รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดพลาสติก

A Study the Optimization Factors of Injection Process

ผู้วิจัย

นาย ภาณุเดช แสงสีดำ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณผลประโยชน์ ปี พ.ศ. 2553

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดพลาสติก

ผู้วิจัย นายภาณุเดช แสงสีดำ

สาขาวิชา และคณะ วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม (DOE) ในการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ปริมาณของเสียที่เกิดมากที่สุดเป็นผลมาจากการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สำหรับใส่คลิปหนีบกระดาษ โดยปัญหาที่พบเกิดจากความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์เครื่องฉีดพลาสติก อันได้แก่ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P), เวลาที่ใช้ในการฉีดพลาสติก (T) และความเร็วในการฉีดพลาสติก (S) จากนั้นเลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (Taguchi) และวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (RSM) เป็นเครื่องมือเชิงสถิติ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ทั้งหมด ผลการวิจัยพบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม คือ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) = 80 kg/cm^2 เวลาที่ใช้ในการฉีดพลาสติก (T) = 6.0 sec ความเร็วในการปั่นสกรูกลับพร้อมฉีด (S) = 1.5 mm/s เมื่อนำเอาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์เหล่านี้มาดำเนินการผลิตจริงพบว่า สามารถลดปริมาณของเสียจากเดิมที่ 38.47% เหลือเพียง 10.00% และสามารถลดต้นทุนต่อหน่วยลงจากเดิม 4.06 บาทต่อชิ้น เหลือ 2.78 บาทต่อชิ้น

คำสำคัญ : งานฉีดพลาสติก, การทดลองแบบทากูชิ, วิธีการพื้นผิวตอบสนอง

ABSTRACT

Title	A Study the Optimization Factors of Injection Process
Researcher	Mr.Panudet Saengseedam
Major / Faculty	Industrial Engineering

This research aimed to reduce the defect on plastic injection process by the design and analysis of experiment technique (DOE). The pre-analysis was founded more defect that the paper-clip product, which occur from uncertainty injection machine parameters i.e. the injecting pressure (P), the injecting time (T), and the injecting speed (S). The statistical tools use Taguchi method experiment and Response surface methodology (RSM) for optimized searching of injection machine parameter. These optimizations are the injecting pressure (P) = 80 kg/cm^2, the injecting time (T) = 6.0 sec., and the injecting speed (S) = 1.5 mm/s, when use these injection machine parameter with real production, that could reduce defect from 38.47 % to 10.00 % and reduce cost from 4.06 baht/piece to 2.78 baht/piece.

Key Words: Plastic Injection, Taguchi Experiment, Response Surface Methodology

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิจัย การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดพลาสติก สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี พ.ศ. 2553มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ รวมทั้งขอขอบคุณ คุณนพรัตน์ ศุภเมธีกุลวัฒน์ และคุณอุไรวรรณ ศุภเมธีกุลวัฒน์ ผู้บริหารบริษัทเซ็นหลุยส์ พลาส-โมล์ด ที่ให้การสนับสนุนและให้ความร่วมมือต่าง ๆ เป็นอย่างดี และ คุณศุกลรัตน์ ศุภเมธีกุลวัฒน์ ที่ได้ติดต่อประสานงานด้วยดีมาโดยตลอด

ภาณุเดช แสงสีดำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 นิยามคำศัพท์	3
2.3 แนวความคิด	4
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.5 ทฤษฎีที่สำคัญ	6
2.6 สรุป	31
บทที่ 3 การดำเนินงาน	32
3.1 บทนำ	32
3.2 การวางแผนงาน	32
3.3 การวิเคราะห์ปัญหา	36
3.4 การดำเนินงาน	37
3.5 การเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน 61
4.1 บทนำ 61
4.2 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ 61

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 65
5.1 สรุปผล 65
5.2 ข้อเสนอแนะ 66

บรรณานุกรม 67

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติเฉพาะของอะคริลิค	14
2.2	แสดงตารางที่ใช้ในการเลือกใช้ Standard Orthogonal Array	25
2.3	ตารางสรุปสำหรับคำนวณค่าสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว	27
2.4	ตารางค่าสถิติการวิเคราะห์ T-Test	31
3.1	ตารางการวางแผนการดำเนินงานโครงการ	33
3.2	กำหนดตัวปัจจัยที่ได้จากพารามิเตอร์ ที่มีผลต่อชิ้นงาน	46
3.3	แสดงแผนการทดลอง Orthogonal Array L16 ตามมาตรฐานของ Taguchi Method	47
3.4	ผลการทดลองที่ได้ค่าพารามิเตอร์จากการประมวลผลทางโปรแกรม	49
3.5	ค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ประมวลผลได้	55
3.6	ตารางเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง	58
5.1	พารามิเตอร์ที่ได้ผ่านการประมวลผลทางสถิติว่าเป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการปรับตั้งค่า ในกระบวนการฉีดพลาสติกผลิตภัณฑ์รังนกฝังแม่เหล็ก	65
5.2	การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตต่อหน่วยการเปรียบเทียบก่อน – หลังการปรับปรุง	66
5.3	การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเสียก่อน – หลังการปรับปรุง	66

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	เครื่องฉีดพลาสติกแบบทำงานตามแนวนอน	7
2.2	เครื่องฉีดพลาสติกแบบหัวฉีดอยู่ในแนวตั้ง	8
2.3	เครื่องฉีดพลาสติกแบบทำงานในแนวดิ่งโดยพลาสติกเหลวจะถูกฉีดลงในแนวดิ่ง	8
2.4	เครื่องฉีดพลาสติกแบบหัวฉีดอยู่ในแนวดิ่งพลาสติกไหลเข้าแบบในแนวตั้งฉาก	9
2.5	โครงสร้างเครื่องฉีดพลาสติกที่สำคัญ1.ชุดฉีด 2.ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ 3.ฐานเครื่อง	9
2.6	ส่วนประกอบของชุดฉีด	10
2.7	ส่วนประกอบของชุดปิด - เปิดแม่พิมพ์	10
2.8	ปัจจัยกระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง	15
2.9	แผนผังแสดงขั้นตอนของการทดลองโดยวิธีของทากูชิ	18
2.10	ภาพแสดงลักษณะของ Small – the – Better Type Problem	20
2.11	ภาพแสดงลักษณะของ Nominal – the – Best – Type Problem	21
2.12	ภาพแสดงลักษณะของ Larger – the – Better Type Problem	22
2.13	ภาพตัวอย่างแสดงลักษณะของ Orthogonal Array	23
2.14	ภาพตัวอย่างแสดงลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรต้น กับค่าการตอบสนอง	30
3.1	การดำเนินโครงการ	34
3.2	แผนภูมิแสดงปริมาณของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก	35
3.3	ผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ	37
3.4	ชิ้นส่วนตัวนกของผลิตภัณฑ์	38
3.5	ชิ้นส่วนฐานของผลิตภัณฑ์	39
3.6	ลักษณะของชิ้นส่วนฐานที่สมบูรณ์ภายหลังการผลิต	39
3.7	ลักษณะของเสียแบบชิ้นงานมีรอยยุบของชิ้นส่วนฐานภายหลังการผลิตการ	40
3.8	ภาพการหยิบชิ้นงานจากเครื่องฉีด	41
3.9	ภาพการนำผลิตภัณฑ์ไปแช่น้ำ	41

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.10	ภาพการนำผลิตภัณฑ์มาวางไว้ให้แห้ง	42
3.11	ภาพใส่แม่เหล็กที่ตัวผลิตภัณฑ์	42
3.12	ภาพวิธีการใช้งานของผลิตภัณฑ์	43
3.13	ลักษณะแผงควบคุม และหน้าจอแสดงผลของเครื่อง TOYO ขนาดเครื่อง 130 TON.	43
3.14	การดำเนินการทดลองด้วยหลักการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม	45
3.15	ภาพระหว่างดำเนินการทำการเก็บข้อมูล	48
3.16	ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยวิธีการของทากูชิ	50
3.17	ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM)	51
3.18	กราฟแสดงผลกระทบของพารามิเตอร์หลัก (Main Effect Plot)	52
3.19	กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM)	53
3.20	ภาพแสดงผลค่าที่เหมาะสมที่สุดในการฉีดผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีกระดาษ	54
3.21	กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) กับ เวลาในการฉีดพลาสติก (T)	55
3.22	กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) กับ เวลาในการฉีดพลาสติก (S)	56
3.23	กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ เวลาในการฉีดพลาสติก (T) กับ เวลาในการฉีดพลาสติก (S)	57
3.24	ภาพแสดงผลทดสอบก่อนและหลังการปรับปรุงด้วย T-Test	59
3.25	ภาพแสดงผลทดสอบก่อนและหลังการปรับปรุงด้วย T-Test	59
4.1	กราฟต้นทุนการผลิตต่อหน่วยลดลง	63
4.2	กราฟเปอร์เซ็นต์ของเสียลดลง	63

บทที่ 1

ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

1.1 บทนำ

อุตสาหกรรมงานฉีดแม่พิมพ์พลาสติกเป็นกลุ่มธุรกิจหนึ่งที่มีอัตราการเติบโตและการแข่งขันที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ผลิตจะต้องปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สร้างคุณภาพให้กับการบริหารภายในองค์กร เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการค้าตามกลยุทธ์ทางการตลาด (Marketing Strategy:$4P_s$) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ (Product), ราคา (Price), สถานที่ (Place) และการส่งเสริมการขาย (Promotion)

ในการศึกษาโครงงานนี้ จะเป็นการศึกษากระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติกภายในบริษัท เซ็นหลุยส์ พลาส-โมลด์ จำกัด ซึ่งกำลังประสบปัญหาเกี่ยวกับการเกิดของเสียจากกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยจะประยุกต์ใช้ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment: DOE) เพื่อใช้เป็นแนวทางนำไปสู่ระดับปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการผลิตชิ้นงานพลาสติกด้วยกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก ซึ่งบทสรุปสุดท้ายผลลัพธ์ที่ได้เหล่านี้ จะถูกนำเอาไปสร้างเป็นมาตรฐานการทำงานของกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก (Standard and Operation: S&OP) ต่อไป

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นเหล่านี้ ทำให้ทางคณะผู้จัดทำโครงงานมีความต้องการทำการศึกษาหาแนวทางการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการลดของเสียจากกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยจัดทำเป็นปริญญานิพนธ์ เรื่อง"การลดของเสียกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติกด้วยวิธีการทากูชิ"

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก

1.2.2 เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ ในของกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก ภายในบริษัท เซ็นหลุยส์ พลาส-โมลด์ จำกัด เท่านั้น

1.3.2 ศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อใช้เป็นแนวทางแก้ไขปรับปรุง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษากระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติกในปัจจุบัน รวมถึงข้อมูลต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับลักษณะการทำงานฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก

1.4.2 ศึกษาข้อมูลจากทีมงานของโรงงานที่รับผิดชอบในส่วนกระบวนการฉีดแม่พิมพ์พลาสติกเกี่ยวกับประสบการณ์งานที่ผ่านมา เพื่อนำมาใช้ในวางแผนการทดลองเบื้องต้น

1.4.3 สำรวจงานวิจัย และทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง (DOE)

1.4.4 นำเอาข้อมูลทั้งหมดที่เก็บรวบรวมมาดำเนินการออกแบบการทดลอง เพื่อหาระดับความเหมาะสมของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก

1.4.5 ทดลองตามแผนการทดลองที่กำหนด พร้อมทั้งเก็บข้อมูลจากการทดลอง

1.4.6 ศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลเชิงสถิติ

1.4.7 นำปัจจัยที่เหมาะสมจากผลการวิเคราะห์มาดำเนินการผลิตจริงด้วยกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติกจริง

1.4.8 เปรียบเทียบผลการดำเนินการก่อน-หลังการปรับปรุง

1.4.9 สรุปผลการทำโครงงาน และข้อเสนอแนะ

1.4.10 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติกได้

1.5.2 ทราบถึงสภาวะที่มีความเหมาะสมของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก

1.5.3 สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนามาตรฐานการปฏิบัติงาน สำหรับกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก

1.5.4 สามารถอำนวยประโยชน์ต่อกระบวนการปฏิบัติงานอื่นๆ ที่นำเอาข้อมูลที่ได้จากโครงงานนี้ไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการหาระดับความเหมาะสมของปัจจัยต่างๆ สำหรับการแก้ไขปัญหา

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่สำคัญ

2.1 บทนำ

งานฉีดพลาสติกนอกจากจะเกี่ยวข้องกับเครื่องฉีดพลาสติกแม่พิมพ์ เม็ดพลาสติก และชิ้นงานแล้ว ยังต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ แรงดันที่ใช้ในการฉีดพร้อมทั้งใช้ความสามารถทางด้านเทคโนโลยีและประสบการณ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสม่ำเสมอและใช้งานได้ หากการตั้งค่าปัจจัยต่างๆของกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติกไม่เหมาะสม ซึ่งอาจจะสูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจะทำให้ชิ้นงานที่ได้ออกมานั้นขาดความสมบูรณ์ สิ่งเหล่านี้มีจำเป็นอย่างยิ่งจะต้องทำการศึกษาค่าความแปรปรวนที่มีผลทำให้ชิ้นงานที่ได้ไม่สมบูรณ์ เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไขและได้มาตรฐานการปฏิบัติงานที่จะใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป

2.2 นิยามคำศัพท์

การลดของเสีย (Defect Reduction) การพิจารณาการทำงานปัจจุบันและทำการกำจัดความสูญเปล่าที่พบในการผลิตออกไป

งานฉีดพลาสติก (Plastic Injection) [4] งานฉีดพลาสติกเป็นกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนพลาสติกอย่างหนึ่ง โดยอาศัยเครื่องฉีดพลาสติกที่ทำงานเป็นรอบ เริ่มจากพลาสติกที่อยู่ในรูปผงหรือเม็ดถูกส่งป้อนเข้าไปในชุดสกรูฉีดแล้วจะค่อยๆ หลอมเหลวในส่วนอุณหภูมิต่างๆกัน และฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ด้วยแรงส่งของลูกสูบหรือสกรูอัด น้ำพลาสติกเหลวจะไหลเข้าสู่แม่พิมพ์จนเต็มแบบชิ้นงานและหล่อเย็นจนกระทั่งพลาสติกแข็งตัว จึงนำออกจากแม่พิมพ์โดยไม่เสียรูปทรง จะได้ชิ้นงานพลาสติกตามแบบในแม่พิมพ์นั้น แล้วเริ่มต้นกระบวนการฉีดใหม่ต่อไป

การออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment: DOE) [6] เป็นเครื่องมือคุณภาพหนึ่งซึ่งจะทำการทดลองตามรูปแบบที่ได้ถูกออกแบบไว้ เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ แล้วสร้างเป็นสมการทางสถิต ซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบประมาณการระหว่างค่าตัวแปรอิสระซึ่งมักเป็นลักษณะเชิงคุณภาพ (Quality Characteristics) กับตัวแปรตาม ซึ่งมักเป็น (Process/Product Variables) อันจะช่วยอำนวยประโยชน์ในการปรับกระบวนการเพื่อให้ผลลัพธ์ตามที่เราต้องการ

การทดลองแบบทากูชิ (Taguchi Experiment) [1] วิธีทากูชิเป็นแนวคิดที่จะรวมคุณภาพให้อยู่ในผลิตภัณฑ์แทนการสุ่มตรวจสอบคุณภาพที่กระบวนการสุดท้ายอย่างรวดเร็ว ในการสุ่มตรวจสอบแบบทั่วไป ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพจะถูกแยกออกแต่คุณภาพของกระบวนการยังคง

อะคริลิค (Acrylic, PMMA, Polymethyl methacrylate) [4] เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก มีลักษณะใส ไม่มีสี สามารถให้แสงส่องผ่านได้ถึง 92% มีความแข็งแกร่ง และทนทานต่อดินฟ้าอากาศได้ดีกว่า Polystyrene สมบัติเชิงกล และความคงทนต่อความร้อนดีมาก ส่วนสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าดีปานกลาง เนื่องจากสมบัติเด่นของ PMMA คือ ความโปร่งใส และการนำไปย้อมสีได้ง่าย จึงถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องใช้ไฟฟ้า และส่วนประกอบรถยนต์ เช่น ไฟเลี้ยว ไฟท้าย กระจกรถยนต์ หน้าปัดเข็มไมล์ ประโยชน์การใช้งานอื่นๆ เช่น ป้ายโฆษณา แว่นตา เลนส์ ใช้ทำกระจกแทนแก้ว หลังคาโปร่งแสง ก๊อกน้ำ เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องประดับ เป็นต้น

2.3 แนวความคิด

ในการฉีดชิ้นงานพลาสติกแต่ละครั้ง ชิ้นงานที่เราต้องการ คือ ชิ้นงานที่มีลักษณะเต็มไม่ผิดรูป ไม่มีรอยยุบ ผิวที่ชิ้นงานไม่เป็นลายคลื่น ซึ่งปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการฉีดพลาสติก คือ อุณหภูมิ (Temp) แรงดัน (Pressure) เป็นต้น จึงได้ทำการศึกษาสิ่งต่างๆเหล่านี้ เพื่อหาข้อมูลที่เหมาะสมในการปรับตั้งค่าในการฉีดชิ้นงานพลาสติก ดังนั้นจึงต้องการศึกษาค้นคว้าตัวแปรเพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่อไป

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สองเมือง ธรรมศิริ (2543) [7] ทำการศึกษาองค์ประกอบที่เหมาะสมของกระบวนการม้วนหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ชนิดวงแหวน โดยในการผลิตหลอดชนิดวงแหวนกระบวนการม้วนหลอด ๆ จะต้องผ่านกระบวนการเผาหลอดถึง 6 ตำแหน่ง (T1-T6) เมื่อหลอดผ่านเตาเผาออกจากเครื่องจะมีจานม้วนหลอดจับหลอดม้วนทันที โดยการควบคุมความเร็ว ใช้เครื่องตั้งเวลา และในระหว่างม้วนจะมีการอัดก๊าซเข้าไปในหลอดให้มีความดันภายในหลอด เพื่อป้องกันหลอดเบี้ยวแบนและแตก การวิจัยนี้เป็นการศึกษาองค์ประกอบที่เหมาะสมของกระบวนการม้วนหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ชนิดวงแหวน ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการม้วนหลอด คือ การเบี้ยว แบน แตก จากการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้นพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิต คือ อุณหภูมิในการเผาหลอด

มะลิ แซ่อึ้ง (2544) [5] ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหนาของผิวเคลือบในกระบวนการเคลือบผิวไฟฟ้า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาผิวเคลือบในกระบวนการเคลือบดีบุกด้วยไฟฟ้า ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตใหม่ในการผลิตแผงวงจรไฟฟ้ารวมงานวิจัยนี้ได้ระบุปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อความหนาผิวเคลือบ โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผลจากการวิเคราะห์แผนภูมิดังกล่าว ทำให้ทราบว่า 6 ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อค่าความหนาปัจจัยเหล่านี้ประกอบด้วยความเข้มข้นน้ำยาดีบุก Additive อิเล็คโตรไลต์ ความสูงของแผ่นกั้นเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวและความหนาแน่นของกระแส การออกแบบการทดลองวิธีการทากูชิได้ถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยใดที่มีผลต่อค่าความหนาผิวเคลือบเฉลี่ย และให้ความแข็งแรงต่อค่าตอบสนองจากการทดลอง พบว่าเพียง 3 ปัจจัยเท่านั้นที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาผิวเคลือบ คือความเข้มข้นอิเล็คโตรไลต์เวลาในการเคลือบและความหนาแน่นกระแสความสูงของแผ่นกั้นที่ 35 มิลลิเมตรให้ความแข็งแรงต่อค่าตอบสนอง การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลได้ถูกนำใช้เพื่อในการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมได้ความหนาผิวเคลือบใกล้ค่ากึ่งกลาง และมีความผันแปรน้อยที่สุดโดยไม่มีข้อบกพร่องของคุณสมบัติทางกายภาพหลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าและกระบวนการตัดและขึ้นรูปขางานและการทดสอบโซลเดอร์ราบิลิตี้ผลการทดลองพบว่ามี 2 ปัจจัยที่มีอิทธิพล คือเวลาในการเคลือบผิวและ ความหนาแน่นกระแสด้วยสภาวะที่เหมาะสม คือความหนาแน่นกระแส 30 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร และเวลาที่ใช้ในการเคลือบ 55 วินาที เมื่อค่าปัจจัยที่ดีที่สุดได้ถูกระบุฝ่ายผลิตต้องปฏิบัติมาตรฐานขั้นตอนการปฏิบัติงานก่อนทำการผลิตเพื่อให้ชิ้นงานนั้นมีคุณภาพ

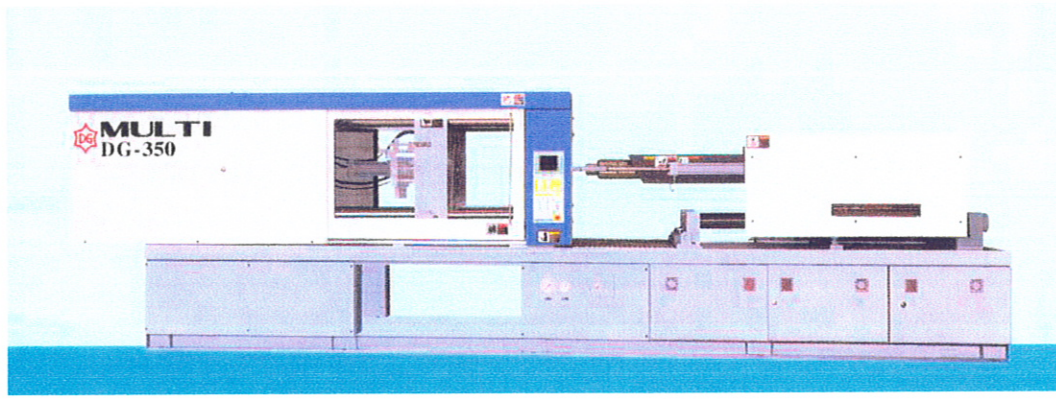
กิตติกร ฤทธิ์สิงห์ และเลอศักดิ์ สุมาลย์ (2546) [1] ทำการปรับปรุงคุณภาพงานหล่อนิกเกิลอลูมิเนียม และบรอนซ์ โดยวิธีการของทากูชิพบว่าบรอนซ์ผสม (Nickel – Aluminum - Bronze) เป็นวัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องจักรกลชิ้นส่วนยานยนต์และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ การหล่อโลหะจำพวกบรอนซ์ผสม จะเกิดปัญหาจากผลิตภัณฑ์มีความแข็ง และเปราะจึงทำให้ยากต่อการแปรรูป เช่นการกลึง และเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ เช่น งานหดตัว โพรงอากาศ งานไม่เต็ม เป็นต้น การพัฒนาและการปรับปรุงคุณภาพของงานหล่อบรอนซ์ผสมดังกล่าวใช้วิธีการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลโดยหลักการของทากูชิ และใช้แผนการทดลอง Orthogonal Array L9 (3^4) ตามมาตรฐานของ Taguchi Method กำหนดตัวแปรที่มีผลต่องานหล่อ มี 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิเท ส่วนผสมทางเคมีของนิกเกิลส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียม และส่วนผสมทางเคมีของสังกะสี การออกแบบการทดลองจะกำหนดระดับของตัวแปร 3 ระดับ ดังนี้ อุณหภูมิเทที่ 1150°C , 1250°C และ 1350°C ส่วนผสมของนิกเกิลที่ 10%, 12% และ 14% ส่วนผสมของอลูมิเนียมที่ 10%, 12% และ 14% ส่วนผสมของสังกะสีที่ 6%, 8% และ 10% และทำการทดลอง 9 ครั้งตามแผนการทดลอง ผลการทดลองได้ปัจจัยที่ทำให้สมบัติด้านความแข็งดีที่สุดคือ ปัจจัยอุณหภูมิเทที่ 1350°C, นิกเกิล 14%, อลูมิเนียม 12%, และสังกะสี 8%

2.5 ทฤษฎีที่สำคัญ

2.5.1 งานฉีดพลาสติก (Plastic Injection) การแปรรูปพลาสติกโดยวิธีการฉีดนั้น จะทำจากสารพลาสติกที่เป็นเม็ดหรือเป็นผง ซึ่งอาจจะเป็นเทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซตติ้ง หรืออีลาสโตเมอร์ ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเครื่องฉีดที่จะดัดแปลงให้เหมาะสมกับพลาสติกชนิดต่าง ๆ สำหรับเทอร์โมพลาสติกนั้น เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและเหลว สามารถนำไปแปรรูปได้หลายครั้ง ตามท้องตลาดจะมีทั้งเป็นสีธรรมชาติของพลาสติกเองและแบบผสมสี พร้อมทั้งเติมสารผสมหรือสารนำร่องที่แตกต่างกันก็อยู่ที่โครงสร้างของพลาสติกนั่นเอง ส่วนเทอร์โมเซตติ้ง เมื่อได้รับความร้อนแล้วจะแข็งตัวจะไม่สามารถนำไปหลอมให้เหลวได้อีกและราคาเครื่องฉีดชนิดนี้ราคาจะสูงกว่าเครื่องฉีดแบบเทอร์โมพลาสติก

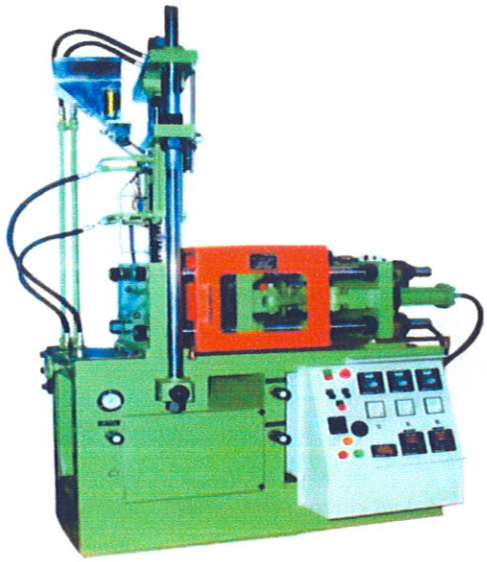
2.5.1.1 เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Moulding Machine)

ในการทำงานฉีดพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทอร์โมพลาสติกนั้น มีบริษัทที่ผลิตเครื่องฉีดออกมาจำนวนมากมายหลายแบบ ซึ่งไม่สามารถนำเอาแต่ละแบบมาแสดงในที่นี้ได้หมด ในหลักการแล้วเครื่องฉีดพลาสติกทั้งหลายจะแตกต่างกันเฉพาะรูปแบบ วัสดุที่ใช้ ระบบส่งกำลัง ส่วนจุดมุ่งหมายในการนำมาใช้งานนั้นจะคล้ายคลึงกันมาก เครื่องฉีดพลาสติกแบ่งตามลักษณะของทิศทางการฉีดได้ 4 รูปแบบ คือ



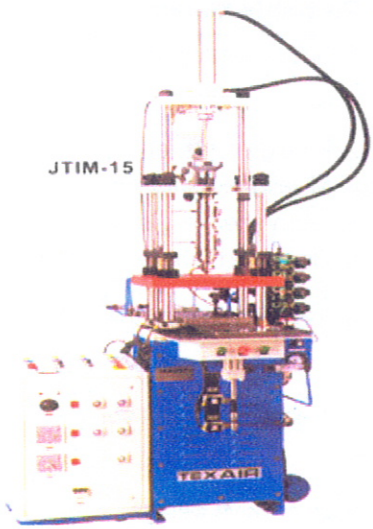
ภาพที่ 2.1 เครื่องฉีดพลาสติกแบบทำงานตามแนวนอน

จากภาพที่ 2.1 เป็นแบบทำงานตามแนวนอนพลาสติกไหลเข้าแบบเป็นเส้นตรงตามแนวนอน ตั้งฉากกับระนาบของแม่พิมพ์โดยชุดฉีดและหน่วยเปิด-ปิดแบบ อยู่ในทิศทางเดียวกัน แบบนี้จะเป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด



ภาพที่ 2.2 เครื่องฉีดพลาสติกแบบหัวฉีดอยู่ในแนวตั้ง

จากภาพที่ 2.2 เป็นแบบหัวฉีดอยู่ในแนวตั้งแต่พลาสติกไหลเข้าแม่พิมพ์ในแนวนอน โดยพลาสติกเหลวที่ออกจากกระบอกสูบในแนวดิ่งแล้วจะเปลี่ยนทิศทางไป 90° ไปอยู่ในแนวนอนและไหลเข้าแบบในแนวตั้งฉากกับระนาบของแม่แบบเช่นเดียวกับภาพที่ 2.1 ส่วนแบบภาพที่ 2.2 นั้นเป็นการออกแบบพิเศษในกรณีที่การทำงานสภาพปกติไม่สะดวกหรือเหมาะกับโรงงานที่มีพื้นที่จำกัด



ภาพที่ 2.3 เครื่องฉีดพลาสติกแบบทำงานในแนวดิ่งโดยพลาสติกเหลวจะถูกฉีดลงในแนวดิ่ง

จากภาพที่ 2.3 เป็นแบบทำงานในแนวดิ่ง โดยพลาสติกเหลวจะถูกฉีดลงในแนวดิ่งเข้าในแม่แบบในแนวตั้งฉากกับระนาบเปิด-ปิดแบบ

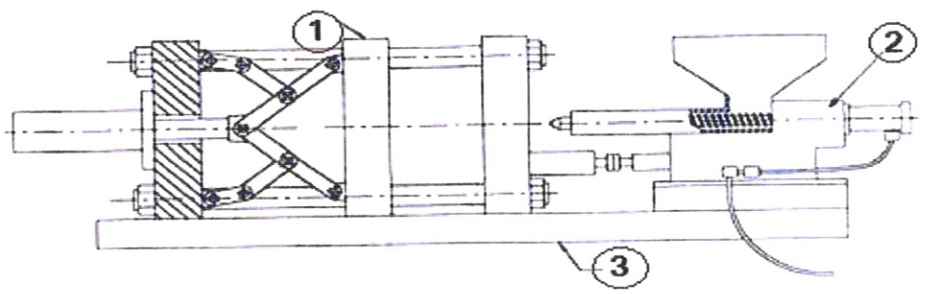
ภาพที่ 2.4 เครื่องฉีดพลาสติกแบบหัวฉีดอยู่ในแนวดิ่งพลาสติกไหลเข้าแบบในแนวตั้งฉาก

จากภาพที่ 2.4 เป็นแบบหัวฉีดอยู่ในแนวดิ่ง พลาสติกไหลเข้าแบบในแนวตั้งฉากกับทิศทางเปิด-ปิดแบบหรืออยู่ในแนวเดียวกับระนาบของแม่แบบ

เครื่องฉีดแนวดิ่งภาพที่ 2.3 และภาพที่ 2.4 โดยปกติจะออกแบบไว้สำหรับการฉีดหุ้มชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ เช่น ด้ามมีด ด้ามไขควง ฯลฯ เป็นต้น

2.5.1.2 โครงสร้างและการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก

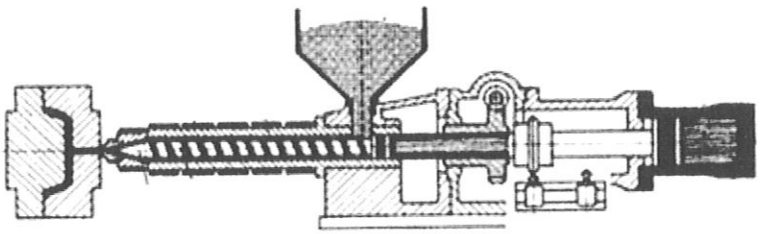
เครื่องฉีดพลาสติกประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างเครื่องฉีดพลาสติกที่สำคัญ1.ชุดฉีด 2.ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ 3.ฐานเครื่อง

1) ชุดฉีด (Injection Unit)

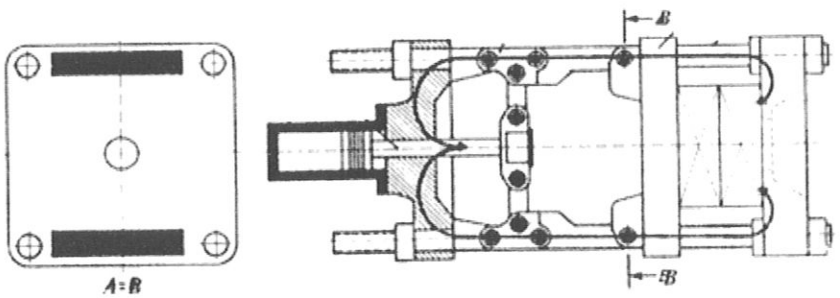
การทำงานของชุดหัวฉีดเม็ดพลาสติกที่อยู่ในกรวยเติมจะค่อย ๆลดลง เมื่อสกรูหมุนพาเม็ดพลาสติกออกไปที่กระบอกสูบ และเม็ดพลาสติกก็จะหลอมละลายในกระบอกสูบด้วยความร้อนจากอุปกรณ์ทำความร้อน (Heater) สกรูจะทำหน้าที่คลุกเคล้าเม็ดพลาสติกที่ละลายแล้วให้เป็นเนื้อเดียวกัน พร้อมกับขับดันให้พลาสติกพุ่งออกจากหัวฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์



ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบของชุดฉีด (Injection Unit)

2) ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

ทำหน้าที่เคลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ในจังหวะการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก โดยปกติแม่พิมพ์จะมี2ด้านประกบกัน โดยด้านที่พลาสติกเข้าจะเป็นด้านที่อยู่กับที่ และอีกด้านจะเป็นด้านเคลื่อนที่ ชุดปิด - เปิด แม่พิมพ์แบ่งออกเป็น 2 ระบบจะทำหน้าที่อัดแม่พิมพ์ให้แน่นเพื่อต้านความดันภายในขณะฉีด



ภาพที่ 2.7 ส่วนประกอบของชุดปิด - เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

3) ฐานเครื่อง (Base Unit)

เป็นชิ้นส่วนที่ติดตั้งยึดชิ้นส่วน และอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องฉีดพลาสติก

2.5.1.3 กระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Process)

การฉีดพลาสติก คือการผลิตชิ้นงานโดยที่ใช้เม็ดพลาสติกป้อนเข้าเครื่องฉีด และเครื่องฉีดจะหลอมละลายเม็ดพลาสติกแล้วฉีดพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์ ทำให้ได้ชิ้นงานรูปร่างตามแม่พิมพ์ จากนั้นก็จะปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

2.5.1.4 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานฉีดพลาสติก

คุณภาพของชิ้นงานฉีดพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัวด้วยกัน

1) อิทธิพลของชนิดพลาสติก

ในงานฉีดพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกนั้น เมื่อเปรียบเทียบ

2) อิทธิพลของการออกแบบ

เนื่องจากการออกแบบชิ้นงานจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติ

3) อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก
มีบทบาทเป็นอย่างมากต่อคุณภาพชิ้นงานหากแม่พิมพ์ถูกออกแบบได้

2.5.1.5 การฉีดพลาสติกเพื่อให้ได้ความเที่ยงตรงสูง

การฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติกให้มีความเที่ยงตรงสูงนั้น เป็นการยากมาก เพราะจะต้องเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง คือเครื่องฉีดแม่พิมพ์วัตถุดิบที่มีการควบคุมคุณภาพอย่างดีสภาพการฉีดจะต้องแน่นอน ขนาดและความเที่ยงตรงของพลาสติกอาจเปลี่ยนไปได้เนื่องจากการหดตัวของพลาสติก เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแม่พิมพ์ การหดตัวของพลาสติกเกิดขึ้นได้จากการหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิ การหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสถานะ การหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรที่สภาวะต่าง ๆ ถ้าเราสามารถแก้ไขไม่ให้มีการหดตัวทั้ง 3 ประเภทนี้ได้ ก็สามารถฉีดพลาสติกที่มีความเที่ยงตรงดีได้สำหรับวิธีการก็มีดังนี้

1) การหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิเพื่อลดการหดตัวประเภทนี้ต้องให้มีการหลอมละลายพลาสติกอย่างสม่ำเสมอให้ห้องหลอมเหลว และต้องเพิ่มความเร็วในการฉีดให้สูงขึ้นเพื่อลดการตกของอุณหภูมิพลาสติก

2) การหดตัวเนื่องจาการเปลี่ยนแปลงสถานะโดยการรักษาอุณหภูมิการหล่อเย็นให้คงที่ อาจให้ตัวควบคุมของอุณหภูมิที่มีความเที่ยงตรงสูงหรือต้องออกแบบแม่พิมพ์ให้มีการหล่อเย็นอย่างเพียงพอ

3) การหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรที่ความดันต่าง ๆ โดยการรักษาความดันของพลาสติกภายในบริเวณคาวิตี้ให้สม่ำเสมอ อุณหภูมิพลาสติกหลอมละลายและการเป็นตัวที่คงที่ และการฉีดด้วยความรวดเร็ว

การหลอมละลายพลาสติกอย่างสม่ำเสมอจำเป็นต้องควบคุมการหมุนของสกรู และการเคลื่อนที่ของสกรูให้อยู่ในอัตราที่เหมาะสม และให้มีการผสมกันของพลาสติกอย่างดีด้วยการฉีดพลาสติกด้วยความรวดเร็ว จะช่วยป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของพลาสติกลดลง และเครื่องฉีดได้รวดเร็วจะต้องมีกำลังปั้มสูงตามไปด้วย

การควบคุมน้ำหนักฉีดให้มีความสม่ำเสมอ และเที่ยงตรงทำได้ยากมาก จากรายงานการทดลองบางฉบับพบว่า ความเที่ยงตรงของน้ำหนัก มีค่า $\pm$ 0.3% ถ้าอุณหภูมิมีความสม่ำเสมอที่ 10°C แต่ถ้าต้องการรักษาความเที่ยงตรงของน้ำหนักให้ได้ + 0.05% ต้องรักษาอุณหภูมิให้อยู่ภายใน 2°C

การหล่อเย็นที่ดีและสม่ำเสมอขึ้นอยู่กับปัจจัย คือตัวควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ดี การออกแบบแม่พิมพ์ที่ดี และยังการวางตำแหน่งของคาวิตี้ในแม่พิมพ์อีกด้วย โดยทั่วไปในการหล่อเย็นที่ดีนั้นอุณหภูมิของน้ำเข้ากับน้ำออกจะแตกต่างกันไม่เกิน 2°C แต่ถ้าต้องการฉีดผลิตภัณฑ์ที่มีความเที่ยงตรงสูงมาก ๆ ต้องใช้การหล่อเย็นที่ควบคุมได้ไม่เกิน 1°C และยังต้องควบคุมจุดอื่น ๆ ให้มีความสม่ำเสมออีกด้วย เช่น สภาพการฉีด ฯลฯในการควบคุมปริมาตรการฉีด ต้องรักษาความเร็วในการฉีด และอุณหภูมิหลอมละลายให้มีความสม่ำเสมอในทุกรอบการฉีด และบางทีต้องใช้อุปกรณ์อัตโนมัติเข้ามาช่วยในการฉีดด้วยความรวดเร็ว ต้องควบคุมความรวดเร็วให้มีความสม่ำเสมอ ถ้าไม่สามารถรักษาไว้ได้ จะทำให้ความดันในคาวิตี้ไม่สม่ำเสมอ และการทำให้เกิดการไหลกระตุก ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการแลบของพลาสติกขึ้นได้ และก็ไม่สามารถควบคุมขนาดและน้ำหนักฉีดได้

นอกจากข้อที่กล่าวไว้แล้วนั้น ยังต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนหรือบิดงอรูปร่างของแม่พิมพ์ จึงจำเป็นต้องออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ให้มีความแข็งแรงพอ ในการออกแบบจำเป็นต้องใช้การคำนวณ เข้าช่วยเหลือให้มั่นใจในค่าต่างๆ ที่เราออกแบบไปนั้น

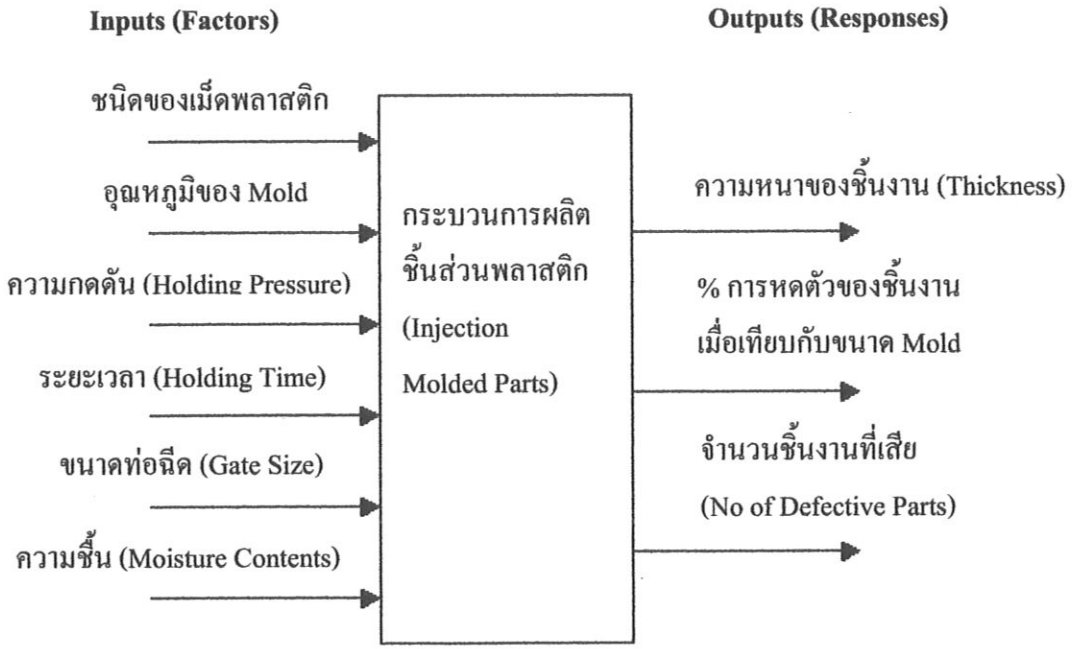
2.5.2 อะคริลิค (Acrylic) [4] PMMA = Acrylic หรือ Polymetyl Methacrylate เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า PLEXIGLASS มีความสามารถในการไหลต่ำจึงต้องใช้หัวฉีดขนาดใหญ่ ดูดซับความชื้นได้มาก หากเก็บไว้ให้ถูกอากาศก่อนใช้ต้องนำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70~100 °C เป็นเวลา 4~5 ชม. (ขึ้นอยู่กับเกรด) ความหนาของชั้นพลาสติกที่อบแห้งต้องไม่เกิน 40 มม. อุณหภูมิแม่พิมพ์สูง จะมีผลต่อรอบของการฉีดแต่สามารถลดความเค้นภายในได้ ทนความร้อนได้พอสมควร แสงลอดผ่าน

ตารางที่ 2.1 สมบัติเฉพาะของอะคริลิค

ค่าหดตัวโดยเฉลี่ย	0.3 ~ 0.6 %
อุณภูมิหลอมเหลว	160 ~ 230 °C
อุณหภูมิแม่พิมพ์	50 ~ 90 °C
ความหนาแน่น	1.13 ~ 1.18 g/cm^3

2.5.3 การออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment: DOE) [2] มีจุดประสงค์ที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าปัจจัย (Factors) ของกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง (Response) ของกระบวนการนั้น

2.5.3.1 กระบวนการ (Process) คือ การทำงานรวมกันผสมผสานกันของเครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) มนุษย์ (People) กรรมวิธีการทำงาน (Methods) สภาพแวดล้อมในการทำงาน (Environment) และกระบวนการวัดค่า (Measurement) เพื่อให้เกิดเป็นผลผลิตหรือการบริการ ภาพที่ 2.8 เป็นตัวอย่างกระบวนการหนึ่งที่อยู่ในหมวดการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม เพื่อชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ของปัจจัยกระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง



ภาพที่ 2.8 ปัจจัยกระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง

ในกระบวนการหนึ่งๆ อาจจะมีปัจจัยมากมายบางตัวก็ไม่อาจจะควบคุมได้ และถึงแม้จะเป็นเหตุให้เกิดผลกระกระทบต่อกระบวนการก็ตาม ก็จำเป็นต้องละเลยหรือปล่อยให้ตัวแปรเหล่านี้เป็นไปตามธรรมชาติของมัน ในการออกแบบการทดลองจะเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Noise แต่ตัวแปรบางตัวไม่สามารถปล่อยให้มันเปลี่ยนไปตามธรรมชาติของมันได้ เพราะมันมีผลต่อกระบวนการมากกว่าตัวแปร Noise จะต้องควบคุมตัวแปรเหล่านี้ให้เปลี่ยนแปลงอยู่ในตำแหน่งและช่วงใดช่วงหนึ่งที่มีผลเสียต่อกระบวนการน้อยที่สุด เรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Key Process Input-Variable หรือ KPIV ในขณะเดียวกันจะรู้ประสิทธิภาพหรือความเป็นไปของกระบวนการก็ได้ โดยการวัดด้วยตัวชี้วัด เช่นเดียวกันกระบวนการหนึ่งๆ อาจจะวัดด้วยตัวชี้วัดเพียงตัวเดียว หรือมากกว่า 1 ตัวก็เป็นได้ วิธีวัดก็มีได้ทั้งวัดด้วยเครื่องมือวัดซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าต่อเนื่อง (Continueus Data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative Variable) ถ้าวัดได้ด้วยการนับ การสังเกต ซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete Data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative Variable) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจะไม่สามารถวัดตัวแปร Output ของกระบวนการได้ทุกตัว จำเป็นจะต้องวัดเฉพาะตัวแปรที่เห็นว่าบอกหรือสื่อถึงประสิทธิภาพหรือผลที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ดีที่สุดหรือมากที่สุดเท่านั้น เรียกตัวแปรที่เราคัดเลือกมานี้ว่า Key Process Output Variable หรือ KPOV

จากภาพที่ 2.8 ตัวแปรเข้า Input Factors ที่เห็นนั้นคือตัวแปรที่พิสูจน์แล้วว่าเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการมาก และ Output Factors ที่ปรากฏก็เป็นตัวชี้วัดที่จะบ่งบอกถึงกระบวนการได้ดีที่สุด ซึ่งมีทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดได้ คือ ความหนา การหดตัวของชิ้นงาน และที่นับหรือสังเกตด้วยคนเท่านั้น คือจำนวนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์หรือมีตำหนินั่นเอง เมื่อต้องใช้ DOE นั้น จะไม่นิยมใช้ Response หลายตัวในการทำครั้งหนึ่ง

2.5.3.2 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

1) กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem Statement) จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่าย และเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ไหนช่วงเวลาใด (Where)

2) การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติ จำพวก Univariate เช่น T-Test เป็นต้น ผู้ที่มีความรู้หรือเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆ ก็เป็นผู้ที่สามารถให้คำแนะนำที่ดีในการเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัยด้วย

3) การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดและวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับ และจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่ต้องการศึกษานั้นได้ดีด้วย

4) เลือกแบบทดลอง (Experiment Design) เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง วิธีการเลือกสิ่งตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลองวิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

5) ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการทั้งวิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง

6) การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) ไม่ใช่แค่การประมวลผลทางคอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ผลออกมาเท่านั้น แต่รวมถึงการตรวจสอบลักษณะ และคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลองการพิสูจน์ทราบความถูกต้องของ Model ที่ได้ (Model Adequacy Checking) หาค่าระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยปกติ DOE จะใช้เทคนิค ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นผู้วิเคราะห์ก็ต้องเข้าใจเงื่อนไข ของ ANOVA ด้วย

7) สรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำ ผู้ดำเนินการทดลองจะเป็นผู้ที่เข้าใจที่ไปที่มาของข้อมูลดี และมองออกว่าผลที่ได้เป็นเช่นนั้นเพราะอะไร การดำเนินการมีข้อบกพร่องตรงไหน มีสาระสำคัญอะไรที่ผู้อ่านรายงานควรจะได้รับรู้ เผื่ออนาคตได้ดำเนินการทดลองบ้างก็จะเอาไปเป็นบรรทัดฐานได้ ผู้บริหารหน่วยงานอาจจะสนใจข้อวิเคราะห์ ความคิดเห็นของผู้ดำเนินการมากกว่าผลที่ปรากฏก็เป็นได้

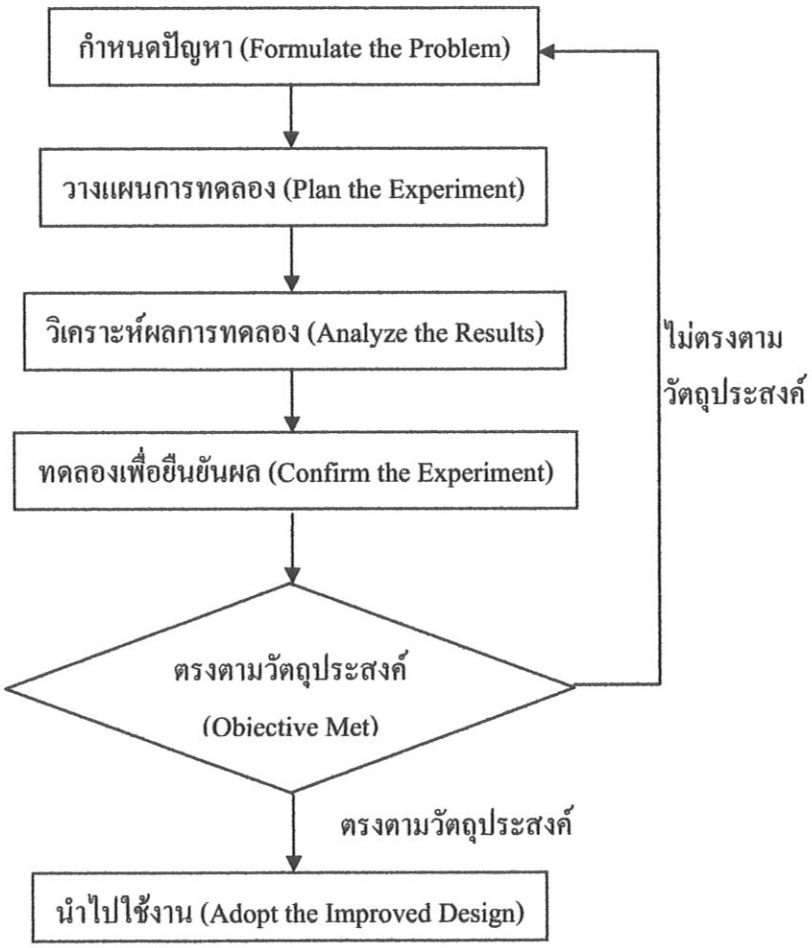
2.5.4 การทดลองแบบทากูชิ (Taguchi Experiment)

ในประเทศญี่ปุ่นในห้องแล็ป Electronic Control ด๊อกเตอร์เกนอิชิ ทากูชิ ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับความมีนัยสำคัญโดยใช้เทคนิค DOE ในปลายปี ค.ศ. 1940 เขาใช้ความพยายามอย่างมากเพื่อที่จะทำเทคนิค DOE นี้ให้ง่ายขึ้นต่อการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของการผลิตสินค้า DOE ฉบับมาตรฐานของด๊อกเตอร์เกนอิชิ ทากูชินี้ รู้จักกันในชื่อ Taguchi Method หรือ Taguchi Approach และถูกนำไปใช้ในสหรัฐอเมริกาเมื่อต้นปี ค.ศ. 1980 ในปัจจุบันเทคนิคนี้เป็นหนึ่งในโครงสร้างคุณภาพที่วิศวกรทุกแขนงใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต เทคนิค DOE ที่ใช้ Taguchi Approach นี้ จะช่วยให้วิศวกร นักวิทยาศาสตร์ และนักวิจัยประหยัดเวลาในการตรวจสอบการทดลอง

2.5.4.1 การออกแบบการทดลองโดยวิธีทากูชิ

สำหรับในกรณีนี้เป็นชนิดหนึ่งในการประยุกต์การออกแบบการทดลอง ปัจจัยควบคุม (Control factor) เช่น ขนาดของชิ้นส่วนสามารถควบคุมได้ง่ายโดยผู้ออกแบบ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factor) หรือ Noise Factor เช่น ตัวแปรทางด้านสภาพแวดล้อม การเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ กรรมวิธีการผลิตที่ไม่สมบูรณ์ ฯลฯ ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ยังเป็นแหล่งของความผันแปรอีกด้วย ซึ่งอิทธิพลที่เกิดจากตัวแปรเหล่านี้ไม่สามารถที่จะกำจัดได้ เพราะฉะนั้นหน้าที่หลักของ Robust Design (RD) เป็นการลดความผันแปรของผลิตภัณฑ์ โดยทำการลดความไวของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อแหล่งความผันแปร โดยทำการควบคุมแหล่งความผันแปรเหล่านี้ หรืออีกนัยหนึ่งคือ Robust Design (RD) จะลดความผันแปรของค่าตอบสนอง โดยทำการเลือกปรับตั้งปัจจัยควบคุม (Control Factor) เพื่อลดอิทธิพลของตัวแปรที่ควบคุมได้ยาก(Hard – to – Control Noise) นี่เป็นจุดสำคัญของ Off Line Quality Control

2.5.4.2 ขั้นตอนของการทดลองโดยวิธีของทากูชิ



ภาพที่ 2.9 แผนผังแสดงขั้นตอนของการทดลองโดยวิธีของทากูชิ

2.5.4.3 กำหนดปัญหา (Formulate the Problem)

ในขั้นตอนนี้วิศวกรจะต้องจัดการกับปัญหาของ Robust Design (RD) ให้แน่นอน โดยการกำหนดวัตถุประสงค์เริ่มต้นของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการให้ชัดเจนและกำหนดข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์คุณลักษณะเฉพาะของค่าตอบสนองของกระบวนการ (Process Response) และทำการไตร่ตรองวัตถุประสงค์เหล่านี้ ในขั้นตอนของการกำหนดปัญหามีบ่อยครั้งสมบูรณ์ได้ด้วยการนั่งประชุมระดมสมอง (Brainstorming Session) ของกลุ่มวิศวกร สำหรับการออกแบบปัญหาสามารถทำได้โดยการรวบรวมผู้ออกแบบกระบวนการ และวิศวกรฝ่ายผลิต ผู้รับผิดชอบในการปรับตั้งและซ่อมบำรุงสายการผลิต

2.5.4.4 วางแผนการทดลอง (Plan the Experiment)

ขั้นตอนในการวางแผนการทดลอง (Plan the Experiment) สามารถแยกออกเป็นขั้นตอนย่อยได้ 2 ขั้นตอน คือ ออกแบบตารางการทดลอง (Design the Matrix Experiment) ทำการทดลองและรวบรวมข้อมูล (Conduct the Experiment and Collect Data)

1) ออกแบบตารางการทดลอง (Design the Matrix Experiment)

ทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาปัจจัยหลายๆ ปัจจัยพร้อมๆ กัน คือ การกำหนดตารางแผนการทดลองโดยใช้ Orthogonal Array ประโยชน์ของ Orthogonal Array มีหลายประการด้วยกัน คือ

1.1) ผลสรุปที่ได้จากการทดลองแต่ละการทดลอง จะใช้ได้ครอบคลุมกับขอบเขตของการทดลองทั้งสิ้นโดยการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง

1.2) ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทดลองเป็นอย่างมาก

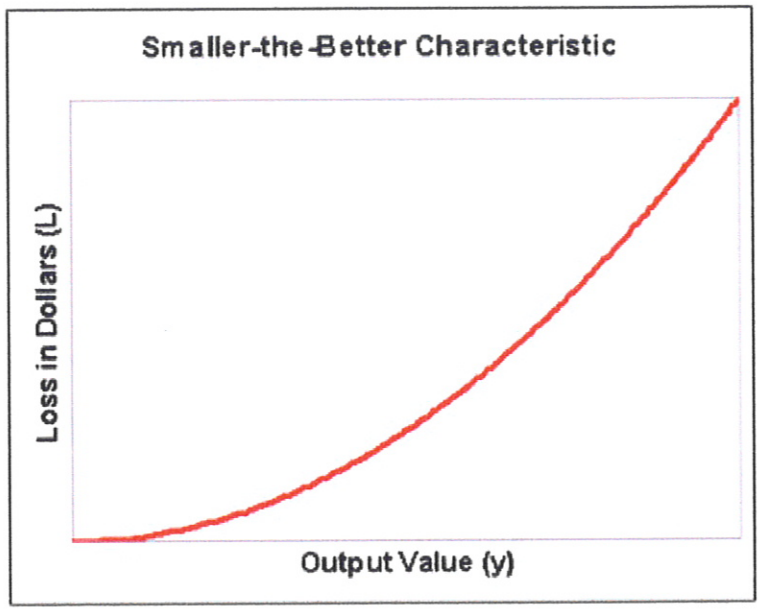
1.3) ง่ายในการวิเคราะห์ข้อมูล

1.4) สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงได้จาก Additive Model

2) ทำการทดลองและรวบรวมข้อมูล (Conduct the Experiment and Collect Data)

การทดลองจริงเป็นการทำให้บรรลุซึ่งผลสำเร็จ และการปฏิบัติการทดลองนี้เป็นการหาค่าตอบสนองของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ ผลการทดลองดิบจะถูกนำไปใส่ในตาราง โดยที่เครื่องชี้วัดการปฏิบัติสำหรับการทดลองทั้งหมด จะทำการแปลงให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนของ Signal to Noise (S/N Ratio) โดยที่คุณลักษณะของ S/N Ratio สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ Small – the – Better Type Problem, Nominal – the – Best – Type Problem และ Larger – the – Better Type Problem

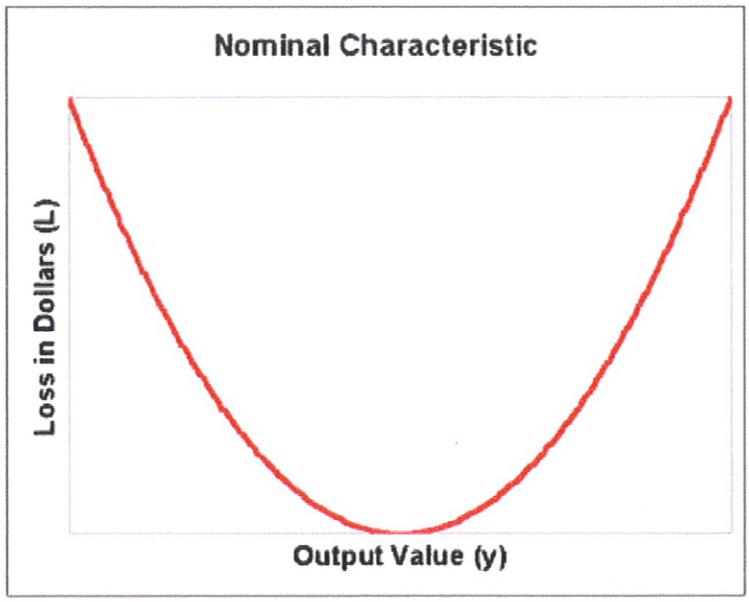
อัตราส่วนของ Signal to Noise (S/N Ratio) มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในการหาเป้าหมายที่ถูกต้องเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (Optimize) ของปัญหาของวิศวกรถ้าหากเกิดความล้มเหลวในการหาเป้าหมายก็จะนำไปสู่การสรุปผลที่ผิดพลาดได้ในเรื่องของระดับของปัจจัยที่เหมาะสม



ภาพที่ 2.10 ภาพแสดงลักษณะของ Small – the – Better Type Problem

Small – the – Better Type Problem คือ ค่าความต้องการของค่าตอบสนองของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่ดีที่สุดมีค่าเป็นศูนย์ เช่น ต้องการให้เกิดข้อบกพร่องน้อยที่สุดในการผลิตคอมพิวเตอร์เวเฟอร์ ต้องการให้เกิดมลภาวะน้อยที่สุดจากโรงงาน และต้องการให้เกิดการรั่วของกระแสไฟน้อยที่สุด เป็นต้น

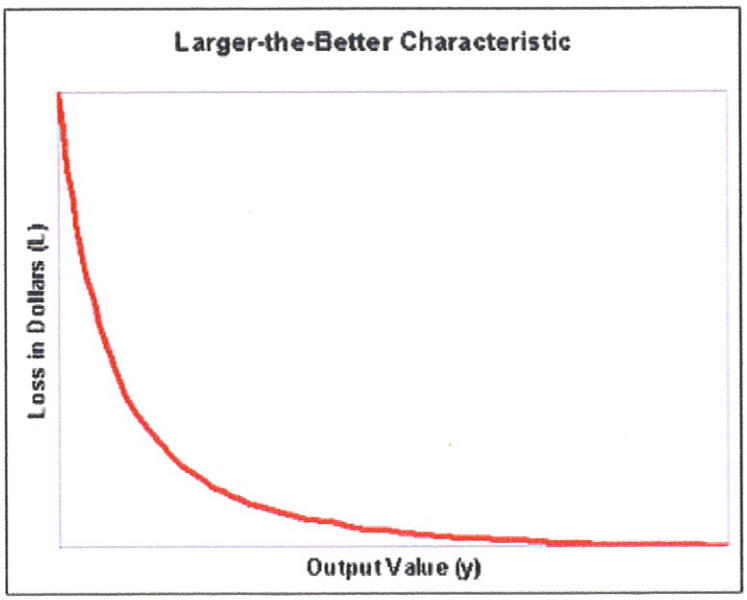
$$S/N_s = -10\log\sum\frac{y_i^2}{n} \qquad \text{...สมการที่ 2.1}$$



ภาพที่ 2.11 ภาพแสดงลักษณะของ Nominal – the – Best – Type Problem

Nominal – the – Best – Type Problem คือ ค่าความต้องการของค่าตอบสนองของผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับค่าที่ได้กำหนดไว้หรือเป็นค่าที่จำกัดไว้ เช่น ความหนาของโพลีซิลิโคนที่ต้องการมีค่าตามที่ได้กำหนดไว้ในลักษณะที่มีคุณภาพ คือ สำหรับปัญหาแบบนี้เมื่อค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ความแปรปรวนก็จะเป็นศูนย์ด้วย ค่ามากที่สุดของ Nominal – the – Best S/N Ratio จะใช้ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของ y_i เมื่อ i คือจำนวนครั้งของการทดลองที่อยู่ในช่วงจาก 1 ถึง n ครั้ง

$$S/N_\tau = 10\log\frac{y^{-2}}{S^2} \qquad \text{...สมการที่ 2.2}$$

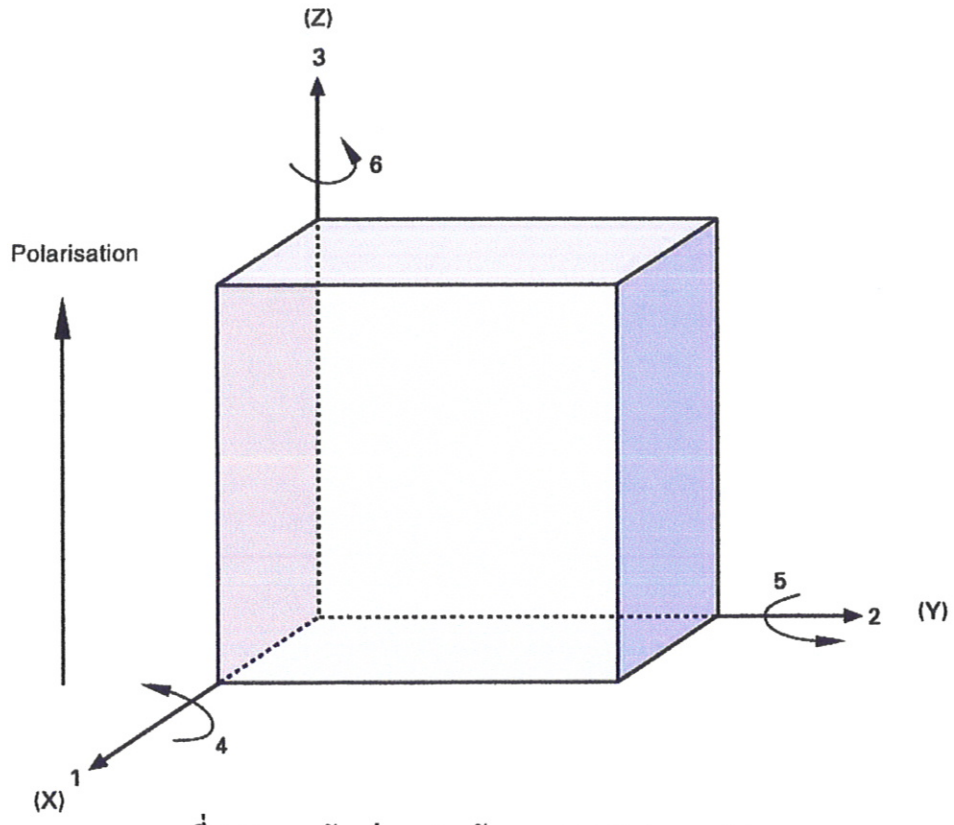


ภาพที่ 2.12 ภาพแสดงลักษณะของ Larger – the – Better Type Problem

Larger – the – Better Type Problem คือ ค่าความต้องการของค่าตอบสนองของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่ดีที่สุดจะต้องมีค่าให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เช่น ต้องการให้ความแข็งแรงของสายไฟต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดมีค่าให้มากที่สุด หรืออีกตัวอย่างหนึ่ง คือต้องการให้น้ำมันของรถบรรทุกของสามารถขับเคลื่อนรถบรรทุกได้จำนวนไมล์มากที่สุด เป็นต้น

$$S/N_L = -10\log\left\{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{1}{y_i^2}\right]/n\right\} \qquad \text{...สมการที่ 2.3}$$

2.5.4.5 ในการกำหนดตารางแผนการทดลอง (Matrix Experiment) โดยใช้ตารางมาตรฐานของวิธีทากูชิ (Orthogonal Array) ตารางแผนการทดลอง (Matrix Experiment) จะประกอบด้วยเซตของการทดลอง ซึ่งมีผลิตภัณฑ์หรือปัจจัยของกระบวนการที่เราต้องการศึกษาจากการทดลอง หลังจากดำเนินการกำหนดตารางแผนการทดลอง (Matrix Experiment) จะต้องดำเนินการทดลอง โดยกำหนดเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองตามตารางแผนการทดลอง (Matrix-Experiment) ที่ได้กำหนดไว้ และเมื่อดำเนินการทดลองเสร็จแล้วจะต้องนำข้อมูลที่ได้ จากการทดลองทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ



ภาพที่ 2.13 ภาพตัวอย่างแสดงลักษณะของ Orthogonal Array

การใช้ตาราง Orthogonal Array มีข้อดี คือทำให้สามารถลดการทดลองให้น้อยลง และเป็นผลให้ลดเวลาและต้นทุนในการทดลองได้อย่างมาก ดังนั้นทำให้ลดเวลาและต้นทุนในการทดลองได้อย่างมาก รายละเอียดของตาราง Orthogonal Array พิจารณาได้จาก

1) ตารางมาตรฐาน Orthogonal Array แบ่งตามระดับของปัจจัยได้ 3 กลุ่ม คือ

1.1) ระดับปัจจัย มี 2 ระดับ ประกอบด้วยตาราง L4 (2^3), L8 (2^7), L12 (2^{11}), L16 (2^{15}), L32 (2^{31}) และL64 (2^{63})

1.2) ระดับปัจจัย มี 3 ระดับ ประกอบด้วยตาราง L9 (3^4), L27 (3^{13}), L81 (3^{40})

1.3) ระดับปัจจัย มี 5 ระดับ ประกอบด้วยตาราง L25 (5^6)

นอกจากนี้ยังนำมาประยุกต์ใช้กับการรวมปัจจัย ที่มีระดับปัจจัยที่ต่างกัน เช่น L18 ($2^1\times3^7$), L32 ($2^1\times4^9$), L36 ($2^{11}\times3^{12}$), L36 ($2^3\times3^{13}$), L54 ($2^1\times3^{25}$), L50 ($2^1\times5^{11}$)

2) การเลือกตาราง Orthogonal Array

การเลือกตารางOrthogonal Array จะพิจารณาจากผลรวมของระดับขั้นความอิสระของปัจจัย และปัจจัยร่วมแล้วนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับระดับขั้นความอิสระของตาราง Orthogonal-Array โดยมีการคำนวณดังนี้

การคำนวณระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วม

ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลัก = (ระดับของปัจจัย – 1) × จำนวนปัจจัยหลัก

ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยร่วม = (ระดับขั้นความอิสระของ ปัจจัยหลักที่ 1) × (ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลักที่ 2) × จำนวนปัจจัยร่วม

ระดับขั้นความอิสระทั้งหมด = ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลัก + ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยร่วม

นำผลการคำนวณระดับขั้นความอิสระทั้งหมดของปัจจัยมาเปรียบเทียบกับระดับขั้นความอิสระของตาราง Orthogonal Array มาตรฐาน โดยเลือกตาราง Orthogonal Array ที่มีระดับขั้นความอิสระมากกว่าหรือเท่ากับ ระดับขั้นความอิสระทั้งหมดของปัจจัย

ตัวอย่างเช่น กำหนดให้ระดับของปัจจัยเท่ากับ 2 มีปัจจัยหลัก คือ A, B, C, D, E, F, G, H, I, J และปัจจัยร่วม คือ A× B, A× C, C× D, E× F และ G× H

ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลัก = (2-1) × 10 = 10

ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยร่วม = (2 – 1) × (2 – 1) × 5 = 5

ดังนั้น ระดับขั้นความอิสระทั้งหมด = 10 + 5 = 15

จึงเลือกตาราง L16 (2^{15}) ซึ่งมีระดับขั้นความอิสระของตาราง Orthogonal Array เท่ากับ 15 เพราะมีระดับขั้นความอิสระของตาราง Orthogonal Array เท่ากับระดับขั้นความอิสระทั้งหมดของปัจจัย ดังนั้นจากตัวอย่างจึงเลือกตาราง L16 (2^{15}) ได้

ตารางที่ 2.2 แสดงตารางที่ใช้ในการเลือกใช้ Standard Orthogonal Array

Orthogonal Array	จำนวนแถว	จำนวนปัจจัยสูงสุด	จำนวนสูงสุดของคอลัมน์ที่ 3 ระดับ			
			2	**3**	**4**	**5**
L4	4	3	3	-	-	-
L8	8	7	7	-	-	-
L9	9	4	-	4	-	-
L12	12	11	11	-	-	-
L16	16	15	15	-	-	
L16	16	5	-	-	5	-
L18	18	8	1	7	-	-
L25	25	6	-	-	-	6
L27	27	13	-	13	-	-
L32	32	31	31	-	-	-
L32	32	10	1	-	9	-
L36	36	23	11	12	-	-
L36	36	16	3	13	-	-
L50	50	12	1	-	-	11
L54	54	26	1	25	-	-
L64	64	63	63	-	-	-
L64	64	21	-	-	21	-
L81	81	40	-	40	-	-

2.5.4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน หรือเขียนย่อๆ ว่า ANOVA เป็นวิธีการหนึ่งในการทดสอบสมมุติฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรมากกว่า 2 ชุดพร้อมๆ กัน (สามารถใช้ทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากร 2 ชุด แต่ไม่เป็นที่นิยม เพราะใช้การทดสอบ t หรือ z จะสะดวกกว่า) หลักการในการวิเคราะห์ความแปรปรวนยังคงเหมือนกับการทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเดียวหรือทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม นั่น

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้ ความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลที่ศึกษาจะถูกแยกออกเป็นส่วนต่างๆ ตามแหล่งหรือปัจจัยที่ก่อให้เกิดความแปรปรวนเหล่านั้น เช่นความแปรปรวนระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ศึกษาของแต่ละชุดของประชากรและความแปรปรวนระหว่างข้อมูลภายในประชากรชุดเดียวกัน จากนั้นจึงพิจารณาอัตราส่วนของความแปรปรวนระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ศึกษาของแต่ละชุดของประชากรกับความแปรปรวนระหว่างข้อมูลรวมในประชากรชุดเดียวกันว่ามีค่ามากน้อยเพียงใด ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่ามาก แสดงว่าความแปรปรวนระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดของประชากรมีมากกว่าความแปรปรวนระหว่างข้อมูลภายในประชากรชุดเดียวกัน จึงสามารถสรุปได้ว่ามีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรชุดต่างๆ ที่นำมาทดสอบหรือค่าเฉลี่ยเหล่านั้นไม่ได้มาจากประชากรที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน

ตารางที่ 2.3 ตารางสรุปสำหรับคำนวณค่าสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F
ระหว่างกลุ่ม (B)	$k-1$	$\sum \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n}$	$\frac{SSB}{k-1}$	$\frac{M\,SB}{M\,SW}$
ภายในกลุ่ม (W)	$n-k$	$SST - SSB$	$\frac{SSW}{n-k}$	
รวม (T)	$n-1$	$\Sigma\Sigma x^2 - \frac{T^2}{n}$		

2.5.4.7 การทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis Testing)

สมมุติฐาน (Hypothesis) มี 2 ชนิด คือ สมมุติฐานทางการวิจัย (Resaerch-Hypothesis) กับสมมุติฐานทางสถิติ (Statistical Hypothesis) การวิจัยบางเรื่องอาจไม่มีสมมุติฐานการวิจัยที่ มีสมมุติฐานมักเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เช่น ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความถนัดทางการเรียนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นต้น หรือเป็นการวิจัยที่อยู่ในลักษณะที่เป็นการเปรียบเทียบความมีวินัยในตนเองระหว่างนักเรียนที่ได้รับการอบรมเลี้ยงดูด้วยวิธีต่างกัน

กระบวนการทดสอบสมมุติฐานจะช่วยผู้วิจัยในการตัดสินใจ สรุปผลว่ามีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรจริงหรือไม่ หรือช่วยใจการตัดสินใจ เพื่อสรุปผลว่าสิ่งที่นำมาเปรียบเทียบกันนั้นแตกต่างกันจริงหรือไม่ สำหรับหัวข้อสำคัญที่จะกล่าวถึง คือความหมายของสมมุติฐาน ประเภทของสมมุติฐาน ขั้นตอนการทดสอบสมมุติฐาน ชนิดของความคลาดเคลื่อน ระดับนัยสำคัญ และการทดสอบสมมุติฐานแบบมีทิศทางและแบบไม่มีทิศทาง

ความหมายของสมมุติฐาน

สมมุติฐาน คือคำตอบที่ผู้วิจัยคาดคะเนไว้ล่วงหน้าอย่างมีเหตุผล หรือสมมุติฐานคือข้อความที่อยู่ในรูปของการคาดคะเนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว หรือมากกว่า 2 ตัวเพื่อใช้ตอบปัญหาที่ต้องการศึกษา สมมุติฐานที่ดีมีหลักเกณฑ์ที่สำคัญ 2 ประการคือ

1) เป็นข้อความที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

2) เป็นสมมุติฐานที่สามารถทดสอบได้โดยวิธีการทางสถิติ

ประเภทของสมมุติฐาน สมมุติฐานมี 2 ประเภท คือ

1) สมมุติฐานทางการวิจัย(Resaerch Hypothesis) เป็นคำตอบที่ผู้วิจัยคาดคะเนไว้ล่วงหน้า และเป็นข้อความที่แสดงความเกี่ยวข้องระหว่างตัวแปร ตัวอย่างเช่น

ตัวอย่างที่ 1 นักเรียนในกรุงเทพฯ จะมีทัศนะคติทางวิทยาศาสตร์ดีกว่านักเรียนในชนบท

ตัวอย่างที่ 2 นักเรียนที่ได้รับการอบรมเลี้ยงดูด้วยวิธีการต่างกัน จะมีวินัยในตนเองต่างกัน

ตัวอย่างที่ 3 ความถนัดทางการเรียนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ตัวอย่างที่ 4 ความสนใจในการชมภาพยนตร์กับระดับการศึกษาของผู้ชมมีความสัมพันธ์กัน

สมมุติฐานดังกล่าวเป็นเพียงการคาดคะเนยังไม่เป็นความรู้ที่เชื่อถือได้จนกว่าจะได้รับการทดสอบโดยใช้วิธีการทางสถิติ

ตัวอย่างที่ 1 มีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 2 ตัว คือ 1) ภูมิลำเนาของนักเรียน และ 2)ทัศนะคติทางวิทยาศาสตร์

ตัวอย่างที่ 2 มีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 2 ตัว คือ 1) วิธีการอบรมเลี้ยงดูและ 2) วินัยในตนเอง

ตัวอย่างที่ 3 มีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 2 ตัว คือ 1) ความถนัดทางการเรียน และ 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ตัวอย่างที่ 4 มีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 2 ตัวคือ 1)ความสนใจในการชมภาพยนตร์ 2) ระดับการศึกษาของผู้ชม

สมมุติฐานทางการวิจัย มี 2 ชนิดคือ

1.1) สมมุติฐานทางการวิจัยมีแบบมีทิศทาง (Directional hypothesis) เป็นสมมุติฐานที่เขียนระบุอย่างชัดเจนถึงทิศทางของความแตกต่างถึงทิศทางของความแตกต่างระหว่างกลุ่ม โดยมีคำว่า “ ดีกว่า ” หรือ “ สูงกว่า ” หรือ “ ต่ำกว่า ” หรือ “ น้อยกว่า” ในสมมุติฐานนั้นๆ ดังตัวอย่างที่ 1 ข้างต้น หรือระบุทิศทางของความสัมพันธ์ โดยมีคำว่า “ ทางบวก ” หรือ “ทางลบ ” ในสมมุติฐานนั้นๆ เช่น

ผู้บริหารเพศชายมีประสิทธิภาพในการบริหารงานมากกว่าผู้บริหารเพศหญิง

ผู้บริหารชายมีการใช้อำนาจในตำแหน่งมากกว่าผู้บริหารหญิง

ครูอาจารย์เพศชายมีความวิตกกังวลในการทำงานน้อยกว่าครูอาจารย์เพศหญิง

เจตคติต่อวิชาวิจัยทางการศึกษามีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิจัยทางการศึกษา

1.2) สมมุติฐานทางการวิจัยไม่มีแบบไม่มีทิศทาง (Nondirectional-Hypothesis) เป็นสมมุติฐานที่ไม่กำหนดทิศทางของความแตกต่างดังตัวอย่างที่ 2 หรือไม่กำหนดทิศทางของความสัมพันธ์ ดังตัวอย่าง

นักเรียนที่มีเพศต่างกันมีเจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์แตกต่างกัน

ผู้บริหารที่มีเพศต่างกันมีปัญหาในการบริหารงานวิชาการแตกต่างกัน

ภาวะผู้ของผู้บริหารมีความสัมพันธ์กับบรรยากาศองค์การ

2) สมมุติฐานทางสถิติ (Statistical hypothesis) เป็นสมมุติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อใช้ทดสอบว่า สมมุติฐานทางการวิจัยที่ผู้วิจัยตั้งไว้เป็นจริงหรือไม่ เป็นสมมุติฐานที่เขียนอยู่ในรูปแบบของโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้อยู่ในรูปที่สามารถทดสอบได้ด้วยวิธีการทางสถิติ สัญลักษณ์ที่ใช้เขียนในสมมุติฐานทางสถิติจะเป็นพารามิเตอร์เสมอที่พบบ่อยๆได้แก่

μ (อ่านว่า มิว) แทนตัวกลางเลขคณิตหรือค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร

σ (อ่านว่า ซิกมา) แทนความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มประชากร

ρ (อ่านว่า โร) แทนสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

สมมุติฐานทางสถิติ มี 2 ชนิดคือ

2.1) สมมุติฐานที่เป็นกลางหรือสมมุติฐานที่ไร้นัยสำคัญ (Null-Hypothesis) สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ H_0

2.2) สมมุติฐานอื่น(Alternative hypothesis) สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ H_1

ในการวิจัยหลังจากที่ตั้งความมุ่งหมายของการวิจัยแล้ว ผู้วิจัยมักจะตั้งสมมุติฐานทางการวิจัยเพื่อคาดคะเนคำตอบไว้ล่วงหน้า แล้วจึงเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำการทดสอบสมมุติฐานทางการวิจัยที่ตั้งไว้ โดยจะต้องแปลงสมมุติฐานทางการวิจัยให้เป็นสมมุติฐานทางสถิติก่อน จึงจะทดสอบได้ด้วยวิธีการทางสถิติเวลาตั้งสมมุติฐานทางสถิติจะต้องตั้งทั้ง Null Hypothesis และ Alternative Hypothesis

สมมุติฐานไร้นัยสำคัญแทนด้วย H_0 เป็นสมมุติฐานที่แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หรือไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เช่น H_0: $\mu_1 = \mu_0$

หมายความว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 เท่ากันหรือไม่มีความแตกต่างกัน H_0: $\rho = 0$

หมายความว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X กับตัวแปร Y

สมมุติฐานอื่นแทนด้วย H_0 เป็นสมมุติฐานที่แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างระหว่างกลุ่มหรือมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เช่น $H_0 : \mu_1 \neq \mu_0$

หมายความว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ไม่เท่ากันหรือมีความแตกต่างกัน H_1: $\rho \neq 0$

หมายความว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในกรณีที่เป็นงานวิจัยในลักษณะเปรียบเทียบ

H_1 จะมีได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

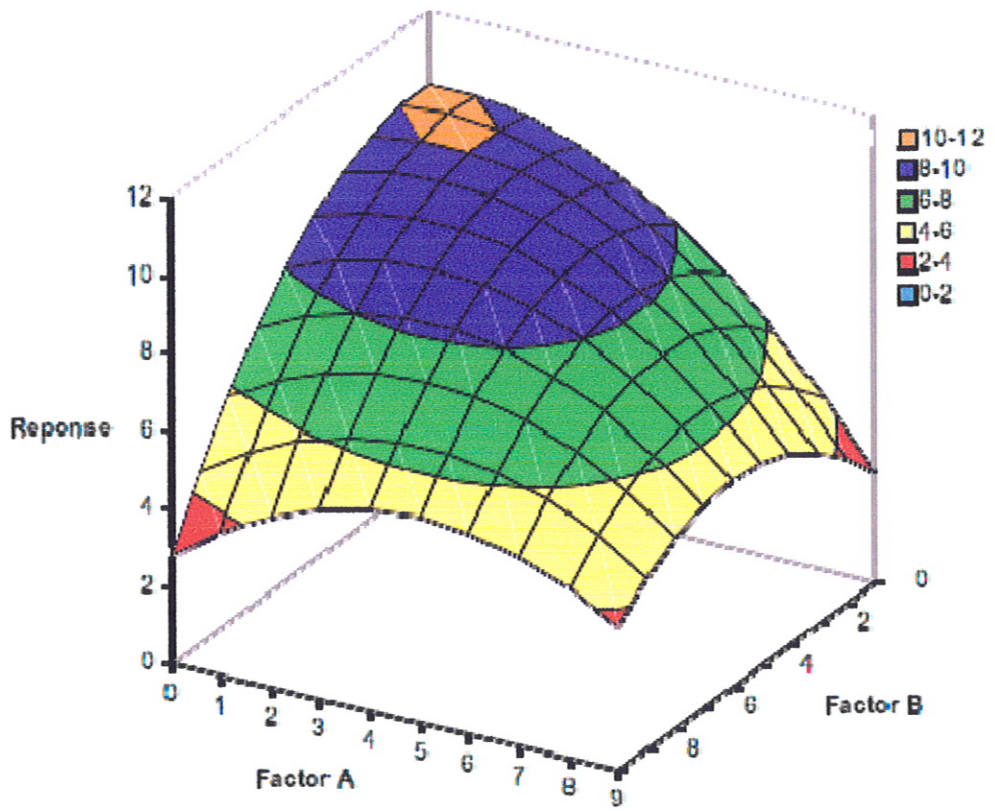
$H_1 : \mu_1 > \mu_2$

$H_1 : \mu_1 < \mu_2$

2.5.4.8 วิธีการแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methods)

RSM เป็นเทคนิคทางสถิติ ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สนใจ สามารถหาจุดที่เหมาะสม Optimization จากความสัมพันธ์ของตัวแปรได้เป็นเทคนิคการนำเสนอในรูปแบบกราฟสามมิติ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ 2 ตัว ซึ่งอยู่ในแนวระนาบ หรือแกน X และ แกน Y กับตัวแปรตาม ซึ่งอยู่ในแนวตั้งแกน Z สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรต้นกับค่าการตอบสนอง สามารถแสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนอง เมื่อระดับของปัจจัยเชิงปริมาณเปลี่ยนแปลงการหาระดับของปัจจัยเชิงปริมาณที่เหมาะสม (Optimum Value) ที่จะทำให้ได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุด หรือสามารถเลือกจุดที่เหมาะสมได้จาก ผลตอบสนองหลาย ๆ ค่าได้ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระสองตัวกับตัวแปรตาม 1 ตัวนี้สามารถอธิบายได้โดยการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ หรือที่เรียกว่า ตัวแบบ (Model)

$$Y = f(X1 + X2 + \ldots + Xk) + E \qquad \text{...สมการที่ 2.4}$$



ภาพที่ 2.14 ภาพตัวอย่างแสดงลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรต้น กับค่าการตอบสนอง

2.5.4.9 การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสองค่าที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน (T-Test for Independent Samples)

การทดสอบค่าเฉลี่ยในสองตัวอย่าง (Two-Sample Test On Means) งานวิจัยโดยทั่วไปมักจะเป็นการเปรียบเทียบผลระหว่างกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม โดยที่ข้อมูลที่รวบรวมได้จากกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มนั้นเป็นข้อมูลในมาตรอันตรภาคหรือมาตราอัตราส่วน โดยนำค่าเฉลี่ย (X) ที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มนั้นมาเปรียบเทียบกัน ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่การสรุปผลว่าค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มนั้น แตกต่างกันหรือไม่ นั่นคือเรากำลังจะทดสอบ $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ ลักษณะการทดสอบแยกได้สองลักษณะคือ

1) การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสองค่าที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน (Independent Samples)

2) การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสองค่าที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่ไม่เป็นอิสระจากกัน (Dependent Samples)

ตารางที่ 2.4 ตารางค่าสถิติการวิเคราะห์ T-Test

ข้อมูลตัวที่	ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง 1	ข้อมูลตัวที่	ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง 2
1	X_{11}	1	X_{12}
2	X_{21}	2	X_{22}
3	X_{31}	3	X_{32}
...	...	...	...
n_1	X_{n1}	n_2	X_{n2}

2.6 สรุป

ในการดำเนินการทำงานวิจัยนี้ควรที่จะทำการศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ในเรื่องของการขจัดของเสีย การฉีดพลาสติก การออกแบบการทดลอง และความรู้เกี่ยวกับอะคริลิก เพื่อให้งานวิจัยนี้ได้ผลของงานออกมาดี และเพื่อให้ผู้จัดทำงานวิจัยได้รับความรู้เพิ่มมากขึ้น

บทที่ 3

การดำเนินงาน

3.1 บทนำ

ในการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ ได้นำชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐานตามความต้องการของผู้ผลิต มีชิ้นงานที่เสียเป็นจำนวนมาก ทำให้ต้องเพิ่มต้นทุนในการผลิตและยังไม่มีมาตรฐานการทำงานที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยการศึกษาโครงงานในครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการทากูชิ เพื่อใช้เป็นแนวทางนำไปสู่ระดับปัจจัยต่างๆที่เหมาะสมต่อการผลิตชิ้นงานพลาสติกด้วยกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติกและผลลัพธ์ที่ได้ จะถูกนำไปสร้างมาตรฐานการทำงานของกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก (Standard and Operation: S&OP)

3.2 การวางแผนงาน

การวางแผนงานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติโครงการ และส่วนของการดำเนินโครงการ

3.2.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย จะแบ่งตามความยากง่ายของขั้นตอนของการดำเนินโครงการให้มีระยะเวลาตามความเหมาะสม โดยในทุกขั้นตอนจะต้องกำหนดระยะเวลาให้เหมาะสมและสามารถปฏิบัติได้จริง ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินโครงการแสดงอยู่ที่ตาราง 3.1

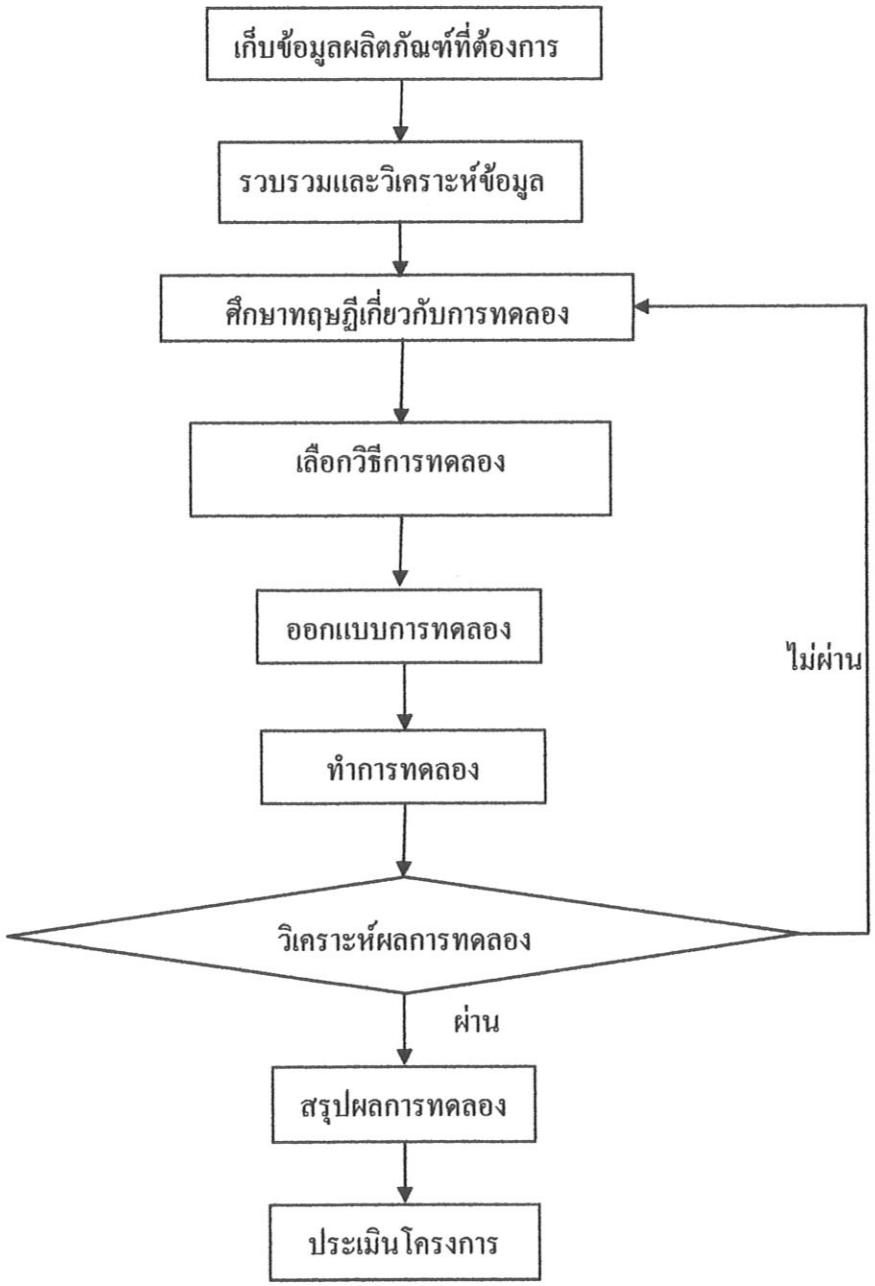
ตารางที่ 3.1 ตารางการวางแผนการดำเนินงานงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ก.ย./ 52	ต.ค./ 52	พ.ย./ 52	ธ.ค./ 52	ม.ค./ 53	ก.พ./ 53
1. เก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ต้องการ						
2.รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาชิ้นงานที่ต้องการทดลอง						
3.ศึกษาทฤษฎีการออกแบบการทดลองและเลือกวิธีการทดลอง						
4.ออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ						
5.ทำการทดลองพร้อมทั้งเก็บข้อมูล						
6.วิเคราะห์ผลการทดลอง						
7.สรุปผลการทดลอง						
8.จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์						

หมายเหตุ ⟷ แผนการดำเนินงานวิจัย

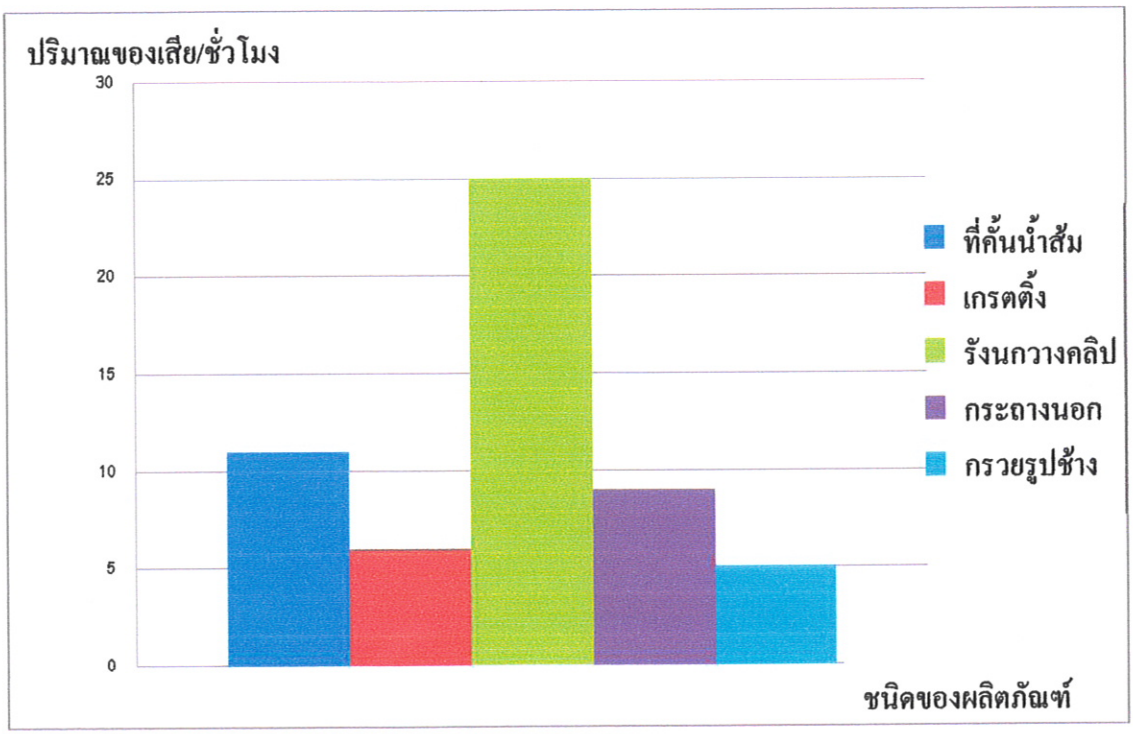
⟷ การดำเนินการจริง

3.2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 3.1 การดำเนินโครงการ

จากการที่ได้ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลภายในโรงงานตัวอย่างมาได้ระยะหนึ่งพบว่า ทางโรงงานกำลังประสบปัญหาอย่างมากเกี่ยวกับการเกิดของเสียจากกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติก ซึ่งมีอยู่หลายผลิตภัณฑ์ จึงได้ทำการเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณของเสียมากที่สุดมากทำการปรับปรุง(ซึ่งดูได้จากภาพที่ 3.2) เพื่อให้มีปริมาณของเสียลดลง โดยใช้วิธีการทากูชิ ซึ่งเป็นเครื่องมือทางคุณภาพตัวหนึ่งซึ่งจะการมีทำการทดลองตามรูปแบบที่ได้ถูกออกแบบไว้เพื่อหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ ต่างๆ แล้วสร้างเป็นสมการทางสถิติซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบประมาณการระหว่างค่าพารามิเตอร์อิสระ เพื่อช่วยอำนวยประโยชน์ในการปรับกระบวนการเพื่อให้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ และสามารถลดปริมาณของเสียได้จริง



ภาพที่ 3.2 แผนภูมิแสดงปริมาณของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก

จะเห็นได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนของเสียมากที่สุดใน 1 ชั่วโมง คือผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ ซึ่งใน 1 ชั่วโมงมีจำนวนของเสีย 25 ชิ้น ลักษณะของชิ้นงานที่เสียมีดังนี้

1) ชิ้นงานไม่เต็ม
2) ชิ้นงานมีรอยยุบ
3) ชิ้นงานติดแน่นกับแม่พิมพ์

รังนกสำหรับวางคลิป = (งานเสีย / จำนวนชิ้นงานใน 1 ชั่วโมง) × 100%

= 25 / 65 (100 %)

= 38.46 %

3.3 การวิเคราะห์ปัญหา

3.3.1 ชิ้นงานไม่เต็ม

ลักษณะที่ปรากฏ คือการไหลเข้าเติมคาวิตี้ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะที่ปลายเส้นทางการไหล หรือใกล้จุดที่ผนังบาง โดยสาเหตุเกิดจาก

3.3.1.1 พลาสติกมีการไหลที่ไม่ดีพอ

3.3.1.2 อัตราการฉีดพลาสติกต่ำเกินไป

3.3.1.3 ชิ้นงานมีผนังบางเกินไป

3.3.1.4 หัวฉีดและแม่พิมพ์แนบกันไม่สนิทพอ

3.3.1.5 การระบายอากาศของแม่พิมพ์ไม่เพียงพอ

3.3.2 ชิ้นงานมีรอยยุบ โดยสาเหตุเกิดจาก

3.3.2.1 Runner และ Gate มีขนาดเล็กไป

3.3.2.2 ระบบ Runner กลายเป็นพลาสติกแข็งก่อนก่อนที่จะได้รับแรงดันตาม

3.3.2.3 ผนังชิ้นงานมีความหนาต่างกันมาก

3.3.3 ชิ้นงานติดแน่นกับแม่พิมพ์

ลักษณะที่ปรากฏคือ จุดด้านเป็นแอ่งรูปร่างคล้ายนิ้วมือ หรือ ใบไม้สี่แฉก มีความมันเงาอยู่บนชิ้นงาน (โดยทั่วไปอยู่ใกล้ Sprue) โดยสาเหตุเกิดจาก

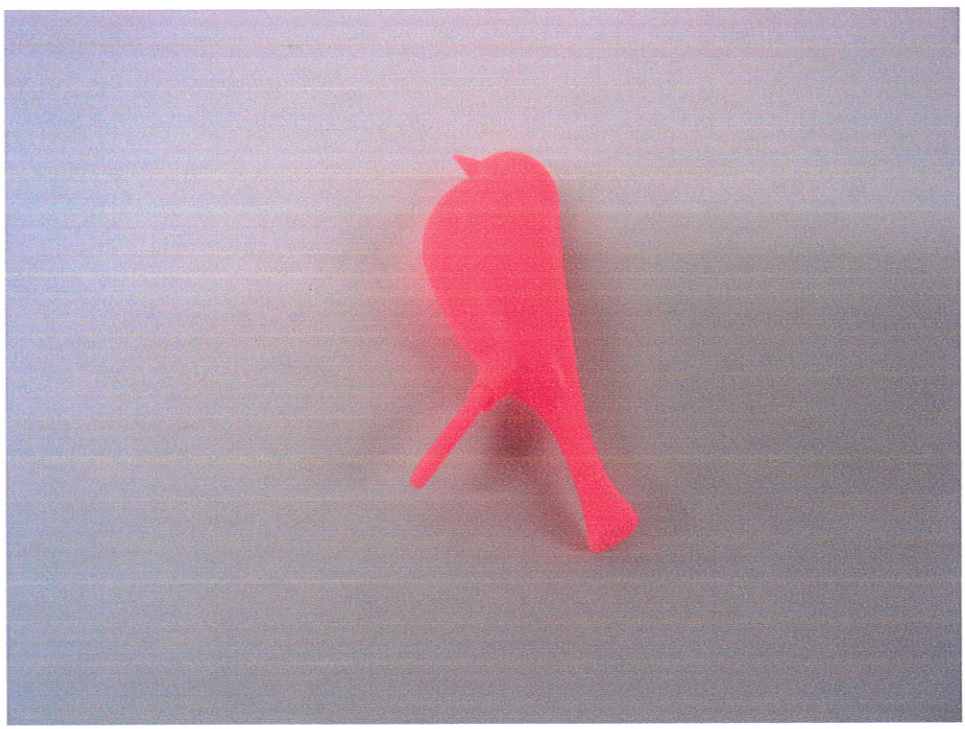
3.3.4.1 ปลดชิ้นงานเร็วเกินไป

3.3.4.2 ผนังคาวิตี้บางส่วนมีความสูงเกินไป

3.4 การดำเนินงาน

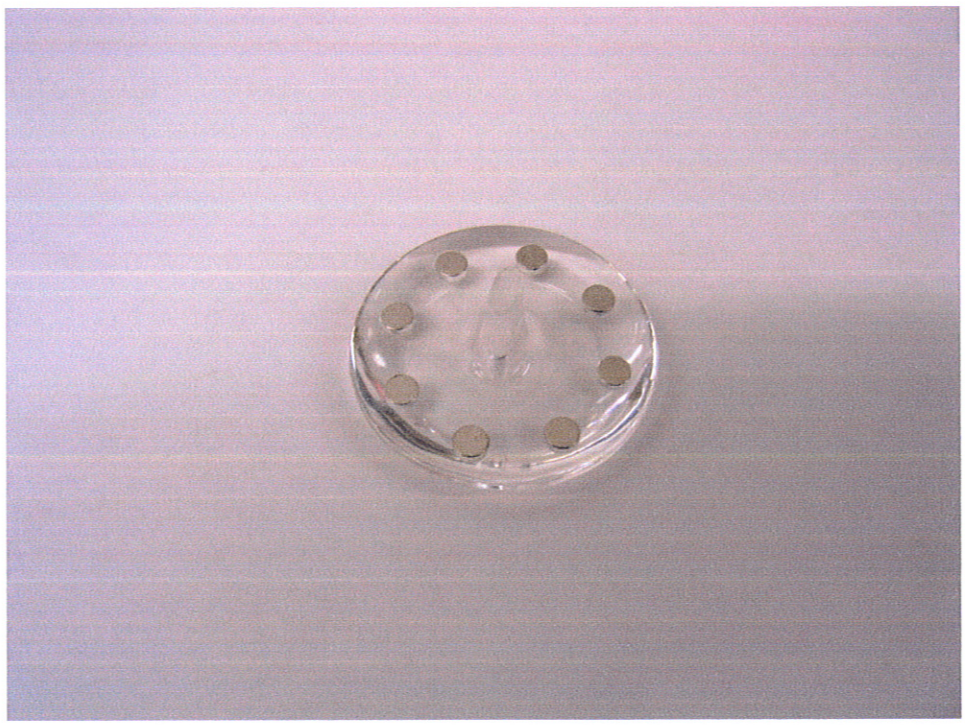
3.4.1 เก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ต้องการ

ภาพที่ 3.3 ผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ

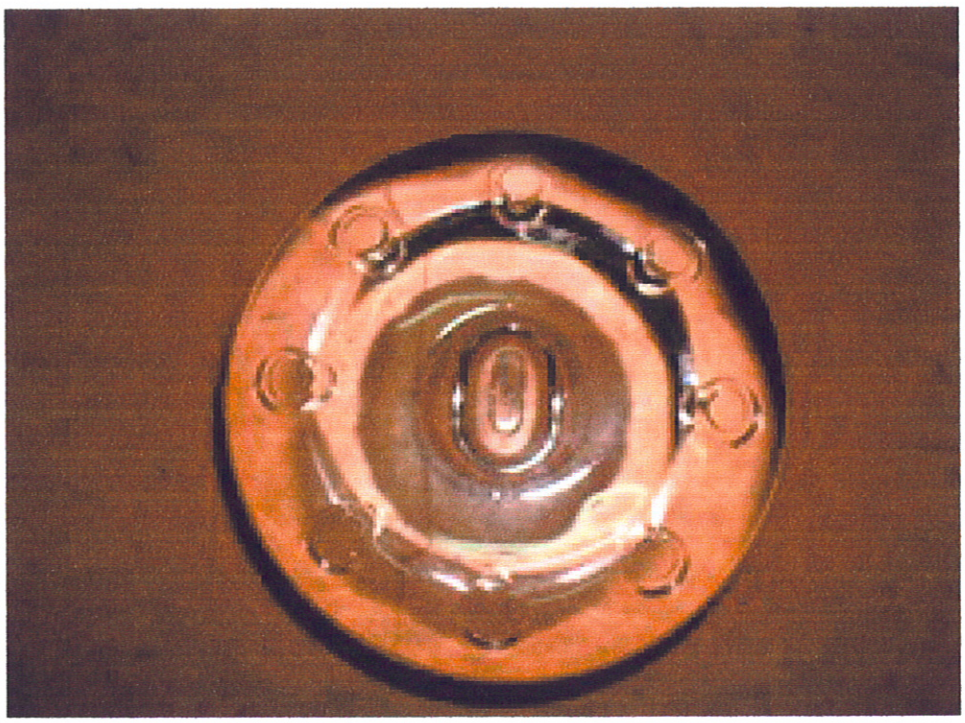


ภาพที่ 3.4 ชิ้นส่วนตัวนกของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ (ภาพที่ 3.3) ผลิตภัณฑ์นี้ไว้สำหรับใส่คลิปหนีบกระดาษเพื่อความสะดวกในการหยิบจับเพื่อนำไปใช้งานได้สะดวก อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ในการตกแต่งสำนักงานเพื่อความสวยงามได้อีกด้วย ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ตัวนก (ภาพที่-3.4) และตัวฐาน (ภาพที่ 3.5)



ภาพที่ 3.5 ชิ้นส่วนฐานของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 3.6 ลักษณะของชิ้นส่วนฐานที่สมบูรณ์ภายหลังการผลิต

ภาพที่ 3.7 ลักษณะของเสียแบบชิ้นงานมีรอยยุบของชิ้นส่วนฐานภายหลังการผลิต

จากรูปเป็นชิ้นงานที่ใช้สำหรับเป็นฐานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่ปรับปรุงในงานวิจัยในครั้งนี้ซึ่งในภาพที่ 3.6 จะเป็นชิ้นงานที่สมบูรณ์ และภาพที่ 3.7 จะเป็นตัวอย่างของชิ้นงานที่เสีย

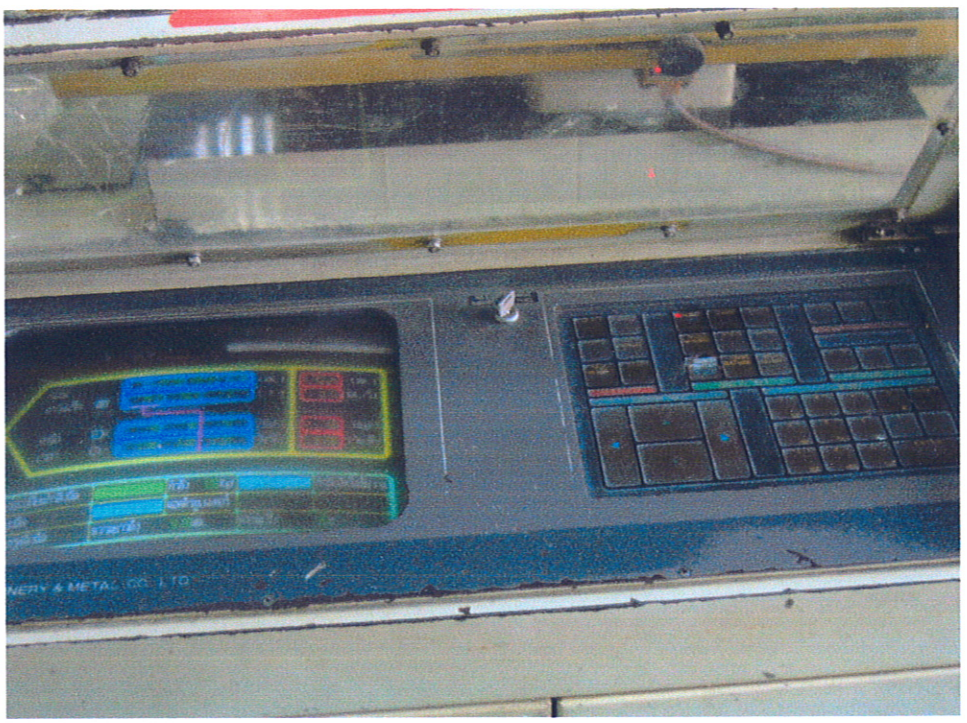
ภาพที่ 3.8 ภาพการหยิบชิ้นงานจากเครื่องฉีด

ภาพที่ 3.9 ภาพการนำผลิตภัณฑ์ไปแช่น้ำ

ภาพที่ 3.10 ภาพการนำผลิตภัณฑ์มาวางไว้ให้แห้ง

ภาพที่ 3.11 ภาพใส่แม่เหล็กที่ตัวผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 3.12 ภาพวิธีการใช้งานของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 3.13 ลักษณะแผงควบคุม และหน้าจอแสดงผลของเครื่อง TOYO ขนาดเครื่อง 130 TON.

3.4.2 เงื่อนไขการทดลอง โดยเครื่องฉีดพลาสติก TOYO ขนาดเครื่อง 130 TON.

3.4.2.1 หล่อเย็น (Cooling): 16 Sec.

3.4.2.2 เวลาในการทำงาน (Cycle Time): 42 Sec.

3.4.2.3 อุณหภูมิที่กระบอกฉีด (Temperature Zone)

1) กระบอกฉีดที่ 1 เท่ากับ 225°C

2) กระบอกฉีดที่ 2 เท่ากับ 220°C

3) กระบอกฉีดที่ 3 เท่ากับ 220°C

4) กระบอกฉีดที่ 4 เท่ากับ 215°C

5) กระบอกฉีดที่ 5 เท่ากับ 210°C

3.4.2.4 แม่พิมพ์เปิด (Mold Opening)

1) ตำแหน่ง (Position) เท่ากับ 300 mm.

2) ความเร็ว (Speed) เท่ากับ 25 mm/s.

3) แรงดัน (Pressure) เท่ากับ 60 kg/cm^2.

3.4.2.5 แม่พิมพ์ปิด (Mold Closing)

1) ตำแหน่ง (Position) เท่ากับ 300 mm.

2) ความเร็ว (Speed) เท่ากับ 50 mm/s.

3) แรงดัน (Pressure) เท่ากับ 65 kg/cm^2.

3.4.2.6 การปลดแบบถอยกลับ (EJECTION BACKWARD)

1) ตำแหน่ง (Position) เท่ากับ 5 mm.

2) ความเร็ว (Speed) เท่ากับ 30 mm/s.

3) แรงดัน (Pressure) เท่ากับ 100 kg/cm^2.

3.4.2.7 การปลดแบบส่ง (EJECTION FORWARD)

1) ตำแหน่ง (Position) เท่ากับ 50 mm.

2) ความเร็ว (Speed) เท่ากับ 3 mm/s.

3) แรงดัน (Pressure) เท่ากับ 50 kg/cm^2.

3.4.2.8 การกระทุ้ง (Ejecting) เท่ากับ 1 ครั้ง

3.4.2.9 การรอ (Delay) เท่ากับ 0.2 mm/s.

3.4.2.10 การฉีด (Injection)

1) ตำแหน่ง (Position) เท่ากับ 51 mm.

3.4.2.11 การปั่นสกรูถอยกลับ (Charge)

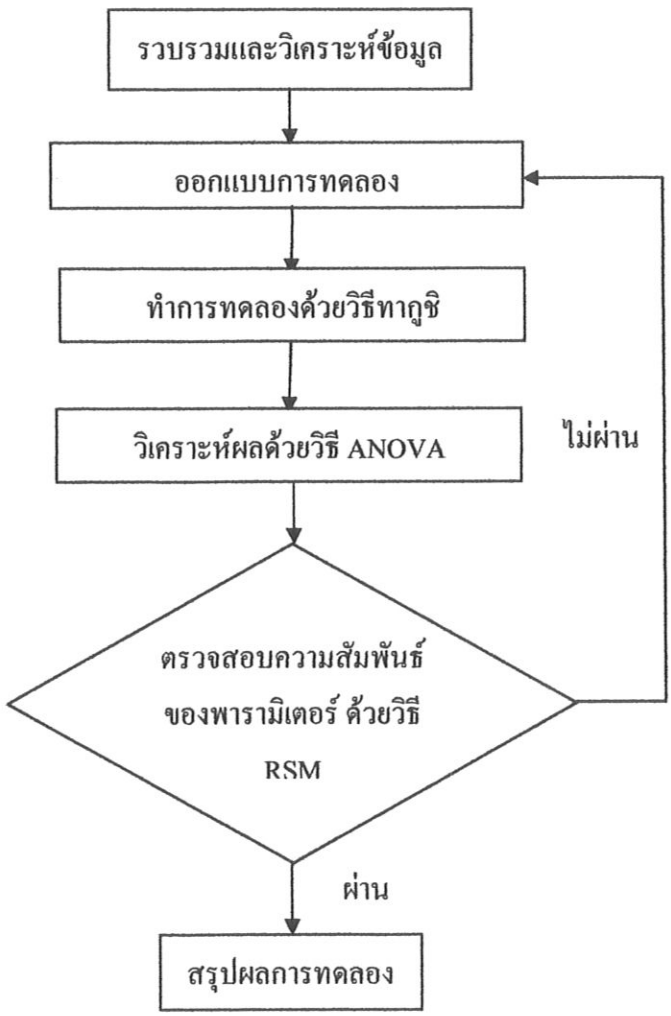
1) ตำแหน่ง (Position) เท่ากับ 50 mm.

2) ความเร็ว (Speed) เท่ากับ 30 mm/s.

3) แรงดันกลับ (Back Pressure) เท่ากับ 6 kgf.

3.4.3 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ที่เกี่ยวข้องกับงานฉีดพลาสติก ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในงานฉีดพลาสติก และวิธีการแก้ไข การออกแบบและทำการทดลองโดยวิธีการทากูชิในการออกแบบการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลองโดยจะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้วิธี ANOVA ด้วยโปรแกรมเชิงสถิติ ตรวจสอบความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ ด้วยวิธี RSM และทำการสรุปผล



ภาพที่ 3.14 การดำเนินการทดลองด้วยหลักการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม

3.4.3.2 พิจารณาเลือกข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการออกแบบและสร้างเครื่องมือวิจัยหรือหน่วยทดลอง

ตารางที่ 3.2 กำหนดตัวปัจจัยที่ได้จากพารามิเตอร์ที่มีผลต่อชิ้นงาน

Factor	Low	High
P	80	85
T	4	6
S	1.5	1.7

P คือ แรงดันในการฉีดพลาสติก (Injection Pressure) หน่วย kg/cm^2.

T คือ เวลาในการฉีดพลาสติก (Injection Time) หน่วย sec.

S คือ € (Injection Speed) หน่วย mm/s.

3.4.4 การออกแบบการทดลอง

3.4.4.1 พิจารณาพารามิเตอร์ ที่มีผลต่องานฉีดพลาสติก โดยพิจารณาเลือกพารามิเตอร์ ที่ต้องการศึกษา เช่น อุณหภูมิเท แรงดัน เป็นต้น ส่วนพารามิเตอร์ที่ไม่ต้องการศึกษาจะต้องกำหนดวิธีการควบคุมพารามิเตอร์ เพื่อให้ความแปรปรวนจากปัจจัยภายนอกเกิดขึ้นน้อยที่สุด

3.4.4.2 กำหนดพารามิเตอร์ ที่มีผลต่องานฉีดพลาสติก ซึ่งได้แก่ ความดัน เวลา และความเร็ว

3.4.4.3 กำหนดระดับของพารามิเตอร์ ที่ใช้ในการทดลอง โดยกำหนดให้พารามิเตอร์มี 3 ตัวและกำหนดพารามิเตอร์ ละ 2 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

3.4.4.4 เลือก Standard Orthogonal Array (ตามตารางที่ 3.3)

ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลัก = $(2\text{-}1) \times 10 = 10$

ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยร่วม = $(2 - 1) \times (2 - 1) \times 5$

= 5

ดังนั้น ระดับขั้นความอิสระทั้งหมด = $10 + 5 = 15$

จึงเลือกตาราง L16 (2^{15}) ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งมีระดับขั้นความอิสระของตารางออทอกอนอล อะเรย์ เท่ากับ 15 เพราะมีระดับขั้นความอิสระของตารางออทอกอนอล อะเรย์ เท่ากับ ระดับขั้นความอิสระทั้งหมดของปัจจัย ดังนั้นจากตัวอย่างจึงเลือกตาราง L16 (2^{15}) ได้

3.4.4.5 กำหนดจำนวนของเครื่องมือวิจัยหรือหน่วยทดลองที่ใช้ในการทดลอง โดยในการกำหนดจำนวนการทดลองนั้นจะทำการทดลองทั้งหมด 16 ครั้ง ซึ่งจะควบคุมการทดลองตามตารางที่ 3.3

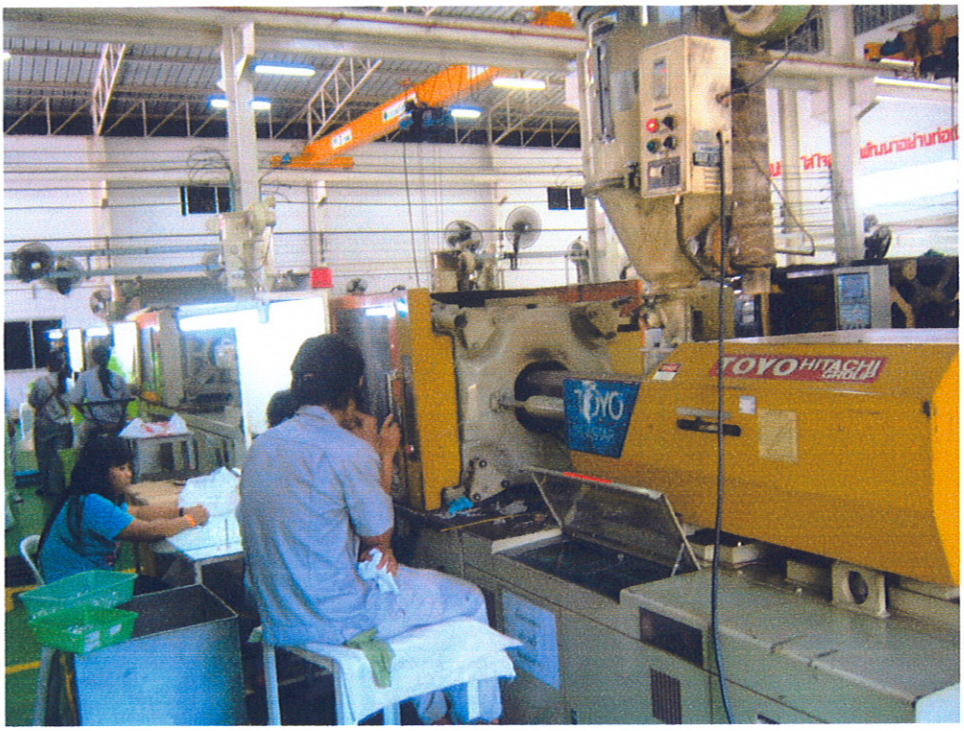
ตารางที่ 3.3 แสดงแผนการทดลอง Orthogonal Array L16 ตามมาตรฐานของ Taguchi Method

	P	T	S
1	80	4	1.5
2	80	4	1.5
3	80	4	1.5
4	80	4	1.5
5	80	6	1.7
6	80	6	1.7
7	80	6	1.7
8	80	6	1.7
9	85	4	1.7
10	85	4	1.7
11	85	4	1.7
12	85	4	1.7
13	85	6	1.5
14	85	6	1.5
15	85	6	1.5
16	85	6	1.5

P	คือ	แรงดันในการฉีดพลาสติก (Injection Pressure)	หน่วย	kg/cm^2.
T	คือ	เวลาในการฉีดพลาสติก (Injection Time)	หน่วย	sec.
S	คือ	€ (Injection Speed)	หน่วย	mm/s.

3.4.5 การเก็บข้อมูล

ผู้จัดทำได้ทำการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ ชิ้นงานที่เกิดการเสียหายและทำการวิเคราะห์ข้อมูล ที่มีผลกระทบต่อการฉีดผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ และทำตารางการทดลองตามโปรแกรม (วิธีการทากูชิ) และได้เก็บผลที่ทำการทดลองได้ดังนี้



ภาพที่ 3.15 ภาพระหว่างดำเนินการทำการเก็บข้อมูล

ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองที่ได้ค่าพารามิเตอร์จากการประมวลผลทางโปรแกรม

	P	T	S	Defect1	Defect2	Defect3	Defect4
1	80	4	1.5				
2	80	4	1.5	0	0	0	0
3	80	4	1.5	0	0	0	0
4	80	4	1.5	0	0	0	1
5	80	6	1.7	1	0	0	0
6	80	6	1.7	0	1	0	0
7	80	6	1.7	0	0	0	0
8	80	6	1.7	0	0	0	0
9	85	4	1.7	0	0	1	1
10	85	4	1.7	1	1	0	0
11	85	4	1.7	1	1	1	1
12	85	4	1.7	1	1	0	0
13	85	6	1.5	0	0	0	0
14	85	6	1.5	0	0	0	0
15	85	6	1.5	0	0	0	0
16	85	6	1.5	0	0	0	0

Defect: 1 คือ ชิ้นงานเสีย, 0 คือ ชิ้นงานที่สมบูรณ์

จากที่ได้ผลการทดลองการฉีดชิ้นงานจึงได้ทราบว่าพารามิเตอร์ตัวใดที่ก่อให้เกิดสาเหตุการเสียหายต่อชิ้นงานจึงได้เก็บผลค่าความเสียหายเพื่อที่จะไปประมวลผลทางสถิติของโปรแกรม (วิธีการทากูชิ)

Smaller is better			
Level	P	T	S
1	4.5154	-3.38347	3.01030
2	-9.7772	6.02060	-1.87832
Delta	14.2927	9.40407	4.88862
Rank	1	2	3

ภาพที่ 3.16 ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยวิธีการของทากูชิ

จากภาพที่ 3.16 จากที่คณะวิจัยได้ทำการเลือกวิธีทากูชิโดยใช้กรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-is Better) ผลการทดลองพบว่าค่า แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) มีผลกระทบต่อกระบวนการฉีดในผลิตภัณฑ์มากที่สุด รองลงมา คือ ค่าเวลาในการฉีดพลาสติก (T) และความเร็วในการปั่นสกรูกลับ (S) ตามลำดับ

General Linear Model: defect versus P, T, S

Factor	Type	Levels	Values
P	fixed	2	80 85
T	fixed	2	4 6
S	fixed	2	1.5 1.7

Analysis of Variance for defect, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
P	1	5.0625	5.0625	5.0625	16.20	0.002
T	1	10.5625	10.5625	10.5625	33.80	0.000
S	1	7.5625	7.5625	7.5625	24.20	0.000
Error	12	3.7500	3.7500	0.3125		
Total	15	26.9375				

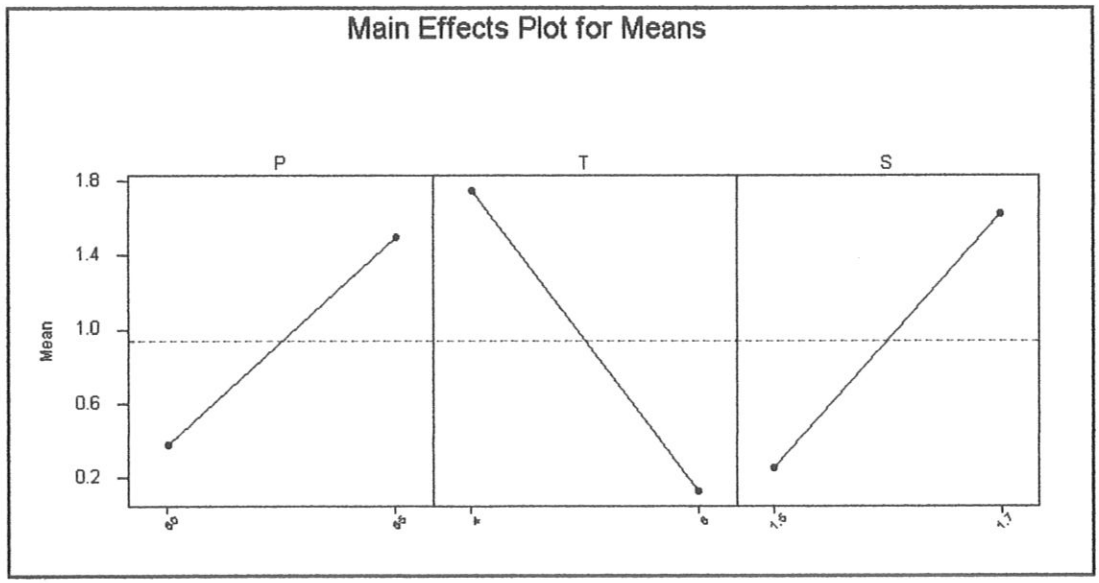
ภาพที่3.17 ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM)

การวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยวิธีการ ANOVA

H_0 ; μ (a) = μ (b) แสดงว่าก่อนและหลังการปรับปรุงไม่แตกต่าง

H_1 ; μ (a) $\neq$ μ (b) แสดงว่าก่อนและหลังการปรับปรุงนี้มีความแตกต่างกัน

จากภาพที่ 3.12 พบว่าผลค่า P-Value มีระดับค่าความเชื่อมั่นที่ 95% (α = 0.05) จากผลการทดลองค่า P, T และS ได้ค่าที่น้อยกว่าที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งมีความแตกต่างกัน จึงแสดงได้ว่าก่อนและหลังการปรับปรุงนี้มีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 3.18 กราฟแสดงผลกระทบของพารามิเตอร์หลัก (Main Effect Plot)

จากภาพที่ 3.18 เห็นได้ว่าแนวโน้มเส้นกราฟของพารามิเตอร์ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P), เวลาในการฉีดพลาสติก (T) และความเร็วในการปั่นสกรูกลับ (S) จะมีลักษณะความชันเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นอ้างอิง (Reference Line) ในแนวนอน แสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 พารามิเตอร์มีผลกระทบต่อการเกิดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกของรังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ

Response Surface Regression: defect versus P, T, S

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-24.56	5.17468	-4.747	0.000
P	0.22	0.05590	4.025	0.002
T	-0.81	0.13975	-5.814	0.000
S	6.88	1.39754	4.919	0.000

S = 0.5590 R-Sq = 86.1% R-Sq(adj) = 82.6%

Analysis of Variance for defect

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	23.1875	23.1875	7.72917	24.73	0.000
Linear	3	23.1875	23.1875	7.72917	24.73	0.000
Residual Error	12	3.7500	3.7500	0.31250		
Pure Error	12	3.7500	3.7500	0.31250		
Total	15	26.9375				

Observation	defect	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
9	2.000	3.000	0.280	-1.000	-2.07R
11	4.000	3.000	0.280	1.000	2.07R

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
defect	Minimum	0	0	1	1	1

Global Solution P = 80.0, T = 6.0, S = 1.5

Predicted Responses

defect = -1.125, desirability = 1

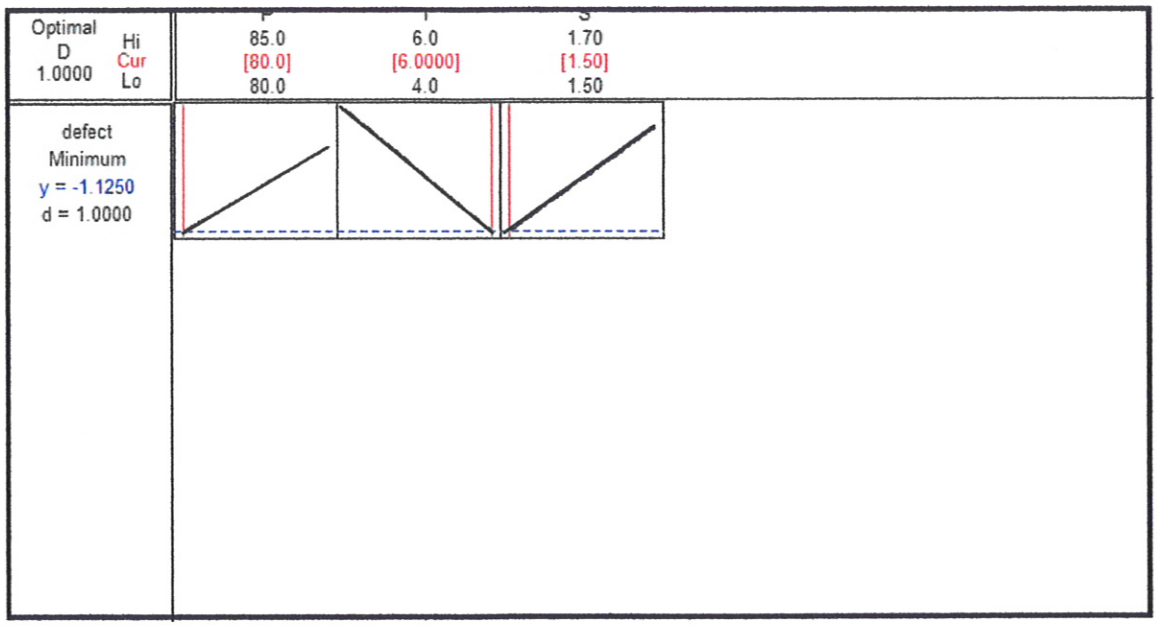
Composite Desirability = 1.00000

ภาพที่ 3.19 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM)

จากภาพที่ 3.19 จากการทดลองโดยใช้โปรแกรมพบว่าเมื่อปรับตั้งค่าโดยใช้ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) = 80 kg/cm^2. เวลาในการฉีดพลาสติก (T) = 6 sec. และความเร็วในการปั่นสกรูกลับ (S) = 1.5 mm/s. จะสามารถเกิดชิ้นงานที่เสีย = -1.125 มีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ซึ่งอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ

จากผลการทดลองที่ผ่านมาดังนั้น จึงทำการรวบรวมข้อมูลของพารามิเตอร์ที่ได้ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงาน เพื่อที่จะนำข้อมูลในเบื้องต้นที่ได้จากการทดลอง นำมาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการฉีดผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ โดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) ข้างต้นเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อจะได้ทำการทดลองว่าค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวได้ผลดีกว่าค่าพารามิเตอร์เดิมหรือไม่

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด คือ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) = 80 kg/cm^2. เวลาในการฉีดพลาสติก (T) = 6 sec. และความเร็วในการปั่นสกรูกลับ (S) = 1.5 mm/s.



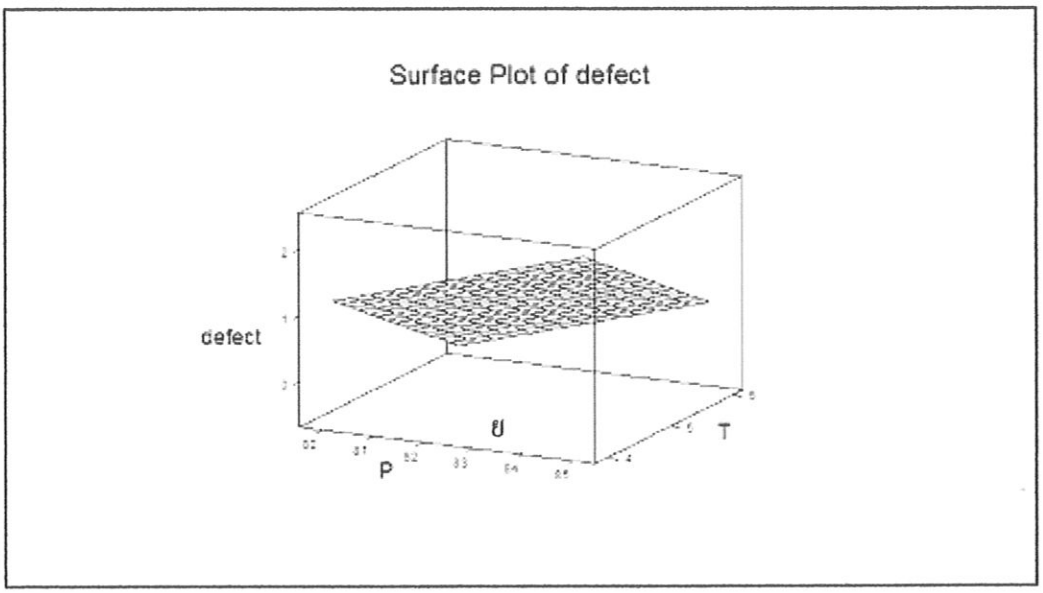
ภาพที่ 3.20 ภาพแสดงผลค่าที่เหมาะสมที่สุดในการฉีดผลิตภัณฑ์รังนก
สำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ

จากภาพที่ 3.20 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการฉีดผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ โดยได้ค่าพารามิเตอร์จากวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface-Methodology; RSM) เพื่อจะได้นำค่าที่เหมาะสมที่ได้นำไปทดลองการฉีดเพื่อจะลดของเสียให้เป็นศูนย์ y คือ ชิ้นงานที่เสียโดยเห็นได้ว่า y = -1.1250 นั่นคือชิ้นงานที่เสียเป็นศูนย์ที่แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) = 80kg/cm^2. เวลาในการฉีดพลาสติก (T) = 6 sec. และความเร็วในการปั่นสกรูกลับ (S) = 1.5 mm/s.

ตารางที่ 3.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ประมวลผลได้ดังตาราง

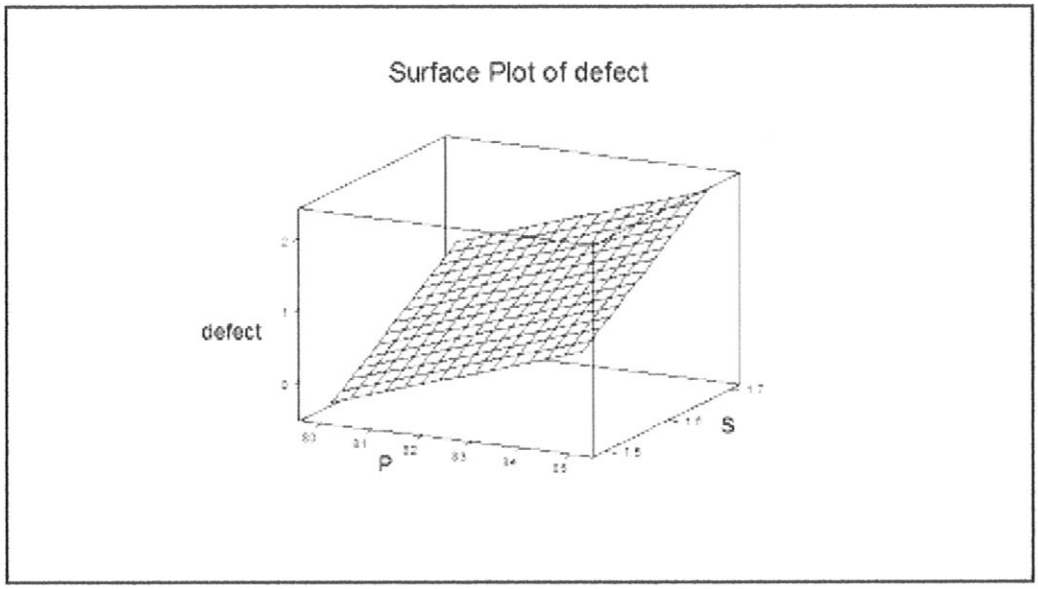
ตารางที่ 3.5 ค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ประมวลผลได้

พารามิเตอร์	ค่าที่เหมาะสม
แรงดันในการฉีดพลาสติก (P)	80 kg/cm^2
เวลาในการฉีดพลาสติก (T)	6.0 sec.
ความเร็วในการฉีด (S)	1.5 mm/s



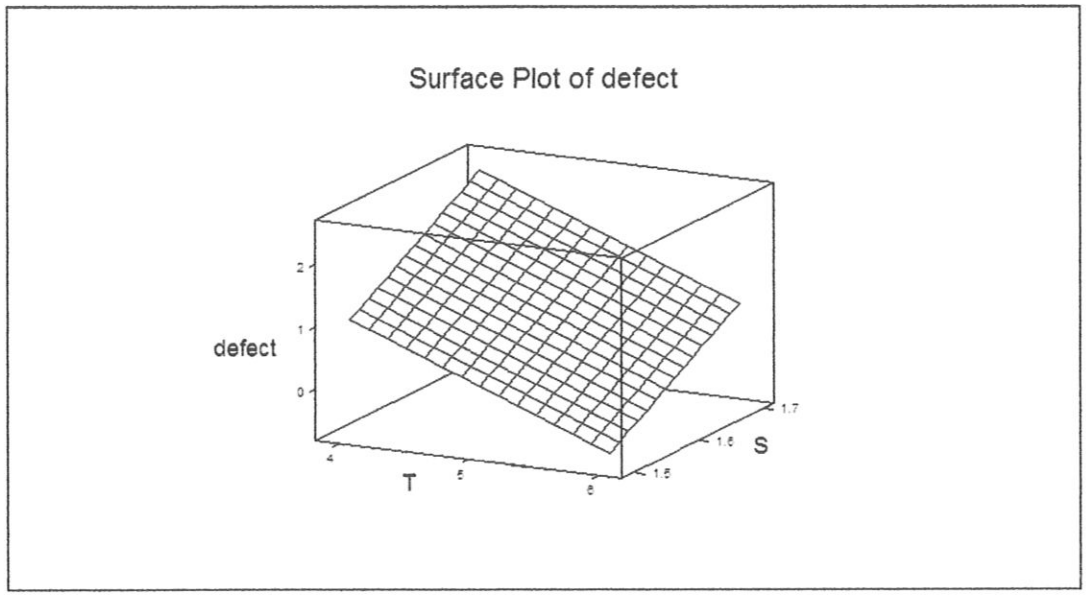
ภาพที่ 3.21 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) กับ เวลาในการฉีดพลาสติก (T)

จากภาพที่ 3.21 จะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) และ เวลาในการฉีดพลาสติก (T) นี้ทำให้ปริมาณของเสียเข้าใกล้ศูนย์จะอยู่ที่ 80 kg/cm^2. และ 6 sec. เนื่องจากพารามิเตอร์ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) และ เวลาในการฉีดพลาสติก (T) จากกราฟนี้เข้าใกล้ 80 mm/s.และ1.5 mm/s. ตามลำดับจะทำให้ของเสียลดลง



ภาพที่ 3.22 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) กับ ความเร็วในการปั่นสกรูกลับ (S)

จากภาพที่ 3.22 จะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) และ ความเร็วในการปั่นสกรูกลับ (S) นี้ทำให้ปริมาณของเสียเข้าใกล้ศูนย์จะอยู่ที่ 80 kg/cm^2. และ1.5 mm/s. เนื่องจากพารามิเตอร์ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) และ ความเร็วในการปั่นสกรูกลับ (S) จากกราฟนี้เข้าใกล้ 80 kg/cm^2.และ 1.5 mm/s. ตามลำดับจะทำให้ของเสียลดลง



ภาพที่ 3.23 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ เวลาในการฉีดพลาสติก (T) กับ ความเร็วในการปั่นสกรูกลับ (S)

จากภาพที่ 3.23 จะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์ เวลาในการฉีดพลาสติก (T) และ ความเร็วในการปั่นสกรูกลับ (S) นี้ทำให้ปริมาณของเสียเข้าใกล้ศูนย์จะอยู่ที่ 6 sec.และ 1.5 mm/s. เนื่องจากพารามิเตอร์ เวลาในการฉีดพลาสติก (T) และ ความเร็วในการปั่นสกรูกลับ (S) จากกราฟนี้เข้าใกล้ 6 sec.และ1.5 mm/s. ตามลำดับจะทำให้ของเสียลดลง

ดังที่โปรแกรมการออกแบบการทดลองได้หาค่าพารามิเตอร์การการฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติกที่เหมาะสมที่สุดของชิ้นงานผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ จึงได้ทำตารางการทดลองการฉีดพลาสติกของชิ้นงานเป็นจำนวน 40 ครั้ง ได้ชิ้นงาน 40 ชิ้น เปรียบเทียบกับก่อนทำการปรับปรุงจำนวนชิ้นงาน 64 ชิ้น โดยได้ปรับค่าตามพารามิเตอร์ตามการจำลองการออกแบบเปรียบเทียบกับก่อนทำการทดลองโดยใช้ T-Test

ตารางที่ 3.6 ตารางเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง

ก่อนการปรับปรุง							
Defect1	0	Defect21	0	Defect41	1	Defect61	0
Defect2	0	Defect22	0	Defect42	1	Defect62	0
Defect3	0	Defect23	0	Defect43	0	Defect63	0
Defect4	0	Defect24	0	Defect44	0	Defect64	0
Defect5	0	Defect25	0	Defect45	0		
Defect6	0	Defect26	0	Defect46	0		
Defect7	0	Defect27	0	Defect47	0		
Defect8	0	Defect28	0	Defect48	0		
Defect9	0	Defect29	0	Defect49	0		
Defect10	0	Defect30	0	Defect50	0		
Defect11	0	Defect31	1	Defect51	0		
Defect12	1	Defect32	1	Defect52	0		
Defect13	1	Defect33	1	Defect53	0		
Defect14	0	Defect34	1	Defect54	0		
Defect15	0	Defect35	0	Defect55	0		
Defect16	0	Defect36	0	Defect56	0		
Defect17	0	Defect37	1	Defect57	0		
Defect18	1	Defect38	1	Defect58	0		
Defect19	0	Defect39	1	Defect59	0		
Defect20	0	Defect40	1	Defect60	0		

หลังจากปรับปรุง			
Defect1	0	Defect21	0
Defect2	0	Defect22	0
Defect3	0	Defect23	0
Defect4	0	Defect24	0
Defect5	0	Defect25	0
Defect6	0	Defect26	0
Defect7	0	Defect27	0
Defect8	0	Defect28	1
Defect9	0	Defect29	0
Defect10	0	Defect30	0
Defect11	0	Defect31	0
Defect12	0	Defect32	1
Defect13	0	Defect33	0
Defect14	0	Defect34	0
Defect15	0	Defect35	1
Defect16	0	Defect36	1
Defect17	0	Defect37	0
Defect18	0	Defect38	0
Defect19	0	Defect39	0
Defect20	0	Defect40	0

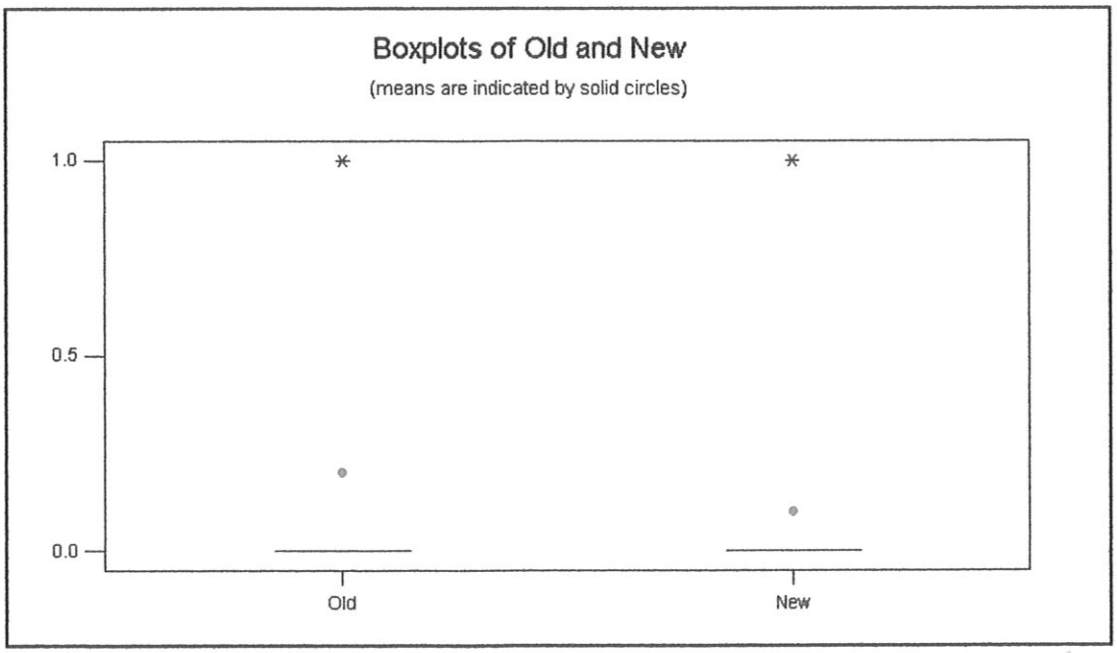
3.5 การเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

Two-Sample T-Test and CI: Old, New

Two-sample T for Old vs New

	N	Mean	StDev	SE Mean
Old	64	0.203	0.406	0.051
New	40	0.100	0.304	0.048

ภาพที่ 3.24 ภาพแสดงผลทดสอบก่อนและหลังการปรับปรุงด้วย T-Test



ภาพที่ 3.25 ภาพแสดงผลทดสอบก่อนและหลังการปรับปรุงด้วย T-Test

จากภาพที่ 3.24 และ 3.25 การเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงจะเห็นได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงหลังจากปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการฉีดผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ ที่ได้จากการออกแบบการทดลองมีของเสียลดลง

จากการทดลองโดยใช้วิธีการทากูชิ จึงได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการฉีดแม่พิมพ์พลาสติกของผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษที่ แรงดันในการฉีดพลาสติก (P) = 80 kg/cm^2. เวลาในการฉีดพลาสติก (T) = 6 sec.และความเร็วในการปั่นสกรูกลับ (S) = 1.5 mm/s. จากการฉีดชิ้นงานตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการออกแบบการทดลอง

บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

4.1 บทนำ

ในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการดำเนินการก่อน-หลังปรับปรุง ภายหลังจากการวิเคราะห์เกี่ยวกับพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ โดยจะใช้การประมวลผลทางเชิงสถิติด้วยหลักการการออกแบบการทดลองทากูชิรวมไปถึงการหาสภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดพลาสติกของ ผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ โดยใช้หลักการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface)

4.2 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

4.2.1 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ก่อนการปรับปรุง

ต้นทุนการผลิตทั้งหมด = ปริมาณการผลิตทั้งหมด × ราคาชิ้นงาน

= 3,000 × (2.50)

= 7,500.00 บาท

ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย = ต้นทุนการผลิตทั้งหมด / ปริมาณการผลิตจริง

= ต้นทุนการผลิตทั้งหมด / (ปริมาณการผลิตทั้งหมด - ปริมาณของเสีย) หมายเหตุ กำลังการผลิต 65 ชิ้น/ชม.

= 7,500.00 / (3,000 – 1,154)

= 7,500.00 / 1,846

= 4.06 บาท/ชิ้น

4.2.2 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์หลังการปรับปรุง

ต้นทุนการผลิตทั้งหมด = ปริมาณการผลิตทั้งหมด (ในการทดลองฉีด) × ราคาชิ้นงาน

= 40 × (2.50)

= 100.00 บาท

ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย = ต้นทุนการผลิตทั้งหมด / ปริมาณการผลิตจริง

= ต้นทุนการผลิตทั้งหมด / (ปริมาณการผลิตทั้งหมด - ปริมาณของเสีย)

= 100.00 / (40 – 4)

= 100.00 / 36

= 2.78 บาท/ชิ้น

4.2.3 การเปรียบเทียบก่อน – หลังการปรับปรุง

ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยลดลง = $ต้นทุน_{ก่อนปรับปรุง}$ - $ต้นทุน_{หลังปรับปรุง}$

= 4.06 – 2.78

= 1.28 บาท/ชิ้น

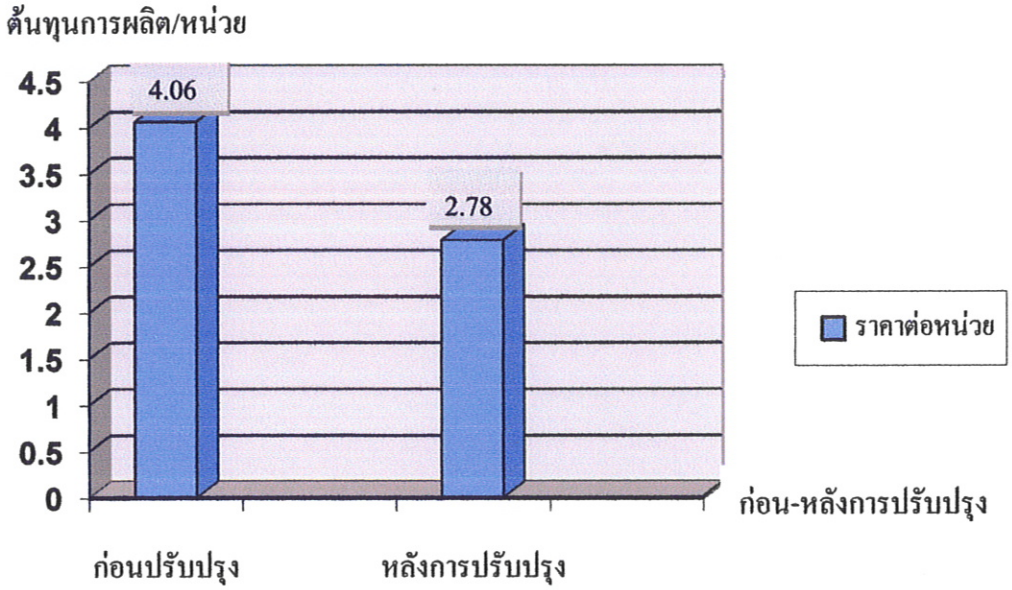
เปอร์เซ็นต์ของเสียลดลง = $ของเสีย_{ก่อนปรับปรุง}$ - $ของเสีย_{หลังปรับปรุง}$

= (1,154 / 3,000) × 100 – (2/40 × 100)

= 38.47 % - 10.00 %

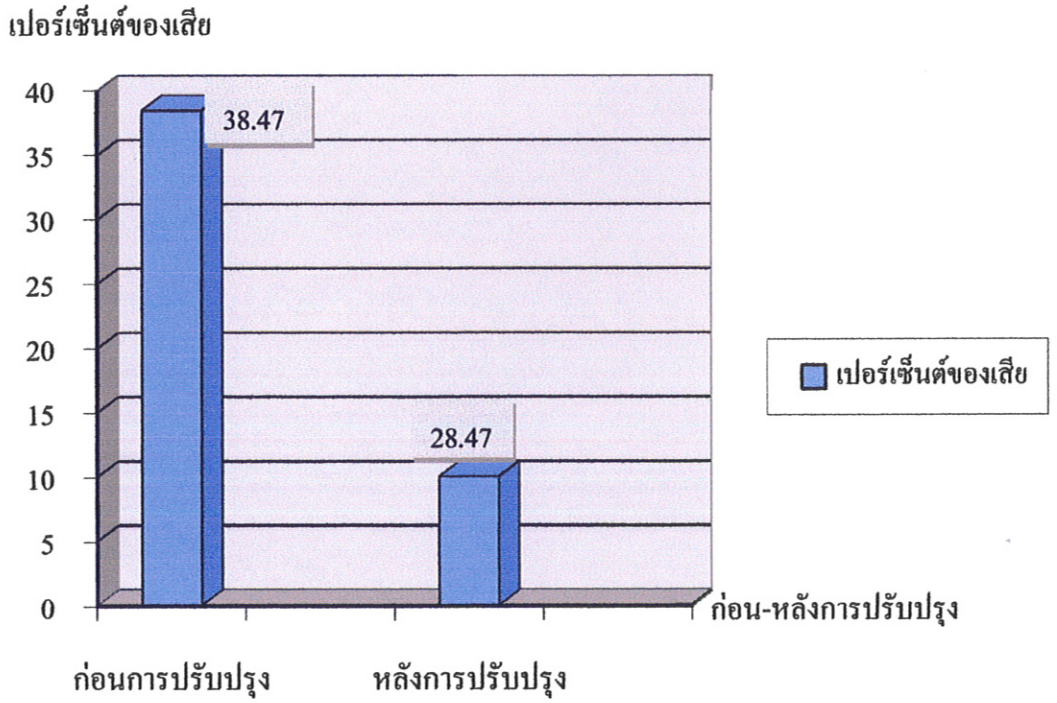
= 28.47 %

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง ต้นทุนและเปอร์เซ็นต์ของเสียลดลง ดังภาพที่ 4.1และภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 กราฟต้นทุนการผลิตต่อหน่วยลดลง

จากภาพที่ 4.1จะเห็นได้ว่าก่อนและหลังการปรับปรุงราคาต้นทุนต่อหน่วยการผลิตลดลงจากเดิม 4.06 บาท ลดลงมาอยู่ที่ต้นทุนต่อหน่วยที่ 2.78 บาท



ภาพที่ 4.2 กราฟเปอร์เซ็นต์ของเสีย

จากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงกระบวนการฉีดผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ของเสียลดลงจากเดิมที่ 38.47 % ลดลงอยู่ที่ 28.47 %

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลการทดลองการฉีดพลาสติกผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ พบว่าค่าความดันในกระบอกฉีดพลาสติก เวลาที่ใช้ในการฉีดพลาสติกในกระบอกฉีด และความเร็วในการปั่นสกูรกลับพร้อมฉีด มีผลกระทบต่อการฉีดซึ่งทำให้เดชิ้นงานที่เสีย จึงมีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเป็นการลดปริมาณของเสียในการฉีดพลาสติกผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ

5.1 สรุปผล

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์มานั้นมีผลกระทบต่อกระบวนการฉีดพลาสติกของชิ้นงานผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ จากนั้นเลือกใช้การออกแบบการทดลองโดยวิธีการทากูชิ เพื่อกรองพารามิเตอร์ที่ไม่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องกับชิ้นงานออกแล้ว จึงดำเนินการหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัย ทั้งหมดด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง จึงได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม คือ ความดันในกระบอกฉีดพลาสติก(P) = 80 kg/cm^2 เวลาที่ใช้ในการฉีดพลาสติกในกระบอกฉีด (T) = 6.0 sec ความเร็วในการปั่นสกรูกลับพร้อมฉีด(S) = 1.5 mm/s ซึ่งเมื่อนำเอาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์เหล่านี้มาดำเนินการผลิตจริง พบว่าสามารถลดต้นทุนต่อหน่วยลงจากเดิม 4.06 บาทต่อชิ้น เหลือ 2.78 บาทต่อชิ้น และสามารถลดปริมาณของเสียจากเดิมที่ 38.47% เหลือ 10.00%

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ที่ได้ผ่านการประมวลผลทางสถิติว่าเป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการปรับตั้งค่า ในกระบวนการฉีดพลาสติกผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษ

พารามิเตอร์	ค่าที่เหมาะสม
แรงดันในการฉีดพลาสติก (P)	80 kg/cm^2
เวลาในการฉีดพลาสติก (T)	6.0 sec.
ความเร็วในการฉีด (S)	1.5 mm/s

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตต่อหน่วยการเปรียบเทียบก่อน – หลังการปรับปรุง

ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย	
ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
4.06 บาท	2.78 บาท

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเสียก่อน – หลังการปรับปรุง

เปอร์เซ็นต์ของเสีย	
ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
38.47 %	10.00 %

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาพารามิเตอร์อื่นๆ เพิ่มเติม นอกเหนือจากพารามิเตอร์ของเครื่องจักร ได้แก่ อุณหภูมิรอบๆ พื้นที่ปฏิบัติงาน เป็นต้น เพื่อที่ทำให้กระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.2.2 นำวิธีการวิจัยผลิตภัณฑ์รังนกสำหรับวางคลิปหนีบกระดาษนี้ ไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ในกระบวนการฉีดพลาสติก เพื่อเป็นการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกของโรงงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

บรรณานุกรม

[1] กิตติกร ฤทธิ์สิงห์, เลอศักดิ์ สุมาลย์. 2546. **การปรับปรุงคุณภาพงานหล่อ นิกเกิล-อลูมิเนียมบรอนซ์โดยวิธีการของทากูชิ.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[2] จรัล ทรัพย์เสรี. **รู้จักDOE.** บริษัท ทรีคอน จำกัด

[3] จินต์จิรา อเนกบุณย์. 2552. **การลดและควบคุมความสูญเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติก โดยใช้กรอบแนวทางการบริหารความเสี่ยง กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วน ยานยนต์**

[4] ชัยรัตน์ แก้วด้วง, วิวัฒน์ ตันติขจรโกศล. **แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.** สำนักพัฒนาอุตสาหากรรมสนับสนุน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมแม่พิมพ์พลาสติก

[5] มะลิ แซ่อึ้ง. 2544. **การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหนาของผิวเคลือบในกระบวนการเคลือบผิวไฟฟ้า**

[6] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. **การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง.** สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด

[7] สองเมือง ธรรมศิริ. 2543. **การศึกษาองค์ประกอบที่เหมาะสมของกระบวนการม้วนหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ชนิดวงแหวน.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ