การลดข้อบกพร่องในกระบวนการฉีดชิ้นส่วนเครื่องพิมพ์โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง

Defect Reduction in Injection Process of Printer's Parts using the Design of Experiment (DOE) Technique

ภาสกร อาชะวะบูล[1] และดร.ณฐา คุปตัษเฐียร[2]

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฉีดชิ้นส่วนเครื่องใช้สำนักงาน โดยใช้หลักทฤษฎีทางด้านงานฉีดพลาสติกและเทคนิคการออกแบบการทดลองในการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ระเบียบวิธีการวิจัยประกอบด้วยการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลให้เกิดของเสียมากที่สุดด้วยแผนภูมิก้างปลา ทำการคัดเลือกปัจจัยแล้วนำมาวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องจากข้อพบพร่อง (Failure Mode and Effect Analysis; FMEA) เพื่อนำปัจจัยที่มีลำดับความสำคัญมาก 3 อันดับแรกมาทำการพิจารณา จากนั้นทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบความมีวินัยสำคัญของปัจจัยเหล่านั้น โดยใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^k (2^k Factorial Design) เลือกการทดลองแบบ 2^3 ออกแบบให้ใช้ Full Factorial Factorial และทำซ้ำ 2 ครั้ง (Repeat) กำหนด Number of Blocks 1 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กำหนดค่าทั้ง 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mold Temperature) 35 °C และ 45 °C, รอบการฉีดงานหนึ่งชิ้น (Cycle Time) 34 Sec. และ 38 Sec. และพารามิเตอร์ความดันย้ำ (Holding Pressure) 30 MPa และ 40 MPa ผลการทดลองพบว่าระดับที่เหมาะสมที่สุด คือ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ 45 °C, รอบการฉีดงานหนึ่งชิ้น 34 Sec. และความดันย้ำ 30 MPa ซึ่งสามารถลดปริมาณของเสียลงจากเดิม 77.7% เหลือเพียง 5.3%

คำสำคัญ : กระบวนการฉีดพลาสติก, การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องจากข้อบกพร่อง, การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

Abstract

The objective of this research was to reduce any defects in injection process of printer's parts using the theory of the plastic injection and Design of Experiment (DOE) technique for a cause analysis and impact factors on the quality of product. The research methodology included the determination of possible causes of defects with a fish bone diagram and the use of FMEA to the select top of 3 important factors. Next step was to test level of significance with 2^3 full factorial design with some repeating, number of block 1 and 95% confidence level. Levels of three factors were Mold Temperature at 35°C and 45°C, Cycle Time at 34 sec. and 38 sec. and Holding Pressure at 30 and 40 MPa. The result showed that the optimal level are the mold temperature at 45°C, the cycle time at 34 sec. and holding pressure at 30 MPa, which can reduce defect rate from 77.7% to 5.3%

Keywords : Plastic Injection Process, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Factorial Design

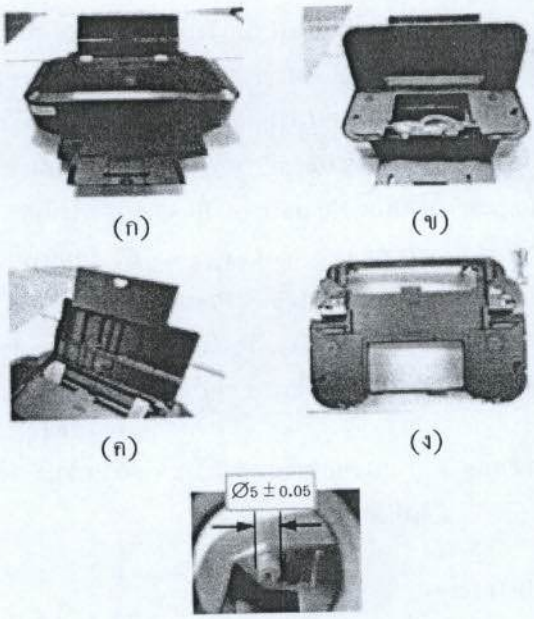
[1]นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1. บทนำ

พลาสติกเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตในปัจจุบัน และอุตสาหกรรมพลาสติกเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อเศรษฐกิจไทย ปัจจุบันมีจำนวนโรงงานในอุตสาหกรรมนี้กระจายอยู่ทั่วประเทศ อีกทั้งยังมีมูลค่าการส่งออกโดยรวมสูงติดอันดับ รายการสินค้าส่งออก 1 ใน 10 อันดับของไทย และมีการแข่งขันทางธุรกิจค่อนข้างสูงทั้งในเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพของสินค้า ดังนั้นในสภาพการแข่งขันทางธุรกิจในปัจจุบันนี้ ผู้ประกอบการจึงควรกำหนด และพัฒนากลยุทธ์ที่สำคัญในการแข่งขัน นั่นคือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในงานฉีดพลาสติก (Injection Molding) กระบวนการเริ่มจากที่เม็ดพลาสติกหรือผลพลาสติกถูกให้ความร้อน หลอมเหลว และถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์จนเต็ม และเย็นตัวอย่างรวดเร็วจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับแม่พิมพ์และระบบหล่อเย็นจนถึงอุณหภูมิที่พลาสติกแข็งตัว จากนั้นจึงปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ได้ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์ [1] คุณภาพของชิ้นงานที่ได้จะดีหรือไม่นั้น นอกเหนือจากการออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสม ยังมีการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดที่มีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการผลิต

ในส่วนของอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้สำนักงาน ปัจจุบันมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ ภายในปี 2558 คาดว่าบุคลากรกว่าร้อยละ 85 ขององค์กรระดับเอ็นเตอร์ไพรส์ทั่วโลกจะปฏิบัติงานจากนอกสถานที่สามารถผลิตชิ้นงานพิมพ์คุณภาพระดับมืออาชีพได้ทั้งในสำนักงานและขณะที่อยู่นอกสถานที่อย่างมีคุณภาพ การเพิ่มขึ้นของจำนวนบุคลากรที่ทำงานนอกสถานที่เข้ามาปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมทางธุรกิจ และความต้องการทางเทคโนโลยีในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมานี้ นอกจากนี้ ความคาดหวังของลูกค้าในด้านงานพิมพ์ก็เพิ่มสูงขึ้น [2]

จากการศึกษาและทำการเก็บข้อมูลโมเดล A ซึ่งเป็นโมเดลใหม่ที่เริ่มผลิตในปี พ.ศ. 2554 และมียอดการผลิตมากที่สุด โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคมจนถึงเดือนเมษายน มียอดการผลิตชิ้นส่วนรวมทั้งสิ้น 385,096 ชิ้น พบชิ้นส่วนที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น 10,893 ชิ้น จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าชิ้นส่วนที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพมากที่สุด คือ ชิ้นส่วนโครงสร้างชั้นกลางของเครื่องพิมพ์ (Middle Frame) ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก–จ) และปัญหาที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพมากที่สุด คือ ชนิดของสลัก (Pin Diameter) เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ (Over Spec) จำนวน 8,463 ชิ้น หรือร้อยละ 77.7 คิดเป็นค่าความสูญเสีย 338,520 บาท ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 รายละเอียดของชิ้นงานและจุดปัญหา

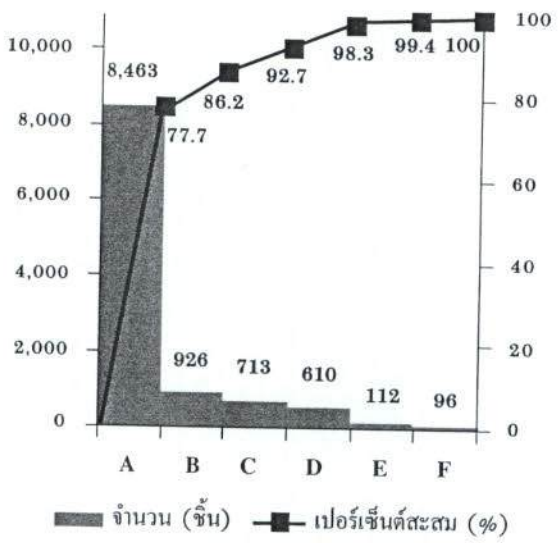
(ก) เครื่องพิมพ์โมเดล A ที่ทำการศึกษา

(ข) ตำแหน่งของชิ้นส่วนโครงสร้างชั้นกลางของเครื่องพิมพ์

(ค) จุดประกอบร่วมกับถาดใส่กระดาษกลังจากประกอบเป็นเครื่องพิมพ์

(ง) สลักสำหรับประกอบร่วมกับถาดใส่กระดาษก่อนประกอบเป็นเครื่องพิมพ์

(จ) ขนาดควบคุมสลักของ Middle Fram



สาเหตุ	จำนวน (ชิ้น)	จำนวนสะสม (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์ (%)	เปอร์เซ็นต์สะสม (%)
A (ขนาดเกินเกณฑ์)	8,463	8,463	77.7	77.7
B (ฉีดไม่เต็ม)	926	9,389	8.5	86.2
C (รอยไหล)	713	10,102	6.5	92.7
D (งานยุบ)	610	10,712	5.6	98.3
E (ริ้วประกายเงิน)	112	10,824	1.0	99.4
F (รอยขีดข่วน)	69	10,893	0.5	100.0

รูปที่ 2 จำนวนชิ้นงานไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพและการลำดับประเภทของเสียของ Middle Frame

2. ทฤษฎีที่เกียวข้อง

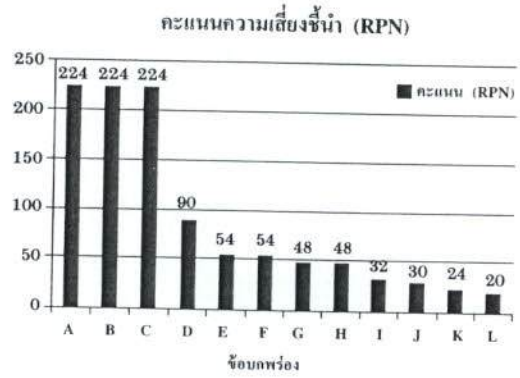
2.1 วิเคราะห์ด้วยแผนภูมิก้างปลา

ทำการนิยามปัญหาให้ชัดเจน หมายถึง การนิยามปัญหาในอยู่ในรูปปริมาณไม่ใช่อยู่ในรูปเชิงคุณภาพ โดยควรมีการอภิปรายในกลุ่มให้เข้าใจก่อนการระดมสมองจะเริ่มขึ้น จากนั้นทำการระดมสมองจากทีมโดยผ่านวิธีการเขียนความคิดเห็นลงในการ์ดที่เตรียมไว้แผ่นละหนึ่งข้อ และจัดกลุ่มของสาเหตุความเป็นไปได้ตามหลักของ 5M (คน เครื่องจักร วิธีการ วัตถุดิบ และแม่พิมพ์) และนำแผ่นกระดาษที่ผ่านการระดมสมองมาจัดทำแผนภาพก้างปลา [3] ดังในรูปที่ 3

2.2 วิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากข้อบกพร่อง (Failure Mode and Effect analysis : FMEA)

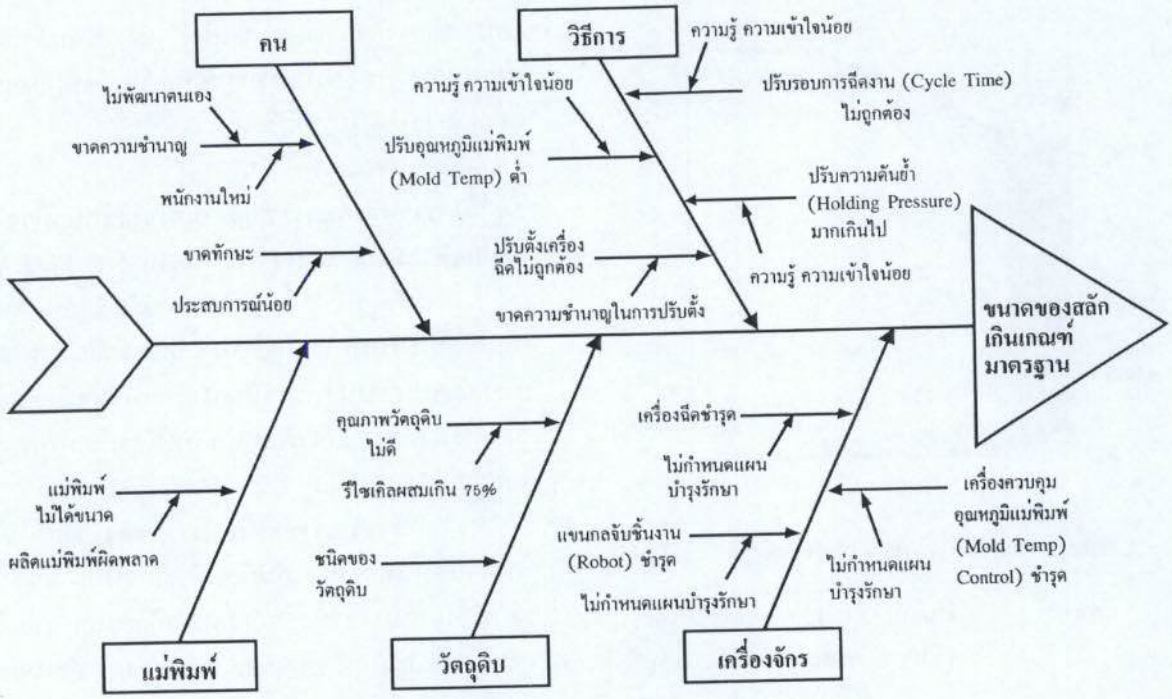
แนวความคิดพื้นฐานของการดำเนินการ MEA เพื่อให้มีประสิทธิภาพผลสูงสุดมี 3 ประการ คือ การดำเนินการโดยคณะทำงาน การดำเนินการผ่านการวิเคราะห์หน้าที่ของกระบวนการ และการดำเนินการโดยเน้นการปรับปรุงไม่สิ้นสุด [4, 5]

ทำการวิเคราะห์เพื่อหารากของปัญหา และสามารถดำเนินการป้องกันก่อนที่จะเสียหาย พบว่าข้อบกพร่องทั้งสิ้น 12 ข้อ ข้อบกพร่องที่คะแนนความเสี่ยงสูงสุด 224 คะแนน ต่ำสุด 20 คะแนน และทำการเลือกค่าความเสี่ยงชี้นำ (RPN) ที่มีค่ามากกว่า 100 คะแนน ตามมาตรฐานการทำงาน มาทำการแก้ไข ดังแสดงในตารางที่ 1 และในรูปที่ 4



ข้อบกพร่อง	ปัญหา	ข้อบกพร่อง	ปัญหา
A	ปรับอุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำ	G	เครื่องควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ชำรุด
B	ปรับรอบการฉีดไม่ถูกต้อง	H	แขนกลจับชิ้นงานชำรุด
C	ปรับความดันซ้ำมากเกินไป	I	แม่พิมพ์ไม่ได้ขนาด
D	ปรับตั้งเครื่องฉีดไม่ถูกต้อง	J	ขาดทักษะในการตรวจสอบ
E	ขาดความชำนาญในการตรวจสอบ	K	คุณภาพวัตถุดิบไม่ดี
F	เครื่องฉีดชำรุด	L	ชนิดของวัตถุดิบ

รูปที่ 4 กราฟค่าคะแนนความเสี่ยงชี้นำข้อบกพร่อง



รูปที่ 3 การวิเคราะห์หาสาเหตุของสลัก เกินเกณฑ์มาตรฐานโดยแผนภูมิก้างปลา

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากข้อบกพร่องในกระบวนการฉีดชิ้นส่วนเครื่องพิมพ์

กระบวนการ (Process)	สาเหตุที่เกิด (Key Process Input)	ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น (Defect Mode)	ผลกระทบที่เป็นไปได้ (Potential Effect of Mode)	ความรุนแรง (Severity, S)	สาเหตุที่เป็นไปได้ (Potential Cause: Mechanism of Failure)	โอกาสเกิด (Occurrence, O)	สถานะปัจจุบัน		การตรวจจับ (Detection, D)	RPN
							การป้องกัน	การตรวจสอบ		
ฉีดพลาสติก	1. ขาดความชำนาญในการตรวจสอบ	ตรวจสอบขนาดไม่ถูกต้อง	ขนาดไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน	6	ไม่มีประสบการณ์ในการทำงาน	3	ฝึกอบรมพนักงานอีกครั้ง	ตรวจติดตามทุกๆ 1 เดือน	3	54
	2. ขาดทักษะในการตรวจสอบ	ตรวจสอบขนาดไม่ถูกต้อง	ขนาดไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน	5	ไม่เคยใช้เครื่องมือวัดตรวจสอบ	2	ฝึกอบรมพนักงานอีกครั้ง	ตรวจติดตามทุกๆ 1 เดือน	3	30
	3. ปรับอุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำ	ปรับตั้งอุณหภูมิแม่พิมพ์ไม่ถูกต้อง	ขนาดไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน	7	ไม่เข้าใจค่าความหดตัว (Shrinkage) ของวัตถุดิบ	8	ไม่มีการควบคุม	ไม่มี	4	224
	4. ปรับตั้งเครื่องฉีดไม่ถูกต้อง	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไม่ถูกต้อง	ชิ้นงานไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน	6	ขาดความชำนาญและทักษะ	5	จัดทำขั้นตอนการปรับตั้ง	ตรวจสอบทุกครั้งก่อนเริ่มผลิต	3	90
	5.ปรับรอบการฉีดไม่ถูกต้อง	รอบการฉีดนานเกินไป	ชิ้นงานขนาดเกินเกณฑ์มาตรฐาน	7	พนักงานทำงานไม่ทันรอบการฉีด	8	ไม่มีการควบคุม	ไม่มี	4	224
	6. ปรับความดันย้ำมากเกินไป	ความดันย้ำมากเกินไป	ชิ้นงานขนาดเกินเกณฑ์มาตรฐาน	7	ต้องการผิวชิ้นงานดึงสวย	8	ไม่มีการควบคุม	ไม่มี	4	224

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากข้อบกพร่องในกระบวนการฉีดชิ้นส่วนเครื่องพิมพ์ (ต่อ)

กระบวนการ (Process)	สาเหตุที่เกิด (Key Process Input)	ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น (Defect Mode)	ผลกระทบที่เป็นไปได้ (Potential Effect of Mode)	ความรุนแรง (Severity, S)	สาเหตุที่เป็นไปได้ (Potential Cause: Mechanism of Failure)	โอกาสเกิด (Occurrence, O)	สถานะปัจจุบัน		การตรวจจับ (Detection, D)	RPN
							การป้องกัน	การตรวจสอบ		
ฉีดพลาสติก	7. เครื่องควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ชำรุด	อุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำเกินไป	ชิ้นงานขนาดเกินเกณฑ์มาตรฐาน	8	ไม่กำหนดระยะเวลาในการตรวจเช็คบำรุงรักษา	3	กำหนดระยะเวลาการบำรุงรักษา	ตรวจสอบทุกๆ 1 สัปดาห์	2	48
	8. เครื่องฉีดชำรุด	ประสิทธิภาพการทำงานไม่ได้ตามกำหนด	ขนาดไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน	9	ไม่กำหนดระยะเวลาในการตรวจเช็คบำรุงรักษา	3	กำหนดระยะเวลาการบำรุงรักษา	ตรวจสอบทุกๆ 1 สัปดาห์	2	54
	9. แขนกลจับชิ้นงานชำรุด	รอบการฉีดไม่ได้ตามกำหนด	ขนาดไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน	8	ไม่กำหนดระยะเวลาในการตรวจเช็คบำรุงรักษา	3	กำหนดระยะเวลาการบำรุงรักษา	ตรวจสอบทุกๆ 1 สัปดาห์	2	48
	10. คุณภาพวัตถุดิบไม่ดี	การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไม่ถูกต้อง	ชิ้นงานไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน	6	ไม่ทำตามมาตรฐานการผสมวัตถุดิบ	2	ทำการฝึกอบรมใหม่อีกครั้ง	ลงบันทึกทุกครั้งที่ผสมวัตถุดิบ	2	24
	11. ชนิดของวัตถุดิบ	การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไม่ถูกต้อง	ชิ้นงานขนาดเกินเกณฑ์มาตรฐาน	5	ไม่ทำตามมาตรฐานการปฏิบัติงาน	2	ทำการฝึกอบรมใหม่อีกครั้ง	ลงบันทึกทุกครั้งที่เบิกวัตถุดิบ	2	20
	12. แม่พิมพ์ไม่ได้ขนาด	ขนาดโตเกินเกรท์มาตรฐาน	ชิ้นงานขนาดเกินเกณฑ์มาตรฐาน	8	แบบของแม่พิมพ์ไม่ตรงกับแบบประกอบ	2	ประชุมทุกฝ่ายก่อนผลิตแม่พิมพ์	บันทึกการประชุม	2	32

2.3 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^k (2^k Factorial Design) เลือกการทดลองแบบ 2^3 ออกแบบให้ใช้ Full Factorial และทำซ้ำ 2 ครั้ง กำหนด Number of Blocks 1 เลือกการออกแบบ Randomize Runs เพื่อความเชื่อมั่นที่สูง รวมทั้งสิ้น 16 การทดลอง ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ 35 °C และ 45 °C, รอบการฉีดงานหนึ่งชิ้น 34 Sec. และ 38 Sec. และพารามิเตอร์ความดันย้ำ 30 MPa โดยการกำหนดเครื่องฉีดแม่พิมพ์ในการทดลอง เพื่อไม่ให้เกิดตัวแปรแทรกซ้อน เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทดลองมากยิ่งขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลอง

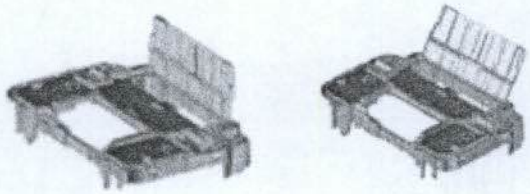
ปัจจัย (Factor)	ระดับ (Level)	
	ต่ำ (Low) (-1)	สูง (High) (1)
อุณหภูมิแม่พิมพ์ (C°)	35	45
รอบการฉีดงานหนึ่งชิ้น (วินาที)	34	38
พารามิเตอร์ความดันย้ำ (Mpa)	30	0

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิเคราะห์ปัญหา

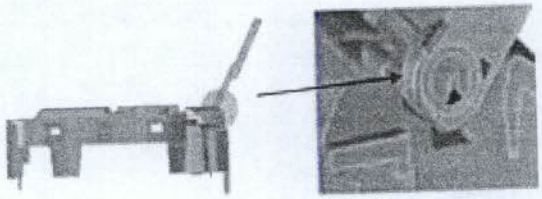
จากการวิเคราะห์ปัญหาเมื่อทำการประกอบร่วมกับถาดใส่กระดาษ พบว่าหลังจากเปิดถาดใส่กระดาษแล้วไม่สามารถเปิดได้สุด ซึ่งจะต้องทำมุมประมาณ 60° กับ

แนวระนาบเพื่อรองรับกระดาษ เนื่องจากเกิดความฝืด ดังแสดงในรูปที่ 5 และพบว่า สาเหตุจากสลักเกินเกณฑ์มาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 6



(ก) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (ข) ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

รูปที่ 5 การวิเคราะห์ปัญหาหลังการประกอบ



รูปที่ 6 จุดประกอบ คือ สลักเกินเกณฑ์มาตรฐาน

3.2 จัดเตรียมวัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง

3.1.1 เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Machine) ขนาด 600 ตัน ดังรูปที่ 7

3.1.2 เครื่องอบเม็ดพลาสติก (Material Dryer) แบบ Auto Supply และกำจัดความชื้นในตัว

3.1.3 เครื่องควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature)

3.1.4 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิทางวิ่งของพลาสติกเหลว (Hot Runner Controller)

3.1.5 แขนกลจับชิ้นงาน (Auto Robot)

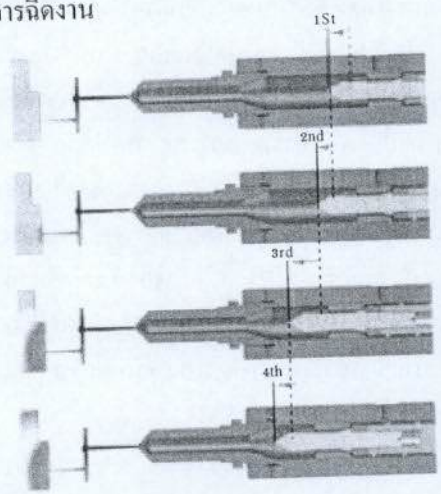
3.1.6 เม็ดพลาสติกโพลีสไตรีน (HI-PS ; High Impact Polystyrene) เกรด H-950

3.1.7 ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) ความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร

รูปที่ 7 เครื่องฉีดพลาสติก

3.3 วิธีการทดลอง

นำเม็ดพลาสติกโพลีสไตรีน (HI-PS) มาอบไล่ความชื้น (Pre-Drying) ที่เครื่องอบเม็ดพลาสติกด้วยความร้อน 60-80 °C ระยะเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการฉีดชิ้นงานโดยการปรับอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ 35 °C และ 45 °C, ปรับรอบการฉีดงานหนึ่งชิ้นที่ 34 Sec. และ 38 Sec, และปรับความดันย้ำที่ 30 MPa และ 40 MPa โดยแบ่งการฉีดออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 8 จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปเก็บไว้ในห้องเครื่องมือวัดที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 20-24 °C ระยะเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานมาวัดโดยไมโครมิเตอร์ที่มีความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร แล้วนำค่าที่ได้ทำการทดสอบทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อศึกษาหาปัจจัยและระดับที่ เหมาะสมในการฉีดงาน



รูปที่ 8 ขั้นตอนในการฉีดงานเพื่อใช้ในการทดลอง

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการวิเคราะห์สภาพปัญหาและทางสถิติ ทำให้ได้ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัย และทำการกำหนดระดับเพื่อใช้ในการทดลอง คือ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ 35 °C และ 45 °C, รอบการฉีดงานหนึ่งชิ้นที่ 34 Sec. และ 38 Sec. และพารามิเตอร์ความดันย้ำที่ 30 MPa และ 40 MPa ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลอง

ทำการออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^k เลือกการทดลองแบบ 2^3 ออกแบบให้ใช้ Full Factorial และทำซ้ำ 2 ครั้งได้ทั้งหมด 16 การทดลอง ได้ผลตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลอง

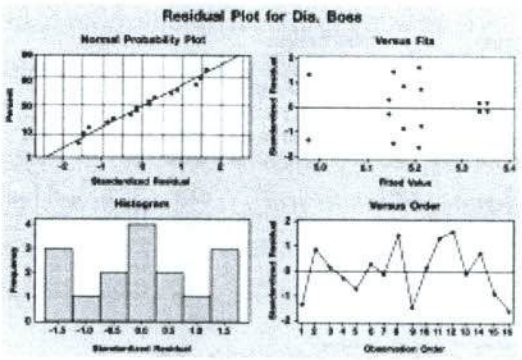
ลำดับการทดลอง	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)	รอบการฉีดหนึ่งชิ้น (Sec.)	ความดันย้ำ (MPa)	ขนาดสลัก (mm.)
1	35	34	30	5.140
2	45	34	30	4.952
3	35	38	30	5.200
4	45	38	30	5.340
5	35	34	40	5.160
6	45	34	40	5.130
7	35	38	40	5.180
8	45	38	40	5.350
9	35	34	30	5.150
10	45	34	30	4.998
11	35	38	30	5.225
12	45	38	30	5.335
13	35	34	40	5.190
14	45	34	40	5.180
15	35	38	40	5.235
16	45	38	40	5.355

ทำการจัดเรียงข้อมูลเพื่อความเข้าใจง่ายขึ้น ดังตารางที่ 4

อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)	รอบการฉีดหนึ่งชิ้น (Sec.)	ความดันย้ำ (MPa)	การทดลอง 1	การทดลอง 2	ค่าเฉลี่ย (mm.)
35	34	30	5.140	5.150	5.145
35	34	40	5.160	5.190	5.175
35	38	30	5.200	5.225	5.212
35	38	40	5.180	5.235	5.207
45	34	30	4.952	4.998	4.975
45	34	40	5.130	5.180	5.155
45	38	30	5.340	5.335	5.337
45	38	40	5.350	5.355	5.352

4.2 การทดสอบทางสถิติ

4.2.1 การตรวจสอบสมบัติของข้อมูล โดยใช้ Residual Plots สำหรับค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของสลัก ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ตรวจสอบคุณสมบัติข้อมูล Residual Plots

1. ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล กราฟซ้ายมือ บน มีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ กราฟซ้ายมือ ล่าง มีการกระจายแบบปกติ

2. ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลที่เก็บมามีความแปรปรวนของประชากรอย่างไร จากกราฟขวา บน แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสุ่ม อยู่เหนือและใต้พอๆ กัน ความแปรปรวนของประชากรเท่าๆ กัน

3. ทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล กราฟขวาล่าง เป็นการกระจายแบบสุ่ม กระจายทั่วๆ กัน ไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน

4.2.2 การวิเคราะห์ ANOVA

พิจารณาค่า R^2 = 97.69% แสดงว่าการทดลองนี้ได้รับการออกแบบมาดีแล้ว หากความผันแปรทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 100 หน่วย แล้วสามารถอธิบายความผันแปรได้ถึง 97.69 หน่วย ส่วนที่เหลือไม่สามารถจะอธิบายได้ด้วยสาเหตุด้านความผันแปรภายในเงื่อนไขของระบบการวัด (Repeatability) และหากทำการพิจารณาค่า R^2 Adjust = 95.67% แสดงว่าจำนวนข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีจำนวนเพียงพอ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ ANOVA ของทั้ง 3 ปัจจัย

Full Factorial Design

Factors:	3	Base Design:	3, 8
Runs:	16	Replicates:	2
Blocks:	1	Center pts (total):	0

Factorial Fit: Dia. Boss versus Mold Tempera, Cycle Time, Holding Pres

Estimated Effects and Coefficients for Dia. Boss (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		5.19500	0.006032	861.17	0.000
Mold Temperature	0.02000	0.01000	0.006032	1.66	0.136
Cycle Time	0.16500	0.08250	0.006032	13.68	0.000
Holding Pressure	0.05500	0.02750	0.006032	4.56	0.002
Mold Temperature*Cycle Time	0.11500	0.05750	0.006032	9.53	0.000
Mold Temperature*Holding Pressure	0.04250	0.02125	0.006032	3.52	0.008
Cycle Time*Holding Pressure	-0.05000	-0.02500	0.006032	-4.14	0.003
Mold Temperature*Cycle Time* Holding Pressure	-0.03250	-0.01625	0.006032	-2.69	0.027

S = 0.0241299 PRESS = 0.014632
R-Sq = 97.69% R-Sq (pred) = 96.76% R-Sq (adj) = 95.67%

Analysis of Variance for Dia. Boss (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.122600	0.122600	0.0408667	70.19	0.000
2-Way Interactions	3	0.070125	0.070125	0.0233750	40.15	0.000
3-Way Interactions	1	0.004225	0.004225	0.0042250	7.26	0.027
Residual Error	8	0.001658	0.004658	0.0005823		
Pure Error	8	0.004658	0.004658	0.0005823		
Total	15	0.201608				

Estimated Coefficients for Dia. Boss using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	26.1375
Mold Temperature	-0.644250
Cycle Time	-0.556250
Holding Pressure	-0.406500
Mold Temperature*Cycle Time	0.0171250
Mold Temperature*Holding Pressure	0.0125500
Cycle Time*Holding Pressure	0.0105000
Mold Temperature*Cycle Time* Holding Pressure	-3.25000E-04

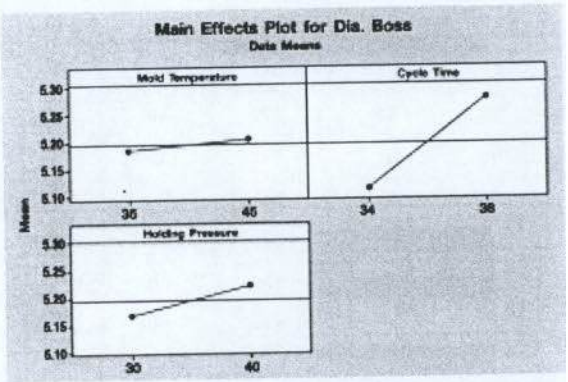
Alias Structure
I
Mold Temperature
Cycle Time
Holding Pressure
Mold Temperature*Cycle Time
Mold Temperature*Holding Pressure
Cycle Time*Holding Pressure
Mold Temperature*Cycle Time*Holding Pressure

จากนั้นอ่านค่า P-Value ของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม ซึ่งปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่า α = 0.05 แสดงว่า ปัจจัยนั้นมีนัยสำคัญ หรือมีอิทธิพลต่อค่าขนาดของสลัก แต่หากมีค่ามากกว่า α= 0.05 แสดงว่าปัจจัยนั้นไม่มีนัยสำคัญหรืออิทธิพลต่อค่าขนาดของสลัก

จากตารางที่ 5 พบว่ามี 2 ปัจจัย คือ รอบการฉีดงานหนึ่งรอบและความดันย้ำ มีค่า P-Value น้อยกว่า α= 0.05 แสดงว่าทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อขนาดของสลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ α = 0.05

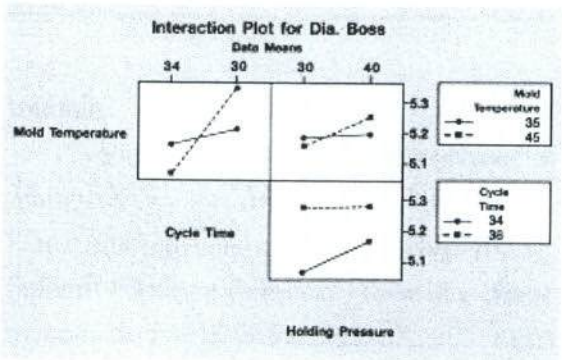
ส่วนอุณหภูมิแม่พิมพ์มีค่า P-Value มากกว่า α = 0.05 แสดงว่าไม่มีผลต่อขนาดของสลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ α = 0.05 แต่เมื่อนำไปทดสอบความเหมาะสมของปัจจัยร่วมกับปัจจัยอื่นๆ แล้ว ปรากฏว่ามีค่า P-Value น้อยกว่า α= 0.05 ซึ่งส่งผลต่อขนาดของสลัก ทำให้ไม่สามารถตัดอุณหภูมิแม่พิมพ์ออกได้

การทดสอบความเหมาะสมของปัจจัยหลักพบว่าระดับที่เหมาะสมในการฉีดงานเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานควบคุมที่ $\varnothing$ 5.00 $\pm$ 0.05 mm. มากที่สุด คือ รอบการฉีดชิ้นงานที่ 34 Sec. และความดันย้ำที่ 30 MPa ดังแสดงในรูปที่ 10 และอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ 45 °C ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 10 การทดสอบความเหมาะสมของปัจจัยหลัก

การทดสอบความเหมาะสมของปัจจัยร่วม พบว่า ทั้ง 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิแม่พิมพ์, รอบการฉีดงานหนึ่งรอบ และความดันย้ำ มีค่า P–Value น้อยกว่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อขนาดของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$



รูปที่ 11 การทดสอบความเหมาะสมของปัจจัยร่วม

การทดสอบค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) พบว่า หากจะทำการฉีดงานสลักให้ได้ขนาดควบคุมตามมาตรฐานที่ $\varnothing$ 5.00 $\pm$ 0.05 mm. จะต้องกำหนดปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ดังนี้ คือ รอบการฉีดงานอยู่ที่ 34 Sec., ความดันย้ำที่ 30 MPa สำหรับอุณหภูมิแม่พิมพ์กำหนดที่ 45 °C ซึ่งจากการทดสอบ Optimization อยู่ที่ 43.5 °C ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ในทางปฏิบัติจริง ค่าที่ได้จะไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 6 และรูปที่ 12

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Dia. Boss	Target	4.95	5	5.05	1	1

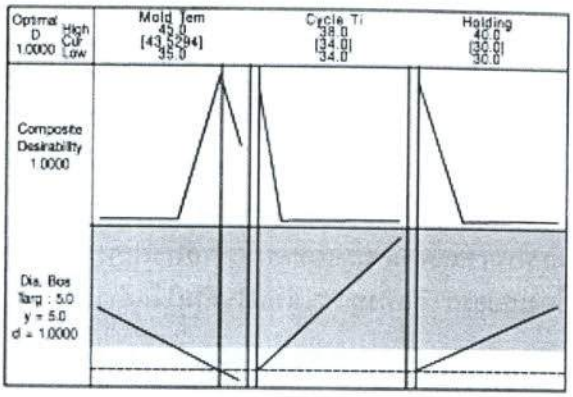
Global Solution

Mold Tempera = 43.5294
Cycle Time = 34
Holding Pres = 30

Predicted Responses

Dia. Boss = 5 , desirability = 1.000000

Composite Desirability = 1.000000



รูปที่ 12 กราฟแสดงค่าที่เหมาะสมที่สุดตามมาตรฐานที่กำหนด

7. สรุปผลการทดลอง

จากการวิจัยและทดลองเพื่อหาปัจจัยและระดับที่เหมาะสมในการฉีดชิ้นส่วนเครื่องพิมพ์ ชื่อโครงสร้างชั้นกลาง ซึ่งเป็นชิ้นส่วนหลักที่สำคัญ โดยเฉพาะบริเวณสลักให้ได้ขนาดควบคุมตามมาตรฐานที่ $\varnothing$ 5.00 $\pm$ 0.05 mm. โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง จากผลการทดลองที่กล่าวมาในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ปัจจัยและระดับที่เหมาะสมในการฉีดงาน คือ อุณหภูมิแม่พิมพ์กำหนดที่ 45 °C, รอบการฉีดงานอยู่ที่ 34 Sec. และความ ดันย้ำที่ 30 MPa ซึ่งสามารถลดปริมาณของเสียลงจากเดิม 77.7% เหลือเพียง 5.3% ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

รายละเอียด	ของเสียก่อนปรับปรุง (ชิ้น)	ของเสียหลังปรับปรุง (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์ลดลง (%)
เกินเกณฑ์มาตรฐาน	8,463	456	5.3%
ค่าความสูญเสีย (40 บาท/ชิ้น)	338,520	18,240	

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ณฐา คุปตัษเฐียร คณาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อนห้อง M53IE ทุกๆคนที่ให้ความอนุเคราะห์ คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนพระคุณบิดามารดาที่ให้กำลังใจในทุกๆ เรื่องเสมอมา อีกทั้งทุกๆ กำลังใจที่ไม่ได้กล่าวถึง

เอกสารอ้างอิง

[1] อภิชิต ศรัณยนิตย์, 2548 **ลดของเสียในโรงงานอุตสาหกรรมฉีดพลาสติก**,วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[2] ผู้จัดการ 360 องศา. **One Asia One Canon กลยุทธ์ผู้นำตลาดเอเชีย** [ออนไลน์] Available: http://www.gotomanager.com หน้าข่าวธุรกิจ (3 ธันวาคม 2553).

[3] เสรี วิศิษฎ์ศีลวัติ. **การแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องมือ 7 ชนิด และผังพาราเรโต (Problem solving 7 QC Tool-Pareto)**. [ออนไลน์] Available : http://www.lib 13.net/c-management/problem-solving/7-qc-tools2.php (8 มิถุนายน 2553)

[4] University of Cambridge. **FMEA (Failure Modes and Effects Analysis**. [online] Available: http://www.ifm.eng.cam.ac.uk/dmg/tools/process/fmea.html (November 2009)

[5] กิติศักดิ์ พลอยพานิชย์เจริญ, 2551 **การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ**. กรุงเทพ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.