

ชื่อโครงการ “การลดของเสียจากกระบวนการฉีดเทียน โดยประยุกต์ใช้แนวทาง Six Sigma”

พิสิษฐ์ สุนทรภูติวงศ์¹⁾ และ ผศ.ดร. จิตรา รุ่งกิจการพานิช²⁾

1) ชื่อผู้วิจัย Email: mos_gizzy@yahoo.com และ 2) อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ. พญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียที่มีสาเหตุมาจากการเกิดฟองอากาศและซีเทียนบนแบบเทียนประเภทแหวนของกระบวนการฉีดเทียน ซึ่งก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณสัดส่วนของเสียตามโอกาสการเกิดจุดบกพร่องเท่ากับ 84,067 DPMO ผลจากการดำเนินการตามขั้นตอนของซิกซ์ ซิกม่า ทำให้ได้สาเหตุของการเกิดฟองอากาศและซีเทียนคือ ความดันฉีดเทียน ความดันบีบแม่พิมพ์ และสภาพสุญญากาศ ซึ่งกำหนดให้เป็นในการทดลองเพื่อการปรับปรุงกระบวนการฉีดเทียนโดยใช้หลักการทางสถิติวิศวกรรมและจึงจัดทำมาตรการควบคุมและป้องกันการเกิดปัญหา ผลจากการศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ประเภทแหวนทั้ง 5 กลุ่มตามลักษณะของหน้าแหวน พบว่าการปรับระดับการใช้งานของปัจจัยทั้งสามไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟองอากาศอย่างมีนัยสำคัญ แต่การเกิดซีเทียนสามารถแก้ไขได้ด้วยการตั้งระดับความดันลมเป็น 0.5 kgf/cm^2 สำหรับผลิตภัณฑ์กลุ่มที่ 1, 2, 4 และ 5 ส่วนระดับความดันลมที่ 0.4 kgf/cm^2 มีความเหมาะสมกับสำหรับผลิตภัณฑ์กลุ่มที่ 3 ในส่วนของระดับความดันบีบแม่พิมพ์นั้น ควรตั้งค่าใช้งานที่ 2 kgf/cm^2 สำหรับทุกกลุ่มผลิตภัณฑ์ และควรปรับสภาพให้เป็นสุญญากาศสำหรับผลิตภัณฑ์กลุ่มที่ 2 และ 4 ส่วนผลิตภัณฑ์กลุ่มที่ 1, 3 และ 5 ไม่ต้องปรับสภาพสุญญากาศ

คำสำคัญ : การลดของเสีย กระบวนการฉีดเทียน ซิกซ์ ซิกม่า

1. บทนำ

ในกระบวนการผลิตเครื่องประดับโดยทั่วไป เริ่มจากการออกแบบผลิตภัณฑ์เครื่องประดับ และทำการผลิตแบบพิมพ์ตัวเรือนของผลิตภัณฑ์ด้วยโลหะหลังจากนั้น จึงนำแบบพิมพ์ตัวเรือนโลหะที่ได้ไปทำแม่พิมพ์สำหรับการผลิตแบบเทียน เมื่อได้แบบเทียนแล้วจึงนำไปหล่อตัวเรือนผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธีการหล่อแบบซีผึ้งหาย (Lost Wax) ตัวเรือนโลหะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหล่อจะถูกนำไปตัด ต่อ หรือประกอบชิ้นส่วนพร้อมกับการแต่งผิวตัวเรือนโลหะ หลังจากนั้นจึงทำการฝังัญมณีบนตัวเรือน และจึงขัดผิวชิ้นงานอีกครั้ง ก่อนนำไปชุบผิวโลหะ ตรวจสอบคุณภาพและบรรจุภัณฑ์ส่งจำหน่ายต่อไป โดยขั้นตอนการผลิตแบบเทียนเป็นขั้นตอนแรก นับว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะหากแบบ

เทียนไม่ได้คุณภาพ ย่อมส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในขั้นตอนต่อไปไม่ได้คุณภาพตามไปด้วย สาเหตุที่ทำให้แบบเทียนไม่ได้คุณภาพมีทั้งสิ้น 9 ประเภทได้แก่ ฟองอากาศ ซีเทียน ไขปลาไม่ขึ้น หนามเตยไม่ขึ้น ผิวไม่เรียบเนื่องจากแป้ง แบบเทียนไม่สมบูรณ์ แม่พิมพ์ไม่สมบูรณ์ พนักงานแกะแบบพิมพ์เสีย และจากการประกบแม่พิมพ์ไม่ดี

ในกระบวนการผลิตแบบเทียน ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการฉีดเทียน ขั้นตอนการตกแต่งและตรวจสอบ และขั้นตอนติดต้นเทียน โดยขั้นตอนการฉีดเทียนมีสัดส่วนของเสียมากที่สุด คือ 18.89% ส่วนขั้นตอนการตกแต่งและตรวจสอบมีสัดส่วนของเสียเพียง 5.72 % และไม่พบของเสียในขั้นตอนการติดต้น ดังนั้นจึงเลือกศึกษา

กระบวนการฉีดเทียบเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้น โดยอาศัยหลักการซิกซ์ ซิกมา ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของเสีย ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอนคือ การนิยามปัญหา การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา การปรับปรุง และ การควบคุมกระบวนการผลิต

2. การนิยามปัญหา

ผลจากการเก็บข้อมูลของเสีย ทำให้ทราบว่าประเภทของเสีย ที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดเทียบมากที่สุด คือ ฟองอากาศและซีเทียวน ที่มีค่าผลรวมสัดส่วนของเสียในล้านส่วนตามโอกาส (Defect Per Million Opportunities, DPMO) เป็น 84,067 DPMO โดยกำหนดขอบเขตของการแก้ปัญหา เฉพาะผลิตภัณฑ์เท่านั้น เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการส่งผลิตมากที่สุดเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ และเป้าหมายของการศึกษาในครั้งนี้คือ การปรับปรุงเพื่อให้ค่า DPMO ลดลงได้ 50 % จากผลรวมของสัดส่วนของเสีย 84,067 DPMO ดังนั้นจะต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีจำนวนของเสียให้น้อยกว่า 42,034 DPMO

2.1 การแบ่งกลุ่มของผลิตภัณฑ์แวน

ผลิตภัณฑ์ประเภทแวนที่ผลิตมีมากมายหลายรูปแบบ จึงจำเป็นต้องแบ่งกลุ่มเพื่อให้ครอบคลุมลักษณะของแวนมากที่สุด ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 5 กลุ่ม คือ

2.1.1 กลุ่มที่ 1 ไม่มีการประดับอัญมณี เป็นงานโลหะล้วนๆ ไม่มีไขปลา หรือ หนามเตย

2.1.2 กลุ่มที่ 2 มีไขปลาเฉพาะส่วนหน้าของแวนเท่านั้น และมีในปริมาณไม่มากนัก ขนาดของผลิตภัณฑ์ไม่ใหญ่มาก

2.1.3 กลุ่มที่ 3 ไม่มีไขปลา แต่มีหนามเตยบ้างในปริมาณไม่มาก เป็นงานฝังพลอยแบบร่อง

2.1.4 กลุ่มที่ 4 หนางานมีแต่ไขปลา หรืออาจมีหนามเตยบ้างแต่น้อยมากเมื่อเทียบกับไขปลา ซึ่งส่วนมากเป็นหนามเตยขนาดใหญ่สำหรับยึดพลอยตรงกลางหน้างาน

2.1.5 กลุ่มที่ 5 หนางานมีแต่หนามเตยเป็นส่วนมาก อาจมีส่วนที่เป็นร่องเพื่อฝังพลอยขนาดใหญ่ตรงกลาง

2.2 การคำนวณผลรวมสัดส่วนของเสีย (DPMO)

ผลจากการเก็บข้อมูลของเสียได้ว่า มีของเสียทั้งหมด (D) 210 ชิ้น จากจำนวนผลิตทั้งหมด (N) 1,249 ชิ้น โดยของเสียเกิดจากสาเหตุฟองอากาศและซีเทียวน (O = 2) ดังนั้นจึงสามารถคำนวณผลรวมสัดส่วนของเสียในล้านส่วนตามโอกาสการเกิดได้จากสมการ

$$DPMO = \frac{D}{N * O} * 1,000,000 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าได้ DPMO} &= \frac{210}{1,249 * 2} * 1,000,000 \\ &= 84,067 \end{aligned}$$

และสามารถหาค่า ซิกซ์มา (σ) ได้จากตารางค่า Z ซึ่งมีค่าเป็น 1.378 สำหรับ σ short term (ในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล) และ $1.378 + 1.5 = 2.878$ สำหรับ σ long term (ในระยะยาว)

2.3 การศึกษากระบวนการฉีดเทียบ

ในกระบวนการฉีดเทียบ ประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังนี้

2.3.1 ขั้นตอนการเตรียมเครื่องฉีดเทียบและแม่พิมพ์
การเตรียมเครื่องนั้นเป็นการตรวจสอบปริมาณเทียนที่มีอยู่ในหม้อเทียบ การปล่อยเทียนที่อยู่ในช่องสุญญากาศของเครื่อง และการตั้งค่าเครื่อง ซึ่งค่าที่ทำการปรับแต่งประกอบด้วยค่าความดันลมที่ใช้ในการฉีด ค่าความดันที่ใช้ในการบีบแม่พิมพ์ อุณหภูมิหม้อเทียบ และหัวฉีดเวลาที่ใช้ในการฉีดเทียบ และการทำสุญญากาศ

สำหรับแม่พิมพ์นั้น ต้องมีการปรับสภาพของแม่พิมพ์โดยใช้ ซิลิโคนสเปรย์ (Silicone Spray) ทาบนแม่พิมพ์ และจึงทาแบ่งทับอีกที โดยใช้ฟูกันบดแบ่งให้เรียบ และใช้ลมเป่าเพื่อไม่มีผงแป้งติดอยู่

2.3.2 ขั้นตอนการฉีดเทียบเข้าแม่พิมพ์ เริ่มต้นด้วยการวางแม่พิมพ์บนแท่นวางแม่พิมพ์ และจึงกดปุ่มให้เครื่องทำงาน แท่นวางแม่พิมพ์จะทำการบีบแม่พิมพ์ตามความดันบิบ ที่ตั้งไว้เพื่อดันให้รูทางเข้าของแม่พิมพ์ชนกับหัวฉีดของเครื่องฉีดเทียบ และเครื่องจะทำการดูดอากาศออก เมื่อมีการเปิดเครื่องปั๊มสุญญากาศ แต่หากไม่ได้เปิดเครื่องปั๊มสุญญากาศ เครื่องฉีดเทียบก็จะทำ

การฉีดเทียนเลย เมื่อเครื่องฉีดเทียนเข้าไปในแม่พิมพ์เสร็จแล้ว แทนวาก็จะปล่อยความดันบีบแม่พิมพ์ออก จึงสามารถนำแม่พิมพ์ออกจากแท่นได้

2.3.3 ขั้นตอนการแกะแบบเทียนและการตรวจสอบคุณภาพขั้นต้น เมื่อฉีดเทียนเข้าไปในแม่พิมพ์แล้ว ต้องรอประมาณ 1 – 2 นาทีเพื่อให้เทียนแข็งตัว แล้วจึงดึงแบบเทียนออกจากแม่พิมพ์ เพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพขั้นต้น ก่อนส่งไปยังแผนกตรวจสอบคุณภาพ เพื่อปรับแต่งแบบเทียนให้ได้คุณภาพตามที่กำหนดไว้

3. การวัดเพื่อการกำหนดสาเหตุของปัญหา

3.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gage Repeatability and Reproducibility, GR&R)

เพื่อให้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ ในขั้นตอนต่างๆ ของโครงการมีความน่าเชื่อถือจึงดำเนินการตรวจสอบระบบการคัดแยกของดีของเสีย ด้วยการทดสอบพนักงาน 3 คน กับตัวอย่างชิ้นงาน 15 ตัวอย่างตามขั้นตอนการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลนับด้วยการพิจารณาค่า% รีพีทเทบิลิตี้ของพนักงาน % ความไม่ไว้อิสของพนักงาน %ประสิทธิภาพด้านรีพีทเทบิลิตี้ของการตรวจสอบ %ประสิทธิภาพด้านไว้อิสของการตรวจสอบ

เนื่องจากว่าเกณฑ์ในการยอมรับของระบบการวัดคือ 70% ทุกค่าดัชนี ซึ่งผลจากการทดสอบครั้งที่ 1 น้อยกว่าเกณฑ์ทุกค่า ดังนั้นจำเป็นต้องมีการอบรมพนักงานเพื่อให้เข้าใจลักษณะของของเสีย และจึงทำการทดสอบครั้งที่ 2 ซึ่งได้ค่าดัชนีทั้ง 4 มากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงสามารถยอมรับระบบการคัดแยกของดีของเสียของพนักงานได้

3.2 การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)

ผลจากการระดมความคิดโดยอิสระจากสมาชิกในทีม เพื่อระบุปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อการเกิดฟองอากาศ และซี้เทียนบนแบบเทียน โดยแผนภาพอิชิกาวา ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าทั้งสิ้น 30 ปัจจัย ซึ่งต้องทำการลงคะแนนเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญโดยใช้ตาราง Cause & Effect Matrix ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้า

ที่สำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดฟองอากาศ 9 ปัจจัย คือ ความดันสุญญากาศ ปริมาณน้ำมันสุญญากาศ ความสะอาดของน้ำมันสุญญากาศ ความสะอาดของห้องสุญญากาศ ปริมาณเทียนในหม้อ อุณหภูมิถังเทียน อุณหภูมิวาล์ว เวลาการทำสุญญากาศ และความดันลมฉีดเทียน สำหรับกรณีซี้เทียนนั้นมี 4 ปัจจัยคือ การประกบแม่พิมพ์ ความดันลมฉีดเทียน ความดันบีบแม่พิมพ์ และ เวลาการฉีด

4. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

เพื่อศึกษาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ ที่ได้จากการระดมความคิด จึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าทั้ง 9 ปัจจัยสำหรับฟองอากาศ และ 4 ปัจจัยสำหรับซี้เทียนผ่านการทดลองกับเครื่องฉีดเทียน ที่ปัจจัยนั้นเกี่ยวข้องเพื่อศึกษาลักษณะทั่วไป และผลของปัจจัยที่มีต่อการเกิดฟองอากาศและซี้เทียน

ผลจากการทดลองเราได้ว่า ปัจจัยที่ต้องนำไปวิเคราะห์ต่อไปคือ ความดันฉีดเทียน ความดันบีบแม่พิมพ์ และการปรับสภาพสุญญากาศ ซึ่งปัจจัยทั้งสามมีระดับของปัจจัยดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับของปัจจัยนำเข้า

ลำดับ	ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
		-1	1	
1	ระดับความดันฉีดเทียน	0.3	0.7	kgf/cm ²
2	ระดับความดันบีบแม่พิมพ์	1.0	2.0	kgf/cm ²
3	การเปิด/ปิดสุญญากาศ	ปิด	เปิด	-

ซึ่งเมื่อนำปัจจัย มาทำการวิเคราะห์ระดับของปัจจัยด้วยการทดสอบสมมติฐานพบว่าระดับของปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของเสีย มีความแตกต่างกันอย่างแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

5. การปรับปรุง

ในการปรับปรุงคุณภาพอาศัย การออกแบบการทดลอง เพื่อให้ได้ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด

โดยปัจจัยนำเข้าสำหรับการปรับปรุงคุณภาพคือ ความดันฉีดเทียน ความดันบีบแม่พิมพ์ และสภาพสุญญากาศ ซึ่งมีระดับของปัจจัยดังตารางที่ 1 ซึ่งออกแบบทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพเป็น แบบ 2^k Full Factorial ที่มีจำนวนตัวอย่างของแต่ละระดับการทดลอง เป็น 15 ตัวอย่าง โดยทำการทดลอง 1 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์ผลการทดลองผ่านผลหลักของปัจจัย ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งผลการทดลองพบว่า มีความไม่สอดคล้องกันระหว่างความดันที่ใช้ในการฉีดเทียน เพื่อให้ได้ฟองอากาศกับ ซีเทียนต่ำสุด ดังนั้นจึงทำการทดลองเพิ่มเติมที่ระดับความดันตั้งแต่ $0.3 - 0.7 \text{ kgf/cm}^2$ ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองที่ระดับความดันตั้งแต่ $0.3 - 0.7 \text{ kgf/cm}^2$

กลุ่มผลิตภัณฑ์	ความดันฉีด (kgf/cm ²)		ความดันบีบแม่พิมพ์ (kgf/cm ²)	การปิด/เปิดสุญญากาศ
	ฟองอากาศ (ค่าเฉลี่ย)	ซีเทียน		
1	0.5 – 0.7	0.5	2	ปิด
2	0.5	0.5		เปิด
3	0.5 – 0.7	0.4		ปิด
4	0.6	0.5		เปิด
5	0.6	0.5		ปิด

ผลจากการทดลองตามตารางที่ 2 ได้ว่าระดับความดันที่เหมาะสม ของการฉีดเทียนเพื่อไม่ให้เกิดซีเทียนคือ 0.5 kgf/cm^2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 1, 2, 4 และ 5 และที่ระดับ 0.4 kgf/cm^2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 3 แต่สำหรับฟองอากาศนั้น ยังคงมีอยู่ทุกระดับความดัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปัจจัยทั้งสาม ไม่ใช่สาเหตุของการเกิดฟองอากาศที่แท้จริง จึงต้องมีการทบทวนการวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริง ของการเกิดฟองอากาศใหม่เพื่อการแก้ไขที่ถูกต้อง ซึ่งในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาดังกล่าว ไม่สามารถดำเนินการได้ในขณะนี้เนื่องจาก ข้อจำกัดด้านเวลาและความไม่สะดวกในการดำเนินการที่โรงงาน จึงได้จัดทำเป็นข้อเสนอแนะในการปรับปรุงในขั้นต่อไป

6. การควบคุมกระบวนการผลิต

6.1 การสอบเทียบเครื่องฉีดเทียน

เพื่อให้การทำงานของเครื่องฉีดเทียน มีเสถียรภาพในการทำงานและมีความน่าเชื่อถือ ในการตั้งค่าใช้งานจึงควรทำการสอบเทียบเครื่องฉีดเทียน โดยเครื่องมือวัดที่ควรสอบเทียบคือ คือ เกจความดัน เกจอุณหภูมิ และเกจเวลา และควรมีแผนการบำรุงรักษาและทำความสะอาดเครื่องทุกๆ 3 เดือน

6.2 การควบคุมการใช้งานของเครื่องฉีดเทียน

เพื่อเป็นการควบคุม การทำงานของพนักงานในการฉีดเทียน ให้สามารถใช้งานเครื่องฉีดเทียนได้ถูกต้อง และเหมาะสม จึงจัดทำเอกสารคู่มือการปฏิบัติงาน เพื่อใช้เป็นเอกสารมาตรฐานสำหรับการอบรมพนักงาน และเป็นเอกสารอ้างอิงในขณะปฏิบัติงาน

6.3 การเก็บข้อมูลการผลิต

เพื่อเป็นการควบคุมการผลิต จึงควรมีการเก็บข้อมูลผลการดำเนินการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการตั้งค่าเครื่อง และ ของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ สำหรับการวิเคราะห์สภาพการผลิตสามารถทราบประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต การปฏิบัติงานของพนักงาน

6.4 แผนคุณภาพ (Quality Plan)

นอกจากการจัดทำ เอกสารคู่มือการปฏิบัติงานแล้ว ควรมีการวางแผนคุณภาพ เพื่อเป็นการควบคุมไม่ให้เกิดของเสียจากกระบวนการผลิตแบบเทียน หรือสามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาได้

7. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 บทสรุป

ตลอดการดำเนินการ ศึกษากระบวนการฉีดเทียนเพื่อลดของเสีย พบว่าในกระบวนการฉีดเทียนมีประเภทของเสียทั้งหมด 9 ประเภทตามสาเหตุของของเสีย โดยฟองอากาศและซีเทียนเป็นประเภทของเสียที่พบมากที่สุด โดยคิดเป็นค่า DPMO ได้เป็น 84,067 DPMO ซึ่งหลังจากทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุ และดำเนินการปรับปรุงนั้น พบว่า ฟองอากาศยังคงมีอยู่ไม่

ว่าจะทำการผลิตแบบเทียบ ที่ระดับความดันฉีดเทียบ เป็นเท่าไร แต่สำหรับขี้เทียนนั้นสามารถลดการเกิดได้ ด้วยการตั้งค่าความดันลมที่ 0.5 kgf/cm^2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 1, 2, 4 และ 5 และที่ความดัน 0.4 kgf/cm^2 สำหรับผลิตภัณฑ์กลุ่มที่ 3 ในส่วนของระดับความดัน บีบแม่พิมพ์นั้น ควรตั้งค่าใช้งานที่ 2 kgf/cm^2 สำหรับทุกกลุ่มผลิตภัณฑ์ และควรปรับสภาพให้เป็นสุญญากาศ สำหรับผลิตภัณฑ์กลุ่มที่ 2 และ 4 ส่วนผลิตภัณฑ์กลุ่มที่ 1, 3 และ 5 ไม่ต้องปรับสภาพสุญญากาศ

7.2 ข้อเสนอแนะ

ผลจากการปรับปรุงกระบวนการ พบว่า ฟองอากาศไม่สามารถแก้ไขได้ ด้วยการตั้งค่าเครื่องที่เหมาะสม ดังนั้นจึงควรมีการดำเนินการวิเคราะห์ ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดฟองอากาศ ซึ่งปัจจัยที่ควรพิจารณาต่อไปคือ

- การศึกษาอุณหภูมิในการหลอมเหลวเทียน ที่ไม่ทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อเทียน หรือมีในปริมาณที่น้อยที่สุด ด้วยการทดลองหลอมเหลวเทียนที่อุณหภูมิต่างๆ ตั้งแต่ 65°C เป็นต้นไป รวมทั้งผลกระทบของระดับปริมาณเทียนภายในหม้อที่อาจได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลว และการตั้งค่าการใช้งานที่เหมาะสมสำหรับปริมาณเทียนในหม้อที่ระดับต่างๆ

- การศึกษาความแตกต่างของประสิทธิภาพของการนำเทียนใหม่และ เทียนเก่ามาใช้ใหม่ในการผลิต และอายุการใช้งานที่เหมาะสมของเทียน

- การศึกษาการทำงานของเครื่องไม่ว่าจะเป็นระบบการฉีดเทียบ หรือการทำสุญญากาศ เป็นต้น เพื่อวิเคราะห์ว่ามีขั้นตอนใดของระบบที่เป็นสาเหตุของการฟองอากาศ

- การสอบเทียบเครื่องมือวัดต่างๆของเครื่องฉีดเทียบ เช่น เกจวัดความดัน เกจวัดอุณหภูมิ และเกจวัดเวลา ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องฉีดเทียบ และปั๊มสุญญากาศ อีกทั้งการทำความสะอาดเครื่องทั้งหมดไม่ว่าจะเป็น ท่อ หรือข้อต่อ ให้ปราศจากสิ่งอุดตัน หรือสิ่งสกปรกต่างๆ ในระบบการฉีดเทียบ การทำสุญญากาศ

- การศึกษาแม่พิมพ์ในด้านการออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสมสำหรับการฉีดเทียบ การออกแบบการไหลของเทียนภายในแม่พิมพ์ และการออกแบบระบบระบายอากาศออกจากเทียนเมื่อเทียนไหลเข้าแม่พิมพ์

- การอบรมพนักงาน ให้เข้าใจระบบการทำงาน of เครื่องฉีดเทียบ การตั้งค่าเครื่องฉีดเทียบให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ และเหมาะสมกับสภาพการทำงานในขณะนั้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้บริหารโรงงาน ที่อนุญาตให้ผู้ศึกษาได้ศึกษา และดำเนินการศึกษาภายในโรงงาน และขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรีประจำปี 2546 ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. “สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1 (ประมวลผลด้วย MINITAB)”, พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2545

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. “สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2 (ประมวลผลด้วย MINITAB)”, พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2546

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. “การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) (ประมวลผลด้วย MINITAB)”, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2546

ชัชวาล พรพัฒน์กุล. “การวิเคราะห์ระบบการวัด: กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องเพชรพลอยและเครื่องประดับ”, วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544

ชาญชัย บวรโชคชัย. “การลดของเสียแบบจับหัวอ่าน
ด้วยวิธีการ Six Sigma กรณีศึกษากระบวนการ
ผลิตแบบจับ หัวอ่าน”, วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิต
วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2545

ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย. “การควบคุมคุณภาพสำหรับ
นักบริหาร และกรณีศึกษา”, พิมพ์ครั้งที่ 2,
กรุงเทพมหานคร: เอ็มแอนด์อี, 2540

ปารเมศ ชูติมา. “การออกแบบการทดลองทาง
วิศวกรรม”, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร:
สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2545

มนัส สติรจินดา. “วิศวกรรมงานหล่อเหล็ก”,
กรุงเทพมหานคร: คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530

ศิริวิทย์ เอื้ออรรถโชติ. “การลดการปนเปื้อนจาก
กระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์
โดยประยุกต์ใช้ วิธีการซิกซ์ ซิกมา”,
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุต
สาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2546

หริส สุตะบุตร และ เคนยิ จิยิอิวา. “หล่อโลหะ”, โตเกียว:
สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ,
2517

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว. “การลดของเสียจากกระบวนการ
ผลิตกระป๋องโดยประยุกต์ใช้วิธีการ Six Sigma”,
วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรม
อุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2545

อิโตชิ คูเมะ. “วิธีทางสถิติเพื่อการพัฒนาคุณภาพ”, แปล
โดย วีรพงษ์ เฉลิเมจิระรัตน์, พิมพ์ครั้งที่ 9,
กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี
(ไทย – ญี่ปุ่น), 2544

James M. Cupello และคณะ. “คู่มือปฏิบัติ Six Sigma
เพื่อสร้างความเป็นเลิศในองค์กร”, แปลโดย ดร.
ณัฐพันธ์ เขจรนันท์ และคณะ, พิมพ์ครั้งที่ 1,
กรุงเทพมหานคร: เอ็กซ์เปอร์เน็ท, 2545

Robert W. Fox and Alan T. McDonald. “Introduction
to Fluid Mechanics”, Fifth Edition, USA: Wiley &
Sons, 1998