

การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตอุปกรณ์ใช้ระดับน้ำมัน โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม

ศุภพร ศีลาลอย^{1*} จิรวัดน์ ณ พัทลุง²

^{1,2}สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, ชลบุรี, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล : supat_si@rmutto.ac.th

รับต้นฉบับ : 22 มิถุนายน 2567; รับบทความฉบับแก้ไข : 8 สิงหาคม 2567; ตอรับบทความ : 20 สิงหาคม 2567

เผยแพร่ออนไลน์ : 26 ธันวาคม 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการลดของเสียในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม (DOE) การศึกษาเบื้องต้นพบว่าอุปกรณ์ใช้ระดับน้ำมันขึ้นงานฉีดไม่เต็มตามข้อกำหนดของการผลิต เกิดจากพลาสติกที่ฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ เกิดการแข็งตัวก่อนที่จะเต็มแม่พิมพ์ เนื่องจากสภาวะของเครื่องจักรไม่คงที่ ได้แก่ แรงดันฉีดพลาสติก (P) กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2), เวลาในการฉีดพลาสติก (T) วินาที (sec) และความเร็วในการฉีด (S) มิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s) จากนั้นเลือกใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธีการออกแบบส่วนประสมกลาง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ ใช้พารามิเตอร์ในการทดลอง ดังนี้ แรงดันฉีดพลาสติก (P) 966, 1000, 1050, 1100, 1134 เวลาในการฉีดพลาสติก (T) 17, 20, 25, 30, 33 และความเร็วในการฉีด (S) 13, 15, 18, 20, 22 จึงได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม คือ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) = 1022 kg/cm^2 เวลาที่ใช้ในการฉีดพลาสติก (T) = 32 sec ความเร็วในการฉีด (S) = 17 mm/s เมื่อนำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเหล่านี้มาดำเนินการผลิตจริง พบว่าสามารถลดปริมาณของเสียจากเดิมร้อยละ 2.27 เหลือร้อยละ 1.68 และสามารถลดต้นทุนต่อหน่วยลงจากเดิม 5 บาทต่อชิ้น เหลือ 4.27 บาทต่อชิ้น

คำสำคัญ : การออกแบบส่วนประสมกลาง ลดของเสีย งานฉีดขึ้นรูปพลาสติก

Determining the Optimal Parameters of Oil Checking Processing Using Engineering Experimental Design Techniques

Supat Silaloy^{1*} Chirawat Na-Badalung²

^{1*,2}*School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail address: supat_si@rmutto.ac.th

Received: 22 June 2024; Revised: 8 August 2024; Accepted: 20 August 2024

Published online: 26 December 2024

Abstract

Focuses on reducing waste in the plastic injection molding process by using the Design of Experiments (DOE) technique. Preliminary studies found that the oil level checking devices did not meet production specifications due to the plastic solidifying before completely filling the mold. This issue arose from unstable machine conditions, including injection pressure (P) in kilograms per square centimeter (kg/cm²), injection time (T) in seconds, and injection speed (S) in millimeters per second (mm/s). To identify the optimal parameters, the central composite design method was employed. The experimental parameters used were: injection pressure (P) at 966, 1000, 1050, 1100, and 1134 kg/cm²; injection time (T) at 17, 20, 25, 30, and 33 seconds; and injection speed (S) at 13, 15, 18, 20, and 22 mm/s. The optimal parameters determined were an injection pressure (P) of 1022 kg/cm², injection time (T) of 32 seconds, and injection speed (S) of 17 mm/s. Applying these optimal parameters in actual production resulted in a reduction of waste from 2.27% to 1.68%, and the cost per unit decreased from 5 baht per piece to 4.27 baht per piece.

Keywords: Central composite design (CCD), Defect reduction, Plastic injection

1) บทนำ

จากสถานการณ์ของอุตสาหกรรมยานยนต์ทั่วโลก จะเห็นได้ว่าหลายปีที่ผ่านมาอุตสาหกรรมยานยนต์ต้องเผชิญกับผลกระทบจากเหตุการณ์ต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นวิกฤติการณ์เศรษฐกิจโลกหรือการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและผลกระทบจากความผันผวนของราคาพลังงาน จากสถานการณ์ดังกล่าวนี้ทำให้ผู้ประกอบการในธุรกิจอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ต้องตระหนักและปรับตัวให้เท่าทันต่อสถานการณ์ต่าง ๆ [1] รวมถึงอุตสาหกรรมงานฉีดแม่พิมพ์พลาสติก ซึ่งเป็นกลุ่มธุรกิจหนึ่งที่มีอัตราการเติบโตและการแข่งขันที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง [2] จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ผลิตจะต้องปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต [3]

บทความจากงานวิจัยในการศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของการลดสัดส่วนของเสียที่เกิดจากโรงอากาศในกระบวนการขึ้นรูปไมโครชิป [4] พบว่าในงานวิจัยนี้มีการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนองแบบ Box-Behnken Design เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ขนาดรวมของโรงอากาศมีค่าน้อยกว่า 500 ไมครอน โดยเบื้องต้นได้ระบุปัจจัยทั้งหมดที่น่าจะมีผลต่อการเกิดของเสียแบบโรงอากาศ โดยใช้หลักการแผนผังก้างปลา ร่วมกับการวิเคราะห์กับผู้เชี่ยวชาญ พบว่ามี 4 ปัจจัยที่น่าจะส่งผลได้แก่ แรงอัดของแม่พิมพ์, แรงฉีดเรซิน, ระยะเวลาในการฉีดเรซิน และระยะเวลาในการอุ่นเรซิน จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยส่งผลต่อการเกิดของเสียแบบโรงอากาศแบบมีนัยสำคัญ รวมทั้งอันตรกิริยาแรงอัดและระยะเวลาในการอุ่นเรซิน ซึ่งจะเห็นได้ว่าความหนืด แรงและความเร็วในการไหลมีผลต่อการเคลื่อนที่ของเรซิน โดยได้ขนาดรวมของโรงอากาศเฉลี่ยที่น้อยที่สุดที่ 218.25 ไมครอน และจากการทดสอบยืนยันผลพบว่าไม่มีของเสียเนื่องจากขนาดโรงอากาศเกินกว่า 500 ไมครอน

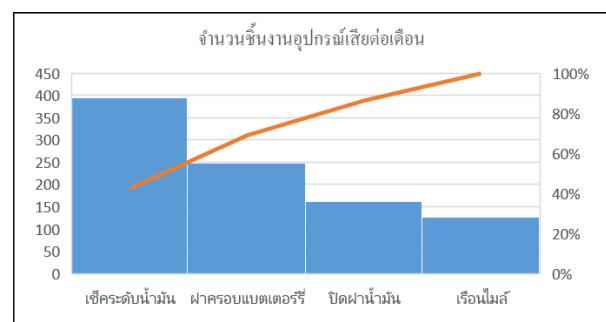
จากการศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการฉีดพลาสติกของโรงงานกรณีศึกษา ได้ทำการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อชิ้นส่วนฝาครอบส่วนระบายอากาศที่ติดตั้งนอกอาคารที่ผลิตจากการฉีดพลาสติก [5] จากการศึกษาพบว่าความเร็วในการฉีดพลาสติก, ความดันในการฉีด, ความเร็วของสกรู, ความเร็วในการหลอมเหลว และอุณหภูมิภายในกระบอบสูบส่วนกลางเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียแบบฉีดไม่เต็ม และเมื่อทำการพิจารณาหาค่าปัจจัยที่เหมาะสม พบว่าความเร็วในการฉีดพลาสติกควรอยู่ที่ 47 มิลลิเมตรต่อวินาที, ความดันในการฉีด

พลาสติก 42.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร, ความเร็วของสกรู 91.5 มิลลิเมตรต่อวินาที, ความเร็วในการหลอมพลาสติก 7.67 มิลลิเมตรต่อวินาที และอุณหภูมิภายในกระบอบสูบส่วนกลาง 225 องศาเซลเซียส โดยการปรับใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมนี้ทำให้สามารถลดของเสียแบบฉีดไม่เต็มที่เกิดขึ้นได้ 1.94%

วัตถุประสงค์ในการศึกษางานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติกอุปกรณ์เชื้อระดับน้ำมันของบริษัทแห่งหนึ่งซึ่งกำลังประสบปัญหาเกี่ยวกับของเสียชิ้นงานฉีดไม่เต็มในกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยจะประยุกต์ใช้ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ใช้การออกแบบการทดลองด้วยการออกแบบส่วนประสมกลาง [6] ใช้เป็นแนวทางนำไปสู่ระดับปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อการผลิตชิ้นงานพลาสติกด้วยกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก ซึ่งบทสรุปสุดท้ายผลลัพธ์ที่ได้นี้ จะถูกนำไปสร้างเป็นมาตรฐานการทำงานของกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก (Standard Operation Procedure: SOP) และนำผลการปรับปรุงที่ได้ไปปรับใช้กับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ในบริษัทต่อไป

2) ข้อมูลการวิจัย

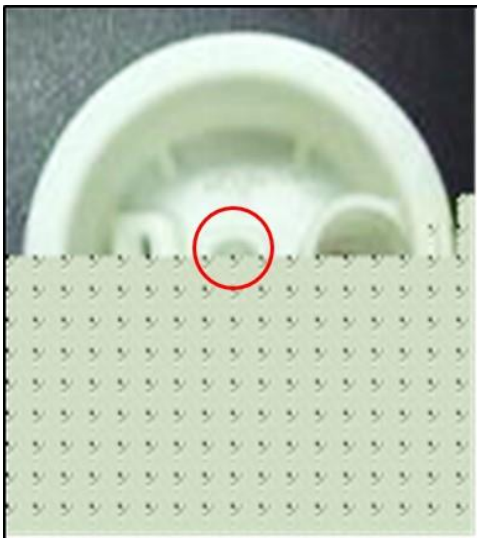
สถานการณ์ปัจจุบันของกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติกในบริษัทแห่งหนึ่งมีของเสีย (defect) ที่เกิดขึ้นกับหลายผลิตภัณฑ์ แต่พบว่าผลิตภัณฑ์อุปกรณ์เชื้อระดับน้ำมัน มีจำนวนของเสียสูงที่สุด คือ 394 ชิ้นต่อเดือน ดังรูปที่ 1 จึงนำผลิตภัณฑ์ชิ้นงานอุปกรณ์เชื้อระดับน้ำมัน ดังรูปที่ 2 มาแก้ปัญหาด้วยการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อลดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของอุปกรณ์เชื้อระดับน้ำมัน ซึ่งชิ้นงานฉีดไม่เต็มและชิ้นงานเสียหาย (Dimension NG) ดังรูปที่ 3 เกิดเป็นของเสียจำนวนมาก (เนื่องจากรูปภาพเป็นความลับทางการค้าจึงได้แสดงรูปภาพภายในชิ้นงานเพียงบางส่วนเท่านั้น)



รูปที่ 1 : กราฟจำนวนปริมาณชิ้นงานเสียต่อเดือน



รูปที่ 2 : ชิ้นงานอุปกรณ์ซีกระดับน้ำมัน



รูปที่ 3 : ชิ้นงานที่เสียหายไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ

3) วิธีดำเนินการวิจัย

แนวทางในการปรับปรุงปัญหาจะเป็นการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ด้วยเทคนิคการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) [7] โดยมีพารามิเตอร์ที่สำคัญ 3 พารามิเตอร์ ที่ได้มาจากการวิเคราะห์เบื้องต้น (pretest) [3] ของข้อมูลการผลิตปัจจุบันจากบันทึกการทำงาน ได้แก่ แรงดันในการฉีดพลาสติก (injection pressure: P) 1,000 และ 1,100 kg/cm² เวลาในการฉีดพลาสติก (injection time: T) 20 และ 30 sec และความเร็วในการฉีด (injection speed: S) 15 และ 20 mm/s เป็นระดับพารามิเตอร์ในการนำเข้าสู่การออกแบบการทดลอง ซึ่งสามารถ

แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับระดับของพารามิเตอร์ได้ดังตารางที่ 1 ส่วนผลตอบแทน (response) จะเป็นของเสีย (defect) ที่เกิดขึ้นหลังการผลิต [8] สามารถแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับระดับของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งได้มาจากการออกแบบการทดลองส่วนประสมกลาง

ตารางที่ 1 : พารามิเตอร์ในการทดลอง

พารามิเตอร์	แรงดัน (P) kg/cm ²	เวลาฉีด (T) sec	ความเร็ว (S) mm/s
ระดับ 1	966	17	13
ระดับ 2	1000	20	15
ระดับ 3	1050	25	18
ระดับ 4	1100	30	20
ระดับ 5	1134	33	22

ข้อมูลจากการทดลองตามแผนการทดลองเชิงสถิติด้วยเทคนิค CCD ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อุปกรณ์ซีกระดับน้ำมัน หลังจากประมวลผลระดับของพารามิเตอร์ในการทดลองแล้ว จะได้แผนการทดลองจำนวน 20 ชุด คือ ทดลองจำนวน 1 ครั้ง ไม่ได้มีการทดลองซ้ำ เนื่องจากข้อจำกัดของบริษัท และผลการทดลอง แสดงข้อมูลการทดลองได้ดังตารางที่ 2 โดยผลตอบแทน 0 คือ ชิ้นงานดี และ ผลตอบแทน 1 คือ ชิ้นงานเสีย

4) ผลการวิจัยและอภิปรายผล

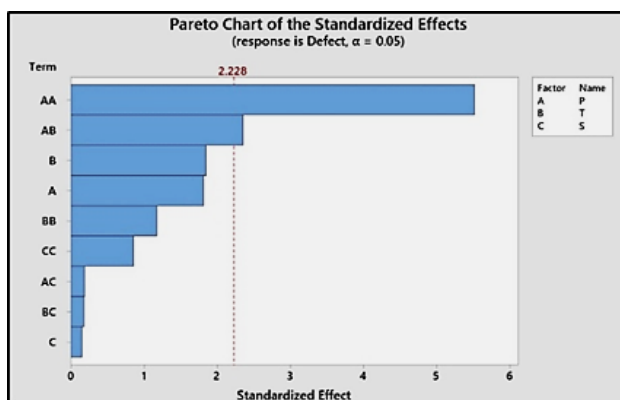
การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ (Statistical Analysis) ตามการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (CCD) [9] นั้น สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังรูปที่ 4 และตารางที่ 3 พบว่าเมื่อพิจารณาที่ตัวแปรตอบสนอง คือ ปริมาณของเสียประเภทฉีดไม่เต็มที่เกิดขึ้นในช่วงปรับฉีดพบว่าปัจจัยที่มีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งได้แก่ ปัจจัยหลัก (main effect) จำนวน 2 ปัจจัย คือ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) และเวลาในการฉีด (T) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาของเสียแบบฉีดไม่เต็ม พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ แรงดันในการฉีดพลาสติก และเวลาในการฉีด (p-value < 0.05)

สมการแสดงของเสียจากการผลิตอุปกรณ์ซีกระดับน้ำมัน เป็นผลลัพธ์ของการผลิตอุปกรณ์ซีกระดับน้ำมัน ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แรงดันในการฉีดพลาสติก เวลาในการฉีดพลาสติก และความเร็วในการฉีด สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Defect} = & 220.2 - 0.3868 P - 1.309 T - 0.219 S + \\ & 0.000175 P*P + 0.00403 T*T + 0.0099 \\ & S*S + 0.001000 P*T + 0.001000 P*S - \\ & 0.000163 P*S + 0.00154 T*S \end{aligned} \quad (1)$$

ตารางที่ 2 : ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ตามการทดลอง CCD

ลำดับ	แรงดัน (kg/cm ²)	เวลาฉีด (sec)	ความเร็ว (mm/s)	Defect ชิ้นงาน
1	1000	20	20	1
2	1000	30	15	0
3	1050	25	18	0
4	966	25	18	1
5	1050	25	22	0
6	1050	25	18	0
7	1050	25	18	0
8	1050	25	18	0
9	1050	17	18	0
10	1000	20	15	1
11	1050	25	18	0
12	1134	25	18	1
13	1050	25	13	0
14	1050	33	18	0
15	1050	25	18	0
16	1100	20	20	1
17	1000	30	20	0
18	1100	30	15	1
19	1100	30	20	1
20	1100	20	15	1

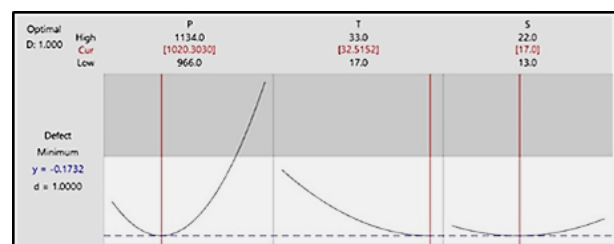


รูปที่ 4 : กราฟของปัจจัยที่มีผลกระทบกับชิ้นงาน

ตารางที่ 3 : การวิเคราะห์ความแปรปรวนการทดลอง CCD

Source	DF	SS	MS	F-Value	P-Value
Model	9	3.900	0.433	4.82	0.011
P	1	0.296	0.296	3.330	0.099
T	1	0.307	0.307	3.42	0.094
S	1	0.002	0.002	0.02	0.879
P*P	1	2.740	2.739	30.45	0.000
T*T	1	0.124	0.124	1.39	0.266
S*S	1	0.066	0.066	0.74	0.411
P*T	1	0.500	0.500	5.56	0.040
P*S	1	0.003	0.003	0.04	0.850
T*S	1	0.003	0.003	0.03	0.859
Error	10	0.899	0.089	-	-
Total	19	4.800	-	-	-

ในส่วนการวิเคราะห์หาสภาวะพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (parameters optimization) ของการลดปัญหาของเสียประเภท ชิ้นงานฉีดไม่เต็ม ดังแสดงในรูปที่ 5 จะเห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตอุปกรณ์เชื้อระดับน้ำมัน คือ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) 1020 kg/cm² เวลาในการฉีดพลาสติก (T) 32 sec และความเร็วในการฉีด (S) 17 mm/s ซึ่งจะทำให้พบชิ้นงานฉีดไม่เต็มน้อยลงในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยจึงใช้พารามิเตอร์ที่ได้ทดลองผลิตอีกครั้งเพื่อใช้ยืนยันผลการทดลอง จำนวน 30 ตัวอย่าง [10] ดังแสดงในตารางที่ 4



รูปที่ 5 : สภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์

ตารางที่ 4 : ข้อมูลการทดลองผลิต จำนวน 30 ตัวอย่าง

ลำดับ	แรงดัน (kg/cm ²)	เวลาฉีด (sec)	ความเร็ว (mm/s)	Defect ชิ้นงาน
1	1020	32	17	0
2	1020	32	17	0
3	1020	32	17	0
4	1020	32	17	0

ตารางที่ 4 : ข้อมูลการทดลองผลิต จำนวน 30 ตัวอย่าง (ต่อ)

ลำดับ	แรงดัน (kg/cm ²)	เวลาฉีด (sec)	ความเร็ว (mm/s)	Defect ชิ้นงาน
5	1020	32	17	0
6	1020	32	17	0
7	1020	32	17	0
8	1020	32	17	1
9	1020	32	17	0
10	1020	32	17	0
11	1020	32	17	0
12	1020	32	17	0
13	1020	32	17	0
14	1020	32	17	0
15	1020	32	17	0
16	1020	32	17	0
17	1020	32	17	0
18	1020	32	17	1
19	1020	32	17	0
20	1020	32	17	0
21	1020	32	17	0
22	1020	32	17	0
23	1020	32	17	0
24	1020	32	17	0
25	1020	32	17	0
26	1020	32	17	0
27	1020	32	17	0
28	1020	32	17	0
29	1020	32	17	0
30	1020	32	17	0

ตารางที่ 5 : การทดสอบค่าเฉลี่ยกับเกณฑ์ของเสีย Defect 0

Null hypothesis (H ₀)	H ₀ : $\mu = 0$
t-value	p-value
1.44	0.161

หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ความถูกต้องที่ได้มาของข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Minitab ดังตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่า p-value อยู่ที่ 0.161 ซึ่งมีค่ามากกว่า α 0.05 ซึ่งยอมรับ H₀ นั้น หมายความว่าข้อมูลยืนยันความถูกต้องที่ได้มาจาก 30 ข้อมูล คือ ประชากรกลุ่มเดียวกันกับของเสีย Defect 0

5) สรุปผล

งานวิจัยนี้ใช้แนวทางการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางเพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยใช้ข้อมูลจากรายงานการผลิตนำมาทดลองหาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (parameters optimization) สำหรับกระบวนการผลิตอุปกรณ์ใช้ระดับน้ำมัน คือ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) 1020 kg/cm² เวลาในการฉีดพลาสติก (T) 32 sec และความเร็วในการฉีด (S) 17mm/s ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ใช้ระดับน้ำมันมีปริมาณของเสียลดลง หลังจากได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมจึงนำไปทดลองผลิตอุปกรณ์ใช้ระดับน้ำมัน จำนวน 30 ตัวอย่าง เพื่อยืนยันพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าข้อมูลความถูกต้องที่ได้มาจาก 30 ข้อมูล คือ ประชากรกลุ่มเดียวกันกับของเสีย สามารถลดของเสีย จากเดิมที่ร้อยละ 2.27 เหลือเพียงร้อยละ 1.68 และสามารถลดต้นทุนต่อหน่วยลง จากเดิม 5 บาทต่อชิ้น เหลือ 4.27 บาทต่อชิ้น และทางบริษัท ภิรมศึกษาได้จัดทำมาตรฐานการผลิตอุปกรณ์ใช้ระดับน้ำมัน เพื่อให้พนักงานได้ปฏิบัติตามมาตรฐานที่จัดทำขึ้น รวมถึงได้นำวิธีการออกแบบการทดลองนี้ไปศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ปรับปรุงกับอุปกรณ์ปิดฝาน้ำมัน เนื่องจากมีปัญหาชิ้นงานผิดไม่เต็มเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโรงงานภิรมศึกษาที่กรุณาให้การสนับสนุน และการช่วยเหลือด้านการเก็บข้อมูลชิ้นงานตัวอย่าง ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้งาน โปรแกรม Minitab สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล

REFERENCES

- [1] P. Puangdee and J. Ngaoprasertwong, "Loss reduction in injection molding machine setup in car seats (factory case study)," (in Thai), in *Proc. 39th Conf. Indus. Eng. Netw.*, Songkhla, Thailand, May 2021, pp. 585–591.
- [2] S. Mekboon and J. Plongmai, "Defects reduction in metal parts production process," (in Thai), *Kasem Bundit Eng. J.*, vol. 6, no. 1, pp. 91–106, 2016.
- [3] M. Vanichdee, W. Saleekongchai, and J. Pradabwong, "Parameter design for reducing the defects of the flow marks in plastic injection molding process," (in Thai), *APHEIT J.*, vol. 9, no. 1, pp. 32–45, 2020.



- [4] S. Tangjitsitharoen, "Reduction of void defective proportion in microchip molding process," (in Thai), *J. King Mongkut's Univ. Technol. North Bangkok*, vol. 22, no. 3, pp. 610–621, 2012.
- [5] C. Laosutsan, "Design of experimental to improve quality in the plastic injection process: A case study of a plastic injection factory," (in Thai), M.S. thesis, Dept. Indus. Eng., Kasetsart Univ., Bangkok, Thailand, 2005.
- [6] P. Sudasna Na Ayudthaya and P. Luangpaiboon, *Design and Analysis of Experiments*. Bangkok, Thailand: Top Publishing (in Thai), 2008.
- [7] P. Palaphan, *Statistical Data Analysis and Management with Minitab*. Nonthaburi, Thailand: IDC Premier (in Thai), 2017.
- [8] M. Phipatpaiboon and P. Hongsakomprasert, "Defects reduction in a tractor peripheral equipment manufacturing plant using design of experiments technique," (in Thai), in *Proc. 12th Naresuan Res. Conf.: Res. and Inno. Nat. Develop.*, Phitsanulok, Thailand, Jul. 2016, pp. 318–329.
- [9] P. Homsri and J. Kongthana, "Design of experiments (DOE) to reduce waste in plastic injection process of automotive parts," (in Thai), *Kasem Bundit Eng. J.*, vol. 3, no. 2, pp. 73–95, Dec. 2013.
- [10] S. Rassamee, P. Srisatyakul, and S. Siwawut, "Optimization of conditions for strength in bagasse-reinforced concrete forming," (in Thai) in *Proc. 3rd Conf. Rajamangala Manuf. and Manag. Technol.*, Krabi, Thailand, May 2018, pp. 314–318.