

การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อคัดแยกงานเสียของผลิตภัณฑ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์

Regression Analysis Applying for Defection Rescreening of Microelectronics Product

นิชานัช เกศมุกดา*

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลาชา พุทธมณฑล นครปฐม 73170

Nichanach Katemukda*

Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Salaya, Phutthamonthon, Nakhon Pathom, 73170, Thailand

*Corresponding Author E-mail: Nichanach.kat@rmutr.ac.th

Received: Aug 20, 2021; Revised: Oct 12, 2021; Accepted: Oct 14, 2021

บทคัดย่อ

เนื่องจากในปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ มีขนาดเล็ก เบาหรือบางลง ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ของคอมพิวเตอร์ พกพา อุปกรณ์เก็บข้อมูล อุปกรณ์มือถือ เป็นต้น จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีบทบาทเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตหลักแห่งหนึ่งที่มีการผลิตชิ้นส่วนเหล่านี้เป็นจำนวนมากและมีอยู่หลายบริษัทด้วยกัน บริษัทดังกล่าวมีทั้งที่เป็นบริษัทที่ทำการรับจ้างผลิตและมีผลิตภัณฑ์เป็นของตนเอง เนื่องด้วยชิ้นส่วนไมโครอิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กจึงทำให้แผงวงจรที่ใช้มีความหนา 1 มิลลิเมตร ความกว้าง 100 มิลลิเมตร และความยาว 200 มิลลิเมตร ทั้งนี้โรงงานกรณีศึกษามีการพบของเสียจากชิ้นงานที่ไม่ผ่านการทดสอบในขั้นสุดท้ายก่อนส่งมอบให้ลูกค้า โดยสาเหตุหลักพบว่าปริมาณเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศภายในของแผงวงจรมีค่าเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด ในการหาเปอร์เซ็นต์ของโพรงอากาศภายในนั้นจะต้องทำการตัดขวางเพื่อดูและทำการวัดค่าซึ่งถือเป็นการตรวจสอบแบบต้องทำลายและใช้ระยะเวลานาน ดังนั้นการวิจัยนี้จึงทำการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดที่มีอยู่คือเครื่องเอ็กซ์เรย์วัดเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศ และหาความสัมพันธ์กับการวัดเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศหลังจากการตัดขวาง แล้วใช้การวิเคราะห์การถดถอยในการหาฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์กันของทั้งสองตัวแปรเพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์ของโพรงอากาศภายในของแผงวงจร โดยผลการวิจัยพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศที่ได้จากวัดโดยเครื่องเอ็กซ์เรย์สามารถใช้ทำนายเปอร์เซ็นต์ความเป็นโพรงของรูในแผ่นวงจรหลังการตัดขวางได้ โดยค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการไม่เท่ากับศูนย์ที่ความเชื่อมั่น 95% และค่า Adjusted R-Square เท่ากับ 88.18% ทำให้โรงงานกรณีศึกษาสามารถคัดแยกแผงวงจรที่ไม่ผ่านมาตรฐานได้โดยไม่ทำลาย ประหยัดเวลาในการคัดแยก และได้รับการยอมรับจากทั้งโรงงานกรณีศึกษาและผู้ผลิตแผงวงจร

คำสำคัญ: การวิเคราะห์การถดถอย, ไมโครอิเล็กทรอนิกส์, คุณภาพ

Abstract

Consumer devices, such as laptops, personal data storage, and smart phones, are currently thin, compact, and light-weight. As a result, microelectronics is widely used in consumer electronics. Thailand is home to a number of manufacturers that provide microelectronics products to the market. There are two types of electronics manufacturer: provider solutions and owner brands. The print circuit board dimension 100×200×1 millimeters is now being used in the manufacturing case study. They discovered that the product failed at the test station (Functional Test), with the bulk of the root cause being a void in the through hole that exceeded the customer's requirements. A cross section and measurement are required to check the void in the through hole. This is a destructive measurement with a long lead time, and the factory does not want to rescreen any units by using a destructive method. The goal of this study is to use regression analysis to estimate void % using X-Ray image measurement as a predictor. The research found that the regression model may be used to re-screen defective printed circuit boards (the regression coefficient is not zero at 95 percent confidence intervals, and the adjusted R-square is 88.18 percent) without destroying the part. This is a practical and time-saving method. Furthermore, the factory and the supplier both acknowledge and agree on this regression model.

Keywords: Regression analysis, Microelectronics, Quality

1. บทนำ

ในปัจจุบันสินค้าเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์หลาย ๆ อย่าง เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต มีความต้องการลดขนาดหรือความหนาของผลิตภัณฑ์ลง จึงทำให้มีการออกแบบผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ ๆ ที่มีขนาดเล็กลง [1] ทำให้สามารถพกพาได้สะดวกมากยิ่งขึ้นซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนภายในอุปกรณ์ดังกล่าวต้องมีขนาดเล็กลงด้วย ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกพัฒนาและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ทั้งนี้ประเทศไทยก็เป็นหนึ่งในประเทศที่เป็นฐานการผลิตหลักของชิ้นส่วนไมโครอิเล็กทรอนิกส์และมีบริษัทชั้นนำของโลกตั้งฐานการผลิตหลักที่ประเทศไทย โดยมีทั้งที่เป็นบริษัทที่ทำการรับจ้างผลิตและมีผลิตภัณฑ์เป็นของตนเอง [2] ทั้งนี้บริษัทที่มีผลิตภัณฑ์เป็นของตัวเอง เช่น ไมโครชิป เอวีเอ็กซ์ เป็นต้น เนื่องจากชิ้นส่วนที่ผลิตมีขนาดเล็กจึงทำให้กระบวนการผลิตและกระบวนการประกอบจะต้องใช้เครื่องจักรและเครื่องมือที่มีความละเอียดสูง รวมถึงวัตถุดิบที่ใช้ก็ต้องมีการตรวจสอบคุณภาพก่อนการใช้งานอยู่เสมอเพื่อให้ได้คุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ [3] ในการวิจัยนี้เป็นโจทย์ปัญหาของโรงงานอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการผลิตและประกอบผลิตภัณฑ์ไม

โครอิเล็กทรอนิกส์ โดยโรงงานกรณีศึกษาพบว่ามีความเสี่ยงที่ไม่ผ่านกระบวนการการทดสอบขั้นสุดท้ายทำให้ไม่สามารถส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้าได้ จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาพบว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตรวจสอบมาจากแผงวงจรที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยพบว่าแผงวงจรมีรูโพรงอากาศภายในโพรงมากกว่า 40% ซึ่งเป็นค่าที่เกินกว่ามาตรฐานกำหนด และในการตรวจสอบข้อบกพร่องของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตรวจสอบจะเป็นการทดสอบแบบทำลาย โดยทำการตัดขวางชิ้นงานเพื่อวัดเปอร์เซ็นต์ของโพรงอากาศที่อยู่ในแผงวงจรว่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ [4] ทั้งนี้การทำการตัดขวางนอกจากจะทำลายแผงวงจรแล้วยังต้องใช้เวลาในการทำค่อนข้างนาน ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองทรัพยากรต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นแรงงานคน วัสดุ รวมถึงเครื่องจักร ดังนั้นทางโรงงานกรณีศึกษาจึงต้องการทำการวิจัยเพื่อศึกษาหาวิธีที่สามารถตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ของโพรงอากาศที่อยู่ในรูของแผงวงจรโดยไม่ทำลายและใช้เวลาในน้อยที่สุดก่อนที่จะนำแผงวงจรเข้าสู่กระบวนการผลิต ซึ่งพบว่าเครื่อง X-ray ในปัจจุบันสามารถทำการจำลองและคำนวณเปอร์เซ็นต์ของโพรงอากาศที่อยู่ในรูของแผงวงจรได้ ดังนั้นทางเลือกหลักคือการใช้เครื่อง X-ray เพื่อทำการจำลองรูปโพรงอากาศ

และคำนวณเปอร์เซ็นต์ของโพรงอากาศ แต่ทางผู้ผลิตแผงวงจรจะไม่รับคืนตัวแผงวงจรและเปลี่ยนตัวแผงวงจรใหม่ให้หากโรงงานกรณศึกษาไม่พิสูจน์ด้วยการตัดขวาง ดังนั้นการวิจัยจึงต้องหาสมการความสัมพันธ์ที่ทำให้ผู้ผลิตแผงวงจรยอมรับในการใช้เครื่อง X-ray จำลองและคำนวณเปอร์เซ็นต์ของโพรงอากาศที่อยู่ในรูของแผงวงจร โดยมีการประยุกต์และนำการวิเคราะห์การถดถอยมาใช้ในการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์ของโพรงอากาศจากการ X-ray เทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของโพรงอากาศจากการทำการตัดขวางจริง ทั้งนี้เนื่องจากการทำการตัดขวางต้องใช้ทรัพยากรค่อนข้างมากและประกอบกับต้องใช้เครื่องจักรในการทำงานให้กับผลิตภัณฑ์อื่นและต้องการสูญเสียแผงวงจรในจำนวนที่น้อยที่สุด ทางโรงงานกรณศึกษาจึงมีเงื่อนไขที่จะใช้จำนวนตัวอย่างในการทำการตัดขวางให้น้อยที่สุด เบื้องต้นทางโรงงานกรณศึกษากำหนดจำนวน 8 ตัวอย่างก่อน ดังนั้นการวิจัยจึงต้องทำการพิสูจน์ด้วยว่าจำนวน 8 ตัวอย่างนี้สามารถยอมรับได้ในการสร้างสมการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายได้หรือไม่หรือจำนวนที่เหมาะสมและยอมรับได้ระหว่างโรงงานกรณศึกษาและผู้ผลิตแผงวงจรคือเท่าใด

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

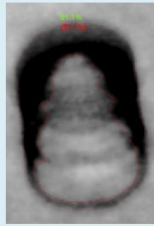
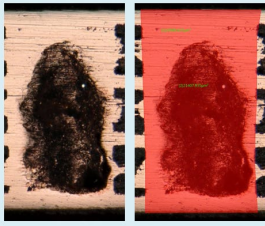
1. เพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมกับเงื่อนไขในปัจจุบันของโรงงานกรณศึกษาและผู้ผลิตแผงวงจร
2. เพื่อสร้างสมการที่ยอมรับได้และใช้ทำนายเปอร์เซ็นต์ค่าโพรงอากาศของแผงวงจรโดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศจากการ X-ray

3. ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Microelectronics)

ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Microelectronics) คือหนึ่งในสาขาย่อยของอิเล็กทรอนิกส์โดยไมโครอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีความสัมพันธ์กับการศึกษาและการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีขนาดเล็กมาก [5] โดยตัวอย่างของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบไปด้วย ตัวเก็บประจุ ไดโอด ชิปประมวลผล เป็นต้น กระบวนการหลักของไมโครอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบไปด้วย 1) กระบวนการติดชิป (Die attach) [6] 2) การเชื่อมวงจรด้วยลวด (Wire bonding) [7] และ 3) การ

ประกอบชิ้นสุดท้าย [8] ผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณศึกษาเป็นผลิตภัณฑ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งโรงงานกรณศึกษาเองเป็นผู้รับจ้างผลิตและต้องทำหน้าที่ในการปกป้องลิขสิทธิ์ของลูกค้า ดังนั้นในการวิจัยนี้จะไม่สามารถแสดงรูปหรือส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ได้ ยกเว้นตัวอย่างรูป X-ray และรูปหลังการตัดขวาง ขนาดของแผงวงจรที่ใช้มีความหนา 1 มิลลิเมตร ความกว้าง 100 มิลลิเมตร และความยาว 200 มิลลิเมตร โดยกระบวนการหลักคือจะมีการหอดกาวที่มีส่วนผสมของโลหะเงินและทำการวางแผนชิปลงบนกาว โดยขนาดของตัวชิปคือ 3×4 มิลลิเมตร จากนั้นนำเข้าไปอบเพื่อให้ตัวชิปกับตัวบอร์ดแผงวงจรติดกัน หลังจากนั้นก็นำเข้าสู่กระบวนการเชื่อมวงจรด้วยลวดทองคำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ไมครอน เสร็จแล้วพนักงานจะทำการตรวจสอบโดยการ ใช้กล้องขนาดกำลังขยาย 30 เท่า เพื่อตรวจสอบจุดบกพร่องต่าง ๆ ในตัวงาน และทำการหอดกาวเพื่อปิดฝาตัวงาน เสร็จแล้วนำเข้าสู่เครื่องทดสอบ สำหรับตัวงานที่ได้รับผลว่าผ่านก็จะนำส่งให้กับลูกค้าเป็นชิ้นตอนสุดท้าย ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นหนึ่งในชิ้นส่วนสำคัญที่ใช้ในอุตสาหกรรมทางการสื่อสาร ทั้งนี้แผงวงจรดังกล่าวได้อ้างอิงมาตรฐาน IPC Standard ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยมาตรฐานที่ใช้ในกรณีนี้คือ IPC Class 2 โดยหัวข้อที่ใช้คือ IPC 6018C [9] ซึ่งในรูปของแผงวงจรจะต้องมีวัสดุเต็มเต็มอยู่อย่างน้อย 60% ของรู หรือในทางกลับกันก็คือมีโพรงอากาศในรูที่สามารถยอมรับได้ไม่เกิน 40% ทั้งนี้ไม่สามารถที่จะมองเห็นวัสดุที่อยู่ในรูด้วยการมองด้วยตาได้เนื่องจากรูนั้นถูกปิดอยู่ ดังนั้นโรงงานกรณศึกษาสามารถดูตำแหน่งของรูได้จากแบบของแผงวงจรโดยใช้เครื่อง X-ray ที่มีความละเอียดระดับ 4K ซึ่งเป็นเครื่อง X-ray รุ่นที่มีความละเอียดสูงสุดในปัจจุบันที่โรงงานกรณศึกษาใช้อยู่และเทคนิคดังกล่าวมีการนำมาใช้เพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องของตัวแผงวงจรเช่นกัน [10] รวมถึงมีการนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์อีกด้วย [11] และเทคนิคการตัดขวางก็ถูกนำมาใช้ในการดูปริมาณโพรงในรูของตัวแผงวงจรเช่นกัน [12] ซึ่งทางผู้ผลิตแผงวงจรยอมรับในวิธีการการตัดขวางแล้วทำการวัดมากกว่า โดยรูปที่ 1 จะแสดงตัวอย่างรูปโพรงอากาศในรูแผงวงจรโดยใช้ เครื่อง 4K

X-ray เปรียบเทียบกับการใช้กล้อง Digital Microscope ถ่ายรูป หลังจากการตัดขวาง อย่างไรก็ตามทางผู้ผลิตแผงวงจรก็สามารถยอมรับวิธีการอื่นได้เช่นกัน หากสามารถแสดงได้ว่าสามารถใช้แทนวิธีการตัดขวางได้ โดยการวิจัยจะทำการนำแผงวงจรมาทำการ X-ray และทำการจำลองโปรแกรมอากาศในรูเสร็จแล้วทำการส่งแผงวงจรนั้นให้หน่วยงานต่อไปในการทำการตัดขวางแล้ววัดและส่งข้อมูลกลับมาโดยดูจากชิ้นงานจริง หลังทำการตัดขวางแล้วว่ามีเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศคิดเป็นเท่าไรของรูในแผงวงจรนั้น จากนั้นทำการคำนวณเพื่อทดสอบว่าจำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุดตามเงื่อนไขที่ยอมรับได้เป็นเท่าไร โดยในเบื้องต้นให้ใช้จำนวน 8 แผงวงจรในขั้นแรก จากนั้นก็ทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อทำการสร้างสมการในลำดับถัดไป

X-ray image	Optical image from Cross section
	
Percent void is 51.10%	Percent void is 48.22%

รูปที่ 1 ตัวอย่างแสดงรูปโพรงอากาศในรูแผงวงจรโดยใช้เครื่อง 4K X-ray เปรียบเทียบกับการใช้กล้อง Digital Microscope ถ่ายรูปหลังจากการตัดขวาง

4. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

(Simple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายเป็นสถิติที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) และตัวแปรตาม (Dependent Variable) รวมไปถึงการสร้างสมการเชิงเส้นตรงที่สามารถใช้ในการทำนายตัวแปรตามที่น่าสนใจในระบบได้ [13] ทั้งนี้สมการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon \quad (1)$$

โดย Y_i คือ ตัวแปรตาม

X_i คือ ตัวแปรอิสระ

β คือ ค่าสัมประสิทธิ์

ϵ คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

ข้อตกลงเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายคือ 1) ค่าคาดหวังของค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ 2) ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ 3) ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน 4) ค่าความคลาดเคลื่อน ไม่มีความสัมพันธ์กับทั้งตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ทั้งนี้การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายใช้การทดสอบแบบ Chi-square ที่ Degree of Freedom (df) = p โดย p คือจำนวนตัวแปรอิสระ โดยสามารถเขียนสมการเพื่อการทดสอบสมมติฐานได้ดังสมการที่ (2) และสมการที่ (3)

$$H_0: \beta_i = 0 \quad (2)$$

$$H_1: \beta_i \neq 0 \quad (3)$$

หากการทดสอบมีนัยสำคัญทางสถิติหรือยอมรับ H_1 แสดงว่าสมการการทำนายมีอยู่และตัวแปรอิสระสามารถทำนายตัวแปรตามได้

ทั้งนี้การหาจำนวนตัวอย่างก็เป็นหนึ่งในโจทย์ปัญหาหลักที่ทางโรงงานกรณีศึกษาต้องทำการวิจัยเนื่องจากจำนวนตัวอย่างในการนำไปทำการตัดขวางมีอย่างจำกัด และต้องการเสียแผงวงจรจำนวนน้อยที่สุดในการนำไปทำการตัดขวางโดยสมการในการคำนวณจำนวนตัวอย่างเป็นไปดังสมการที่ (4) [14]

$$N = \left[\frac{(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})\sigma_y}{\lambda_1 \sigma_x} \right]^2 \quad (4)$$

โดย N คือ จำนวนตัวอย่าง

α คือ Probability of type I error

β คือ Probability of type II error

σ_x คือ ค่าความเบี่ยงเบนของตัวแปรอิสระ

σ_y คือ ค่าความเบี่ยงเบนของตัวแปรตาม

λ_1 คือ ค่าความชันของสมการเชิงเส้น

ในงานวิจัยนี้ใช้ α ที่ 0.05 และใช้ β ที่ 0.2 [15] ซึ่งค่าดังกล่าวได้นำเสนอให้กับโรงงานกรณีศึกษาและทางโรงงาน

กรณีศึกษาได้ทำการประชุมกับผู้ผลิตแผงวงจรและยอมรับค่าตามสถิติที่นำเสนอ ทั้งนี้ผู้ผลิตแผงวงจรได้ให้เพิ่มค่า Adjusted R-square ที่ยอมรับได้คือมากกว่า 80% ถึงจะยอมรับผลการถดถอยเชิงเส้นเพื่อใช้ในการทำนายและยอมรับคืนแผงวงจรที่ไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดคือมีค่าโพรงอากาศมากกว่า 40% โดยค่า $Z_{0.05/2} = 1.96$ และค่า $Z_{(1-0.2)} = 0.84$

ในอดีตจนถึงปัจจุบันมีการนำการถดถอยเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้งานวิจัยในหลายด้าน เช่น ใช้ในการทำนายการไหลของกระแสไฟในการใช้งานแต่ละช่วง [16] ใช้ในการทำนายเครื่องจักรก่อนที่จะเสื่อมสภาพเพื่อทำการซ่อมบำรุงก่อนเกิดการหยุดการทำงาน [17] ใช้ในการทำนายคุณภาพของน้ำ [18] ใช้ในการทำนายคุณภาพของการผลิตท่อ [19] เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้เป็นครั้งแรกในการหาความสัมพันธ์ของการวัดในสองวิธีและนำผลการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายมาใช้ในการคัดแยกงานที่ไม่ได้มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ออกได้โดยไม่ต้องทำลาย

5. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นแรกนำแผงวงจรมาทำการ X-ray โดยใช้เครื่อง 4K X-ray (Nordson Dage รุ่น Quadra 7, Dage Precision Industries Limited, Buckinghamshire, United Kingdom) พร้อมทั้งวัดค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศโดยเครื่อง X-ray เมื่อเสร็จแล้วจะนำแผงวงจรดังกล่าวส่งไปให้หน่วยงานที่ทำหน้าที่ตัดขวางดำเนินการตัดผ่านตรงกลางของรูแผงวงจร จากนั้นจะใช้กล้อง Digital Microscope (Keyence รุ่น VHX-6000, Keyence Corporation, Osaka, Japan) ทำการถ่ายภาพพร้อมทั้งคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศเทียบกับปริมาตรของรู โดยค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศเทียบกับปริมาตรภายในรูของแผงวงจรแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศเทียบกับปริมาตรภายในรูของแผงวงจร

PCBA	X-ray	Digital Microscope (Cross section)
1	51.10%	48.22%
2	64.00%	54.62%

ตารางที่ 1 ค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศเทียบกับปริมาตรภายในรูของแผงวงจร (ต่อ)

PCBA	X-ray	Digital Microscope (Cross section)
3	44.30%	34.36%
4	41.30%	38.15%
5	53.70%	45.13%
6	36.90%	31.58%
7	34.10%	28.54%
8	37.20%	25.85%

จากนั้นทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย โดยใช้โปรแกรม Spreadsheet ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวมีลิขสิทธิ์และเป็นของโรงงานกรณีศึกษา โดยค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศของ X-ray เป็นตัวแปรอิสระ (X) และค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศของการวัดหลังจากทำการตัดขวางเป็นตัวแปรตาม (Y) เมื่อได้ค่าความชันของสมการเชิงเส้นแล้ว ก็ทำการคำนวณหาว่าจำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้เป็นลำดับถัดไป

6. ผลการทดลอง

ผลของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายโดยใช้ข้อมูลในตารางที่ 1 ทำให้ทราบค่าความชันคือ 0.943 จึงนำค่าดังกล่าวไปคำนวณจำนวนตัวอย่างดังสมการที่ (4) พบว่าจำนวนตัวอย่างที่ต้องการคือ 8.68 แผงวงจร กล่าวได้ว่าต้องมีตัวอย่างอย่างน้อย 9 แผงวงจร ดังนั้นโรงงานกรณีศึกษาจึงทำการเพิ่มตัวอย่างมาอีก 1 ตัว ในตารางที่ 2 จะแสดงค่าโพรงอากาศของทั้ง 9 แผงวงจร พร้อมทั้งแสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และข้อมูลชุดนี้จะถูกนำไปใช้ในการหาสมการการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อใช้ในการทำนายเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศในรูของแผงวงจร

โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์จากการ X-ray เป็นตัวแปรอิสระ

ผลของการคำนวณสมการการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายสามารถสรุปสถิติที่สำคัญเพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าสมการเชิงเส้นอย่างง่ายดังกล่าวสามารถยอมรับได้เพื่อใช้ทำนายตามเงื่อนไขหรือไม่แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศของทั้งสองวิธี พร้อมทั้ง ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

PCBA	X-ray	Digital Microscope (Cross section)
1	51.10%	48.22%
2	64.00%	54.62%
3	44.30%	34.36%
4	41.30%	38.15%
5	53.70%	45.13%
6	36.90%	31.58%
7	34.10%	28.54%
8	37.20%	25.85%
9	42.30%	32.48%
ค่าเฉลี่ย	44.99%	37.66%
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.096	0.097

ตารางที่ 3 สรุปสถิติเพื่อใช้ในการตัดสินใจ

ค่าทางสถิติ	ค่าที่ได้จากสมการ
Adjusted R-Square	88.18%
R-Square (Predict)	84.42%
ค่า P-Value ของสมการการถดถอย	0.00
ค่า P-Value ของสัมประสิทธิ์การถดถอย	0.00

ทั้งนี้ค่า P-value ของสมการการถดถอยและค่า P-value ของสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีสมการการถดถอย (Rejected H_0 ; $\beta_1 = 0$) ดังแสดงตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตาราง ANOVA

ANOVA	df	SS	MS	F	P-Value
Regression	1	0.067	0.067	60.687	0.00
Residual	7	0.008	0.001		
Total	8	0.075			

ค่าผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 0.000 ทั้งนี้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีความสัมพันธ์กับทั้งตัวแปรอิสระและตัวแปรตามดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ค่าความคลาด

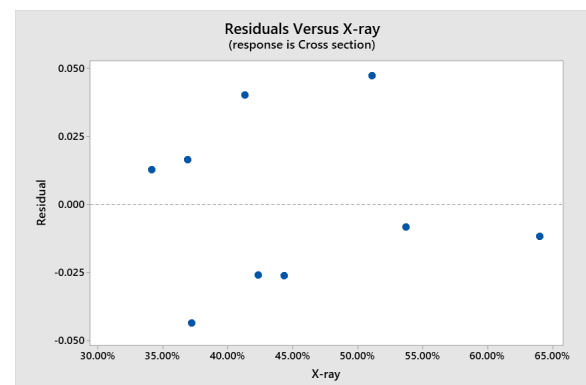
เคลื่อนแจกแจงแบบปกติดังแสดงในรูปที่ 4 สมการถดถอยเชิงเส้นสามารถใช้ในการอธิบายหรือทำนายตัวแปรตามได้ 88.18% ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขที่ตกลงกับทางผู้ผลิตแผงวงจรที่ค่า Adjusted R-Square ต้องมีค่ามากกว่า 80% ทั้งนี้ค่า R-Square (Predict) ก็มีค่ามากกว่า 80% เช่นกัน โดยสมการถดถอยเชิงเส้นดังกล่าวสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (5)

$$\hat{Y} = 0.95X - 0.05 \quad (5)$$

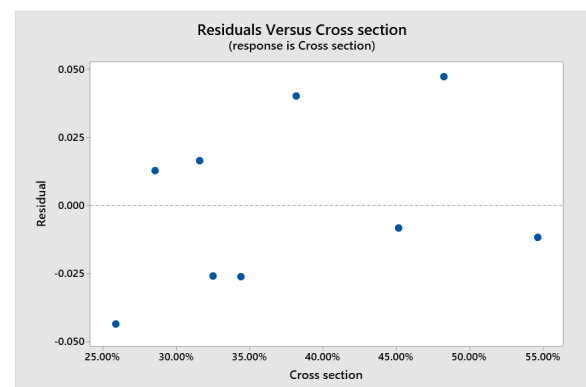
โดย $\hat{Y}$ คือ ค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศจากการพยากรณ์

X คือ ค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศของการ X-ray

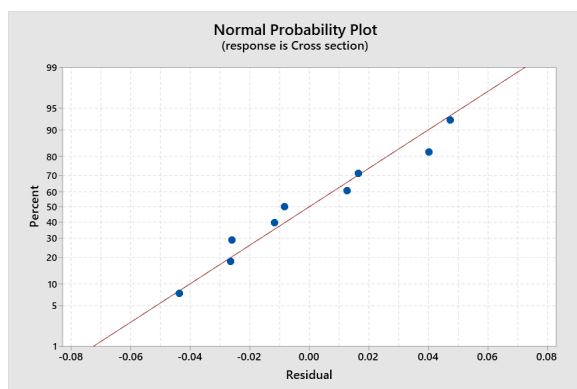
เมื่อนำข้อมูลค่าความชื้นมาคำนวณหาจำนวนตัวอย่างอีกครั้งจะได้ค่าเท่ากับ 8.78 ซึ่งจำนวนตัวอย่าง 9 แผงวงจรเพียงพอและสามารถถดถอยต้นทุนในการทำการตัดขวางและทำให้เสียจำนวนแผงวงจรจากการตัดขวางน้อยที่สุดได้



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนกับตัวแปรอิสระ



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนกับตัวแปรตาม



รูปที่ 4 กราฟแสดงการแจกแจงปกติของค่าความคลาดเคลื่อน

7. อภิปรายผลการทดลอง

โจทย์การวิจัยทั้งสองข้อสามารถตอบคำถามการวิจัยได้ดังนี้

1) จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายคือจำนวน 9 แผงวงจร โดยจำนวนดังกล่าวสามารถยอมรับได้ตามหลักการการคำนวณจำนวนตัวอย่างและได้รับการยอมรับจากโรงงานกรณีศึกษาและผู้ผลิตแผงวงจร เป็นการลดต้นทุนในการทำการตัดขวางและจำนวนแผงวงจรที่จะต้องทำลาย

2) สมการการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายสามารถยอมรับได้ตามเงื่อนไขของทั้งโรงงานกรณีศึกษาและผู้ผลิตแผงวงจร โดยสามารถใช้ค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศจากการ X-ray มาทำการแทนค่าในสมการการถดถอยอย่างง่ายในสมการที่ (3) เพื่อนำผลที่ได้ดังกล่าวมาทำการคัดแยกแผงวงจรที่ไม่ได้มาตรฐานออกและส่งกลับให้กับผู้ผลิตแผงวงจรต่อไป โดยผลการทดลองดังกล่าวทำให้โรงงานกรณีศึกษามีแผงวงจรใช้ในการผลิตได้ต่อไปโดยไม่กระทบกับแผนการส่งมอบงานให้กับลูกค้า

8. สรุปผลการทดลอง

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าสมการการถดถอยสามารถใช้ในการทำนายเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศได้ (R-square (Predict) 84.42%) โดยสมการดังกล่าวเป็นที่ยอมรับตามหลักการทางสถิติ (P-Value ของ Regression model < 0.05) และตอบโจทย์ตามความต้องการของโรงงานกรณีศึกษาและผู้ผลิตแผงวงจรในการคัดแยกแผงวงจรที่ไม่ได้มาตรฐานออกก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์

ทั้งนี้ผู้ผลิตแผงวงจรแห่งทางโรงงานกรณีศึกษาว่าได้ทำการปรับปรุงกระบวนการแล้ว เนื่องจากปัญหาในการตั้งค่าเครื่องจักรก่อนการผลิตในตอนเริ่มต้น จึงทำให้มีรุ่นการผลิตที่จะต้องทำการคัดออกเป็นจำนวนหนึ่ง โดยทางผู้ผลิตจะแจ้งรุ่นที่ผลิตในช่วงเวลาดังกล่าวให้กับโรงงานกรณีศึกษาเป็นทางการต่อไป โดยการวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้สถิติเพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในด้านอุตสาหกรรม ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นและสามารถลดต้นทุนให้กับทางโรงงานกรณีศึกษาได้และยังสามารถมีแผงวงจรใช้ในการผลิตได้ต่อไป เนื่องจากในสถานการณ์โควิด 19 ทำให้วัตถุดิบมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการผลิตในช่วงที่การส่งมอบมีความสำคัญสูง ทั้งนี้หากในอนาคตโรงงานกรณีศึกษายังพบของเสียอยู่เป็นประจำดังนั้นงานวิจัยในอนาคตอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมกับทางผู้ผลิตเครื่อง X-ray ในการเพิ่มการวัดและส่งผ่านข้อมูลลงในสมการได้โดยอัตโนมัติและสามารถคัดแยกได้ในทันที ซึ่งในปัจจุบันยังต้องใช้พนักงานในการทำการ X-ray วัดตำแหน่งแล้วทำการแทนค่าเพื่อตัดสินใจอีกครั้งหนึ่งในสมการแล้วจึงทำการคัดแยกงาน

9. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา ทั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ในการสนับสนุนส่งเสริมให้เกิดงานวิจัยและเผยแพร่การตีพิมพ์ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Iwai, K. Kakushima and H. Wong, "Challenges for future semiconductor manufacturing," *International Journal of High Speed Electronics and Systems*, vol. 16, no. 1, pp. 43–81, 2006.
- [2] L. Errighi and C. Bodwell, "Global trends in the E&E industry," *Electrical and electronics manufacturing in Thailand: Exploring challenges and good practices in the workplace*, Bangkok, Thailand: International Labor Organization, 2017, ch. 2, pp. 2–4.

- [3] T. F. Edgar, S. W. Butler, W. J. Campbell et al., "Automatic control in microelectronics manufacturing: Practices, challenges, and possibilities," *Automatica*, vol. 36, no. 11, pp. 1567–1603, 2000, doi: 10.1016/S0005-1098(00)00084-4.
- [4] X. Wu and W. Sha, "Experimental study of the voids in the electroless copper deposits and the direct measurement of the void fraction based on the scanning electron microscopy images," *Applied Surface Science*, vol. 225, no. 7, pp. 4259–4266, 2009, doi: 10.1016/j.apsusc.2008.11.015.
- [5] R. Noyce, "Microelectronics," *Scientific American*, vol. 237, no. 3, pp. 62–69, 1977.
- [6] H. Zhang, J. Minter and N. C. Lee, "A Brief Review on High-Temperature, Pb-Free Die-Attach Materials," *Journal of Electronic Materials*, vol. 48, pp. 201–210, 2019, doi: 10.1007/s11664-018-6707-6.
- [7] H. George, "The Technical Introduction to the Third Edition," in *Wire Bonding in Microelectronics*, 3rd ed. New York, NY, USA.: McGraw-Hill, 2010, ch. 1, sec. 1.1, pp. 2–3.
- [8] B. Razavi, "Introduction to microelectronics," in *Fundamental of microelectronics: with robotics and bioengineering application*, 3rd ed., California, CA, USA.: John Wiley & Sons Inc., 2021, ch. 1, sec. 1.1, pp. 1–2.
- [9] *Qualification and Performance Specification for High Frequency (Microwave) Printed Boards*, IPC-6018, 2016.
- [10] X. Huang, S. Zhu, X. Huang et al., "Detection of plated through hole defects in printed circuit board with X-ray," presented at the 16th International Conference on Electronic Packaging Technology (ICEPT), Changsha, China, Aug. 11–14, 2015, doi: 10.1109/ICEPT.2015.7236817.
- [11] M. Pacheco and D. Goyal, "X-ray computed tomography for non-destructive failure analysis in microelectronics," presented at 2010 IEEE International Reliability Physics Symposium, Anaheim, CA, USA., Jun. 17, 2010, doi: 10.1109/IRPS.2010.5488820.
- [12] W. P. Dow and H. H. Chen, "A novel copper electroplating formula for laser-drilled micro via and through hole filling," *Circuit World*, vol. 30, no. 3, pp. 33–36, 2004, doi: 10.1108/03056120410520597.
- [13] D. Montgomery, E. Peck and G. Vining, "Simple Linear Regression," *Introduction to Regression Analysis*, New Jersey, NJ, USA.: John Wiley & Sons Inc., 2006, ch. 2, sec. 2.1, pp. 12–13.
- [14] W. D. Dupont and W. D. Plummer, "Power and Sample Size Calculations for Studies Involving Linear Regression," *Controlled Clinical Trials*, Vol. 19, no. 6, pp. 589–601, 1998, doi: 10.1016/s0197-2456(98)00037-3.
- [15] S. W. Choi and D. H. D. Tran, "Calculating sample size Alpha, Beta, Mu and Sigma – it's all Greek," *Journal of the Association of Anaesthetists*, vol. 71, no. 4, pp. 462–264, 2016, doi: 10.1111/anae.13369.
- [16] T. Hong, M. Gui, M. E. Baran and H. L. Willis, "Modeling and forecasting hourly electric load by multiple linear regression with interactions," presented at IEEE PES General Meeting, Minnesota, MN, USA, Jul. 25–29, 2010, doi: 10.1109/PES.2010.5589959.
- [17] T. Abbasi, K. H. Lim, N. S. Rosli, I. Ismail and R. Ibrahim, "Development of Predictive Maintenance Interface Using Multiple Linear Regression," presented at International Conference on Intelligent and Advanced System (ICIAS), Kuala Lumpur, Malaysia, Aug 13–14, 2018, doi: 10.1109/ICIAS.2018.8540602.

-
- [18] A. K. Kada, V. M. Wagh, A. A. Muley, B. N. Umrikar and R. N. Sankhua, "Prediction of water quality index using artificial neural network and multiple linear regression modelling approach in Shivganga River basin, India," *Modeling Earth Systems and Environment*, vol. 5, pp. 951–962, 2019, doi: 10.1007/s40808-019-00581-3.
- [19] García, J. Sánchez, L. Rodríguez-Picón, L. Mendez and H. Ochoa, "Using regression models for predicting the product quality in a tubing extrusion process," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 30, pp. 2535–2544, 2019, doi: 10.1007/s10845-018-1418-7.