมากกว่าค่าปัจจุบันโดยใช้การออกแบบการทดลอง [2]

2. การวิเคราะห์หาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองผู้วิจัยได้

ผู้วิจัยได้ระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์ จำนวน 3 คน ซึ่งประกอบด้วย หัวหน้าฝ่ายวิศวกรกระบวนการ หัวหน้าฝ่ายวิศวกรคุณภาพ และผู้วิจัย แล้วนำมาจัดทำเป็นแผนภูมิแกงปลาเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาคราบขาวโกลมากกว่า 5.4 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 1 และปัญหาค่าแรงเฉือนน้อย แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 แผนภูมิแกงปลาแสดงปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลเสียประเภทคราบยาวไหลมากกว่า 5.4 มิลลิเมตร



รูปที่ 2 แผนภูมิแกงปลาแสดงปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลเสียประเภทค่าแรงเหวี่ยงน้อย

จากแผนภูมิแกงปลาสามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองในกระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์ โดยนำหลักการ 4M มาพิจารณา ได้แก่ วัตถุดิบ วิธีการ เครื่องจักร และคน ดังนี้

สาเหตุจากปัจจัยเกี่ยวกับพนักงาน โดยพนักงานไม่มีความชำนาญ หรือพนักงานปฏิบัติงานไม่ถูกต้อง ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยบริษัทการศึกษาได้กำหนดรอบเวลาอบรมพนักงาน และมีการทดสอบเพื่อประเมินทักษะการทำงานของพนักงานที่ชัดเจน ดังนั้นปัจจัยเกี่ยวกับพนักงานจะไม่นำมาพิจารณาในการทดลอง

สาเหตุจากปัจจัยเกี่ยวกับเครื่องจักร โดยปัญหาเกิดจากจิ๊ก ประกอบงานสึกหรอ เครื่องวัดค่าความยาว และเครื่องชั่งน้ำหนักการผิดปกติ โดยจากการศึกษาทางวิจัย

พบว่า การลดความแปรปรวนน้ำหนักบนชิ้นงานช่วยช่วยเพิ่มเสถียรภาพ คุณภาพ และความสามารถของกระบวนการ [3] บริษัทการศึกษาได้ตรวจสอบ บำรุงรักษา และ กำหนดเวลาทำการสอบเทียบเครื่องมือที่ชัดเจนจะช่วยให้ น้ำหนักของกาวที่วัดโดยเครื่องซึ่งมีความแปรปรวนลดลง ดังนั้นปัจจัยเกี่ยวกับเครื่องจักรจะไม่นำมาพิจารณาในการทดลอง

สาเหตุจากปัจจัยเกี่ยวกับวัตถุดิบ จากการศึกษาและการระดมสมองจากผู้มีความชำนาญคาดว่าปัจจัยเกี่ยวกับวัตถุดิบส่งผลต่อค่าความยาวคราบการและค่าแรงเหวี่ยงในกระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์ โดยจากการศึกษาทางวิจัยพบว่าชนิดของกาวมีผลต่อค่าความยาวของคราบการ [4, 5, 6] และชนิดของกาวมีผลต่อค่าแรงเหวี่ยง [5, 7] การทำความสะอาดพื้นผิวชิ้นงานด้วยเครื่องพลาสมาช่วยลดค่าความยาวของคราบการ [8] และการทำความสะอาดพื้นผิวชิ้นงานด้วยเครื่องพลาสมาช่วยเพิ่มค่าแรงเหวี่ยงได้ [9] ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษา ชนิดของกาว ความสะอาดของพื้นผิวของกล่องโลหะและพิมพ์วงจรพิมพ์เป็นปัจจัยในการทดลอง

สาเหตุจากปัจจัยเกี่ยวกับวิธีการ จากการศึกษาและการระดมสมองจากผู้มีความชำนาญคาดว่าปัจจัยเกี่ยวกับวิธีการส่งผลต่อค่าความยาวคราบการและค่าแรงเหวี่ยงในกระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์ โดยจากการศึกษาทางวิจัยพบว่าน้ำหนักกาวมีผลต่อค่าแรงเหวี่ยง โดยถ้าน้ำหนักกาวน้อยจะส่งผลให้ค่าแรงเหวี่ยงน้อยด้วย แต่ถ้า น้ำหนักกาวมากจะส่งผลให้ค่าแรงเหวี่ยงมาก [10] นอกจากนี้ระยะเวลาว่างงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้องมีผลต่อค่าความยาวคราบการ โดยที่ระยะเวลาว่างงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้องมีค่าน้อยจะส่งผลให้ความยาวของคราบการน้อย แต่ถ้าระยะเวลาว่างงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้องมีค่ามากจะส่งผลให้ความยาวของคราบการมาก [4] ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกน้ำหนักกาว และระยะเวลาว่างงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้อง เป็นปัจจัยในการทดลอง

โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบชิ้นงานจะไม่นำมาพิจารณาในการทดลองเนื่องจากอุณหภูมิที่เลือกใช้ในกระบวนการปัจจุบันใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ทำให้ไม่สามารถปรับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบชิ้นงานได้

จากการวิเคราะห์สาเหตุจากแผนภูมิแกงปลาและการระดมสมองจากผู้มีความชำนาญ พบว่าปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์ทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ น้ำหนักกาว (A) ระยะเวลาวางงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้อง (B) ความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงาน (C) ชนิดของกาว (D)

3. การออกแบบการทดลอง

ผู้วิจัยทดลองโดยมีปัจจัยทั้งหมด 4 ปัจจัย ดังนั้นจึงเลือกใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design) เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความยาวของคราบกาว (Y_1) และค่าแรงเฉือน (Y_2)

จากการศึกษาปัจจัยและตามคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ สามารถกำหนดระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัยได้โดยปัจจัยเชิงปริมาณแสดงดังตารางที่ 1 และปัจจัยเชิงคุณภาพ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าปัจจัยเชิงปริมาณที่ใช้ในปัจจุบันและระดับที่ทดลอง

ระดับของปัจจัย	A คือ น้ำหนักกาว (มิลลิกรัม)	B คือ ระยะเวลาวางงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้อง (นาท)
ค่าที่ใช้ในปัจจุบัน	6.50	90.00
$-\alpha$	4.09	41.72
-1	4.50	50.00
0	5.50	70.00
1	6.50	90.00
α	6.91	98.28

น้ำหนักกาวที่ใช้ในปัจจุบันเท่ากับ 6.50 มิลลิกรัม จากการระดมความคิดของผู้วิจัย หัวหน้าฝ่ายวิศวกรกระบวนการ หัวหน้าฝ่ายวิศวกรคุณภาพ และการเก็บข้อมูลในอดีต พบว่าการลดน้ำหนักของกาวลงด้วยกาวชนิดที่ 1 จะส่งผลให้ค่าความยาวคราบกาวลดลง แต่ส่งผลให้ค่าแรงเฉือนลดลงด้วย เนื่องจากค่าแรงเฉือนเฉลี่ยในปัจจุบันมีค่ามากกว่าข้อกำหนดของลูกค้า ดังนั้นหากลดค่าแรงเฉือน

เพียงเล็กน้อยก็ยังคงผ่านข้อกำหนดของลูกค้า ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ระดับน้ำหนักกาวที่ใช้ในปัจจุบันอยู่ระดับที่ 1 นอกจากนี้ หากลดระยะเวลาวางงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้องจะส่งผลให้ค่าความยาวของคราบกาวลดลง [4] ซึ่งระยะเวลาวางงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้องที่ใช้ในปัจจุบันเท่ากับ 90 นาที ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดให้ระดับระยะเวลาวางงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้องที่ใช้ในปัจจุบันอยู่ระดับที่ 1

ตารางที่ 2 ค่าปัจจัยเชิงคุณภาพที่ใช้ในปัจจุบันและระดับที่ทดลอง

ปัจจัยเชิงคุณภาพ	ค่าที่ใช้ปัจจุบัน	ระดับที่ทดลอง	
		1	2
C คือ ความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงาน	ไม่พลาสมา	ไม่พลาสมา	พลาสมา
D คือ ชนิดของกาว	ชนิดที่ 1	1	2

จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์จำนวนการทำซ้ำที่เหมาะสม พบว่าการทดลอง 1 ซ้ำ มีค่าอำนาจการทดสอบเท่ากับ 96.643 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกทำการทดลอง 1 ซ้ำ

4. การทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเลือกแผนการทดลองด้วยวิธีส่วนประสมกลาง โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 แพลทฟอร์มเรียลเต็มรูป 4 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ จำนวน 16 การทดลอง ส่วนที่ 2 จุดศูนย์กลางจำนวน 20 การทดลอง และส่วนที่ 3 ส่วนของจุดแกน จำนวน 16 การทดลอง รวมทั้งหมด 52 การทดลอง โดยมีค่า Axial Distance (α) เท่ากับ 1.4142

ทำการทดลองโดยการสุ่มลำดับการทดลอง และปรับค่าพารามิเตอร์ตามลำดับที่สุ่ม ทำการทดลอง 1 ชิ้นงาน ต่อ 1 การทดลอง หลังจากอบชิ้นงานและนำชิ้นงานออกจากจิ๊กเรียบร้อยแล้ว จึงนำชิ้นงานไปวัดค่าความยาวของคราบกาว (Y_1) และทดสอบค่าแรงเฉือนของชิ้นงาน (Y_2) และทำการบันทึกค่า ทุกการทดลองใช้พนักงานเพียงคนเดียว ใช้จิ๊กและตู้อบเครื่องเดิม โดยทำการทดลองในห้องคลีนรูมที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นได้

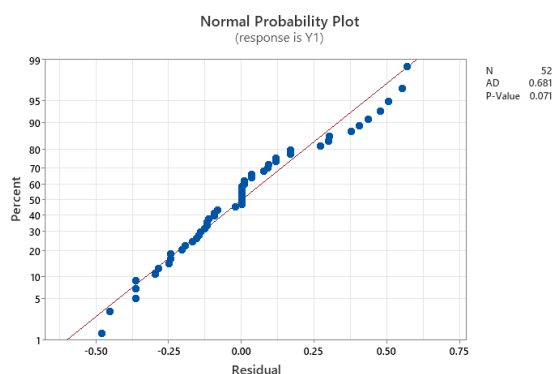
ในการวัดค่าความยาวของคราบขาวโดยใช้กล้องไมโครสโคป กำหนดการวัดจากขอบกล่องโลหะจนถึงตำแหน่งที่คราบขาวไหลมากที่สุด และการวัดค่าแรงเฉือนใช้เครื่องวัดค่าแรงเฉือน โดยเครื่องวัดค่าแรงเฉือน จะแสดงผลเป็นแรงที่ใช้ในการดันกล่องโลหะให้หลุดออกจากแผ่นวงจรพิมพ์

5. ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab โดยใช้วิธีเพิ่มตัวแปรอิสระแบบขั้นตอน (Stepwise Regression) ในการคัดเลือกตัวแปรที่ผลต่อค่าความยาวของคราบขาวและค่าแรงเฉือน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญการนำตัวแปรเข้า เท่ากับ 0.05 และกำหนดระดับนัยสำคัญการนำตัวแปรออก เท่ากับ 0.05 และใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความยาวของคราบขาว (Y_1) น้อยที่สุด และค่าแรงเฉือน (Y_2) มากที่สุด

5.1 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับค่าความยาวของคราบขาว (Y_1)

ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของสมการ (Model Adequacy) จะทำการตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนของค่าความยาวของคราบขาว (Y_1) ผลการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 3 ถึง รูปที่ 5



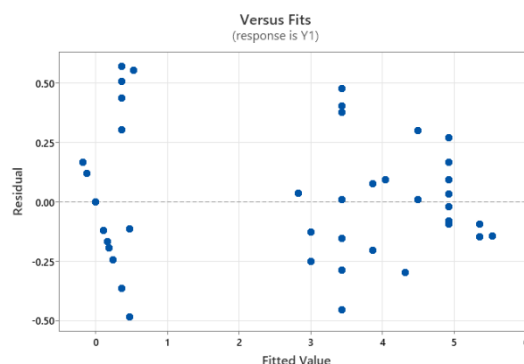
รูปที่ 3 แผนภาพความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติสำหรับค่าคลาดเคลื่อนของ Y_1

การตรวจสอบการแจกแจงปกติ โดยทำการตรวจสอบกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าคลาดเคลื่อนของค่าความยาวของคราบขาวและกำหนดการทดสอบสมมติฐานทางสถิติสำหรับ Anderson-Darling Test ดังนี้

สมมติฐานหลัก คือ ค่าคลาดเคลื่อนของค่าความยาวของคราบขาวมีการแจกแจงปกติ

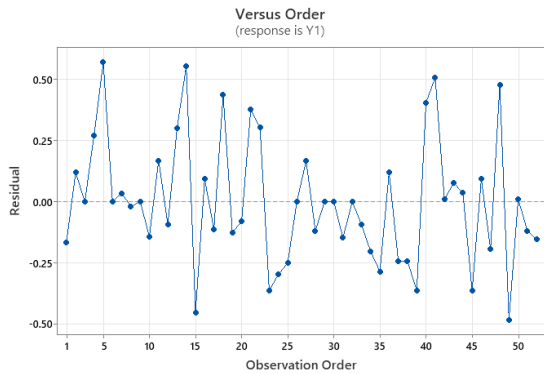
สมมติฐานรอง คือ ค่าคลาดเคลื่อนของค่าความยาวของคราบขาวไม่มีการแจกแจงปกติ

จากรูปที่ 3 พบว่าค่า P-value เท่ากับ 0.071 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่เท่ากับ 0.05 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนของค่าความยาวของคราบขาวมีการแจกแจงปกติ



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนของ Y_1 และค่าพยากรณ์ของ Y_1

จากรูปที่ 4 พบว่าค่าคลาดเคลื่อนของค่าความยาวของคราบขาวมีการกระจายตัวอยู่รอบเส้นศูนย์ของกราฟ แสดงว่าค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนของค่าความยาวของคราบขาวเท่ากับศูนย์ ค่าคลาดเคลื่อนของค่าความยาวของคราบขาวไม่มีลักษณะเป็นรูปลำโพง แสดงว่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าความยาวของคราบขาวมีค่าคงที่



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนของ Y_1 และค่าพยากรณ์ของ Y_1

จากรูปที่ 5 พบว่าค่าคลาดเคลื่อนของค่าความยาวของคราบการมีการกระจายตัวแบบสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนของค่าความยาวของคราบการเป็นอิสระต่อกัน

หลังจากวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนของค่าความยาวของคราบการ พบว่าค่าคลาดเคลื่อนเป็นไปตามสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน [11] ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความยาวของคราบการ (Y_1) โดยใช้โปรแกรม Minitab ได้ผลแสดงดังรูปที่ 6 ถึง รูปที่ 7

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.272348	98.52%	98.35%	98.12%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	226.540	45.308	610.84	0.000
Linear	3	221.664	73.888	996.15	0.000
B	1	2.407	2.407	32.46	0.000
C	1	11.114	11.114	149.84	0.000
D	1	208.142	208.142	2806.16	0.000
2-Way Interaction	2	4.876	2.438	32.87	0.000
B*D	1	0.773	0.773	10.42	0.002
C*D	1	4.103	4.103	55.31	0.000
Error	46	3.412	0.074		
Lack-of-Fit	30	2.290	0.076	1.09	0.442
Pure Error	16	1.122	0.070		
Total	51	229.952			

รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ Y_1

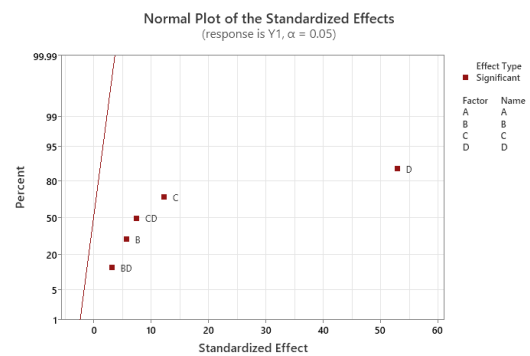
จากรูปที่ 6 พบว่าค่า Adjusted R^2 เท่ากับ 98.35 เปอร์เซนต์ และ Predicted R^2 เท่ากับ 98.12 เปอร์เซนต์ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความแม่นยำสูง

สำหรับการทดสอบการขาดความเหมาะสมของสมการ (Lack of Fit Test) ของค่าความยาวคราบการ (Y_1) โดยกำหนดสมมติฐานทางสถิติสำหรับการทดสอบการขาดความเหมาะสมของสมการ ดังนี้

สมมติฐานหลัก คือ สมการเหมาะสมแล้ว

สมมติฐานรอง คือ สมการขาดความเหมาะสม

ผลการทดสอบการขาดความเหมาะสมของสมการจากรูปที่ 6 พบว่าค่า P-value ของ Lack of Fit ของ Y_1 เท่ากับ 0.442 ซึ่งมีความมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่าสมการเหมาะสมแล้ว



รูปที่ 7 Normal Plot สำหรับค่าผลกระทบมาตรฐานของปัจจัยที่มีผลต่อ Y_1

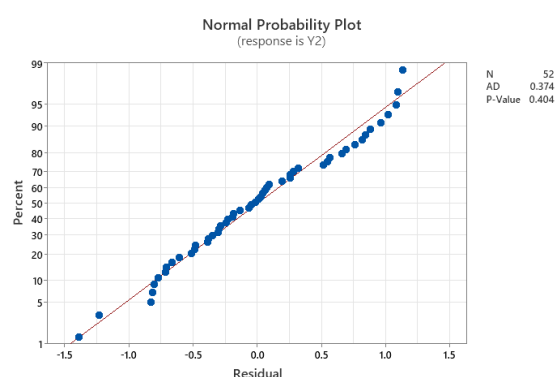
จากรูปที่ 6 และรูปที่ 7 สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความยาวของคราบการ (Y_1) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ อันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาว่างงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้องกับชนิดของกาว (BD) และอันตรกิริยาระหว่างความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงานกับชนิดของกาว (CD) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ว่าระยะเวลาว่างงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้องมีผลต่อค่าความยาวของคราบการ [4] ชนิดของกาวมีผลต่อค่าความยาวของคราบการ [4, 5, 6] และความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงานมีผลต่อค่าความยาวของคราบการ [8]

หลังจากวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความยาวคราบขาว (Y_1) โดยใช้วิธี Stepwise ในการคัดเลือกตัวแปร ทำให้สามารถทราบสมการถดถอย (Regression) เพื่อใช้พยากรณ์ค่าความยาวของคราบขาว (Y_1) แสดงดังตารางที่ 3

C	D	สมการ $\hat{Y}_1$
No plasma	1	$\hat{Y}_1 = 3.422 + 0.02149B$
Plasma	1	$\hat{Y}_1 = 1.936 + 0.02149B$
No plasma	2	$\hat{Y}_1 = -0.053 + 0.00594B$
Plasma	2	$\hat{Y}_1 = -0.416 + 0.00594B$

5.2 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับค่าแรงเหวี่ยง (Y_2)

ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของสมการ (Model Adequacy) จะทำการตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนของค่าแรงเหวี่ยง (Y_2) ผลการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 8 ถึง รูปที่ 10



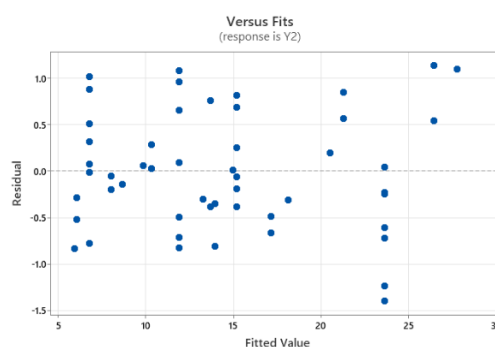
รูปที่ 8 แผนภาพความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติสำหรับค่าคลาดเคลื่อนของ Y_2

การตรวจสอบการแจกแจงปกติ โดยทำการตรวจสอบกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าคลาดเคลื่อนของค่าแรงเหวี่ยงและกำหนดการทดสอบสมมติฐานทางสถิติสำหรับ Anderson-Darling Test ดังนี้

สมมติฐานหลัก คือ ค่าคลาดเคลื่อนของค่าแรงเหวี่ยงมีการแจกแจงปกติ

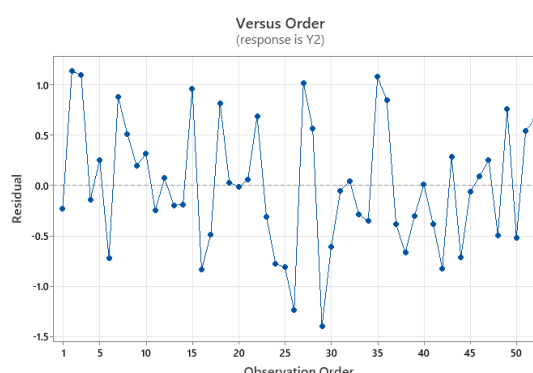
สมมติฐานรอง คือ ค่าคลาดเคลื่อนของค่าแรงเหวี่ยงไม่มีการแจกแจงปกติ

จากรูปที่ 8 พบว่าค่า P-value เท่ากับ 0.404 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่เท่ากับ 0.05 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนของค่าแรงเหวี่ยงมีการแจกแจงปกติ



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนของ Y_2 และค่าพยากรณ์ของ Y_2

จากรูปที่ 9 พบว่าค่าคลาดเคลื่อนของค่าแรงเหวี่ยงมีการกระจายตัวอยู่รอบเส้นศูนย์ของกราฟแสดงว่าค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนของค่าแรงเหวี่ยงเท่ากับศูนย์ และค่าคลาดเคลื่อนของค่าแรงเหวี่ยงไม่มีลักษณะเป็นรูปลำโพง แสดงว่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าแรงเหวี่ยงมีค่าคงที่



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนของ Y_2 และลำดับที่ของการทดลอง

จากรูปที่ 10 พบว่าค่าคลาดเคลื่อนของค่าแรงเฉือน มีการกระจายตัวแบบสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนของค่าแรงเฉือนเป็นอิสระต่อกัน

หลังจากวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนของค่าแรงเฉือน พบว่าค่าคลาดเคลื่อนเป็นไปตามสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงเฉือน (Y_2) โดยใช้โปรแกรม Minitab ได้ผลแสดงดังรูปที่ 11 ถึง รูปที่ 12

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.675297	99.03%	98.88%	98.66%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	2056.92	293.85	644.36	0.000
Linear	3	2008.64	669.55	1468.22	0.000
A	1	100.31	100.31	219.96	0.000
C	1	595.60	595.60	1306.06	0.000
D	1	1312.73	1312.73	2878.63	0.000
Square	1	1.89	1.89	4.14	0.048
A*A	1	1.89	1.89	4.14	0.048
2-Way Interaction	3	46.40	15.47	33.92	0.000
A*C	1	5.68	5.68	12.46	0.001
A*D	1	4.51	4.51	9.89	0.003
C*D	1	36.21	36.21	79.40	0.000
Error	44	20.07	0.46		
Lack-of-Fit	28	13.85	0.49	1.27	0.311
Pure Error	16	6.21	0.39		
Total	51	2076.99			

รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ Y_2

จากรูปที่ 11 พบว่าค่า Adjusted R^2 เท่ากับ 98.88 เปอร์เซ็นต์ และ Predicted R^2 เท่ากับ 98.66 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความแม่นยำสูง

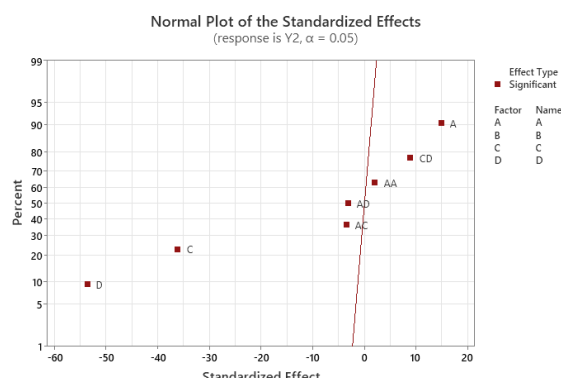
สำหรับการทดสอบการขาดความเหมาะสมของสมการ (Lack of Fit Test) ของค่าแรงเฉือน (Y_2) กำหนดสมมติฐานทางสถิติสำหรับการทดสอบการขาดความเหมาะสมของสมการ ดังนี้

สมมติฐานหลัก คือ สมการเหมาะสมแล้ว

สมมติฐานรอง คือ สมการขาดความเหมาะสม

ผลการทดสอบการขาดความเหมาะสมของสมการ จากรูปที่ 11 พบว่าค่า P-value ของ Lack of Fit ของ Y_2 เท่ากับ 0.311 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05

ดังนั้นไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่าสมการเหมาะสมแล้ว



รูปที่ 12 Normal Plot สำหรับค่าผลกระทบมาตรฐานของปัจจัยที่มีผลต่อ Y_2

จากรูปที่ 11 และ 12 สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงเฉือน (Y_2) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ พจน์กำลังสองของน้ำหนักกว (A²) อันตรกิริยาระหว่างน้ำหนักกวกับความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงาน (AC) อันตรกิริยาระหว่างน้ำหนักกวกกับชนิดของกว (AD) และอันตรกิริยาระหว่างความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงานกับชนิดของกว (CD)) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ว่าน้ำหนักกวกมีผลต่อค่าแรงเฉือน [10] ความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงานมีผลต่อค่าแรงเฉือน [9] และชนิดของกวกมีผลต่อค่าแรงเฉือน [5, 7]

หลังจากวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงเฉือน (Y_2) โดยใช้วิธี Stepwise ในการคัดเลือกตัวแปร ทำให้สามารถทราบสมการถดถอย (Regression) เพื่อใช้พยากรณ์ค่าแรงเฉือน (Y_2) แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมการถดถอยเชิงเส้นของค่าแรงเฉือน (Y_2)

C	D	สมการ $\hat{Y}_2$
No plasma	1	$\hat{Y}_2 = 9.28 - 1.88A + 0.259A^2$
Plasma	1	$\hat{Y}_2 = 9.74 - 1.03A + 0.259A^2$
No plasma	2	$\hat{Y}_2 = 13.53 - 1.13A + 0.259A^2$
Plasma	2	$\hat{Y}_2 = 17.32 - 0.28A + 0.259A^2$

5.3 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด

จากสมการถดถอยสามารถนำมาวิเคราะห์ผลด้วยวิธี พื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) โดยใช้ Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function) [12] ซึ่งค่าความยาวของคราบขาว (Y_1) ที่มีค่าน้อยและค่าแรงเหวี่ยง (Y_2) มีค่ามาก จะทำให้กระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์มีประสิทธิภาพมาก ดังนั้นจึงกำหนดค่าเป้าหมาย Y_1 เป็นค่าน้อยที่สุด (Minimize) และ Y_2 เป็นค่ามากที่สุด (Maximize) ผลการวิเคราะห์พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ น้ำหนักกาว (A) เท่ากับ 6.91 มิลลิกรัม ระยะเวลาวางงานไว้หลังประกอบ (B) เท่ากับ 41.72 ความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงาน (C) เท่ากับ พลาสมา และ ชนิดของกาว (D) เท่ากับ ชนิดที่ 2 โดยมีค่าพยากรณ์ของ Y_1 เท่ากับ -0.1681 มิลลิเมตร และค่าพยากรณ์ของ Y_2 เท่ากับ 27.7610 กรัมแรง

เมื่อนำระดับปัจจัยที่เหมาะสมมาใช้ในการกระบวนการผลิตเพื่อยืนยันผลการทดลองจำนวน 30 ตัวอย่าง พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความยาวของคราบขาวเท่ากับ 1.1996 มิลลิเมตร โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความยาวของคราบขาวเท่ากับ 0.4723 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยของค่าแรงเหวี่ยงเท่ากับ 28.9597 กรัมแรง โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแรงเหวี่ยงเท่ากับ 3.8132 กรัมแรง

ทำการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของค่าความยาวของคราบขาวหลังการปรับปรุง โดยต้องการลดค่าความยาวของคราบขาวเฉลี่ยลงจากเดิมอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นค่าความยาวคราบขาวใหม่จะต้องน้อยกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ของค่าเฉลี่ยของค่าความยาวของคราบขาวเดิม คิดเป็น 3.6843 มิลลิเมตร ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$$H_0: \mu_{y_1} = 3.6843$$

$$H_1: \mu_{y_1} < 3.6843$$

โดยที่ μ_{y_1} คือค่าเฉลี่ยของค่าความยาวของคราบขาว มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

ผลการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของค่าความยาวของคราบขาว (Y_1) ด้วยวิธี T-Test แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของค่าความยาวของคราบขาว

Mean	StDev	95% Upper Bound	T-Value	P-Value
1.1996	0.4723	1.3461	-28.81	0.000

จากตารางที่ 5 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความยาวของคราบขาว เท่ากับ 1.1996 มิลลิเมตร มีค่าใกล้เคียงกับค่าพยากรณ์ของ Y_1 และค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นจึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยของค่าความยาวของคราบขาวหลังปรับปรุงน้อยกว่าก่อนปรับปรุง ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยของค่าความยาวของคราบขาว (Y_1) จะมีค่าน้อยกว่า 1.3461 มิลลิเมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของค่าแรงเหวี่ยงหลังการปรับปรุงจะมีค่ามากกว่าก่อนปรับปรุงที่ 11.3946 กรัมแรง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือไม่ ดังนี้

$$H_0: \mu_{y_2} = 11.3946$$

$$H_1: \mu_{y_2} > 11.3946$$

ผลการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของค่าแรงเหวี่ยง (Y_2) ด้วยวิธี T-Test แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของค่าแรงเหวี่ยง

Mean	StDev	95% Lower Bound	T-Value	P-Value
28.9597	3.8132	27.7776	25.23	0.000

จากตารางที่ 6 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าแรงเหวี่ยง เท่ากับ 28.9597 กรัมแรง มีค่าใกล้เคียงกับค่าพยากรณ์ของ Y_2 และค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นจึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยของค่าแรงเหวี่ยงหลังปรับปรุงมากกว่าก่อนปรับปรุง ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยของค่าแรงเหวี่ยง (Y_2) จะมีค่ามากกว่า 27.7776 กรัมแรง ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองพบว่ากระบวนการมีคุณภาพเพิ่มมากขึ้นหลังทำการปรับปรุง ค่าความยาวของคราบขาวลดน้อยลงมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และค่าแรงเหวี่ยงมีค่าเพิ่ม

มากขึ้น ช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านคุณภาพ โดยลดของเสียและลดการแก้ไขชิ้นงานในกระบวนการในระยะยาว เมื่อพิจารณารายได้ในการผลิตก่อนการปรับปรุงโดยกำหนดระดับปัจจัยที่ น้ำหนักกว (A) เท่ากับ 6.50 มิลลิกรัม ระยะเวลาว่างงานไว้หลังประกอบ (B) เท่ากับ 90 นาที ความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงาน (C) เท่ากับ ไม่พลาสมา และ ชนิดของกว (D) เท่ากับ ชนิดที่ 1 เท่ากับ 23,590 บาทต่อชิ้นงาน และรายได้ในการผลิตหลังการปรับปรุงโดยกำหนดระดับปัจจัยที่ น้ำหนักกว (A) เท่ากับ 6.91 มิลลิกรัม ระยะเวลาว่างงานไว้หลังประกอบ (B) เท่ากับ 41.72 นาที ความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงาน (C) เท่ากับ พลาสมา และ ชนิดของกว (D) เท่ากับ ชนิดที่ 2 เท่ากับ 23,570 บาทต่อชิ้นงาน พบว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตหลังปรับปรุงมากกว่าก่อนปรับปรุง เท่ากับ 20 บาทต่อชิ้นงาน นั่นคือรายได้ของหลังปรับปรุงน้อยกว่าก่อนปรับปรุง 20 บาทต่อชิ้นงาน จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายพบว่าแม้ราคากวที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากราคากวชนิดที่ 2 มีราคาต่ำกว่ากวชนิดที่ 1 แต่การเพิ่มกระบวนการทำความสะอาดพื้นผิวด้วยพลาสมาจะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม ซึ่งทำให้ต้นทุนรวมต่อชิ้นงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น พบว่าแม้ว่าการเพิ่มกระบวนการพลาสมาจะทำให้ค่าใช้จ่ายต่อชิ้นงานสูงขึ้น แต่การปรับปรุงดังกล่าวช่วยยกระดับคุณภาพการยึดติด ลดความแปรปรวนในกระบวนการ ลดโอกาสการเกิดข้อบกพร่อง ลดค่าใช้จ่ายของของเสีย และลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขชิ้นงาน จนสามารถเพิ่มความเชื่อมั่นของลูกค้า เพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตในภาพรวมได้อย่างชัดเจน และเมื่อคำนวณเปรียบเทียบรายได้รวมจากการผลิตชิ้นงานก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง และทำการหักลบค่าใช้จ่ายจากของเสียของปัญหาคราบขาวยาวมากกว่า 5.4 มิลลิเมตร ที่เกิดขึ้น โดยอ้างอิงจากจำนวนการผลิตตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2567 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2568 พบว่ารายได้รวมหลังทำการปรับปรุงมากกว่าก่อนปรับปรุง 49,960,660 บาท ส่งผลให้ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นมีความคุ้มค่าในระยะยาวเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายจากของเสียและค่าใช้จ่ายในการแก้ไขชิ้นงานก่อนปรับปรุงกระบวนการ

6. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดคราบขาวไหลในกระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์พร้อมทั้งหากระดับของปัจจัยที่เหมาะสม เพื่อลดความยาวของคราบขาวลงอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มคุณภาพการยึดติดระหว่างกล่องโลหะและแผ่นวงจรพิมพ์ โดยค่าแรงเดือนต้องมากกว่าค่าปัจจุบัน จากการระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์ พบว่ามีปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการประกอบกล่องโลหะกับแผ่นวงจรพิมพ์มีทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ น้ำหนักกว (A) ระยะเวลาว่างงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้อง (B) ความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงาน (C) และ ชนิดของกว (D) จากนั้นผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทำให้ทราบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความยาวของคราบขาว ได้แก่ อันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาว่างงานไว้หลังประกอบที่อุณหภูมิห้องกับชนิดของกว (BD) และอันตรกิริยาระหว่างความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงานกับชนิดของกว (CD) และปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงเดือน ได้แก่ พจน์กำลังสองของน้ำหนักกว (A^2) อันตรกิริยาระหว่างน้ำหนักกวกับความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงาน (AC) อันตรกิริยาระหว่างน้ำหนักกวกกับชนิดของกว (AD) และอันตรกิริยาระหว่างความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงานกับชนิดของกว (CD) จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) ทำให้ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ค่าความยาวของคราบขาวน้อยที่สุดและค่าแรงเดือนมีค่ามากที่สุด โดยระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ น้ำหนักกว (A) เท่ากับ 6.91 มิลลิกรัม ระยะเวลาว่างงานไว้หลังประกอบ (B) เท่ากับ 41.72 นาที ความสะอาดของพื้นผิวชิ้นงาน (C) เท่ากับ พลาสมา และ ชนิดของกว (D) เท่ากับ ชนิดที่ 2 เมื่อนำระดับปัจจัยที่เหมาะสมไปยืนยันผลการทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความยาวของคราบขาว (Y_1) จะมีค่าน้อยกว่า 1.3461 มิลลิเมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยของค่าแรงเดือน (Y_2)

จะมีค่ามากกว่า 27.7776 กรัมแรง ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์

จากแนวทางการทดลองนี้ สามารถนำไปใช้ต่อยอดในการปรับปรุงกระบวนการยึดติดในผลิตภัณฑ์อื่นซึ่งมีวัสดุที่ใช้ในการประกอบชิ้นงานและการออกแบบที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุประเภทใหม่ ๆ หรือวัสดุที่ช่วยลดต้นทุน และเพิ่มคุณภาพของกระบวนการเพื่อเป็นแนวทางในการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในอนาคตต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบริษัทธนนิศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูล อุปกรณ์และวัสดุในการศึกษาและทดลอง และขอขอบคุณเจ้าของบทความที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้อ้างอิงทุกท่าน

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Neff, J. Huneke, M. Nguyen, P. Liu, T. Herrington, and S. K. Gupta, "No-bleed die attach adhesives," in *International Symposium on Advanced Packaging Materials: Processes, Properties and Interfaces*, California, 2005.
- [2] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, *การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง*, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท็อป, 2551.
- [3] M. D. Capili, "Upgrading die attach epoxy dispensing mechanism," *Journal of Engineering Research and Reports.*, vol. 20, no. 1, pp. 141-148, 2021.
- [4] M. R. Marks, J. A. Thompson, and R. Gopalakrishnan, "An experimental study of die attach polymer bleedout in ceramic packages," *Thin Solid Films.*, vol. 252, pp. 54-60, 1994.
- [5] R. S. Rodriguez, E. M. Graycochea Jr., R. A. Seguido, and F. R. I. Gomez, "Die attach process optimization with enhanced epoxy control on leadframe package," *Journal of Engineering Research and Reports.*, vol. 14, no. 2, pp. 32-37, 2020.
- [6] J. C. Hsiung, R. A. Pearson, and T. B. Lloyd, "A surface energy approach for analyzing die attach adhesive resin bleed," *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies.*, vol. 26, no. 3, pp. 589-594, 2003.
- [7] H. T. Wang and Y. C. Poh, "An analysis on the properties of epoxy based die attach material and the effect to delamination and wire bondability," in *The 33rd International Electronics Manufacturing Technology Conference*, Penang, Malaysia, 2008.
- [8] M. D. Capili, "Understanding and controlling resin bleed out," *International Research Journal of Advanced Engineering and Science.*, vol. 4, no. 4, pp. 196-197, 2019.
- [9] C. Lee, R. Gopalakrishnan, K. Nyunt, A. Wong, R. C. E. Tan, and J. W. L. Ong, "Plasma cleaning of plastic ball grid array package," *Microelectronics Reliability.*, vol. 39, pp. 97-105, 1999.
- [10] S. Pumkrachang, K. Asawarungsaengkul, and P. Chutima, "Experiment investigation and optimization for slider bonding process to enhance the shear strength of epoxy adhesive joint," *Engineering Journal.*, vol. 25, no. 9, pp. 33-44, 2021.
- [11] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 10th ed., New Jersey: John Wiley and Sons, 2019.

- [12] G. Derringer and R. Suich, "Simultaneous optimization of several response variables," *Journal of Quality Technology*, vol. 12, no. 4, pp. 214–219, 1980.