การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 3
The 3rd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society
วันที่ 29 มีนาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตร่มเกล้า

การปรับปรุงกระบวนการชุบผิวชิ้นส่วนนาฬิกาข้อมือด้วยไฟฟ้า
Improving Electroplating Process of Wrist Watch Parts

ปวีณ์ สามงามน้อย[1,*] ทิวา พุทธโคตร[1] ภาณุพงษ์ สุทธิรักษ์[1] สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ[2],
ชานนท์ มูลวรรณ[1] ชัยพล ผ่องพลีศาล[1] สมภพ ทิมดิษฐ์[1] และ ประยูร สุรินทร์[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Pawee Samngamnoi[1*], Tiwa Puttakot[1], Phanuphong Sutthirak[1], Saharat Wongsrisa[2],
Chanon Moolwan[1], Chaipol Pongpleesarn[1], Somphob Timdit[1], Prayoon Surin[1]
[1] Department of Industrial Engineering Technology, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University
[2] Department of Sustainable Industrial Engineering Management, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
E-mail[1*]: s.pawee@hotmail.co.th E-mail[2]: saharat_w@hotmail.com

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพเป็นขั้นตอนการชุบผิวชิ้นส่วนนาฬิกาข้อมือด้วยไฟฟ้า ประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ซิกม่า (Six sigma) ใช้การวิเคราะห์ไดอะแกรมสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) และวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพ (Failure mode and effect analysis, FMEA) เพื่อลดปัญหาคราบที่ผิวชิ้นงาน (Stains on plates) ชิ้นงานบิดงอ (Bending of plates) และผิวชิ้นงานที่เคลือบด้วยนิเกิลลอก (Nickel on plate peeling) พบสาเหตุสำคัญจากแท่งตัวนำไฟฟ้าทั้งรูปร่างและขนาดที่ไม่เหมาะสม ตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของตาข่ายพลาสติกและอัตราส่วนสารชุบไม่เหมาะสม ทำการปรับปรุงโดยการเพิ่มรัศมีส่วนโค้งของแท่งตัวนำไฟฟ้าจาก 20 mm. เป็น 30 mm. ลดขอบความหนาของแท่งตัวนำไฟฟ้าลงจาก 1.0 mm. เป็น 0.5 mm. ปรับตำแหน่งตาข่ายพลาสติกจาก 1.25 mm. เป็น 1.50 mm. ปรับระบบการเคลื่อนที่แบบหมุนของตะกร้าบรรจุชิ้นงานให้อยู่ในช่วงความถี่ 285 – 425 Hz ปรับอัตราส่วนสารชุบนิเกิลให้มีความเข้มข้นของคลอไรด์ นิเกิล และกรดบอริกเป็น 45, 55 และ 45 g/l ตามลำดับ และเพิ่มความถี่ในการรักษาคุณภาพสารชุบเป็น 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ผลงานวิจัยปรากฏว่า สามารถลดชิ้นงานเสีย (Defects) จาก 19,924 ชิ้นในหนึ่งล้านชิ้น เป็น 5,416 ชิ้นในหนึ่งล้านชิ้น หรือลดลงร้อยละ 86.4 ส่งผลต่อการลดต้นทุนชิ้นงานเสียเป็นเงินประมาณ 180,486 บาท

คำสำคัญ: ชิ้นงานเสีย ผิวเคลือบนิเกิล การชุบผิวด้วยไฟฟ้า นาฬิกาข้อมือ ซิกซ์ ซิกม่า

Abstract

The electroplating of wrist watch part is improved quality by applying six sigma techniques, cause and effect diagrams and failure mode and effect analysis (FMEA) to reduce the defects of stains on plates, bending of plates and nickel on plate peeling. The important causes of defects are unsuitable shape and size of power distribution system, inapplicable position and movement of the plastic mesh and unsuitable the plating ratio. Improved by increasing the arc radius of electrode from 20 mm. to 30 mm. and reducing the thickness of electrode from 1.0 mm to 0.5 mm. Adjust the plastic net position from 1.25 mm. to 1.50 mm. Adjust the rotating system of the basket to be in the frequency range 285 - 425 Hz.

Adjust the ratio of nickel plating to the concentration of chloride nickel and boric acid to 45, 55 and 45 g/l respectively and increase frequency maintaining of plating solution once a week. The results of improvement show that reduce defects from 19,924 ppm to 5,416 ppm or 86.4%. The cost decrease approximately 180,486 baht.

Keywords: Defect, Nickel coating, Electroplating, Wristwatch, Six Sigma

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันเทคโนโลยีการเคลือบผิวชิ้นส่วนนาฬิกาเข้ามามีบทบาทต่อการผลิตนาฬิกา ซึ่งเป็นสินค้าในชีวิตประจำวัน เครื่องมือและเครื่องใช้ถูกพัฒนาให้ทันสมัยด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อเพิ่มความปลอดภัย ความสะดวกต่อการใช้งาน ขึ้นกับเครื่องมือที่ใช้ที่มีการผลิต การใช้งานที่มีการปรับเปลี่ยนรูปลักษณ์ตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีรวมทั้งนำเอาเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information technology, IT) มาใช้งาน

นาฬิกาข้อมือเป็นสินค้าที่มีการพัฒนาคุณภาพการผลิตอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้อุตสาหกรรมนาฬิกาแบบเดิมและนาฬิกาอัจฉริยะ (Smart watch) มีการแข่งขันกันสูง [1] ดังนั้นอุตสาหกรรมการผลิตนาฬิกาแบบเดิมจึงต้องนำเสนอจุดเด่นด้านรูปทรง ขนาด ความเป็นเอกลักษณ์ของแบรนด์ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน ขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญในการผลิตชิ้นส่วนนาฬิกาข้อมือคือกระบวนการชุบ เพราะนอกจากจะทำให้นาฬิกาเกิดความสวยงามแล้ว ยังเป็นการป้องกันการผุกร่อน (Anti - corrosion) และยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนนาฬิกา [2] กระบวนการชุบผิวมีของเสียที่ไม่แน่นอน จากวิธีการผลิตไม่มีความผันแปรของเครื่องจักรกลเงื่อนไขในการผลิตที่เกิดจากการใช้ประสบการณ์และความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานเนื่องจากเป็นกระบวนการปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเหมือนขั้นตอนอื่นๆ [3] และชุบชิ้นงานพร้อมกันครั้งละหลายพันชิ้น ถ้าสินค้าที่ผลิตออกมาไม่ได้คุณภาพตามที่ต้องการจะทำให้เกิดการสูญเสียทั้งต้นทุนวัตถุดิบ แรงงาน เวลาที่ใช้ในการผลิต การซ่อมงาน (rework) หรือการผลิตใหม่ ดังนั้นการปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตให้ดีมีประสิทธิภาพจะเป็นข้อได้เปรียบในการแข่งขันกับผู้ผลิตสินค้ารายอื่น

เทคนิคซิกซ์ ซิกม่าเป็นวิธีหนึ่งที่มีการนำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยมุ่งเน้นให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดและมีความสูญเสียไม่เกิน 3.4 หน่วยในล้านหน่วย โดยใช้หลักการทางสถิติ เพื่อลดความไม่แน่นอน (Variation) และปรับปรุงขีดความสามารถในการทำงานให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด เทคนิกซิกซ์ ซิกม่า ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างกว้างขวาง [4 - 5] เช่น การปรับปรุงกระบวนการเคลือบด้วยไฟฟ้าเคมีของการผลิตวงจรไฟฟ้ารวมด้วยการลดของเสียจากการวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยไดอะแกรมสาเหตุและผล และ FMEA พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียมาจากสิ่งปนเปื้อนในสารเคมี ขั้นตอนการทำงาน การบำรุงรักษาเครื่องจักร และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการผลิตไม่เหมาะสม หลังปรับปรุงน้ำยาเคลือบ ขั้นตอนการปฏิบัติงานรวมทั้งการบำรุงรักษาเครื่องจักร สามารถลดของเสียประเภทโลหะส่วนเกิน ความหนาของดีบุกไม่ตรงตามที่กำหนด และไม่ผ่านการทดสอบ solderability test ลงเหลือ 5%, 0.3% และ 0.05% ตามลำดับ [5] การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า โดยกำหนดปัญหาด้วยแผนภูมิพาราโตคือ การเกิดเม็ดหรือตามดบนผิวชิ้นงาน แล้ววิเคราะห์หาสาเหตุด้วยไดอะแกรมสาเหตุและผล แล้วนำมาเชื่อมโยงกับค่าระดับความเสี่ยงจากการวิเคราะห์ FMEA เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบมากที่สุด ซึ่งได้แก่ วิธีการล้างชิ้นงาน ค่า pH ของบ่อนิเกิลเงา อุณหภูมิของบ่อนิเกิลเงา และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ทำการปรับปรุงด้วยการออกแบบการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม และเพื่อควบคุมตัวแปรต่างๆ จึงจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน สามารถลดการเกิดของเสียได้ 82% [6] การปรับปรุงกระบวนการชุบผิวด้วยไฟฟ้าของชิ้นส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อลดการนำชิ้นงานกลับมาซ่อม ด้วยการวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยไดอะแกรมสาเหตุและผล และออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการขัดผิวและการชุบ หลังการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขัดผิวและการชุบไม่ปรากฏชิ้นงานที่ต้องนำกลับมาซ่อม [7] เป็นต้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ปรับปรุงกระบวนการชุบผิวชิ้นงานด้วยไฟฟ้าเคมี ให้มีระบบการตรวจสอบคุณภาพเป็นมาตรฐาน โดยการกำหนดปัญหา วิเคราะห์สาเหตุจากการเลือกใช้เครื่องมือคุณภาพและประยุกต์เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า

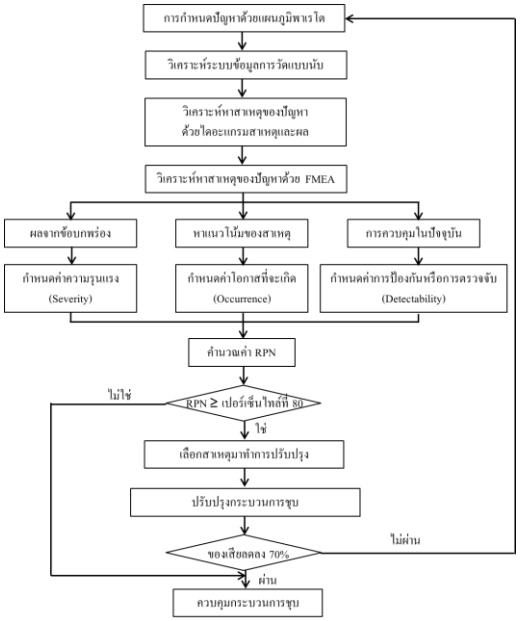
เพื่อตรวจสอบคุณภาพในสถานีงานชุบผิวโลหะ เพื่อลดชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 70

2. วิธีการวิจัย (Methodology)

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยตามแนวทางของซิกซ์ซิกม่า แสดงดังรูปที่ 1 สามารถแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

ก) 2.1 กำหนดปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโต ด้วยการนำปริมาณชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้น 6 ลักษณะได้แก่ การเกิดคราบที่ผิวชิ้นงาน ชิ้นงานบิดงอ ผิวชิ้นงานที่เคลือบด้วยนิเกิลลอก ขนาดของชิ้นงานไม่ตรงตามที่กำหนด ชิ้นงานมีเศษครีบที่ผิว และชิ้นงานเสียเนื่องจากลักษณะอื่นๆ มาสร้างเป็นแผนภูมิพาเรโต แล้วใช้หลัก 80/20 ในการกำหนดปัญหาที่ต้องดำเนินการแก้ไขก่อน

2.2 วิเคราะห์ระบบข้อมูลการวัดแบบนับ โดยวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบคุณภาพชิ้นส่วนนาฬิกาข้อมือ ด้วยการเปรียบเทียบผลการตัดสินใจระหว่างชิ้นงานที่ดีและชิ้นงานเสียในลักษณะต่างๆของพนักงาน



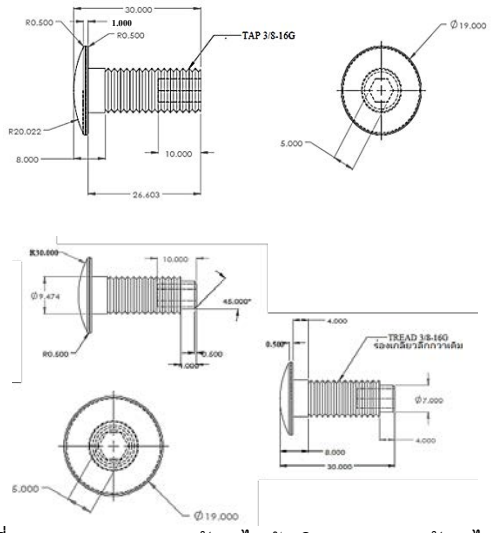
รูปที่ 1 แผนภาพโดยรวมของการดำเนินงานวิจัย

2.3 วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ด้วยไดอะแกรมสาเหตุและผล และการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพ (Failure mode and effect analysis, FMEA) แล้วประเมินค่าตัวเลขลำดับความสำคัญ (Risk Priority Number, RPN) หลังจากนั้นคัดเลือกสาเหตุที่มีค่า RPN มากกว่าค่า RPN ของเปอร์เซ็นต์ไทล์ 80 เพื่อกำหนดเป็นสาเหตุที่ต้องทำการแก้ไข

2.4 ปรับปรุงกระบวนการชุบ

2.4.1 ปรับปรุงรูปร่างและขนาดของแท่งตัวนำไฟฟ้า โดยการเพิ่มรัศมีส่วนโค้งจาก 20 mm. เป็น 30 mm. ลดขอบความหนาลงจาก 1.0 mm. เป็น 0.5 mm. ดังแสดงในรูปที่ 2

2.4.2 ปรับตำแหน่งตาข่ายพลาสติกจาก 1.25 mm. เป็น 1.50 mm.



รูปที่ 2 แบบแปลน ก) แท่งตัวนำไฟฟ้าเดิม และข) แท่งตัวนำไฟฟ้าใหม่

2.4.3 ปรับระบบการเคลื่อนที่แบบหมุนของตะกร้าบรรจุชิ้นงานโดยหาบ่อชุบที่ตะกร้าบรรจุชิ้นงานหมุนได้ดี คือ หมุนอย่างสม่ำเสมอ ไม่มีการหยุดหมุนเป็นช่วงๆ แล้ววัดค่าความถี่ด้วยเครื่องวัดความสั่นสะเทือน (Vibration Meter) ภายในบ่อชุบเพื่อกำหนดเป็นค่ามาตรฐานในการตั้งความถี่ของบ่อชุบ

2.4.4 การปรับตั้งค่า Dosing pump ให้จ่ายสารเคมีเข้าสู่บ่อชุบในปริมาณที่ถูกต้อง ด้วยการสอบเทียบปริมาณการจ่ายสารเคมีจริงกับปริมาณที่ตั้งค่าไว้

2.4.5 ปรับอัตราส่วนสารชุบนิเกิล โดยการหาความเข้มข้นของคลอไรด์ นิเกิล และกรดบอริกที่เหมาะสมกับน้ำยาชุบนิเกิลด้วยการทดลองฮัลล์เซลล์ดังตารางที่ 1 ที่อุณหภูมิ 56°C pH 4.5–5.0 กระแสไฟฟ้า 3.5 A ใช้เวลา 2 min

2.4.6 ปรับความถี่ในการรักษาคุณภาพสารชุบเป็น 1 ครั้งต่อสัปดาห์

ตารางที่ 1 การทดลองหาความเข้มข้นนิเกิล คลอไรด์ และกรดบอริก ที่เหมาะสมกับสารชุบนิเกิล

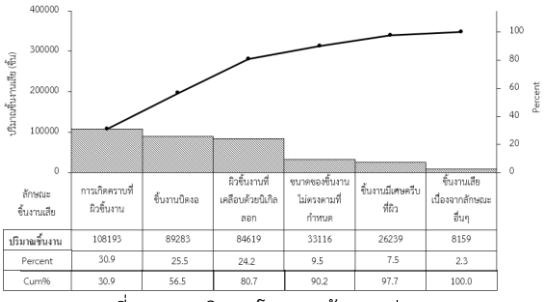
ตัวอย่างที่	[Cl] (g/l)	[Ni] (g/l)	[H_3BO_3] (g/l)
1	45	60	45

2	40	60	45
3	35	60	45
4	30	60	45
5	25	60	45
6	20	60	45
7	[Cl] ที่ให้ผลการชุบที่ดีที่สุด	55	45
8		50	45
9		45	45
10		40	45
11		[Ni] ที่ให้ผลการชุบที่ดีที่สุด	40
12			35

2.5 ควบคุมกระบวนการชุบ ซึ่งเป็นมาตรการป้องกันและการสร้างระบบควบคุม เพื่อป้องกันไม่ให้ปัญหาเกิดขึ้นซ้ำ

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and discussions)

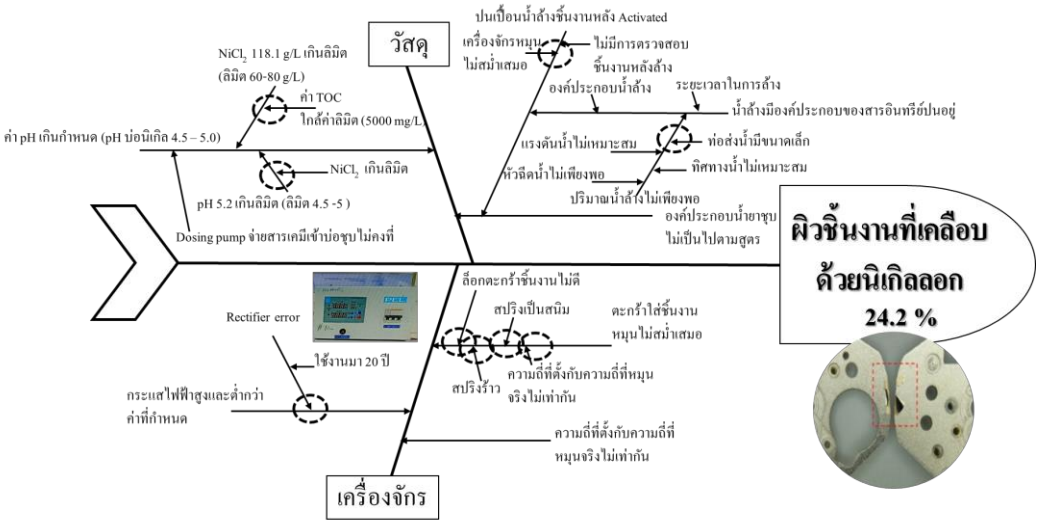
3.1 ปัญหาของกระบวนการชุบที่ต้องดำเนินการแก้ไข จากแผนภูมิพาเรโตดังรูปที่ 3 พบว่าชิ้นงานเสียส่วนใหญ่มาจากปัญหาคราบที่ผิวชิ้นงาน ชิ้นงานบิดงอ และผิวชิ้นงานที่เคลือบด้วยนิเกิลลอก ซึ่งทำให้เกิดของเสียรวมทั้งสิ้น 80.7%



รูปที่ 3 แผนภูมิพาเรโตแสดงข้อบกพร่องของชิ้นส่วนนาฬิกาที่เสียในขั้นตอนการชุบ

3.2 จากผลการวิเคราะห์ระบบข้อมูลการวัดแบบนับ พบว่าพนักงานทุกคนทำแบบทดสอบถูกต้องทั้งหมด แสดงว่าพนักงานตรวจสอบมีความเที่ยงตรงและแม่นยำในการทำงาน

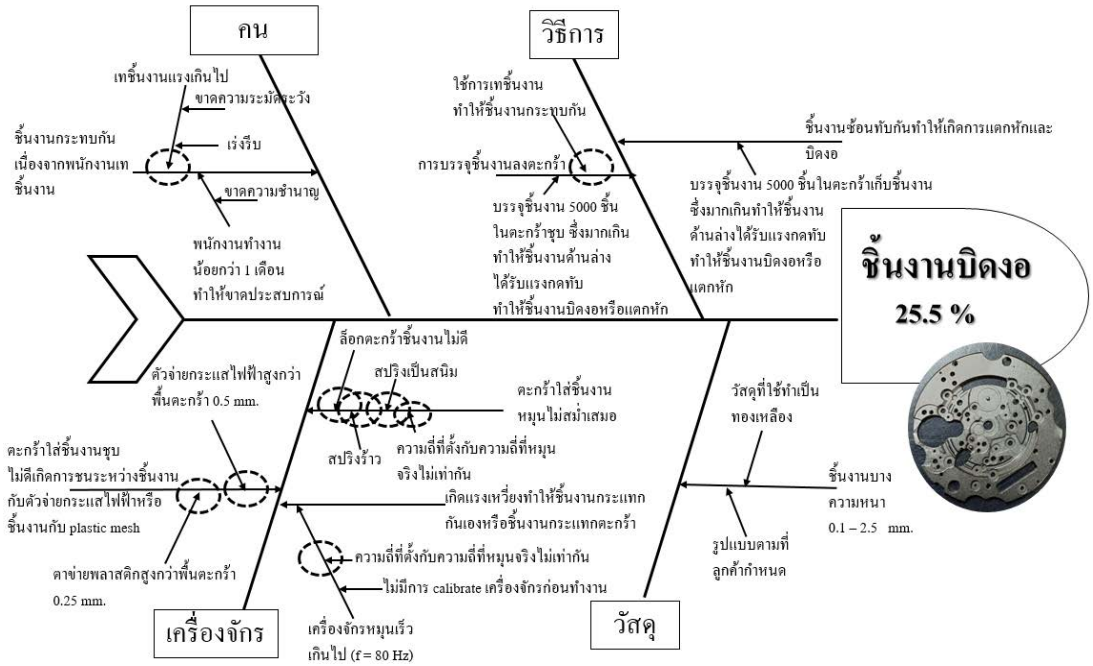
3.3 ผลการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาคราบที่ผิวชิ้นงาน ชิ้นงานบิดงอ และผิวชิ้นงานที่เคลือบด้วยนิเกิลลอกด้วยไดอะแกรมสาเหตุและผลแสดงในรูปที่ 4 - 6 โดยสาเหตุที่วงด้วยเส้นปะสีดำเป็นสาเหตุที่ผ่านการวิเคราะห์แล้วว่าส่งผลต่อปัญหา ภายหลังการนำสาเหตุมาประเมินค่า RPN ด้วย FMEA



รูปที่ 4 ไดอะแกรมสาเหตุและผลแสดงสาเหตุในการเกิดปัญหาผิวชิ้นงานที่เคลือบด้วยนิเกิลลอก

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ FMEA ของปัญหาผิวชิ้นงานที่เคลือบด้วยนิเกิลลอก

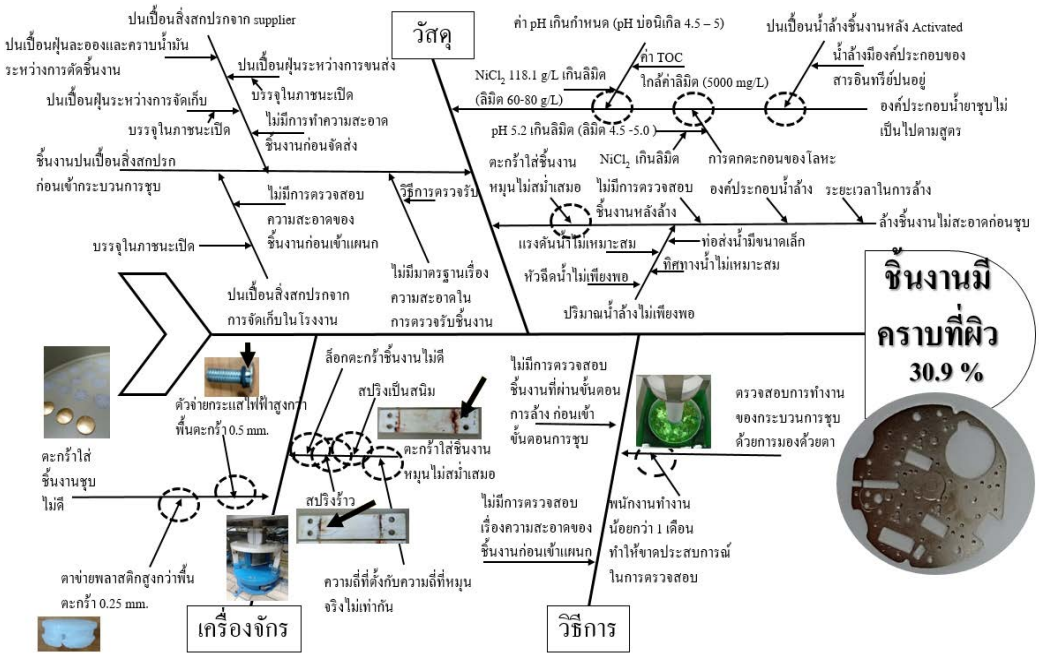
ลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มของผลจากข้อบกพร่อง	SEV	แนวโน้มของสาเหตุ	OCC	การควบคุมในปัจจุบัน		DET	RPN
					ป้องกัน	ตรวจจับ		
ผิวชิ้นงานที่เคลือบด้วยนิเกิลลอก	ไม่สามารถส่งชิ้นงานให้กับลูกค้าได้ แต่หน้าที่ของชิ้นส่วนนาฬิกาสามารถใช้งานได้ตามปกติ	8	ท่อส่งน้ำมีขนาดเล็ก	4	ไม่มี	ไม่มี	10	320
			ค่า TOC ใกล้ค่าลิมิต	8	วิเคราะห์ทุกเดือน	ไม่มี	10	640
			$NiCl_2$ เกินลิมิต	8	วิเคราะห์ทุกเดือน	ไม่มี	10	640
			Dosing pump จ่ายสารเคมีเข้าบ่อชุบไม่คงที่	8	ไม่มี	ไม่มี	10	640
			ล็อคตะกร้าชิ้นงานไม่ดี	3	ตรวจสอบการล็อค	ไม่มี	6	144
			สปริงเป็นสนิม	2	การบำรุงรักษา	ตาเปล่า	7	112
			สปริงร้าว	2	การบำรุงรักษา	ตาเปล่า	7	112
			ความถี่ที่ตั้งให้ตะกร้าบรรจุชิ้นงานหมุนกับความถี่ที่วัดค่าจริงไม่เท่ากัน	10	ไม่มี	ไม่มี	10	800
			ความคลาดเคลื่อนของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า	1	การบำรุงรักษา	ไม่มี	10	80



รูปที่ 5 ไดอะแกรมสาเหตุและผลแสดงสาเหตุในการเกิดปัญหาชิ้นงานบิดงอ

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ FMEA ของปัญหาชิ้นงานบิดงอ

ลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มของผลจากข้อบกพร่อง	SEV	แนวโน้มของสาเหตุ	OCC	การควบคุมในปัจจุบัน		DET	RPN
					ป้องกัน	ตรวจจับ		
ชิ้นงานบิดงอ	ไม่สามารถส่งชิ้นงานให้กับลูกค้าได้ เนื่องจากหน้าที่ของชิ้นส่วนนาฬิกาไม่สามารถใช้งานได้ตามปกติ	8	ขาดความระมัดระวัง	2	ฝึกอบรม	ไม่มี	1	16
			เร่งรีบ	2	ฝึกอบรม	ไม่มี	1	16
			การเทชิ้นงานทำให้ชิ้นงานกระทบกัน	2	เทชิ้นงานในระดับต่ำ	ไม่มี	2	32
			แท่งตัวนำไฟฟ้าสูงกว่าพื้นตะกร้า 0.5 mm	10	ไม่มี	ไม่มี	10	800
			ตาข่ายพลาสติกสูงกว่าพื้นตะกร้า 0.25 mm.	10	ไม่มี	ไม่มี	10	800
			ล็อคตะกร้าชิ้นงานไม่ดี	3	ตรวจสอบการล็อค	ไม่มี	6	144
			สปริงเป็นสนิม	2	การบำรุงรักษา	ตาเปล่า	7	112
			สปริงร้าว	2	การบำรุงรักษา	ตาเปล่า	7	112
			ความถี่ที่ตั้งให้ตะกร้าบรรจุชิ้นงานหมุนกับค่าที่วัดจริงไม่เท่ากัน	10	ไม่มี	ตาเปล่า	10	800



รูปที่ 6 ไดอะแกรมสาเหตุและผลแสดงสาเหตุในการเกิดปัญหาคราบที่ผิวชิ้นงาน

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ FMEA ของปัญหาคราบที่ผิวชิ้นงาน

ลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มของผลจากข้อบกพร่อง	SEV	แนวโน้มของสาเหตุ	OCC	การควบคุมในปัจจุบัน		DET	RPN
					ป้องกัน	ตรวจจับ		
การเกิดคราบที่ผิวชิ้นงาน	ไม่สามารถส่งชิ้นงานให้กับลูกค้าได้ แต่หน้าที่ของชิ้นส่วนนาฬิกาสามารถใช้งานได้ตามปกติ	7	$NiCl_2$ เกินลิมิต	8	วิเคราะห์ทุกเดือน	ไม่มี	10	560
			ค่า TOC ใกล้ค่าลิมิต	8	วิเคราะห์ทุกเดือน	ไม่มี	10	560
			น้ำล้างมีสารอินทรีย์ปนอยู่	8	ไม่มีการป้องกัน	ไม่มี	10	560
			แท่งตัวนำไฟฟ้าสูงกว่าพื้นตะกร้า 0.5 mm.	10	ไม่มีการป้องกัน	ไม่มี	10	700
			ตาข่ายพลาสติกสูงกว่าพื้นตะกร้า 0.25 mm.	10	ไม่มีการป้องกัน	ไม่มี	10	700
			ล็อคตะกร้าชิ้นงานไม่ดี	3	ตรวจสอบก่อนทำงาน	ไม่มี	6	126
			สปริงเป็นสนิม	2	การบำรุงรักษา	ไม่มี	7	98
			สปริงร้าว	2	การบำรุงรักษา	ไม่มี	7	98
			ความถี่ที่ตั้งให้ตะกร้าบรรจุชิ้นงานหมุนกับค่าที่วัดจริงไม่เท่ากัน	10	ไม่มีการป้องกัน	ไม่มี	10	700
			พนักงานขาดประสบการณ์	1	มีการฝึกอบรม	ไม่มี	1	7

ดังตารางที่ 1-3 สามารถเลือกสาเหตุที่ต้องทำการแก้ไขได้ดังนี้

1) แท่งตัวนำไฟฟ้าสูงกว่าพื้นตะกร้าใส่ชิ้นงาน 0.50 mm.

2) ตำแหน่งตาข่ายพลาสติกสูงกว่าพื้นตะกร้าบรรจุชิ้นงาน 0.25 mm.

3) ความถี่ที่ตั้งให้ตะกร้าบรรจุชิ้นงานหมุนกับความถี่ที่วัดค่าจริงไม่เท่ากัน

4) Dosing pump จ่ายสารเคมีเข้าบ่อชุบไม่คงที่

5) ความเข้มข้นนิเกิลคลอไรด์เกินลิมิต 60 – 80 g/l

6) ค่าสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำยาชุบนิเกิลใกล้ค่าลิมิต 5000 g/l

3.4 ผลการปรับปรุงกระบวนการชุบผิว

3.4.1 ผลการปรับรูปร่างและขนาดของแท่งตัวนำไฟฟ้าและปรับตำแหน่งตาข่ายพลาสติกแสดงในรูปที่ 7 พบว่าแท่งตัวนำไฟฟ้าและตาข่ายพลาสติกอยู่ในระนาบเดียวกับพื้นตะกร้าบรรจุชิ้นงาน ดังนั้นเมื่อตะกร้าบรรจุชิ้นงานหมุนชิ้นงานจะเกิดการเคลื่อนที่ผ่านแท่งตัวนำไฟฟ้าและตาข่ายพลาสติกไปได้ง่าย ไม่ติดค้างอยู่บริเวณขอบของแท่งตัวนำไฟฟ้าและตาข่ายพลาสติก ซึ่งจะไม่ทำให้ชิ้นงานได้รับกระแสไฟฟ้ามากเกินไปจนเกิดชิ้นงานไหม้ หรือทำให้เกิดการชนกันของชิ้นงานทำให้ชิ้นงานบิดงอ อีกทั้งแท่งตัวนำไฟฟ้าที่มีรัศมีความโค้งที่น้อยกว่าจะมีความชันมากกว่า ส่งผลให้ชิ้นงานการเคลื่อนที่ผ่านได้ยากกว่า [8-9]

รูปที่ 7 แท่งตัวนำไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่ และตาข่ายพลาสติกประกอบเข้ากับตะกร้าใส่ชิ้นงาน

3.4.2 จากการหาบ่อชุบที่ทำให้ระบบการเคลื่อนที่แบบหมุนของตะกร้าบรรจุชิ้นงานที่หมุนอย่างสม่ำเสมอไม่หยุดหมุนเป็นช่วงๆ คือบ่อ DI spray rinse โดยมีค่าความถี่ 285-425 Hz ซึ่งภายหลังการปรับความถี่ของบ่อชุบทุกบ่อให้อยู่ในช่วงความถี่ดังกล่าว พบว่าการหมุนของตะกร้าบรรจุชิ้นงานในบ่อชุบทุกบ่อหมุนอย่างสม่ำเสมอ

3.4.3 ผลการสอบเทียบการทำงานของ Dosing pump พบว่าภายหลังการสอบเทียบปั๊มทุกตัวสามารถจ่ายสารเคมีเข้าสู่บ่อชุบได้ตรงตามค่าที่ต้องการ

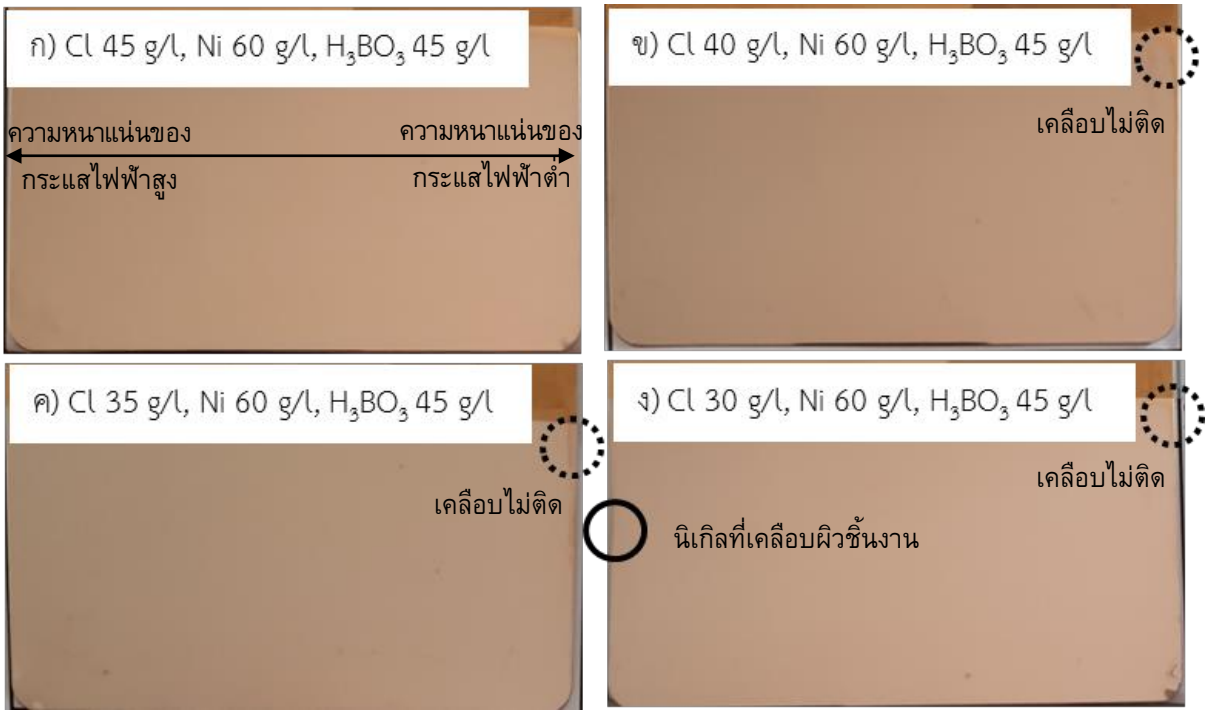
3.4.4 ผลการทดลองหาความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหมาะสำหรับกระบวนการชุบด้วยการทดสอบฮัลล์เซลล์ แสดงในรูปที่ 8ก – 8ฉ แผ่นฮัลล์เซลล์ที่ชุบด้วยความเข้มข้นของคลอไรด์ 40, 35, 30, 25 และ 20 g/L จะเกิดการเคลือบไม่ติดในช่วงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำ (บริเวณที่วงกลมเส้นปะ) เนื่องจากคลอไรด์จะทำหน้าที่ให้นิเกิลที่อยู่ที่

ขั้วบวกละลายออกมาในสารชุบ และช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้าของสารชุบ ดังนั้นถ้าปริมาณคลอไรด์ในสารชุบน้อยจะทำให้การละลายนิเกิลที่ขั้วบวกไม่ดี มีปริมาณนิเกิลในสารชุบน้อย ซึ่งการทดสอบด้วยฮัลล์เซลล์แผ่นทดสอบที่อยู่ใกล้ขั้วบวก (ความหนาแน่นของกระแสสูง) จะมีการเคลือบที่หนากว่าและบางลงในจุดที่ห่างจากขั้วบวก (ความหนาแน่นของกระแสต่ำ) ดังนั้นเมื่อใช้เวลาในการชุบเท่ากัน สารชุบที่มีปริมาณนิเกิลน้อยกว่าจะเกิดการเคลือบผิวในบริเวณที่มีความหนาแน่นของกระแสต่ำในปริมาณน้อยจนไม่สามารถสังเกตได้ ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่ 1 ของฟาราเดย์ ที่กล่าวว่าการใช้กระแสไฟน้อยๆ แต่ใช้เวลาชุบนานๆ หรือใช้กระแสไฟมากๆ แต่ใช้เวลาน้อยๆ จะได้โลหะที่ไปเกาะที่ขั้วลบในปริมาณเท่ากัน [7, 10-11] และที่ความเข้มข้นของคลอไรด์ 30, 25 และ 20 g/L แผ่นฮัลล์เซลล์เกิดการลอกของนิเกิลที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง (บริเวณที่วงกลมเส้นทึบ) ดังนั้นความเข้มข้นของคลอไรด์ 45 g/L เกิดการชุบที่ดีที่สุดจึงเลือกเป็นค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมกับสารชุบ

ผลการทดลองหาความเข้มข้นของนิเกิลที่เหมาะแสดงในรูปที่ 8ก, 8ช – 8ญ ความเข้มข้นของนิเกิล 50, 45 และ 40 g/L จะเกิดการเคลือบไม่ติดบนแผ่นฮัลล์เซลล์ในช่วงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำ (วงกลมเส้นปะ) เนื่องจากน้ำยาชุบมีปริมาณนิเกิลลดลงจึงเกิดการเคลือบนิเกิลที่บริเวณที่มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำได้น้อยจนไม่สามารถสังเกตเห็นดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการชุบของแผ่นฮัลล์เซลล์พบว่าน้ำยาชุบที่มีความเข้มข้นของนิเกิล 60 และ 55 g/L เกิดการชุบที่ดีและไม่เกิดการลอกของนิเกิล ไม่มีจุดบกพร่องบนชิ้นงาน และไม่มีคราบบนผิวชิ้นงาน ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของนิเกิลที่ 55 g/L เป็นค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมกับสารชุบ เนื่องจากการเลือกใช้ปริมาณความเข้มข้นสูงย่อมเป็นการใช้สารเคมีในปริมาณมาก ส่งผลให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น

ผลการทดลองหาความเข้มข้นของกรดบอริกที่เหมาะแสดงในรูปที่ 8ช, 8ฎ – 8ฏ ความเข้มข้นของกรดบอริก 40 และ 35 g/L จะเกิดการเคลือบผิวที่มัว ไม่เงา บริเวณที่มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าปานกลางถึงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำ (วงกลมเส้นทึบ) เนื่องจากความเข้มข้นของกรดบอริกมีผลต่อความเงาของชิ้นงานชุบ โดยความเงาของชิ้นงานเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้กรดบอริกในการชุบมากขึ้น [12] ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของกรดบอริกที่ 45 g/L เป็นค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมกับสารชุบ ดังนั้นความเข้มข้นของคลอไรด์ นิเกิล และกรดบอริกที่เหมาะสมกับสารชุบนิเกิลคือ 45, 55 และ 45 g/L ตามลำดับ ต้องควบคุมให้คงที่ตลอดการชุบเพราะส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ชุบได้ อีกทั้งความเข้มข้นของสารเคมีในสารชุบชุบจะลดลงเรื่อยๆตามระยะเวลาในการใช้งานซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีการรวมตัวกันของโลหะทำให้ปริมาณอะตอมของสารเคมีลดลง ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารเคมีที่อยู่ในสารชุบชุบลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ชุบ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมให้ความเข้มข้นของสารเคมีที่อยู่ในสารชุบชุบอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม [7, 13]

3.4.5 ผลการปรับการเปลี่ยนผงถ่านกัมมันต์จาก 2 สัปดาห์/ครั้ง เป็นทุกสัปดาห์ โดยสามารถลดค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดลงจาก 4,213 mg/l เป็น 2,994 mg/l คิดเป็นร้อยละ 27.28



รูปที่ 8 ผลการทดสอบฮัลล์เซลล์ของสารชุบชุบนิเกิลที่มีคลอไรด์ นิเกิล และกรดบอริก ที่ความเข้มข้นต่างๆ

รูปที่ 8 ผลการทดสอบฮัลล์เซลล์ของสารชุบชุบนิเกิลที่มีคลอไรด์ นิเกิล และกรดบอริก ที่ความเข้มข้นต่างๆ (ต่อ)

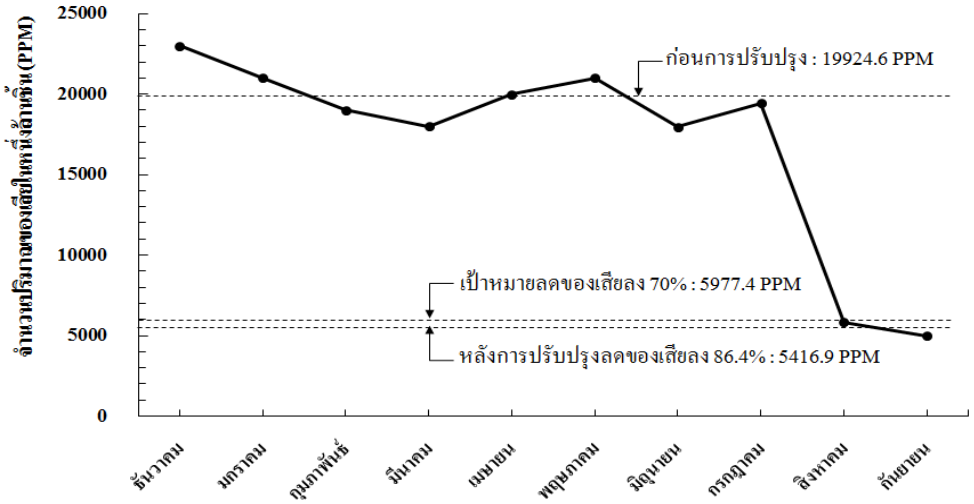
จากการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการชุบผิวชิ้นส่วนนาฬิกาข้อมือด้วยไฟฟ้าข้างต้น สามารถลดปริมาณชิ้นงานเสียจาก 64,527 ชิ้น/เดือน คิดเป็น 19,924 ppm เป็น 23,693 ชิ้น/เดือน คิดเป็น 5,416 ppm โดยชิ้นงานเสียลดลงร้อยละ 86.4 ดังแสดงในรูปที่ 9 และสามารถลดมูลค่าความสูญเสียจาก 285,209 บาทต่อเดือน เป็น 104,723 บาทต่อเดือน มูลค่าความสูญเสียลดลง 180,486 บาทต่อเดือน ส่งผลให้ต้นทุนลดลงร้อยละ 2.6 และเมื่อเปรียบเทียบแผนภูมิพาเรโตก่อน

และหลังทำการปรับปรุงกระบวนการชุบดังแสดงในรูปที่ 10 พบว่าภายหลังทำการปรับปรุงกระบวนการชุบชิ้นงานที่เกิดปัญหาคราบที่ผิวชิ้นงาน ชิ้นงานบิดงอ และผิวชิ้นงานที่เคลือบด้วยนิเกิลลอก มีปริมาณชิ้นงานเสียลดลงคิดเป็น 94.8, 93.5 และ 92.8 ตามลำดับ

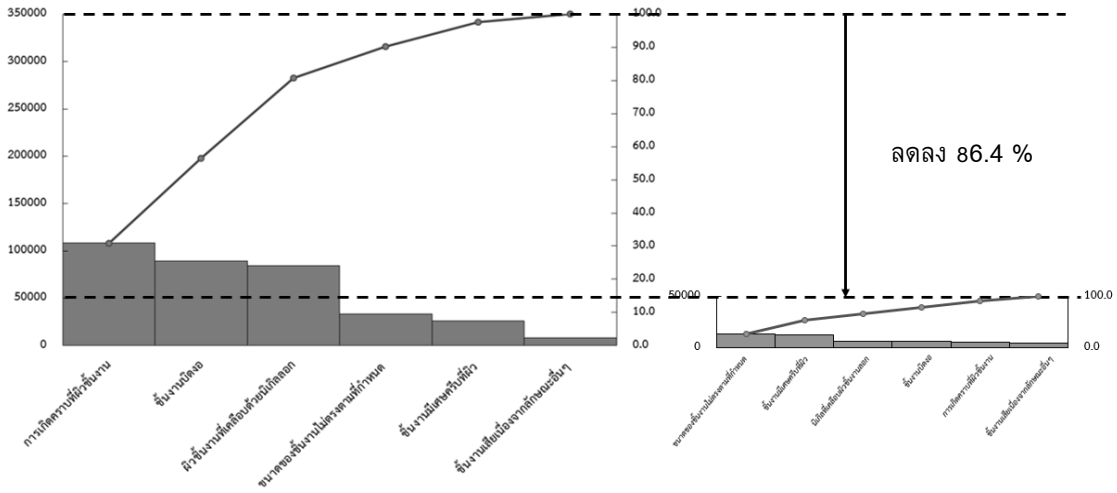
3.5 ควบคุมกระบวนการ (Control phase) เพื่อป้องกันไม่ให้ปัญหานั้นเกิดขึ้นซ้ำ จึงมีแนวทางในการควบคุมการปรับปรุงกระบวนการชุบผิวชิ้นส่วนนาฬิกาข้อมือด้วยไฟฟ้าดังนี้

1) คู่มือการปฏิบัติงาน

2) แบบฟอร์มการตรวจสอบประจำวัน ประจำสัปดาห์ และประจำเดือน



รูปที่ 9 กราฟแสดงจำนวนปริมาณของเสียในหนึ่งล้านชิ้นของการผลิต



ก่อนปรับปรุง หลังปรับปรุง

รูปที่ 10 เปรียบเทียบแผนภูมิพาเรโตก่อนและหลังทำการปรับปรุงกระบวนการชุบ

4. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

การปรับปรุงกระบวนการชุบผิวด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิกซิกซ์ ซิกม่า โดยการเพิ่มรัศมีส่วนโค้งของแท่งตัวนำไฟฟ้าจาก 20 mm. เป็น 30 mm. ลดความหนาลงจาก 1.0 mm. เป็น 0.5 mm. ปรับตำแหน่งตาข่ายพลาสติกลงจาก 1.25 mm. เป็น 1.50 mm. ปรับระบบการเคลื่อนที่แบบหมุนของตะกร้าบรรจุชิ้นงานให้อยู่ในช่วงความถี่ 285 – 425 Hz ปรับอัตราส่วนสารชุบนิเกิลให้มีความเข้มข้นของคลอไรด์ นิเกิล และกรดบอริก

เป็น 45, 55 และ 45 g/l ตามลำดับ และเพิ่มความถี่ในการรักษาคุณภาพสารชุบเป็น 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ซึ่งสามารถลดปริมาณชิ้นงานเสียลงร้อยละ 84 ซึ่งเป็นบรรลุตามเป้าหมายที่กำหนดแต่ยังไม่สามารถทำให้บรรลุเป้าหมายของซิกซ์ ซิกม่า แต่สามารถเพิ่มระดับซิกซ์ม่าจาก 3.6 เป็น 4.0 และเพิ่มความสามารถของกระบวนการจาก 0.69 เป็น 0.85 และสามารถลดต้นทุนชิ้นงานเสียเป็นเงินประมาณ 180,486 บาท

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgments)

ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ที่ได้ให้ความรู้และสถานที่ทำงานวิจัย และขอขอบคุณความอนุเคราะห์ข้อมูลและสถานที่ทำงานวิจัยจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนนาฬิกาข้อมือ

เอกสารอ้างอิง

[1] ศิวัช พงษ์เพียจันทร์, สู้ตายพ้น Crisis 3 ฟาดฟันวิกฤตอย่างซามูไร, สมุทรปราการ: กรุงเทพธุรกิจ, 2553

[2] Michael Fraseer, Wrist Watches Explained: How to fully appreciate one of the most complex machine ever invented, Vyiha Publishing, 2016

[3] Alexander Watt, Arnold Philip, Electroplating and Electrorefining of Metals, Rough Draft Printing, 2007

[4] กิติศักดิ์ พลอยพาณิชเจริญ, การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2544

[5] วิลันดา เริงโรจน์สรากุล, “การปรับปรุงคุณภาพกระบวนการเคลือบด้วยไฟฟ้าเคมีของการผลิตวงจรไฟฟ้ารวม”, วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554

[6] วสันต์ พุกผาสุก และอรรถกร เก่งพล, “การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า: กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมียม”, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 พ.ค. – ส.ค. 2551

[7] สินี ทองมี, “การปรับปรุงกระบวนการชุบผิวด้วยไฟฟ้าของชิ้นส่วนประกอบ”, วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552

[8] คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมคณิตศาสตร์ เล่ม 6 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6, สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ, โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว, พิมพ์ครั้งที่ 1, พ.ศ. 2554

[9] หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6, สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ, โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว, พิมพ์ครั้งที่ 1, พ.ศ. 2554

[10] อนันต์ ทองมอญ, ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า, สำนักงานพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน

[11] มัณยาภรณ์ ภูริปัญญาคุณ, “การปรับปรุงกระบวนการชุบไฟฟ้าเครื่องประดับ”, วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547

[12] B. C. Tripathy, P. Singh & D. M. Muir, “Effect of manganese (II) and boric acid on the electrowinning of cobalt from acidic sulfate solutions”, Metallurgical and Materials Transactions B volume 32, pages 395–399 (2001)

[13] ทวีชัย ชูเกียรติ, “การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการชุบวงจรรวมตามแนวทางซิกซ์ซิกมา”, การค้นคว้าอิสระวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2552