



การลดคราบขาวในกระบวนการชุบแผงวงจรแบบยึดหยุ่นด้วยไฟฟ้าโดยใช้การออกแบบการทดลอง

ช่อแก้ว จตุรานนท์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปณณยวีร์ พิพัฒธนานันต์ และ ชีรเดช วุฒิพรพันธ์*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้พิมพ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2555-2000 ต่อ 8141 อีเมล: teeradejw@kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.03.008

รับเมื่อ 17 พฤษภาคม 2560 ตอรับเมื่อ 27 กรกฎาคม 2560 เผยแพร่ออนไลน์ 21 มีนาคม 2561

© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าการปรับตั้งปัจจัยเพื่อลดการเกิดคราบขาวของกระบวนการชุบแผงวงจรแบบยึดหยุ่นด้วยไฟฟ้าของโมเดล QXS ซึ่งเกิดขึ้นโดยเฉลี่ย 2.77% ของยอดการผลิต ผู้วิจัยเริ่มจากการประเมินความสามารถของพนักงานในการตรวจสอบคราบขาวโดยใช้การวิเคราะห์ความเห็นพ้องกัน เพื่อให้มั่นใจได้ว่าพนักงานมีความสามารถในการตรวจสอบได้อย่างถูกต้อง และผลการทดลองที่จะได้รับนั้นมีความน่าเชื่อถือ หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปรับตั้งปัจจัยในกระบวนการชุบที่เหมาะสม จากการศึกษากระบวนการชุบพบว่า มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดคราบขาวอยู่ 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำยานิกเกิล ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และความถี่ในการเปลี่ยนน้ำ ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล โดยทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ผลการทดลองพบว่า การปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการชุบคือ การใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.0 ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 3.0 แอมป์ต่อตารางเดซิเมตร และต้องเปลี่ยนน้ำทุกวัน โดยสามารถลดการเกิดของเสียแบบคราบขาวลดลงเหลือเพียง 0.41% หรือลดค่าใช้จ่ายลงได้เฉลี่ยเดือนละ 98,000 บาท

คำสำคัญ: แผงวงจรแบบยึดหยุ่น, คราบขาว, การทดลองแฟกทอเรียล, การวิเคราะห์ความเห็นพ้องกัน

การอ้างอิงบทความ: ช่อแก้ว จตุรานนท์ ปณณยวีร์ พิพัฒธนานันต์ และ ชีรเดช วุฒิพรพันธ์, “การลดคราบขาวในกระบวนการชุบแผงวงจรแบบยึดหยุ่นด้วยไฟฟ้าโดยใช้การออกแบบการทดลอง,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 28, ฉบับที่ 2, หน้า 291–298, เม.ย.-มิ.ย. 2561.

White Stain Reduction in Electroplating Process of Flexible Printed Circuit Board by Using Design of Experiment

Chorkaew Jaturanonda

Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand

Punyavee Phiphatthananan and Teeradej Wuttiornpun*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0-2555-2000 Ext 8134, E-mail: teeradejw@kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.03.008

Received 17 May 2017; Accepted 27 July 2017; Published online: 21 March 2018

© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research aims to determine a factor setting that can reduce the white stain problem in the electroplating process of flexible printed circuit boards using the QXS model, which on average occurs in 2.77% of one production batch. The performance of inspectors by using attribute agreement analysis (AAA) is first evaluated to ensure that they performed well for checking for a white stain. Second, a factorial experiment with 3 replicates was conducted in order to determine the proper factor setting for the concerned factors, which were the pH of nickel solution, current density, and water changing frequency. The results showed that the proper factor setting was to use the nickel solution with the pH of 3 and a current density of 3.0 A/dm^2 , and to change the water every day. Based on this setting, the white stain problem was reduced to 0.41%, which would lead to a factory savings cost of 98,000 baht per month on average.

Keywords: Flexible Printed Circuit Board, White Stain, Factorial Experiment, Attribute Agreement Analysis

Please cite this article as: C. Jaturanonda, P. Phiphatthananan, and T. Wuttiornpun, "White stain reduction in electroplating process of flexible printed circuit board by using design of experiment," *The Journal of KMUTNB*, vol. 28, no. 2, pp. 291-298, Apr.-Jun. 2018 (in Thai).

1. บทนำ

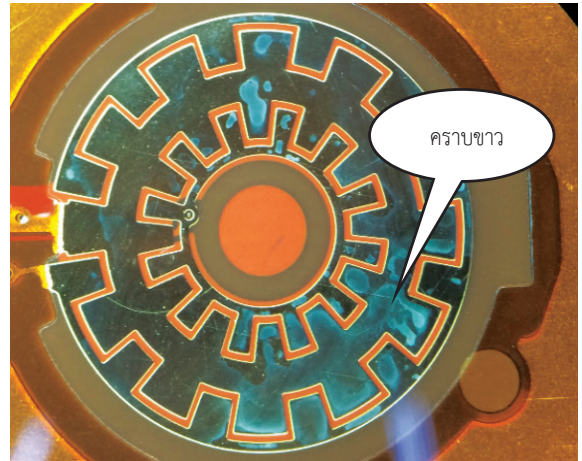
ปัจจุบันแผงวงจรไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น (Flexible Printed Circuit Board) ได้ถูกนำมาใช้ในการประกอบอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์มือถือ นาฬิกา กล้องถ่ายรูป เนื่องจากแผงวงจรไฟฟ้าชนิดนี้มีขนาดเล็กและมีความยืดหยุ่นสูง ทำให้การประกอบง่ายขึ้นและมีความทนทานต่อการใช้งาน กระบวนการผลิตแผงวงจรไฟฟ้าแบบยืดหยุ่นมีหลายขั้นตอนหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่ ขั้นตอนการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงวงจร จากข้อมูลการชุบตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึงสิงหาคม 2558 ของรุ่น QXS พบว่าเกิดของเสียชนิดคราบขาวบนผิวชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเกิดขึ้นร้อยละ 2.77 ของยอดการผลิต ส่งผลให้โรงงานมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเดือนละ 110,000 บาท เนื่องจากต้องใช้วัตถุดิบในกระบวนการชุบที่มีราคาสูง ได้แก่ นิกเกิล และทอง ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการควบคุมกระบวนการชุบให้เกิดของเสียน้อยที่สุด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าการปรับตั้งปัจจัยในกระบวนการชุบเพื่อลดการเกิดคราบขาวบนแผงวงจรของรุ่น QXS โดยเริ่มจากการประเมินความสามารถในการตรวจสอบคราบขาวของพนักงาน เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถตรวจสอบได้อย่างถูกต้อง จากนั้นทำการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาการปรับตั้งปัจจัยในกระบวนการชุบที่เหมาะสมต่อไป

การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating) ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางสำหรับงานตกแต่งผิวชิ้นงาน เพื่อให้ผิวชิ้นงานมีความสวยงาม ทนทานต่อรอยขีดขูด ซึ่งโดยทั่วไปจะชุบด้วย นิกเกิล ทอง ทองแดง หรือวัสดุอื่นๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและต้นทุนของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เป็นหลัก [1], [2]

ปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายที่พยายามจะลดของเสียลักษณะต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการชุบด้วยไฟฟ้า โดยงานวิจัยส่วนใหญ่จะศึกษาถึงการปรับตั้งปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการชุบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน หรือใช้วัสดุชุบที่แตกต่างกัน [3]-[9]

Poroch-Seritan *et al.* [10] ได้ศึกษากระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า และสรุปว่ามีปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Current Density)



รูปที่ 1 ลักษณะการเกิดคราบขาว

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำยา (pH) และอุณหภูมิในการชุบ โดยปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการชุบดังนี้

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า เป็นปัจจัยหลักที่มีผลโดยตรงต่อผิวชิ้นงานทางด้าน ความเรียบผิว ความหนา และความสม่ำเสมอของผิวชิ้นงาน [11]

การปรับเปลี่ยนค่า pH ของน้ำยาจะมีผลต่อความเงางามและความเรียบของผิวชิ้นงาน ส่วนการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในการชุบจะส่งผลต่อความเงางาม และความแข็งของผิวชิ้นงาน [11], [12]

นอกจากปัจจัยที่กล่าวมา อาจมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องได้อีกทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของเสียที่เกิดขึ้น เช่น ความสะอาดของน้ำยา เวลาในการชุบ รูปร่างของชิ้นงาน เป็นต้น [10]

งานวิจัยส่วนใหญ่จะทดลองเพื่อหาค่าการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมโดยใช้วิธีปรับเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ ในขณะที่กำหนดค่าปัจจัยอื่นๆ ไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่ง (One Factor At A Time; OFAT) ซึ่งการทดลองแบบนี้จะศึกษาผลที่เกิดขึ้นได้เฉพาะปัจจัยหลัก แต่ไม่สามารถศึกษาถึงผลกระทบจากปัจจัยร่วมซึ่งอาจจะทำให้การสรุปผลผิดพลาดได้ [10]

จากที่กล่าวมาสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการทดลองสำหรับการลดคราบขาวได้ดังต่อไปนี้

ปัจจัยหลักที่ใช้ในการทดลองนี้ จะใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และค่า pH ของน้ำยานิกเกิล ส่วนปัจจัย

ด้านอุณหภูมิในการชุบจะถูกกำหนดไว้ให้คงที่ เนื่องจากการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิจะทำให้มีผลต่อผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ผลิตในบริเวณเดียวกัน และเนื่องจากลักษณะคราบขาวที่เกิดขึ้นจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับความสะอาดของน้ำยานิกเกิลที่ใช้ในการชุบ ดังนั้น ในการทดลองนี้จะเพิ่มปัจจัยทางด้านความถี่ในการเปลี่ยนน้ำยาเข้ามาด้วย

ในงานวิจัยนี้ จะใช้การวิเคราะห์ความเห็นพ้องกัน (Attribute Agreement Analysis; AAA) เพื่อการประเมินความสามารถในการตรวจสอบคราบขาวของพนักงานก่อนที่จะใช้พนักงานเหล่านี้ไปตรวจสอบชิ้นงานจากการทดลองจริงเพื่อที่จะทำให้แน่ใจได้ว่าข้อมูลจากการตรวจสอบมีความถูกต้องดีพอที่จะนำไปวิเคราะห์ในการออกแบบการทดลอง และเราจะใช้การทดลองแฟกทอเรียลเพื่อศึกษาทั้งผลกระทบจากปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม เพื่อปรับปรุงกระบวนการต่อไป

2. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การวิเคราะห์ความเห็นพ้องกัน และการออกแบบการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การวิเคราะห์ความเห็นพ้องกัน

ผู้วิจัยได้กำหนดกลุ่มชิ้นงานตัวอย่างจากภายในกระบวนการผลิตจำนวน 50 ชิ้น โดยมีทั้งชิ้นงานมาตรฐานที่มีคราบขาวและไม่มีคราบขาว จากนั้นคัดเลือกพนักงานที่มีความชำนาญในการตรวจสอบจำนวน 6 คน มาตรวจสอบชิ้นงานโดยทำซ้ำ 3 ครั้งแบบสุ่ม พนักงานจะถูกประเมินว่าผ่านเมื่อมีค่าสถิติ Kappa ทางด้านการทำซ้ำและทางด้านความถูกต้องไม่ต่ำกว่า 0.75 (Automotive Industry Action Group; AIAG) ในกรณีที่ตรวจสอบไม่ผ่าน จะต้องทำการอบรมและทดสอบพนักงานจนกว่าจะผ่านเกณฑ์ จึงจะส่งพนักงานเหล่านั้นลงไปเก็บข้อมูลได้

2.2 การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยได้แบ่งตัวแปรออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม โดยมี

รายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 ตัวแปรอิสระ

ผู้วิจัยได้ศึกษาและวิเคราะห์ร่วมกับทีมวิศวกร เพื่อที่จะกำหนดปัจจัยและระดับที่มีผลกระทบต่อการศึกษาคราบขาวผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย (Factor)	ระดับปัจจัย (Level)
ความเป็นกรด-ด่างของน้ำยานิกเกิล (pH Nickel Solution; pH)	5
	3
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของนิกเกิล (Current density; DK)	3 A/dm ²
	5 A/dm ²
ความถี่ในการเปลี่ยนน้ำ (Water Changing Frequency; WF)	ทุกวัน
	ทุก 3 วัน

2.2.2 ตัวแปรตาม

ตัวแปรตามภายในงานวิจัยนี้คือ ค่าสัดส่วนของเสียแบบคราบขาวของแต่ละการทดลอง โดยใช้จำนวนชิ้นงานในการทำการทดลองครั้งละ 3,200–3,500 ชิ้น

ผู้วิจัยได้ใช้การทดลองแฟกทอเรียล เพื่อศึกษาผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของปัจจัย โดยจัดลำดับการทดลองเป็นแบบสุ่ม ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง รวมเป็นการทดลองทั้งสิ้น 24 การทดลอง โดยใช้ชิ้นงานทั้งหมด 81,297 ชิ้น

3. ผลการทดลอง

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ คือ การวิเคราะห์ความเห็นพ้องกัน และการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์ความเห็นพ้องกัน

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่าสถิติ Kappa ทางด้านการทำซ้ำ (Within and Between Appraisers) และทางด้านความถูกต้อง (Each and All Appraisers vs Standard) มีค่าไม่น้อยกว่า



0.9 ซึ่งหมายความว่าพนักงานเหล่านี้มีความสามารถในการตรวจสอบคราบขาวอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความเห็นพ้องกัน

หัวข้อการประเมิน	ค่าสถิติ Kappa
Within Appraiser	> 0.9
Between Appraisers	> 0.9
Each Appraiser VS Standard	> 0.9
All Appraisers VS Standard	> 0.9

3.2 การวิเคราะห์ผลทดลอง

ผู้วิจัยแบ่งการวิเคราะห์ผลทดลองออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ การตรวจสอบความถูกต้องของการทดลอง การหาค่าอำนาจการทดสอบ และการหาค่าการปรับตั้งของแต่ละปัจจัย แต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของการทดลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองจะแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- 1) การตรวจสอบการกระจายตัวของส่วนตกค้าง
- 2) การตรวจสอบความแปรปรวนของส่วนตกค้าง
- 3) การตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง

โดยค่าส่วนตกค้างต้องมีการแจกแจงปกติ มีความแปรปรวนคงที่ และมีความเป็นอิสระต่อกัน [13] การตรวจสอบค่าส่วนตกค้างจะต้องใช้โมเดลการทดลองที่ได้ตัดปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องออกแล้ว (Final Model) รูปที่ 1 แสดงปัจจัยทั้งหมดในการทดลองจะเห็นว่าไม่มีปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) รวมอยู่ด้วย หลังจากตัดปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญออกจะได้โมเดลที่เหมาะสมดังรูปที่ 2 จากนั้นจึงสามารถทดสอบค่าส่วนตกค้างทั้ง 3 ข้อกับโมเดลนี้ ผลลัพธ์จากการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งพบว่าคุณสมบัติของค่าส่วนตกค้างเป็นไปตามข้อกำหนด

3.2.2 การหาค่าอำนาจการทดสอบ

การตรวจสอบหาค่าอำนาจการทดสอบทำเพื่อเป็นการตรวจสอบว่าการทดลองจะมีโอกาสในการสรุปผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) สูงเกินไปหรือไม่ ซึ่งภายในโรงงานกรณี

Analysis of Variance (Coded Coefficients)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant		0.014200	0.000461	30.80	0.000
pH	0.000117	0.000058	0.000461	0.13	0.901
Dk	0.004450	0.002225	0.000461	4.83	0.000
WF	0.006500	0.003250	0.000461	7.05	0.000
pH*Dk	0.000700	0.000350	0.000461	0.76	0.459
pH*WF	0.001717	0.000858	0.000461	1.86	0.081
Dk*WF	0.003950	0.001975	0.000461	4.28	0.001
pH*Dk*WF	-0.000033	-0.000017	0.000461	-0.04	0.972

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0022583	85.64%	79.36%	67.69%

รูปที่ 1 โมเดลการทดลองก่อนตัดปัจจัย

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant		0.014200	0.000462	30.76	0.000
Dk	0.004450	0.002225	0.000462	4.82	0.000
WF	0.006500	0.003250	0.000462	7.04	0.000
Dk*WF	0.003950	0.001975	0.000462	4.28	0.000

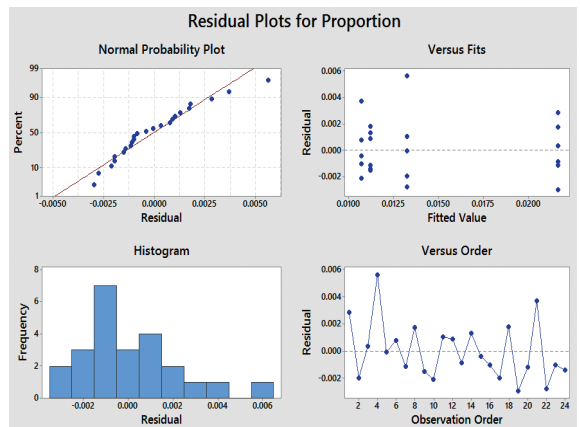
Lack-of-Fit (P-value = 0.429)

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0022617	82.00%	79.29%	74.07%

Regression Equation in Uncoded Units

$$\text{Proportion} = 0.0146 - 0.0017\text{Dk} - 0.0046\text{WF} + 0.0019\text{Dk*WF}$$

รูปที่ 2 โมเดลการทดลองหลังตัดปัจจัย



รูปที่ 3 ผลการตรวจสอบค่าส่วนตกค้าง

ศึกษาการควบคุมความผิดพลาดนี้อยู่ระหว่าง 10–20% (กำหนดโดยทีม Six Sigma ของโรงงาน) โดยกำหนดค่าความไวในการตรวจสอบไว้ที่ 10 ขึ้น หรือคิดเป็นค่าสัดส่วนของเสียประมาณ 0.003 และใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโมเดลในรูปที่ 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.00226175 ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4

Power and Sample Size

2-Level Factorial Design

$\alpha = 0.05$ Assumed standard deviation = 0.00226175

Factors: 3 Base Design: 3, 8
Blocks: none

Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Power
0	0.003	3	24	0.861902

รูปที่ 4 ค่าอำนาจการทดสอบของการทดลอง

จากรูปที่ 4 พบว่าการทดลองมีค่าอำนาจการทดสอบอยู่ที่ 86.19% หรือหมายถึงมีโอกาสในการสรุปผิดแบบที่ 2 เท่ากับ 13.81% ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่โรงงานยอมรับได้

3.2.3 การหาค่าการปรับตั้งปัจจัย

จากโมเดลที่เหมาะสมในรูปที่ 2 เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของเสีย (Y) กับปัจจัยต่างๆ แบบใช้ค่าจริง (Uncoded) ได้ดังสมการที่ (1)

$$Y = 0.0146 - 0.0017DK - 0.0046WF + 0.0019DK*WF \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) เราสามารถหาค่าการปรับตั้งของปัจจัยโดยใช้ Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab เนื่องจากต้องการให้เกิดของเสียของน้อยที่สุด จึงกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์เพื่อหาค่าต่ำที่สุด (Minimize) โดยโรงงานตั้งเป้าหมาย (Target) ไว้ที่ค่า 0.011 (ลดลงจากเดิม 60%) และกำหนดค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ (Upper Limit) ไว้ที่ 0.014 (ลดลงจากเดิม 50%) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 พบว่าสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของกระบวนการชุบคือ ตั้งค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 3.0 แอมป์ต่อตารางเดซิเมตร และเปลี่ยนน้ำทุกวัน จะได้ค่าการทำนายการเกิดสัดส่วนคราบขาว 0.0107 หรือ 1.07%

เพื่อทดสอบว่าการปรับตั้งค่าดังกล่าวจะสามารถนำไปใช้งานได้จริงหรือไม่ ผู้วิจัยได้ทดสอบการใช้งานจริงกับชิ้นงาน



รูปที่ 5 ผลการหาค่าที่เหมาะสม

Test and CI for One Proportion

Test of $p = 0.0107$ vs $p < 0.0107$

Sample	X	N	Sample p	95% Upper Bound	Exact P-Value
1	830	202368	0.004101	0.004343	0.000

รูปที่ 6 ผลการทดสอบทางสถิติจากการใช้งานจริง

จำนวน 202,368 ชิ้น ผลที่ได้พบว่าเกิดคราบขาวขึ้นเพียง 830 ชิ้น หรือคิดเป็น 0.41% จากนั้นได้นำผลมาเปรียบเทียบกับผลการเกิดคราบขาวที่ได้จาก Response Optimizer (1.07%) โดยมีการกำหนดสมมติฐานในการทดสอบดังนี้

$$H_0 : \text{ค่าสัดส่วนของเสียหลังการทดลอง} = 0.0107$$

$$H_1 : \text{ค่าสัดส่วนของเสียหลังการทดลอง} < 0.0107$$

จากการใช้ One-Sample Proportion Test ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 6 พบว่าต้องปฏิเสธ H_0 เนื่องจากค่า p-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 สรุปได้ว่าค่าสัดส่วนของเสียจากการยืนยันผลการทดลองจะมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จาก Response Optimizer

4. สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการชุบแผงวงจรแบบยืดหยุ่นด้วยไฟฟ้า พร้อมทั้งหาระดับของปัจจัยในกระบวนการชุบเพื่อทำให้จำนวนของเสียแบบคราบขาวลดลง จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ควรจะตั้งกำหนดค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำยานิเกิลเท่ากับ 3.0 ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 3.0 แอมป์ต่อตารางเดซิเมตร และต้องเปลี่ยนน้ำทุกวัน

จากการทดลองใช้งานจริงกับชิ้นงานจำนวน 202,368 ชิ้นงาน ตั้งแต่เดือนเมษายน ถึง กรกฎาคม 2559 พบว่าอัตราการเกิดของเสียแบบคราบขาวลดลงจาก 2.77% เหลือ 0.41% ซึ่งโรงงานสามารถลดความสูญเสียได้เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 98,000 บาทต่อเดือน และนอกจากโมเดล QXS ยังมีอีก 6 โมเดลที่ต้องผ่านกระบวนการชุบโดยใช้เครื่องชุบเดียวกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ตรวจสอบของเสียของโมเดลเหล่านี้ด้วย เพื่อศึกษาว่าการปรับปรุงเช่นเดียวกับโมเดล QXS จะมีผลกระทบต่อโมเดลอื่นๆ หรือไม่ หลังจากตรวจสอบพบว่าไม่เกิดของเสียลักษณะคราบขาว หรือของเสียประเภทอื่นๆ เพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการเปลี่ยนแปลงปัจจัย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การปรับตั้งปัจจัยนี้มีความเหมาะสมเป็นอย่างมาก สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้อง ตรงตามวัตถุประสงค์ อีกทั้งยังส่งผลดีต่อโมเดลอื่นๆ ให้มีคุณภาพในการผลิตที่ดียิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้อนุเคราะห์ให้ใช้งานโปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] G. A. Di Bari, *Electrodeposition of nickel in modern electroplating*. New Jersey, John Wiley & Sons Inc., 2000.
- [2] B. R. Babu, S. U. Bhanu, and K. S. Meera, "Waste minimization in electroplating industries: A review," *Journal of Environmental Science and Health Part C*, vol. 27, no. 3, pp.155-177, 2009.
- [3] O. V. Dolgikh, V. T. Zuen, and N. V. Sotskaya, "The influence of the nature of background anions on the buffer capacity of glycine-containing electrolytes for nickel electroplating," *Russian Journal of Chemistry A*, vol. 83, no. 6, pp. 939-944, 2009.
- [4] N. A. Badarulzaman, S. Purwadaria, A. A. Mohamad, and Z. A. Ahmad, "The production of nickel-alumina composite coating via electroplating," *Ionics*, vol. 15, pp. 603-607, 2009.
- [5] V. I. Balakai, V. V. Ivanov, I. V. Balakai, and A. V. Arzumonova, "Analysis of the phase disorder in electroplated nickel-boron coatings," *Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 82, no. 5, pp. 851-856, 2009.
- [6] C. Wang, Y. Zhong, W. Ren, Z. Lei, Z. Len, J. Jia, and A. Jiang, "Effects of parallel magnetic field on electrodeposition behavior of Ni/nanoparticle composite electroplating," *Applied Surface Science*, vol. 254, no. 18, pp. 5649-5654, 2008.
- [7] N. V. Sotskaya and O. V. Dolgikh, "Nickel electroplating from glycine containing baths with different pH," *Protection of Metals*, vol. 44, no. 5, pp. 479-486, 2008.
- [8] R. Orinakova, A. Turonova, D. Kladekova, M. Galova, and R. M. Smith, "Recent developments of electrodeposition of nickel-based alloys," *Journal of Applied Electrochemistry*, vol. 36, pp. 957-972, 2006.
- [9] E. M. Oliveira, G. A. Finazzi, and I. A. Carlos, "Influence of glycerol, mannitol and sorbitol on electrodeposition of nickel from a Watts bath and on the nickel film morphology," *Surface Coating Technology*, vol. 200, pp. 5978-5985, 2006.
- [10] M. Proch-Seritan, S. Gutt, G. Gutt, I. Cretescu,

- C. Cojocaru, and T. Severin, “Design of experiments for statistical modeling and multi-response optimization of nickel electroplating process,” *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 89, pp. 136–147, 2011.
- [11] I. Rose and C. Whittington, *Nickel plating handbook*, Espoo, OM Group Inc., 2002.
- [12] M. Paunovic and M. Schlesinger, *Fundamentals of electrochemical decomposition*. New Jersey, John Wiley & Sons Inc., 2006.
- [13] D. C. Montgomery, *Design and analysis of experiments*, 8th ed., John Wiley & Sons Inc., 2009.